

「大飯発電所3, 4号機 新規制基準適合性確認結果について(報告)」(平成25年4月)に係る追加報告について

平成25年6月
関西電力株式会社

平成 25 年 3 月 19 日に開催された第 33 回原子力規制委員会において、発電用原子炉の新規制施行に向けた基本的な方針について議論され、平成 25 年 7 月の新規制導入時点における稼動中プラントについては、新規制が導入される前に新規制基準をどの程度満たしているかを把握するための確認作業を行うとの方向性が示された。これを受けて、平成 25 年 3 月 25 日、当社は原子力規制庁より、現在運転中であり平成 25 年 9 月まで運転を継続する予定の大飯発電所 3,4 号機に関して、新規制基準を踏まえた実態を報告するよう要請された。上記の要請に基づき、大飯発電所 3,4 号機の新規制基準への適合性について確認し、その結果を取りまとめ、平成 25 年 4 月 18 日に報告した。また、外部火災影響評価結果、火山影響評価結果および重大事故対策における手順書の整備、訓練の実施に関する内容について、平成 25 年 5 月 16 日に追加報告した。

本報告書は、これらの報告に係る追加報告内容についてまとめたものである。

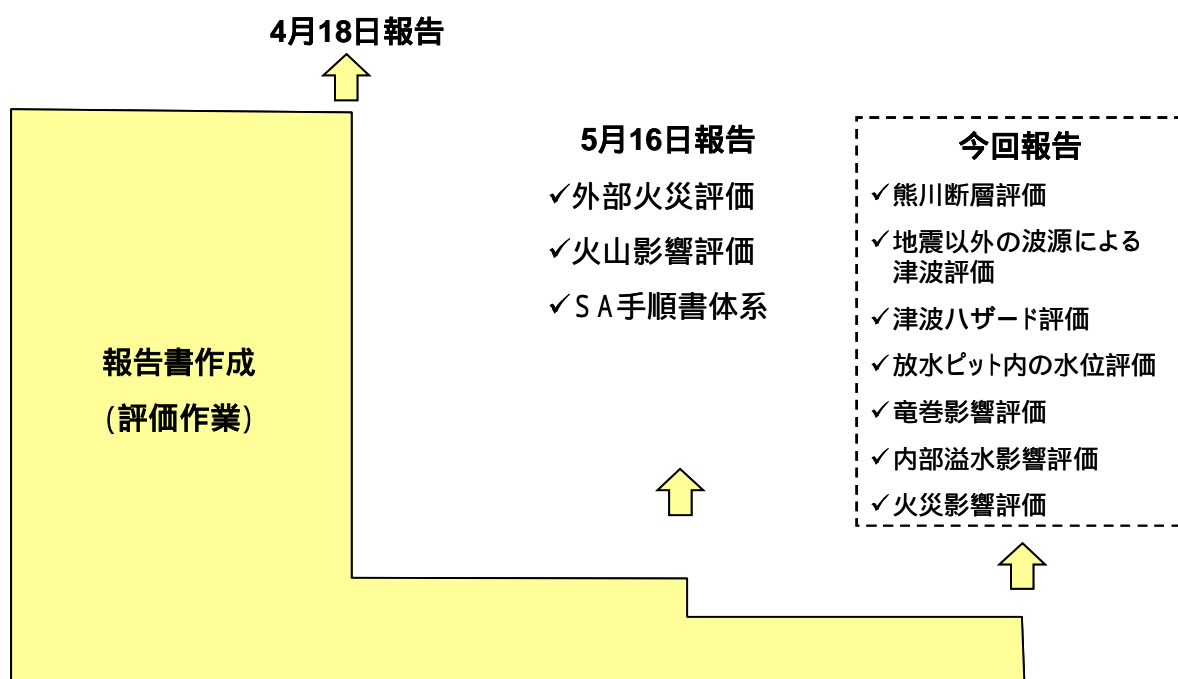


図 今回の報告範囲について

目 次

| | |
|--|-----|
| 1 . 熊川断層に関する評価について | 3 |
| 2 . 大飯発電所 3,4 号機における地震以外の要因による津波に 関する検討について | 14 |
| 3 . 大飯発電所 3,4 号機における確率論的津波ハザード評価に 関する検討について | 41 |
| 4 . 大飯発電所 3,4 号機における津波による放水ピット内の 水位評価について | 62 |
| 5 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の竜巻影響評価 について | 76 |
| 6 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の内部溢水影響評 価について | 209 |
| 7 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の内部火災影響 評価について | 370 |

1 . 熊川断層に関する評価について

熊川断層に関する評価

陸域の地質層序

文献調査結果

地形調査結果及び東端付近の地表地質調査結果

トレンチ調査結果

熊川断層西端に関する調査結果

(反射法地震探査・ボーリング調査結果)

(地表地質調査と高速道路切土法面の確認結果)

(高速道路今富トンネル施工記録の確認結果)

熊川断層西端に関する補足調査結果

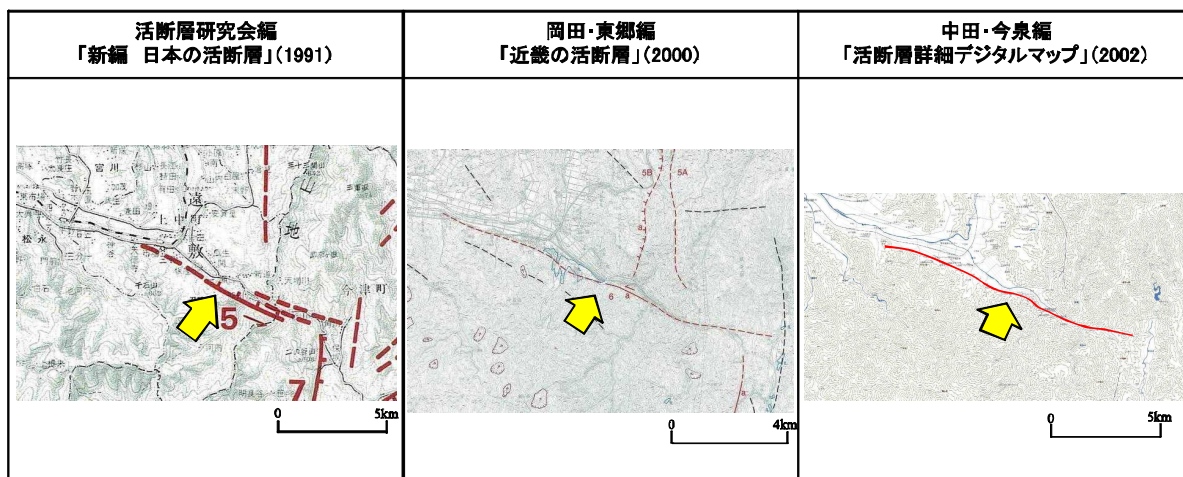
(H24年度反射法地震探査結果)

文献調査・地表地質調査

陸域の地質層序

| 地質年代 | | 地質年代 | | |
|------|------|---------------------------------|--|----------|
| 新生代 | 第四紀 | 完新世 | a 沖積層、新期扇状地堆積物及び崖堆積物 | |
| | | 更新世 | t 段丘堆積物(低位段丘堆積物・中位段丘堆積物・高位段丘堆積物)及び古期扇状地堆積物 | |
| | 鮮新世 | In | 伊根層群 | |
| | | 中新世 | Ht | 北但層群 丹後層 |
| | | | Ha | 北但層群 網野層 |
| | Ho | | 北但層群 豊岡層 | |
| | Hy | | 北但層群 八鹿層 | |
| | 古第三紀 | G6 | 宮津花崗岩 | |
| | | R1 | 音海流紋岩 | |
| | 中生代 | 白亜紀 | 後期 | |
| 前期 | | | | |
| ジュラ紀 | | | | |
| 三疊紀 | Nb | 難波江層群 (紫倉層を含む) | | |
| | Sd | 志高層群 | | |
| 古生代 | ペルム紀 | 下見谷層 | Sa 頁岩・砂岩 Sb 緑色岩類・凝灰岩 | |
| | | 夜久野オフロイト | Yg 緑色岩類・頁岩 Yf 珪長岩 Yd 石英閃緑岩 Yb 変斑れい岩 Yu 超苦鉄質岩類 | |
| | | 舞鶴層群 | Ms 砂岩 Mm 頁岩 Mg 緑色岩類 Ou 大涌層 Os 大島層 | |
| | | 超丹波帯 | Hk 氷上層 Oi 大飯層 Kz 上月層 | |
| | | 丹波帯中・古生層及び古屋層 コンプレックス区分 | Fu 古屋層 S 南山コンプレックス K 雲ヶ畑コンプレックス H 灰燼コンプレックス T 鶴ヶ岡コンプレックス Y 由良川コンプレックス | |
| | | 岩相 (コンプレックスの記号に 岩相の記号を付記) | x 混在岩 s 砂岩 c チャート l 石灰岩 g 緑色岩類 | |
| | | 石炭紀 | 大江山オフロイト | |
| | | デボン紀～ オルドビス紀 | Oe 超苦鉄質岩類 Yr 変花崗岩 (高緑花崗岩) | |
| | | 新生代第四紀更新世～ 新第三紀～古第三紀 | D 岩脈 (DI ドレライト Di 閃緑岩) An 安山岩 Gp 花崗斑岩 | |
| | | | De デイザイト Ry 流紋岩 | |

熊川断層に関する文献調査結果



| 断層名 | 長さ | 確実度 | 変位の向き |
|--------|-----|-----|--------------|
| 5 熊川断層 | 9km | I | 左横ずれ 南側隆起 |

| 断層名 | 長さ | 確実度 | 変位の向き |
|--------|------|-----|-------|
| 6 熊川断層 | 12km | I | 左横ずれ |

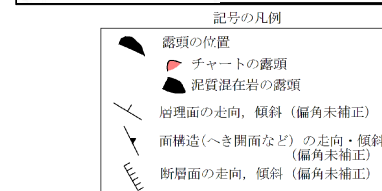
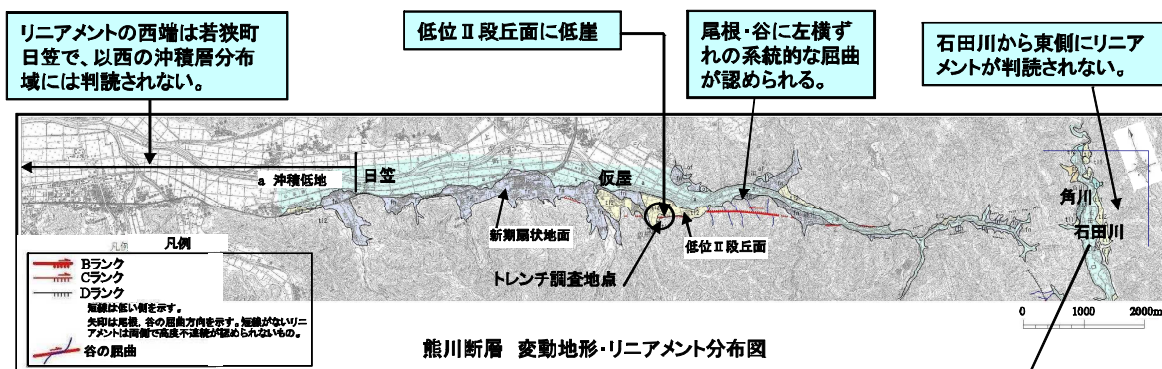
| 断層名 | 長さ | 分類 | 変位の向き |
|-------|--------------|-----|--------------|
| 熊川断層帯 | 12km (図説) | 活断層 | 左横ずれ 南側隆起 |

確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 確実度 III : 活断層の疑いがあるリニアメント

活断層の確実度
 確実度 I : 活断層であることが確実なもの
 確実度 II : 活断層であると推定されるもの
 断層組織地形
 連続性に富むシャープなリニアメント (L)
 主なリニアメント

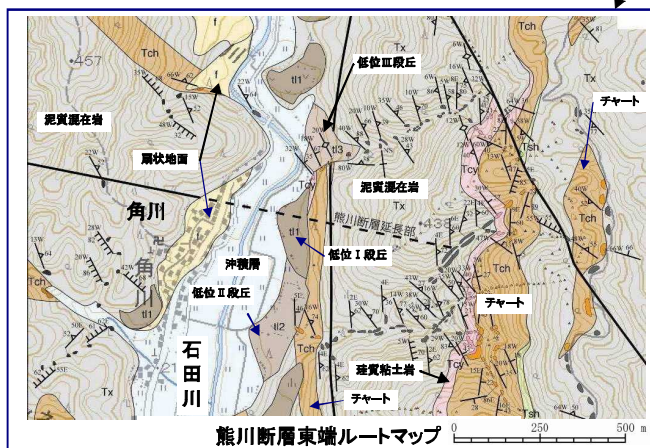
活断層 : 過去に繰り返し動いてきた跡が地形に現れ、今後も活動を繰り返すと考えられる断層
 推定活断層 : 地形的な特徴により活断層の存在が推定されるが、現時点では明確には特定できないもの

熊川断層に関する地形調査結果及び東端付近の地表地質調査結果



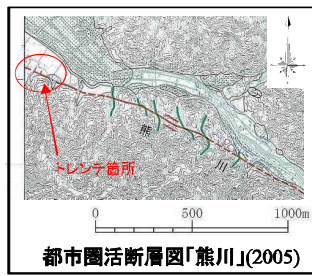
- リニアメント延長部に健岩露頭が密に分布し、断層は認められない。
- 岩盤中のへき開や層理面はNNW方向が卓越。
- NNW方向に延びるチャートには変位が認められない。

熊川断層は、石田川から東方には延びない。



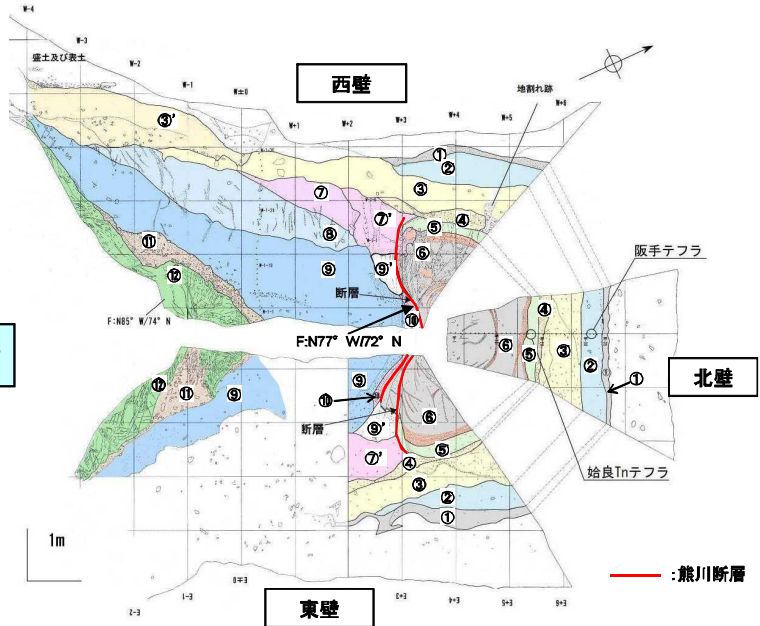
熊川断層の活動性(トレンチ調査結果)

6



トレンチ調査位置は、仮屋東方の低位段丘面と山地斜面末端の境界。

- 凡例
- ① ① 層：暗灰褐色礫混じり砂質シルト
 - ② ② 層：淡灰色軟質シルト～粘土
 - ③ ③ 層：黄褐色礫混じり砂質シルト
 - ③' ③' 層：褐色礫混じりシルト
 - ④ ④ 層：赤褐～黄褐色礫混じり砂質シルト～シルト質砂礫
 - ⑤ ⑤ 層：淡褐色シルト
 - ⑥ ⑥ 層：淡黄褐～赤褐色シルト
 - ⑦ ⑦ 層：赤褐～黄褐色礫混じりシルト
 - ⑦' ⑦' 層：黄白～赤褐色シルト
 - ⑧ ⑧ 層：赤褐～黄白色シルト
 - ⑨ ⑨ 層：赤褐～黄白色シルト
 - ⑨' ⑨' 層：赤褐～黄白色礫混じりシルト
 - ⑩ ⑩ 層：赤褐色砂礫混じりシルト
 - ⑪ ⑪ 層：暗赤褐色角礫層
 - ⑫ ⑫ 層：淡灰色チャート



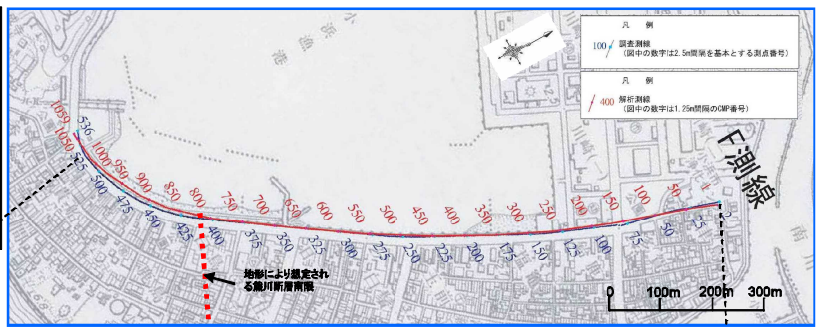
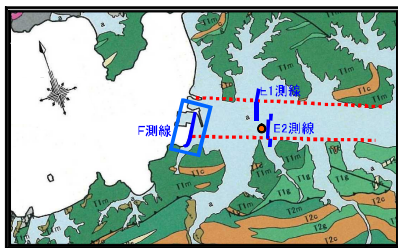
熊川断層は、下位の⑨'層、⑦'層、⑥層、⑤層に変位・変形を与え、④層に覆われる。

火山灰分析結果より、⑤層からは始良Tnテフラ(AT:約2.6～2.9万年前:町田・新井, 2003)を、②層からは阪手テフラ(約1.6万年前:東郷他, 1997)を検出。

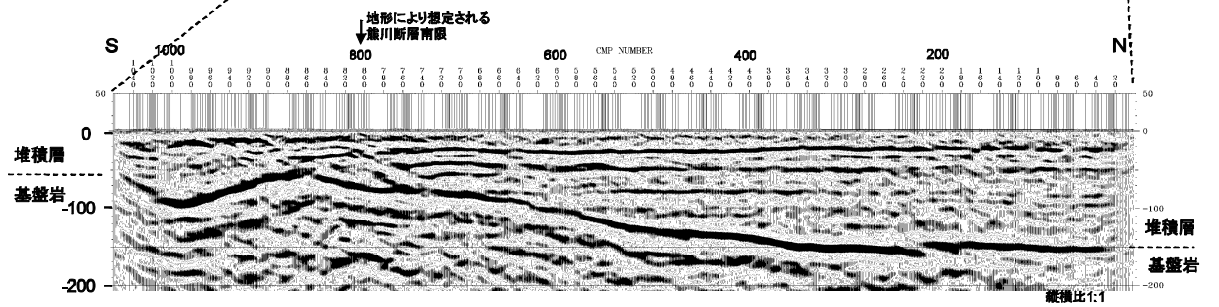
最新活動時期は、始良Tnテフラ降灰時以降かつ阪手テフラ降灰時以前である。

熊川断層西端に関する調査結果(反射法地震探査結果)

7



調査位置図

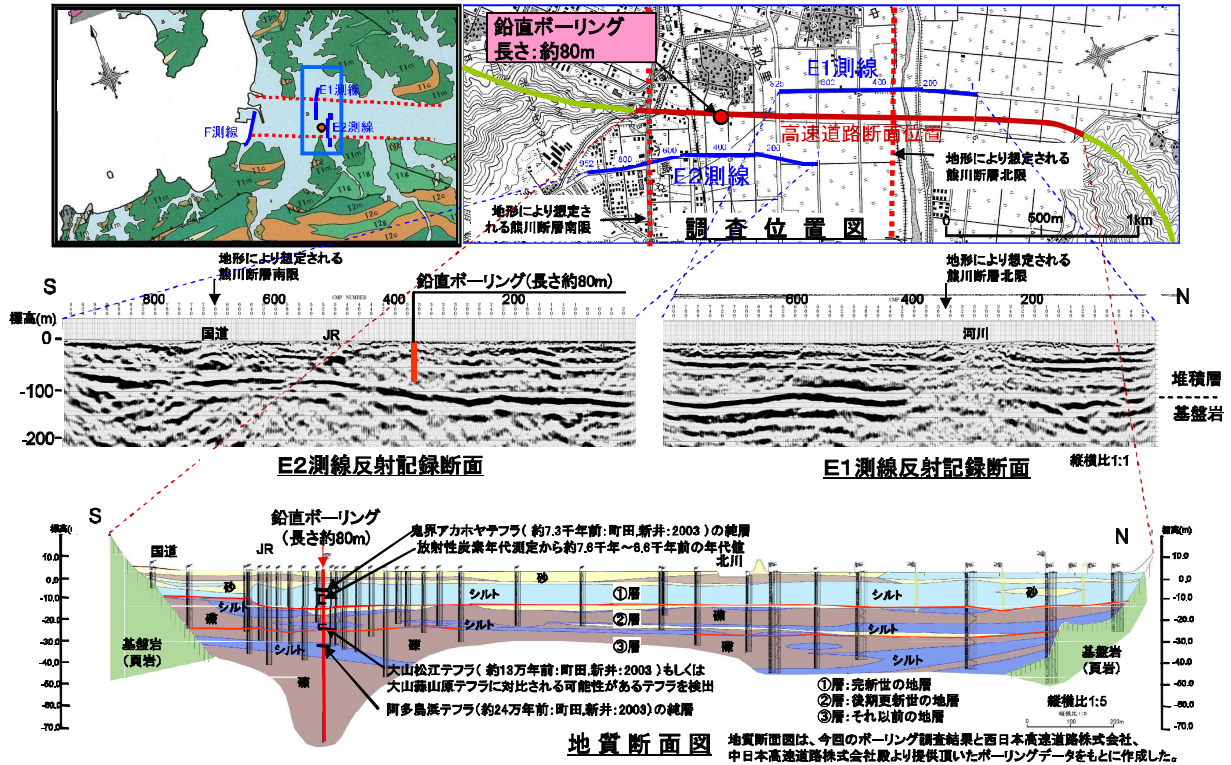


反射記録断面(F測線)

反射法地震探査の結果、F測線において、基盤岩上面(想定)や堆積層中に断層による変位・変形が認められない。

熊川断層西端に関する調査結果(反射法地震探査結果)

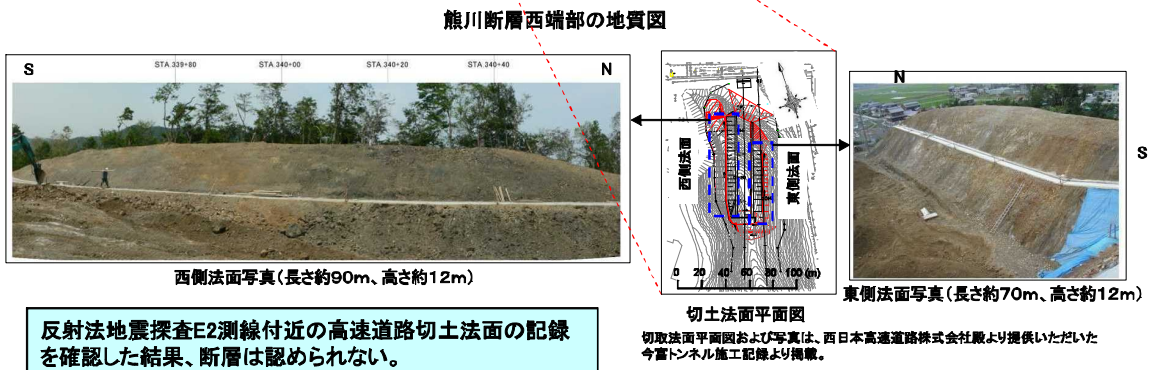
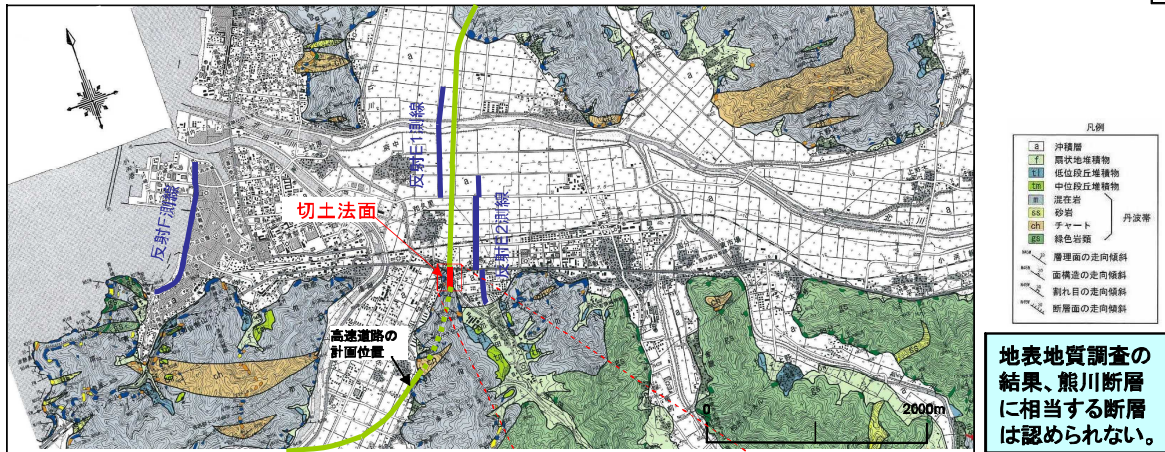
8



反射法地震探査およびボーリング調査の結果、E1、E2測線において、堆積層に断層による変位・変形は無いと判断した。

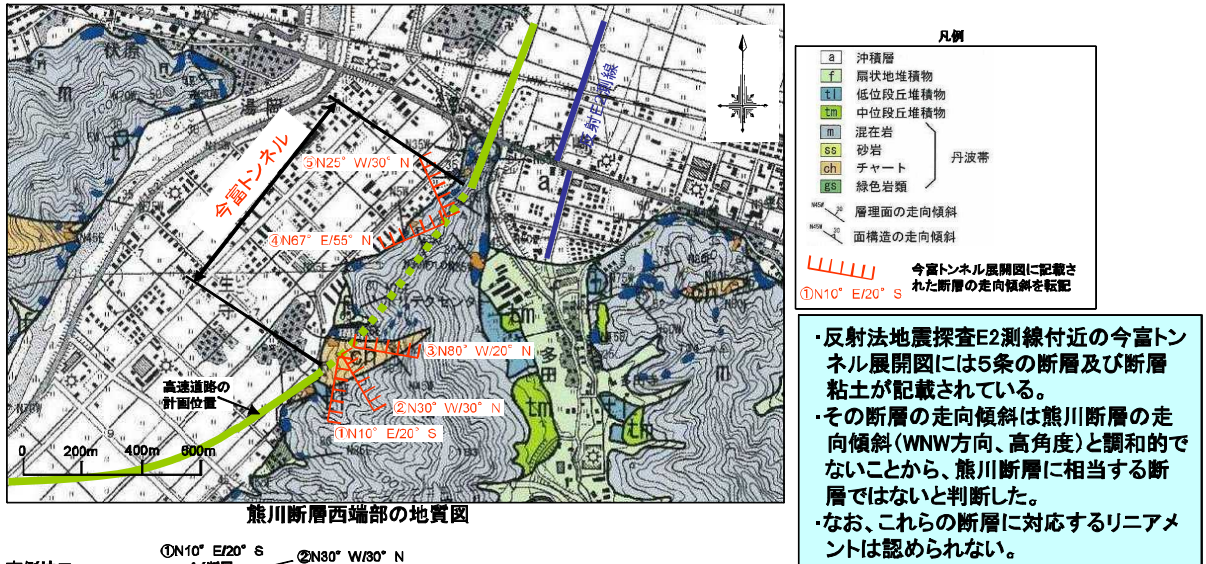
熊川断層西端に関する調査結果(地表地質調査と高速道路切土法面の確認結果)

9

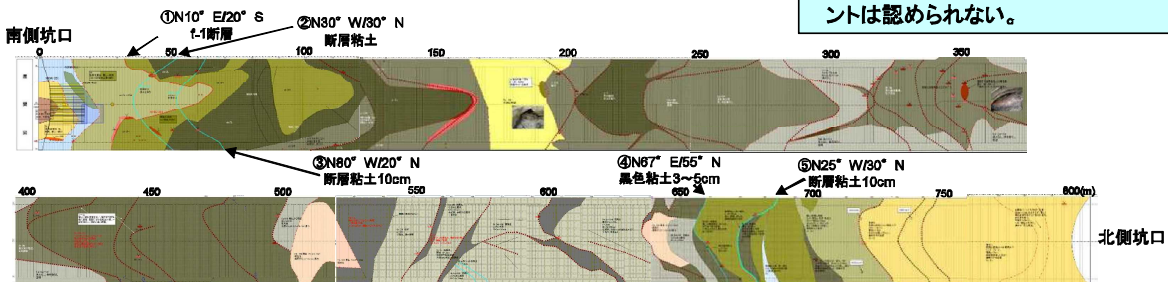


反射法地震探査E2測線付近の高速道路切土法面の記録を確認した結果、断層は認められない。

熊川断層西端に関する調査結果(高速道路今富トンネル施工記録の確認結果) 10

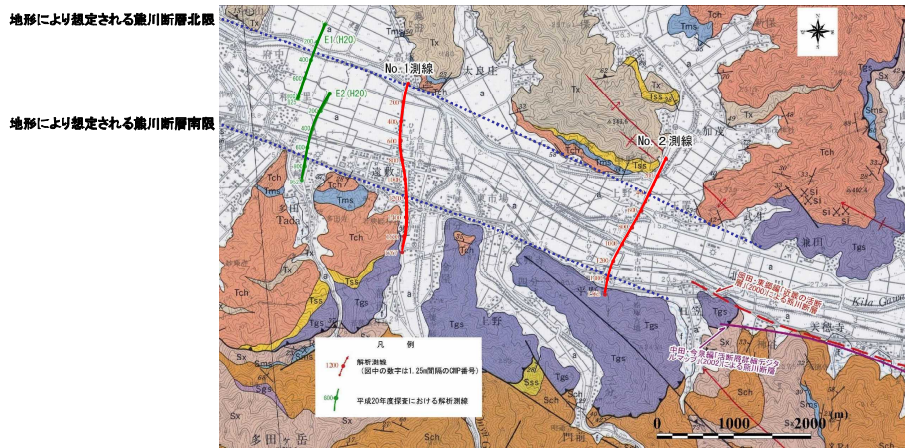


- ・反射法地震探査E2測線付近の今富トンネル展開図には5条の断層及び断層粘土が記載されている。
- ・その断層の走向傾斜は熊川断層の走向傾斜(WNW方向、高角度)と調和的でないことから、熊川断層に相当する断層ではないと判断した。
- ・なお、これらの断層に対応するリニアメントは認められない。

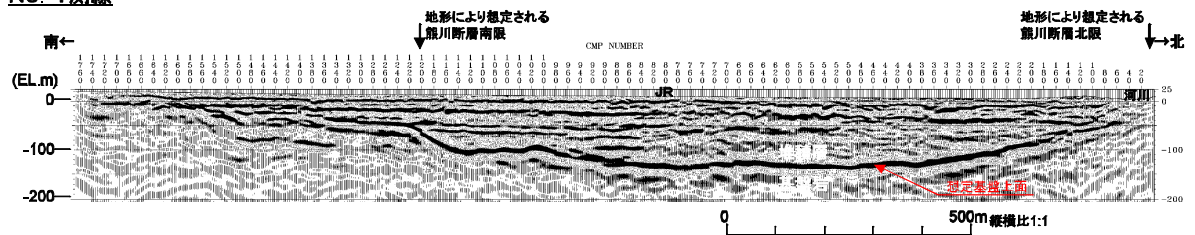


今富トンネル展開図(L=805m) 西日本高速道路株式会社様より提供いただいた今富トンネル施工記録に加筆。

熊川断層西端に関する補足調査結果(H24年度反射法地震探査結果) 11



No. 1 測線



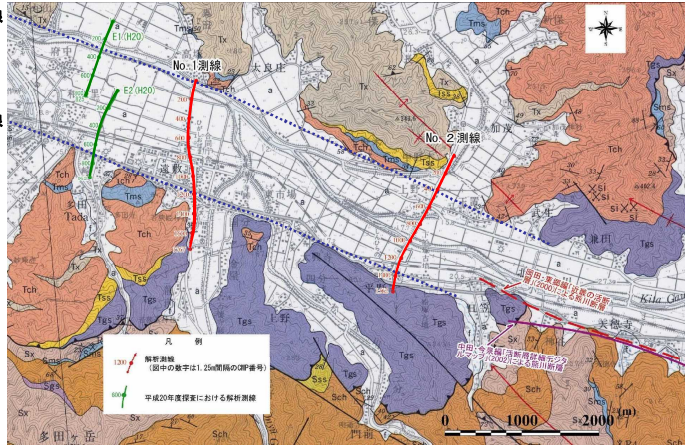
・既往反射法地震探査測線の東側、約1km離れた小浜市遠敷付近(No. 1測線)において実施した反射法地震探査の結果、基盤岩上面(想定)や堆積層中に断層による変位・変形が認められない。

熊川断層西端に関する補足調査結果(H24年度反射法地震探査結果)

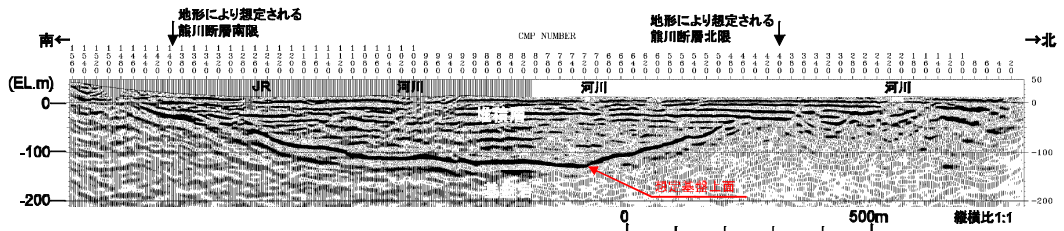
12

地形により想定される熊川断層北限

地形により想定される熊川断層南限



No. 2測線



- 既往反射法地震探査測線の東側、約4km離れた小浜市平野付近(No. 2測線)において実施した反射法地震探査の結果、基盤岩上面(想定)や堆積層中に断層による変位・変形が認められない。
- 文献(変動地形学的調査)で示された熊川断層の端部と整合する。
- 今回の補足調査の結果、従来、小浜市和久里付近としていた熊川断層の西端を小浜市平野付近とし、長さを14kmとする。

13

【参考】反射法地震探査の分解能について

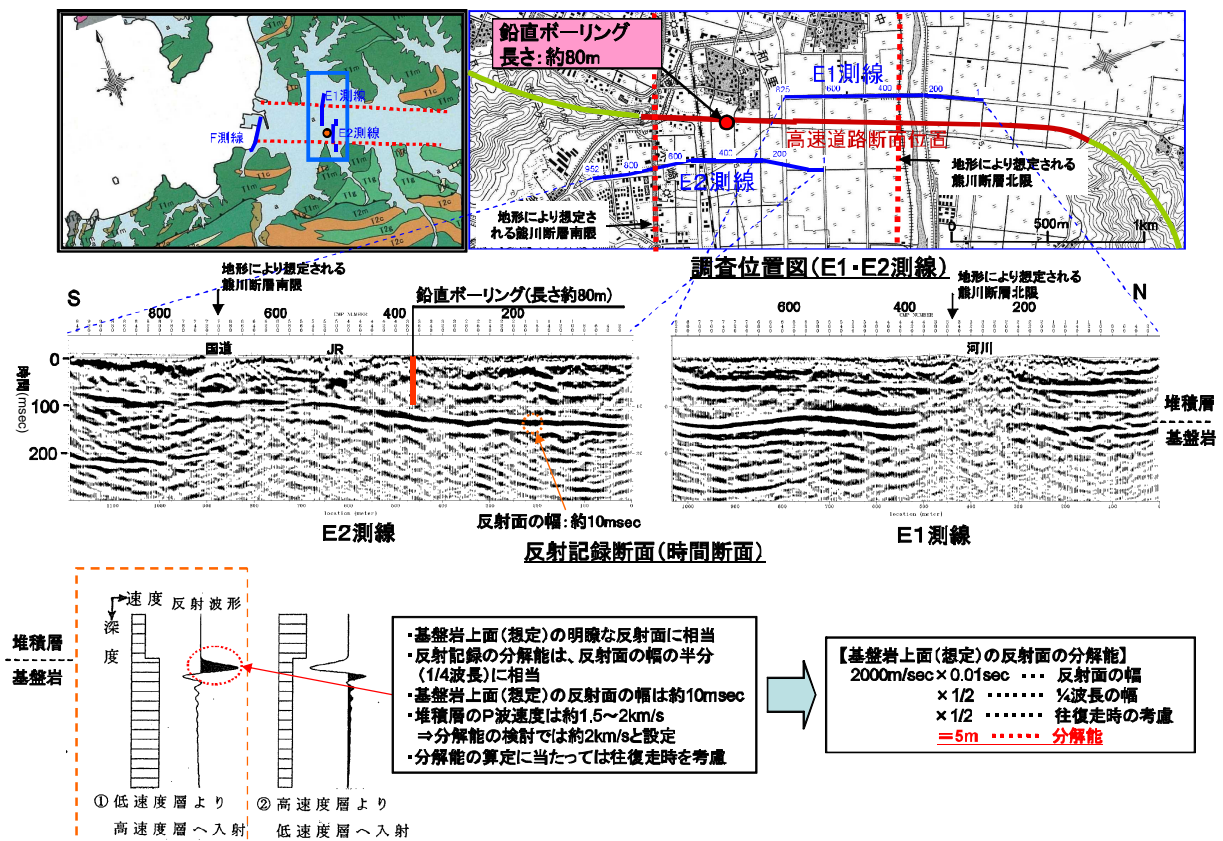
熊川断層反射法地震探査の主な仕様

14

| 項目 | 内容 | | | | | 備考 |
|-----------------|--|-----------------|------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------------|
| | 平成20年度 | | | 平成24年度 | | |
| 実施年度 | 平成20年度 | | | 平成24年度 | | |
| 測線名 | E1 | E2 | F | No.1 | No.2 | |
| 波動種別 | P波 | | | | | 縦波 |
| 震源 | 油圧インパクト(JMI-200 II、(株)地球科学総合研究所製) (加速式重錘落下、重錘重量200kg) | | | | | E1測線の北川河川敷では鉄ハンマーを使用 |
| 受震器 | 速度型地震計(SM-11、I/O Sensor社製) (固有周波数30Hz、6個/グループ) | | | | | |
| データ収録器 | デジタルテレメトリー型収録器 (G-DAPS-4A、(株)地球科学総合研究所製) | | | GPS内蔵独立型収録器 (GSR-1、Oyo Geospace製) | | 24ビットデジタル収録方式 |
| 発震点間隔 | 2.5m | | | | | |
| 総発震点数 | 395 | 422 | 500 | 849 | 718 | |
| 受震点間隔 | 5.0m | | | | | |
| 総受震点数 | 202 | 240 | 263 | 448 | 388 | |
| 最大受震距離 | 約300m | | | | | 発震点と受震点間の最大距離 |
| 標準同時収録チャンネル数 | 81ch | | | | | |
| 収録時間 | 1.5sec | | | | | |
| 収録時サンプリングレート | 1.0msec(1000Hz) | | | 0.5msec(2000Hz) | | |
| 収録時の帯域フィルター | アンチ・エイリアスフィルターのみ使用 | | | | | |
| 標準水平重合数(GDP重号数) | 30重合 | | | | | |
| 垂直重合数(スタック回数) | 5~14回 | | | | | 取得データを確認し適宜変更 |
| 調査測線長および測点番号 | 1,035m 2~410 | 1,263m 2~484 | 1,338m 2~536 | 2,302m 2~918 | 2,003m 2~802 | 調査を実施した測線の距離 |
| 解析測線長およびCMP番号 | 1,030m 1~825 | 1,188m 1~952 | 1,322m 1~1059 | 2,207.5m 1~1,767 | 1,951.25m 1~1,562 | 解析を実施した測線の距離 (CMP間隔の累計) |

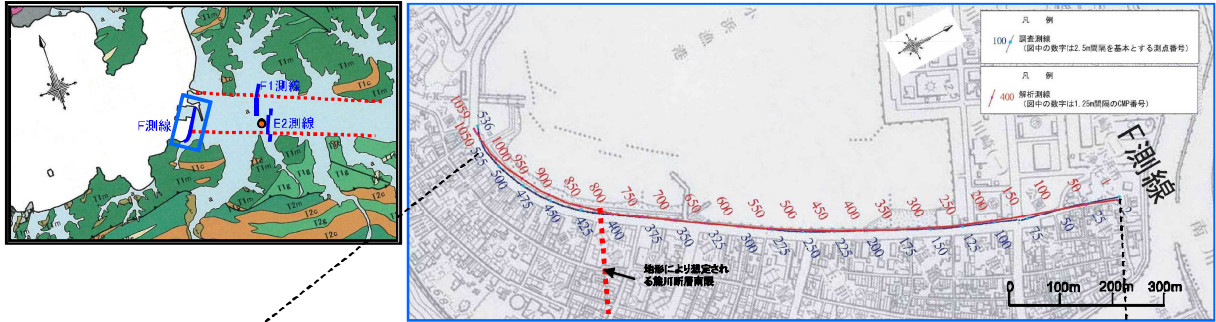
反射法地震探査結果の分解能に関する検討(E1, E2測線)

15

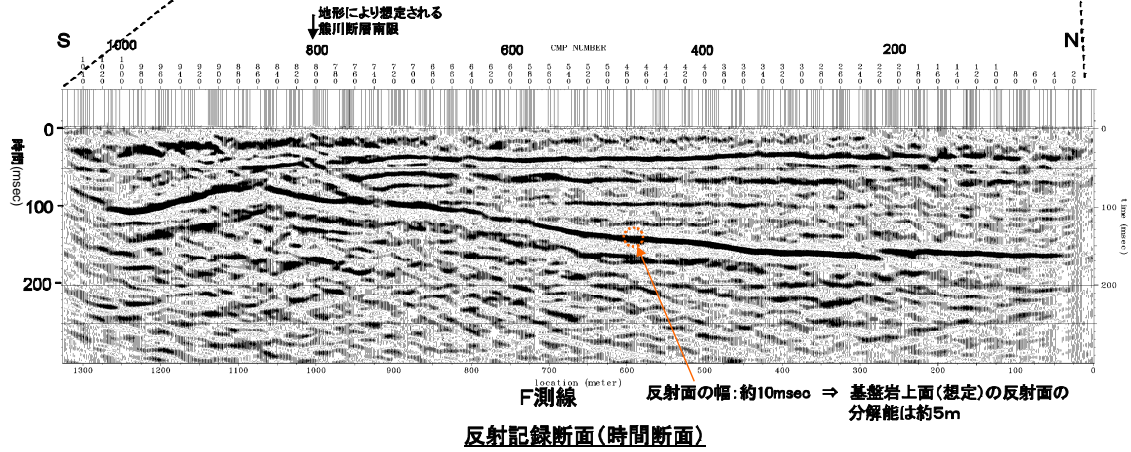


反射法地震探査結果の分解能に関する検討(F測線)

16



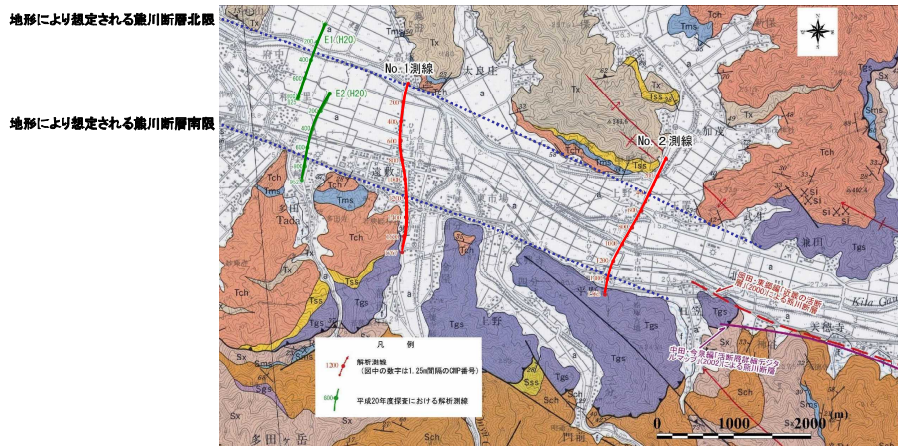
調査位置図(F測線)



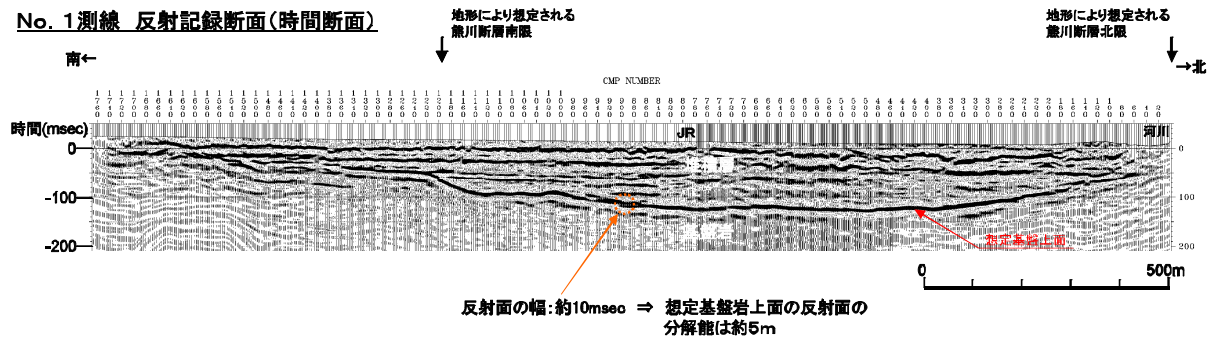
反射記録断面(時間断面)

反射法地震探査結果の分解能に関する検討(No. 1測線)

17

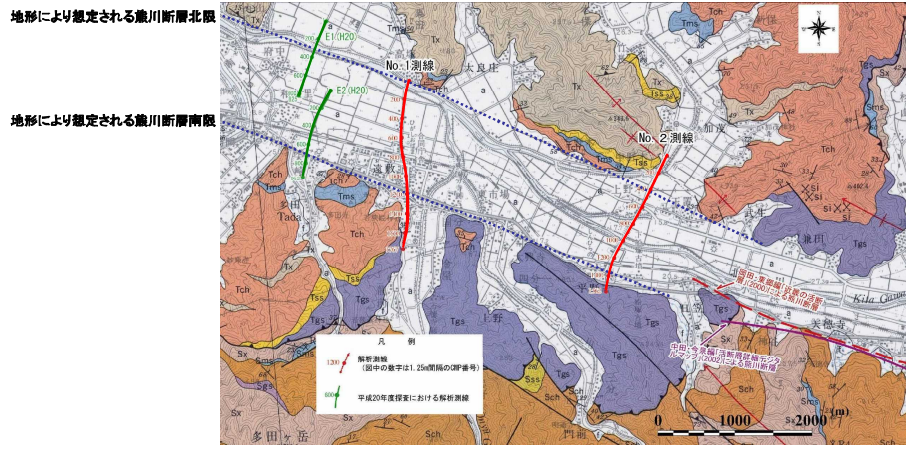


No. 1測線 反射記録断面(時間断面)

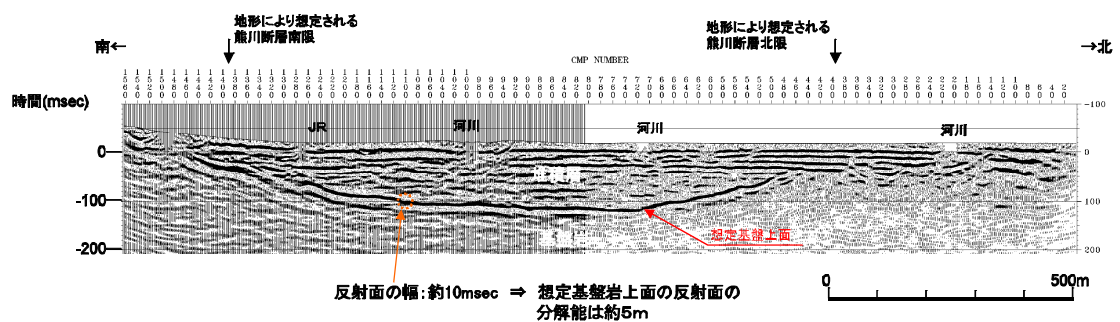


反射面の幅: 約10msec => 想定基盤岩上面の反射面の分解能は約5m

反射法地震探査結果の分解能に関する検討(No. 2測線)



No. 2測線 反射記録断面(時間断面)



2 . 大飯発電所 3,4 号機における地震以外の要因による津波に関する検討について

地震以外の要因による津波に関する検討

既往津波の調査結果(文献調査結果)

1

○以下の文献調査を実施し、日本海における津波の記録を確認するとともに、地震以外の要因による津波についての記載の有無を確認。

- ① 羽鳥徳太郎(1984):日本海の歴史津波、月刊地球、Vol.16、No. 9.
- ② 国立天文台(2009):理科年表 平成21年、丸善.
- ③ 宇佐美龍夫(2003):「最新版 日本被害地震総覧 [416] -2001」、東京大学出版会.
- ④ 羽鳥徳太郎(2010):歴史津波からみた若狭湾岸の津波の挙動、歴史地震、第25号、p75-80
- ⑤ 渡辺偉夫(1998):日本被害津波総覧〔第2版〕、p.165.
- ⑥ 気象庁(2007):平成19年8月 地震・火山月報(防災編)、第1号、pp.41-42.

○既往津波に関しては、地震によるもの、地震以外の要因によるものを含め、若狭湾周辺に大きな被害をもたらした津波はない。

○火山活動に伴う山体崩壊が引き起こした津波としては、1741年渡島沖地震の記載があるが、これ以外に、海底・陸上の地すべりや、海底火山活動、その他を成因とした津波の記録は認められない。

既往津波の調査結果(津波堆積物調査結果)

2

1.調査目的

- ・若狭湾における津波の痕跡に関するデータ拡充を図ることを目的として、関西電力(株)、日本原子力発電(株)、(独)日本原子力研究開発機構(JAEA)の3社共同で、津波堆積物調査を実施

2.調査位置

- ・三方五湖周辺(久々子湖5箇所、中山湿地1箇所、菅湖1箇所)
- ・久々子湖東方陸域(早瀬、久々子・松原、坂尻の各地区8箇所)
- ・猪ヶ池(6箇所)

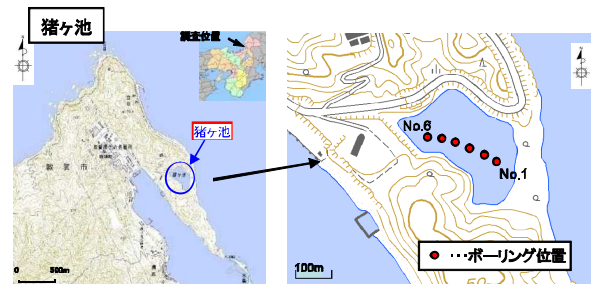
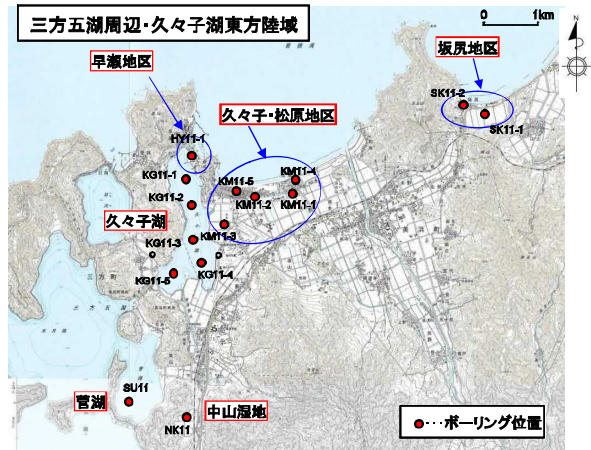
3.調査・評価方法

- ・ボーリングにより、完新世(約1万年前以降)の地層をカバーするよう試料採取を実施
- ・X線CTスキャンを併用した肉眼観察、微化石層分析等を実施し、海から運ばれた痕跡(砂層など)を調査し、津波堆積物の有無を評価

4.評価結果

- 各発電所の安全性に影響を与えるような津波の痕跡は認められなかった。(H24.12.18規制庁へ報告済)

○津波堆積物調査結果からも、各発電所の安全性に影響を与えるような地震以外の要因による津波の痕跡は認められない。



評価対象となる地震以外の要因

3

- 文献調査結果および津波堆積物調査結果から、既往津波のうち、地震以外の要因によるものに関しては、大飯発電所3・4号機の安全性に影響を与える可能性のあるものは認められない。

- 一方、新規制基準※によれば、「陸上及び海底での地すべり、斜面崩壊、火山現象(噴火、山体崩壊、カルデラ陥没等)」による津波発生要因について考慮すべきとされている。このため、

- ① 海底地すべり
- ② 陸上の斜面崩壊(地すべり)
- ③ 火山現象による山体崩壊

による津波について評価を行った。

※ 「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準を定める規則」第5条2の一

海底地すべりによる津波の評価

検討方針

- 日本海において、若狭湾沿岸に最も近い海底地すべり地形群(徳山他2001[※])である隠岐トラフを対象に、海底地すべり地形の位置、規模に関する情報を得るため、文献や海上音波探査記録の再解析結果から作成した海底地すべり跡の位置図及び海底の層相区分図を作成。(p6-8)
- 作成した海底地すべり跡の位置図及び海底の層相区分図から、それぞれの海底地すべり地形の規模を算定、最も大きなものを抽出し、崩壊前の地形を推定。(p9-11)
- 抽出された海底地すべり地形から、初期水位形状を予測するため、複数の方法(Wattsらによる予測式とKinematicモデル)を検討。(p12-15)
- 抽出された海底地すべり地形から、上記2手法に必要なパラメータを決定し、それぞれ津波伝播計算を実施。(p16-18)

※ 徳山英一、本座栄一、木村政昭、倉本真一、芦寿一郎、岡村行信、荒戸裕之、伊藤康人、徐垣、日野亮太、野原壯、阿部寛信、坂井風一、向山建二郎、「日本海周辺海域中新世最末期以降の構造発達史」付図、海洋調査技術、13(1)、p26-53、March 2001

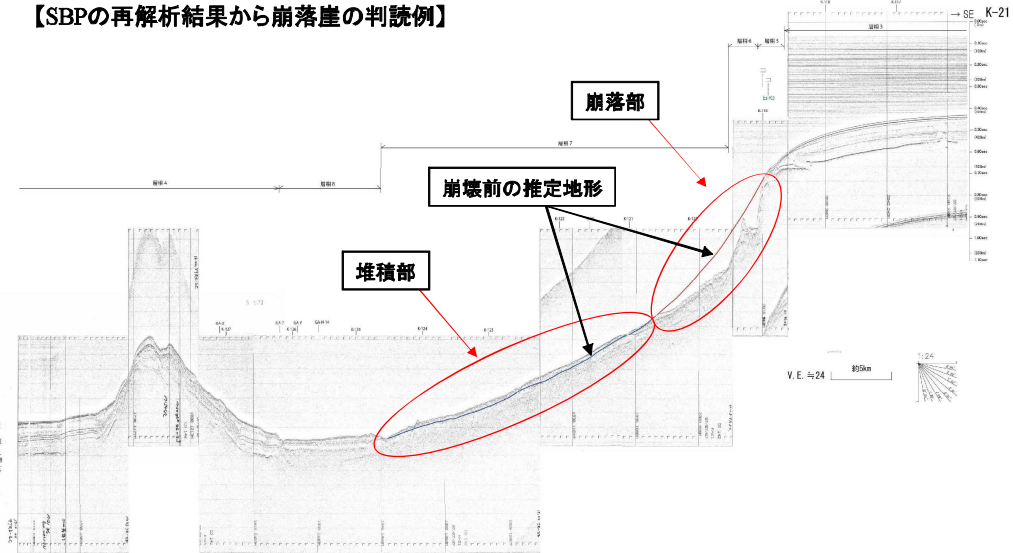
海底地すべり地形の判読

6

○石川県沖から鳥取県沖にかけて旧地質調査所(現:独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター)が作成した海底地すべり地形位置図および層相区分図(1/20万)に、海底地すべり地形と、海底の層相区分図を追加した。

○海底地すべりの判読にあたっては、山本(1991)*による手法に準じて、海上音波探査記録(3.5kHzサブボトムプロファイラー:SBP)の再解析結果から、崩落崖(海底地すべり地形)を判読した。

【SBPの再解析結果から崩落崖の判読例】



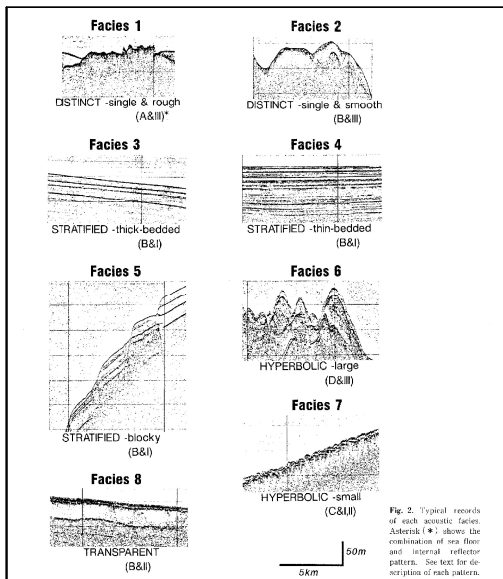
※1 山本博文(1991)「福井沖大陸斜面の海底地すべり」、地質調査所月報、第42巻 第5号、p221-232

※2 池原研・佐藤幹夫・山本博文(1990a)高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用。地質学雑誌、96巻、p.37-49。(図1-3)

層相区分図の作成

7

【層相の凡例】
(池原他(1990)*1のパターン区分図に追記)



【層相の区分詳細および特徴】
(池原他(1990)*1から抜粋)

Table 1. Classification and characteristics of eight acoustic facies.
* See text for description.

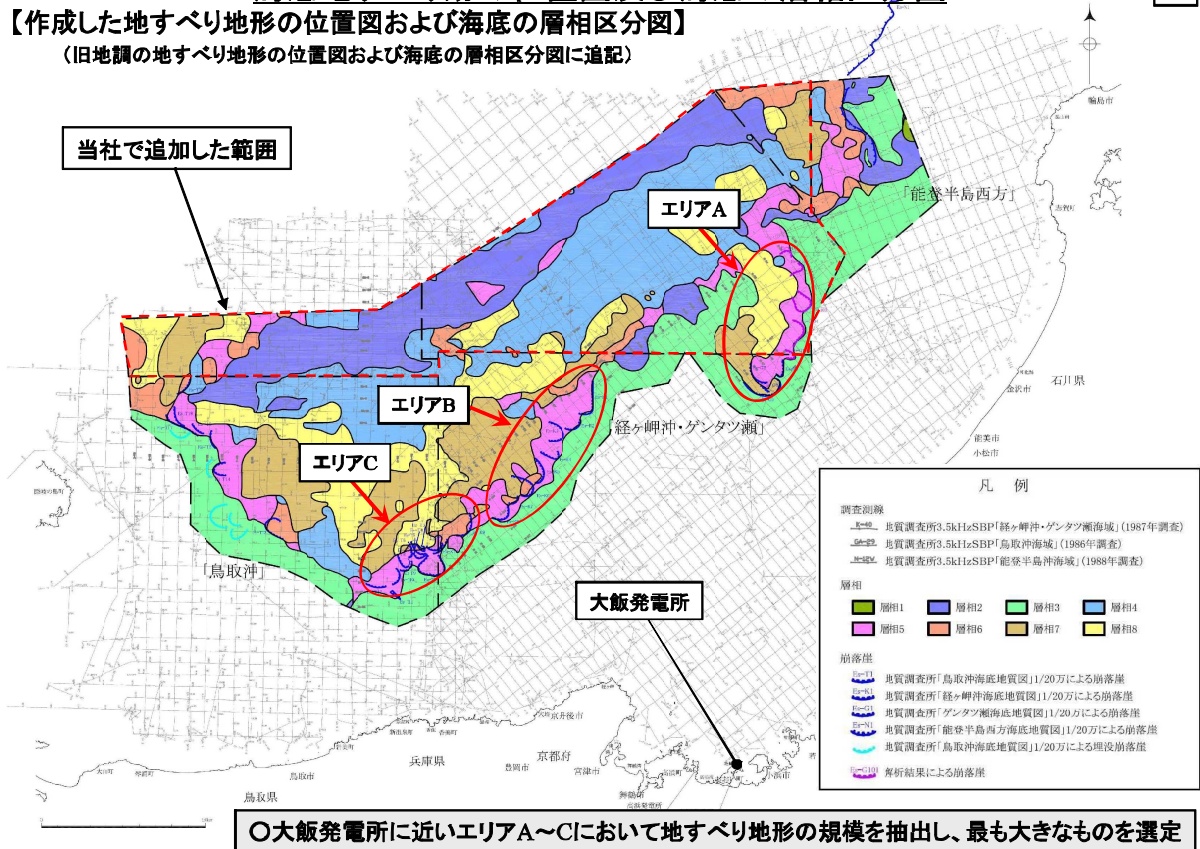
| FACIES | ACOUSTIC CHARACTERS (combination of sea floor and internal reflector pattern*) | SEDIMENTS | INTERPRETATION | DISTRIBUTION |
|---|---|--|--|--|
| 1 DISTINCT -single & rough (A&B) | Strong bottom return, no or very poor internal return, rough bottom. (A&B) | Gravelly, rocky | Gravelly or rocky bottom | Oki Ridge N of Dogo |
| 2 DISTINCT -single & smooth (B&C) | Strong bottom return, no or very poor internal return, smooth bottom. (B&C) | Sandy | Sandy bottom | Oki Ridge Wakasa Sea Knoll Cham |
| 3 STRATIFIED -thick-bedded (B&D) | Internal reflectors continuous and undeformed, stratified, smooth bottom. (B&D) | Muddy (clayey silt- silty clay) massive | Muddy bottom -hemipelagic | Marginal terrace |
| 4 STRATIFIED -thin-bedded (B&E) | Internal reflectors continuous and undeformed, finely stratified, smooth bottom. (B&E) | Muddy tephra and/or sand layers interbedded | Muddy bottom -hemipelagic, (turbidite) | Central part of SW Trough most of NE Trough |
| 5 STRATIFIED -blocky (B&F) | Internal reflectors essentially continuous and undeformed, stratified, basal shear surface reflectors, smooth bottom, stepped topography. (B&F) | Muddy massive | Muddy bottom -slide, (hemipelagic) | Edge of marginal terrace |
| 6 HYPERBOLIC -large (D&G) | Sea floor reflectors largely hyperbolic or irregular and prolonged, internal reflectors poorly observed. (D&G) | Muddy massive | Muddy bottom -slump | Lower part of slope |
| 7 HYPERBOLIC -small (C&H) | Sea floor and/or internal reflectors hyperbolic or irregular and prolonged, mounded or lens-shaped, blunt distal termination. (C&H) | Murky occurrence of mud clasts | Muddy bottom -debris flow | SW Trough |
| 8 TRANSPARENT (B&I) | No or very poor internal reflectors, lens or mounded-shaped or layered. (B&I) | Muddy occurrence of mud clasts massive | Muddy bottom -debris flow, hemipelagic | SW Trough |

海上音波探査記録の再解析記録から層相1~8のパターンに分類し、層相区分図を作成

※ 池原研・佐藤幹夫・山本博文(1990a)高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用。地質学雑誌、96巻、p.37-49

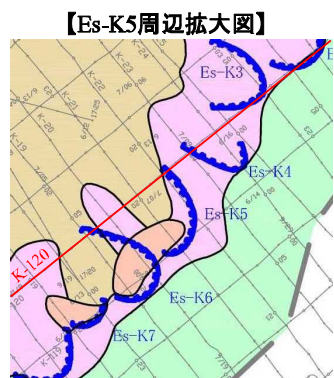
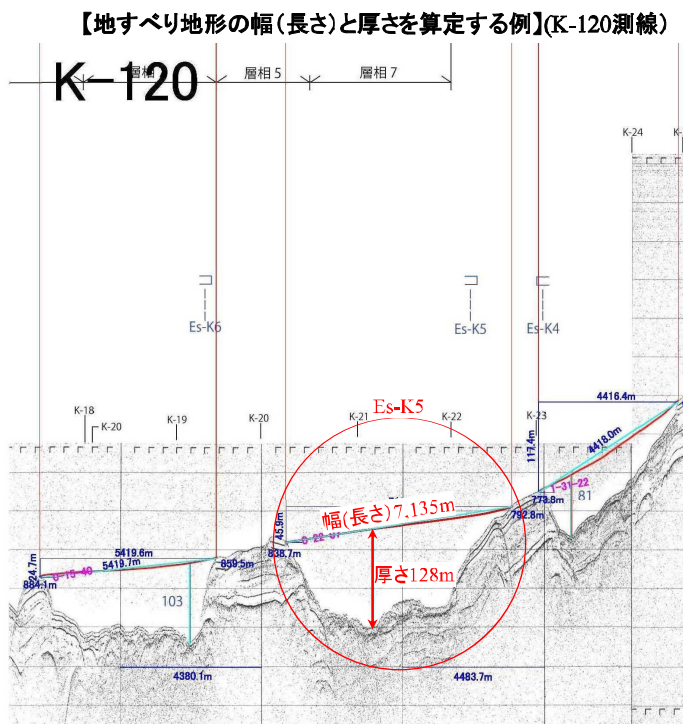
海底地すべり跡の位置図及び海底の層相区分図

【作成した地すべり地形の位置図および海底の層相区分図】
 (旧地調の地すべり地形の位置図および海底の層相区分図に追記)



評価対象となる地すべり地形の抽出

○ 各測線から地すべり地形の長さや厚さを図読み、規模(断面積)の最も大きなものを算出
 (複数の測線で計測されたものは、規模の大きな方を選定)



評価対象となる地すべり地形の抽出

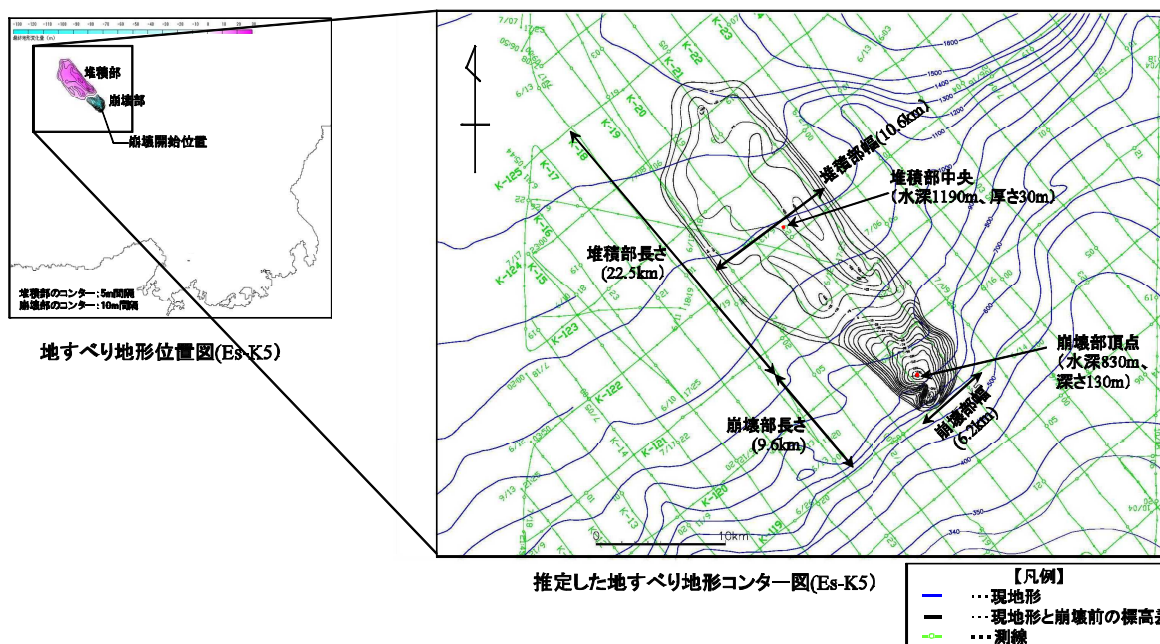
【地すべり地形の面積概略算出結果】(上位20個)

| 地すべり地形 | 測線 | 地すべり長さ(m) | 地すべり厚さ(m) | 地すべり長さ×厚さ(m ²) | 規模の順位 |
|---------|-------|-----------|-----------|----------------------------|-------|
| Es-K5 | K-120 | 7,135 | 128 | 913,324 | 1 |
| Es-T2 | GA-23 | 8,592 | 97 | 833,402 | 2 |
| Es-T8 | GA-22 | 4,374 | 150 | 656,141 | 3 |
| Es-K7 | K-119 | 3,618 | 160 | 578,850 | 4 |
| Es-T13 | GA-20 | 4,966 | 116 | 576,038 | 5 |
| Es-K6 | K-120 | 5,420 | 103 | 558,225 | 6 |
| Es-T14 | GA-15 | 8,970 | 61 | 547,200 | 7 |
| Es-K8 | K-119 | 6,557 | 76 | 498,312 | 8 |
| Es-K4 | K-120 | 4,418 | 81 | 357,855 | 9 |
| Es-K3 | K-121 | 7,596 | 45 | 341,839 | 10 |
| Es-T6 | GA-21 | 5,343 | 62 | 331,267 | 11 |
| Es-T17 | GA-11 | 1,979 | 158 | 312,678 | 12 |
| Es-K2 | K-120 | 4,462 | 67 | 298,932 | 13 |
| Es-T15 | GA-13 | 8,326 | 33 | 274,765 | 14 |
| Es-K1 | K-121 | 5,198 | 52 | 270,276 | 15 |
| Es-G3 | K-115 | 6,856 | 29 | 198,822 | 16 |
| Es-G103 | K-118 | 6,172 | 30 | 185,161 | 17 |
| Es-T12 | GA-T | 6,284 | 29 | 182,237 | 18 |
| Es-G104 | K-51 | 3,584 | 46 | 164,876 | 19 |
| Es-G102 | K-119 | 4,413 | 36 | 158,864 | 20 |

○ 上記結果から、最大規模の地すべり地形としてEs-K5を選定し、さらに詳細に検討

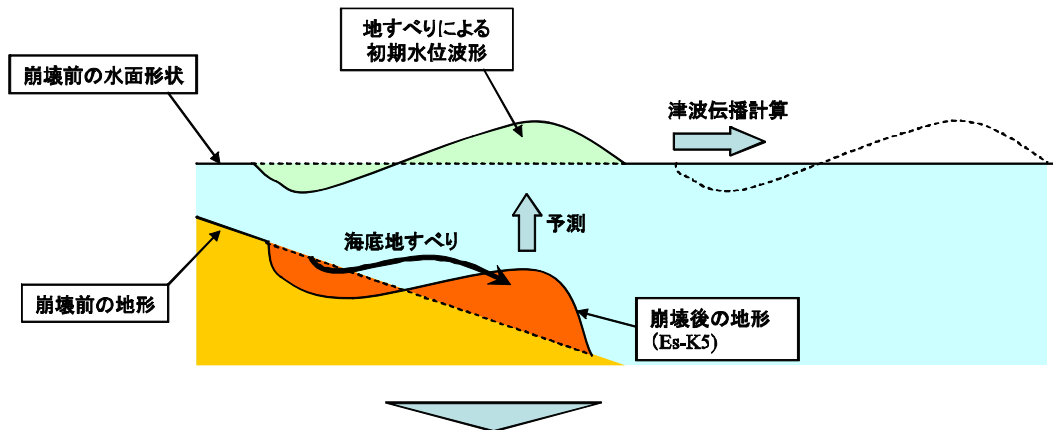
地すべり地形位置図および

○地すべり地形Es-K5を通る海上音波探査記録の複数の断面図から、崩壊部・堆積部の幅、長さ、標高等を読み取り、崩壊前の形状を推定



地すべり地形のコンター図から、初期水位波形の算定に必要なパラメータを図読

○海底地すべりによる津波を評価するには、崩壊前後の海底地すべり地形から、津波の伝播計算に必要な初期水位波形を予測する必要がある。



- ①実験や海底地すべりの数値解析モデルの再現性を確認しているWatts et al. (2005)^{※1}による予測式
 - ②佐竹・加藤(2002)^{※2}が用いた運動学的海底地すべりモデル(Kinematicモデル)による予測方法
- の2つの方法を検討

※1 Watts, P., S.T. Grilli, D.R. Tappin, and G.J. Fryer (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.

※2 佐竹健治・加藤幸弘,2002,「1741年寛保津波は渡島大島の山体崩壊によって生じた」、月刊海洋/号外 No.28,pp150-160

① Wattsらの方法(初期水位波形の予測1/2)

○Watts et al. (2005)^{※1}が提案する初期水位波形の予測式は、次式で表される。

$$\eta(x, y) = -\frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{\min}} \operatorname{sech}^2 \left(\kappa \frac{y - y_0}{w + \lambda_0} \right) \left(\exp \left\{ -\left(\frac{x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} - \kappa' \exp \left\{ -\left(\frac{x - \Delta x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} \right)$$

$$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$$

ここで、 η_{3D} :現象が3次元的な場合の最大水位低下、 w :地すべり塊の幅、 η_{\min} :振幅を除く第1式右辺の最小値、 κ, κ' :形状パラメータ(ただし、 $\kappa = 3$ としてよい)

○上式に必要なパラメータ($w, \eta_{0,2D}, \lambda_0$:特性津波波長、 $\Delta x(= \lambda_0/2)$)は、崩壊後の地形から図読、もしくは津波振幅等の予測式から別途算出する。

※1 Watts, P., S.T. Grilli, D.R. Tappin, and G.J. Fryer (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.

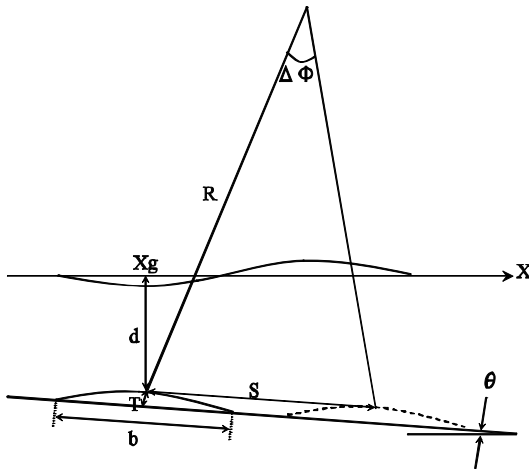
※2 Grilli, S.T., and P. Watts (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. I: Modeling, Experimental Validation, and Sensitivity Analysis, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.283-297.

①Wattsらの方法(初期水位波形の予測2/2)

14

○津波振幅等は、Grilli and Watts (2005)^{※1}ならびにWatts et al.(2005)^{※2}が提案している実験の再現性に優れた予測式を適用する。

【津波振幅予測式の概念図および推定式】



SMF: Submarine mass failure
 b: SMF長さ
 d: 初期のSMF最小水深
 T: SMFの厚さ
 w: SMFの幅
 θ : 斜面勾配
 γ : SMFの比重
 X_g : 初期水深がdとなる位置の座標
 C_m : 付加質量係数(=1)
 C_d : 抗力係数(=0)
 S : 移動距離
 S_0 : 特性距離(=S/2)
 C_n : 底面摩擦係数(= $S_0/(R \cos \theta)$)
 R : 曲率半径(= $b^2/8T$)
 $\Delta \Phi$: 回転角(= $2S_0/R$)
 a_0 : 初期加速度(= S_0/t_0^2)
 u_{max} : 最大速度(= S_0/t_0)
 t_0 : 特性時間
 $t_0 = \sqrt{\frac{R}{g} \frac{\gamma + C_m}{\gamma - 1}}$
 λ_0 : 特性津波波長(= $t_0 \sqrt{gd}$)
 $\eta_{0.2D}$: $X=X_g$ における最大水位低下量

$$\eta_{0.2D} = S_0 \left[\frac{0.131}{\sin \theta} \right] \left[\frac{T}{b} \right] \left[\frac{b \sin \theta}{d} \right]^{1.25} \left[\frac{b}{R} \right]^{0.63} \times (\Delta \Phi)^{0.39} (1.47 - 0.35(\gamma - 1))(\gamma - 1)$$

※1 Grilli, S.T., and P. Watts (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. I: Modeling, Experimental Validation, and Sensitivity Analysis, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.283-297.

※2 Watts, P., S.T. Grilli, D.R. Tappin, and G.J. Fryer (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.

②運動学的地すべりモデル: Kinematicの方法(初期水位波形の予測)

15

津波計算のための地すべりモデル

運動学的パラメーター

すべり伝播速度 U

継続時間 T

変位量

距離

すべり前面の移動速度

距離

変位量

距離

変位量

距離

運動学的地すべりモデルの概念図(佐竹・加藤,2002*)

>地すべり発生箇所における海面変化

- ・海底地形変化は地すべりの伝播速度 U と各地点での継続時間 T で規定される。
- ・地すべりの前面は速度 U で移動する。 U には鉛直成分 U_z を与条件とした。
- ・各地点の比高変化は継続時間 T で完了する。
- ・ここで求めた時間刻みあたりの地形変化量が海面水位と海底地形にそのまま反映されるものとして、その時点での水位と海底地形に上積みする。

>津波伝播計算

- ・非線形長波理論に基づく、通常津波解析に用いられる平面二次元モデルを適用。

※ 佐竹健治・加藤幸弘,2002,「1741年寛保津波は渡島大島の山体崩壊によって生じた」、月刊海洋/号外 No.28,pp150-160

15

採用したパラメータおよび波源振幅の推定値 (Wattsらの方法)

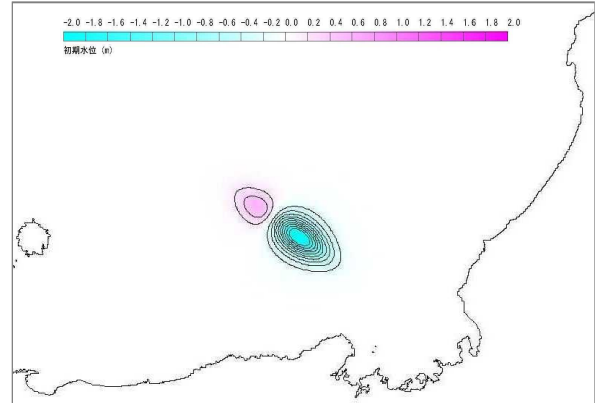
16

| 項目 | 値 | 備考 |
|---------------------------|--------|---|
| γ (-) | 1.4 | 地質調査所・海洋地質図説明書※1 |
| b (m) | 9,600 | 崩壊部長さ9.6km※2 |
| T (m) | 130 | 崩壊部の頂点における崩壊深さ※2 |
| w (m) | 6,200 | 崩壊部幅6.2km※2 |
| d (m) | 700 | 崩壊部頂点の水深830m-崩壊深さ130m※2 |
| θ (deg.) | 1.73 | 崩壊部頂点から堆積部中央の距離15.2kmと、崩壊高さ460m ($d=700$ mと崩壊前における堆積部中央の水深1190m-30m=1160mの差)から算出※2 |
| g (m/s ²) | 9.8 | |
| Cd | 0 | |
| Cm | 1 | |
| S | 15,200 | 崩壊部頂点から堆積部頂点の距離15.2km※2 |
| S_0 | 7,600 | $S/2$ |
| Cn | 0.086 | $=S_0 / (R \cos \theta)$ |
| R (m) | 88,615 | $=b^2/8T$ |
| a_0 (m ² /s) | 0.140 | $=S_0/t_0^2$ |
| t_0 (sec) | 233 | eq. (20), part I |
| λ_0 (m) | 19,292 | eq. (9), part I |
| $\Delta \Phi$ (rad) | 0.172 | $2S_0/R$ |
| u_{max} (m/s) | 32.63 | $=S_0/t_0$ |
| ΔX (m) | 9,646 | $=\lambda_0/2$ |
| κ | 0.625 | 崩壊部の深さ:130m, 堆積部の高さ:30mから、上昇側のピーク水位が下降側の1/4として算出 |



| 波源振幅の推定値 | |
|-------------------|------|
| $\eta_{0,2D}$ (m) | 9.79 |
| $\eta_{0,3D}$ (m) | 2.38 |

初期水位分布コンター図



※1 片山肇、佐藤幹夫、池原研「海洋地質図 38 経ヶ岬沖表層堆積図説明書 1:200,000」平成5年 地質調査所
 ※2 地すべり地形のコンター図(p11)からの図説による値

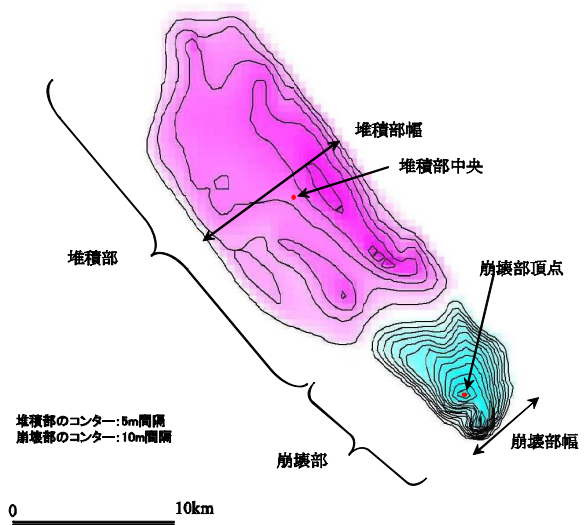
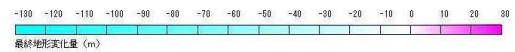
採用したパラメータ (Kinematicモデル)

17

【計算条件】

| 項目 | 設定値 |
|------------|--------|
| 設定位置格子サイズ | 450m |
| 鉛直方向破壊伝播速度 | 1m/s※1 |
| 破壊継続時間 | 2分※2 |

【地すべり最終地形変化量】
(Kinematicモデルへの入力コンター)

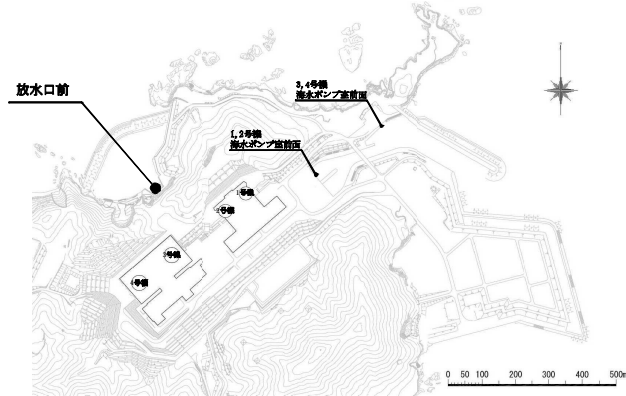


※1 $U_{max}=32.628$ m/s (P16)であることから、 $U_z=U_{max} \sin \theta = 32.63 \times \sin 1.73 = 0.99$ m/sとなり1m/sと設定した。
 また、干木良雅弘「真相崩壊の実態、予測、対応」京都大学防災研究所、平成24年2月によれば、「深層崩壊は、大規模で時速100kmをも超えるような急激な土石の移動を伴うものである」との記載がある。
 ※2 崩壊部の深さ130m÷鉛直方向破壊伝播速度1m/s=2分程度から設定している。

Wattsらによる方法とKinematicモデルとの結果比較

18

○津波伝播計算は、Wattsらによる方法およびKinematicモデルによる初期水位波形をもとに、地震による津波の伝播計算と同じ手法を用いて実施した。



【計算結果】評価地点における最高(最低)水位※1(単位はT.P.(m))

| 解析手法 | 放水口前 最高水位 | 1,2号機海水ポンプ室前面 | | 3,4号機海水ポンプ室前面 | |
|--------------|--------------|---------------|-------|---------------|-------|
| | | 最高水位 | 最低水位 | 最高水位 | 最低水位 |
| Wattsらによる方法 | 1.90 | 1.91 | -1.06 | 1.74 | -0.83 |
| Kinematicモデル | 3.59 | 1.26 | -0.98 | 1.22 | -0.76 |

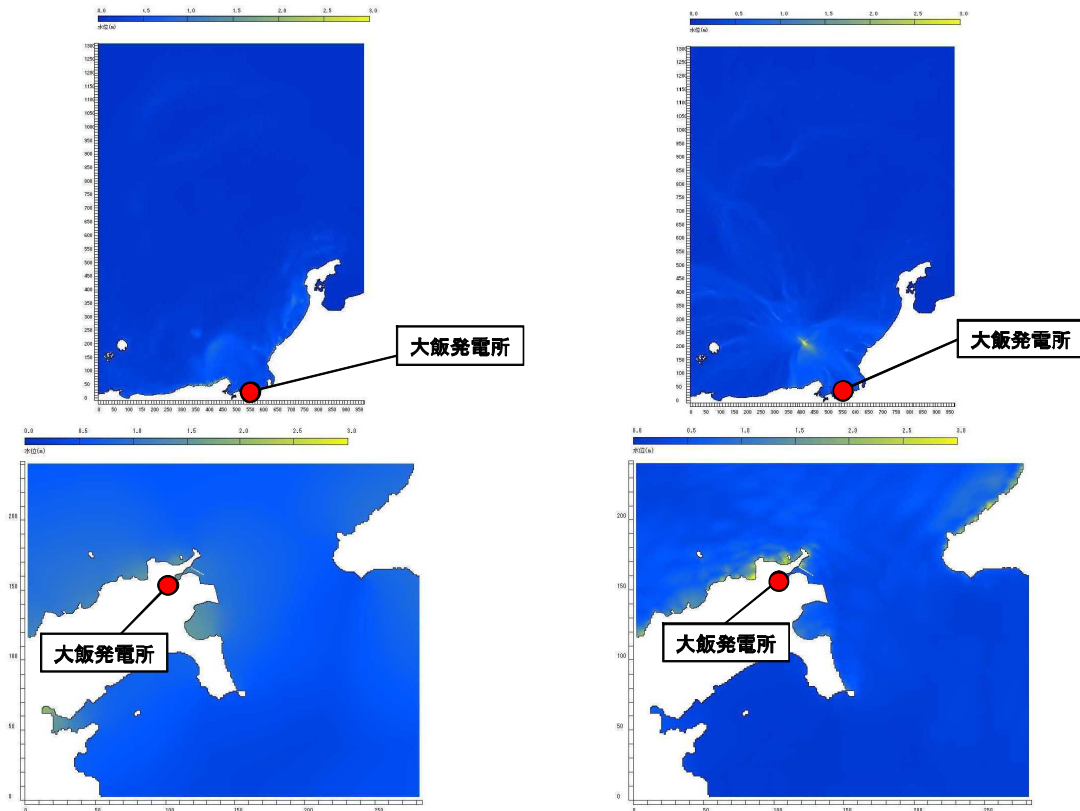
※1 最高水位, 最低水位および設計津波水位はいずれも期望平均満潮位あるいは期望平均干潮位を含む値

(参考)海底地すべりによる最高水位分布

19

【Wattsらの方法を用いた検討結果】

【Kinematicモデルによる検討結果】



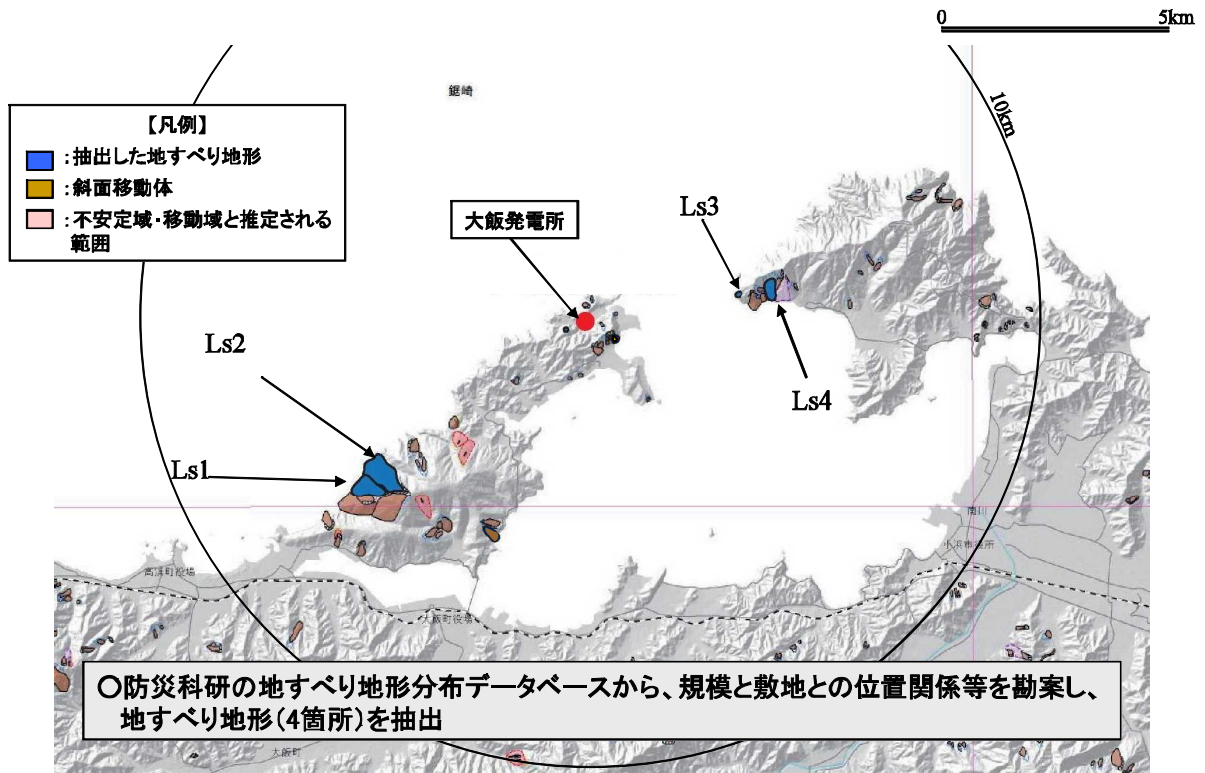
陸上の斜面崩壊(地すべり)による津波の評価

陸上の斜面崩壊(地すべり)による津波に関する検討方針

- 防災科研の地すべり地形分布図データベース※から、大飯発電所から半径10km程度以内にある地すべり地形を抽出し、それぞれの崩壊土砂量、距離等から、発電所への影響の最も大きなもの上位2つを選定(p22-24)
- 地すべりが引き起こす津波評価において、土砂崩壊シミュレーションから津波の初期水位形状の予測方法に関する解析の流れを検討(p25-31)
- 地すべりが引き起こす津波の予測に必要な土砂崩壊シミュレーションを実施するため、2つの地すべり地形について航空写真や現地踏査による詳細な判読を行い、その結果から、崩壊範囲、崩壊土砂量、崩壊土砂を剥ぎ取った地形データを算出。あわせて入力パラメータを検討。(p32-35)
- 土砂崩壊シミュレーションにより、地すべりが海面に突入するまでの時刻歴変化を解析。(p36-37)
- 土砂崩壊シミュレーションの結果から得られた崩壊土砂の形状、突入速度等のパラメータをもとに、複数の方法(Watts他による方法とKinematicモデル)で初期水位形状を予測。(p38-40)
- 上記2手法により予測された初期水位波形から、津波伝播計算を実施し、大飯発電所の評価地点における最も影響の大きい津波を評価(p41-43)

※ 独立行政法人 防災科学技術研究所 <http://isweb1.ess.bosai.go.jp/>

【発電所周囲10km程度の斜面崩壊箇所】
 (防災科学技術研究所「地すべり地形分布図」に加筆)



斜面崩壊地形のスクリーニング

○抽出した4箇所の地すべり地形について、崩壊部の体積、すべり角、発電所までの距離を算定し、斜面崩壊の室内実験から導かれた次式 (Huber and Hager(1997)*)を適用して、発電所における津波の全振幅を推定した。

$$\frac{H_I}{d_I} = 2 \cdot 0.88 \sin \alpha \cos^2 \left[\frac{2\gamma}{3} \right] M^{1/2} \left[\frac{\rho_s}{\rho_w} \right]^{1/4} \left[\frac{r}{d_I} \right]^{-2/3}$$

$$M = Vs/bd_I^2$$

- Reservoir water depth d near the impact site
- Reservoir topography,
- Distancex and radius r from the impact site to the location considered, and wave propagation direction γ

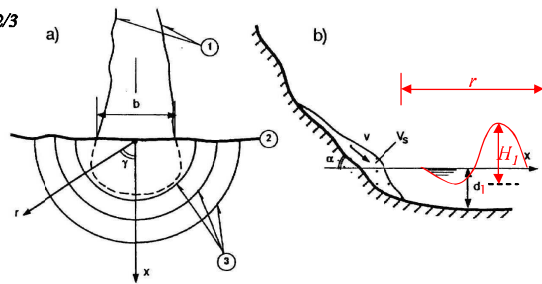


Fig. 1
 Slide layout (a) and section (b) with main parameters of impulse wave
 Vues schématiques en plan (a) et transversale (b) du glissement, avec désignation des paramètres principaux utilisés dans la description des ondes de translation

Huber and Hager(1997)*に加筆

なお、水深の違いによる波高の上昇を考慮した式として、次式も示している。

$$H_2/H_1 = (d_1/d_2)^{1/4}$$

(添え字は、地点1,2での値)

* Huber, A. and W.H. Hager(1997): Forecasting impulse waves in reservoirs. Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages C31:993-1005. Florence, Italy. Commission International des Grands Barrages, Paris.

- Huber and Hager(1997)^{*1}の予測式に必要な土量の長さ、幅、すべり傾斜面、進行角、発電所までの距離は、地すべり地形分布データベースから図読、厚さは高速道路調査会(1985)^{*2}から崩壊土砂の幅に応じて推定。
- 突入位置および発電所前面における水深は、海底地形図^{*3}から図読。

【発電所での全振幅推定結果】

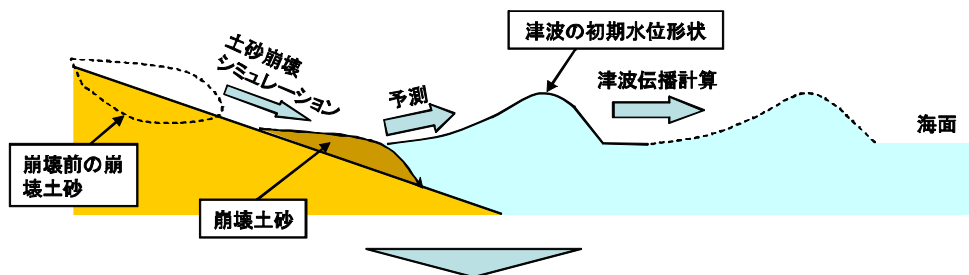
| 地すべり箇所 | 長さL(m) | 幅b(m) | 厚さt(m) | 土量Vs=L×b×t(m ³) | すべり面傾斜角α(°) | 進行角γ(°) | 突入位置水深d1(m) | 発電所前面水深d2(m) | 発電所までの距離r(m) | 発電所での全振幅(m) |
|--------|--------|-------|--------|-----------------------------|-------------|---------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| Ls1 | 400 | 200 | 29 | 2,320,000 | 28 | 90 | 15 | 10 | 6,000 | 0.44 |
| Ls2 | 540 | 280 | 40 | 6,048,000 | 28 | 90 | 15 | 10 | 5,700 | 0.52 |
| Ls3 | 150 | 80 | 16 | 192,000 | 32 | 0 | 15 | 10 | 3,400 | 1.59 |
| Ls4 | 400 | 250 | 36 | 3,600,000 | 28 | 60 | 15 | 10 | 4,200 | 1.03 |

○上記結果から、発電所での全振幅の上位2つ(Ls3、Ls4)について、詳細に検討する。

^{*1} Huber, A. and W.H. Hager(1997): Forecasting impulse waves in reservoirs. Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages C31:993-1005. Florence, Italy. Commission International des Grands Barrages, Paris.
^{*2} 「地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書(日本道路公団委託)昭和60年2月財団法人高速道路調査会」によれば、「一般の単一ブロックの地すべりで幅50～100mではその比は大体5～7のものが多く、幅がこれより大きくなるにつれて、この比も大きくなり、200m前後では7～10、300mを越えると10～15程度となると思われる。」との記載がある。
^{*3} 沿岸の海の基本図(5万分の一)、若狭湾西部、1海底地形図(第6337号)、昭和55年8月刊行、海上保安庁

地すべりによる津波評価における解析の流れ

○地すべりが引き起こす津波を評価するには、海面に突入する崩壊土砂の動きを解析(土砂崩壊シミュレーション)し、津波の初期水位形状を予測する必要がある。

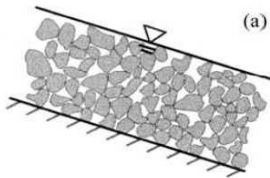


- 土砂崩壊シミュレーションは、崩壊土砂の動きを時刻歴で解析することが可能な解析コード(TITAN2D^{*1})を使用する。
- 津波の初期水位形状の予測式は、
 - ①実験や海底地すべりの数値解析モデルの再現性を確認しているWatts et al. (2005)^{*2} 他による予測式
 - ②佐竹・加藤(2002)^{*3}が用いた運動学的海底地すべりモデル(Kinematicモデル)による予測方法
 の2つの方法を検討する。

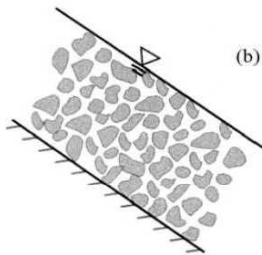
^{*1} TITAN2D User Guide Release 2.0.0, 2007.07.09, Geophysical Mass Flow Group (GMFG), University at Bualo, NY, USA, July 27, 2007
^{*2} Watts, P., S.T. Grilli, D.R. Tappin, and G.J. Fryer (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.
^{*3} 佐竹健治・加藤幸弘,2002,「1741年寛保津波は波島大島の山体崩壊によって生じた」、月刊海洋/号外 No.28,pp150-160

○本検討で使用する土砂崩壊シミュレーション(TITAN2D[※])では、崩壊土砂を多数の粒子の集合体からなる連続体とみなし、その流動に関して重力を駆動力とする運動方程式を力学的に記述して数値的に解く方法を用いる。

○粒子流は、(a)、(b)に示すような2つの状態を遷移しながら流下すると仮定している。



(a)内部摩擦が卓越している(傾斜がゆるく速度が小さい)状態にある粒子流



(b)粒子間の衝突が卓越している(傾斜が急で速度が大きい)状態にある粒子流

※ TITAN2D User Guide Release 2.0.0, 2007.07.09, Geophysical Mass Flow Group (GMFG), University at Bualo, NY, USA, July 27, 2007

土砂崩壊シミュレーション(支配方程式)

○連続の式[※]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \overline{hu}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{hv}}{\partial y} = 0$$

○運動方程式[※]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \overline{hu}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\overline{hu^2} + \frac{1}{2} k_{ap} g_z h^2 \right) + \frac{\partial \overline{huv}}{\partial y} \\ & = -hk_{ap} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right) \frac{\partial \overline{hg_z}}{\partial y} \sin \phi_{int} - \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \left[g_z h \left(1 + \frac{u}{r_x g_x} \right) \right] \tan \phi_{bed} + g_x h \end{aligned}$$

ここで、hは層厚、u、vは速度、 k_{ap} は主動(受動)土圧係数、gは重力加速度、rは斜面の曲率、 ϕ_{int} は内部摩擦角、 ϕ_{bed} は底面摩擦角、sgn:実数aに対して、 $\operatorname{sgn}(a) = 1, (a \geq 0)$ 、 $-1, (a < 0)$ である。
(上付きのバーは層の断面方向の平均を、添え字のx、y、zはそれぞれの座標軸方向の成分を示す)。

※ TITAN2D User Guide Release 2.0.0, 2007.07.09, Geophysical Mass Flow Group (GMFG), University at Bualo, NY, USA, July 27, 2007

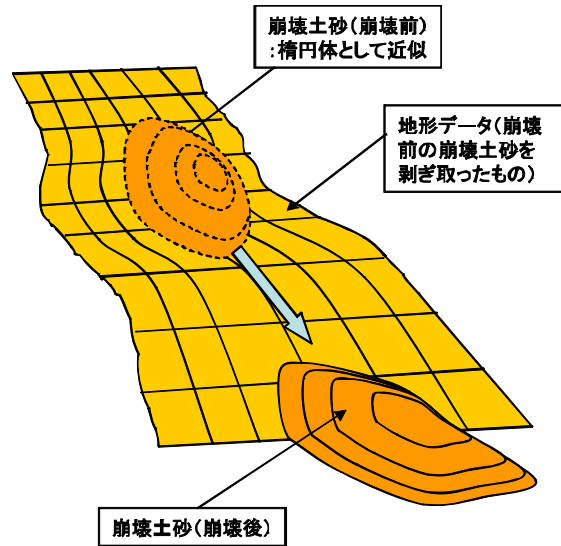
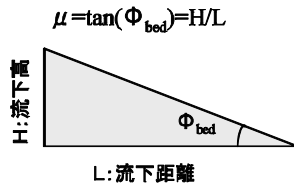
➤地形データ: 崩壊土砂を剥ぎ取った地形データ

➤物性パラメータ

内部摩擦角: ϕ_{int}

底面摩擦角: ϕ_{bed}

- $\tan(\phi_{bed})$ が等価摩擦係数 μ に相当
- 崩壊物の流下高Hと流下距離Lの関係式



➤崩壊土砂の形状

長軸 X_r , 短軸 Y_r , 高さ Z_r の楕円体として与える。

○推定した地すべり地形から、土砂崩壊シミュレーションに必要な地形データ、崩壊土砂量を決定するとともに、文献を参照して物性パラメータを設定。

①Watts他による方法(初期水位波形の変換式)

○土砂崩壊シミュレーションの結果から、津波の初期水位波形を予測するため、Watts et al.(2005)^{※1}の式を使って、以下のとおり適用した。

$$\eta(x, y) = \frac{\eta_{0,3D}}{\eta_{max}} \operatorname{sech}^2 \left(\kappa \frac{y - y_0}{w + \lambda_0} \right) \left(\exp \left\{ - \left(\frac{x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} - \kappa' \exp \left\{ - \left(\frac{x - \Delta x - x_0}{\lambda_0} \right)^2 \right\} \right)$$

$$\eta_{0,3D} = \eta_{0,2D} \left(\frac{w}{w + \lambda_0} \right)$$

ここで、wは地すべり塊の幅、 λ_0 は特性津波波長、 η_{max} : 第2式の振幅を除く右辺の最大値、 κ : 3としてよい、 x_0, y_0 : 地すべりの初期位置である。

○上式に必要なパラメータ(w、 $\eta_{0,2D}$ 、 λ_0 ・特性津波波長、 $\Delta x (= \lambda_0/2)$)は、津波振幅および特性波長の予測式から算出する。

※1 Watts, P., S.T. Grilli, D.R. Tappin, and G.J. Fryer (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. II: Predictive Equations and Case Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.298-310.
 ※2 Grilli, S.T., and P. Watts (2005): Tsunami Generation by Submarine Mass Failure. I: Modeling, Experimental Validation, and Sensitivity Analysis, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, pp.283-297.

①Watts他による方法(波源振幅および特性津波波長)

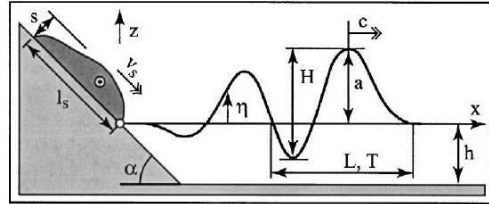
30

○波源振幅 $\eta_{0,2D}$ ($=a_c$) は、Fritz et al.(2004)^{※1}による波源振幅予測式の入力パラメータ(=説明変数)と出力パラメータ(=目的変数)を示す。

$$\frac{a_c}{h} = 0.25 \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right)^{1.4} \left(\frac{s}{h} \right)^{0.8}$$

a_c : 最大水位上昇量
 h : 海域静水深
 v_s : 土塊の突入速度^{※2}
 s : 土塊の層厚^{※2}
 g : 重力加速度

【変数の定義】



○水位分布の予測式に必要な特性津波波長 λ_0 ($=L_1$)については、波源振幅を示したFritz et al.(2004)^{※1}が提案する次式を使用する。

【山体崩壊による津波を対象とした波長の予測式】

$$\frac{L_1(x/h=5)}{h} = 8.2 \left(\frac{v_s}{\sqrt{gh}} \right)^{0.5} \left[\frac{V_s}{bh^2} \right]^{0.2}$$

L_1 : 第一波の波長
 h : 静水面深さ
 v_s : 土塊の突入速度^{※2}
 V_s : 土塊の体積^{※2}
 b : 土塊の幅^{※2}
 g : 重力加速度

※1 H. M. Fritz1; W. H. Hager2; and H. B. Minor, Near Field Characteristics of Landslide Generated Impulse Waves, JOURNAL OF WATERWAY, PORT, COASTAL, AND OCEAN ENGINEERING © ASCE / NOVEMBER/DECEMBER 2004

※2 TITAN2Dによる土砂崩壊シミュレーションの結果を使用

②運動学的地すべりモデル(Kinematic)による方法

31

津波計算のための地すべりモデル

運動学的パラメーター

すべり伝播速度 U

継続時間 T

時間

変位量

距離

変位量

距離

継続時間 T

すべり前面の移動速度

距離

運動学的地すべりモデルの概念図(佐竹・加藤,2002[※])

➤地すべり発生箇所における海面変化

- ・海底地形変化は地すべりの伝播速度Uと各地点での継続時間Tで規定される。
- ・地すべりの前面は速度Uで移動する。Uには鉛直成分Uzを与条件とした。
- ・各地点の比高変化は継続時間Tで完了する。
- ・ここで求めた時刻あたり地形変化量が海面水位と海底地形にそのまま反映されるものとして、その時点での水位と海底地形に上積みする。

➤津波伝播計算

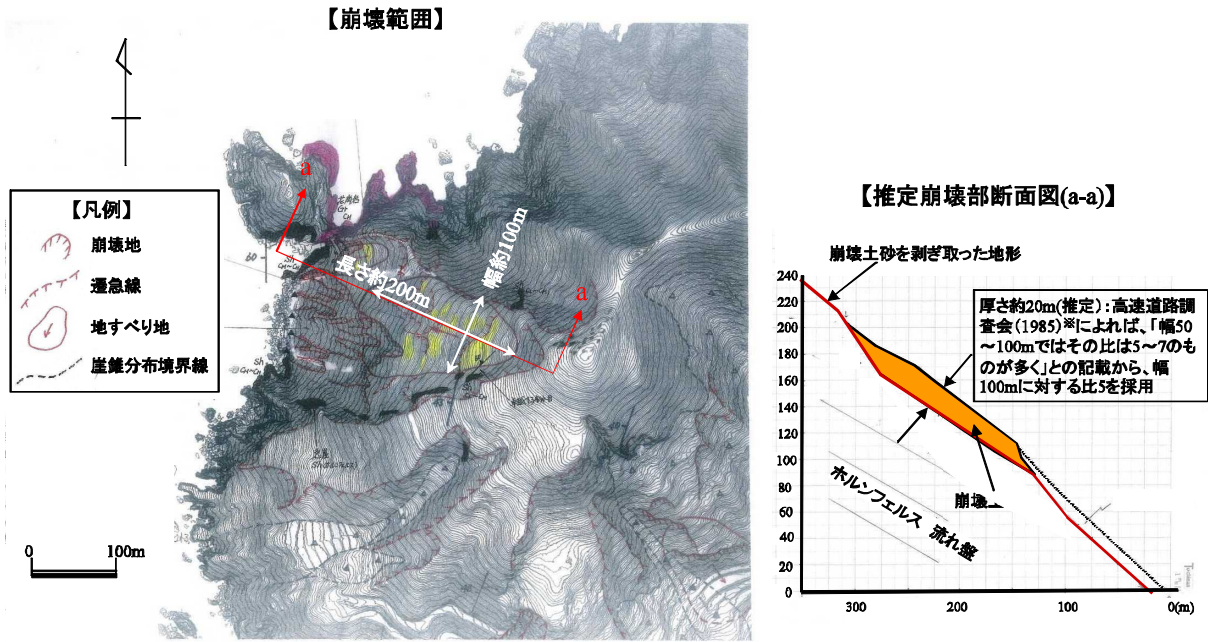
- ・非線形長波理論に基づく、通常津波解析に用いられる平面二次元モデルを適用。

○Kinematicモデルへは、TITAN2Dで得られた崩壊土砂の時刻歴変形量、伝播速度、継続時間等を直接入力する。

※ 佐竹健治・加藤幸弘,2002,「1741年寛保津波は渡島大島の山体崩壊によって生じた」、月刊海洋/号外 No.28,pp150-160

地すべり地形(Ls3)の検討

32

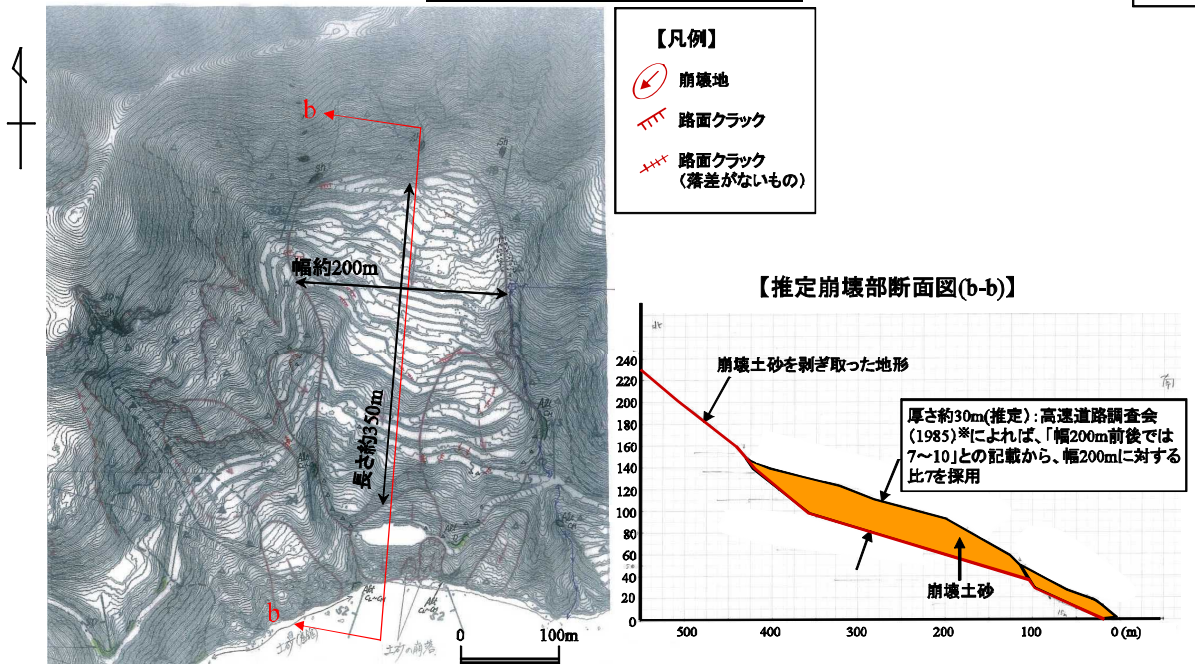


- 航空写真、レーザー測量による1/5,000地形図や、現地踏査の結果から、滑落崖などを確認し、地すべり地形範囲を詳細に判読するとともに、高速道路調査会(1985)*から崩壊土砂の厚さを推定して、崩壊土砂量434,000m³を算出した。
- 崩壊土砂を剥ぎ取った地形から、土砂崩壊シミュレーションに必要な地形データを作成した。

*「地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書(日本道路公団委託)昭和60年2月財団法人高速道路調査会」

地すべり地形(Ls4)の検討

33



- 航空写真、レーザー測量による1/5,000地形図や、現地踏査の結果から、滑落崖などを確認し、地すべり地形範囲を詳細に判読するとともに、高速道路調査会(1985)*から崩壊土砂の厚さを推定して、崩壊土砂量1,507,000m³を算出した。
- 崩壊土砂を剥ぎ取った地形から、土砂崩壊シミュレーションに必要な地形データを作成した。

*「地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書(日本道路公団委託)昭和60年2月財団法人高速道路調査会」

H/Lの値については、参照となる基準類がないことから、H/Lと崩壊土砂の体積との相関に関する文献を調査
調査文献は、地すべりの実例データから回帰式を推定した森脇(1987)¹、Siebert(2002)²を参照

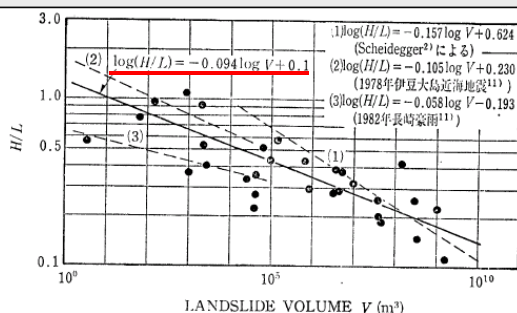


図-5 H/Lと崩壊土量Vの関係
H: 流下高, L: 到達距離

Fig. 5 Correlation between H/L and landslide volume V
H: runout height, L: runout distance

【森脇(1987)¹に追記】

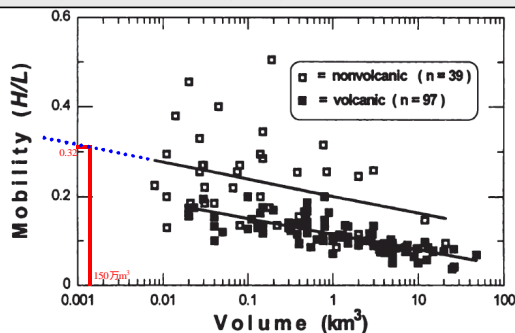


Figure 4. Semilogarithmic comparison of mobility (ratio of fall height to travel distance, H/L) and volume of nonvolcanic (data from Voight et al., 1985) and volcanic debris avalanches.

【Siebert(2002)²】

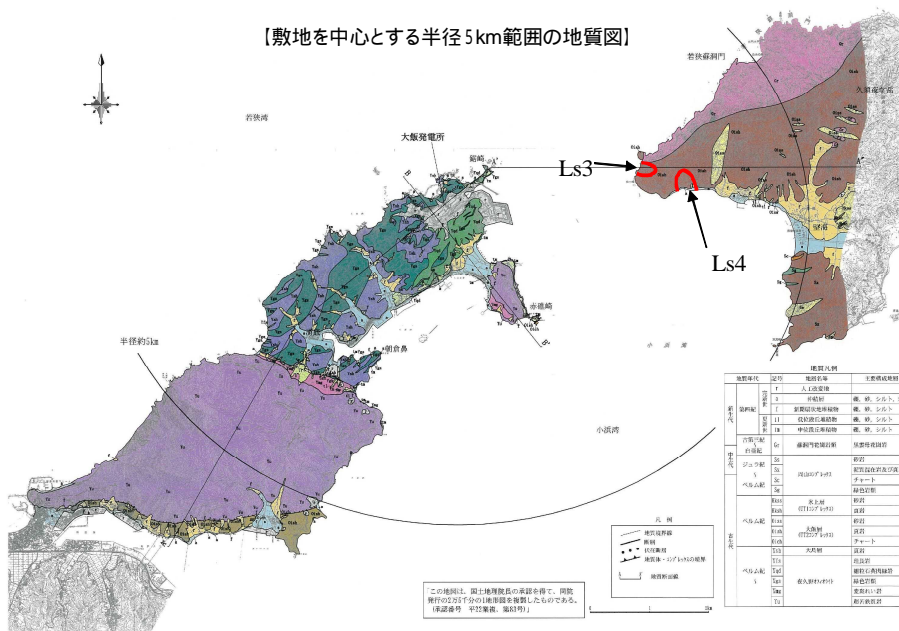
| 地すべり地形 | 崩壊土砂量 (m³) | H/L | |
|--------|------------|---------------------------------|---|
| | | 森脇(1987) ¹ (回帰式から算出) | Siebert(2002) ² (回帰式から読み取り・外挿) |
| Ls3 | 434,000 | 0.373 | 0.32以上 |
| Ls4 | 1,507,000 | 0.331 | 0.32 |

入力するH/Lは、上記結果を参考に、保守的に0.3で設定

- 1 森脇寛(1987)、「崩土の到達距離予測」、地すべり第24巻 第2号、Journal of Japan Landslide Society 24-2, pp13-14
- 2 Siebert, L.(2002): Landslides resulting from structural failure of volcanoes, In Evans, S.G. and DeGraff, J.V., (ed.) Catastrophic landslides: effects, occurrence, and mechanisms., Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, pp.209-235

地すべり地形周辺の地質および内部摩擦角の設定

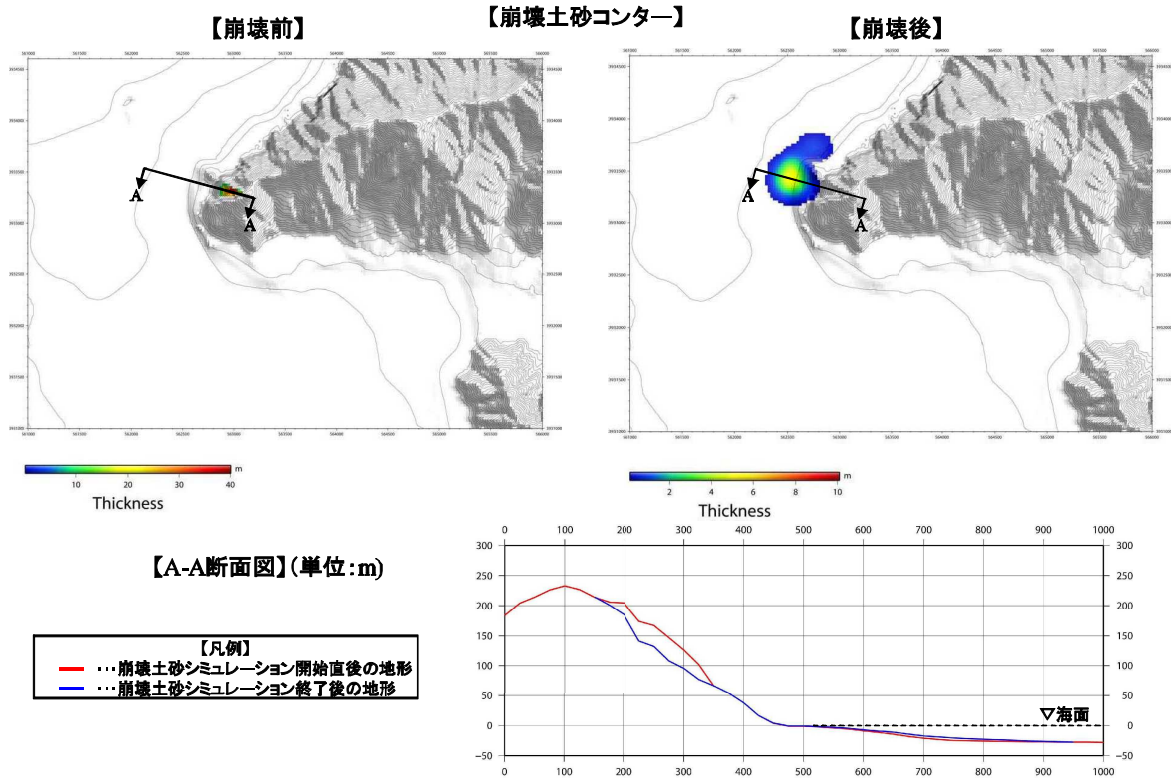
地表地質図から、Ls3、4は、Oish(超丹波帯大飯層の頁岩)であることを確認。



内部摩擦角については、道路土工盛土工指針 によれば、礫(35~40度)、礫混じり砂(35~40度)、砂(30~35度)度であることから、本検討では安全側に30度を適用する。

土砂崩壊シミュレーション結果(Ls3)

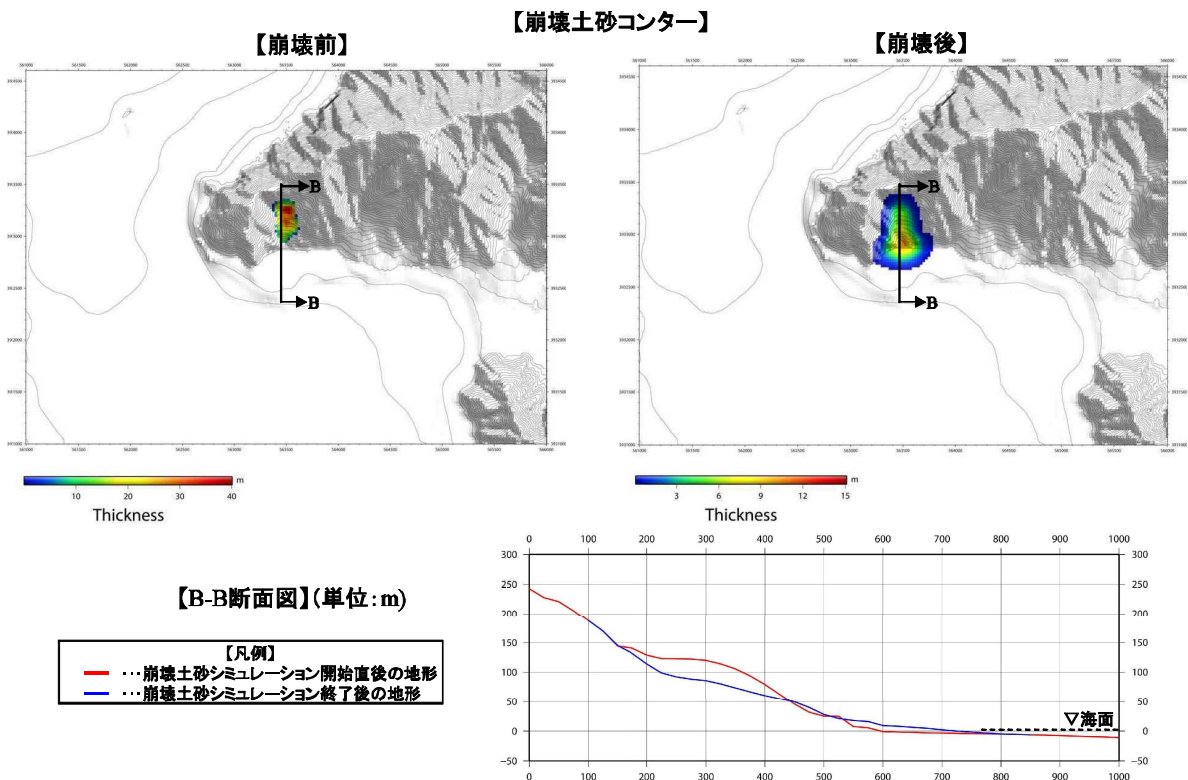
36



○崩壊土砂(434,000m³)のうち、約385,000m³が海面に突入した結果となった。

土砂崩壊シミュレーション結果(Ls4)

37



○崩壊土砂の1,507,000m³のうち、約301,000m³が海面に突入した結果となった。

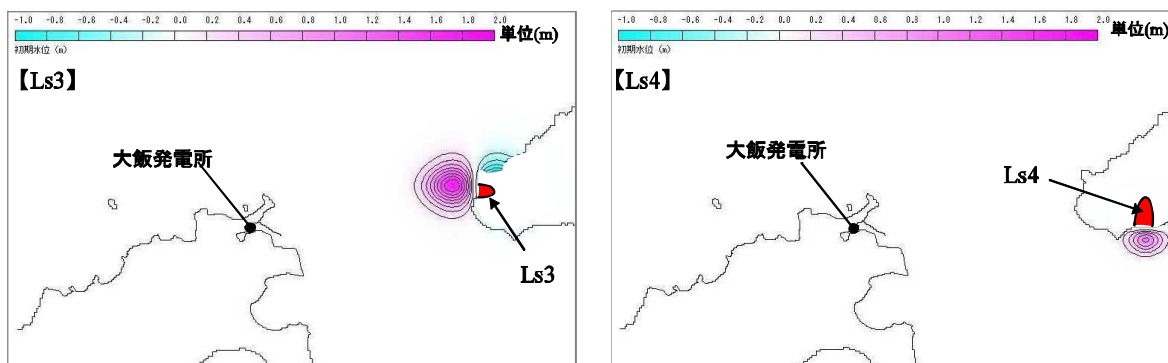
Wattsらの方法で求めた初期水位形状

38

○土砂崩壊シミュレーションから得られた崩壊土砂の体積、突入速度等から、初期水位形状を予測

| パラメータ | | 単位 | 設定値 | | 備考 |
|------------------|---------------------|-------|---------|---------|-----------------|
| | | | Ls3 | Ls4 | |
| 崩壊シミュレーションからの入力値 | 突入物体積 V_s | m^3 | 385,000 | 301,000 | TITAN2Dでの算定値 |
| | 厚さ s | m | 7.2 | 10 | 突入位置での層厚の最大値 |
| | 幅 b | m | 300 | 370 | 崩壊域周辺地形図より設定 |
| | 突入速度 v_s | m/s | 27.3 | 10.6 | 突入地点での最大速度 |
| | 水深 h | m | 40 | 30 | 崩壊域～サイト間の水深より設定 |
| 初期水位計算出力 | 2次元振幅 $\eta_{0,2D}$ | m | 3.98 | 1.59 | |
| | 第1波波長 λ_0 | m | 369 | 190 | |
| | 3次元振幅 $\eta_{0,3D}$ | m | 1.78 | 1.05 | 初期水位分布最大値 |

【初期水位分布コンター】

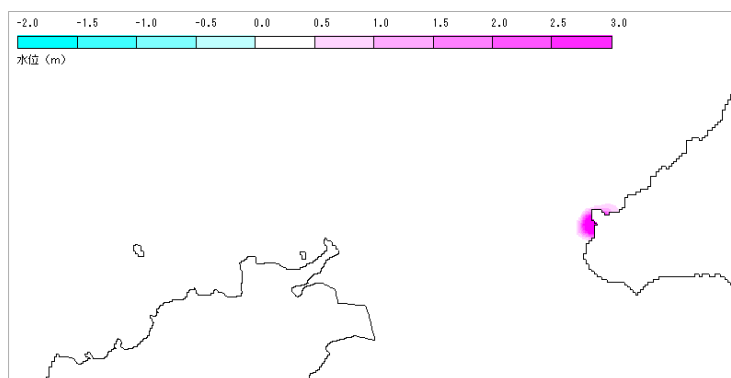


運動学的地すべりモデル(Kinematic)による津波波形の変化(Ls3)

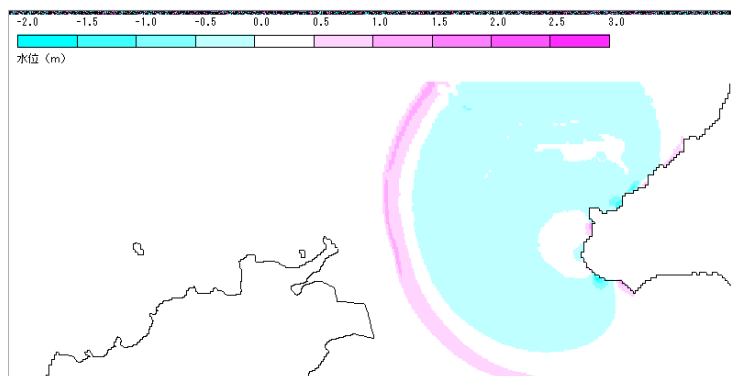
39

○TITAN2Dの解析結果である時刻歴の土砂層厚の変化量を、津波計算の水位および地形に与え、伝播計算を実施

【地すべり開始後10秒】



【地すべり開始後100秒】

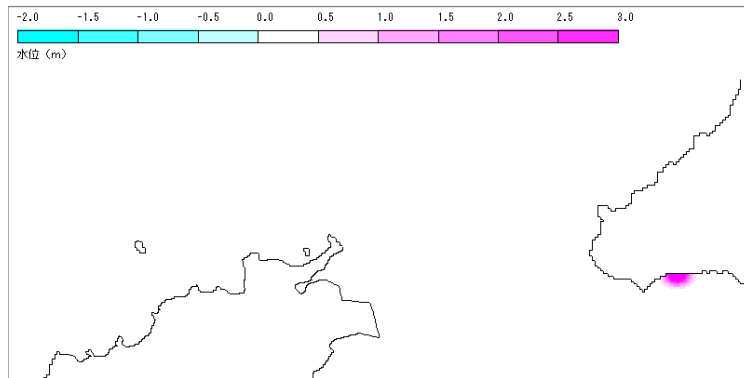


運動学的地すべりモデル(Kinematic)による津波波形の変化(Ls4)

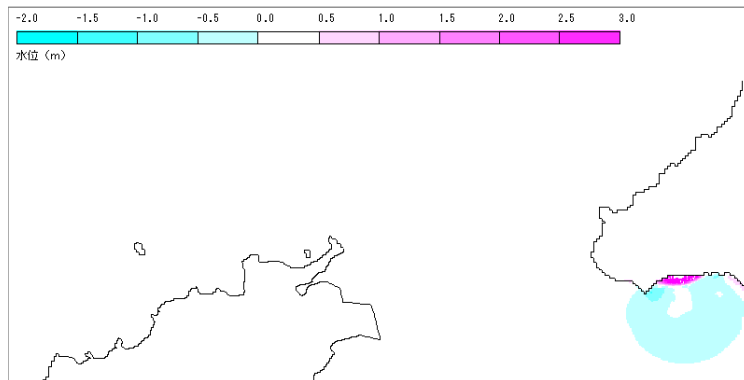
40

OTTAN2Dの解析結果である時刻歴の土砂層厚の変化量を、津波計算の水位および地形に与え、伝播計算を実施

【地すべり開始後20秒】

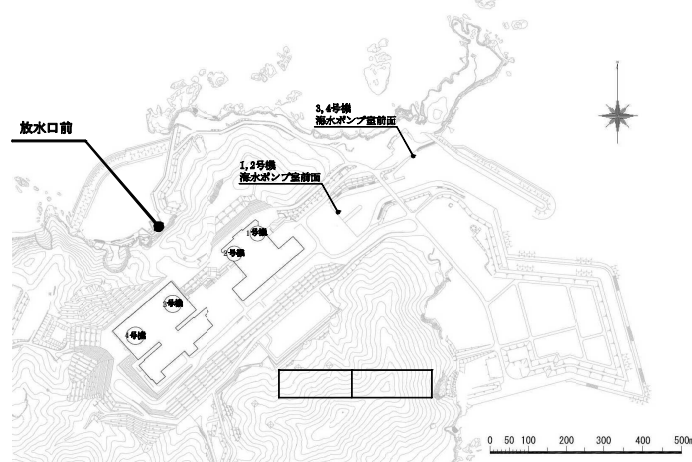


【地すべり開始後100秒】



津波水位評価結果

41



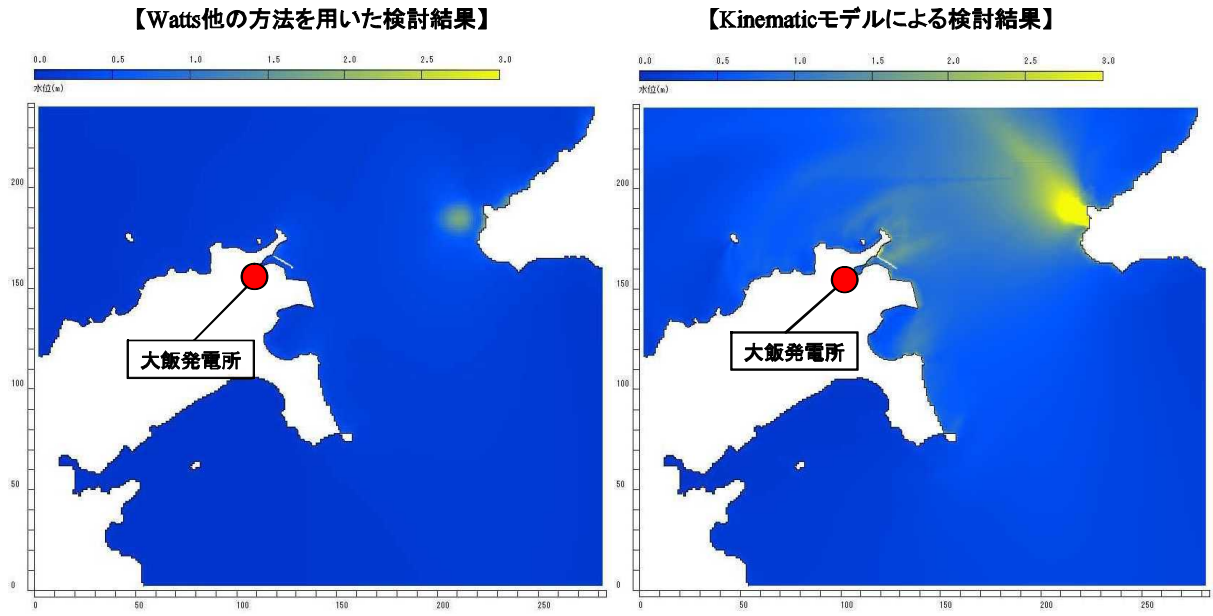
【計算結果】評価地点における最高(最低)水位*(単位はT.P.(m))

| 地すべり地形 | 初期水位の予測方法 | 放水口前 最高水位 | 1,2号機海水ポンプ室前面 | | 3,4号機海水ポンプ室前面 | |
|--------|--------------|--------------|---------------|-------|---------------|-------|
| | | | 最高水位 | 最低水位 | 最高水位 | 最低水位 |
| Ls3 | Watts他の予測式 | 0.83 | 0.85 | -0.52 | 0.94 | -0.53 |
| | Kinematicモデル | 1.68 | 1.41 | -0.65 | 2.11 | -1.20 |
| Ls4 | Watts他の予測式 | 0.45 | 0.54 | -0.19 | 0.47 | -0.17 |
| | Kinematicモデル | 0.53 | 0.61 | -0.26 | 0.67 | -0.31 |

※ 最高水位、最低水位および設計津波水位はいずれも期望平均満潮位あるいは期望平均干潮位を含む値

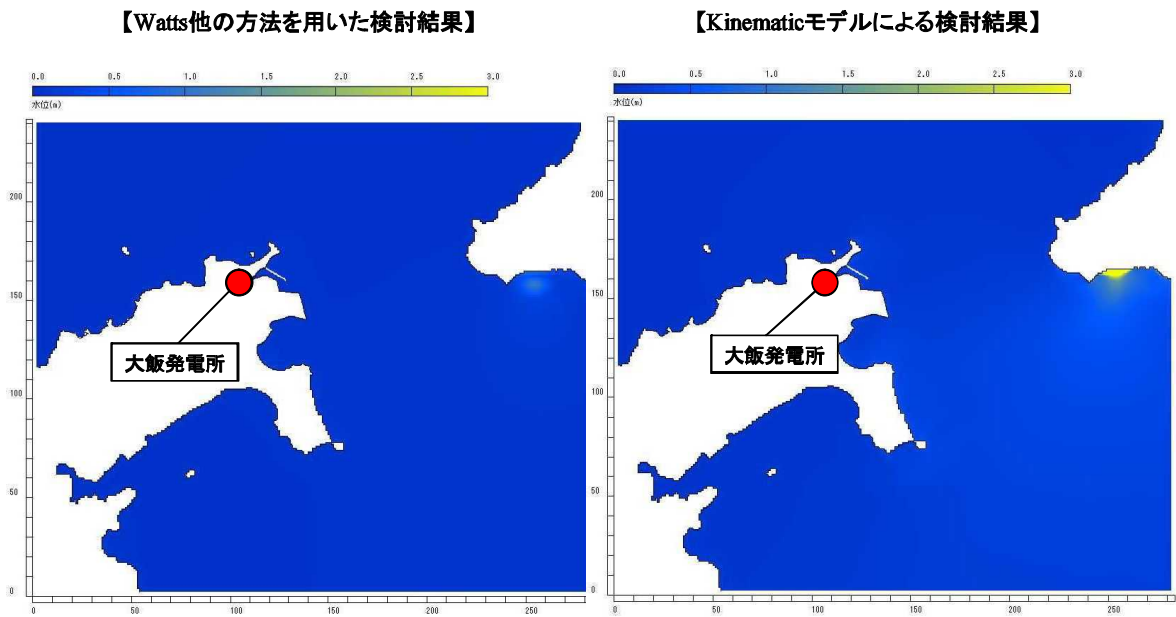
(参考)陸上の斜面崩壊(地すべり)による最高水位分布(Ls3)

42



(参考)陸上の斜面崩壊(地すべり)による最高水位分布(Ls4)

43



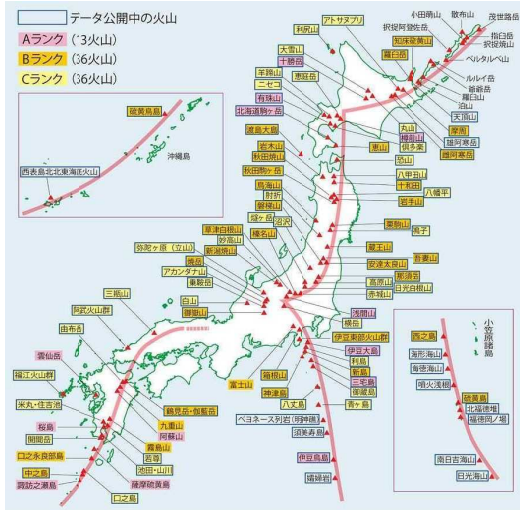
火山に伴う山体崩壊による津波の評価

検討方針

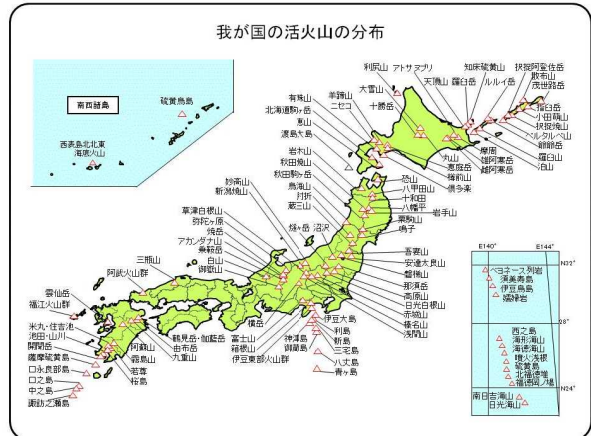
○日本海側における活火山については、文献調査を実施し、評価対象となる活火山の有無を確認するとともに、津波堆積物調査の結果(約1万年前以降をカバー)を踏まえて評価する。(p46-47)

○さらに過去の火山となる第四紀火山については、活動履歴、噴火形態、噴火規模から評価する。(p47)

○活火山に関するデータベース(産業技術総合研究所:活火山データベース^{※1}、気象庁:我が国の活火山の分布^{※2})を調査し、日本海側における活火山を抽出



活火山分布図(※1から引用)



活火山分布図(※2から引用)

○日本海側には、渡島大島(1741年活動^{※3})、利尻島(2000~7900年前活動^{※3})があるが、いずれも津波堆積物調査の結果^{※4}から、各発電所の安全性に影響を与えるような津波の痕跡は認められていない。
 ○したがって、大飯発電所の安全性に影響を与えるような活火山による山体崩壊による津波はなかったものと評価する。

※1 <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/index.html>

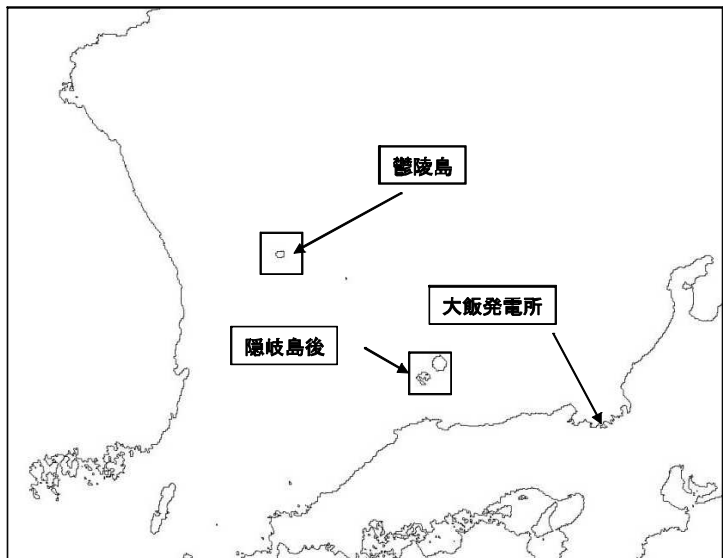
※2 http://www.seisvol.kishou.go.jp/tokyo/STOCK/kaisetsu/katsukazan_toha/katsukazan_toha.htm#katsukazan

※3 産総研HP活火山データベース火山別噴火履歴表示 <http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db099/eruption/index.html>

※4 関西電力株式会社「平成23年度東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動および津波の影響に関する安全性評価のうち完新世に関する津波堆積物調査の結果について」平成24年12月

その他の火山島に関する検討

○日本の領海においては、大飯発電所の安全性に影響を与える山体崩壊を引き起こす活火山は認められないが、日本の領海外では、若狭湾に最も近い活火山^{※1}として鬱陵島^{※2}がある。
 ○鬱陵島については、津波堆積物調査^{※3}において、同年代のボーリングコアに火山灰(鬱陵隠岐テフラ、約10,700年前^{※4})が確認されているものの、津波堆積物は認められていない。
 ○したがって、鬱陵島による津波があったとしても、大飯発電所の安全性に影響を与えるような津波はなかったものと評価する。
 ○また、第四紀火山としては、隠岐島後があるが、噴火形態が溶岩流^{※5}であること、最大活動休止期間(約47万年)よりも最新噴火年から現在に至る期間(約55万年前)のほうが長く活動性が低いこと^{※6}から山体崩壊による津波を引き起こさないと評価する。



※1 気象庁HP「活火山とは」によれば、「近年の火山学の発展に伴い過去1万年間の噴火履歴で活火山を定義するのが適当であるとの認識が国際的にも一般的になりつつある」との記載がある。

※2 スミソニアン博物館Volcanoes of the World, <http://www.volcano.si.edu/index.cfm>

※3 関西電力株式会社「平成23年度東北地方太平洋沖地震の知見等を踏まえた原子力施設への地震動および津波の影響に関する安全性評価のうち完新世に関する津波堆積物調査の結果について」平成24年12月

※4 町田洋・新井勇夫, 2003, 新編火山灰アトラス, p61, 東京大学出版会

※5 産業技術総合研究所「日本の第四紀火山」https://qbank.csi.jp/volcano/QV/VOL_JP/index.htm

※6 『山内晴喜・沢田順弘・高須 晃・小室裕明・村上 久・小林神治・田山良一、「西郷地域の地質」、地域地質研究報告、5万分の1地質図幅、岡山(12)第一号、平成21年、独立行政法人 産業技術総合研究所、地質調査総合センター』において、池田玄武岩・約129万年前、西郷玄武岩・約82万年前、約69万年前、岬玄武岩・約55万年前の記載があり、これらから最大活動休止期間を約47万年(129-82)、最新噴火年から現在に至る期間を約55万年と想定

組合せに関する検討

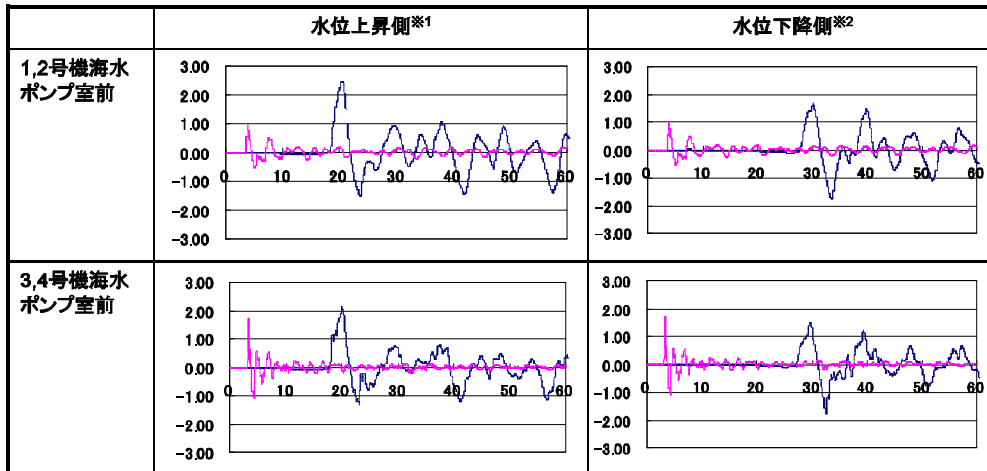
津波発生要因の組合せに関する検討について

○津波の発生要因として考慮した地震による津波、海底地すべりによる津波、陸上の斜面崩壊（地すべり）による津波について、最も影響が大きいものの組合せについて検討する。

○これらのうち、海底地すべりによる津波については、遠方の隠岐トラフで発生するものであり、若狭湾での地震が影響することが考えにくいこと、津波が発生しても到達時間に大きな差が生じることから、組合せは考慮しないこととし、地震による津波と斜面崩壊による津波について組合せを検討した。

○大飯発電所への影響が最も大きい周辺の海域活断層による地震と、陸上の斜面崩壊(Ls3: Kinematicモデル)が同時に発生した場合について検討。

【凡例】 — 地震による津波水位 — Ls4の津波波形



地震発生に伴って、斜面崩壊が生じたとした場合、斜面崩壊による津波の収束後に、地震による津波が到達することから、組合せを考慮しても大きな影響はないと評価する。

※1 地震による津波水位は、大陸棚外縁～B～野坂断層によるもの
 ※2 地震による津波水位は、和布～干飯崎沖～甲楽城断層によるもの

3 . 大飯発電所 3,4 号機における確率論的津波ハザード評価に関する検討について

確率論的津波ハザード評価に関する検討

検討方針

1

【検討方針】

設計津波水位の超過確率については、「日本原子力学会標準 原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011」(2012年2月 一般社団法人日本原子力学会)(以下、「日本原子力学会2011」)に基づき算定する。

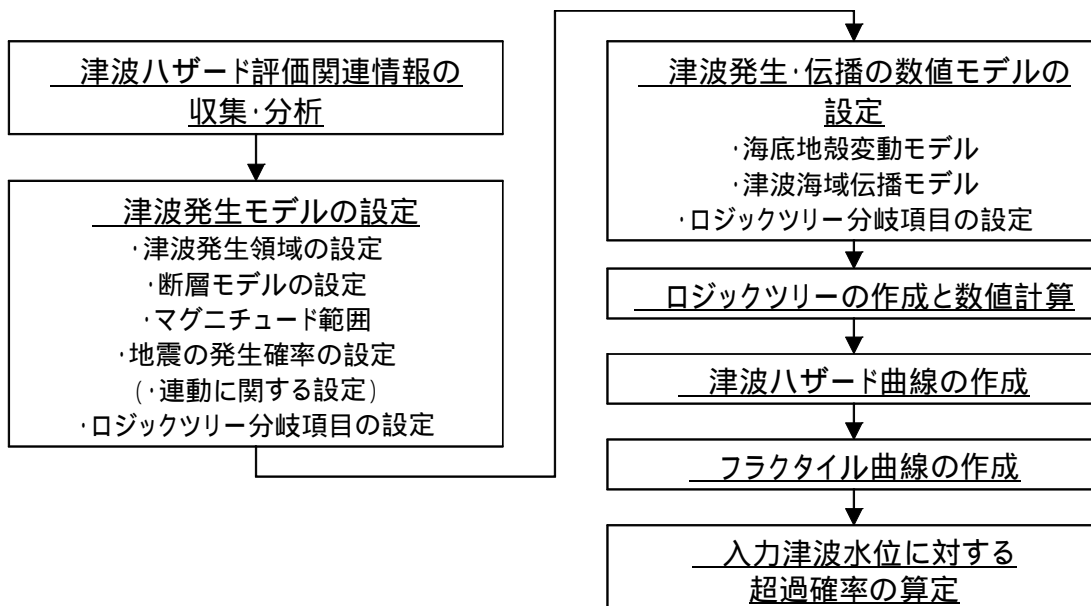
【確率論的津波ハザード評価における不確かさの取り扱い】

津波ハザード評価における不確かさについては、「日本原子力学会2011」、及び「確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)」に基づき、以下のとおり扱う。

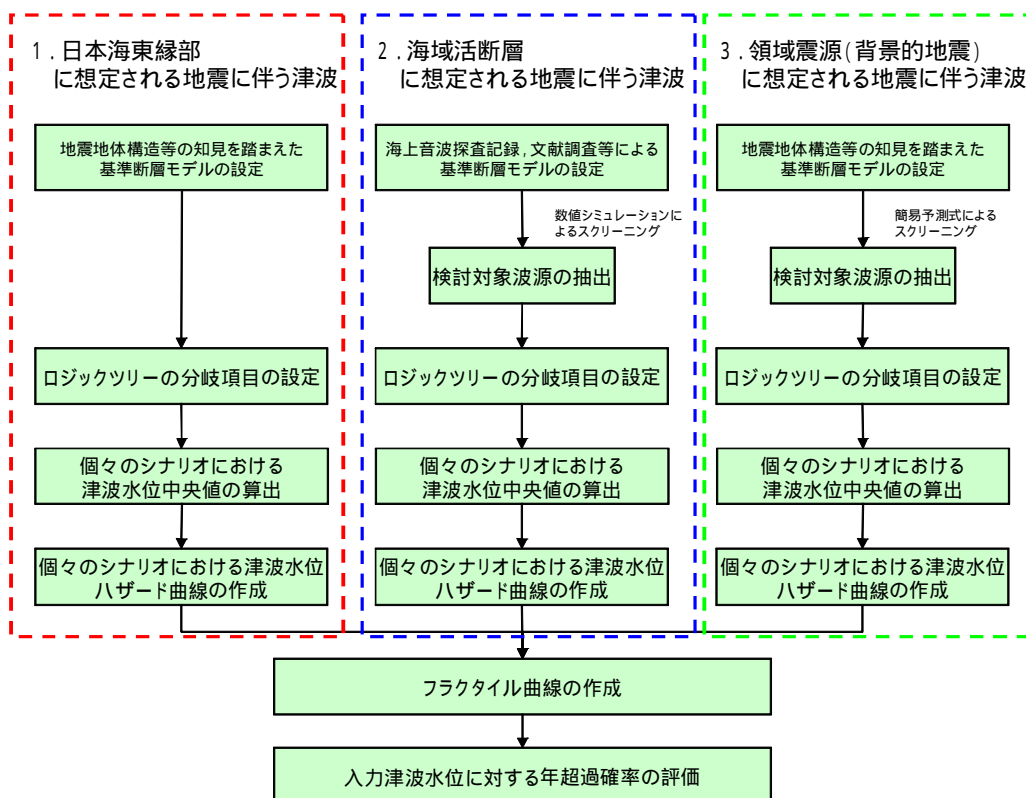
| 不確かさ | | 津波評価における扱い |
|--------------|--------------------------------|--------------------|
| 偶然的 不確かさ | 現実に存在しているが、現状では予測不可能と考えられるばらつき | 津波水位の確率分布として表現する。 |
| 認識論的 不確かさ | 研究が進展すれば確定できるが現状では予測不可能なもの | ロジックツリーの分岐として選定する。 |

【津波ハザード評価手順】

「日本原子力学会2011」を参考に以下の手順で評価を実施する。



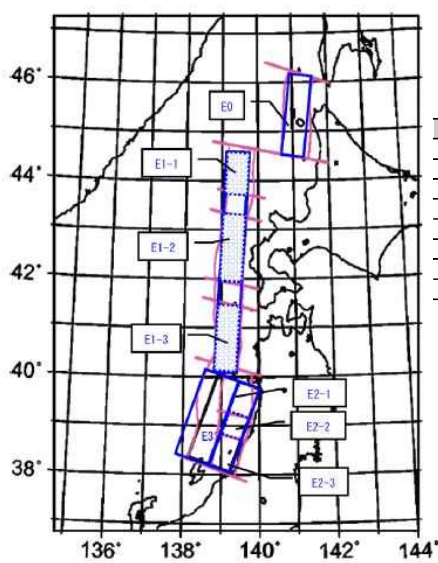
検討フロー



1. 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波

日本海東縁部 対象とする活動域

【日本海東縁部海域の大地震活動域区分】
(日本原子力学会2011)



| 海域発生年 | |
|--------|------|
| 北海道北西沖 | E0 |
| 北海道西方沖 | E1-1 |
| 北海道南西沖 | E1-2 |
| 青森県西方沖 | E1-3 |
| 秋田県沖 | E2-1 |
| 山形県沖 | E2-2 |
| 新潟県北部沖 | E2-3 |
| 佐渡島北方沖 | E3 |

【日本海東縁部及び大地震活動域の既往最大Mw】
(日本原子力学会2011)

| 海域 | 発生年 | 津波モデルのMw | 既往最大Mw (=Mmax) | 「地震本部」による地震規模(信頼度) |
|---------------|------|----------|----------------|--------------------|
| 北海道北西沖 (E0) | なし | | | M7.8程度(D) |
| 北海道西方沖 (E1-1) | 1940 | 7.7 | 7.7 | M7.5前後(B) |
| 北海道南西沖 (E1-2) | 1993 | 7.8 | 7.8 | M7.8前後(B) |
| 青森県西方沖 (E1-3) | 1983 | 7.7 | 7.7 | M7.7前後(B) |
| 秋田県沖 (E2-1) | なし | | | M7.5程度(C) |
| 山形県沖 (E2-2) | 1833 | 7.8 | 7.8 | M7.7前後(B) |
| 新潟県北部沖 (E2-3) | 1964 | 7.5 | 7.5 | M7.5前後(B) |
| 佐渡島北方沖 (E3) | なし | | | M7.8程度(D) |

日本海東縁部については、地震の発生履歴や地質学的知見、地震調査研究推進本部(2003)「日本海東縁部の地震活動の長期評価」等の知見をもとに活動域区分を設定する。
各活動域の既往最大マグニチュードから、各活動域ごとの既往最大Mwを考慮し、マグニチュード範囲の分岐を設ける。

日本海東縁部 地震発生間隔

6

【推本の平均発生間隔と津波ハザード解析における発生間隔】

| 海域 | 平均発生間隔(地震本部) | 根拠 | 分布の考え方 |
|------------------|--------------|-----------------------------|-------------------|
| 北海道北西沖 (E0) | 3900年程度 | 約2100年前と約6000年前 に2個のイベント | 発生間隔データ1個 |
| 北海道西方沖 (E1-1) | 1400～3900年程度 | (連続性) | 一様分布(1400 - 3900) |
| 北海道南西沖 (E1-2) | 500～1400年程度 | 6個のイベントの平均が約 1400年 | 一様分布(500 - 1400) |
| 青森県西方沖 (E1-3) | 500～1400年程度 | 3個のイベントの平均が約 500年 | 一様分布(500 - 1400) |
| 秋田県沖 (E2-1) | 1000年程度以上 | (2列への配分) | 一様分布(1000 - 1500) |
| 山形県沖 (E2-2) | 1000年程度以上 | (2列への配分) | 一様分布(1000 - 1500) |
| 新潟県北部沖 (E2-3) | 1000年程度以上 | (2列への配分) | 一様分布(1000 - 1500) |
| 佐渡島北方沖 (E3) | 500～1000年程度 | 中嶋(2003) | 一様分布(500 - 1000) |

出典: 確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)

上記データから、E0～E3の各領域において、地震発生間隔の分岐を設定

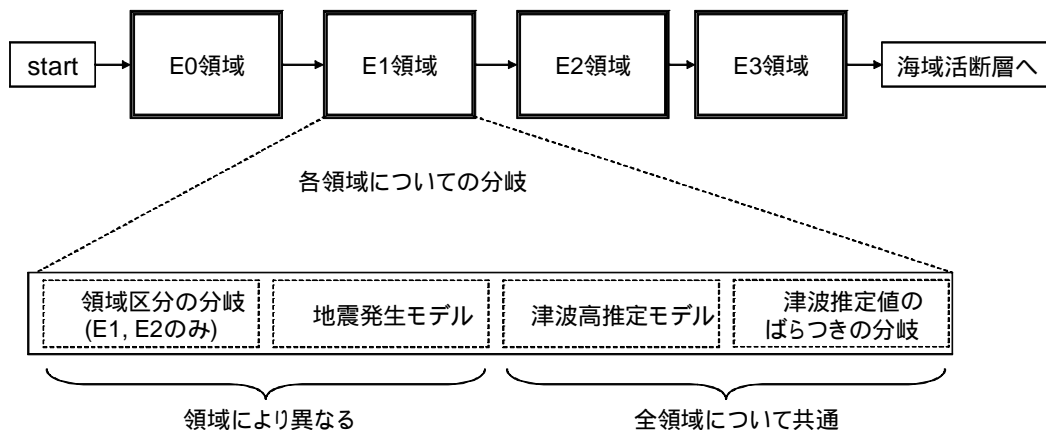
日本海東縁部 ロジックツリーの構成

7

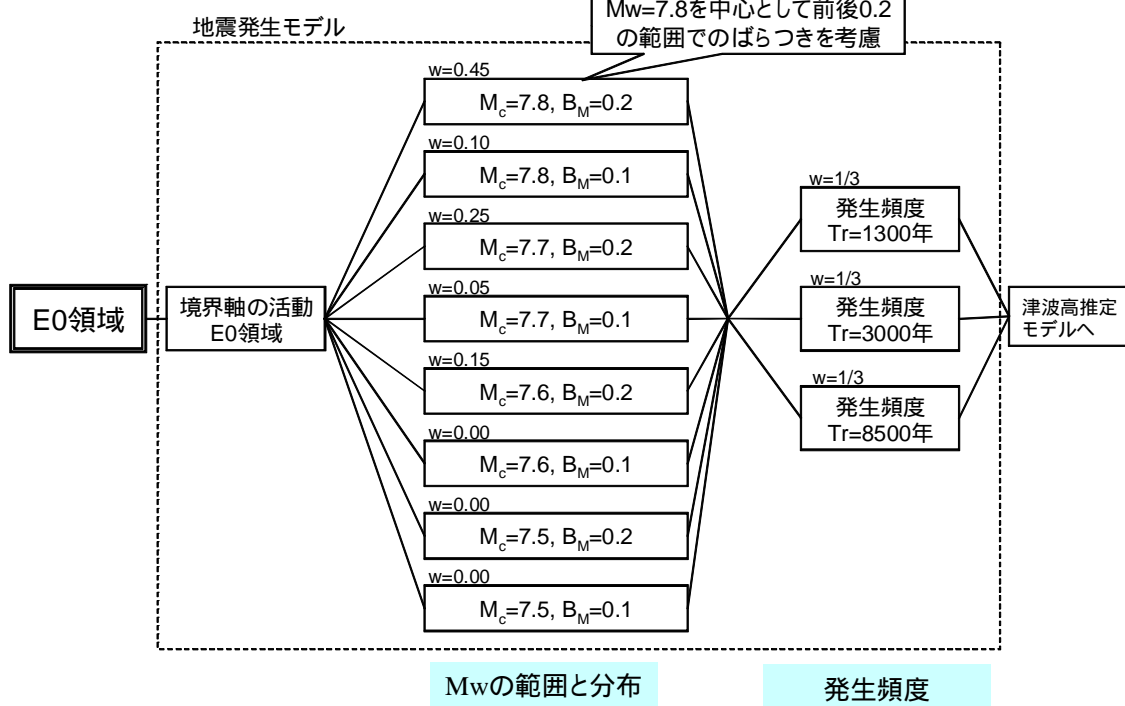
E0からE3までの領域についてそれぞれ評価を行い、各領域では、

- 領域区分の分岐(E1、E2の場合)
 - 地震発生モデル
 - 津波高推定モデル
 - 津波推定値のばらつきの分岐
- のそれぞれについて分岐を設ける。

【ロジック分岐の構成】

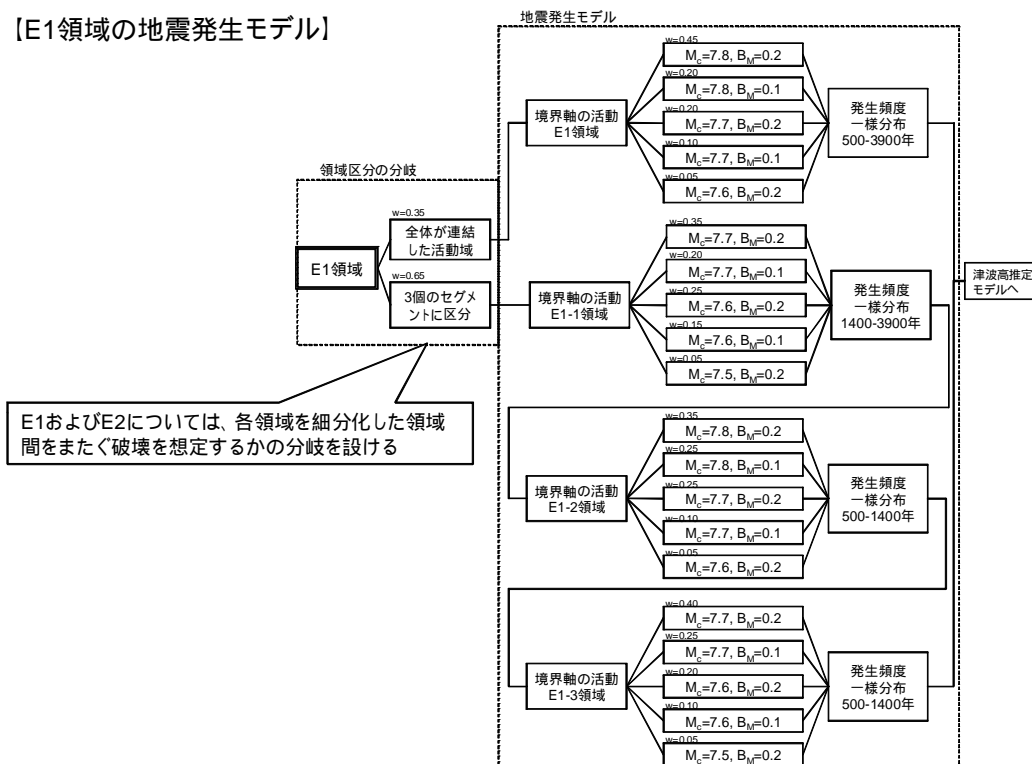


【E0領域の地震発生モデル】



ロジックツリーの設定については確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)によるW(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した

【E1領域の地震発生モデル】

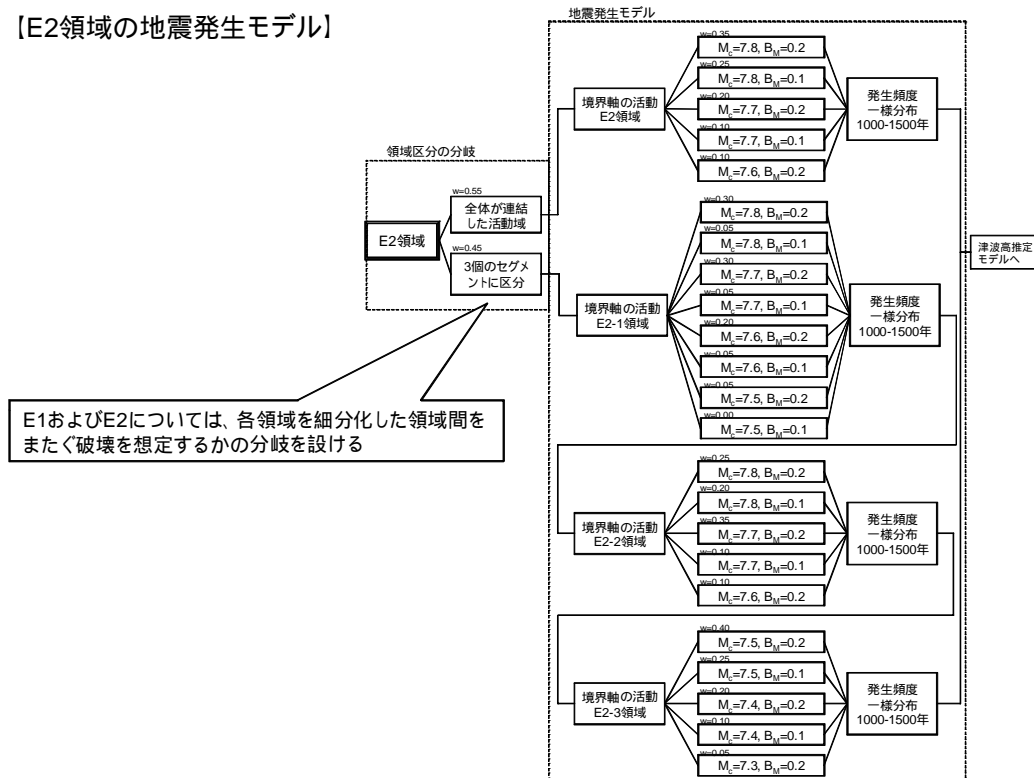


ロジックツリーの設定については確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)によるW(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

10

【E2領域の地震発生モデル】

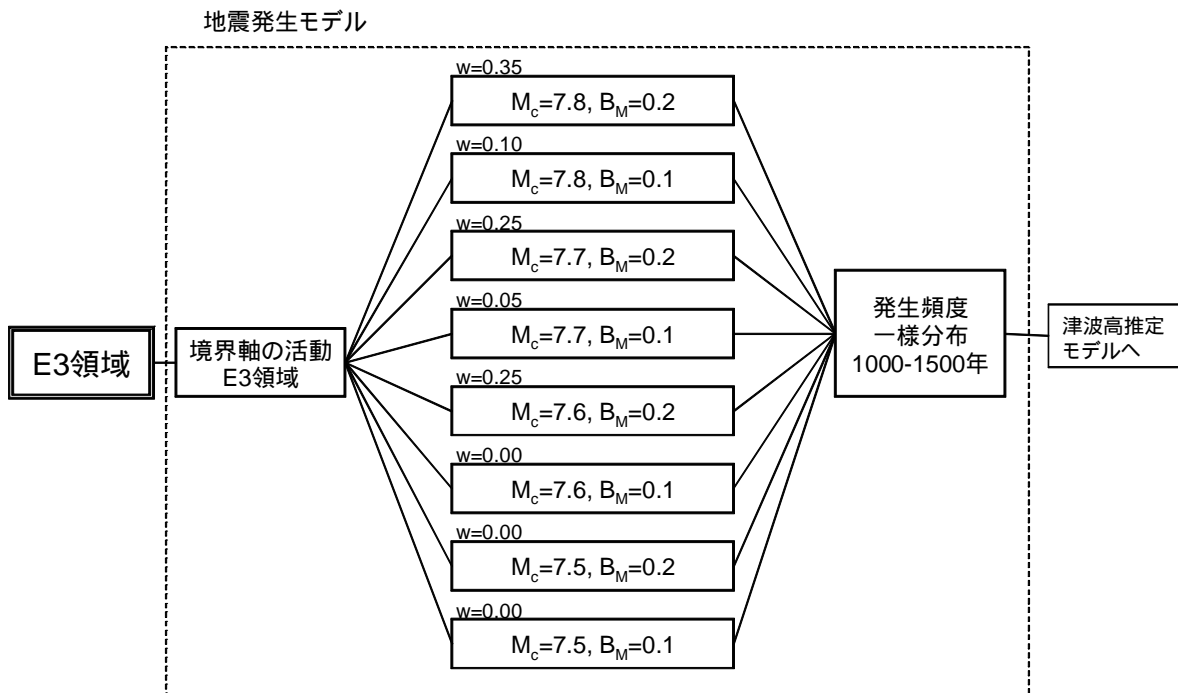


ロジックツリーの設定については確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)によるW(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

11

【E3領域の地震発生モデル】



ロジックツリーの設定については確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)によるW(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した

【断層パラメータの設定方法】

| | |
|-----------|--|
| 断層長さ | スケーリング則に基づき、 M_w から求める。 |
| 幅 | 地震発生層の厚さ(15km)を考慮し傾斜角に応じて決める。 |
| すべり量 | $\log M_0(N \cdot m) = 1.5M_w + 9.1$, $D = M_0 / \mu LW$ により算出する。 |
| 上縁深さ | 0km とする。 |
| 走向 | 海底地形の走向に基づき設定する。 |
| 傾斜角 | 30° - 60° とする。西傾斜と東傾斜の双方を考慮する。 |
| すべり角 | 90° とする。 |
| 剛性率 | $3.5 \times 10^{10} (N/m^2)$ とする。 |
| スケーリング則 1 | 幅(地震発生層厚さ)に上限あり。 スケーリングの変曲点を境に、 M_w が大きいとき武村(1998)の関係 $\log L(km) = 0.75M_w - 3.77$, $L \propto D, W = const.$ が、 M_w が小さいとき $W = \frac{2}{3}L, L \propto W \propto D$ の関係が成り立ち、両者が連続的に接続するものとする。 |
| スケーリング則 2 | 推本の地震動予測手法(「レシビ」)などで用いられる $M_0 [N \cdot m] = (S[km^2] / 4.24 \times 10^{-11})^2 \times 10^{-7}$ (Wells and Coppersmith(1994)などのデータに基づく入倉・三宅(2001)の提案式、地震モーメント $7.5 \times 10^{18} N \cdot m$ 以上の地震に適用する)を適用する。 |

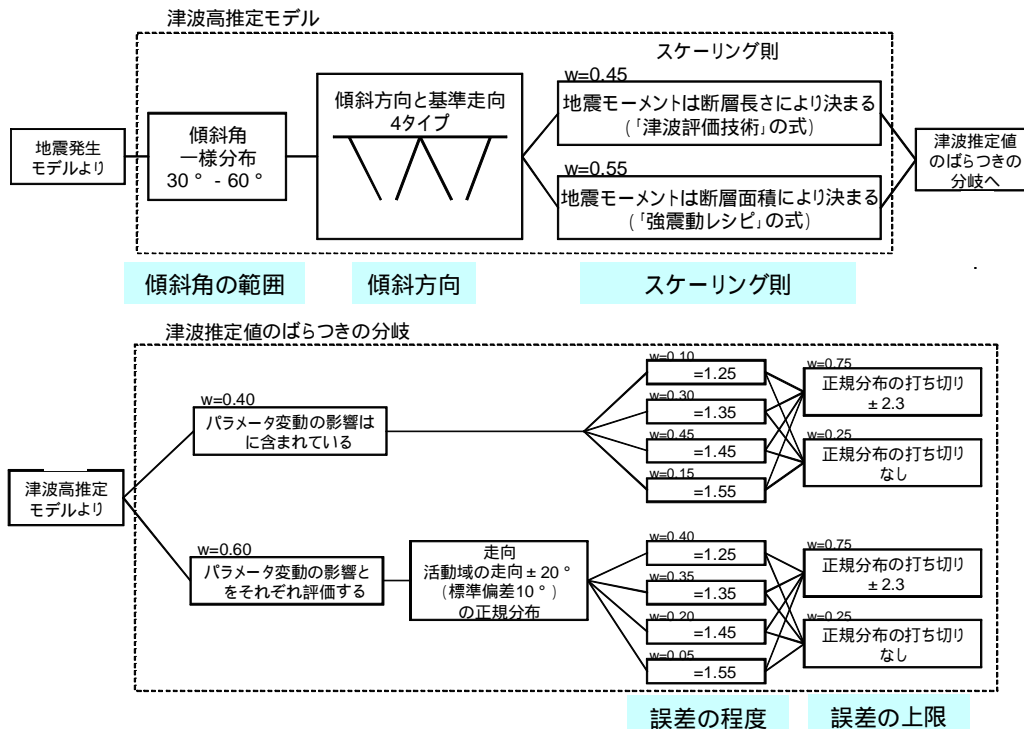


ロジック分岐として取り扱う

確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)より

日本海東縁部 ロジックツリーの設定

【津波高さの推定モデル、および津波推定値のばらつきの分岐】



ロジックツリーの設定については確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)による
W(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した

2. 海域活断層に想定される地震に伴う津波

海域活断層 対象とする活動域

発電所敷地前面海域及び敷地周辺海域における海域活断層について文献調査を実施する。
 発電所敷地前面海域及び敷地周辺海域において、後期更新世以降の活動を考慮する断層のうち、発電所に影響が大きいと考えられるものを検討対象断層とする。

【敷地前面及び敷地周辺における検討対象断層】

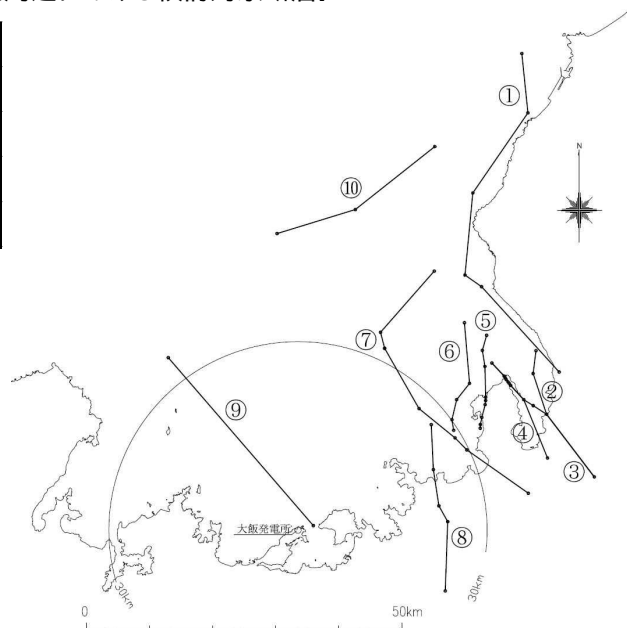
| | |
|-------------------|--------------------|
| 和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層 | C 断層 |
| ウツロギ峠北方 - 池河内断層 | 大陸棚外縁 ~ B ~ 野坂断層 |
| 浦底 - 池河内断層 | 三方断層 |
| 浦底 - 内池見断層 | FO - A ~ FO - B 断層 |
| 白木 - 丹生断層 | F G A 3 東部断層 |

・検討対象断層で、最も津波高さが大きくなる条件（上縁深さ：0km，傾斜角：高角側）で数値シミュレーションを実施し、確率論的津波ハザード解析の方法（土木学会、2011）に示される以下の式により、スクリーニングを実施

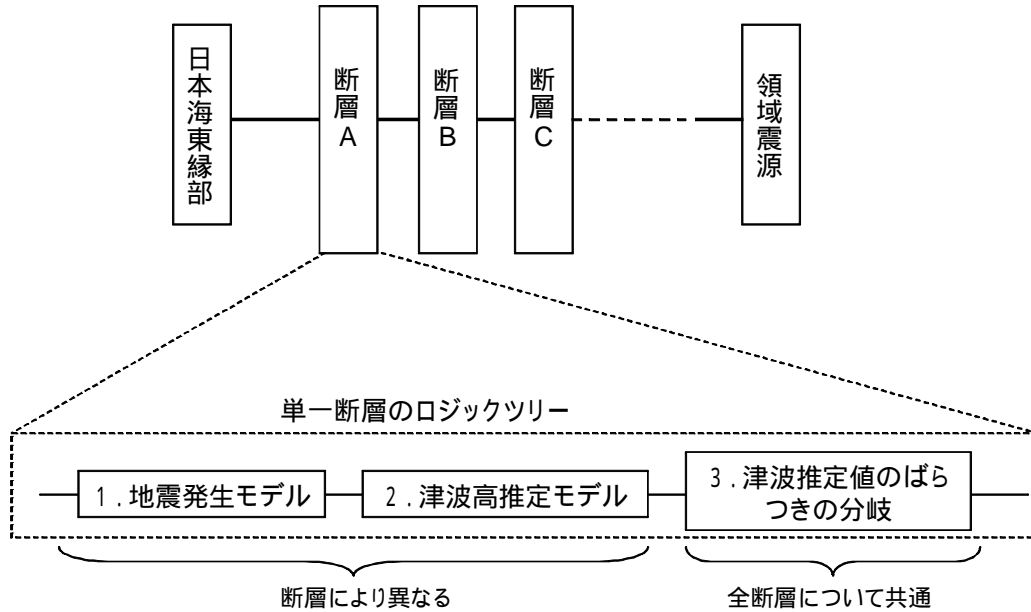
$$|X| > |H| \cdot \kappa^{2.3}$$

X: 評価対象となる水位
 H: 数値シミュレーションにより計算された津波高さ
 κ: 津波高さのばらつき (= 1.55)

・結果として、、、、の3つ断層についてはサイトへの影響が小さいと除外可能と判断された。



【ロジック分岐の構成】



海域活断層 ロジック分岐の設定

【地震発生モデルのロジック分岐 (基本ケース)】

| 分岐名 | 分岐の設定 | 設定根拠 |
|-----------|---|----------------------------|
| 断層破壊過程 | 一括放出 | 確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会、2011) |
| 上縁深さ | 一様分布0km ~ 5km | |
| 傾斜角 | 片側正規分布45° ~ 90° | |
| スケーリング則 | 強震動レシビ武村式(津波評価技術の式) | |
| 応力場(P軸角度) | 一様分布90° ~ 120° | 確定論のパラメータスタディを参考に設定 |
| 平均変位速度 | 一様分布 1mm/年(活動度A級下限) ~0.1mm/年(活動度C級上限) | 確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会、2011) |

なお、調査結果等から各パラメータが既知の場合は、個別の情報を優先する。

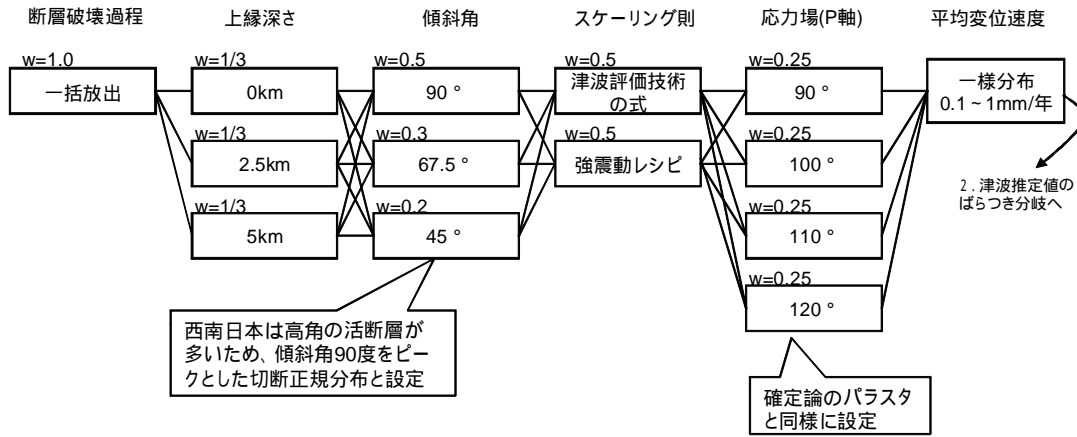
【津波推定値のばらつきのロジック分岐(共通)】

| 分岐名 | 分岐の設定 | 設定根拠 |
|------------|------------------------------------|----------------------------|
| パラメータ変動の影響 | パラメータ変動の影響は含まれているパラメータ変動とをそれぞれ評価する | 確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会、2011) |
| 津波推定値のばらつき | =1.25, 1.35, 1.45, 1.55のいずれかに分岐 | |
| 正規分布の打ち切り | ±2.3での打ち切り 打ち切りなし | |

◆ 基本ケース

1. 地震発生、津波高推定モデル

【海域活断層の地震発生モデル及び津波高推定モデルのロジックツリー(基本ケース)】

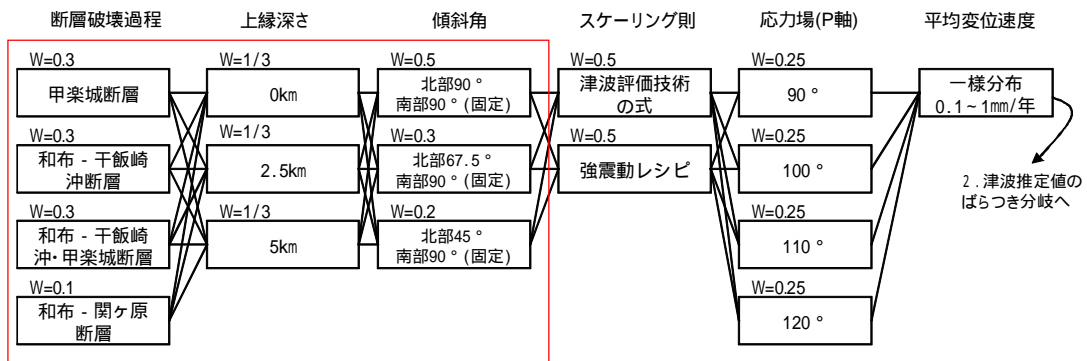


FGA3東部断層のロジックツリーについては、全ての分岐項目について基本ケースと同様

◆ 和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層

1. 地震発生、津波高推定モデル

【和布 - 干飯崎 ~ 甲楽城断層のロジックツリー】

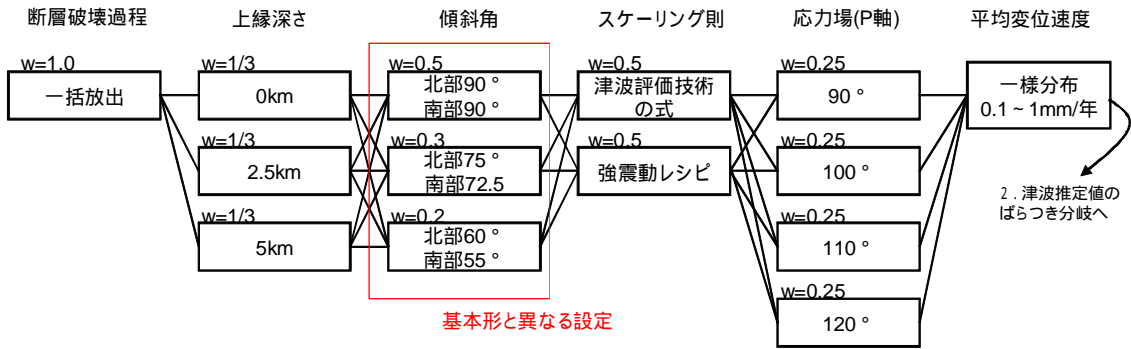


基本形と異なる設定

◆ C断層

1. 地震発生、津波高推定モデル

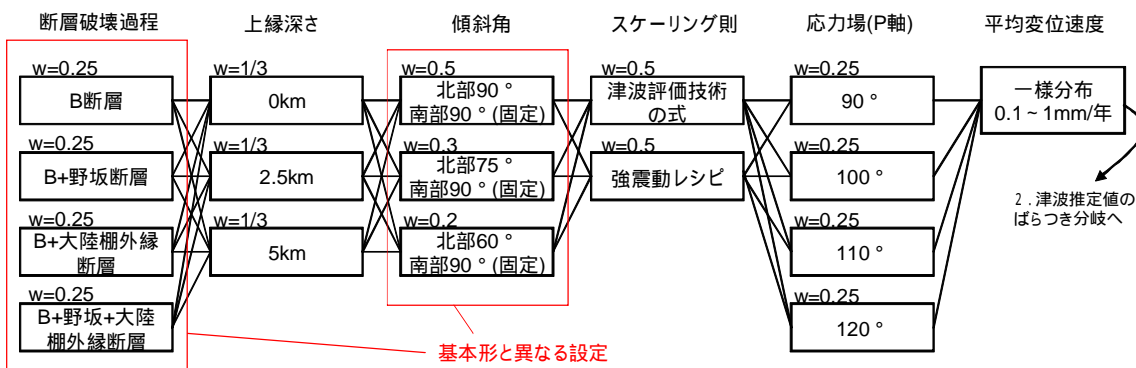
[C断層のロジックツリー]



◆ 大陸棚外縁～B～野坂断層

1. 地震発生、津波高推定モデル

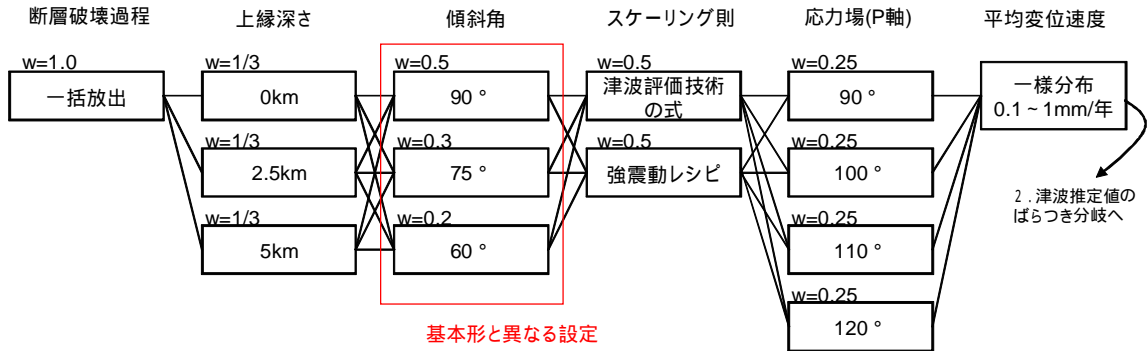
[大陸棚外縁～B～野坂断層のロジックツリー]



◆ 三方断層

1. 地震発生、津波高推定モデル

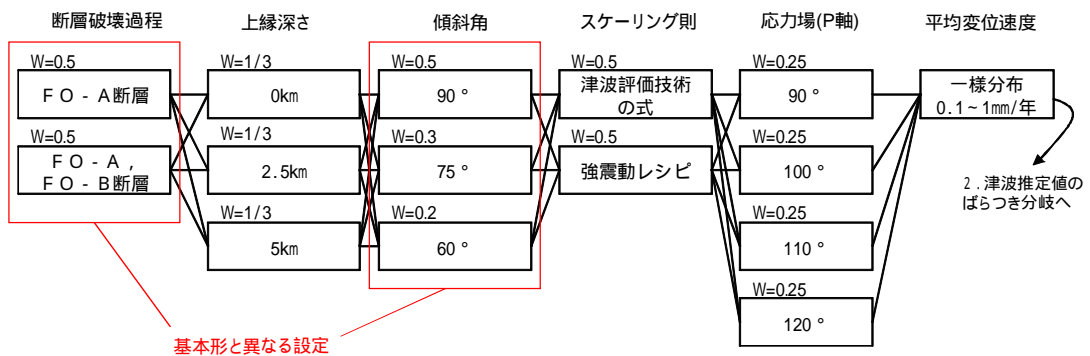
【三方断層のロジックツリー】



◆ FO - A ~ FO - B断層

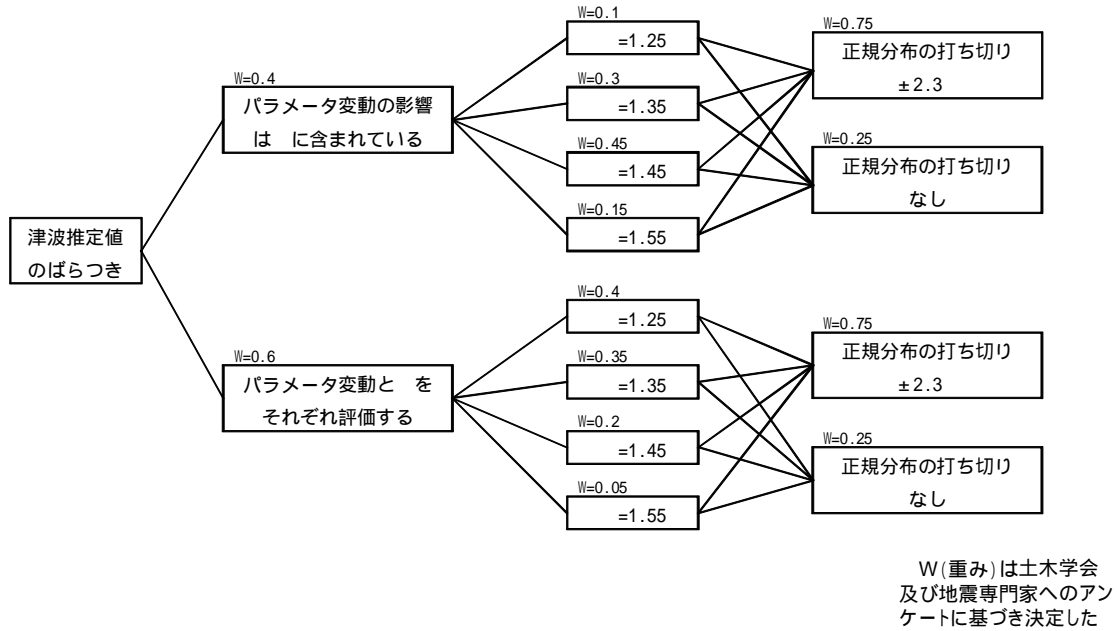
1. 地震発生、津波高推定モデル

【FO - A ~ FO - B断層のロジックツリー】



2. 津波推定値のばらつきの分岐

【海域活断層の津波推定値のばらつきの分岐】



3. 領域震源

現時点で海域活断層として特定されていない波源により津波が生じる場合のハザードについて、領域震源として評価する。

【対象とする活動域】

領域震源(場所を特定できない点震源)の評価においては、地震動ハザードで用いられている活動域と同一の設定を用いる。活動域の区分に関しては、

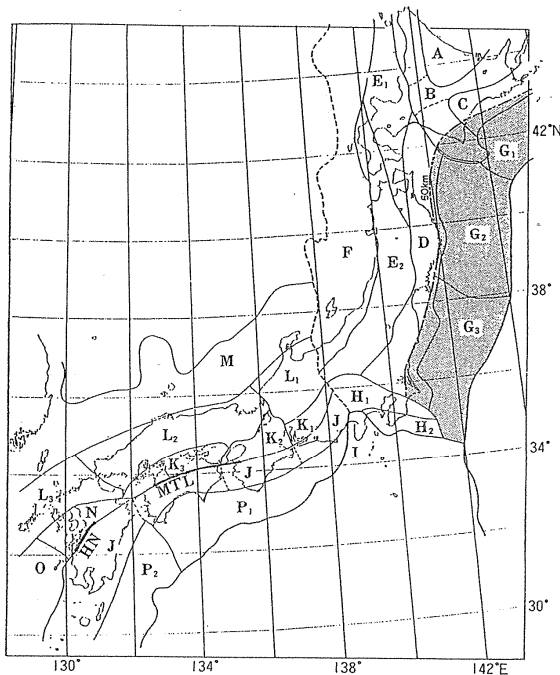
- ・萩原マップによる領域区分
- ・新垣見マップによる領域区分

についてロジック分岐を設定し、両方の区分により評価する。

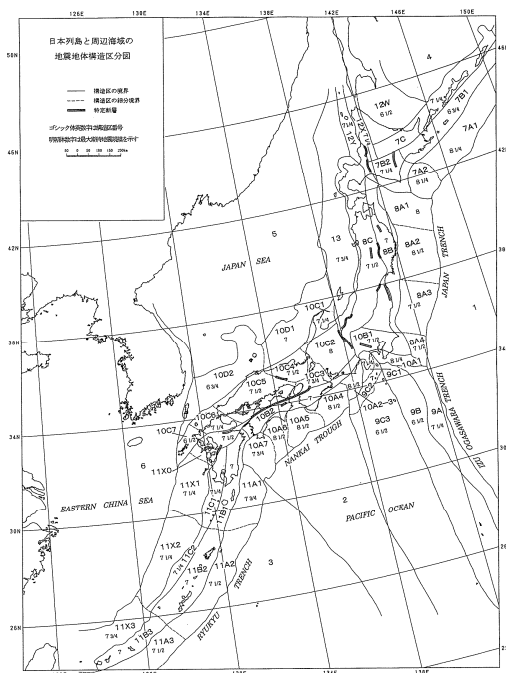
敷地前面海域(約30km以内)については、海上音波探査結果等に基づいて耐震設計上考慮すべき断層を評価していることから、点震源を設定しない

| サイトからの距離 | |
|--|---|
| 0 ~ 30km | 30km以遠 |
| 領域震源による評価を実施しない 海上音波探査結果等に基づいて、耐震設計上考慮すべき断層を評価している。 | 領域震源による評価を実施 文献調査と主要地点の音波探査を行っているものの、場所が特定されていない断層が存在する可能性を排除できない。 一定程度の津波水位を生じるため、ハザード評価への影響は無視できない。 簡易式およびシミュレーションによりサイトの評価レベルに影響を与えると判定された波源を対象に、評価を行う。 |

萩原マップ及び新垣見マップによる領域区分

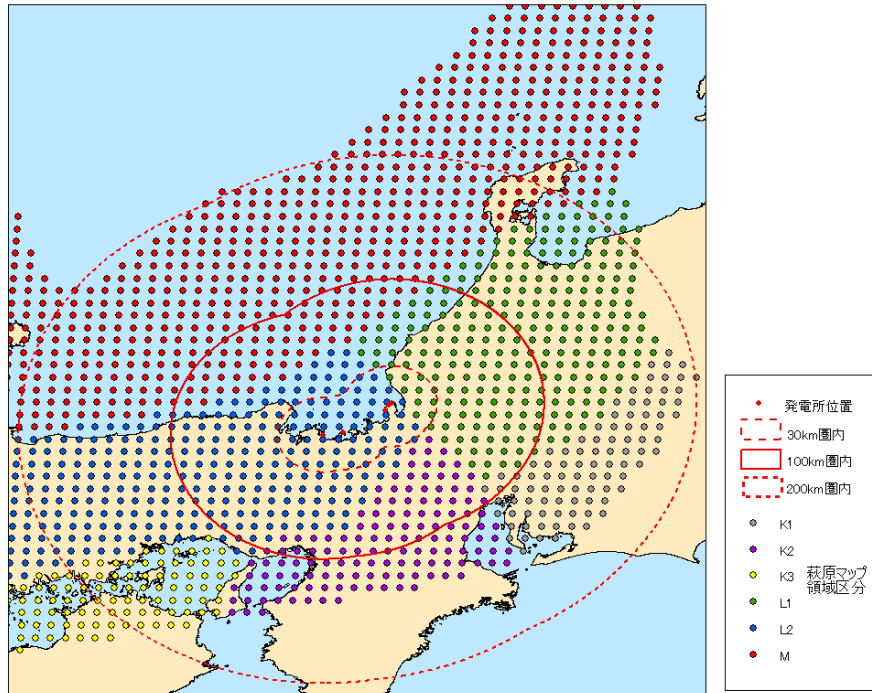


萩原編(1991)による地震地体構造区分図

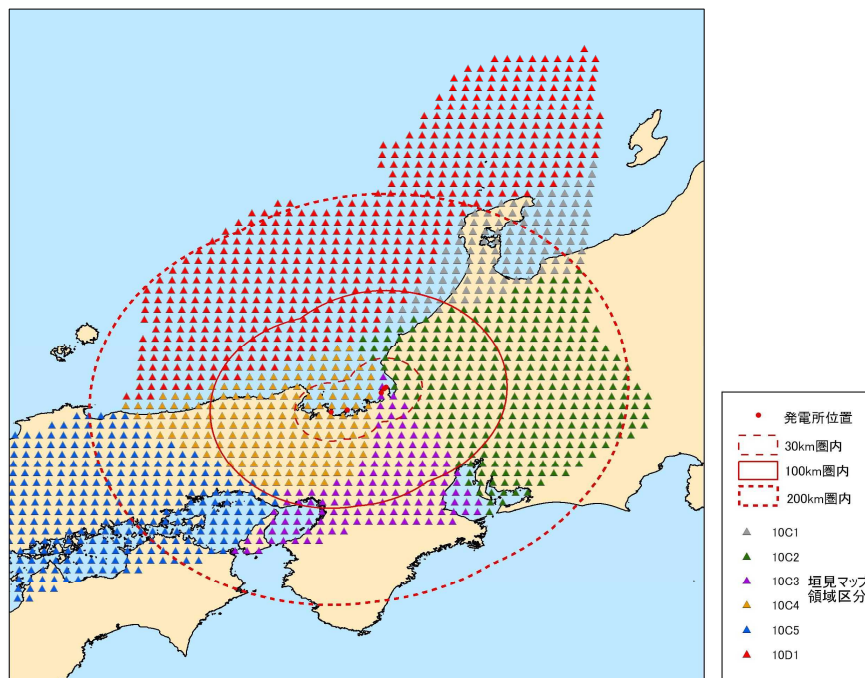


垣見ほか(2003)による地震地体構造区分図

【萩原マップによる領域区分】



【新垣見マップによる領域区分】



【萩原マップによる領域震源モデルの諸元】

| 領域名 | 最小M | 最大M | b値 | 発生頻度 (回/年) | 上縁深さ (km) |
|-----|-----|-------------------|------|---------------|---------------|
| L1 | 5.0 | 7.9 | 0.79 | 0.40 | 0~5km 一様分布 |
| L2 | 5.0 | 7.3 7.5 7.6 | 0.88 | 1.00 | |
| M | 5.0 | 6.9 | 0.66 | 0.21 | |

【新垣見マップによる領域震源モデルの諸元】

| 領域名 | 最小M | 最大M | b値 | 発生頻度 (回/年) | 上縁深さ (km) |
|------|-----|------------|------|---------------|---------------|
| 10C1 | 4.0 | 6.9 | 0.60 | 0.52 | 0~5km 一様分布 |
| 10C2 | 5.0 | 7.9 | 0.79 | 0.48 | |
| 10C4 | 5.0 | 6.9 7.0 | 0.74 | 0.38 | |
| 10D1 | 4.0 | 6.6 | 0.83 | 1.02 | |

領域震源 スクリーニング

ハザードに与える影響が非常に小さい波源の取り除くため、スクリーニングを実施

【スクリーニングの手法】

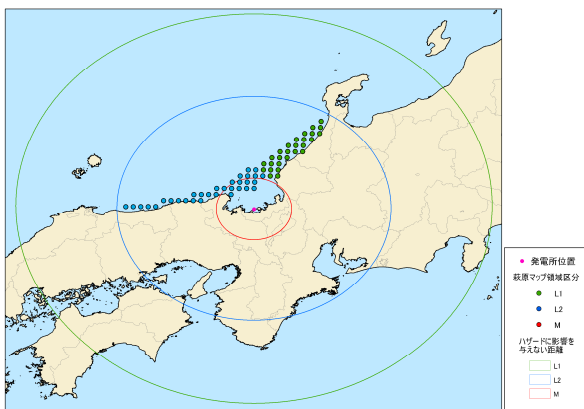
- ・それぞれの検討対象断層で簡易予測式を用いて津波水位の推定を行う。
- ・サイトの評価地点における潮位を考慮した津波高さの最大値、最小値を算出し、評価レベルに対して、以下の式を満たす断層については検討から除外する。

$$|X| > \alpha |H_e| \cdot \kappa^{2.3}$$

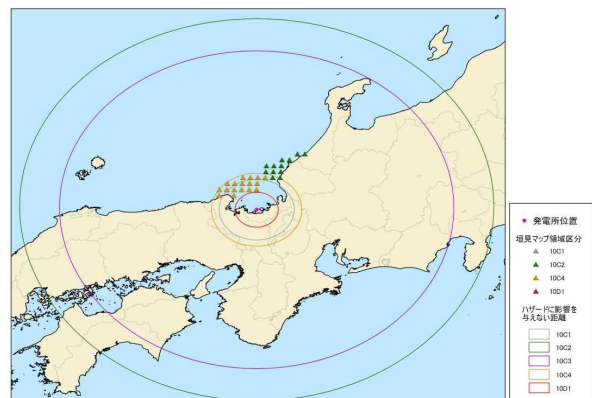
X : 評価対象となる水位
 H_e : 簡易予測式により計算された津波高さ
 κ : 津波高さのばらつき (=1.55)
 α : 簡易式の精度を考慮した余裕幅 (=2.0)

【スクリーニングの結果】

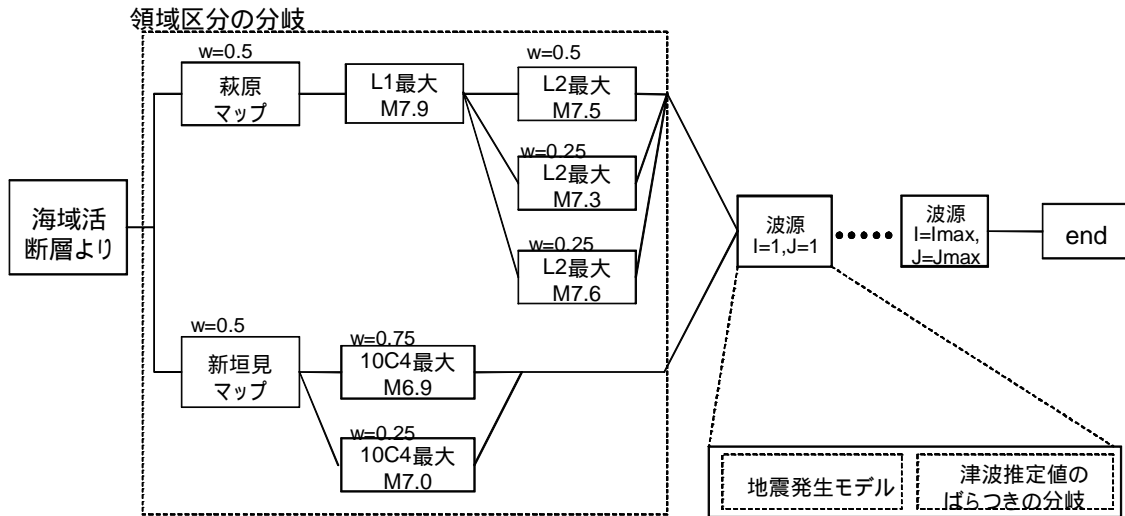
検討対象とする領域震源 (萩原マップ)



検討対象とする領域震源 (新垣見マップ)



【領域震源のロジック分岐の構成】



領域震源の断層パラメータ

【大地震以外の上部地殻内地震(背景的地震)の断層パラメータ設定方針】

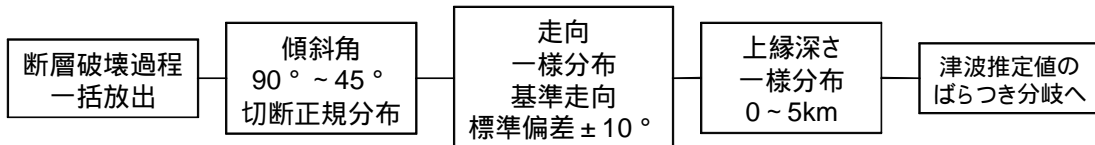
| | 考えられる不確実性 | 基本方針 | 分布形 | 備考 |
|-----------------|-----------|----------------------------|--------|----------------------|
| 震源とサイトの位置関係(距離) | 断層長さ | Mwから武村(1998)の関係で設定 | - | |
| | 断層幅 | $W=2L/3$ (地震発生層15kmを上限) | | |
| | 断層上縁深さ | 断層面の範囲を地表～地震発生層下端まで | 一様分布 | |
| | 傾斜角 | 45 ~ 90° | 切断正規分布 | 西南日本における値傾斜方向は地形から決定 |
| | すべり角 | 広域応力場の範囲(一様分布) | 一様分布 | |
| | 走向 | 各領域内における海城活断層の走向より設定(下記参照) | 一様分布 | |
| | 位置 | 点震源位置に断層中心 | - | |

確率論的津波ハザード解析の方法(土木学会, 2011)を参考に設定

【領域震源の走向の設定】

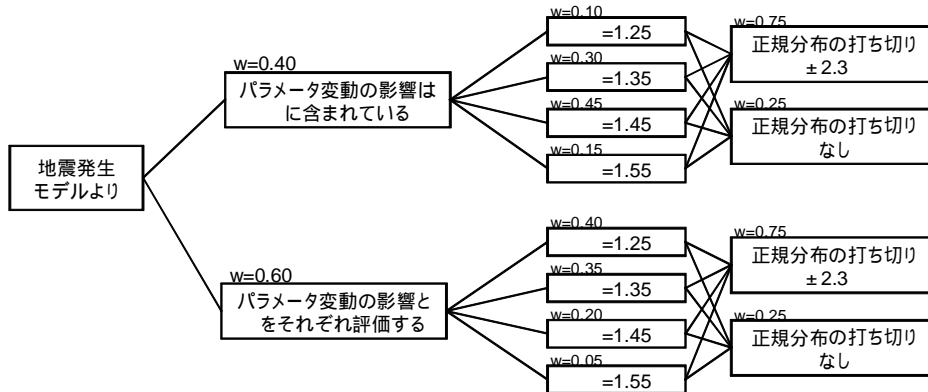
- ・領域内のセグメントの単純平均
- ・海城活断層の諸元を使用し、断層セグメントに分割
- ・どの領域に属するかの判断は、セグメント中心により実施
- ・角度の平均値は、落ち方向が異なるがセグメントの形状が同じもの(0°/180°)を同一とみなして、最も標準偏差が小さくなるように算出。落ち方向は多数決により決定。

1. 地震発生、津波高推定モデル



2. 津波推定値のばらつきの分岐

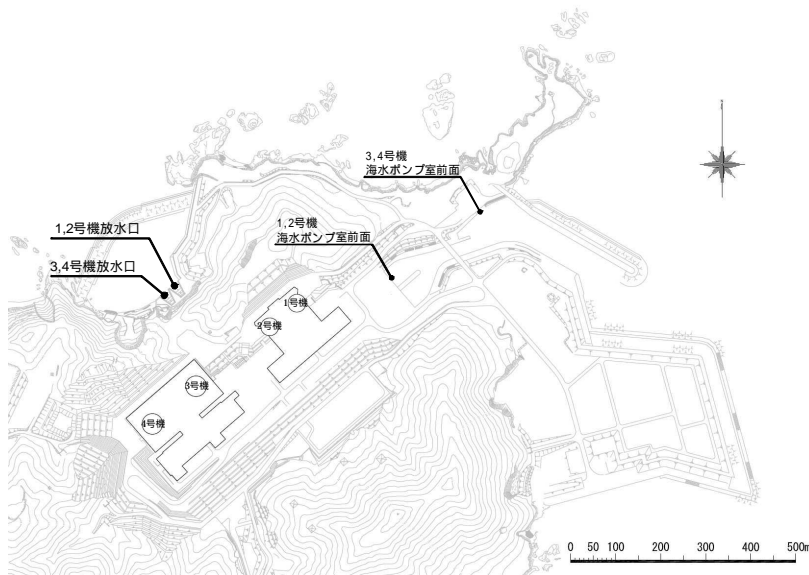
W(重み)は土木学会及び地震専門家へのアンケートに基づき決定した



領域震源の地震発生モデル及び津波高推定モデルのロジックツリー

津波ハザード解析結果

ロジックツリーに基づき、モンテカルロシミュレーションを用いて津波ハザード解析を行い、フラクタイル曲線、平均ハザード曲線として取りまとめた。

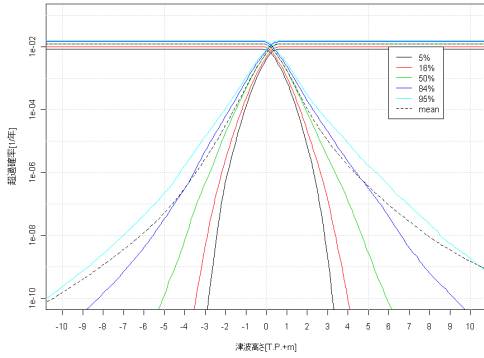


大飯発電所における評価地点

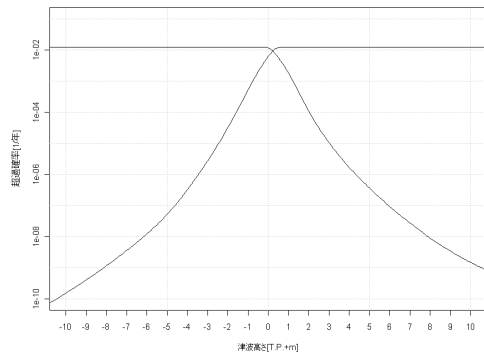
津波ハザード解析結果

36

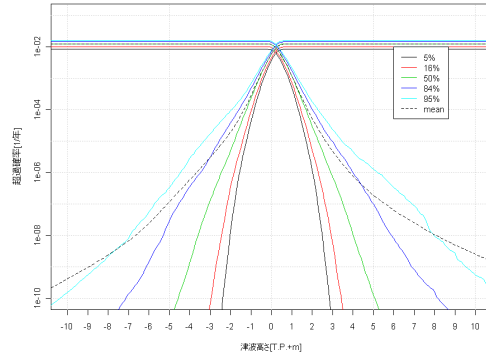
【1,2u海水ポンプ室】
全域のフラクティル曲線



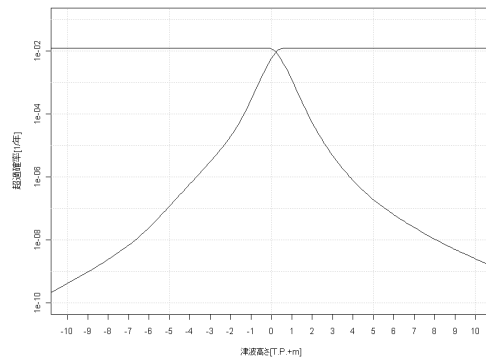
平均ハザード曲線



【3,4u海水ポンプ室】
全域のフラクティル曲線



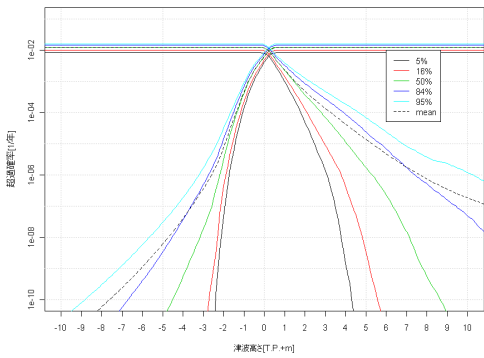
平均ハザード曲線



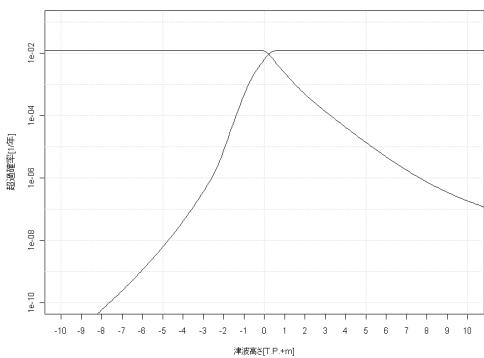
津波ハザード解析結果

37

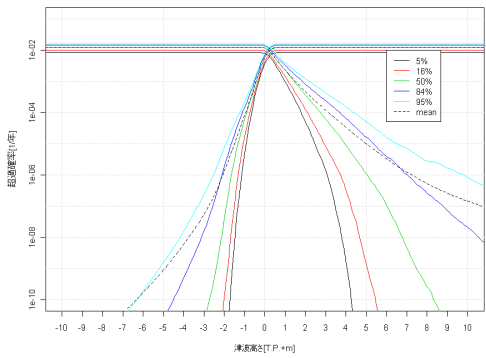
【1,2u放水口】
全域のフラクティル曲線



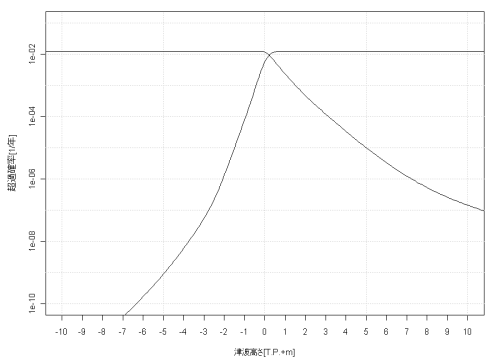
平均ハザード曲線



【3,4u放水口】
全域のフラクティル曲線



平均ハザード曲線



入力津波水位に対する超過確率

| 評価点 | 入力津波水位 | 超過確率(1/年) |
|----------------|--------------|-----------------------|
| 1,2u海水 ポンプ室 | T.P.+2.85m | 1.42×10^{-5} |
| | T.P. 1.85m | 4.82×10^{-5} |
| 3,4u海水 ポンプ室 | T.P.+2.54m | 1.32×10^{-5} |
| | T.P. 1.84m | 2.80×10^{-5} |
| 1,2u 放水口 | T.P. + 3.62m | 6.54×10^{-5} |
| 3,4u 放水口 | T.P. + 3.56m | 5.83×10^{-5} |

4 . 大飯発電所 3,4 号機における津波による放水ピット内の水位評価について

津波による放水ピット内の水位評価

津波による放水ピット内の水位評価検討フロー

1

津波による放水ピット内の水位評価について、以下フローのとおり検討を行った。



津波伝播計算(計算手法および計算条件)

2

津波伝播計算は、非線形長波理論および連続式(後藤他1982⁽¹⁾)を基礎方程式として、空間格子間隔を1,350mから12.5mとした。
時間格子間隔は、安定条件(CFL条件)を満たすように設定した。

津波伝播計算の計算手法及び計算条件

| 設定項目 | | 設定値 | |
|-------|---------------|---|--|
| 津波計算 | 基礎方程式 | 非線形長波理論式及び連続式(後藤他(1982) ⁽¹⁾) | |
| | 変数配置および差分スキーム | Staggerd Leap-frog法 | |
| 計算条件等 | 計算領域 | 対馬海峡から間宮海峡に至る東西方向約1,500km, 南北方向約2,000km | |
| | 空間格子間隔 | 1,350m 450m 150m 50m 25m 12.5m | |
| | 時間格子間隔 | 0.3秒 安定条件(CFL条件)を十分満足するように設定 | |
| | 初期条件 | 断層モデルを用いて、Mansinha et al.(1971) ⁽²⁾ の方法により計算される海底面の鉛直変位分布を初期条件とする。 | |
| | 境界条件 | 沖側境界 | 特性曲線法をもとに誘導される自由透過の条件(後藤他(1982) ⁽¹⁾) |
| | | 陸側境界 | 完全反射条件 |
| | 海底摩擦 | マンニングの粗度係数 $n=0.030$ (土木学会(2002) ⁽³⁾) | |
| | 水平渦動粘性係数 | $0\text{m}^2/\text{s}$ | |
| | 計算時間 | 海域活断層に想定される地震に伴う津波: 3.0時間 日本海東縁部に想定される地震に伴う津波: 6.0時間~7.5時間 | |
| | 計算潮位 | T.P. $\pm 0.0\text{m}$ | |

- (1) 後藤智明・小川由信(1982): Leap-frog法を用いた津波の数値計算法, 東北大学土木工学科資料, 1982
 (2) Mansinha, L. and D.E. Smylie(1971): The displacement field of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp.1433-1440.
 (3) (社)土木学会(2002): 原子力発電所の津波評価技術.

伝播計算(計算領域の空間格子間隔)

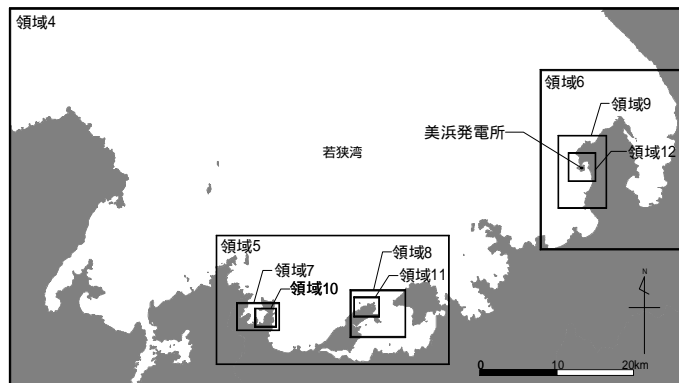
3



| 領域番号 | 空間格子間隔 x(m) | 最大水深 h_{max} (m) | CFL条件を満たす t(sec) |
|-------|-------------|---------------------------|------------------|
| 1 | 1350 | 3800 | 4.95 |
| 2,3 | 450 | 3700 | 1.67 |
| 4 | 150 | 240 | 2.19 |
| 5,6 | 50 | 90 | 1.19 |
| 7~9 | 25 | 80 | 0.63 |
| 10~12 | 12.5 | 60 | 0.36 |

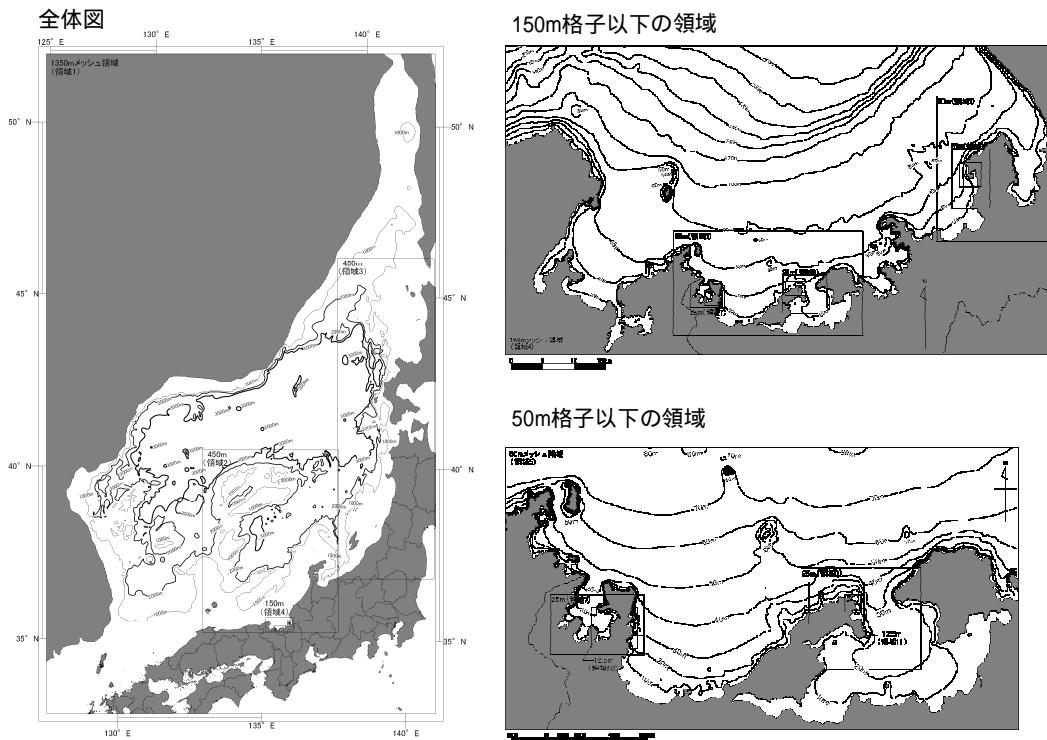
$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\text{max}}}}$$

ここに、
 x : 空間格子間隔
 t : 時間格子間隔
 h_{max} : 最大水深
 g : 重力加速度



水深分布

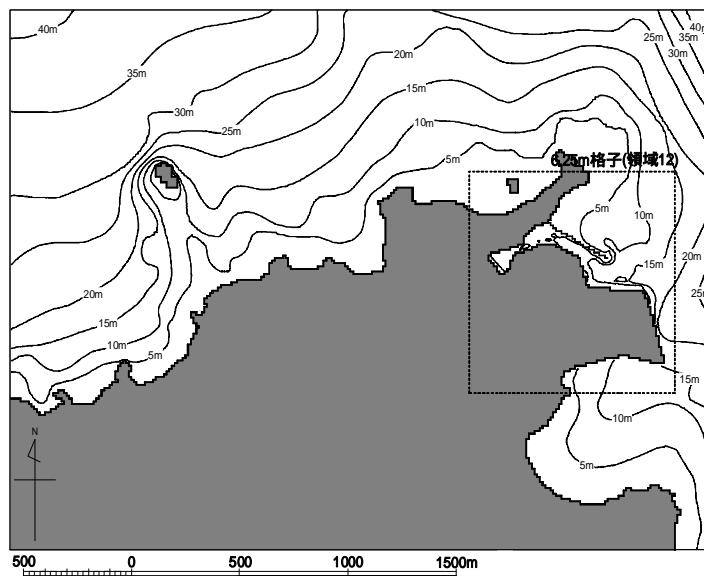
4



水深分布

5

12.5m格子以下の領域

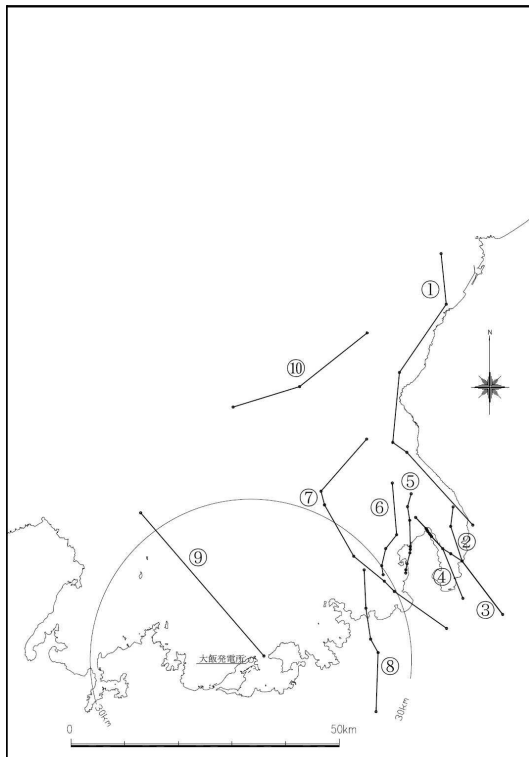


評価対象波源(海域活断層)の抽出

検討対象断層の選定(海域活断層)

検討対象断層は、敷地前面海域及び敷地周辺海域において後期更新世以降の活動を考慮する断層とする。

| | |
|-------------------|-------------------|
| 和布 - 干飯崎沖 ~ 甲楽城断層 | C断層 |
| ウツロギ岬北方 - 池河内断層 | 大陸棚外縁 ~ B ~ 野坂断層 |
| 浦底 - 池河内断層 | 三方断層 |
| 浦底 - 内池見断層 | FO - A ~ FO - B断層 |
| 白木 - 丹生断層 | FGA3 東部断層 |



大飯放水ピットの津波水位(概略パラメータスタディ)

| 断層 No | 断層名 | 断層長さ (km) | 地震規模 Mw | 走行 (°) 【傾斜方向】 | すべり量 (m) | 傾斜角 (°) | 広域応力場 (°) | 上縁深さ (km) | 大飯発電所 |
|-------|--------------------|-----------|---------|--|----------|-------------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | 放水口最大水位上昇量 (m) |
| | 和布 - 干飯崎沖 甲楽城断層 | 60 | 7.40 | 354.17 34.42 5.42 305.15 317.82 【東】 | 3.88 | ~ : 45 : 90 | 90 | 0.0 | 2.20 |
| | ウツロギ峠北方 - 池河内断層 | 23 | 6.84 | 187.12 161.85 142.85 【西】 | 1.91 | ~ : 90 | 90 | 0.0 | 0.58 |
| | 浦底 - 池河内断層 | 25 | 6.89 | 316.76 329.74 328.03 322.95 320.79 325.76 317.34 302.29 303.10 142.85 【東】 は西傾斜 | 2.08 | ~ : 90 | 90 | 0.0 | 0.38 |
| | 浦底 - 内池見断層 | 18 | 6.76 | 316.76 329.74 328.03 322.95 320.79 325.76 317.34 302.29 【東】 | 1.66 | ~ : 90 | 90 | 0.0 | 0.35 |
| | 白木 - 丹生断層 | 15 | 6.76 | 15.80 350.71 358.68 0.55 6.88 14.38 11.66 1.91 【東】 | 1.44 | ~ : 60 | 90 | 0.0 | 0.73 |
| | C断層(逆くの字) | 18 | 6.76 | 355.19 38.15 13.09 350.89 【東】 | 1.44 | ~ : 60 | 110 | 0.0 | 0.81 |
| | 大陸棚外縁 - B ~ 野坂断層 | 49 | 7.28 | 41.12 345.44 330.27 309.19 315.54 305.27 【東】 | 3.76 | ~ : 60 : 90 | 90 | 0.0 | 2.71 |
| | 三方断層 | 27 | 6.94 | 357.29 351.32 330.81 1.97 【東】 | 1.94 | ~ : 60 | 90 | 0.0 | 1.03 |
| | FGA3東部断層 | 29 | 7.00 | 231.41 252.74 【北】 | 2.49 | ~ : 90 | 120 | 0.0 | 1.56 |

概略パラメータスタディの結果、大陸棚外縁 - B ~ 野坂断層を抽出した。

大飯放水ピットの津波水位(詳細パラメータスタディ)

9

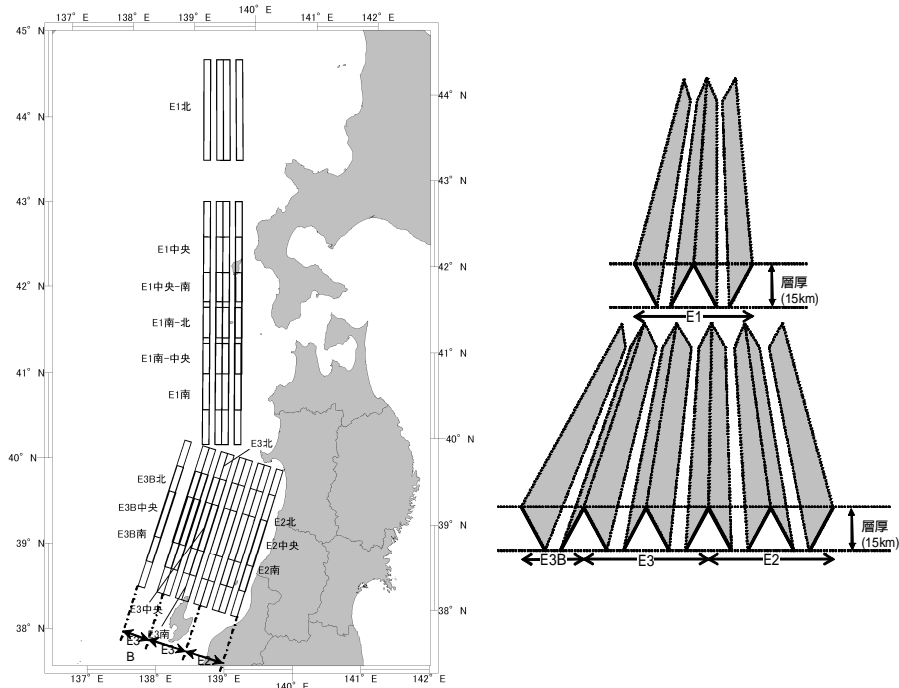
| 断層 No | 断層名 | 断層長さ (km) | 地震規模 Mw | 走行 (°) 【傾斜方向】 | すべり量 (m) | 傾斜角 (°) | 広域応力場 (°) | 上縁深さ (km) | 大飯発電所 |
|-------|------------------|-----------|---------|--|----------|-------------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | 放水口最大水位上昇量 (m) |
| | 大陸棚外縁 - B ~ 野坂断層 | 49 | 7.28 | 41.12 345.44 330.27 309.19 315.54 305.27 【東】 | 3.76 | ~ : 60 : 90 | 90 | 0.0 | 2.71 |
| 2.5 | | | | | | | | 1.72 | |
| 5.0 | | | | | | | | 1.02 | |
| 95 | | | | | | | | 0.0 | 2.54 |
| 100 | | | | | | | | 0.0 | 2.50 |
| 110 | | | | | | | | 0.0 | 2.55 |
| 120 | | | | | | | | 0.0 | 2.00 |

詳細パラメータスタディの結果、大陸棚外縁 - B ~ 野坂断層(広域応力場90°、上縁深さ0km)を抽出した。

以上の結果により、放水ピットの詳細遡上モデルによる数値計算を実施。

評価対象波源(日本海東縁部)の抽出

検討対象断層の選定(日本海東縁部)



日本海東縁部の想定津波として,北海道沖から新潟県沖までの広範囲な海域にモーメントマグニチュードMw=7.85の基準断層モデルを設定

大飯放水ピットの津波水位(概略パラメータスタディ)

12

【概略パラメータスタディ結果一覧】(1/4)

| 活動域 | 南北位置 | 傾斜パターン | 走行(°) | 断層長さ(km) | 地震規模 Mw | すべり量(m) | 傾斜角(°) | すべり角(°) | 上縁深さ(km) | 大飯発電所 | | | |
|-----|------|--------|-------|----------|---------|---------|--------|---------|----------|-------|------------|--|--|
| | | | | | | | | | | 放水口 | 最大水位上昇量(m) | | |
| E1 | 北 | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 0.97 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.32 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.27 | | | |
| | | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.11 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.04 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.30 | | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 0.88 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 0.89 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.12 | | | |
| | | 中央 | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.08 | | |
| | | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 0.97 | | |
| | | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 0.96 | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.53 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.78 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.96 | | | |
| | 南-北 | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.43 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.89 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.09 | | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.41 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.83 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.11 | | | |
| | | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.71 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.49 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.49 | | | |

大飯放水ピットの津波水位(概略パラメータスタディ)

13

【概略パラメータスタディ結果一覧】(2/4)

| 活動域 | 南北位置 | 傾斜パターン | 走行(°) | 断層長さ(km) | 地震規模 Mw | すべり量(m) | 傾斜角(°) | すべり角(°) | 上縁深さ(km) | 大飯発電所 | | | |
|-----|------|--------|-------|----------|---------|---------|--------|---------|----------|-------|------------|--|--|
| | | | | | | | | | | 放水口 | 最大水位上昇量(m) | | |
| E1 | 南-中央 | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.82 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.22 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.84 | | | |
| | | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.10 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.34 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.52 | | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.04 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.45 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.29 | | | |
| | | 北 | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 1.94 | | |
| | | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.14 | | |
| | | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.36 | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.59 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.76 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.54 | | | |
| | 南 | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.09 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.26 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.62 | | | |
| | | | 13 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.98 | | | |
| | | | 3 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.60 | | | |
| | | | 353 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.45 | | | |
| | | | 193 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 2.57 | | | |
| | | | 183 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.03 | | | |
| | | | 173 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | 3.03 | | | |

大飯放水ピットの津波水位(概略パラメータスタディ)

14

【概略パラメータスタディ結果一覧】(3/4)

| 活動域 | 南北位置 | 傾斜パターン | 走行(°) | 断層長さ(km) | 地震規模Mw | すべり量(m) | 傾斜角(°) | すべり角(°) | 上縁深さ(km) | 大飯発電所 | | |
|-----|------|--------|-------|----------|--------|---------|--------|---------|----------|---------------|------|------|
| | | | | | | | | | | 放水口最大水位上昇量(m) | | |
| E2 | 南 | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.67 | 2.97 |
| | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.32 | 2.50 |
| | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.55 | 1.90 |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.24 | 1.95 |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.30 | 1.89 |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.36 | 1.64 |
| | | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.26 | 1.80 |
| | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.30 | 1.83 |
| | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.43 | 1.69 |
| | 北 | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 0.88 | 1.69 |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 0.75 | 1.25 |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 0.84 | 1.34 |
| | | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.61 | 2.82 |
| | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.24 | 2.54 |
| | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.58 | 1.78 |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.06 | 1.68 |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.94 | 1.53 |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.75 | 1.39 |
| E3 | 南 | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.29 | 2.18 |
| | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.78 | 1.56 |
| | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.88 | 1.71 |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.82 | 1.42 |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.75 | 1.25 |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.75 | 1.25 |

大飯放水ピットの津波水位(概略パラメータスタディ)

15

【概略パラメータスタディ結果一覧】(4/4)

| 活動域 | 南北位置 | 傾斜パターン | 走行(°) | 断層長さ(km) | 地震規模Mw | すべり量(m) | 傾斜角(°) | すべり角(°) | 上縁深さ(km) | 大飯発電所 | | | |
|-----|------|--------|-------|----------|--------|---------|--------|---------|----------|---------------|------|------|--|
| | | | | | | | | | | 放水口最大水位上昇量(m) | | | |
| E3B | 北 | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.28 | | |
| | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.74 | | |
| | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.43 | | |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.28 | | |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.97 | | |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 3.24 | | |
| | | 中央 | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.97 | |
| | | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.96 | |
| | | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.89 | |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.12 | | |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.31 | | |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.78 | | |
| | 南 | | | 30 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.78 | |
| | | | | 20 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.47 | |
| | | | | 10 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.11 | |
| | | | 210 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 2.30 | | |
| | | | 200 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.88 | | |
| | | | 190 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 60 | 90 | 0.0 | | 1.88 | | |

概略パラメータスタディの結果、日本海東縁E1南、傾斜パターン 走行13°を抽出した。

大飯放水ピットの津波水位(詳細パラメータスタディ)

16

| 活動域 | 南北位置 | 傾斜パターン | 走行(°) | 位置調整 | 傾斜角(°) | 上縁深さ(km) | 断層長さ(km) | 地震規模Mw | すべり量(m) | すべり角(°) | 大飯発電所 |
|-----|------|--------|-------|---------|---------|----------|----------|--------|---------|---------|---------------|
| | | | | | | | | | | | 放水口最大水位上昇量(m) |
| E1 | 南 | | 13 | 基準 | 60.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 3.59 |
| | | | | | | 2.5 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 3.57 |
| | | | | | | 5.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 3.03 |
| | | | | | 52.5 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 3.46 |
| | | | | | 45.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 3.13 |
| | | | | | 30.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 2.00 |
| | | | | | 右へ1/2dx | 60.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 |
| | | | | 上へ1/3dx | 60.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 2.72 |
| | | | | 上へ2/3dx | 60.0 | 0.0 | 131.1 | 7.85 | 9.44 | 90 | 2.06 |

詳細パラメータスタディの結果、日本海東縁E1南、走行13°(傾斜角60°、上縁深さ0km)を抽出した。



以上の結果により、放水ピットの詳細遡上モデルによる数値計算を実施。

17

放水ピットの詳細遡上モデルによる数値計算

放水ピットの詳細遡上モデルの計算手法および計算条件)

18

津波伝播計算は、非線形長波理論および連続式(後藤他1982⁽¹⁾)を基礎方程式として、空間格子間隔を1,350mから12.5mとした。

放水路トンネル(管路)においては、仮想スロットモデルによる一次元不定流の連続式および運動方程式により算出した。

時間格子間隔は、安定条件(CFL条件)を満たすように設定した。

津波伝播計算の計算手法及び計算条件

| 項目 | 設定値 | |
|----------|---|--------------------|
| 基礎方程式 | 海域および開水路：非線形長波理論式及び連続式(後藤他(1982)) 管路：仮想スロットモデルによる一次元不定流の連続式及び運動方程式 | |
| 計算領域 | 津波の波源域を十分に含む範囲 | |
| 空間格子間隔 | 1,350m 450m 150m 50m 25m 12.5m | |
| 時間格子間隔 | 3s(安定条件(C.F.L.条件)を満たすように設定) | |
| 初期条件 | 断層モデルを用いて、Mansinha et al. (1971)の方法により計算される海底面の鉛直変位分布を初期条件とする | |
| 境界条件 | 沖側境界 | 自由透過の条件(後藤他(1982)) |
| | 陸側境界 | 完全反射条件 |
| | 越流境界 | 本間の越流公式 |
| 取水条件 | 取水なし | |
| 粗度係数 | 海 域：n=0.030 | |
| 水平渦動粘性係数 | 0m ² /s | |
| 計算時間 | 海域活断層：地震発生後 3.0時間 日本海東縁断層：地震発生後 4.0時間 | |
| 計算潮位 | 朔望平均満潮位(T.P.+0.40m) | |

伝播計算(計算領域の空間格子間隔)

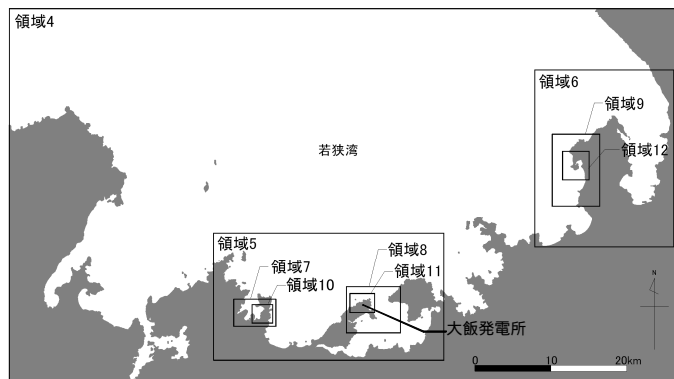
19

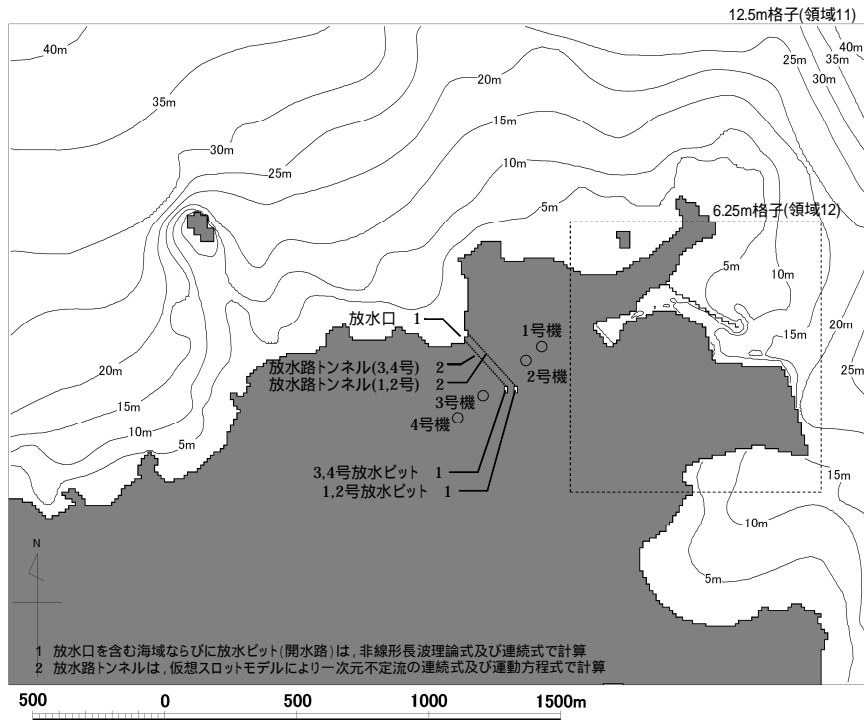


| 領域番号 | 空間格子間隔 x(m) | 最大水深 h _{max} (m) | CFL条件を満たす t(sec) |
|----------|-------------|---------------------------|------------------|
| 1 | 1350 | 3800 | 4.95 |
| 2,3 | 450 | 3700 | 1.67 |
| 4 | 150 | 240 | 2.19 |
| 5,6 | 50 | 90 | 1.19 |
| 7,8,9 | 25 | 80 | 0.63 |
| 10,11,12 | 12.5 | 60 | 0.36 |

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

ここに、
x: 空間格子間隔
t: 時間格子間隔
h_{max}: 最大水深
g: 重力加速度

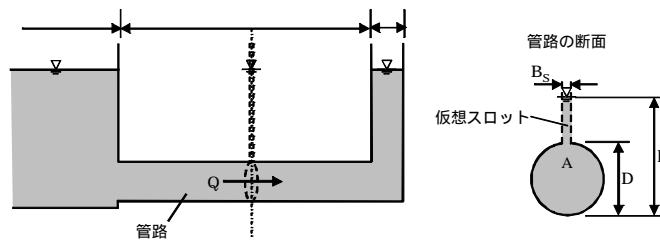




7

放水ピットの詳細遡上モデルの計算手法および計算条件)

放水路トンネル(管路)においては、仮想スロットモデルによる一次元不定流の連続式および運動方程式により算出した。



開水路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + f_c \frac{MQ}{D^2} = 0$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + f_c \frac{NQ}{D^2} = 0$$

ここに、 η : 水面の鉛直変位量,
 $D = \eta - h$, h : 静水深,
 $M = uD$, $N = vD$, (u, v) : (x, y) 方向の流速,
 $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$, g : 重力加速度,
 $f_c = gn^2 D^{-6}$, n : マニングの粗度係数

管路の連続式及び運動方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + g \frac{\partial M}{\partial x} = gA(s_0 - s_f)$$

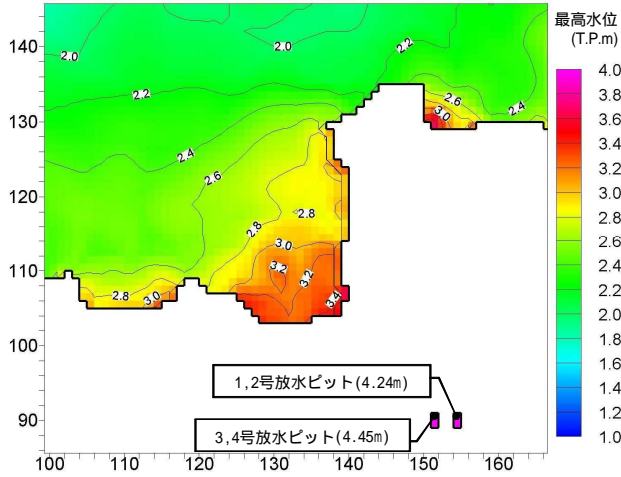
ここに、 $A = A_0 + B_s(h - D)$, $B_s = \frac{gA}{a^2}$,
 A : 流水断面積,
 Q : 流量,
 D : 管径(円形の場合),
 B_s : 仮想スロット幅,
 h : 水深(圧力水頭),
 A_0 : 管断面積(円形の場合 $\pi D^2 / 4$),
 g : 重力加速度,
 a : 圧力伝播速度,

$M = \frac{Q^2}{gA} + h_c A \cos \theta$, $S_0 = -\sin \theta = -dz/dx$, $S_f = \frac{n^2 Q |Q|}{R^4 A^2}$,
 M : 比力,
 S_0 : 水路底勾配,
 S_f : 摩擦勾配,
 n : マニングの粗度係数,
 R : 径深,
 h_c : 水面から圆心までの距離

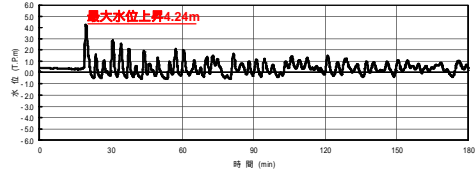
大飯放水ピットの津波水位(大陸棚外縁～B～野坂断層)

22

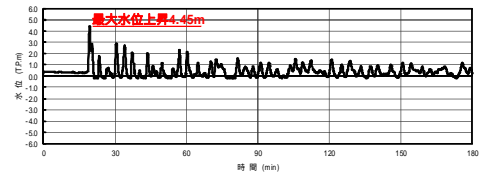
対象波源: 大陸棚外縁～B～野坂断層(広域応力場90°, 上縁深さ0km)
 格子サイズ: 12.5m
 潮位条件: T.P. ± 0.0m(計算結果にH.W.L. T.P.+0.40mを考慮)



1,2号放水ピット



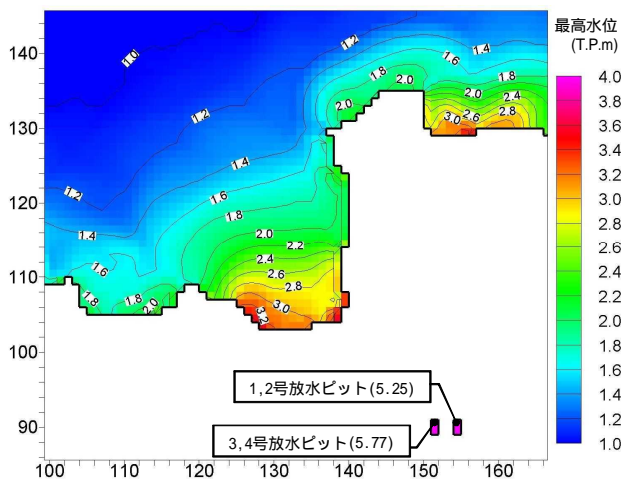
3,4号放水ピット



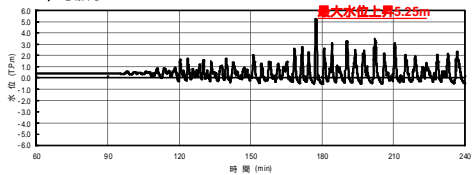
大飯放水ピットの津波水位(日本海東縁部E1南)

23

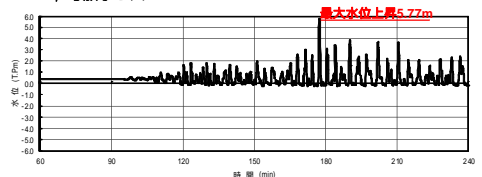
対象波源: 日本海東縁E1南(傾斜パターン, 走向13°, 基準位置, 傾斜角60°, すべり角90°, 上縁深さ0km)
 格子サイズ: 12.5m
 潮位条件: T.P. ± 0.0m(計算結果にH.W.L. T.P.+0.40mを考慮)



1,2号放水ピット



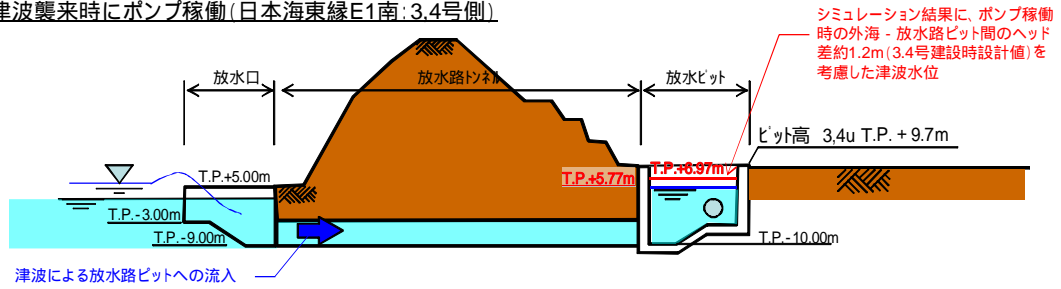
3,4号放水ピット



津波による放水ピット内の水位評価検討結果

| 対象波源 | | 評価対象 | 津波による遡上高さ | ポンプ稼働を考慮した遡上高さ |
|--------|--------------|-----------------|------------|----------------|
| 海域活断層 | 大陸棚外縁～B～野坂断層 | 1,2号放水ピットの上端レベル | T.P.+4.24m | T.P.+5.44m |
| | | 3,4号放水ピットの上端レベル | T.P.+4.45m | T.P.+5.65m |
| 日本海東縁部 | 日本海東縁E1南 | 1,2号放水ピットの上端レベル | T.P.+5.25m | T.P.+6.45m |
| | | 3,4号放水ピットの上端レベル | T.P.+5.77m | T.P.+6.97m |

津波襲来時にポンプ稼働(日本海東縁E1南:3,4号側)



5 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の竜巻影響評価について

1. はじめに

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準を定める規則（仮称）」第6条に関連して、原子炉施設の供用期間中に極めてまれに発生する突風・強風を引き起こす自然現象としての竜巻及びその随伴事象等によって原子炉施設の安全性を損なうことのない設計であることを評価するための「原子力発電所の竜巻影響評価ガイド（案）」（以下、「ガイド案」という。）に基づき、竜巻影響評価を以下の2点について実施する。

- ・ 設計竜巻および設計荷重（設計竜巻荷重およびその他の組み合わせ荷重）の設定
- ・ 設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性等の維持により安全機能が維持されることの評価

2. 評価の基本的事項

2.1 竜巻影響評価の対象施設

以下の(1)および(2)に示す施設を竜巻影響評価の対象施設とする。

(1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（仮称）」の重要度分類における耐震 S クラスの設計を要求される設備（系統・機器）および建屋・構築物等とする。

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損等により竜巻防護施設に波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設、またはその施設の特定の区画（注 2.1）。

（注 2.1） 竜巻防護施設を内包する区画。

2.2 評価の基本的な考え方

2.2.1 評価の基本フロー

基準竜巻、設計竜巻および設計荷重を適切に設定するとともに評価対象施設を抽出し、設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性について検討することより、安全機能が維持されていることの確認を行う。

2.2.2 評価対象施設に作用する荷重

以下に示す設計荷重を適切に設定する。

(1) 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重を以下に示す。

① 風圧力

設計竜巻の最大風速による風圧力

② 気圧差による圧力

設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力

③ 飛来物の衝撃荷重

設計竜巻によって評価対象施設に衝突し得る飛来物（以下、「設計飛来物」という）が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重

(2) 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重

竜巻荷重と組み合わせる荷重を以下に示す。

① 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重等

② 竜巻以外の自然現象(注2.2)による荷重、設計基準事故時荷重等

(注2.2) 竜巻との同時発生が想定され得る雷、雪、雹及び大雨等の自然現象を含む。

2.2.3 施設の安全性の確認方針

設計竜巻荷重及びその他組み合わせ荷重（常時作用している荷重、竜巻以外の自然現象による荷重、設計基準事故時荷重等）を

適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価設計対象施設、あるいはその特定の区画(注 2.3)の構造健全性等が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

(注2.3) 竜巻防護施設を内包する区画。

3. 基準竜巻・設計竜巻の設定

3.1 概要

設計竜巻荷重を設定するまでの基本的な流れを図 3.1 に示す。

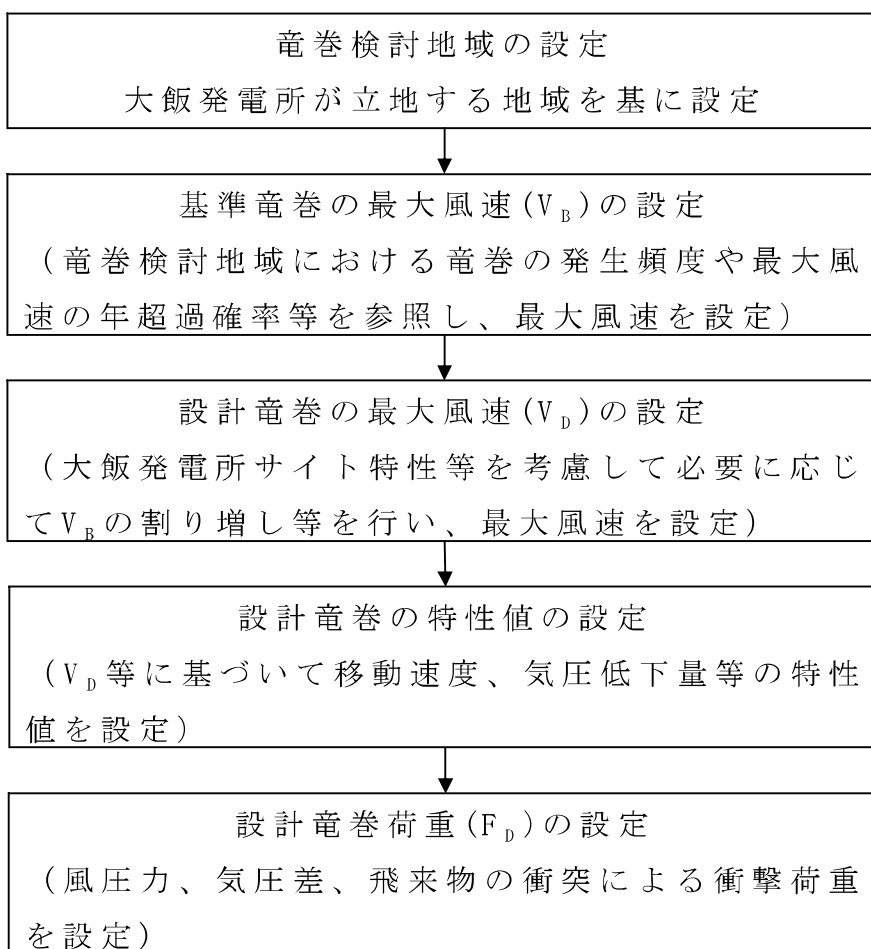


図3.1 基準竜巻・設計竜巻の設定に係る基本フロー

3.2 竜巻検討地域の設定

竜巻検討地域は、北海道から本州の日本海側の海岸に沿った海

側 5kmと山側 5kmの地域（面積 33,395km²）とする。図 3.2 に竜巻検討地域および竜巻の発生状況（1961年～2012年6月）、添付資料 1 に対象の竜巻検討地域において発生した竜巻一覧を示す。



図3.2 竜巻検討地域および竜巻の発生状況^{※1}

※1 気象庁 「竜巻等の突風データベース」より作成

添付資料1：竜巻検討地域において発生した竜巻

3.3 基準竜巻の設定

基準竜巻の最大風速 (V_B) は以下の(1)、(2)より設定を行った。

(1) 過去に発生した竜巻による最大風速 (V_{B1})

竜巻は日本全国で発生しているが、図 3.3 に示す竜巻の都道府県別発生件数より、その発生頻度に地域特性があることが分かる。北海道西部、東北地方の日本海側の県、北陸地方、中国地方の日本海側の竜巻発生頻度が高い。但し、福井県、京都府、兵庫県での発生件数は少なく、太平洋側の岩手県でも少ない。福井県等こ

これらの共通点としてリアス式海岸のような狭隘地が多いことが考えられる。また、日本で発生した竜巻のうち、比較的大きな F2～F3 および F3 の発生状況を日本海側と太平洋側で調査したところ、日本海側では F2～F3 および F3 の竜巻は発生していないことがわかった。（表 3.1、図 3.4 参照）

以上より、竜巻の発生頻度と発生する竜巻の大きさには地域特性があり、また、過去に発生した竜巻による最大風速は、竜巻発生 の地域特性を反映すべきであると言える。よって、竜巻発生 の地域特性を反映するため、竜巻検討地域において、過去に発生した最大の竜巻の最大風速を V_{B1} とする。

竜巻検討地域における過去に発生した最大の竜巻の最大風速は、気象庁の「竜巻等の突風データベース」の情報から調査を行っており、十分信頼性のあるデータを用いた。

竜巻検討地域内で1961年から2012年6月の間に発生した竜巻は192個であり、そのうち過去最大の竜巻はF2であった。F2における風速は50m/s～69m/sであることから、過去に発生した最大の竜巻の最大風速 V_{B1} を69m/sとした。

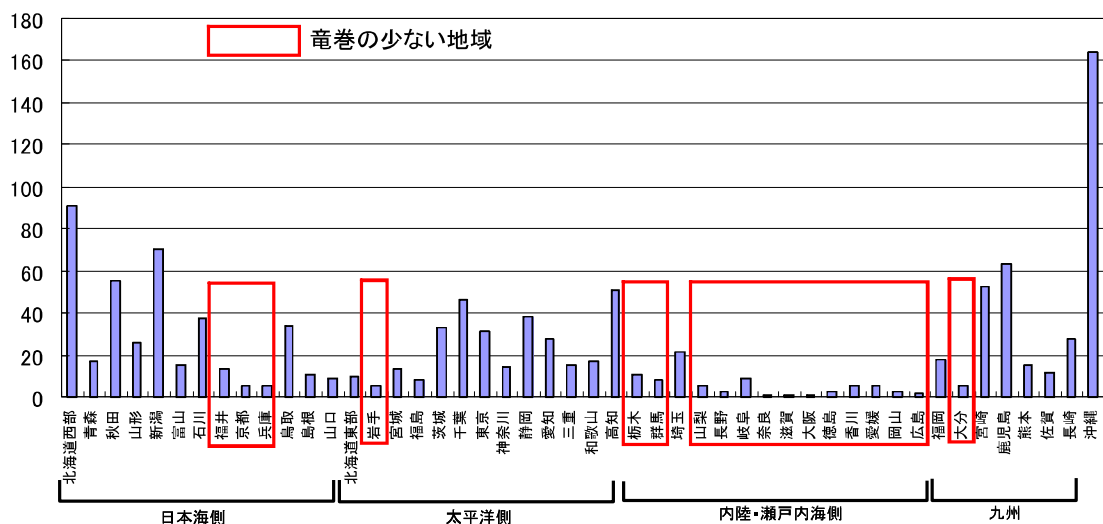


図 3.3 竜巻の都道府県別発生件数^{※2}（1961年～2012年6月）

※2 気象庁 「竜巻等の突風データベース」より作成

表 3.1 F2～F3、F3 の竜巻発生場所*3 (1961年～2012年6月)

| Fスケール | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | 発生場所 |
|-------|-------------------|-----------|------------|--------------|
| F2～F3 | 1966年01月04日12時48分 | 35度21分49秒 | 140度9分46秒 | 千葉県南総町 |
| F2～F3 | 1967年10月28日03時12分 | 35度42分3秒 | 140度43分10秒 | 千葉県飯岡町 |
| F2～F3 | 1968年09月24日19時05分 | 32度7分16秒 | 131度32分8秒 | 宮崎県高鍋町 |
| F2～F3 | 1969年12月07日18時00分 | 34度45分4秒 | 137度22分46秒 | 愛知県豊橋市 |
| F2～F3 | 1978年02月28日21時20分 | 35度32分1秒 | 139度41分50秒 | 神奈川県川崎市 |
| F2～F3 | 1990年02月19日15時15分 | 31度15分38秒 | 130度16分35秒 | 鹿児島県枕崎市 |
| F3 | 1971年07月07日07時50分 | 35度52分45秒 | 139度40分13秒 | 埼玉県浦和市 |
| F3 | 1990年12月11日19時13分 | 35度25分27秒 | 140度17分19秒 | 千葉県茂原市 |
| F3 | 1999年09月24日11時07分 | 34度42分4秒 | 137度23分5秒 | 愛知県豊橋市 |
| F3 | 2006年11月07日13時23分 | 43度58分39秒 | 143度42分12秒 | 北海道網走支庁 佐呂間町 |
| F3 | 2012年05月06日12時35分 | 36度6分38秒 | 139度56分44秒 | 茨城県常総市 |

※3 気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成



図 3.4 日本海側と太平洋側における竜巻の発生状況^{※4}（1961年～2012年6月）

※4 気象庁「竜巻等の突風データベース」より作成

(2) 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 (V_{B2})

竜巻の発生について統計的に評価を行うため、竜巻検討地域におけるハザード曲線を算定し、年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻最大風速を V_{B2} とする。

竜巻検討地域内で 1961 年から 2012 年 6 月の間に発生した竜巻は 192 個であり、そのうち過去最大の竜巻でも F2 であることから、これを基に大きな風速まで与える信頼性の高いハザード曲線を算定することは困難であると判断した。そこで、竜巻検討地域の特性は、竜巻検討地域における年発生個数の期待値のみに反映し、その他、ある竜巻が発生した場合の被災面積の期待値、その竜巻の風速特性については、日本全国の過去のデータを元にするを基本とした。但し、

日本で観測されていない F4、F5 の非常に大きな竜巻の特性は、米国で設計用竜巻の風速を評価した際の手法を参考にした。

ハザード曲線評価に用いた竜巻のデータは、気象庁の竜巻等の突風データベースの情報を基にした。

算定した竜巻最大風速のハザード曲線を図 3.5 に示す。図 3.5 より、ハザード曲線における年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻の最大風速 V_{B2} を 69m/s とした。

以上、(1)、(2)より算定した竜巻の最大風速を表 3.2 に示す。

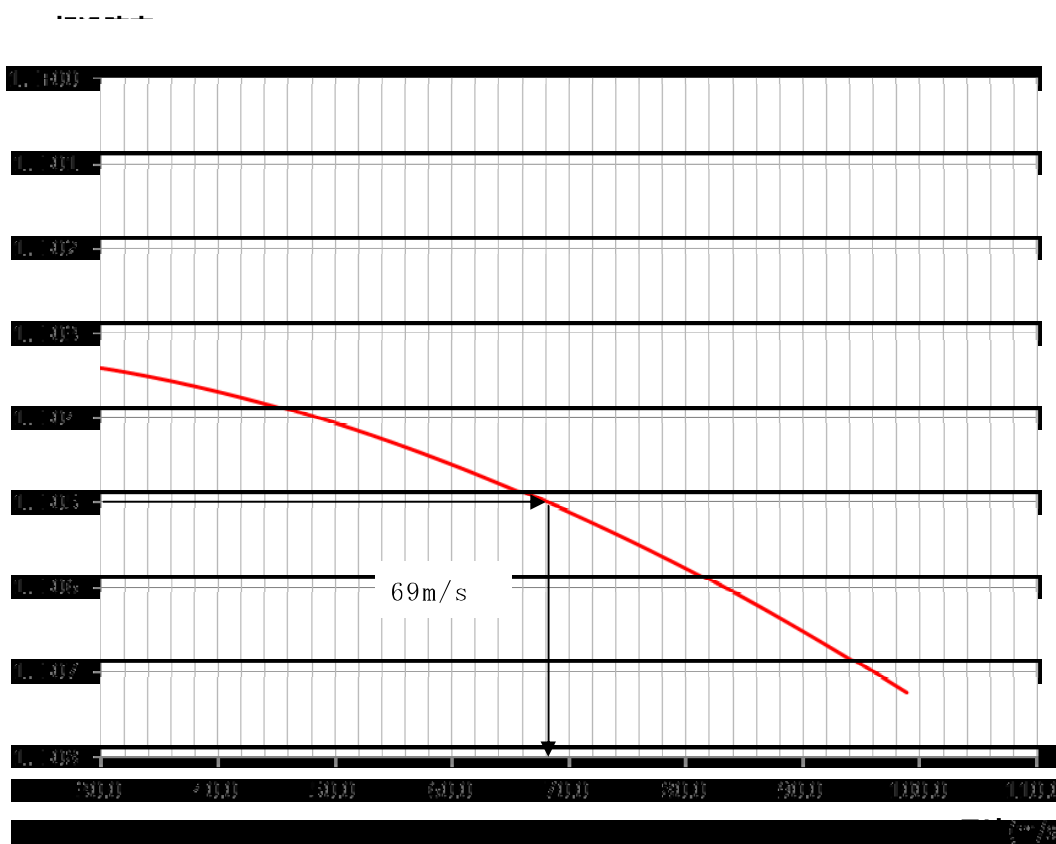


図3.5 竜巻最大風速のハザード曲線

表3.2 竜巻の最大風速の算定結果

| | 最大風速 |
|-------------------------------|-------|
| 過去に発生した竜巻による最大風速 V_{B1} | 69m/s |
| 竜巻最大風速のハザード曲線による最大風速 V_{B2} | 69m/s |

以上(1)、(2)より、大飯発電所における基準竜巻の最大風速は69m/sとする。

参考に、米国の原子力施設における推奨設計用竜巻風速は、米国を3地域に分けて年超過確率毎に NUREG/CR-4461, Rev. 2 に詳細に示されており、表 3.3 のとおりである。地域区分は図 3.6 に示す。

米国は日本よりも竜巻の観測体制が整っており、多くの有効な観測データが存在し、詳細な統計解析が可能であると考えられることから、表 3.2 に示す年超過確率は信頼性の高いデータであると言える。今回、大飯発電所における竜巻検討地域において推定した年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻の最大風速 V_{B2} 69m/sは、米国東海岸等 (Region II) と米国西海岸等 (Region III) の年超過確率 10^{-5} の風速よりも大きく、巨大竜巻が来襲する米国中央部 (Region I) での年超過確率 10^{-5} の風速、米国西海岸等 (Region III) での年超過確率 10^{-7} の風速とほぼ同等の値となっている。

よって、大飯発電所における竜巻検討地域において推定した年超過確率 10^{-5} に相当する竜巻の最大風速 V_{B2} 69m/sは、米国における推奨設計用竜巻風速と比較して妥当な値であると言える。

なお、日本で過去に発生した最大の竜巻F3の最大風速 92m/sは、米国東海岸等 (Region II) と米国西海岸等 (Region III) の年超過確率 10^{-7} の風速よりも大きい値となっている。

したがって、大飯発電所における基準竜巻 69m/s は十分保守性のあるものである。

表3.3 米国における設計用竜巻風速

| 年超過確率 | 設計用竜巻風速 (mph) | | | 設計用竜巻風速 (m/sに換算) | | |
|-----------|---------------|-----------|------------|------------------|-----------|------------|
| | Region I | Region II | Region III | Region I | Region II | Region III |
| 10^{-5} | 160 | 140 | 100 | 72 | 63 | 45 |
| 10^{-6} | 200 | 170 | 130 | 89 | 76 | 58 |
| 10^{-7} | 230 | 200 | 160 | 103 | 89 | 72 |

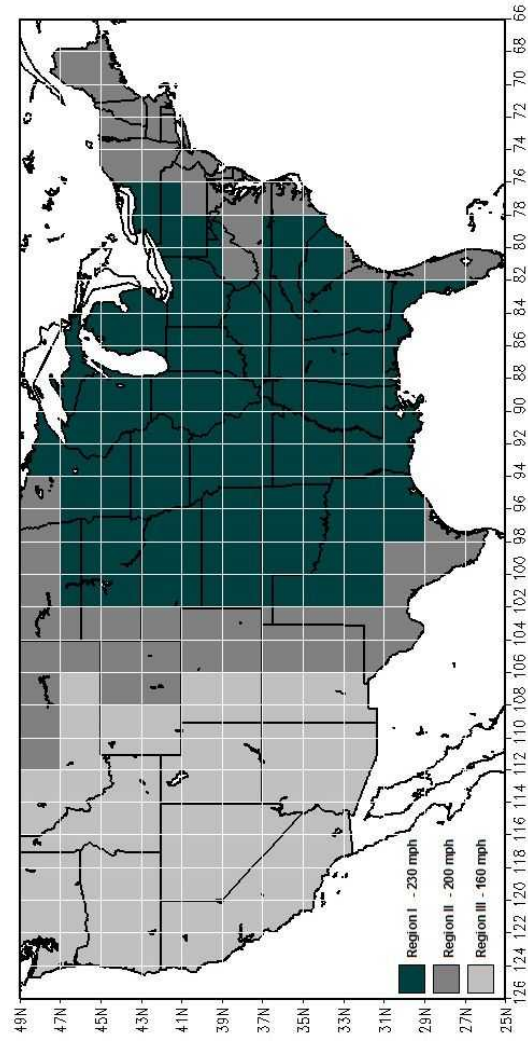


図3.6 米国における竜巻風速の年超過確率 10^{-7} の地域図

(参考) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定の仕方

竜巻最大風速のハザード曲線は、米国 NRC による設計用竜巻風速評価のもとになる NUREG/CR-4461Rev. 2 に従い、建屋等が竜巻により被害を受ける確率と、被害を受けた時にある風速を超える確率を掛け合わせる条件付確率（竜巻被害発生時の風速の年超過確率）として算定した。竜巻の観測データは日本の観測データを最大限活かした。なお、竜巻発生個数に係る評価においては、F0 未満、不明を含めてすべてを発生個数としてカウントした。風速を伴う評価においては、不明は含めず、F0 未満、F0 以下および F0 は F0、F0～F1 および F1 は F1、F1～F2 および F2 は F2、F2～F3 および F3 は F3 として取り扱った。

(1) 竜巻影響エリアの設定

竜巻影響エリアは、竜巻検討地域（北海道から本州の日本海側の海岸に沿った海側 5km と山側 5km の地域（面積 33,395km²））と評価対象施設の代表幅として大飯 3,4 号機の評価対象施設の内、幅が最も大きい原子炉周辺建屋（平面=71m×98.6m、対角線長さ 121.5m）より 150m とした。竜巻の移動方向は、評価対象施設の代表幅を対角線より設定することから、最も被害を大きく受ける方向とした。

竜巻による被害幅と被害域長さは、日本で観測された竜巻の観測データより非超過確率分布を求め、対数正規分布曲線で近似を行い求めた期待値とした。

(2) 竜巻の年発生数の期待値の設定

竜巻検討地域における竜巻の年発生数の分布は、平均値 3.69 個の 2 倍を超える標準偏差 7.55 個を持つ非常に偏った分布をしており、ポアソン分布を当てはめることは適さなかった。ガイド案の示すポアソン分布では平均値を期待値とみなし、そのままハザード評価をすることとなるが、竜巻検討地域における年発生数に非常に偏りのある傾向を考慮し、保守的な期待値を定めることとした。すなわち、平均値

にデータの偏りの度合いを表す標準偏差を加えた平均＋標準偏差の値 11.24 個より、保守的に竜巻の年発生数の期待値を 15 個とした。設定した期待値 15 個を超えるのは、52 年中 7.6% の 4 年間だけである。したがって、52 年中の 92.4% 以上の年における年発生数は設定した値を超えることがなく、設定した期待値は十分保守的な値である。また、その値を期待値としたハザード評価は十分保守的である。なお、竜巻検討地域における竜巻の発生数は少なく、陸側 5km、海側 5km を 1km ごとに設定を行うと、極度にデータ不足となることから、竜巻検討地域全体で竜巻の年発生数の期待値を設定した。

(3) 竜巻最大風速の確率分布の設定

竜巻最大風速の確率分布は、日本で観測された竜巻の観測データを基に、風速の年超過確率の特性をワイブル分布で近似した曲線として設定した。その評価に当たって、日本で公表されている竜巻の大きさは F スケールによって表されているが、F スケールで与えられる風速は、各 F スケールで平均時間間隔が異なっている。一方、EF スケールは、3 秒平均での風速に統一されている。最大風速は平均時間に依存することから、統計的に評価する際は、平均時間が統一された風速の尺度を用いることが適している。従って、F スケールを EF スケールでの風速とし、最終的に得られた EF スケールでの最大風速を F スケール相当に換算した。

(4) 竜巻最大風速のハザード曲線の算定

(1)～(3)の設定より、竜巻検討地域において、建屋等の構造物が無い箇所を竜巻が襲う場合の竜巻被害発生時の風速の年超過確率(点構造物の竜巻被害発生時の風速の年超過確率)および建屋等を竜巻が襲う場合の竜巻被害発生時の風速の年超過確率(大きさのある構造物の竜巻被害発生時の年超過確率)をそれぞれ算定し、両者を足し合わせて竜巻最大風速のハザード曲線を算定した。

(5)年超過確率に対応する竜巻最大風速 (V_{B2}) の算定

(4)で算定した竜巻最大風速のハザード曲線において、ガイド案を参考に年超過確率 10^{-5} に相当する風速を V_{B2} とした。

添付資料2：竜巻最大風速のハザード曲線の算定の仕方について

3.4 設計竜巻の設定

設計竜巻の最大風速 (V_D) および特性値を以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻の最大風速 (V_D)

一般に地形効果による風の増幅は、傾斜地や尾根状地形を風が流れるとき、傾斜地や尾根状地形の風上側では、風は傾斜地や尾根状地形によってせき止められ、平均風速は平坦な地形上よりも小さくなるが、風は斜面を上がるにつれて加速するため、斜面の中程よりも上の地表面付近の平均風速は平坦な地形よりも大きくなる。

一方、大飯発電所は三方を山に囲まれ北東方向が開かれた幅 500mほどの谷状の狭隘な地形に立地しており、前述の地形効果による風の増幅の条件には当てはまらない。また、数値流体計算による狭隘地形が竜巻状旋回気流に与える影響を評価したところ、大飯発電所のような谷間地形では海側から入ってきた竜巻は風速を落としながら進んでいくことを確認している。

添付資料3：狭隘地形が竜巻状旋回気流に与える影響について

以上より、設計竜巻の最大風速 V_D は、大飯発電所が立地する地形では竜巻の増幅は考えられないことから、風速の割り増しは行わない。

(2) 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は、竜巻検討地域における竜巻の観測データが不足していることから、ランキン渦モデルを仮定の上、①～⑤に従い設

定した。表 3.4 に示す。

① 設計竜巻の移動速度 (V_T)

$$V_T = 0.15 \cdot V_D$$

V_D (m/s): 設計竜巻の最大風速

② 設計竜巻の最大接線風速 (V_{Rm})

$$V_{Rm} = V_D - V_T$$

V_D (m/s): 設計竜巻の最大風速、 V_T (m/s): 設計竜巻の移動速度

③ 設計竜巻の最大接線風速が生じる位置での半径 (R_m)

$$R_m = 30(m)$$

④ 設計竜巻の気圧低下量 (ΔP)

$$\Delta P = \rho \cdot V_{Rm}^2$$

ρ : 空気密度(1.22(kg/m³)), V_{Rm} (m/s): 設計竜巻の最大接線風速

⑤ 設計竜巻の最大気圧低下率 ($(dp/dt)_{max}$)

$$(dp/dt)_{max} = (V_T / R_m) \cdot \Delta P$$

V_T (m/s): 設計竜巻の移動速度、 R_m (m/s): 設計竜巻の最大接線風速半径

表 3.4 設計竜巻の特性値

| 最大風速 V_D (m/s) | 移動速度 V_T (m/s) | 最大接線風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線風速半径 R_m (m) | 気圧低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 69 | 10 | 59 | 30 | 43 | 15 |

今回、竜巻影響評価は事業者として初めての取組みであり、知見拡充の観点から、『東京工芸大学：「平成 21～22 年度原子力安全基盤調査研究（平成 22 年度）、竜巻による原子力施設の影響に関する調査研究」、独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究報告書、平成 23 年 2 月』で示された下記設計竜巻（表 3.5 に示す）の設計荷重に対しても、建屋・構築物、設備（系統・機器）の安全機能維持について確認を行う。

表 3.5 知見拡充で使用する設計竜巻の特性値

| 最大風速 V_D (m/s) | 移動速度 V_T (m/s) | 最大接線風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線風速半径 R_m (m) | 気圧低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 100 | 16 | 84 | 30 | 85 | 45 |

4. 竜巻影響評価

4.1 評価概要

評価の概要は以下のとおりとする。

- (1) 設計竜巻および設計荷重（設計竜巻荷重およびその他の組み合わせ荷重）の設定
- (2) 設計荷重に対する竜巻防護施設の構造健全性等の維持により安全機能が維持されることの評価

4.2 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設

① 建屋・構築物

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（仮称）」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される建屋として、以下を抽出した。

- ・原子炉格納容器 (PCCV)
- ・原子炉周辺建屋 (E/B)
- ・制御建屋 (C/B)

② 設備

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド（仮称）」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備であり、外殻となる施設により防護が期待できない設備として、以下を抽出した。

- ・海水ポンプ
- ・排気筒（建屋外）

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設

① 建屋、構築物

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設は、竜巻防護施設に隣接する以下の建屋とした。

- ・タービン建屋 (T/B)

② 設備

- (a) 当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設として、以下を抽出した。

- ・ 海水ポンプ室クレーン

(b) 当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設として、換気・冷却等が必要な耐震Sクラス設備を内包する区画の換気空調設備の内、以下を抽出した。

- ・ 排気筒（建屋内）
- ・ アニュラス空気浄化系
- ・ 安全補機室冷却系
- ・ ディーゼル発電機室換気系
- ・ 電動補助給水ポンプ室換気系
- ・ 制御用空気圧縮器室換気系
- ・ 安全補機開閉器室空調系
- ・ 蓄電池室排気系
- ・ 中央制御室空調系

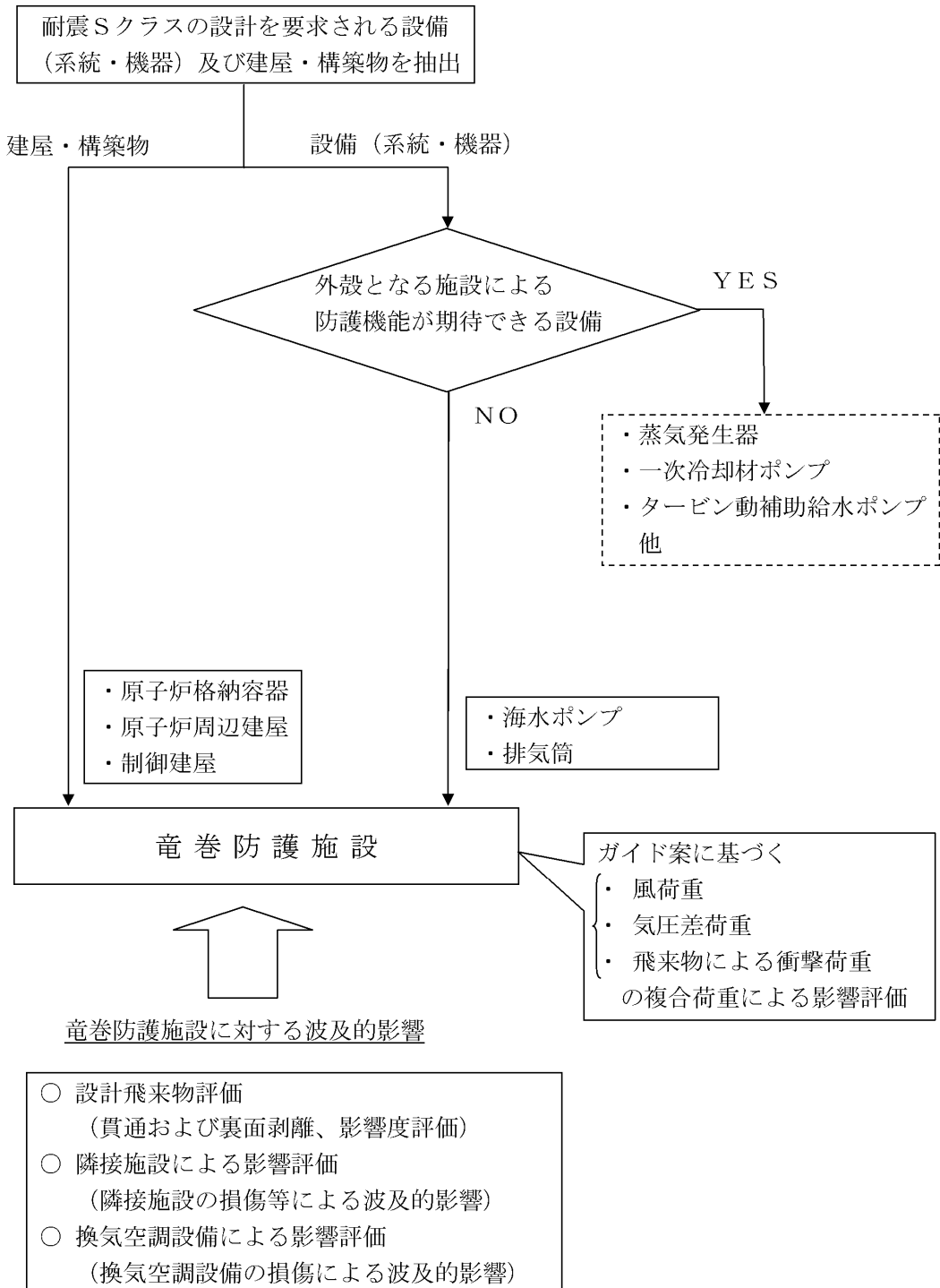


図 4.1 竜巻防護施設抽出フロー

4.3 評価荷重の設定

4.3.1 設計竜巻荷重の設定

設計竜巻の最大風速 V_D 等に基づき、以下のとおり設定する。

(1) 設計竜巻による風圧力の設定

設計竜巻の水平方向の最大風速によって施設（屋根を含む）に作用する風圧力(P_D)は、「建築基準法施行令」及び「日本建築学会建築物荷重指針・同解説」に準拠して、下式により算定する。

なお、ガスト影響係数(G)は $G=1.0$ 、風力係数(C)は施設の形状や風圧力が作用する部位（屋根、壁等）に応じて設定する。

$$P_D = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

q : 設計用速度圧、 G : ガスト影響係数(=1.0)、 C : 風力係数、 A : 施設の受圧面積

$$q = (1/2) \cdot \rho \cdot V_D^2$$

ρ : 空気密度、 V_D : 設計竜巻の最大風速

(2) 設計竜巻における気圧低下によって生じる評価対象施設内外の気圧差による圧力の設定

設計竜巻による評価対象施設内外の気圧差による圧力は、気圧低下量(ΔP)に基づき設定する。

① 建屋・構築物等

建屋については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ΔP : 気圧低下量、 A : 施設の受圧面積

竜巻防護施設を内包する建屋・構築物について、開口部（窓、

扉、シャッター) および建屋天井について影響を評価し、当該施設が破損した場合には安全機能維持について確認を行う。

② 設備 (系統・機器)

設備については、気圧差による圧力荷重が最も大きくなる「閉じた施設」を想定し、内外気圧差による圧力荷重 W_p を以下の式により設定する。

$$W_p = \Delta P \cdot A$$

ΔP : 気圧低下量、 A : 施設の受圧面積

外気と隔離されている区画の境界部等気圧差による圧力影響を受ける設備について、圧力影響により作用する応力が許容値内であるかを確認し、許容値を上回る場合には設備が破損した場合の安全機能維持への影響について確認する。

(3) 設計竜巻による飛来物が評価対象施設に衝突する際の衝撃荷重の設定

① 設計飛来物の設定

設計飛来物は、ガイド案の解説表4.1に示される飛来物とし、表4.1の通りとする。なお、解説表4.1に示される飛来物は、竜巻による原子力施設への影響に関する調査研究(注4.1)において福島第二原子力発電所を対象に調査された結果より設定されており、同様な原子力発電所の運営を行っている大飯発電所の設計飛来物としても妥当である。

(注4.1) 東京工芸大学「平成21～22年度原子力安全基盤調査研究
 (平成22年度) 竜巻による原子力施設への影響に関する
 調査研究」独立行政法人原子力安全基盤機構委託研究成
 果報告書、平成23年3月

表4.1 設計飛来物

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|--------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ(m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量(kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |

② 設計飛来物の速度の設定

設計竜巻による設計飛来物の最大水平速度(${}_M V_{Hmax}$)および最大鉛直速度(${}_M V_{Vmax}$)は、衝撃荷重による影響を保守的に評価するため、知見拡充のためガイドに示される竜巻の最大風速(V_D)=100m/sの場合と同じ値とし、表4.2の通りとする。

表 4.2 設計飛来物および飛来物速度

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|--------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ (m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量 (kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |
| 最大水平速度 (m/s) | 49 | 57 | 30 | 60 | 34 |
| 最大鉛直速度 (m/s) | 33 | 38 | 20 | 40 | 23 |

③ 設計飛来物の衝突方向、衝突範囲および衝撃荷重の設定

竜巻の高さ方向構造は変化せず、渦内部構造はランキン渦に従うとし、飛来物は飛散時の風力を最も大きく受ける姿勢のまま飛散していくといった、極めて単純化した仮定のもとで評価した設計竜巻を包絡する風速での設計飛来物の飛散距離および飛散高さを表 4.3 に示す。

表4.3 設計飛来物の飛散距離および飛散高さ※（竜巻風速：71m/s）

| | 飛散距離（m） | 飛散高さ（m） |
|---------|---------|---------|
| 鋼製パイプ | 354 | 0.08 |
| 鋼製材 | 345 | 14 |
| コンクリート板 | 389 | 0 |
| コンテナ | 355 | 0 |
| トラック | 430 | 0 |

※電力共通研究「平成24年度原子力発電所の竜巻に対する評価法に関する研究」より作成

なお、衝撃荷重については、上記同様、電力共通研究「平成24年度原子力発電所の竜巻に対する評価法に関する研究」において、最も大きな衝撃荷重を与えるコンテナによる最大衝撃荷重1,880kNを採用し、建屋全体への適合性検討を実施する。

(4) 設計竜巻荷重の組み合わせ

評価対象施設の評価に用いる設計竜巻荷重は、設計竜巻による風圧力による荷重(W_w)、気圧差による荷重(W_p)、および設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重とし、以下の式により算定する。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

4.3.2 設計竜巻荷重と組み合わせる荷重の設定

設計竜巻荷重と組み合わせる荷重は、以下のとおりとする。

(1) 評価対象施設に常時作用する荷重、運転時荷重

評価対象施設により、常時作用する荷重（自重、死荷重、活荷重）を適切に組み合わせる。

(2) 竜巻以外の自然現象による荷重

竜巻と同時に発生する雷、雪、雹、大雨については、以下の理由によりプラントへの影響が相乗しないため、考慮しない。

① 雷

竜巻は建屋、構築物、および設備（系統・機器）に対する風荷重、気圧差荷重および飛来物の衝撃荷重であるが、落雷は雷撃であり影響モードが異なることから、竜巻との組合せは考慮しない。

なお、避雷針の固定ボルトの強度は竜巻の風荷重を上回るため、その機能を喪失しない。

② 雪

冬期、日本海で発生した海上竜巻が襲来する場合は竜巻通過前後に降雪を伴う可能性はあるが、竜巻渦の周辺は上昇気流であるため、竜巻通過時に雪は降らない。竜巻通過前に積った雪は竜巻の風により吹き飛ばされ、プラントへの影響は生じないことから、竜巻との組合せは考慮しない。

③ 雹

雹は発達した積乱雲の中で生じる。しかし日本海側で発生する冬期季節風吹き出しに伴って発生する海上竜巻では、大気的气温が低く降雪粒子の融解が生じないため、降雹はほとんど見られていない。冬期以外で仮に雹が形成されたとしても、積乱雲の構造から、上昇流域である竜巻本体周辺では降雹は生じない。竜巻通過前に降雹があっても、竜巻の風により吹き飛ばさ

れ、プラントへの影響は生じないことから竜巻との組合せは考慮しない。

④ 大雨

竜巻は上昇気流であるため、竜巻通過時に雨は降らない。竜巻通過前後に雨が降ってもプラントへの影響は建屋への浸水であり、影響モードが異なることから、竜巻との組合せは考慮しない。

また、竜巻の発生頻度は小さいことから、竜巻と同時に発生が想定されない自然現象との組み合わせは考慮しない。

(3) 設計基準事故時荷重

竜巻の発生頻度は小さいことから、設計基準事故時荷重との組み合わせは考慮しない。

4.4 施設の構造健全性評価結果

4.4.1 概要

設計竜巻荷重およびその他組み合わせ荷重を適切に組み合わせた設計荷重に対して、評価対象施設、あるいはその特定の区画（注 4.1）の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認する。

（注 4.1）竜巻防護施設を内包する区画。

4.4.2 建屋、構築物の構造健全性の確認結果

設計荷重に対して、建屋・構築物等の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定

原子炉格納容器、原子炉周辺建屋および制御建屋に対し、建屋

の形状や配置状況を反映した受風面積、形状係数等を考慮した設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} を作用させ、評価対象施設に生じる以下の変形を算定した。

① 鉄筋コンクリート造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用しているせん断力の復元特性（ $Q-\gamma$ 関係）よりせん断歪度を算定した。

② 鉄骨造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係（ $Q-\delta$ 関係）から得られる水平変位より層間変形角を算定した。

(2) 構造健全性の確認

① 竜巻防護施設

1) 鉄筋コンクリート造部分

地震応答解析モデルに適用しているせん断力の復元特性（ $Q-\gamma$ 関係）より算定したせん断歪度について、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみ度の許容限界値 $2,000\mu$ ^{*5}との比較により十分な安全余裕を有していることから構造健全性を確認した。

※5：原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）に示されている、Sクラスの建物・構築物の鉄筋コンクリート造耐震壁に対する基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断ひずみ度の許容限界値。

2) 鉄骨造部分

地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係（ $Q-\delta$ 関係）より算定した層間変形角について、許容限界値120分の1^{*6}との比較により十分な安全余裕を有していることから構造健全性を確認した。

※6：建築基準法施行令第82条の2に示されている、当該層間変位の当該各階の高さに対する割合の許容限界値。

②竜巻防護施設に対する波及的影響

1)波及的影響を及ぼし得る施設の評価

竜巻防護施設（原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋）に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計（ 300kg/m^2 ）で設計しており、これは設計風速で 69.3m/s 相当であることから、設計竜巻により損壊しない。従って、竜巻防護施設の安全機能に影響を与えない。

2)設計飛来物の評価

a.鉄筋コンクリート造部分

設計飛来物が竜巻防護施設に衝突しても、建屋の外壁や屋根スラブの壁厚が裏面剥離・貫通を防ぐために必要な壁厚を確保していることを確認した。

b.鉄骨造部分

設計飛来物が鋼構造部分（燃料取扱建屋）の外壁に衝突した場合、貫通することから、竜巻防護施設である使用済燃料ピット中の燃料集合体への影響確認を行った。

飛来物が使用済燃料ピットに入った場合でも、燃料が破損しないことを確認した。

なお、上記評価について、知見拡充による設計竜巻 100m/s でも実施し、竜巻防護施設に安全機能に影響を与えないことを確認している。

添付資料4：設計竜巻に対する建屋の構造健全性評価結果

添付資料5：知見拡充で使用する設計竜巻に対する建屋の構造健全性評価結果

4.4.3 設備の構造健全性の確認結果

設計荷重に対して、設備（構造・機器）の構造健全性が維持されており、安全機能が維持されることを確認した。

(1) 設計荷重によって施設に生じる変形・応力等の算定

① 海水ポンプ

海水ポンプに対し、設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} を作用させ発生応力を算定した。

② 排気筒

排気筒に対し、設計竜巻による複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} を作用させ発生応力を算定した。

(2) 構造健全性の確認

① 竜巻防護施設の評価

a. 海水ポンプ

設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重 ($W_w + 0.5W_p$) に対する海水ポンプ及びモータの基礎ボルト、モータ取付ボルト等に発生する応力評価を行い、健全であることを確認した。

なお、後述する設計飛来物の評価結果より、海水ポンプへの衝突は設計上考慮すべき頻度 (10^{-7} /年) を十分下回るため、飛来物による衝撃荷重 (W_M) は評価しない。

b. 排気筒

設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重 ($W_w + 0.5W_p$) に対する排気筒の丸ダクトと角ダクトに発生する応力評価を行い、健全であることを確認した。

なお、設計竜巻による飛来物の飛散高さは排気筒の高さまで浮き上がらないことから、飛来物による衝撃荷重 (W_M) は評価しない。

② 竜巻防護施設に対する波及的影響

1) 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

a. タービン建屋

竜巻防護施設（原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋）に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計 (300kg/m^2) で設計しており、これは設計風速で 69.3m/s 相当であることから、設計竜巻により損壊しない。従って、竜巻防護施設の安全機能に影響を与えない。

b. 海水ポンプ室クレーン

海水ポンプ室クレーンの高さ (16m) と海水ポンプ室クレーン係留位置から海水ポンプまでの距離 (20m) を比較することにより、海水ポンプに影響を与えないことを確認した。

c. 換気空調設備

換気空調設備は、外気と繋がっており気圧差荷重の影響を受けると想定される。波及的影響として耐震Sクラス設備を内包する区画の換気・冷却等を行う換気空調設備について、排気筒（建屋内）、外気と繋がるダクト、外気との隔離箇所（ダンパ、バタフライ弁）、外気との隔離箇所までに設置されているファンについて評価を行い、安全機能が維持できることを確認した。

2) 設計飛来物の評価

a. 海水ポンプ

設計飛来物が海水ポンプに衝突する影響度評価を行う。

設計基準事象として評価されているタービンミサイルや航空

機落下は頻度的な評価となっており、安全上重要な機器が破損する確率が 10^{-7} /年以下となることが安全上の判断基準となっている。またASME/ANS PRA標準においても考慮する起因事象の発生頻度について 10^{-7} /年以下のものは除外してもよいとする例もある。これらの事から飛来物が海水ポンプに衝突する影響度評価についても 10^{-7} /年以下を安全上の判断基準として設定する。なお、評価方法については既知のタービンミサイル評価（「タービンミサイル評価について」原子炉安全専門審査会（昭和52年7月20日））を準用する。

海水ポンプに対して、飛来物による影響頻度を評価したところ、設計上考慮すべき頻度（ 10^{-7} /年）を十分下回るため、海水ポンプへの飛来物は影響がなく安全機能は維持される。

飛来物への対応として、海水ポンプ室設置付近への車の乗入れ管理、資機材保管管理等を行い、竜巻に対する備えの万全を期する。

b. 排気筒

設計竜巻による飛来物が、排気筒の高さまで浮き上がらず、排気筒に衝突し得ないことから、排気筒への飛来物の影響はない。

なお、上記評価について、知見拡充による設計竜巻100m/sでも実施し、竜巻防護施設の安全機能が維持されることを確認している。

添付資料6：設計竜巻に対する設備の構造健全性評価結果

添付資料7：知見拡充で使用する設計竜巻に対する設備の構造健全性評価結果

4.5 その他の確認事項

ガイド案 解説 4.3. 1.2.3 において要求がある「圧力差の影響を受け得る計器類」については、評価対象である耐震 S クラスの計器類は、全て建屋内に設置されており、竜巻により建屋内・外で差圧が発生した場合にその影響を受けるものは無い。(海水ポンプ関連で屋外設置の耐震 S クラスの計器なし)

また、4.4 で実施した評価以外の確認事項は存在しない。中央制御室及び非常用発電機の設備に繋がる給排気ダクト類は、風圧力の影響を受けない構造となっている。

5. 竜巻随件事象に対する評価

竜巻随件事象として想定される事象について影響評価を行い、以下のとおり竜巻防護施設の安全機能が維持されることを確認した。

(1) 火災

設計竜巻により、発電所敷地内の危険物タンクにおいて火災が発生した場合を想定したとしても、原子炉施設外壁の温度が、許容温度を超えないため、竜巻防護施設に熱影響を及ぼすことがないことから、竜巻防護施設の安全機能維持に影響は与えない。(注 4.2)

(注 4.2) 外部火災影響報告書 添付資料 2 - 1 「大飯発電所 3, 4 号機の敷地内におけるタンク火災による影響評価について」

(2) 溢水

設計竜巻による燃料取扱建屋の構造健全性を確認した結果、燃料取扱建屋は損壊しないため、気圧差による使用済み燃料プールの水の流出は生じない。また、設計竜巻により、発電所敷地内の屋外タンクの倒壊による水の流出が発生した場合を想定したとしても、津波対策として水密構造としているため、竜巻防護施設の安全機能に影響を与えることはない。

(3) 外部電源喪失

設計竜巻と同時に発生する雷、ダウンバーストにより外部電源が喪失した場合でも、非常用ディーゼル発電機は原子炉周辺建屋内に収納しており、設計竜巻による風圧力、気圧差による圧力、飛来物による機関への影響はない。吸排気については外気と繋がっているが、短時間の気圧差による圧力による影響はない。このことから、非常用ディーゼル発電機は安全機能を維持しており、竜巻防護施設の安全機能の維持に影響は与えない。

竜巻検討地域において発生した竜巻

竜巻検討地域において 1961 年～2012 年 6 月に発生した竜巻の一覧を下表に示す。

表 1 竜巻検討地域において 1961 年～2012 年 6 月に発生した竜巻

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | F スケール | 現象区別 |
|----|----------------------------|----------------|-----------------|--------|------------------|
| 1 | 1961 年 01 月 24 日 13 時 50 分 | 33 度 54 分 8 秒 | 130 度 56 分 12 秒 | F1 | 竜巻 |
| 2 | 1962 年 09 月 28 日 14 時 20 分 | 45 度 13 分 30 秒 | 141 度 15 分 25 秒 | F2 | 竜巻 |
| 3 | 1965 年 09 月 30 日 02 時 35 分 | 39 度 44 分 33 秒 | 140 度 4 分 46 秒 | F1 | 竜巻 |
| 4 | 1965 年 09 月 30 日 03 時 00 分 | 39 度 19 分 29 秒 | 140 度 0 分 10 秒 | F0～F1 | 竜巻または ダウンバースト |
| 5 | 1968 年 01 月 08 日 09 時 50 分 | 37 度 13 分 48 秒 | 138 度 19 分 22 秒 | F1 | 竜巻 |
| 6 | 1969 年 06 月 22 日 09 時 00 分 | 34 度 37 分 30 秒 | 131 度 36 分 10 秒 | F1 | 竜巻 |
| 7 | 1969 年 11 月 18 日 07 時 08 分 | 38 度 54 分 31 秒 | 139 度 50 分 7 秒 | F1 | 竜巻 |
| 8 | 1971 年 02 月 01 日 00 時 20 分 | 36 度 41 分 10 秒 | 136 度 40 分 30 秒 | F1 | 竜巻 |
| 9 | 1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分 | 44 度 21 分 23 秒 | 141 度 41 分 30 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 10 | 1971 年 10 月 17 日 05 時 00 分 | 44 度 21 分 23 秒 | 141 度 41 分 30 秒 | F2 | 竜巻 |
| 11 | 1972 年 11 月 21 日 17 時 05 分 | 36 度 53 分 27 秒 | 137 度 24 分 57 秒 | F1 | 竜巻 |
| 12 | 1973 年 05 月 21 日 16 時 30 分 | 36 度 49 分 56 秒 | 136 度 44 分 45 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 13 | 1973 年 09 月 27 日 23 時 00 分 | 45 度 26 分 20 秒 | 141 度 2 分 10 秒 | F1 | 竜巻 |
| 14 | 1973 年 10 月 22 日 13 時 20 分 | 39 度 41 分 41 秒 | 140 度 4 分 20 秒 | F1 | 竜巻 |
| 15 | 1974 年 08 月 08 日 05 時 05 分 | 40 度 16 分 53 秒 | 140 度 3 分 24 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 16 | 1974 年 10 月 03 日 19 時 05 分 | 42 度 11 分 20 秒 | 139 度 31 分 0 秒 | F1～F2 | 竜巻 |
| 17 | 1974 年 10 月 20 日 15 時 00 分 | 41 度 47 分 45 秒 | 140 度 7 分 47 秒 | F1～F2 | 竜巻 |
| 18 | 1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分 | 35 度 26 分 6 秒 | 132 度 37 分 57 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 19 | 1975 年 05 月 31 日 18 時 10 分 | 35 度 25 分 57 秒 | 132 度 37 分 42 秒 | F2 | 竜巻 |
| 20 | 1975 年 05 月 31 日 18 時 40 分 | 35 度 25 分 8 秒 | 132 度 37 分 53 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 21 | 1975 年 09 月 08 日 01 時 30 分 | 42 度 12 分 52 秒 | 139 度 32 分 58 秒 | F1～F2 | 竜巻 |
| 22 | 1977 年 01 月 13 日 01 時 30 分 | 36 度 34 分 5 秒 | 136 度 34 分 0 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 23 | 1978 年 08 月 14 日 10 時 40 分 | 45 度 5 分 0 秒 | 141 度 38 分 0 秒 | 不明 | 竜巻 |
| 24 | 1979 年 10 月 31 日 13 時 00 分 | 37 度 8 分 21 秒 | 136 度 41 分 2 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 25 | 1979 年 11 月 02 日 01 時 58 分 | 41 度 30 分 7 秒 | 140 度 1 分 6 秒 | F2 | 竜巻 |
| 26 | 1984 年 11 月 19 日 22 時 00 分 | 35 度 26 分 4 秒 | 133 度 19 分 22 秒 | F1 | 竜巻 |
| 27 | 1987 年 01 月 11 日 01 時 32 分 | 40 度 2 分 27 秒 | 139 度 56 分 19 秒 | F0～F1 | 竜巻 |
| 28 | 1987 年 01 月 11 日 02 時 00 分 | 40 度 6 分 9 秒 | 139 度 57 分 57 秒 | F1 | 竜巻 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | F スケール | 現象区別 |
|----|-------------------|-----------|------------|--------|------|
| 29 | 1989年03月16日19時20分 | 35度24分0秒 | 132度40分0秒 | F2 | 竜巻 |
| 30 | 1990年04月06日02時55分 | 37度12分10秒 | 136度40分56秒 | F2 | 竜巻 |
| 31 | 1991年01月13日14時48分 | 38度1分25秒 | 138度12分20秒 | 不明 | 竜巻 |
| 32 | 1991年02月15日11時00分 | 35度33分54秒 | 135度52分53秒 | F1 | 竜巻 |
| 33 | 1991年09月17日08時50分 | 42度49分12秒 | 140度12分50秒 | 不明 | 竜巻 |
| 34 | 1991年12月11日20時10分 | 36度35分59秒 | 136度38分0秒 | F1 | 竜巻 |
| 35 | 1992年09月13日08時50分 | 45度26分50秒 | 141度40分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 36 | 1992年09月17日09時05分 | 43度50分50秒 | 141度29分55秒 | F1 | 竜巻 |
| 37 | 1992年09月17日09時05分 | 43度50分50秒 | 141度29分55秒 | 不明 | 竜巻 |
| 38 | 1993年09月26日15時52分 | 43度57分17秒 | 141度36分54秒 | 不明 | 竜巻 |
| 39 | 1993年10月17日09時30分 | 36度55分9秒 | 136度43分51秒 | 不明 | 竜巻 |
| 40 | 1993年10月23日17時00分 | 38度5分30秒 | 138度12分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 41 | 1993年11月24日13時50分 | 37度13分27秒 | 138度12分49秒 | 不明 | 竜巻 |
| 42 | 1994年03月26日11時40分 | 38度48分32秒 | 139度46分19秒 | F1 | 竜巻 |
| 43 | 1994年09月01日16時00分 | 37度59分6秒 | 139度2分56秒 | 不明 | 竜巻 |
| 44 | 1995年12月01日13時51分 | 36度26分13秒 | 136度25分3秒 | 不明 | 竜巻 |
| 45 | 1996年09月05日10時20分 | 39度15分18秒 | 139度54分1秒 | 不明 | 竜巻 |
| 46 | 1996年10月08日23時07分 | 44度43分7秒 | 141度48分15秒 | F1 | 竜巻 |
| 47 | 1996年11月30日07時05分 | 37度23分39秒 | 138度34分14秒 | F1 | 竜巻 |
| 48 | 1997年01月22日09時20分 | 37度54分58秒 | 139度2分0秒 | F0 | 竜巻 |
| 49 | 1998年09月24日15時00分 | 35度38分26秒 | 134度55分31秒 | 不明 | 竜巻 |
| 50 | 1998年10月31日08時40分 | 37度19分6秒 | 136度42分10秒 | 不明 | 竜巻 |
| 51 | 1998年11月15日22時30分 | 38度56分40秒 | 139度49分22秒 | F1 | 竜巻 |
| 52 | 1999年10月08日09時30分 | 36度43分56秒 | 136度40分18秒 | 不明 | 竜巻 |
| 53 | 1999年10月29日21時25分 | 40度13分10秒 | 140度4分11秒 | F0~F1 | 竜巻 |
| 54 | 1999年11月25日15時40分 | 40度20分50秒 | 140度1分37秒 | F1~F2 | 竜巻 |
| 55 | 2000年07月25日06時20分 | 36度8分1秒 | 136度4分13秒 | 不明 | 竜巻 |
| 56 | 2000年07月25日06時30分 | 36度13分26秒 | 136度8分2秒 | 不明 | 竜巻 |
| 57 | 2001年06月01日13時20分 | 40度32分7秒 | 139度56分44秒 | F1 | 竜巻 |
| 58 | 2001年06月19日14時50分 | 35度37分58秒 | 136度3分11秒 | F1 | 竜巻 |
| 59 | 2002年09月23日14時30分 | 36度58分15秒 | 137度33分15秒 | F0~F1 | 竜巻 |
| 60 | 2002年09月24日13時15分 | 39度30分6秒 | 140度4分56秒 | F1 | 竜巻 |
| 61 | 2002年11月04日11時20分 | 36度21分14秒 | 136度19分32秒 | F0 | 竜巻 |
| 62 | 2002年11月05日10時30分 | 35度38分45秒 | 135度56分16秒 | 不明 | 竜巻 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | Fスケール | 現象区別 |
|----|-------------------|-----------|------------|-------|------------------|
| 63 | 2003年10月18日16時25分 | 36度11分51秒 | 136度7分2秒 | 不明 | 竜巻 |
| 64 | 2004年08月15日12時10分 | 45度27分22秒 | 141度2分1秒 | F0未満 | 竜巻 |
| 65 | 2004年09月16日14時00分 | 33度53分13秒 | 130度53分24秒 | F1 | 竜巻 |
| 66 | 2005年01月12日07時50分 | 35度32分0秒 | 134度3分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 67 | 2005年11月18日13時00分 | 36度38分59秒 | 136度38分52秒 | 不明 | 竜巻 |
| 68 | 2005年12月05日11時50分 | 35度23分26秒 | 132度42分50秒 | F1 | 竜巻または ダウンバースト |
| 69 | 2005年12月25日19時10分 | 38度51分16秒 | 139度47分16秒 | F1 | 竜巻 |
| 70 | 2006年11月09日12時05分 | 42度3分31秒 | 139度26分50秒 | F1 | 竜巻 |
| 71 | 2007年08月24日08時20分 | 38度47分40秒 | 139度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 72 | 2007年08月24日08時20分 | 38度47分40秒 | 139度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 73 | 2007年10月01日14時25分 | 43度23分0秒 | 140度26分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 74 | 2007年10月01日14時27分 | 43度17分8秒 | 140度20分16秒 | 不明 | 竜巻 |
| 75 | 2007年10月01日15時30分 | 42度26分26秒 | 139度47分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 76 | 2007年10月04日13時36分 | 44度53分0秒 | 141度41分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 77 | 2007年10月04日16時30分 | 42度27分15秒 | 139度50分20秒 | 不明 | 竜巻 |
| 78 | 2007年10月11日09時55分 | 40度47分21秒 | 140度7分54秒 | 不明 | 竜巻 |
| 79 | 2007年10月11日10時25分 | 40度47分21秒 | 140度7分54秒 | 不明 | 竜巻 |
| 80 | 2007年10月16日15時23分 | 35度36分35秒 | 133度5分10秒 | 不明 | 竜巻 |
| 81 | 2007年11月22日09時00分 | 36度54分32秒 | 137度24分56秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 82 | 2007年12月02日01時30分 | 38度54分26秒 | 139度50分18秒 | F0 | 竜巻 |
| 83 | 2008年06月01日12時50分 | 40度23分20秒 | 139度58分55秒 | 不明 | 竜巻 |
| 84 | 2008年07月30日08時03分 | 35度34分20秒 | 134度13分5秒 | 不明 | 竜巻 |
| 85 | 2008年07月30日08時28分 | 35度33分5秒 | 134度10分56秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 86 | 2008年07月30日08時28分 | 35度33分5秒 | 134度10分56秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 87 | 2008年07月30日08時41分 | 35度33分36秒 | 134度11分26秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 88 | 2008年07月30日08時55分 | 35度34分48秒 | 134度9分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 89 | 2008年07月30日09時01分 | 35度34分16秒 | 134度9分26秒 | 不明 | 竜巻 |
| 90 | 2008年07月30日09時18分 | 35度34分6秒 | 134度8分16秒 | 不明 | 竜巻 |
| 91 | 2008年08月14日11時25分 | 38度55分10秒 | 139度48分31秒 | 不明 | 竜巻 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | F スケール | 現象区別 |
|-----|-------------------|-----------|------------|--------|--------------|
| 92 | 2008年08月15日16時20分 | 35度30分51秒 | 133度59分38秒 | F0以下 | 竜巻 |
| 93 | 2008年09月14日08時33分 | 45度28分53秒 | 141度50分14秒 | 不明 | 竜巻 |
| 94 | 2008年09月14日08時47分 | 45度29分22秒 | 141度37分30秒 | 不明 | 竜巻 |
| 95 | 2008年09月21日11時07分 | 38度28分16秒 | 139度28分39秒 | 不明 | 竜巻 |
| 96 | 2008年10月01日11時55分 | 40度1分15秒 | 139度45分45秒 | 不明 | 竜巻 |
| 97 | 2008年10月01日11時55分 | 40度0分37秒 | 139度44分9秒 | 不明 | 竜巻 |
| 98 | 2008年10月10日09時05分 | 39度47分5秒 | 140度0分55秒 | 不明 | 竜巻 |
| 99 | 2008年10月10日10時20分 | 39度44分36秒 | 140度0分23秒 | 不明 | 竜巻 |
| 100 | 2008年10月10日12時07分 | 39度40分20秒 | 140度1分7秒 | 不明 | 竜巻 |
| 101 | 2008年10月11日00時45分 | 41度51分7秒 | 140度7分37秒 | F0 | 竜巻 |
| 102 | 2008年10月15日13時48分 | 37度51分36秒 | 138度54分57秒 | F0 | 竜巻 |
| 103 | 2008年10月15日14時47分 | 38度40分48秒 | 139度34分48秒 | 不明 | 竜巻 |
| 104 | 2008年10月15日16時10分 | 38度22分2秒 | 139度26分44秒 | 不明 | 竜巻 |
| 105 | 2008年10月26日18時30分 | 37度56分11秒 | 139度6分24秒 | F0 | 竜巻 |
| 106 | 2008年10月27日14時55分 | 36度9分11秒 | 136度4分16秒 | 不明 | 竜巻 |
| 107 | 2008年10月30日12時33分 | 35度32分51秒 | 134度12分26秒 | 不明 | 竜巻 |
| 108 | 2008年10月30日12時38分 | 35度35分1秒 | 134度17分35秒 | F0 | 竜巻 |
| 109 | 2008年10月30日12時50分 | 35度34分34秒 | 134度16分10秒 | 不明 | 竜巻 |
| 110 | 2008年10月31日07時30分 | 37度7分33秒 | 136度42分25秒 | 不明 | 竜巻 |
| 111 | 2008年11月02日16時20分 | 37度44分35秒 | 138度48分7秒 | 不明 | 竜巻 |
| 112 | 2008年11月19日08時36分 | 36度27分26秒 | 136度23分41秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 113 | 2008年11月19日11時45分 | 37度55分41秒 | 139度1分4秒 | 不明 | 竜巻 |
| 114 | 2008年11月20日08時30分 | 37度26分19秒 | 138度34分17秒 | 不明 | 竜巻 |
| 115 | 2008年11月20日08時40分 | 36度56分37秒 | 136度44分33秒 | 不明 | 竜巻 |
| 116 | 2008年11月20日08時42分 | 36度56分37秒 | 136度44分33秒 | 不明 | 竜巻 |
| 117 | 2008年11月20日08時42分 | 36度56分37秒 | 136度44分33秒 | 不明 | 竜巻 |
| 118 | 2008年11月20日09時40分 | 37度27分8秒 | 138度34分43秒 | 不明 | 竜巻 |
| 119 | 2008年11月23日10時20分 | 36度59分16秒 | 136度46分25秒 | F0~F1 | 竜巻 |
| 120 | 2009年01月24日11時05分 | 42度5分27秒 | 139度23分57秒 | 不明 | 竜巻 |
| 121 | 2009年01月24日11時15分 | 42度0分27秒 | 139度27分46秒 | 不明 | 竜巻 |
| 122 | 2009年02月07日20時15分 | 39度41分6秒 | 140度5分11秒 | F0 | 竜巻 |
| 123 | 2009年03月14日17時26分 | 35度35分53秒 | 134度13分28秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | F スケール | 現象区別 |
|-----|-------------------|-----------|------------|--------|--------------|
| 124 | 2009年08月23日18時37分 | 38度36分36秒 | 139度34分27秒 | 不明 | 竜巻 |
| 125 | 2009年08月23日18時51分 | 38度37分26秒 | 139度35分7秒 | 不明 | 竜巻 |
| 126 | 2009年09月10日13時30分 | 37度25分26秒 | 138度32分38秒 | 不明 | 竜巻 |
| 127 | 2009年09月10日13時35分 | 37度25分26秒 | 138度32分38秒 | 不明 | 竜巻 |
| 128 | 2009年09月13日03時40分 | 38度34分7秒 | 139度33分9秒 | F0 | 竜巻 |
| 129 | 2009年10月04日12時50分 | 39度39分55秒 | 140度4分26秒 | 不明 | 竜巻 |
| 130 | 2009年10月27日13時10分 | 37度2分7秒 | 137度49分14秒 | 不明 | 竜巻 |
| 131 | 2009年10月30日07時26分 | 40度30分18秒 | 139度59分57秒 | F0 | 竜巻 |
| 132 | 2009年10月30日09時20分 | 40度9分56秒 | 140度0分26秒 | F1 | 竜巻 |
| 133 | 2009年11月03日06時25分 | 36度52分52秒 | 137度21分58秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 134 | 2009年11月03日06時37分 | 36度54分8秒 | 137度22分38秒 | 不明 | 竜巻 |
| 135 | 2009年11月03日06時38分 | 36度54分8秒 | 137度22分38秒 | 不明 | 竜巻 |
| 136 | 2009年11月03日06時39分 | 36度53分27秒 | 137度22分8秒 | 不明 | 竜巻 |
| 137 | 2009年11月03日06時43分 | 36度54分56秒 | 137度23分51秒 | 不明 | 竜巻 |
| 138 | 2009年12月18日02時00分 | 36度34分20秒 | 136度33分53秒 | F0 | 竜巻 |
| 139 | 2009年12月18日11時03分 | 35度34分22秒 | 134度14分26秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 140 | 2010年08月25日12時30分 | 43度57分25秒 | 141度35分10秒 | 不明 | 竜巻 |
| 141 | 2010年08月25日13時05分 | 43度59分0秒 | 141度39分15秒 | F0未満 | 竜巻 |
| 142 | 2010年09月07日03時45分 | 39度46分12秒 | 140度3分59秒 | F0 | 竜巻 |
| 143 | 2010年09月16日14時30分 | 35度37分0秒 | 134度24分5秒 | 不明 | 竜巻 |
| 144 | 2010年09月17日10時45分 | 37度38分56秒 | 138度44分42秒 | 不明 | 竜巻 |
| 145 | 2010年09月17日10時55分 | 37度38分3秒 | 138度45分37秒 | F0以下 | 竜巻 |
| 146 | 2010年10月15日04時30分 | 37度10分5秒 | 136度40分32秒 | F0 | 竜巻 |
| 147 | 2010年10月15日17時00分 | 38度3分23秒 | 139度19分23秒 | F0 | 竜巻 |
| 148 | 2010年10月15日17時05分 | 38度4分24秒 | 139度21分9秒 | F1 | 竜巻 |
| 149 | 2010年10月17日12時40分 | 40度22分52秒 | 139度59分42秒 | F0 | 竜巻 |
| 150 | 2010年10月17日13時20分 | 39度51分44秒 | 140度1分32秒 | F0 | 竜巻 |
| 151 | 2010年10月26日07時00分 | 43度24分30秒 | 141度22分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 152 | 2010年10月26日07時05分 | 43度8分28秒 | 140度23分6秒 | 不明 | 竜巻 |
| 153 | 2010年10月26日07時10分 | 43度24分0秒 | 141度24分40秒 | 不明 | 竜巻 |
| 154 | 2010年10月26日07時10分 | 43度23分40秒 | 141度25分50秒 | F0未満 | 竜巻 |
| 155 | 2010年10月26日07時38分 | 43度22分30秒 | 141度24分15秒 | 不明 | 竜巻 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | Fスケール | 現象区別 |
|-----|-------------------|-----------|------------|-------|--------------|
| 156 | 2010年10月26日08時10分 | 43度8分38秒 | 140度23分6秒 | 不明 | 竜巻 |
| 157 | 2010年10月26日15時50分 | 41度51分39秒 | 140度6分25秒 | 不明 | 竜巻 |
| 158 | 2010年11月12日13時15分 | 40度19分0秒 | 140度1分47秒 | F0 | 竜巻 |
| 159 | 2010年11月29日09時20分 | 37度0分3秒 | 136度46分18秒 | F0 | 竜巻 |
| 160 | 2010年11月29日12時18分 | 36度15分21秒 | 136度6分51秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 161 | 2010年11月29日12時24分 | 36度15分23秒 | 136度6分59秒 | 不明 | 竜巻 |
| 162 | 2010年11月29日12時25分 | 36度15分17秒 | 136度6分37秒 | 不明 | 竜巻 |
| 163 | 2010年12月03日15時30分 | 37度50分58秒 | 138度55分4秒 | F0 | 竜巻 |
| 164 | 2010年12月03日15時36分 | 37度52分15秒 | 138度58分57秒 | F0未満 | 竜巻 |
| 165 | 2010年12月03日15時45分 | 37度53分11秒 | 139度2分24秒 | F1 | 竜巻 |
| 166 | 2010年12月09日17時10分 | 37度12分36秒 | 138度18分7秒 | F0~F1 | 竜巻 |
| 167 | 2010年12月15日07時56分 | 36度51分20秒 | 137度23分5秒 | 不明 | 竜巻 |
| 168 | 2010年12月16日08時00分 | 38度2分43秒 | 138度37分10秒 | 不明 | 竜巻 |
| 169 | 2010年12月17日10時20分 | 42度52分12秒 | 140度18分46秒 | 不明 | 竜巻 |
| 170 | 2010年12月18日07時18分 | 35度34分17秒 | 134度10分6秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 171 | 2010年12月24日15時57分 | 35度34分17秒 | 134度10分4秒 | 不明 | 竜巻 |
| 172 | 2010年12月27日01時30分 | 37度1分3秒 | 136度44分37秒 | F0 | 竜巻 |
| 173 | 2010年12月29日13時50分 | 35度46分56秒 | 135度14分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 174 | 2010年12月29日14時00分 | 35度46分54秒 | 135度12分6秒 | 不明 | 竜巻 |
| 175 | 2011年01月03日14時52分 | 38度3分48秒 | 139度16分7秒 | 不明 | 竜巻 |
| 176 | 2011年03月09日11時30分 | 36度13分1秒 | 136度11分51秒 | F0未満 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 177 | 2011年03月09日17時25分 | 35度34分6秒 | 134度8分57秒 | 不明 | 竜巻 |
| 178 | 2011年03月31日09時50分 | 37度10分31秒 | 138度13分58秒 | F0未満 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 179 | 2011年08月13日17時32分 | 40度29分8秒 | 139度53分20秒 | 不明 | 竜巻 |
| 180 | 2011年08月20日18時40分 | 43度4分56秒 | 140度23分57秒 | 不明 | 竜巻 |
| 181 | 2011年08月20日18時45分 | 43度4分52秒 | 140度24分37秒 | 不明 | 竜巻 |
| 182 | 2011年08月22日12時05分 | 45度19分0秒 | 140度58分47秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 183 | 2011年09月20日05時50分 | 45度25分27秒 | 141度41分35秒 | 不明 | 竜巻 |
| 184 | 2011年11月15日16時10分 | 37度2分0秒 | 137度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |

| | 発生日時 | 発生場所緯度 | 発生場所経度 | F スケール | 現象区別 |
|-----|-------------------|-----------|------------|--------|--------------|
| 185 | 2011年11月15日16時12分 | 37度2分0秒 | 137度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 186 | 2011年11月15日16時14分 | 37度2分0秒 | 137度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 187 | 2011年11月15日16時15分 | 37度2分0秒 | 137度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 188 | 2011年11月15日16時20分 | 37度2分0秒 | 137度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 189 | 2011年11月24日12時10分 | 36度56分25秒 | 137度23分30秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 190 | 2011年11月25日06時27分 | 36度53分45秒 | 137度23分0秒 | 不明 | 竜巻または 漏斗雲 |
| 191 | 2011年12月24日12時10分 | 36度48分30秒 | 136度42分0秒 | 不明 | 竜巻 |
| 192 | 2012年02月01日04時15分 | 35度21分41秒 | 132度40分40秒 | F0 | 竜巻 |

気象庁 「竜巻等の突風データベースより作成」

竜巻最大風速のハザード曲線の算定の仕方について

1. 概要

竜巻最大風速のハザード曲線は、建屋等が竜巻により被害を受ける確率と、被害を受けた時にある風速を超える確率を掛け合わせる条件付確率（竜巻被害発生時の風速の年超過確率）として求める。

その際、竜巻により被害を受ける領域は、竜巻検討地域において建屋等の構造物がない箇所を襲う領域と、建屋等を襲う領域の双方に分けて考慮することとし、前者を点構造物についての竜巻被害発生時の風速の年超過確率、後者を大きさのある構造物についての竜巻被害発生時の風速の年超過確率として算定した上で、両者を足し合わせることで、竜巻最大風速のハザード曲線を求める。

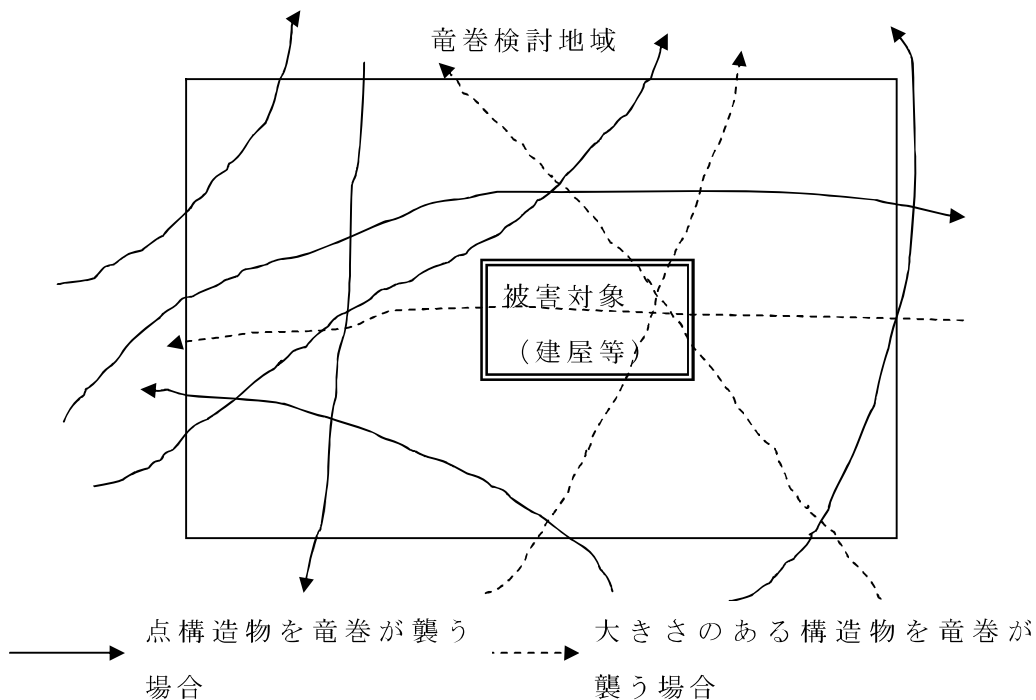


図 1 竜巻検討地域を竜巻が襲うイメージ

2. 竜巻被害発生確率の評価方法

竜巻検討地域で1961年から2012年6月の間に発生した竜巻は192個と少なく、その大きさの最大はF2である。このデータを基に大きな風速ま

で与えるハザード曲線を評価するのは精度に問題があることから、竜巻検討地域の特性は、年発生個数のみに反映することとし、被害面積や被害長さの期待値、ある竜巻が発生した場合の風速の年超過確率などの特性は日本全域を対象としたデータ（1961年～2010年7月）に基づいて評価された特性を使用することとした。竜巻発生個数に係る評価においては、F0未満、不明を含めてすべてを発生個数としてカウントした。風速を伴う評価においては、不明は含めず、F0未満、F0以下およびF0はF0、F0～F1およびF1はF1、F1～F2およびF2はF2、F2～F3およびF3はF3として取り扱った。

以下に、点構造物と大きさのある構造物の竜巻被害発生時の風速の年超過確率の求め方を示す。

①点構造物の竜巻被害発生時の風速の年超過確率 $P_p(V \geq V_0)$

$$P_p(V \geq V_0) = P_p \times P_p(V \geq V_0 | s) \cdot \cdot \cdot (1)$$

竜巻検討地域が被害を受ける確率と、ある竜巻による被害が発生した時に、風速がある風速 V_0 を超える確率を掛け合わせる。

ここで、

$P_p = E[n] \cdot E[A_T] / A_R$: 竜巻検討地域（点構造物）が被害を受ける確率

$E[n]$: 竜巻検討地域での年発生個数の期待値

$E[A_T]$: ある竜巻が発生した際の被害面積の期待値（日本全域対象に評価された値）

A_R : 竜巻検討地域面積

$P_p(V \geq V_0 | s)$: 竜巻発生時に風速がある風速 V_0 を超える確率（日本全域対象に評価された値）

②大きさのある構造物の竜巻被害発生時の風速の年超過確率 $P_L(V \geq V_0)$

$$P_L(V \geq V_0) = P_L \times P_L(V \geq V_0 | s) \cdot \cdot \cdot (2)$$

大きさのある構造物が被害を受ける確率と、構造物が被害を受けた時に竜巻がある風速 V_0 を超える確率を掛け合わせて評価を行う。

ここで、

$$P_L = E[n] \cdot D \cdot E[L] / A_R$$

$E[n]$: 竜巻検討地域での年発生個数

D : 評価対象の建物等の代表幅

$E[L]$: ある竜巻が発生した際の通過長さの期待値（日本全域対象に評価された値）

A_R : 竜巻検討地域面積

$P_L(V \geq V_0 | s)$: 構造物が被害を受けた時に、風速がある風速 V_0 を超える確率（日本全域対象に評価された値）

最後に両者を足しあわせて、ハザード曲線 $P(V \geq V_0)$ を得る。

$$P(V \geq V_0) = P_p(V \geq V_0) + P_L(V \geq V_0) \cdot \cdot \cdot (3)$$

3. 評価に用いた値の説明

(1) 竜巻検討地域面積 A_R

竜巻検討地域は、北海道から本州の日本海側の海岸に沿った海側5kmと山側5kmの地域で、その面積 A_R は 33,395km²である。



図1 竜巻検討地域および竜巻の発生状況

(2) 竜巻検討地域内で竜巻の年発生個数の期待値 $E[n]$

竜巻検討地域内で発生した竜巻の年発生個数分布を図 2 に示す。これを年発生数の累積頻度分布にて示すと図 3 となる。竜巻検討地域における竜巻の年発生数の分布は、平均値 3.69 個の 2 倍を超える標準偏差 7.55 個を持つ非常に偏った分布をしており、ポアソン分布を当てはめることは適さなかった。ガイド案の示すポアソン分布では平均値を期待値とみなし、そのままハザード評価をすることとなるが、竜巻検討地域における年発生数に非常に偏りのある傾向を考慮し、保守的な期待値を定めることとした。すなわち、平均値にデータの偏りの度合いを表す標準偏差を加えた平均+標準偏差の値 11.24 個より、保守的に竜巻の年発生数の期待値を 15 個とした。設定した期待値 15 個を超えるのは、52 年中 7.6% の 4 年間だけである。したがって、52 年中の 92.4% 以上の年は、年間発生数が設定した値を超えることがなく、設定した期待値は十分保守的な値である。

$$E[n] = \mu + \sigma = 3.69 + 7.55 = 11.24 \rightarrow 15.0$$

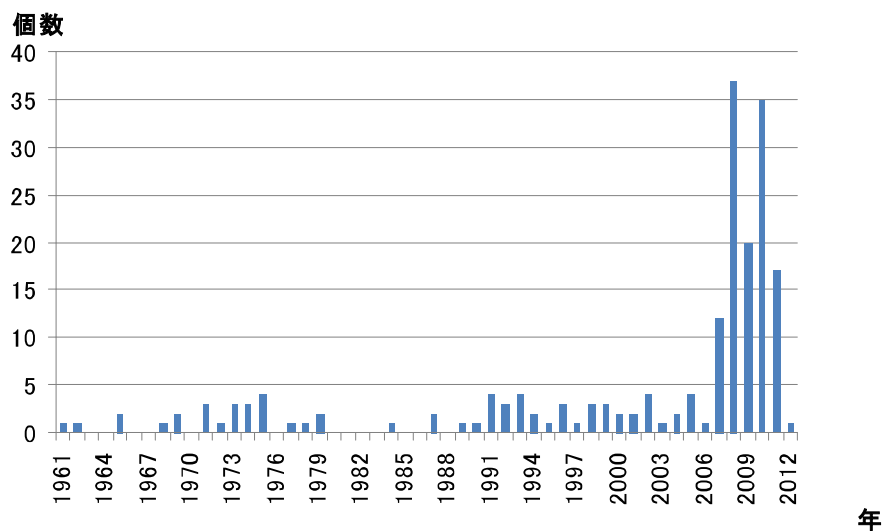


図 2 竜巻検討地域での年発生個数分布

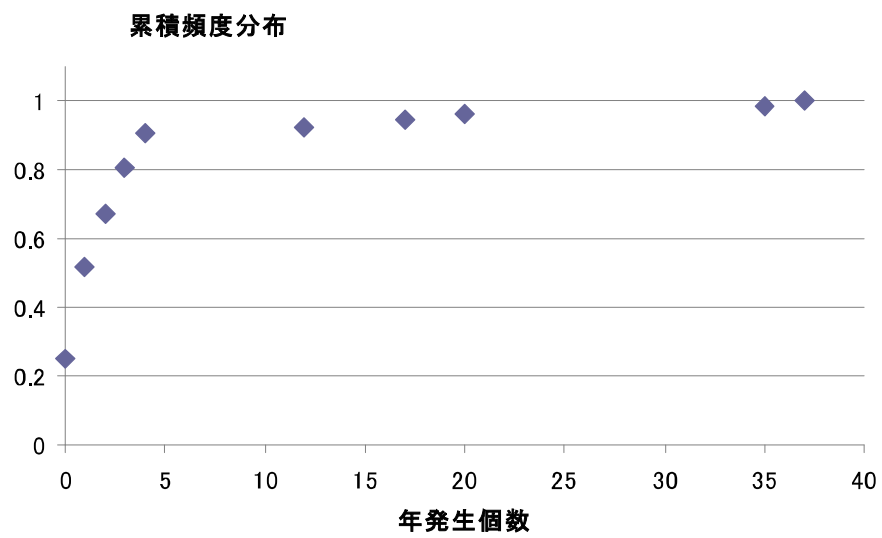


図 3 竜巻検討地域の年発生数の累積頻度分布

(3) 竜巻発生時の風速の年超過確率（発生確率）

日本全域で観測された竜巻のデータをもとに、竜巻発生時の風速の年超過確率の特性をワイブル分布に近似した曲線として評価した。図4にその特性を示す。

その評価に当たって、日本で公表されている竜巻の大きさはFスケールによって表されているが、Fスケールで与えられる風速は、各Fスケールで平均時間間隔が異なっている。一方、EFスケールは、3秒平均での風速に統一されている。最大風速は平均時間に依存することから、統計的に評価する際は、平均時間が統一された風速の尺度を用いることが適している。従って、FスケールをEFスケールでの風速とし、最終的に得られたEFスケールでの最大風速をFスケール相当に換算することとした。図4の竜巻風速の年超過確率はEFスケールによる風速に基づいた特性である。

なお、FスケールとEFスケール間の換算は「A Recommendation for an ENHANCED FUJITA SCALE」（参考）に基づいて行う。

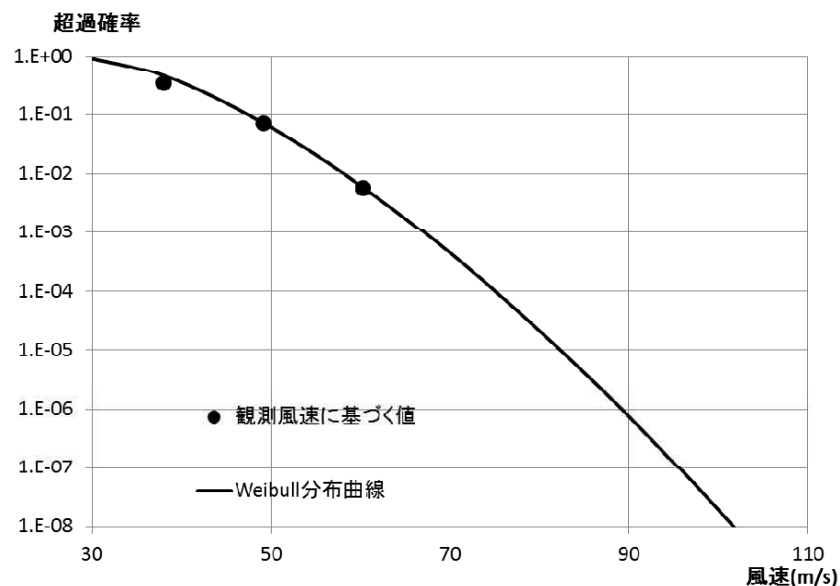


図4 日本全域で観測されたデータを元に評価した竜巻の風速の年超過確率の特性

(4) 1つの竜巻が発生した場合の被災面積期待値 $E[A_T]$

日本全域で観測された竜巻のデータをもとに、被害幅と被害長さが同時に記録されている観測データより、幅×長さを被災面積として被災面積の非超過確率分布を求め対数正規分布曲線で近似を行い、スケール毎に期待値を求めた。

1つの竜巻は様々なスケールとなり得ることから、1つの竜巻が発生した場合の被災面積の期待値は、スケール毎の期待値に発生確率を乗じたものを合算することにより、日本で観測された竜巻の被災面積期待値 $E[A_T]$ を求めた。

$$E[A_T]=0.585\text{km}^2 \rightarrow 0.6\text{km}^2$$

(5) 1つの竜巻が発生した場合の通過長さの期待値 $E[L]$

日本全域で観測された竜巻のデータをもとに、通過長さ（被害長さ）の観測データの非超過確率分布を求め、対数正規分布曲線で近似を行い、スケール毎に期待値を求めた。

1つの竜巻は様々なスケールとなり得ることから、1つの竜巻が発生した場合の通過長さは、スケール毎の期待値に発生確率を乗じたものを合算することにより、日本で観測された竜巻の通過長さの期待値 $E[L]$ を求めた。

$$E[L]=3.84\text{km} \rightarrow 4\text{km}$$

(6) 評価対象の建物等の代表幅 D

評価対象の建物等の代表幅 D は、評価対象施設の内、幅が最も大きい原子炉周辺建屋（平面=71m×98.6m、対角線長さ 121.5m）を基に、以下のとおりとした。

$$D=150\text{m}$$

4. ハザード曲線の評価

(1) 点構造物の竜巻被害発生時の風速の年超過確率 $P_p(V \geq V_0)$

点構造物が竜巻により被害を受けて、そのときの風速が設定風速の V_0 以上になる超過確率は 3. (3) に示した $P_p(V \geq V_0 | s)$ に

$$P_p = 15 \times 0.6 / 33395 = 2.70 \times 10^{-4}$$

を乗じた値となる。

(2) 大きさのある構造物の竜巻被害発生時の年超過確率 $P_L(V \geq V_0)$

大きな構造物が竜巻により被害を受けて、そのとき構造物の大きさに起因して風速が設定風速の V_0 以上になる超過確率は 3. (3) に示した $P_L(V \geq V_0 | s)$ に

$$P_L = 15 \times 0.15 \times 4.0 / 33395 = 2.70 \times 10^{-4}$$

を乗じた値となる。

(3) 最大風速のハザード曲線

(1)、(2) で求めた曲線の和をFスケールに換算して算定した竜巻最大風速のハザード曲線を図5に示す。

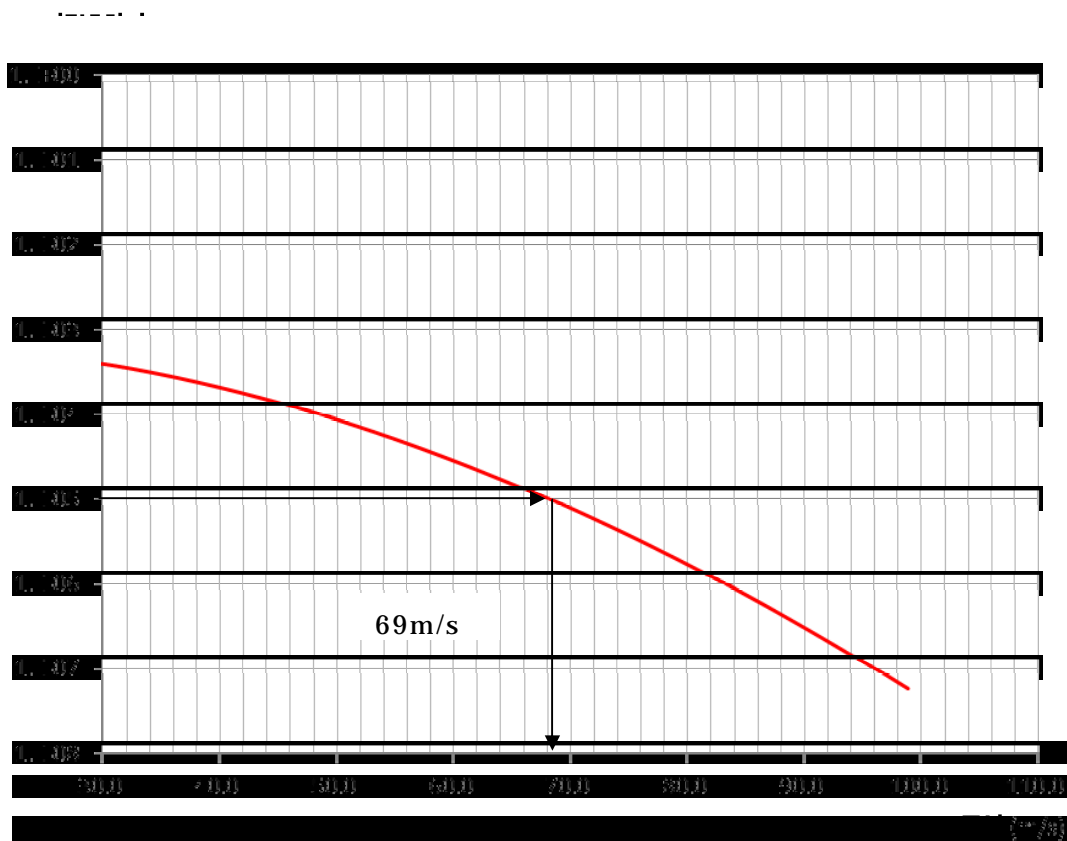
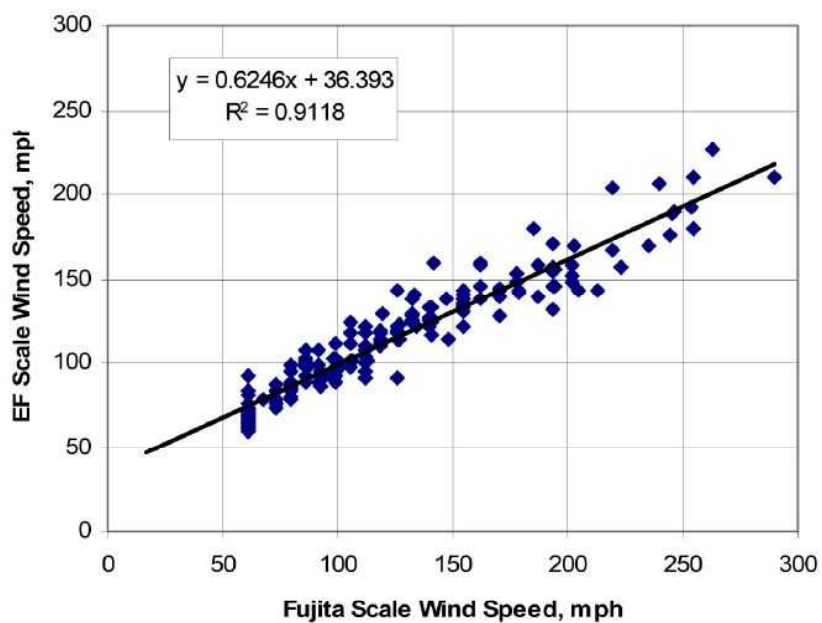


図5 竜巻最大風速のハザード曲線

< 参考 >

E F スケール ⇔ F スケール 換算資料

「A Recommendation for an ENHANCED FUJITA SCALE」



参考図 1 EF スケールと F スケールでの風速関係

参考表 1 F スケールと EF スケールの対比表

| Fujita Scale | | | EF Scale | | |
|--------------|---------|---------|----------|---------|-------|
| 1/4-mile 風速 | | | 3 秒平均 | | |
| 単位 | mile/h | m/s | 単位 | mile/h | m/s |
| F0 | 40-72 | 17-32 | EF0 | 65-85 | 29-38 |
| F1 | 73-112 | 33-49 | EF1 | 86-110 | 38-49 |
| F2 | 113-157 | 50-69 | EF2 | 111-135 | 50-60 |
| F3 | 158-207 | 70-92 | EF3 | 136-165 | 61-74 |
| F4 | 208-260 | 93-114 | EF4 | 166-200 | 74-89 |
| F5 | 260-318 | 117-142 | EF5 | >200 | >89 |

狭隘地形が竜巻状旋回気流に与える影響について

数値流体計算を用いて、実スケールの単純化した狭隘地形を対象に、竜巻状気流を再現し移動させ、地形を通過する際の渦構造の変化や最大瞬間風速分布等を確認した。

再現した竜巻状気流は、最大風速 120m/s (平均値)、同風速半径 30m の規模で、移動速度 10m/s で地形に接近させた。単純化した狭隘地形条件のパラメータは表 1 のとおり。

大飯発電所の地形に最も近い幅 500m の谷間地形 (case5) では、谷間の奥で渦構造が消滅し、強風域が奥まで到達していないことが分かった。これは、谷間地形であることから、空気の供給がなくなり竜巻の渦構造の維持が困難となったためと考えられる。

表 1 地形条件のパラメータ

| | 地形条件 | 高さ H(m) | 幅 W(m) | 奥行 D(m) |
|-------|----------------------|---------|--------|---------|
| Case0 | 平坦地形 | — | — | — |
| Case1 | 背後に 傾斜地 | 150 | — | — |
| Case2 | | 250 | — | — |
| Case3 | 三方を傾斜 地に囲まれ た谷 | 150 | 1,000 | 1,000 |
| Case4 | | 250 | 1,000 | 1,000 |
| Case5 | | 250 | 500 | 1,000 |

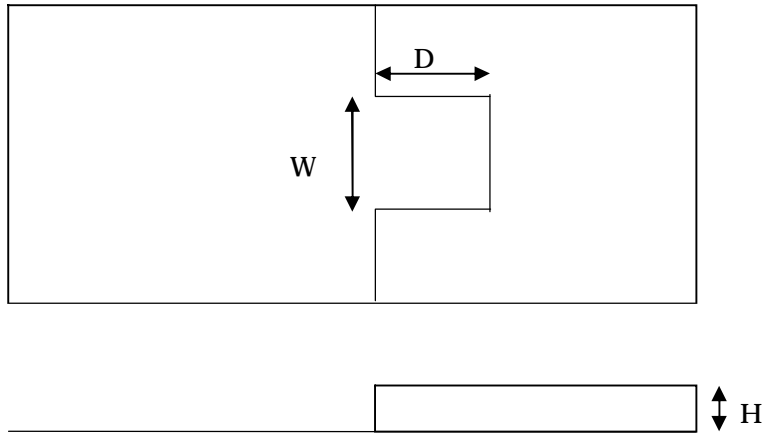


図 1 地形のモデル化

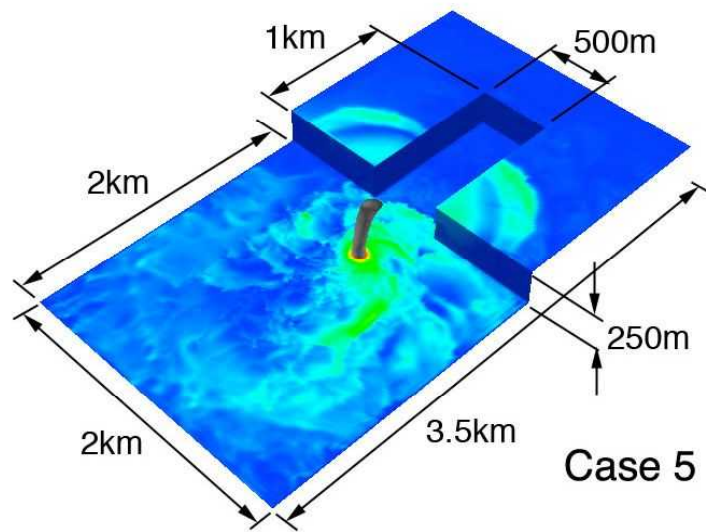


図2 解析対象地形モデル

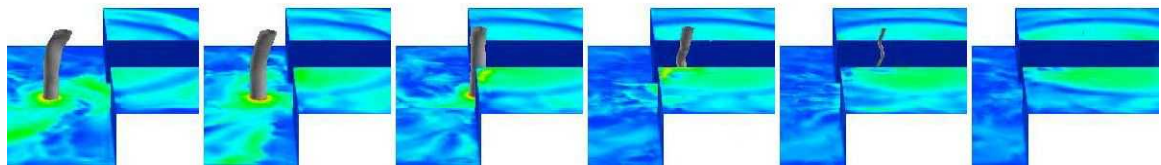


図3 地形を通過する際の渦構造の変化（等圧面と地表付近の風速）

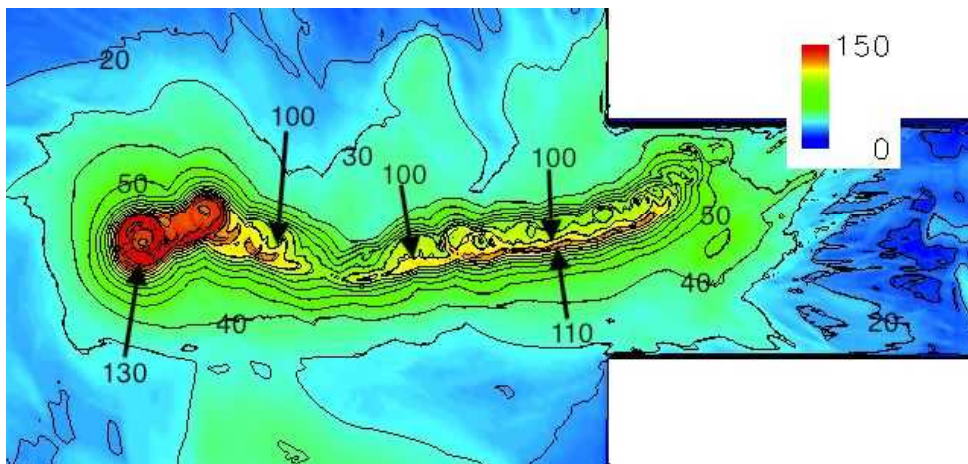


図4 最大瞬間風速分布 (m/s)

(コンターラインは、最小 10m/s から 10m/s 刻み)

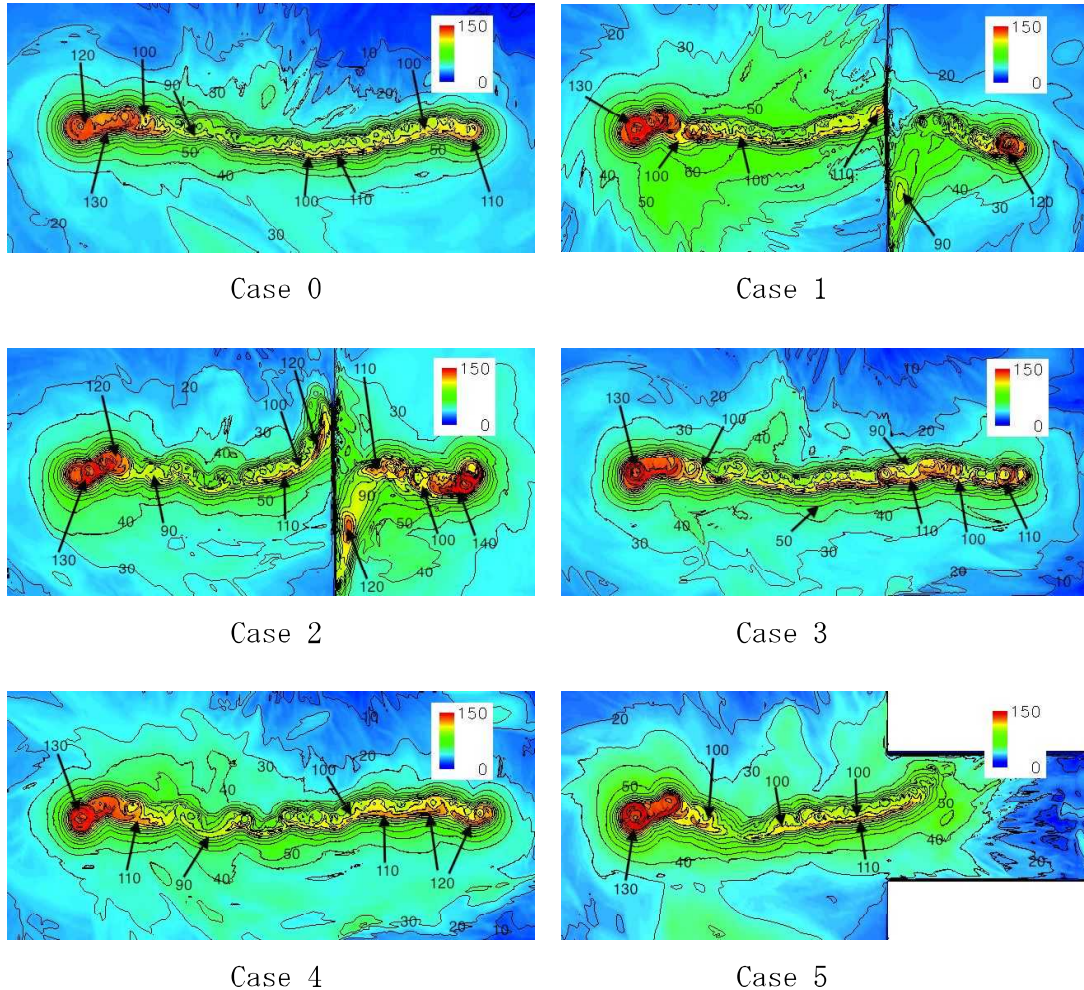
(注) 初期最大風速 120m/s は平均値であるため、計算開始時の最大瞬間風速と一致していない。

出典：片岡他，数値流体計算による狭隘地形が竜巻旋回気流に与える影響の評価；
2013 建築学会大会投稿中

<参考>

case0~5の最大瞬間風速分布を参考図1に示す。

発電所のサイトが位置する地形の底部では、case5以外は強風域が消滅することはないが、地形による風速の増幅はみられない。



参考図1 最大瞬間風速の分布図

(コンターラインは、最小10m/sから10m/s刻み)

(注) 初期の最大風速120m/sは平均値であるため、計算開始時の最大瞬間風速と一致していないケースがある。

設計竜巻に対する建屋、構築物等の構造健全性の確認結果

1. 概要

大飯 3, 4 号機において、竜巻設計荷重に対して、建屋の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。

2. 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は表 1 の通りとした。

表 1 設計竜巻の特性値

| 最大 風速 V_D (m/s) | 移動 速度 V_T (m/s) | 最大接線 風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線 風速半径 R_m (m) | 気圧 低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|-------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| 69 | 10 | 59 | 30 | 43 | 15 |

3. 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元は表 2 の通りとした。

表2 設計飛来物の諸元

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ(m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量(kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |
| 飛散距離 ^{※1} (m) | 354 | 345 | 389 | 355 | 430 |
| 飛散高さ ^{※1} (m) | 0.08 | 14 | 0 | 0 | 0 |

※1 飛散距離、飛散高さは電力共通研究「平成24年度 原子力発電所の竜巻に対する評価方法に関する研究」(竜巻風速71m/s)より引用

4. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、気圧差による荷重(W_p)、および設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重とした。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

5. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針指針に係る審査ガイド（仮称）」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される建屋である以下の建屋とした。断面図および平面図を図1、2に示す。

- ・ 原子炉格納容器(PCCV)
- ・ 原子炉周辺建屋(E/B)
- ・ 制御建屋(C/B)

(2) 波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設は、竜巻防護施設に隣接する以下の建屋とした。

- ・ タービン建屋(T/B)

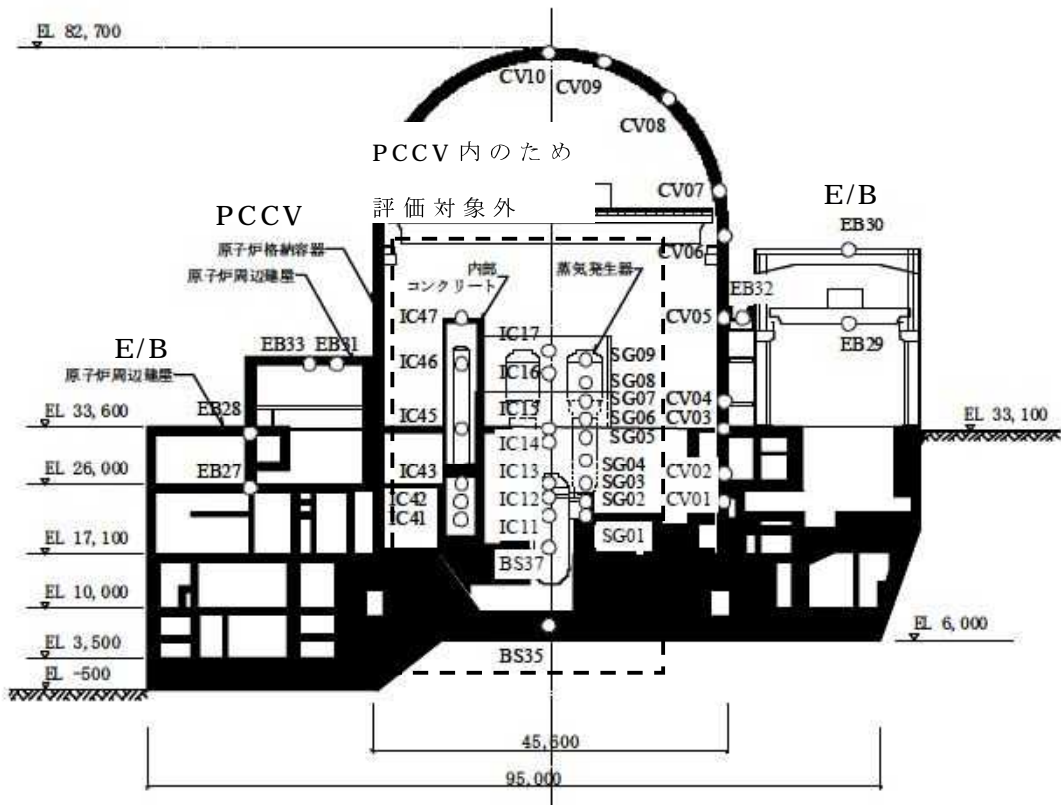


図 1(1) 大飯 3,4号機原子炉格納容器(PCCV)、原子炉周辺建屋(E/B) 概略断面図

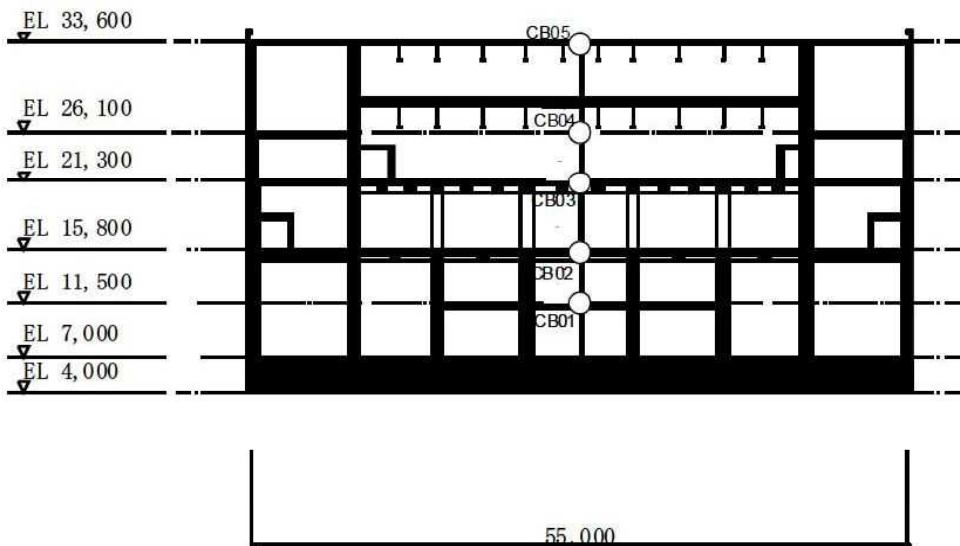


図 1(2) 大飯 3,4号機 制御建屋(C/B)概略断面図

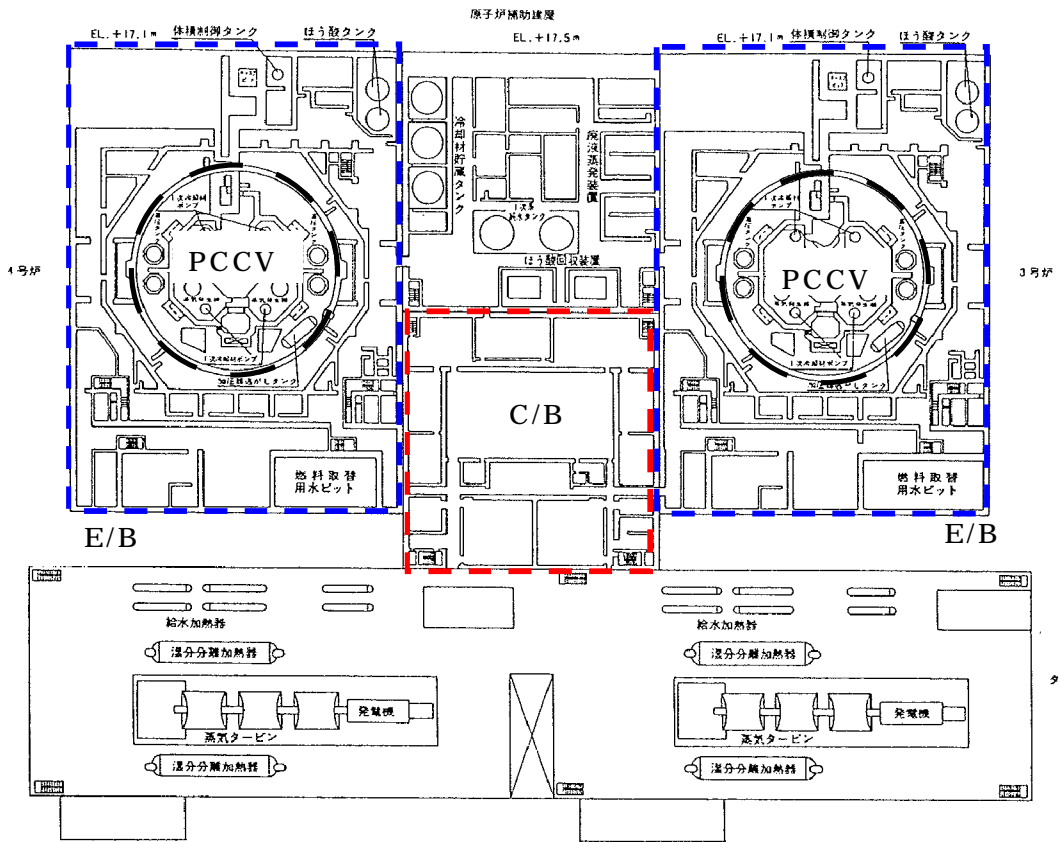


図 2 主要建屋平面図

6. 評価内容

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の評価

① 鉄筋コンクリート造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用しているせん断力の復元特性（ $Q-\gamma$ 関係）よりせん断歪度を算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値 $2000\mu^{*2}$ との比較により十分な安全余裕を有していることを確認した。

※2：原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）に示されている、Sクラスの建物・構築物の鉄筋コンクリート造耐震壁に対する基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値。

② 鉄骨造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係（ $Q-\delta$ 関係）から得られる水平変位より層間変形角を算定し、許容限界値120分の 1^{*3} との比較により十分な安全余裕を有していることを確認した。

※3：建築基準法施行令第82条の2に示されている、当該層間変位の当該各階の高さに対する割合の許容限界値。

(2) 竜巻防護施設に対する波及的影響評価

a. 設計飛来物の評価

表2に示す設計飛来物が、竜巻防護施設に衝突した場合の貫通および裏面剥離評価を行った。設計飛来物は、剛飛来物（鋼製パイプ、鋼製材、コンクリート板）および柔飛来物（コンテナ、トラック）に分けて検討を行った。貫通または裏面剥離が生じないための必要最小壁厚さを以下により算出した。

① 剛飛来物

以下のNEI07-13^{*4}におけるミサイル評価式を用いて評価を行

った。これらの評価式は航空機エンジンに対するものであるため、各評価式に適用する低減係数を考慮しない(=1.0)とすることで保守的に評価を行った。

※4: Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments
for New Plant Designs

a. 貫通評価

(1)式に示す修正NDRRC式を用いて貫入深さ x_c を求め、Degenによる(2)式により貫通限界厚さを求める。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \dots (1)$$

x_c : 貫入深さ (in)

K : $180 / \sqrt{Fc}$

W : 重量 (lbs)

Fc : コンクリート強度 (psi)

$Fc30$ (E/B、C/B)、 $Fc44$ (PCCV)

D : 飛来物直径 (in)

V : 衝突速度 (ft/s)

N : 形状係数 (0.72 : 平坦)

α_c : 飛来物低減係数 (=1)

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\}, \text{ for } \frac{x_c}{\alpha_c D} \leq 1.52 \dots (2)$$

α_p : 飛来物低減係数 (=1)

b. 裏面剥離評価

(3)式に示すChangによる評価式を用いて、裏面剥離限界厚さを求める。

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left(\frac{200}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144Fc)^{0.4}} \dots (3)$$

α_s : 飛来物低減係数 (=1)

② 柔飛来物

建屋の壁および屋根を有限要素でモデル化し、衝撃荷重時刻歴を入力する時刻歴解析を行う。

貫通および裏面剥離が起こりうると評価された場合は、内包している竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないことを確認した。

7. 評価結果

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の確認結果

① 鉄筋コンクリート造部分

建屋の形状や特徴を反映して設定した複合荷重によるせん断応力を地震応答解析モデルにおける部材毎に算出し、せん断力の復元特性 (Q- γ 関係) よりせん断歪度を算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値 2000μ との比較により安全余裕を確認した。複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} をそれぞれ加えた場合の評価結果を表3に示す。なお、評価結果はPCCV、E/B、C/B毎に裕度が一番低く評価されたケースを示している。

表3 鉄筋コンクリート造部分の裕度評価結果

| 部材名 | 荷重 ケース | 竜巻荷重 (MN) | せん断 歪度 | 裕度 (対 2000 μ) |
|------------------------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| PCCV | | | | |
| CV01 CV02 CV03 CV04 | W_{T1} | 8.6 | 7.94×10^{-6} | 250 |
| CV07 | W_{T2} | 5.3 | 9.84×10^{-6} | 200 |
| E/B | | | | |
| EB33 | W_{T1} | 0.8 | 2.67×10^{-6} | 740 |
| EB33 | W_{T2} | 2.9 | 9.47×10^{-6} | 210 |
| C/B | | | | |
| CB01 | W_{T1} | 1.6 | 6.61×10^{-7} | 3000 |
| CB05 | W_{T2} | 2.6 | 1.65×10^{-6} | 1200 |

表3より、設計竜巻の複合荷重によるせん断歪度の許容限界値に対する安全余裕は十分あることから、構造健全性が維持され安全機能が維持できることが確認できた。

② 鉄骨造部分

建屋の形状や特徴を反映して設定した複合荷重による応力を地震応答解析モデルにおける部材毎に算出し、地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係(Q- δ 関係)からえら得る水平変位より層間変形角を算定し、許容限界値120分の1との比較により安全余裕を確認した。複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} をそれぞれ加えた場合の評価結果を表4に示す。なお、評価結果は裕度が一番低く評価されたケースを示している。

表4 鋼構造部分の裕度評価結果

| 部材名 | 荷重ケース | 竜巻荷重 (MN) | 層間変位角 | 裕度 (対 1/120) |
|------|----------|--------------|-----------------------|-----------------|
| E/B | | | | |
| EB29 | W_{T1} | 4.2 | 1.29×10^{-3} | 6.4 |
| EB31 | W_{T2} | 3.3 | 2.54×10^{-3} | 3.2 |

建屋の主要な部材である外壁、屋根（使用済燃料ピットエリア）に対する気圧差の影響評価を実施し、各部材の許容荷重と設計竜巻による気圧差荷重を比較した結果を表5に示す。

表5 外壁および屋根に対する気圧差影響評価

| 部材名 | 裕度 |
|--------|-----|
| 屋根スラブ | 8.3 |
| 外壁（折板） | 2.4 |

表4および表5より、設計竜巻の複合荷重による層間変形角の許容限界値に対する安全余裕は十分ありまた、主要部材に対しても安全余裕が十分あることから、構造健全性が維持され安全機能が維持できることが確認できた。

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の確認結果

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

竜巻防護施設に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計（ 300kg/m^2 ）で設計しており、これは設計風速で 69.3m/s 相当であることから、設計竜巻により損壊することはないことから、竜巻防護施設の安全機能に影響を与えない。

b. 設計飛来物の評価

① 鉄筋コンクリート造部分

設計飛来物の衝突に対する裏面剥離または貫通を生じないための必要最小壁厚さを算出し、建屋の壁厚さや屋根スラブ厚さと比較し評価を行った。設計飛来物の衝突に対する裏面剥離または貫通を生じないための必要最小壁厚さの結果を表6(1)～表6(8)、各建屋の外壁および屋根スラブの最も壁厚が薄い箇所の評価結果を表7に示す。

なお、鉄パイプは質量と速度が共に鋼製材より十分小さいことから、鋼製材に対する健全性検討で包含させる。

表6(1)PCCV必要最小壁厚さ（水平）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（水平） | 57m/s | 30m/s |
| 裏面剥離 | 40cm | 40cm |
| 貫通 | 25cm | 23cm |

表6(2)PCCV必要最小壁厚さ（鉛直）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（鉛直） | 38m/s | 20m/s |
| 裏面剥離 | 30cm | 30cm |
| 貫通 | 18cm | 16cm |

表6(3)PCCV必要最小壁厚さ（水平）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 60m/s | 34m/s |
| 貫通 | 30cm | 30cm |

表6(4)PCCV必要最小壁厚さ（鉛直）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 40m/s | 23m/s |
| 貫通 | 20cm | 20cm |

表6(5)E/B、C/B必要最小壁厚さ（水平）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（水平） | 57m/s | 30m/s |
| 裏面剥離 | 45cm | 45cm |
| 貫通 | 27cm | 25cm |

表6(6)E/B、C/B必要最小壁厚さ（鉛直）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（鉛直） | 38m/s | 20m/s |
| 裏面剥離 | 35cm | 35cm |
| 貫通 | 20cm | 18cm |

表6(7)E/B、C/B必要最小壁厚さ（水平）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 60m/s | 34m/s |
| 貫通 | 30cm | 30cm |

表6(8)E/B、C/B必要最小壁厚さ（鉛直）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 40m/s | 23m/s |
| 貫通 | 20cm | 20cm |

表7 設計飛来物による裏面剥離、貫通評価結果

| 建屋 | 外壁/屋根スラブ | | 飛来物 | 検討結果 | |
|------|---------------------|--------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| | 位置 EL. (m) | 厚さ (cm) | | 裏面剥離 | 貫通 |
| PCCV | 17.1～60.1 (外壁) | 130 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため 評価不要 | |
| | | | コンテナ | | |
| | トラック | | | | |
| | 60.1～82.7 (ドーム部) | 110 | 飛来物がドーム部まで浮き上がらないため評価不要 | | |
| E/B | 17.1～33.6 (外壁) | 90 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため 評価不要 | |
| | | | コンテナ | | |
| | | | トラック | | |
| C/B | 26.1～33.6 (外壁) | 60 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため 評価不要 | |
| | | | コンテナ | | |
| | | | トラック | | |
| | | 33.6 (屋根) | 20 | 鋼製材 | ○ ^{※5} |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため 評価不要 | |
| | | | コンテナ | | |
| | | | トラック | | |

○：貫通または裏面剥離無し

※5: 当該箇所は屋内側にデッキプレート(2.3mm厚の凹凸鉄板で最大深さ75mm)を施工しており、裏面剥離によるコンクリート片の飛散は起こらない。

表7より、設計飛来物による裏面剥離および貫通を防止するための壁厚さがあることから、竜巻防護施設に対し、安全機能

維持に影響を与えないことを確認した。

② 鉄骨造部分

設計飛来物が鉄骨造部分（燃料取扱建屋）に衝突した場合、鉄骨造部分は貫通することから、竜巻防護施設である使用済み燃料ピット中に、設計飛来物が進入した場合の影響評価を行った。

評価においては、保守的に原子炉周辺建屋の屋根・壁を考慮せずに、飛来物が直接使用済み燃料ピット内へ鉛直で進入し、燃料及び燃料ラックへ衝突するとし、浮き上がる設計飛来物（鋼製パイプ、鋼製材）について影響確認を行った。

（a）鋼製パイプ

飛来高さは8cmであり、使用済み燃料ピットへの進入は考えがたい。

（b）鋼製材

燃料集合体に衝突する場合は、燃料被覆管の許容引張強さ680MPaに対し、発生応力は670MPaであり、燃料被覆管は破損しない。

（3）気圧差による圧力影響を受ける開口部の評価

竜巻防護施設について、気圧差による圧力影響を受ける開口部（窓、扉、シャッター）を抽出し、開口部の許容限界と比較し、安全余裕の確認を行った結果を表8に示す。表8より許容限界値に対する安全余裕は十分あることから、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないことを確認した。

また、主蒸気管室の3壁面に配置されたブローアウトパネルが気圧差により開放された場合、建屋内外の気圧は均圧となることから竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えない。

表8 気圧差による圧力影響評価結果

| 建屋 | 対象開口部 | 許容限界値 (hPa) | 裕度 |
|----------|-----------------------|----------------|-----|
| E/B | 使用済燃料ピットス ライディングドア | 142 | 3.3 |
| E/B | 機器搬入口スライデ ィングドア | 137 | 3.1 |
| E/B, C/B | 水密扉 | 400 | 9.3 |

知見拡充で使用する設計竜巻に対する建屋、構築物等の
構造健全性の確認結果

1. 概要

大飯3, 4号機において、知見拡充で使用する設計竜巻荷重に対して、建屋の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。

2. 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は表1の通りとした。

表1 設計竜巻の特性値

| 最大 風速 V_D (m/s) | 移動 速度 V_T (m/s) | 最大接線 風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線 風速半径 R_m (m) | 気圧 低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| 100 | 16 | 84 | 30 | 85 | 45 |

3. 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元は表2の通りとした。

表2 設計飛来物の諸元

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ(m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量(kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |
| 飛散距離 ^{※1} (m) | 741 | 741 | 818 | 743 | 934 |
| 飛散高さ ^{※1} (m) | 33 | 56 | 0 | 30 | 0 |

※1: 飛散距離、飛散高さは電力共通研究「平成24年度 原子力発電所の竜巻に対する評価方法に関する研究」(竜巻風速100m/s)より引用

4. 設計竜巻荷重

設計竜巻荷重は、設計竜巻の風圧力による荷重(W_w)、気圧差による荷重(W_p)、および設計飛来物による衝撃荷重(W_M)を組み合わせた複合荷重とした。

$$W_{T1} = W_p$$

$$W_{T2} = W_w + 0.5 \cdot W_p + W_M$$

W_{T1} 、 W_{T2} : 設計竜巻による複合荷重

W_w : 設計竜巻の風圧力による荷重

W_p : 設計竜巻の気圧差による荷重

W_M : 設計飛来物による衝撃荷重

5. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針指針に係る審査ガイド（仮称）」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される建屋である、以下の建屋とした。断面図および平面図を図1、2に示す。

- ・ 原子炉格納容器(PCCV)
- ・ 原子炉周辺建屋(E/B)
- ・ 制御建屋(C/B)

(2) 波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設は、竜巻防護施設に隣接する以下の建屋とした。

- ・ タービン建屋(T/B)

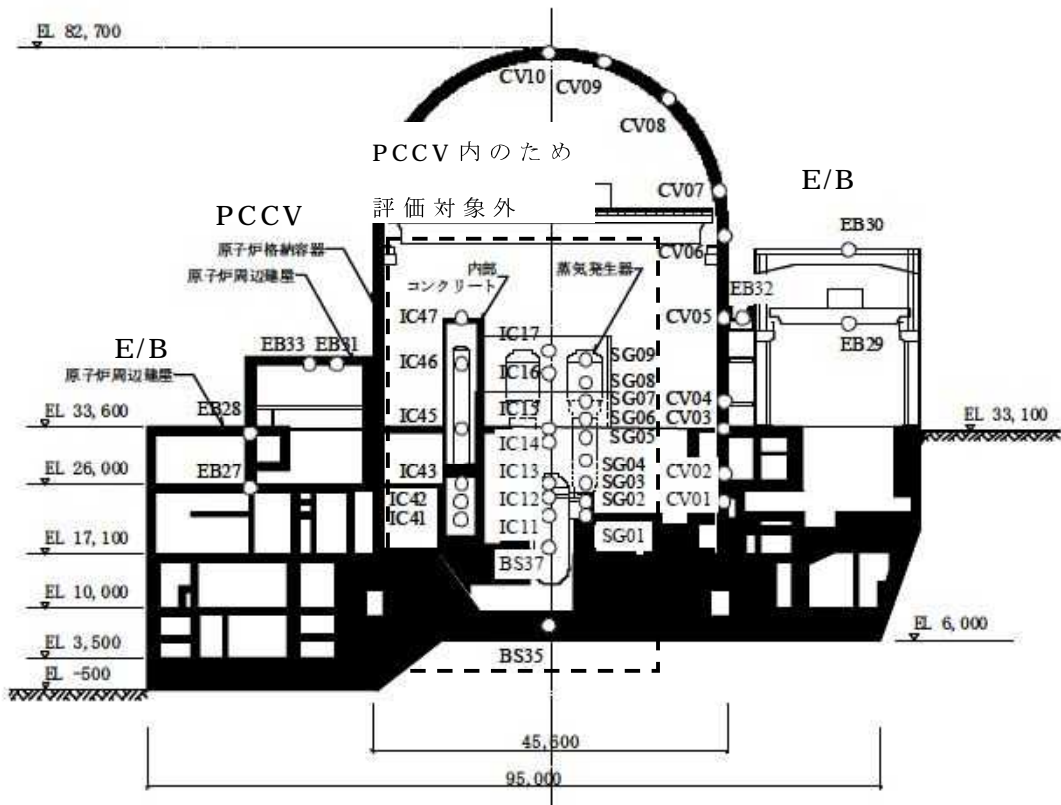


図 1(1) 大飯 3,4 号機原子炉格納容器 (PCCV)、原子炉周辺建屋 (E/B) 概略断面図

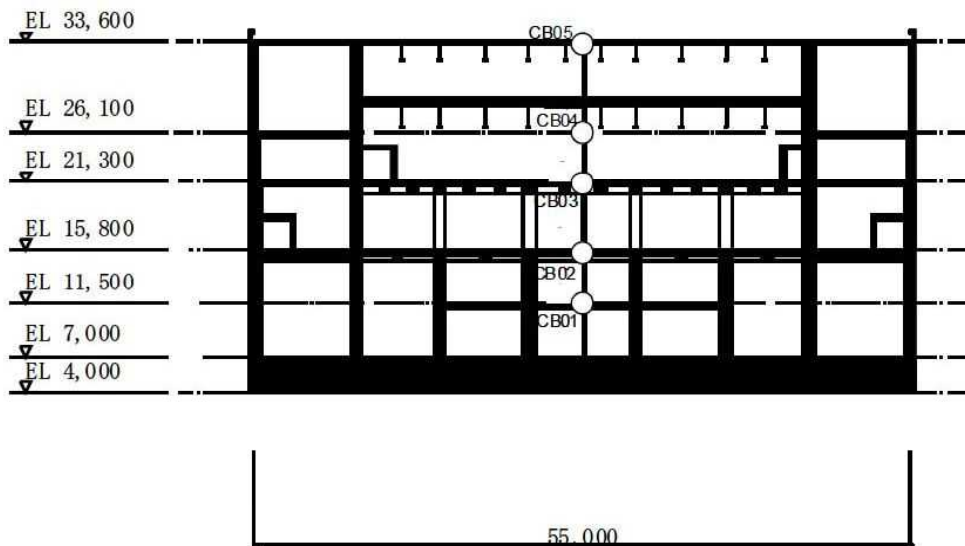


図 1(2) 大飯 3,4 号機 制御建屋 (C/B) 概略断面図

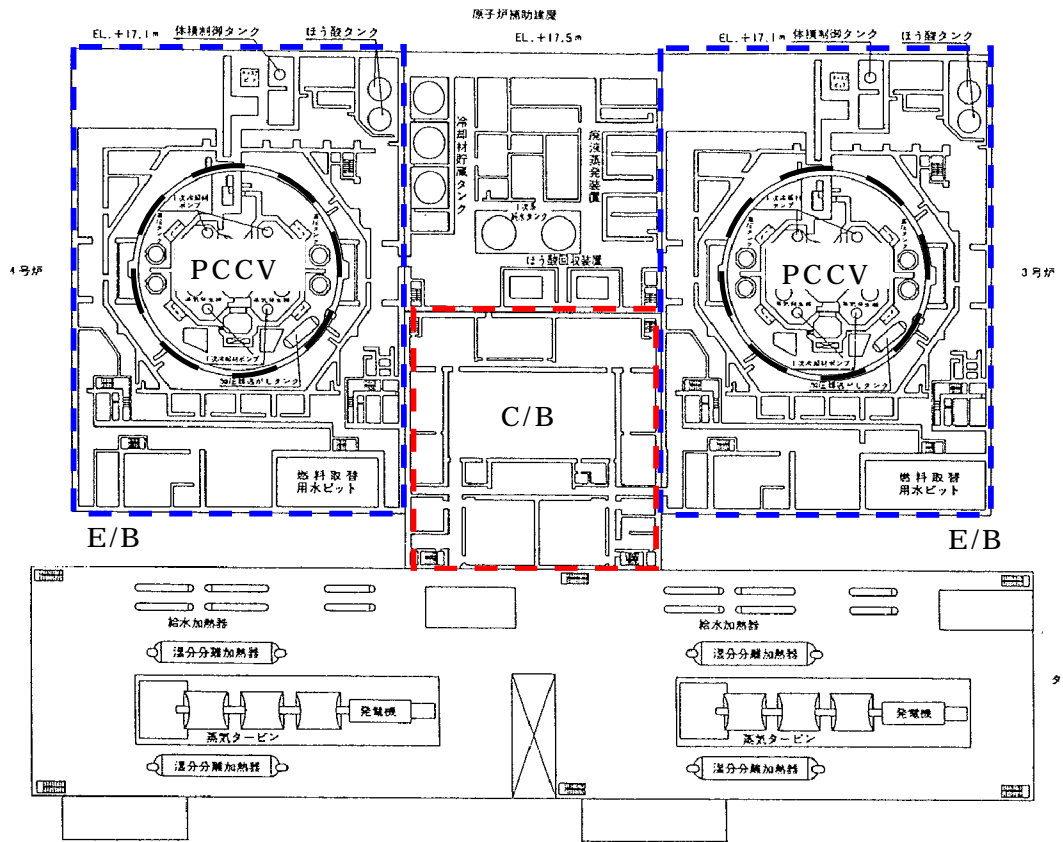


図 2 主要建屋平面図

6. 評価内容

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の評価

① 鉄筋コンクリート造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用しているせん断力の復元特性（ $Q-\gamma$ 関係）よりせん断歪度を算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値 2000μ ^{*2}との比較により十分な安全余裕有していることを確認した。

※2：原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）に示されている、Sクラスの建物・構築物の鉄筋コンクリート造耐震壁に対する基準地震動 S_s による各層の鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値。

② 鉄骨造部分

設計竜巻による複合荷重により生じるせん断応力を算出し、地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係（ $Q-\delta$ 関係）から得られる水平変位より層間変形角を算定し、許容限界値 $1/20$ 分の 1 ^{*3}との比較により十分な安全余裕を有していることを確認した。

※3：建築基準法施行令第82条の2に示されている、当該層間変位の当該各階の高さに対する割合の許容限界値。

(2) 竜巻防護施設に対する波及的影響評価

a. 設計飛来物の評価

表2に示す設計飛来物が、竜巻防護施設に衝突した場合の貫通および裏面剥離評価を行った。設計飛来物は、剛飛来物（鋼製パイプ、鋼製材、コンクリート板）および柔飛来物（コンテナ、トラック）に分けて検討を行った。貫通または裏面剥離が生じないための必要最小壁厚さを以下により算出した。

③ 剛飛来物

以下のNEI07-13^{*4}におけるミサイル評価式を用いて評価を行

った。これらの評価式は航空機エンジンに対するものであるため、各評価式に適用する低減係数を考慮しない(=1.0)とすることで保守的に評価を行った。

※4: Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments
for New Plant Designs

a. 貫通評価

(1)式に示す修正NDRRC式を用いて、貫入深さ x_c を求め、Degenによる(2)式により貫通限界厚さを求める。

$$x_c = \alpha_c \sqrt{4KWND \left(\frac{V}{1000D} \right)^{1.8}} \quad \text{for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 2.0 \dots (1)$$

x_c : 貫入深さ (in)

K : $180 / \sqrt{Fc}$

W : 重量 (lbs)

Fc : コンクリート強度 (psi)

$Fc30$ (E/B、C/B)、 $Fc44$ (PCCV)

D : 飛来物直径 (in)

V : 衝突速度 (ft/s)

N : 形状係数 (0.72 : 平坦)

α_c : 飛来物低減係数 (=1)

$$t_p = \alpha_p D \left\{ 2.2 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right) - 0.3 \left(\frac{x_c}{\alpha_c D} \right)^2 \right\} \quad \text{for } \frac{x_c}{\alpha_c D} < 1.52 \dots (2)$$

α_p : 飛来物低減係数 (=1)

b. 裏面剥離評価

(3)式に示すChangによる評価式を用いて、裏面剥離限界厚さを求める。

$$t_s = \alpha_s 1.84 \left(\frac{200}{V} \right)^{0.13} \frac{(MV^2)^{0.4}}{(D/12)^{0.2} (144Fc)^{0.4}} \dots (3)$$

α_s : 飛来物低減係数 (=1)

④ 柔飛来物

建屋の壁および屋根を有限要素でモデル化し、衝撃荷重時刻歴を入力する時刻歴解析を行う。

貫通および裏面剥離が起こりうると評価された場合は、内包している竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないことを確認した。

7. 評価結果

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の確認結果

① 鉄筋コンクリート造部分

建屋の形状や特徴を反映して設定した複合荷重によるせん断応力を地震応答解析モデルにおける部材毎に算出し、せん断力の復元特性 (Q- γ 関係) よりせん断歪度を算定し、鉄筋コンクリート造耐震壁の最大応答せん断歪度の許容限界値 2000μ との比較により安全余裕を確認した。複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} をそれぞれ加えた場合の評価結果を表3に示す。なお、評価結果はPCCV、E/B、C/B毎に裕度が一番低く評価されたケースを示している。

表3 鉄筋コンクリート造部分の裕度評価結果

| 部材名 | 荷重 ケース | 竜巻荷重 (MN) | せん断歪 度 | 裕度 (対 2000 μ) |
|------------------------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| PCCV | | | | |
| CV01 CV02 CV03 CV04 | W_{T1} | 17.1 | 1.57×10^{-5} | 120 |
| CV07 | W_{T2} | 8.8 | 1.64×10^{-5} | 120 |
| E/B | | | | |
| EB33 | W_{T1} | 1.6 | 5.27×10^{-6} | 370 |
| EB33 | W_{T2} | 3.9 | 1.29×10^{-5} | 150 |
| C/B | | | | |
| CB01 | W_{T1} | 3.2 | 1.31×10^{-6} | 1500 |
| CB01 | W_{T2} | 6.3 | 2.54×10^{-6} | 780 |

表3より、設計竜巻の複合荷重によるせん断歪度の許容限界値に対する安全余裕は十分あることから、構造健全性が維持され安全機能が維持できることが確認できた。

② 鉄骨造部分

建屋の形状や特徴を反映して設定した複合荷重による応力を地震応答解析モデルにおける部材毎に算出し、地震応答解析モデルに適用している荷重変形関係(Q- δ 関係)からえら得る水平変位より層間変形角を算定し、許容限界値1/20分の1との比較により安全余裕を確認した。複合荷重 W_{T1} 、 W_{T2} をそれぞれ加えた場合の評価結果を表4に示す。なお、評価結果は裕度が一番低く評価されたケースを示している。

表4 鋼構造部分の裕度評価結果

| 部材名 | 荷重ケース | 竜巻荷重 (MN) | 層間変位角 | 裕度 (対 1/120) |
|------|-----------------|--------------|-----------------------|-----------------|
| E/B | | | | |
| EB29 | W _{T1} | 8.3 | 2.56×10^{-3} | 3.2 |
| EB31 | W _{T2} | 4.8 | 3.68×10^{-3} | 2.2 |

建屋の主要な部材である外壁、屋根（使用済燃料ピットエリア）に対する気圧差の影響評価を実施し、各部材の許容荷重と設計竜巻による気圧差荷重を比較した結果を表5に示す。

表5 外壁および屋根に対する気圧差影響評価

| 部材名 | 裕度 |
|--------|-----|
| 屋根スラブ | 4.2 |
| 外壁（折板） | 1.2 |

表4および表5より、設計竜巻の複合荷重による層間変形角の許容限界値に対する安全余裕は十分ありまた、主要部材に対しても安全余裕が十分あることから、構造健全性が維持され安全機能が維持できることが確認できた。

(2) 竜巻防護施設に波及的影響を及ぼし得る施設の確認結果

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

竜巻防護施設に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計（ 300kg/m^2 ）で設計しており、これは設計風速で 69.3m/s に相当する。知見知充で使用する設計竜巻（ 100m/s ）でも大きな損壊は受けないと考えられる。鉄骨造のタービン建屋は、壁や窓等は損傷すると思われるが、主梁・柱は機能を保ち、タービン等の重量機器・主配管は溶接され、支持構造物で固定されており飛散することは考えがたい。タービン建屋か

ら飛来する飛来物による原子炉格納容器(PCCV)、原子炉周辺建屋(E/B)、制御建屋(C/B)への飛来物影響としては、剛体で投影断面積が小さく重量もある鋼製材による影響評価で包絡されると考えられる。

b. 設計飛来物の評価

① 鉄筋コンクリート造部分

設計飛来物の衝突に対する裏面剥離または貫通を生じないための必要最小壁厚さを算出し、建屋の壁厚さや屋根スラブ厚さと比較し評価を行った。設計飛来物の衝突に対する裏面剥離または貫通を生じないための必要最小壁厚さの結果を表6、各建屋の外壁および屋根スラブの最も壁厚が薄い箇所の評価結果を表7に示す。

なお、鉄パイプは質量と速度が共に鋼製材より十分小さいことから、鋼製材に対する健全性検討で包含させる。

表6(1)PCCV必要最小壁厚さ（水平）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（水平） | 57m/s | 30m/s |
| 裏面剥離 | 40cm | 40cm |
| 貫通 | 25cm | 23cm |

表6(2)PCCV必要最小壁厚さ（鉛直）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（鉛直） | 38m/s | 20m/s |
| 裏面剥離 | 30cm | 30cm |
| 貫通 | 18cm | 16cm |

表6(3)PCCV必要最小壁厚さ（水平）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 60m/s | 34m/s |
| 貫通 | 30cm | 30cm |

表6(4)PCCV必要最小壁厚さ（鉛直）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 40m/s | 23m/s |
| 貫通 | 20cm | 20cm |

表6(5)E/B、C/B必要最小壁厚さ（水平）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（水平） | 57m/s | 30m/s |
| 裏面剥離 | 45cm | 45cm |
| 貫通 | 27cm | 25cm |

表6(6)E/B、C/B必要最小壁厚さ（鉛直）

| | 鋼製材 | コンクリート板 |
|-----------|-------|---------|
| 飛来物速度（鉛直） | 38m/s | 20m/s |
| 裏面剥離 | 35cm | 35cm |
| 貫通 | 20cm | 18cm |

表6(7)E/B、C/B必要最小壁厚さ（水平）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 60m/s | 34m/s |
| 貫通 | 30cm | 30cm |

表6(8)E/B、C/B必要最小壁厚さ（鉛直）

| | コンテナ | トラック |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 40m/s | 23m/s |
| 貫通 | 20cm | 20cm |

表7 設計飛来物による裏面剥離、貫通評価結果

| 建屋 | 外壁/屋根スラブ | | 飛来物 | 検討結果 | |
|------|---------------------|---------|---------|---------------|----|
| | 位置 EL. (m) | 厚さ (cm) | | 裏面剥離 | 貫通 |
| PCCV | 17.1～60.1 (外壁) | 130 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | | | コンテナ | — | ○ |
| | | | トラック | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | 60.1～82.7 (ドーム部) | 110 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | | | コンテナ | — | ○ |
| | | | トラック | 浮き上がらないため評価不要 | |
| E/B | 17.1～33.6 (外壁) | 90 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | | | コンテナ | — | ○ |
| | | | トラック | 浮き上がらないため評価不要 | |
| C/B | 26.1～33.6 (外壁) | 60 | 鋼製材 | ○ | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | | | コンテナ | — | ○ |
| | | | トラック | 浮き上がらないため評価不要 | |

| | | | | | |
|--|--------------|----|---------|-----------------|---|
| | 33.6 (屋根) | 20 | 鋼製材 | ○ ^{※4} | ○ |
| | | | コンクリート板 | 浮き上がらないため評価不要 | |
| | | | コンテナ | ○ ^{※4} | ○ |
| | | | トラック | 浮き上がらないため評価不要 | |

○：貫通または裏面剥離無し

※4: 当該箇所は屋内側にデッキプレート(2.3mm厚の凹凸鉄板で最大深さ75mm)を施工しており、裏面剥離によるコンクリート片の飛散は起こらない。

表 7 より、設計飛来物による裏面剥離および貫通を防止するための壁厚さがあることから、竜巻防護施設に対し、安全機能維持に影響を与えないことを確認した。

② 鋼構造部分

設計飛来物が鉄骨造部分(燃料取扱建屋)の区画壁に衝突した場合、貫通することから、竜巻防護施設である使用済燃料ピット中に、設計飛来物が進入した場合の影響評価を行った。

評価においては、保守的に原子炉周辺建屋の屋根・壁を考慮せずに、飛来物が直接使用済み燃料ピット内へ鉛直で進入し、燃料及び燃料ラックへ衝突するとし、浮き上がる設計飛来物(鋼製パイプ、鋼製材、コンテナ)について影響確認を行った。

(a) 鋼製パイプ

鋼製パイプが燃料ラックに衝突する場合は、ラックセル許容貫入量の最小値252mmに対し、27mmの貫入となり、燃料ラックの損傷範囲が燃料有効部に達することはなく、未臨界性に影響はない。また燃料集合体に衝突する場合は、燃料被覆管の許容引張強さ680MPaに対し、発生応力は130MPaであり燃料被覆管は破

損しない。

(b) 鋼製材

燃料集合体に衝突する場合は、燃料被覆管の許容引張強さ680MPaに対し、発生応力は670MPaであり、燃料被覆管は破損しない。

(c) コンテナ

コンテナは着水により浮力が作用することで、いったん浮き上がり、その後の自由落下により、燃料集合体に衝突する。その場合の燃料被覆管に発生する応力は許容引張強さ680MPaに対し、270MPaであり燃料被覆管は破損しない。

(3) 気圧差による圧力影響を受ける開口部の評価

竜巻防護施設について、気圧差による圧力影響を受ける開口部（窓、扉、シャッター）を抽出し、開口部の許容限界と比較し、安全余裕の確認を行った結果を表8に示す。表8より許容限界値に対する安全余裕は十分あることから、竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えないことを確認した。

また、主蒸気管室の3壁面に配置されたブローアウトパネルが気圧差により開放された場合、建屋内外の気圧は均圧となることから竜巻防護施設の安全機能維持に影響を与えない。

表8 気圧差による圧力影響評価結果

| 建屋 | 対象開口部 | 許容限界値 (hPa) | 裕度 |
|----------|-------------------|----------------|-----|
| E/B | 使用済燃料ピットスライディングドア | 142 | 1.6 |
| E/B | 機器搬入口スライディングドア | 137 | 1.6 |
| E/B, C/B | 水密扉 | 400 | 4.7 |

設計竜巻に対する設備の構造健全性の確認結果

1. 概要

大飯3, 4号機において、竜巻設計荷重に対して、設備の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。

2. 設計竜巻の特性値

設計竜巻の特性値は表1の通りとした。

表1 設計竜巻の特性値

| 最大 風速 V_D (m/s) | 移動 速度 V_T (m/s) | 最大 接線 風速 V_{Rm} (m/s) | 最大 接線 風速 半径 R_m (m) | 気圧 低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧 低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 69 | 10 | 59 | 30 | 43 | 15 |

3. 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元は表2の通りとした。

表2 設計飛来物の諸元

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ(m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量(kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |
| 飛散距離(m) ^{※1} | 354 | 345 | 389 | 355 | 430 |
| 飛散高さ(m) ^{※1} | 0.08 | 14 | 0 | 0 | 0 |

※1 飛散距離、飛散高さは電力共通研究「平成24年度 原子力発電所の竜巻に対する評価方法に関する研究」(竜巻風速 71m/s)より引用

4. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針に係る審査ガイド(仮称)」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備であり、外殻となる施設により防護が期待できない設備として、以下を抽出した。

- ① 海水ポンプ
- ② 排気筒(建屋外)

ただし、「3. 設計飛来物の諸元」における設計飛来物は、設

計竜巻による飛散高さが最大で 14m（鋼製材）であり、排気筒の高さ（EL. 49.95m～EL. 82.7m）まで浮き上がらず、排気筒に衝突し得ないことから、設計飛来物の評価対象は海水ポンプのみとする。

（２）波及的影響を及ぼし得る施設

a．当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設として、以下を抽出した。

- ・タービン建屋(T/B)
- ・海水ポンプ室クレーン

b．当該施設の破損により、耐震 S クラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

換気・冷却等が必要な耐震 S クラス設備を内包する区画の換気空調設備の内、排気筒（建屋内）、外気と繋がるダクト、外気との隔離箇所（ダンパ、バタフライ弁）、外気との隔離箇所までに設置されているファンとした。

なお、ディーゼル発電機室給気ファンについては、ガラリ内に設置されており、またファンの入口側にダクトが接続されていないことから、ファンの内外において気圧差の影響を受け得ないことから、評価対象外とした。

評価対象の換気空調設備は表 3 のとおり。

表 3 評価対象設備

| 耐震 S クラス設備に波及的影響を及ぼし得る換気空調系統 | 評価対象設備 |
|--|--|
| ・ 排気筒 | ・ 排気筒 |
| ・ アニュラス空気浄化系 (以下の系統のアニュラス空気浄化系排気ラインのバウンダリ部を含む ・ 格納容器排気系 ・ 補助建屋排気系 ・ 放射線管理室排気系) | ・ ダクト ・ ダンパ ・ バタフライ弁 (アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁) |
| ・ 安全補機室冷却系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ ディーゼル発電機室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 電動補助給水ポンプ室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 制御用空気圧縮器室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 安全補機開閉器室空調系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 蓄電池室排気系 | ・ ダクト ・ ダンパ ・ ファン (蓄電池室排気ファン) |
| ・ 中央制御室空調系 | ・ ダクト ・ ダンパ |

5. 評価内容

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の評価

① 海水ポンプ

海水ポンプ及びモータについて、設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重 (W_w)、気圧差荷重 (W_p) 及び設計飛来物の衝撃荷重 (W_M) による複合荷重 ($W_w+0.5W_p+W_M$) により海水ポンプが転倒する可能性が考えられるため、据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に発生する応力を算定し、支持構造物の許容応力^{*2}との比較により安全余裕を確認する。

なお、設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) については、設計飛来物の影響評価結果を踏まえて、飛来物による衝撃荷重を考慮するかを検討する。

※2 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008) の支持構造物に対する、供用状態Csの許容応力。

② 排気筒

排気筒について、設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重 (W_w) 及び気圧差荷重 (W_p) による複合荷重 ($W_w+0.5W_p$) を評価する。

なお、設計竜巻による設計飛来物の飛散高さは最大で14m (鋼製材) であり、排気筒の高さ (EL. 49.95m~EL. 82.7m) まで浮き上がらず、排気筒に衝突し得ないことから、設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) は評価しない。

評価の方法は、竜巻による複合荷重を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による応力が許容値を超えない事を確認する。

また応力が許容値を超えた場合には、安全機能が維持できることを確認する。

角ダクトについては、板材に対し長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による強度評価を行うとともに、補強部材も評価す

る。

丸ダクトについては、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による座屈評価および曲げ評価を行う。

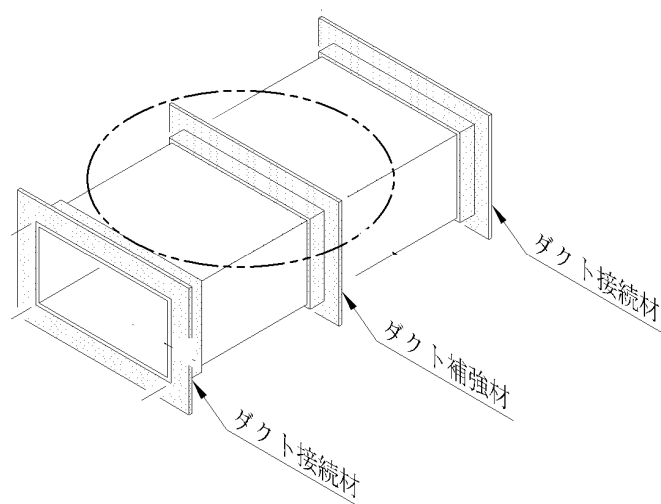


図1 角ダクトのイメージ図

(2) 竜巻防護施設に対する波及的影響

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

(a) 当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

① タービン建屋

竜巻防護施設（原子炉格納容器、原子炉周辺建屋、制御建屋）に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計（ 300kg/m^2 ）で設計しており、これは設計風速で 69.3m/s に相当することから、設計竜巻により損壊しない。従って、竜巻防護施設の安全機能に影響を与えない。

② 海水ポンプ室クレーン

海水ポンプ室クレーンについては、転倒により海水ポンプに影響を及ぼす可能性があることから、海水ポンプ室クレーンの高さ、海水ポンプ室クレーン係留位置から海水ポンプまでの距離を比較することにより、健全であることを確認する。

(b) 当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

換気・冷却等が必要な耐震Sクラス設備を内包する区画の換気空調設備の内、排気筒（建屋内）、外気と繋がるダクト、外気との隔離箇所（ダンパ、バタフライ弁）、外気との隔離箇所までに設置されているファンについて、気圧差に対する健全性を評価する。

各評価方法については以下のとおり。

①排気筒およびダクト

評価対象設備について、ダクト種別（丸ダクト、角ダクト）、口径、板厚を考慮し分類し、設計用竜巻により、それぞれのダクト内外の差圧が43hPaになった場合の評価を行う。

評価の方法は、竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して（地震との重ね合わせはしない）、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による応力が許容値を超えない事を確認する。

また応力が許容値を超えた場合には、安全機能が維持できることを確認する。

角ダクトについては、板材に対し長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による強度評価を行うとともに、補強部材も評価する。

丸ダクトについては、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜

卷)による座屈評価を行う。

②ダンパ

ダンパの構成部材毎(ケーシング、ベーン、シャフト)に評価を行う。設計用竜巻により発生するケーシングにかかる最大曲げ応力、ベーンにかかる最大曲げ応力、シャフト断面にかかる最大せん断応力が、それぞれ許容値を超えないことを確認する。

③バタフライ弁

設計竜巻によってバタフライ弁に生じる圧力が、許容値を超えないことを確認する。

④ファン

竜巻の影響によりケーシングに生じる周応力が許容値を超えないことを確認する。

b. 設計飛来物の評価

(a) 海水ポンプ

海水ポンプに対して、設計飛来物による影響頻度および貫通限界を評価する。

飛来物による影響頻度の考え方は、原子炉安全専門審査会「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月)を参考に、海水ポンプの破損確率が設計上考慮すべき頻度(10^{-7} /年)を下回ることを確認する。

また飛来物による貫通評価の考え方は、風速69m/sの竜巻に対して、浮き上がる飛来物の貫通を生じないための必要最小厚さと海水ポンプの最小板厚を比較することで確認する。

鋼板の貫通限界厚さはBRL式^{※3}を用いて求める。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

T：鋼板厚さ (in)

M：ミサイル質量 (lb・s²/ft)

V：ミサイル速度 (ft/s)

D：ミサイル直径 (in)

K：鋼板の材質に関する係数≒1

※3 ISES 7607-3 「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査
その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価
式の比較検討」(高温構造安全技術研究組合)

6. 評価結果

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の確認結果

① 海水ポンプ

後述の設計飛来物の評価結果より、海水ポンプの破損確率は設計上考慮すべき頻度(10⁻⁷/年)を十分下回るため、飛来物による衝撃荷重(W_M)は評価しない。

設計竜巻による気圧差荷重(W_p)ならびに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重(W_w+0.5W_p)に対する海水ポンプ及びモータの据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に関する評価結果は表4の通りであり、健全であることを確認した。

表 4 海水ポンプ及びモータ竜巻影響評価結果

| 評価部位 | 材質 | 発生 応力 | 応力値 (MPa) | | 許容 応力 (MPa) | 裕度 | |
|-----------------|-----------------|----------|-----------|----------------|-------------------|--------|----------------|
| | | | W_p | $W_w + 0.5W_p$ | | W_p | $W_w + 0.5W_p$ |
| 電動機取合 ボルト | SS400 (M36) | 引張 | 11 | 14 | 175 | 15.90 | 12.50 |
| 電動機支え 台取合ボルト | SS400 (M36) | 引張 | 15 | 20 | 172 | 11.46 | 8.60 |
| 据付面取合 ボルト | SUS304 (M42) | 引張 | 10 | 13 | 153 | 15.30 | 11.76 |
| 据付面基礎 ボルト | SUS304 (M48) | 引張 | 13 | 17 | 153 | 11.76 | 9.00 |
| 電動機フレ ーム | SS400 (t16) | 曲げ | 1 | 1 | 282 | 282.00 | 282.00 |

② 排気筒

設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重 ($W_w+0.5W_p$) に対する排気筒の角ダクトと丸ダクトに関する評価結果は表5および表6の通りであり、健全であることを確認した。

表5 排気筒（角ダクト）における荷重に対する健全性評価結果

| ダクト種別 | ダクトサイズ(mm) | ダクト材質 | 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻） 裕度： α | | 補強材 裕度： β | ダクト断面積縮小率： γ (%) | 評価結果 |
|---------|----------------|--------|-----------------------------------|------|--------------------|-------------------------|---|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 排気筒（溶接） | 2700×2700×3.0t | SUS304 | 2.16 | 7.67 | 3.03 | — | $\alpha、\beta > 1 : \odot$ $\gamma \leq 5\%$ (ダクト機能影響なし) : \odot $\gamma > 5\%$ (ダクト機能影響あり) : \times \odot |

表6 排気筒（丸ダクト）における荷重に対する健全性評価結果

| ダクト種別 | ダクトサイズ(mm) | ダクト材質 | 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻） 裕度： α | 曲げ 裕度： β | ダクト断面積縮小率： γ (%) | 評価結果 |
|-------|------------|-------|-----------------------------------|-------------------|-------------------------|------|
| | | | | | | |

(2) 竜巻防護施設に対する波及的影響の確認結果

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

(a) 当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

① 海水ポンプ室クレーン

海水ポンプ室クレーンの高さは16m、海水ポンプ室クレーン係留位置から海水ポンプまでの距離は20mであり、海水ポンプ室クレーンの転倒を考慮しても海水ポンプへ接触しないことから、健全であることを確認した。

(b) 当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

① 排気筒およびダクト

評価結果は表7および表8(1)～表8(3)のとおり。

排気筒および丸ダクトについては設計竜巻により生じる気圧差により損傷せず、健全であることを確認した。

角ダクトのうち、溶接角ダクトについては設計竜巻により生じる気圧差により損傷せず、健全であることを確認した。

角ダクトのうち、ハゼ折角ダクトについては、ダクトサイズ(mm)1100×1100×0.8t、500×500×0.6t、500×250×0.6tのダクトが設計竜巻により生じる気圧差により、補強部材に発生する応力が許容値を超える結果となった。

これらのダクトについては、補強部材に期待せずダクト本体に発生する応力を評価したところ、いずれのダクトもダクト本体に発生する応力は許容値を満足する結果となり、仮に補強部材が補強機能を失ったとしても、ダクトは損傷しないことを確認した。

なお、仮に補強部材が補強機能を失った場合、ダクトが大きく変形することが予想されることから、ダクトの断面

積縮小率について評価したところ、縮小率は5%※4以下と小さいことから、安全機能が維持できることを確認した。

その他のハゼ折角ダクトについては補強部材も含め、損傷せず、設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。

※4 ファンの性能（全圧）は実機においては仕様値に対して一般的に余裕を有しており、ファンの性能評価として行う圧損計算では、標準的にダクト圧損合計値に10%上乘せして行っている。ダクト系で全ての断面積が5%減少した場合でも、流路圧損の増加は10%程度であることから、安全機能が維持される。

② ダンパ

評価を行った結果、すべてのダンパにおいて裕度は1倍を越えており、設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。ダンパの種類毎（高気密ダンパ、空気作動ダンパ（国産）、空気作動ダンパ（輸入）、逆止ダンパ、防火ダンパ（防火兼風量調整ダンパを含む））の代表の評価結果を表9に示す。

③ バタフライ弁

アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁の弁体は、圧力標準JIS 5Kの規定を満足していることから弁体の負圧に対する許容値は 5kgf/cm^2

($=4903.325\text{hPa}$ ($1\text{kgf/cm}^2=980.665\text{hPa}$)) であり、設計用竜巻により生じる気圧差(43hPa)の負圧に対して裕度は約114倍であることから、設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。

④ファン

蓄電池室排気ファンについて評価を行った結果、竜巻の影響によりケーシングに生じる周応力は -0.332 (MPa)であり、許容応力 240 (MPa) に対して裕度は約 722 倍であることから、設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。

b. 設計飛来物の評価

①海水ポンプ

浮き上がる設計飛来物のうち海水ポンプに到達する頻度の高い鋼製材について、海水ポンプへの影響頻度および貫通評価を実施した。

設計竜巻 (69m/s) が発生して、大飯発電所と同規模の施設に襲来する頻度は 10^{-5} /年である。また、海水ポンプに飛来物 (鋼製材) が到達する割合は、飛来物の想定される飛散面積に対する多重性を有する海水ポンプに衝突する面積の割合で、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 程度となる。さらに別の飛来物が衝突し、海水ポンプが全台機能喪失する割合は、 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 程度となる。

以上より、海水ポンプが破損する割合は 10^{-12} オーダと評価することができ、設計上考慮すべき頻度 (10^{-7} /年) を十分下回るため、海水ポンプへの機能影響はないと評価できる。

なお、浮き上がる飛来物の貫通厚さは表10、表11に示した通りであり、海水ポンプの最小板厚部分 3.2mm と比較し、貫通することを確認した。

また、飛来物対策として、海水ポンプ室設置付近への車の乗入れ管理、資機材保管管理等を行い、竜巻に対する備えの万全を期する。

表7 丸ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) 裕度: α | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 | |
|-----------------|------------------------|-----------|--|-------------------------------------|---|--|
| | | | | | $\alpha > 1$: ◎ $\gamma \leq 5\%$ (ダクト機能影響なし): ○ $\gamma > 5\%$ (ダクト機能影響あり): × | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 650 \times 2.3t$ | SS400 | 4.50 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 400 \times 2.3t$ | SS400 | 9.00 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 500 \times 2.3t$ | SS400 | 9.00 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 300 \times 2.3t$ | SS400 | 9.00 | — | ◎ | |
| スパイラル低 圧丸ダクト | $\phi 400 \times 0.6t$ | SGCC | 2.00 | — | ◎ | |
| 溶接特殊低圧 丸ダクト | $\phi 300 \times 2.3t$ | SGCC | 9.00 | — | ◎ | |

表8(1) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (電巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 |
|----------------|--------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|--|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 排気筒 (溶接) | 2700×2700 ×3.0t | SUS304 | 3.05 | 39.44 | 5.00 | — | α 、 β > 1 : ◎ γ ≤ 5% (ダクト機能影響なし) : ○ γ > 5% (ダクト機能影響あり) : × |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×2700 ×3.2t | SS400 | 3.92 | 53.29 | 2.00 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 3000×2700 ×3.2t | SS400 | 3.90 | 67.46 | 1.66 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×2100 ×3.2t | SS400 | 3.92 | 107.64 | 2.00 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 1500×1100 ×3.2t | SS400 | 4.23 | 98.45 | 2.00 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2400×2100 ×3.2t | SS400 | 3.95 | 97.42 | 2.50 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×1100 ×3.2t | SS400 | 3.92 | 54.08 | 2.00 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 1800×1600 ×3.2t | SS400 | 4.09 | 36.05 | 3.33 | — | ◎ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

※2 知見拡充で使用する設計電巻による評価値

表8(2) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 α 、 β > 1 : ◎ γ \leq 5% (ダクト機能影響なし) : ○ γ > 5% (ダクト機能影響あり) : × |
|----------------|--------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2436×1218 ×3.2t | SS400 | 3.94 | 108.75 | 2.50 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1050×1050 ×0.8t | SGCC | 3.13 | 355.91 | 5.00 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 900×900× 0.8t | SGCC | 2.63 | 98.35 | 1.11 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1100×1100 ×0.8t | SGCC | 2.53 | 13.99 | 1.42 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1000×1000 ×0.8t | SGCC | 2.75 | 26.89 | 1.66 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1400×1000 ×1.0t | SGCC | 2.50 | 83.95 | 1.66 | — | ◎ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 1100×1100 ×0.8t | SGCC | 2.53 (1.91) ※1 | 25.02 | 0.76 | 3.2※2 | ○ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

※2 知見拡充で使用する設計竜巻による評価値

表8(3) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重(自重) + 短期荷重(竜巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 α 、 β > 1 : ◎ γ \leq 5% (ダクト機能影響なし) : ○ γ > 5% (ダクト機能影響あり) : × |
|---------------|------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 900×900× 0.8t | SGCC | 2.61 | 51.46 | 1.11 | — | ◎ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 500×500× 0.6t | SGCC | 2.27 (2.27) ※1 | 142.97 | 0.66 | 3.2※2 | ○ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 400×400× 0.6t | SGCC | 2.47 | 61.26 | 1.06 | — | ◎ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 500×250× 0.6t | SGCC | 2.27 (2.27) ※1 | 11.67 | 0.66 | 4.7※2 | ○ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 700×700× 0.8t | SGCC | 2.52 | 66.05 | 1.07 | — | ◎ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 800×600× 0.8t | SGCC | 2.54 | 21.18 | 1.42 | — | ◎ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 900×500× 0.8t | SGCC | 2.61 | 8.00 | 1.11 | — | ◎ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

※2 知見拡充で使用する設計竜巻による評価値

表9 ダンパにおける気圧差に対する健全性評価結果（代表）

| 種類 | ダンパ名称 | フランジ内寸(mm) | | ケーシング 裕度: α | バーン 裕度: α | シャフト 裕度: α | 評価結果 裕度 $\alpha > 1$: ◎ 裕度 $\alpha \leq 1$: × |
|-----------------|-------------------------------|------------|--------|-----------------------|---------------------|----------------------|---|
| | | W | H | | | | |
| 高気密ダンパ | 3 安全補機室排気第2 隔離ダンパ | 1210 | × 1210 | 13.70 | 30.44 | 58.50 | ◎ |
| | 34 キッチン排気第1 隔離ダンパ | φ | 305 | 29.77 | 67.00 | 117.00 | ◎ |
| 空気作動 ダンパ(国産) | 3 補助建屋排気流量調節ダンパ | 2410 | × 2110 | 7.23 | 16.69 | 70.50 | ◎ |
| 空気作動 ダンパ(輸入) | 3 格納容器排気止めダンパ | 2436 | × 1218 | 7.75 | 6.38 | 27.00 | ◎ |
| | 34A 安全補機開閉器室外気取入流量 調節ダンパ | 915 | × 915 | 7.48 | 2.61 | 36.00 | ◎ |
| 逆止 ダンパ | 3A1 ディーゼル発電機室給気ファン 出口逆止ダンパ | 1055 | × 1055 | 7.48 | 3.94 | 67.50 | ◎ |
| | 3A 制御用空気圧縮機室給気ファン 入口逆止ダンパ | 705 | × 705 | 14.46 | 2.08 | 67.50 | ◎ |
| 防火ダンパ | 3A1 ディーゼル発電機室排気 防火ダンパ | 1117 | × 1976 | 4.93 | 4.17 | 35.25 | ◎ |
| | 3A 制御用空気圧縮機室排気 防火ダンパ | 763 | × 763 | 11.42 | 2.00 | 47.00 | ◎ |
| | 3 蓄電池室排気系 A 充電器室 防火絞りダンパ | φ | 405 | 15.50 | 3.61 | 70.50 | ◎ |

表10 飛来物による鋼板の貫通評価（水平）

| 飛来物 | 鋼製パイプ | 鋼製材 |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 49m/s | 57m/s |
| 必要最小厚さ | 18mm | 37mm |

表11 飛来物による鋼板の貫通評価（鉛直）

| 飛来物 | 鋼製パイプ | 鋼製材 |
|-----------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 33m/s | 38m/s |
| 必要最小厚さ | 11mm | 22mm |

知見拡充で使用する設計竜巻に対する設備の構造健全性の確認結果

1. 概要

大飯3, 4号機において、竜巻設計荷重に対して、設備の構造健全性が維持されて安全機能が維持されることを確認した。

2. 設計竜巻の特性値

知見拡充で使用する設計竜巻の特性値は表1の通りとした。

表1 知見拡充で使用する設計竜巻の特性値

| 最大風速 V_D (m/s) | 移動速度 V_T (m/s) | 最大接線風速 V_{Rm} (m/s) | 最大接線風速半径 R_m (m) | 気圧低下量 ΔP (hPa) | 最大気圧低下率 $(dp/dt)_{max}$ (hPa/s) |
|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 100 | 16 | 84 | 30 | 85 | 45 |

3. 設計飛来物の諸元

設計飛来物の諸元は表2の通りとした。

表2 設計飛来物の諸元

| 飛来物の種類 | 棒状物 | | 板状物 | 塊状物 | |
|-----------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンクリート板 | コンテナ | トラック |
| サイズ(m) | 長さ×直径 2×0.05 | 長さ×幅×奥行き 4.2×0.3×0.2 | 長さ×幅×厚さ 1.5×1×0.15 | 長さ×幅×奥行き 2.4×2.6×6 | 長さ×幅×奥行き 5×1.9×1.3 |
| 質量(kg) | 8.4 | 135 | 540 | 2300 | 4750 |
| 飛散距離(m) ^{※1} | 741 | 741 | 818 | 743 | 934 |
| 飛散高さ(m) ^{※1} | 33 | 56 | 0 | 30 | 0 |

※1 飛散距離、飛散高さは電力共通研究「平成24年度 原子力発電所の竜巻に対する評価方法に関する研究」(竜巻風速 100m/s)

4. 評価対象施設

(1) 竜巻防護施設

「基準地震動及び耐震設計方針指針に係る審査ガイド(仮称)」の重要度分類における耐震Sクラスの設計を要求される設備であり、外殻となる施設により防護が期待できない設備として、以下を抽出した。

- ① 海水ポンプ
- ② 排気筒 (建屋外)

(2) 波及的影響を及ぼす施設

- a. 当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響

響を及ぼし得る施設

当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼして安全機能を喪失させる可能性が否定できない施設として、以下を抽出した。

- ・タービン建屋
- ・海水ポンプ室クレーン

b. 当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

換気・冷却等が必要な耐震Sクラス設備を内包する区画の換気空調設備の内、排気筒（建屋内）、外気と繋がるダクト、外気との隔離箇所（ダンパ、バタフライ弁）、外気との隔離箇所までに設置されているファンとした。

なお、ディーゼル発電機室給気ファンについては、ガラリ内に設置されており、またファンの入口側にダクトが接続されていないことから、ファンの内外において気圧差の影響を受け得ないことから、評価対象外とした。

評価対象の換気空調設備は表3のとおり。

表 3 評価対象設備

| 耐震 S クラス設備に波及的影響を及ぼし得る換気空調系統 | 評価対象設備 |
|--|--|
| ・ 排気筒 | ・ 排気筒 |
| ・ アニュラス空気浄化系 (以下の系統のアニュラス空気浄化系排気ラインのバウンダリ部を含む ・ 格納容器排気系 ・ 補助建屋排気系 ・ 放射線管理室排気系) | ・ ダクト ・ ダンパ ・ バタフライ弁 (アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁) |
| ・ 安全補機室冷却系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ ディーゼル発電機室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 電動補助給水ポンプ室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 制御用空気圧縮器室換気系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 安全補機開閉器室空調系 | ・ ダクト ・ ダンパ |
| ・ 蓄電池室排気系 | ・ ダクト ・ ダンパ ・ ファン (蓄電池室排気ファン) |
| ・ 中央制御室空調系 | ・ ダクト ・ ダンパ |

5. 評価内容

(1) 竜巻防護施設の構造健全性の評価

① 海水ポンプ

海水ポンプ及びモータについて、知見拡充で使用する設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重 (W_w)、気圧差荷重 (W_p) 及び設計飛来物の衝撃荷重 (W_M) による複合荷重 ($W_w+0.5W_p+W_M$) により海水ポンプが転倒する可能性が考えられるため、据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に発生する応力を算定し、支持構造物の許容応力^{*2}との比較により安全余裕を確認する。

なお、設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) については、設計飛来物の影響評価を踏まえて、飛来物による衝撃荷重を考慮するかを検討する。

※2 原子力発電所耐震設計技術規程 (JEAC4601-2008) の支持構造物に対する、供用状態Csの許容応力。

② 排気筒

排気筒について、設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重 (W_w)、気圧差荷重 (W_p) 及び設計飛来物の衝撃荷重 (W_M) による複合荷重 ($W_w+0.5W_p+W_M$) を評価する。

なお、設計飛来物による衝撃荷重 (W_M) については、設計飛来物の影響評価を踏まえて、飛来物による衝撃荷重を考慮するかを検討する。

評価の方法は、竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による応力が許容値を超えない事を確認する。

また応力が許容値を超えた場合には、安全機能が維持できることを確認する。

角ダクトについては、板材に対し長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) による強度評価を行うとともに、補強部材も評価す

る。

丸ダクトについては、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による座屈評価および曲げ評価を行う。

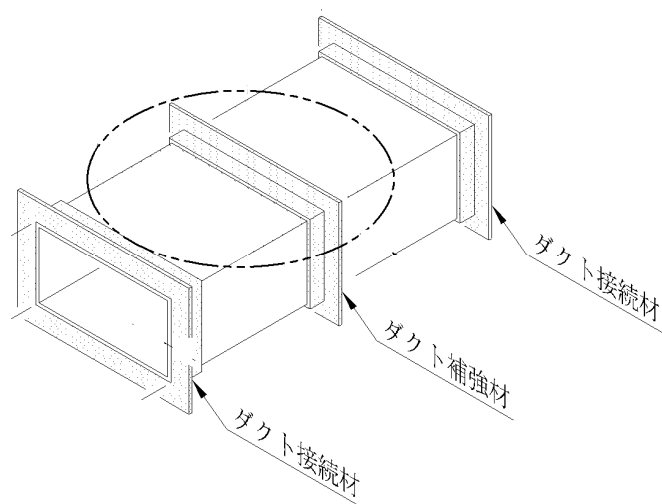


図1 角ダクトのイメージ図

（２）竜巻防護施設に対する波及的影響

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

（a）当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

①タービン建屋

鉄骨造のタービン建屋は、壁や窓等は損傷すると思われるが、主梁・柱は機能を保ち、タービン等の重量機器、主配管は溶接され、支持構造物で固定されており飛散することは考えがたい。タービン建屋から飛来する飛来物による海水ポンプおよび排気筒への飛来物影響としては、剛体で投影断面積が小さく重量もある鋼製材による影響評価で包絡されると考えられる。

②海水ポンプ室クレーン

海水ポンプ室クレーンについては、転倒により海水ポン

プに影響を及ぼす可能性があることから、海水ポンプ室クレーンの高さ、海水ポンプ室クレーン係留位置から海水ポンプまでの距離を比較することにより、健全であることを確認する。

(b) 当該施設の破損により、耐震Sクラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

換気・冷却等が必要な耐震Sクラス設備を内包する区画の換気空調設備の内、排気筒（建屋内）、外気と繋がるダクト、外気との隔離箇所（ダンパ、バタフライ弁）、外気との隔離箇所までに設置されているファンについて、気圧差に対する健全性を評価する。

各評価方法については以下のとおり。

①排気筒およびダクト

評価対象設備について、ダクト種別（丸ダクト、角ダクト）、口径、板厚を考慮し分類し、設計用竜巻により、それぞれのダクト内外の差圧が85hPaになった場合の評価を行う。

評価の方法は、竜巻による負圧を短期荷重とみなし、自重との重ね合わせを考慮して、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による応力が許容値を超えない事を確認する。

また応力が許容値を超えた場合には、安全機能が維持できることを確認する。

角ダクトについては、板材に対し長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による強度評価を行うとともに、補強部材も評価する。

丸ダクトについては、長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻）による座屈評価を行う。

② ダンパ

ダンパの構成部材毎（ケーシング、ベーン、シャフト）に評価を行う。知見拡充で使用する設計竜巻により発生するケーシングにかかる最大曲げ応力、ベーンにかかる最大曲げ応力、シャフト断面にかかる最大せん断応力が、それぞれ許容値を超えないことを確認する。

③ バタフライ弁

知見拡充で使用する設計竜巻によってバタフライ弁に生じる圧力が、許容値を超えないことを確認する。

④ ファン

知見拡充で使用する設計竜巻の影響によりケーシングに生じる周応力が許容値を越えないことを確認する。

b. 設計飛来物の評価

(a) 海水ポンプ

海水ポンプに対して、飛来物による影響頻度および貫通限界を評価する。

飛来物による影響頻度の考え方は、原子炉安全専門審査会「タービンミサイル評価について」(昭和52年7月)を参考に、海水ポンプの破損確率が設計上考慮すべき頻度(10^{-7} /年)を下回ることを確認する。

また飛来物による貫通評価の考え方は、風速100m/sの竜巻に対して、浮き上がる飛来物の貫通を生じないための必要最小厚さと海水ポンプの最小板厚を比較することで確認する。

鋼板の貫通限界厚さはBRL式^{*3}を用いて求める。

$$T^{3/2} = \frac{0.5MV^2}{17400K^2D^{3/2}}$$

T：鋼板厚さ（in）

M：ミサイル質量（lb・s²/ft）

V：ミサイル速度（ft/s）

D：ミサイル直径（in）

K：鋼板の材質に関する係数≒1

- ※3 ISES 7607-3 「軽水炉構造機器の衝撃荷重に関する調査 その3 ミサイルの衝突による構造壁の損傷に関する評価式の比較検討」（高温構造安全技術研究組合）

（b）排気筒

飛来物に対しては、飛来物の飛散範囲に比し面積が小さく当たりにくいですが、飛来物による影響は、排気筒は板厚が薄く、貫通等の損傷の可能性がある。

しかしながら、竜巻は排気筒にその安全機能を期待するL O C Aのような放射性物質の放出を伴う事故の原因にはならないので、竜巻襲来時においてプラントの安全機能に問題ない。

以上のことから、排気筒への飛来物の評価は実施しない。

6. 評価結果

（1）竜巻防護施設の構造健全性の確認結果

① 海水ポンプ

後述の設計飛来物の評価により、海水ポンプの破損確率は設計上考慮すべき頻度（10⁻⁷/年）を十分下回るため、飛来物による衝撃荷重（W_M）は評価しない。

知見拡充で使用する設計竜巻による気圧差荷重（W_P）ならび

に風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重 ($W_w+0.5W_p$) に対する海水ポンプ及びモータの据付面基礎ボルト、電動機取合ボルト等に関する評価結果は表4の通りであり、健全であることを確認した。

表 4 海水ポンプ及びモータ竜巻影響評価結果

| 評価部位 | 材質 | 発生 応力 | 応力値 (MPa) | | 許容 応力 (MPa) | 裕度 | |
|-------------|-----------------|----------|-----------|--------------|-------------------|--------|--------------|
| | | | W_p | $W_w+0.5W_p$ | | W_p | $W_w+0.5W_p$ |
| 電動機取合ボルト | SS400 (M36) | 引張 | 21 | 29 | 175 | 8.33 | 6.03 |
| 電動機支え台取合ボルト | SS400 (M36) | 引張 | 30 | 40 | 172 | 5.73 | 4.30 |
| 据付面取合ボルト | SUS304 (M42) | 引張 | 19 | 25 | 153 | 8.05 | 6.12 |
| 据付面基礎ボルト | SUS304 (M48) | 引張 | 25 | 34 | 153 | 6.12 | 4.50 |
| 電動機フレーム | SS400 (t16) | 曲げ | 2 | 2 | 282 | 141.00 | 141.00 |

② 排気筒

飛来物に対しては、飛来物の飛散範囲に比し面積が小さく当たりにくいですが、飛来物による影響は、排気筒の板厚は薄く貫通等の損傷を受けることが支配的であるので、複合荷重の算定において衝撃荷重は考慮しない。

なお、竜巻は排気筒にその安全機能を期待するLOCAのような放射性物質の放出を伴う事故の原因にはならないので、竜巻襲来時におけるプラントの安全機能に問題はない。

知見拡充で使用する設計竜巻による気圧差荷重 (W_p) ならびに風圧力による荷重及び気圧差荷重による複合荷重 ($W_w+0.5W_p$) に対する排気筒の角ダクトと丸ダクトに関する評価結果は表5および表6の通りであり、健全であることを確認した。

表5 排気筒（角ダクト）における荷重に対する健全性評価結果

| ダクト種別 | ダクトサイズ(mm) | ダクト材質 | 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻） 裕度： α | | 補強材裕度： β | ダクト断面積縮小率： γ (%) | 評価結果 |
|-------|----------------|--------|-----------------------------------|------|----------------|-------------------------|--|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 排気筒 | 2700×2700×3.0t | SUS304 | 1.45 | 3.79 | 1.53 | — | $\alpha、\beta > 1$ ：◎ $\gamma \leq 5\%$ (ダクト機能影響なし)：○ $\gamma > 5\%$ (ダクト機能影響あり)：× |

表6 排気筒（丸ダクト）における荷重に対する健全性評価結果

| ダクト種別 | ダクトサイズ(mm) | ダクト材質 | 長期荷重（自重）＋短期荷重（竜巻） 裕度： α | 曲げ裕度： α | ダクト断面積縮小率： γ (%) | 評価結果 |
|-------|------------|-------|-----------------------------------|----------------|-------------------------|------|
| | | | | | | |

(2) 竜巻防護施設に対する波及的影響の確認結果

a. 波及的影響を及ぼし得る施設の評価

(a) 当該施設の破損により、竜巻防護施設に機械的な波及的影響を及ぼし得る施設

①タービン建屋

知見拡充で使用する設計竜巻に対しては、竜巻防護施設に隣接してタービン建屋があるが、当該建屋は建築基準法による速度圧設計 ($300\text{kg}/\text{m}^2$) で設計しており、これは設計風速で $69.3\text{m}/\text{s}$ に相当する。知見知充で使用する設計竜巻でも大きな損壊は受けないと考えられる。鉄骨造のタービン建屋は、壁や窓等は損傷すると思われるが、主梁・柱は機能を保ち、タービン等の重量機器、主配管は溶接され、支持構造物で固定されており飛散することは考えがたい。タービン建屋から飛来する飛来物による海水ポンプおよび排気筒への飛来物影響としては、剛体で投影断面積が小さく重量もある鋼製材による影響評価で包絡されると考えられる。

②海水ポンプ室クレーン

海水ポンプ室クレーンの高さは 16m 、海水ポンプ室クレーン係留位置から海水ポンプまでの距離は 20m であり、海水ポンプ室クレーンの転倒を考慮しても海水ポンプへ接触しないことから、健全であることを確認した。

(b) 当該施設の破損により、耐震 S クラス設備に機能的な波及的影響を及ぼし得る施設

①排気筒およびダクト

評価結果は表7および表8(1)～表8(3)のとおり。

排気筒および丸ダクトについては知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差により損傷しないことを確認し

た。

角ダクトのうち、溶接角ダクトについては、ダクトサイズ(mm)3000×2700×3.2tのダクトが知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差により補強部材に発生する応力が許容値を超える結果となった。

このダクトについては、補強部材には期待せず、ダクト本体に発生する応力を評価したところ、ダクト本体に発生する応力は許容値を満足する結果となり、仮に補強部材が補強機能を失ったとしてもダクトとしての機能は喪失しないことを確認した。

なお、仮に補強部材が補強機能を失った場合、ダクトが大きく変形することが予想されることから、ダクトの断面積の縮小率について評価したところ、縮小率は5%^{*}以下と小さいことから、安全機能が維持できることを確認した。

角ダクトのうち、ハゼ折角ダクトについては、ダクトサイズ(mm)900×900×0.8t、1100×1100×0.8t、1000×1000×0.8t、1400×1000×1.0t、500×500×0.6t、400×400×0.6t、500×250×0.6t、700×700×0.8t、800×600×0.8t、900×500×0.8tのダクトが知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差により補強部材に発生する応力が許容値を超える結果となった。

これらのダクトについては、補強部材には期待せず、ダクト本体に発生する応力を評価したところ、いずれのダクトもダクト本体に発生する応力は許容値を満足する結果となり、仮に補強部材が補強機能を失ったとしてもダクトとしての機能は喪失しないことを確認した。

なお、仮に補強部材が補強機能を失った場合、ダクトが大きく変形することが予想されることから、ダクトの断面積の縮小率について評価したところ、縮小率は5%^{*4}以下と小さいことから、安全機能が維持できることを確認した。

その他の溶接角ダクトおよびハゼ折角ダクトについては補強部材も含め、損傷せず、知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した

※4 ファンの性能（全圧）は実機においては仕様値に対して一般的に余裕を有しており、ファンの性能評価として行う圧損計算では、標準的にダクト圧損合計値に10%上乘せして行っている。ダクト系で全ての断面積が5%減少した場合でも、流路圧損の増加は10%程度であることから、安全機能が維持される。

② ダンパ

知見拡充で使用する設計竜巻に対する評価を行った結果、すべてのダンパにおいて裕度は1倍を越えており、知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。ダンパの種類毎（高気密ダンパ、空気作動ダンパ（国産）、空気作動ダンパ（輸入）、逆止ダンパ、防火ダンパ（防火兼風量調整ダンパを含む））の代表の評価結果を表9に示す。

③ バタフライ弁

アニュラス全量排気弁およびアニュラス少量排気弁の弁体は、圧力標準JIS 5Kの規定を満足していることから弁体の負圧に対する許容値は 5kgf/cm^2

($=4903.325\text{hPa}$ ($1\text{kgf/cm}^2=980.665\text{hPa}$))であり、知見拡充で使用する設計用竜巻により生じる気圧差(85hPa)の負圧に対して裕度は約57倍であることから、知見拡充で使用する設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。

④ファン

蓄電池室排気ファンについて評価を行った結果、竜巻の影響によりケーシングに生じる周応力は -0.656 (MPa)であり、許容応力 240 (MPa) に対して裕度は約 365 倍であることから、設計竜巻により生じる気圧差に対して健全であることを確認した。

b. 設計飛来物の評価

①海水ポンプ

浮き上がる設計飛来物のうち到達する頻度が高い鋼製材について、海水ポンプへの影響頻度および貫通評価を実施した。

知見拡充で使用する設計竜巻が発生して、大飯発電所と同規模の施設に襲来する頻度は 10^{-5} /年よりも低いと考えられる。また海水ポンプに飛来物（鋼製材）が到達する割合は、飛散距離から想定される飛来物の飛散面積に対する多重性を有する海水ポンプの面積の割合で、 10^{-4} ～ 10^{-5} 程度となる。さらに別の飛来物が衝突し、海水ポンプが全台機能喪失する割合は、 10^{-9} ～ 10^{-10} 程度となる。

以上より、海水ポンプの破損確率は 10^{-14} オーダと評価することができ、設計上考慮すべき頻度（ 10^{-7} /年）を十分下回るため、海水ポンプへの機能影響はないと評価できる。

なお、浮き上がる飛来物の貫通厚さは表10、表11に示した通りであり、海水ポンプの最小板厚部分 3.2mm と比較し、貫通することを確認した。

また、飛来物対策として、海水ポンプ室設置付近への車の乗入れ管理、資機材保管管理等を行い、竜巻に対する備

えに万全を期する。

表7 丸ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重(自重)+短期荷重(竜 巻) 裕度: α | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 | |
|-----------------|------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | | | | | $\alpha > 1$: ◎ $\gamma \leq 5\%$ (ダクト機能影響なし): ○ $\gamma > 5\%$ (ダクト機能影響あり): × | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 650 \times 2.3t$ | SS400 | 3.00 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 400 \times 2.3t$ | SS400 | 9.00 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 500 \times 2.3t$ | SS400 | 4.50 | — | ◎ | |
| 低圧丸ダクト (溶接) | $\phi 300 \times 2.3t$ | SS400 | 9.00 | — | ◎ | |
| スパイラル低 圧丸ダクト | $\phi 400 \times 0.6t$ | SGCC | 1.04 | — | ◎ | |
| 溶接特殊低圧 丸ダクト | $\phi 300 \times 2.3t$ | SGCC | 9.00 | — | ◎ | |

表8(1) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (電巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 |
|----------------|--------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|------|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 排気筒 (溶接) | 2700×2700 ×3.0t | SUS304 | 2.13 | 36.26 | 2.5 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×2700 ×3.2t | SS400 | 2.74 | 50.11 | 1.11 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 3000×2700 ×3.2t | SS400 | 2.73 (2.45) ※1 | 62.96 | 0.90 | 1.7 | ○ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×2100 ×3.2t | SS400 | 2.74 | 102.72 | 1.11 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 1500×1100 ×3.2t | SS400 | 2.96 | 97.18 | 1.11 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2400×2100 ×3.2t | SS400 | 2.76 | 93.48 | 1.42 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2700×1100 ×3.2t | SS400 | 2.74 | 52.82 | 1.11 | — | ◎ |
| 低圧角ダクト (溶接) | 1800×1600 ×3.2t | SS400 | 2.85 | 35.24 | 2.50 | — | ◎ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

表8(2) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 α 、 β > 1 : ◎ γ \leq 5% (ダクト機能影響なし) : ○ γ > 5% (ダクト機能影響あり) : × |
|----------------|--------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| 低圧角ダクト (溶接) | 2436×1218 ×3.2t | SS400 | 2.76 | 106.20 | 1.42 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1050×1050 ×0.8t | SGCC | 2.19 | 290.81 | 3.33 | — | ◎ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 900×900× 0.8t | SGCC | 1.74 (1.34) ※1 | 85.74 | 0.58 | 3.1 | ○ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1100×1100 ×0.8t | SGCC | 1.66 (1.24) ※1 | 11.13 | 0.76 | 3.2 | ○ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1000×1000 ×0.8t | SGCC | 1.81 (1.28) ※1 | 22.51 | 0.90 | 3.2 | ○ |
| ハゼ折高圧角 ダクト | 1400×1000 ×1.0t | SGCC | 1.67 (1.60) ※1 | 69.10 | 0.90 | 3.2 | ○ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 1100×1100 ×0.8t | SGCC | 1.66 (1.24) ※1 | 19.91 | 0.40 | 3.2 | ○ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

表8(3) 角ダクトにおける気圧差に対する健全性評価結果

| ダクト 種別 | ダクト サイズ(mm) | ダクト 材質 | 長期荷重 (自重) + 短期荷重 (竜巻) 裕度: α | | 補強材 裕度: β | ダクト 断面積 縮小率 : γ (%) | 評価結果 α 、 β > 1 : ◎ γ \leq 5% (ダクト機能影響なし) : ○ γ > 5% (ダクト機能影響あり) : × |
|---------------|------------------|-----------|--|--------|--------------------|-------------------------------------|---|
| | | | 面外荷重 | 面内荷重 | | | |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 900×900× 0.8t | SGCC | 1.73 (1.33) ※1 | 73.93 | 0.58 | 3.1 | ○ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 500×500× 0.6t | SGCC | 1.50 (1.50) ※1 | 133.51 | 0.34 | 3.2 | ○ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 400×400× 0.6t | SGCC | 1.65 (1.65) ※1 | 114.98 | 0.52 | 3.0 | ○ |
| ハゼ折低圧角 ダクト | 500×250× 0.6t | SGCC | 1.50 (1.50) ※1 | 11.30 | 0.35 | 4.7 | ○ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 700×700× 0.8t | SGCC | 1.68 (1.48) ※1 | 239.79 | 0.55 | 2.8 | ○ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 800×600× 0.8t | SGCC | 1.69 (1.40) ※1 | 32.25 | 0.76 | 3.5 | ○ |
| ハゼ折中圧角 ダクト | 900×500× 0.8t | SGCC | 1.73 (1.33) ※1 | 12.24 | 0.58 | 4.3 | ○ |

※1 補強部材に期待せず、面外荷重を評価

表9 ダンパにおける気圧差に対する健全性評価結果（代表）

| 種類 | ダンパ名称 | フランジ内寸(mm) | | ケーシング 裕度： α | ベーン 裕度： α | シャフト 裕度： α | 評価結果 裕度 $\alpha > 1$:◎ 裕度 $\alpha \leq 1$:× |
|-----------------|------------------------------|------------|--------|-----------------------|---------------------|----------------------|---|
| | | W | H | | | | |
| 高気密ダンパ | 3 安全補機室排気第2 隔離ダンパ | 1210 | × 1210 | 7.40 | 16.11 | 39.00 | ◎ |
| | 34 キッチン排気第1 隔離ダンパ | φ | 305 | 16.75 | 38.28 | 117.00 | ◎ |
| 空気作動 ダンパ(国産) | 3 補助建屋排気流量調節ダンパ | 2410 | × 2110 | 4.09 | 9.04 | 47.00 | ◎ |
| | 3 格納容器排気止めダンパ | 2436 | × 1218 | 4.34 | 3.28 | 13.50 | ◎ |
| 空気作動 ダンパ(輸入) | 34A 安全補機閉器室外気取入流量 調節ダンパ | 915 | × 915 | 4.01 | 1.36 | 18.00 | ◎ |
| | 3A1 デイゼル発電機室給気ファン 出口逆止ダンパ | 1055 | × 1055 | 4.01 | 2.04 | 45.00 | ◎ |
| 逆止 ダンパ | 3A 制御用空気圧縮機室給気ファン 入口逆止ダンパ | 705 | × 705 | 7.75 | 1.08 | 45.00 | ◎ |
| | 3A1 デイゼル発電機室排気 防火ダンパ | 1117 | × 1976 | 2.67 | 2.17 | 23.50 | ◎ |
| 防火ダンパ | 3A 制御用空気圧縮機室排気 防火ダンパ | 763 | × 763 | 6.02 | 1.05 | 28.20 | ◎ |
| | 3 蓄電池室排気系 A 充電器室 防火絞りダンパ | φ | 405 | 8.34 | 1.87 | 35.25 | ◎ |

表10 飛来物による鋼板の貫通評価（水平）

| 飛来物 | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンテナ |
|-----------|-------|-------|-------|
| 飛来物速度（水平） | 49m/s | 57m/s | 60m/s |
| 必要最小厚さ | 18mm | 37mm | 8mm |

表11 飛来物による鋼板の貫通評価（鉛直）

| 飛来物 | 鋼製パイプ | 鋼製材 | コンテナ |
|-----------|-------|-------|-------|
| 飛来物速度（鉛直） | 33m/s | 38m/s | 40m/s |
| 必要最小厚さ | 11mm | 22mm | 5mm |

6 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の内部溢水影響評価について

「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド」(案)に対する評価結果

1. 概要

大飯 3、4号機については、発電所建設の設計段階において溢水影響を考慮した機器配置、配管設計を実施しており、具体的には重要度の特に高い安全機能を有する系統については独立した区画への分散配置や入口堰の設置、基礎高さへの考慮等を実施するとともに、各建屋最下層に設置されたサンプに集積し排水が可能な設計としている。

今回、「原子力発電所の内部溢水影響評価ガイド(案)」(以下、「本ガイド案」という)が示されたことから、本ガイド案に従い原子炉施設内部で発生が想定される溢水に対して、重要度の特に高い安全機能を有する系統の安全機能、並びに使用済燃料ピットの冷却、遮へい機能が維持できることを確認した。

以下に評価の結果を示す。

2. 溢水から防護すべき対象設備の抽出

重要度の特に高い安全機能を有する系統、並びに使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統を抽出し、それら系統から防護すべき対象設備(以下、「防護対象設備」という)を抽出した。

2.1 重要度の特に高い安全機能を有する系統

原子炉を高温停止でき、引き続き低温停止並びに放射性物質の閉じ込め機能を維持するために必要な系統を抽出した。併せて、溢水に起因する原子炉外乱に対処するために必要な系統を抽出した。

2.2 使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統

使用済燃料ピットの冷却機能および放射線の遮へい機能を維持するために必要となる使用済燃料ピット冷却系統および給水系統を抽出した。

2.3 溢水から防護すべき対象設備の抽出

2.1, 2.2 で抽出した系統の機能を維持するために必要となる設備を防護対象設備として抽出した。

なお、原子炉格納容器内に設置される重要度の特に高い安全機能を有する設備は、原子炉冷却材喪失（LOCA）時の原子炉格納容器内の状態を考慮した耐環境仕様としているため、防護対象設備から除外した。

（添付資料 1）重要度の特に高い安全機能を有する系統

（添付資料 2）使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統

（添付資料 3）防護対象設備リスト

3. 溢水源と溢水経路

防護対象設備が設置されている原子炉周辺建屋、制御建屋から溢水源となりうる機器を抽出した。

また、これら建屋を対象に、床面開口部（機器ハッチ、階段）、および、溢水影響評価において期待することのできる設備（水密扉や堰など）の抽出を行い、溢水経路を設定した。

廃棄物処理建屋から原子炉周辺建屋への流入経路については、堰や水密扉、床ドレンの逆流防止弁を設置していることから想定する必要はないことを確認した。

タービン建屋や屋外の溢水源については、「7. 防護対象設備が設置されている建屋の外からの溢水影響」において、防護対象設備への影響がないことを確認した。

（添付資料 4）溢水源の抽出

（添付資料 5）溢水経路概念図

（添付資料 6）溢水影響評価において期待することができる設備

4. 原子炉施設の溢水影響評価

本ガイド案に従い、発生要因別に以下の溢水について影響を評価した。

- (1) 溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水
- (2) 発電所内で生じる異常状態（火災を含む）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水
- (3) 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水

4.1 溢水の影響を評価するために想定する機器の破損等により生じる溢水

配管の破損は、防護対象設備が施設されている原子炉周辺建屋、制御建屋および隣接する主蒸気・主給水管室とブローダウン室に施設されている配管を対象に、内包する流体のエネルギーに応じて高エネルギー配管および低エネルギー配管の2種類に分類し、発生応力に応じた破損を想定し、没水、被水、蒸気による影響評価により防護対象設備が機能喪失しないことを確認した。

（添付資料7）想定破損等により生じる溢水影響評価

4.2 発電所内で生じる異常状態（火災を含む）の拡大防止のために設置される系統からの放水による溢水

本ガイド案に従い、火災時の消火水系統からの放水による溢水を想定し、防護対象設備に対する影響を評価した。

防護対象設備が設置されている原子炉周辺建屋および制御建屋には自動作動するスプリンクラーが設置されていないことから、消火栓による消火活動にともなう放水を溢水源として想定した。

消火活動の放水時間については原則として3時間とした。ただし、火災源が小さいエリアについては「火災荷重」および「等価時間」を考慮し、0.5～1.5時間とした。

各防護対象設備が設置されているエリアにおける消火水の滞留面積を評価し、消火活動による溢水量から算出される溢水水位と、防護対象設備の機能損失高さを比較することで、防護対象設備が機能喪失に至らないことを確認した。

(添付資料 8) 消火活動に係る時間設定の考え方

(添付資料 9) 消火栓からの放水による溢水影響評価

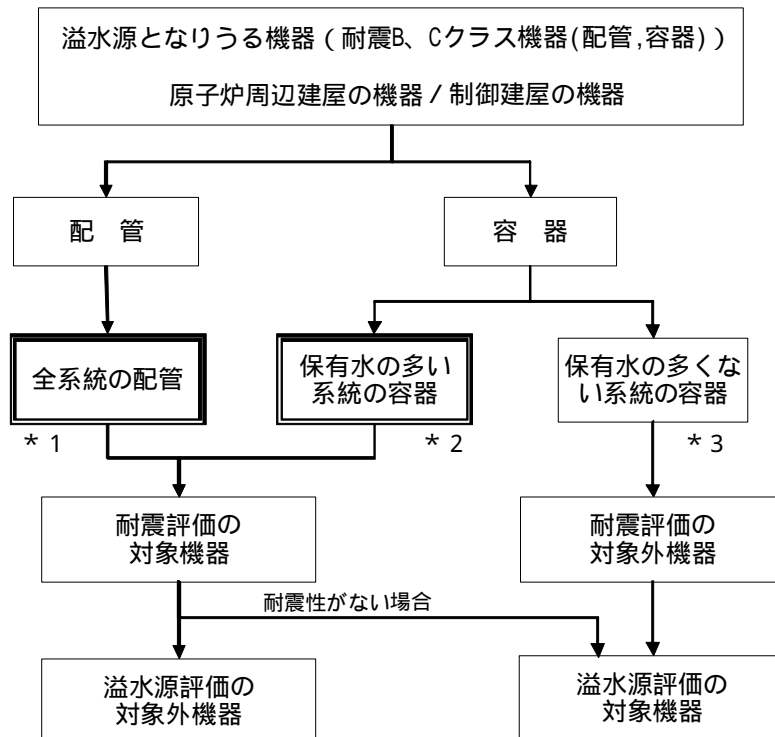
(添付資料 10) 消火栓からの放水による溢水経路図 (代表例)

4.3 地震に起因する機器の破損等により生じる溢水

4.3.1 溢水源として想定する対象機器の抽出

本ガイド案に従い、流体を内包する機器(配管、容器)のうち、基準地震動による地震力によって破損が生じうる機器を溢水源として想定した。なお、耐震 S クラス機器については、基準地震動による地震力によって破損は生じないことから溢水源として想定しない。また、耐震 B, C クラス機器のうち、基準地震動に対して耐震性を有するものは溢水源として想定しない。

地震時に溢水源として想定する対象機器の抽出フローを図 -1 に示す。



- * 1 : 補助給水系統、原子炉補機冷却水系統、化学体積制御系統、空調用冷水設備系統、1次系洗浄水系統、1次系放射性機器ドレン系統、1次系放射性床ドレン系統、消火水系統、主蒸気・給水系統、1次系補給水系統、燃料取替用水系統、燃料ピット冷却浄化系統、蒸気発生器ブローダウン系統、安全注入系統、1次系試料採取系統、換気空調系統、液体廃棄物処理系統、固体廃棄物処理系統、補助蒸気系統
- * 2 : 体積制御タンク、非再生熱交換器、封水冷却器、原子炉周辺建屋サンプポンプ、原子炉周辺建屋サンプタンク、使用済燃料ピット冷却器、使用済燃料ピットポンプ、使用済燃料ピット脱塩塔、使用済燃料ピットフィルタ、ほう酸補給タンク
- * 3 : 1次系薬品タンク、樹脂タンク、冷却材脱塩塔入口フィルタ、冷却材陽イオン脱塩塔 他

図 -1 溢水源として想定する対象機器の抽出フロー

4.3.2 耐震 B,C クラス機器の耐震性評価方法および評価結果

図 -1 のフロー図に基づき、原子炉周辺建屋および制御建屋に設置されている耐震 B、C クラスの配管および溢水保有水量の多い系統の容器について、耐震 S クラス機器と同様の評価手法を用いて構造強度評価を実施し、地震時に溢水源として想定する機器を抽出するとともに、使用済燃料ピットのスロッシングも考慮し、原子炉周辺建屋および制御建屋における溢水量を表 -1 のとおり算出した。

表 -1 地震時に想定する溢水量

| 溢水量 | | |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| 原子炉周辺建屋 | | 制御建屋 |
| 3号 | 4号 | |
| 72.44m ³ | 72.44m ³ | 68.8m ³ |

(添付資料 1 1)耐震B、Cクラス機器の耐震評価方法および評価結果

(添付資料 1 2)地震時に溢水源として想定する機器リスト

(添付資料 1 3)使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量評価

4.3.3 溢水影響評価

溢水量から算出される溢水水位と、防護対象設備の機能損失高さを比較することで、防護対象設備が機能喪失に至らないことを確認した。

(添付資料 1 4)溢水経路、溢水水位および機能喪失高さの考え方

(添付資料 1 5)地震に起因する溢水影響評価(溢水経路図含む)

5.使用済燃料ピットの溢水影響評価

使用済燃料ピット冷却および給水系統の防護対象設備については、4.原子炉施設の溢水影響評価において機能喪失しないことを確認している。

したがって、ここでは、使用済燃料ピットからのスロッシングによる最大溢水量に対し、ピット冷却(保安規定で定めた水温65以下)および遮へいに必要な水位が確保されていることを確認した。

5.1 使用済燃料ピットのスロッシングによる水位低下の評価

基準地震動 S_s における使用済燃料ピットのスロッシングによる最大溢水量を表 -2 に示す。

表 -2 スロッシングによる最大溢水量

| | |
|-------|---------------------|
| 最大溢水量 | 22.62m ³ |
|-------|---------------------|

5.2 使用済燃料ピットの冷却機能・遮へい機能維持の確認

使用済燃料ピットからの溢水量がピット外に流出した際の使用済燃料ピット水位を求め、ピット冷却（保安規定で定めた水温65℃）に必要な水位、および使用済燃料の遮へいに必要な水位が確保されていることを確認した。確認結果を表 -3,表 -4 に示す。

表 -3 溢水時における使用済燃料ピットの冷却機能維持の評価結果

| 溢水時のピット水位 | 冷却に必要な水位 | 評価結果 |
|-----------------------|-----------------------|------|
| 11.98m (EL.33.13m) | 10.99m (EL.32.14m) | |

使用済燃料ピットポンプ吸込側のピット接続配管の上端レベル

表 -4 溢水時における使用済燃料ピットの遮へい機能維持の評価結果

| 溢水時のピット水位 | 遮へいに必要な水位 | 評価結果 |
|-----------------------|----------------------|------|
| 11.98m (EL.33.13m) | 8.72m (EL.29.87m) | |

(添付資料 1 3)使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量評価

6. 海水ポンプエリアの溢水影響評価

溢水が海水ポンプエリアに滞留したと想定しても防護対象設備の機能喪失高さまで到達しないことを確認した。確認結果を表 -2 に示す。なお、基準津波による設計津波高さは3、4号機海水ポンプ室前で EL.2.54m と評価しており、防護対象設備への影響がないことを確認している。

表 -5 海水ポンプエリアの評価結果

| | 機能喪失高さ | 溢水水位 | 評価結果 |
|-------|----------|----------|------|
| 海水ポンプ | EL.4.65m | EL.3.03m | |

(添付資料 1 6) 海水ポンプエリアの溢水影響評価

7. 防護対象設備が設置されている建屋の外からの溢水影響

タービン建屋、屋外タンク、湧水サンプの溢水が、防護対象設備の設置されている原子炉周辺建屋および制御建屋に及ぼす影響を確認した。

7.1 タービン建屋からの溢水影響

地震によりタービン建屋に設置されている循環水管の伸縮継手や2次系設備が破損することで生じる溢水を想定し、隣接する制御建屋に及ぼす溢水影響を確認した。

循環水ポンプが停止するまでの間に生じる溢水量およびタービン建屋内の保有水量を合算して求めたタービン建屋の溢水は地下部に滞留し、制御建屋への浸水高さを下回ることを確認した。確認結果を表 -6 に示す。

なお、基準津波による設計津波高さは3、4号機循環水ポンプ室前で EL.2.85m と評価されるため津波が地上を遡上することはなく、また、循環水管を経由したタービン建屋への流入量は循環水ポンプが停止するまでの間に生じる溢水量に比べて十分小さい。

表 -6 タービン建屋の評価結果

| 溢水水位 | 制御建屋への 浸水高さ | 評価結果 |
|-----------|----------------|------|
| EL.約 8.5m | EL.13.8m | |

(添付資料 17) タービン建屋からの溢水影響

7.2 屋外タンクからの溢水影響

屋外タンクが地震により破損しないことを確認した。また、接続配管の破損を想定した溢水が原子炉周辺建屋周囲まで到達しないことを確認した。

(添付資料 18) 屋外タンクからの溢水影響

7.3 湧水サンプルからの溢水影響

湧水サンプルの出入口扉を水密扉としていることから、湧水サンプルからの溢水が原子炉周辺建屋に流入することはないことを確認した。

(添付資料 19) 湧水サンプルからの溢水影響

添付資料

| | |
|----------|----------------------------|
| 添付資料 1 | 重要度の特に高い安全機能を有する系統 |
| 添付資料 2 | 使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統 |
| 添付資料 3 | 防護対象設備リスト |
| 添付資料 4 | 溢水源の抽出 |
| 添付資料 5 | 溢水経路概念図 |
| 添付資料 6 | 溢水影響評価において期待することができる設備 |
| 添付資料 7 | 想定破損等により生じる溢水影響評価 |
| 添付資料 8 | 消火活動に係る時間設定の考え方 |
| 添付資料 9 | 消火栓からの放水による溢水影響評価 |
| 添付資料 1 0 | 消火栓からの放水による溢水経路図（代表例） |
| 添付資料 1 1 | 耐震 B、C クラス機器の耐震評価方法および評価結果 |
| 添付資料 1 2 | 地震時に溢水源として想定する機器リスト |
| 添付資料 1 3 | 使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量評価 |
| 添付資料 1 4 | 溢水経路、溢水水位および機能喪失高さの考え方 |
| 添付資料 1 5 | 地震に起因する溢水影響評価（溢水経路図含む） |
| 添付資料 1 6 | 海水ポンプエリアの溢水影響評価 |
| 添付資料 1 7 | タービン建屋からの溢水影響 |
| 添付資料 1 8 | 屋外タンクからの溢水影響 |
| 添付資料 1 9 | 湧水サンプからの溢水影響 |

重要度の特に高い安全機能を有する系統

1.はじめに

溢水の影響評価にあたっては、発電所内で発生した溢水に対して、重要度の特に高い安全機能を有する系統が、その安全機能を失わないこと(多重化された系統が同時にその機能を失わないこと)を確認することとしているが、溢水により原子炉に外乱が及び、かつ、安全保護系、原子炉停止系の作動を要求される場合には、その影響(溢水)を考慮する必要がある。

これらの要求を踏まえ、以下の設備を溢水の防護対象設備とする。

原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備

溢水に起因する原子炉外乱に対処するために必要な設備

本資料は、上記の防護対象設備の抽出の考え方をまとめたものである。

尚、格納容器内に設置される設備のうち、重要度の特に高い安全機能を有する系統は、原子炉冷却材喪失(LOCA)時の格納容器内の状態(温度・圧力条件及び溢水影響)を考慮した耐環境仕様であるため、溢水の防護対象設備からは除外する。

2.原子炉の高温停止及び低温停止に必要な設備

図 -1 に原子炉を低温停止に移行する際のフローを示す。原子炉の高温停止及び低温停止に必要な機能は以下の通りであり、これらの機能を達成するために必要な設備を溢水防護の対象に選定する。

- ・原子炉停止:原子炉停止系(制御棒)
- ・ほう酸添加:原子炉停止系
(化学体積制御系のほう酸水注入機能)
- ・崩壊熱除去:補助給水系、主蒸気系、余熱除去系
- ・1次系減圧:加圧器逃がし弁
(及び原子炉補機冷却水系等、上記系統の関連系)

3. 溢水に起因する原子炉外乱に対処するために必要な設備

(1) 溢水評価上考慮すべき原子炉外乱

旧発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針を参考に、過渡事象及び事故を対象として、溢水により、発生する可能性のある原子炉外乱を表 -1 及び表 -2 に整理する。尚、表 -1 及び表 -2 では、原子炉冷却材喪失 (LOCA) のように、溢水によって発生する事象ではないが、溢水の原因となり得る事象であるため、溢水評価上考慮すべき事象も含めている。

表 -1 溢水によって発生する起因事象の抽出
(運転時の異常な過渡変化)

| 起因事象 | 考慮 要否 | スクリーンアウトする理由 |
|-----------------------|----------|---|
| 原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き | | |
| 出力運転中の制御棒の異常な引き抜き | | |
| 制御棒の落下及び不整合 | | |
| 原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈 | | |
| 原子炉冷却材流量の部分喪失 | | |
| 原子炉冷却材系の停止ループの誤起動 | - | 停止ループの低温の冷却材が炉心に注入され、炉心に正の反応度が添加された後の反応度フィードバック効果により原子炉出力は低下し整定する。 このように、本事象では対処設備は不要であるため、溢水評価上考慮不要 |
| 外部電源喪失 | - | 外部電源喪失により常用電源が喪失することから、「主給水流量喪失」及び「原子炉冷却材流量の喪失」に包絡される |
| 主給水流量喪失 | | |
| 蒸気負荷の異常な増加 | - | 蒸気負荷が増加し、炉心に正の反応度が添加された後の |

| | | |
|--------------------|--|--|
| | | <p>反応度フィードバック効果により原子炉出力は抑制され整定する。</p> <p>このように、本事象では対処設備は不要であるため、溢水評価上考慮不要</p> |
| 2次冷却系の異常な減圧 | | |
| 蒸気発生器への過剰給水 | | |
| 負荷の喪失 | | |
| 原子炉冷却材系の異常な減圧 | | |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | | |

表 -2 溢水によって発生する起回事象の抽出（事故）

| 起回事象 | 考慮 要否 | スクリーンアウトする理由 |
|-----------------|----------|-------------------------------|
| 原子炉冷却材喪失 (LOCA) | | 溢水の原因となり得る事象であるため、対象として考慮する。 |
| 原子炉冷却材流量の喪失 | | |
| 原子炉冷却材ポンプの軸固着 | - | 溢水の発生によって原子炉冷却材ポンプの回転軸は固着しない。 |
| 主給水管破断 | | 溢水の原因となり得る事象であるため、対象として考慮する。 |
| 主蒸気管破断 | | 同上 |
| 制御棒飛び出し | | 同上 |
| 蒸気発生器伝熱管破損 | - | 溢水の発生によって蒸気発生器の伝熱管は破損しない。 |

(2) 溢水評価上考慮すべき原子炉外乱に対処するための系統設備

表 -1 及び表 -2 に示す溢水評価上考慮すべき原子炉外乱に対処するための系統設備を表 -3 に示す。

表 -3 の ~ の起因事象で原子炉が自動停止する場合は、通常の高温停止に必要な系統(安全保護系、原子炉停止系及び補助給水系)により、原子炉を冷却していくため、これらの系統を溢水防護の対象に選定する。

一方、 ~ のような過冷却事象及び1次系の減圧事象では、1次系の圧力低下等を伴うため、高圧注入系が自動で動作する可能性があり、前述の原子炉を高温停止まで冷却する系統に高圧注入系を加えて溢水防護の対象に選定する。

また、原子炉冷却材喪失(LOCA)等では、炉心の冷却及び格納容器の冷却・減圧・隔離のため、低圧注入系、格納容器スプレイ系及び格納容器隔離弁を加えて溢水防護の対象に選定する。

なお、これらの系統により事象を収束させた後には、LOCA等1次冷却系統の健全性が損なわれる事象を除き、余熱除去系等を用いて低温停止に移行する(図 -1 参照)。

この一連の対応により、原子炉を「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の機能が果たされる。

表 -3 溢水評価上想定する事象とその対処系統

| 溢水評価上想定する事象 | 左記事象に対する 対処機能 | 備 考 (対象系統) |
|---|-------------------|-----------------------------|
| 「原子炉起動時における制御棒の異常な引き抜き」「出力運転中の制御棒の異常な引き抜き」「制御棒の落下及び不整合」 | ・原子炉トリップ ・補助給水 | ・安全保護系 ・原子炉停止系 ・補助給水系 |
| 「原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈」 (ほう素濃度制御系異常) | | *1 主給水バイパス制御弁開 |
| 「原子炉冷却材流量の部分喪失」及び「原子炉冷却材流量の喪失」 (1次冷却材ポンプ停止) | | *2 復水ポンプ停止、主給水制御弁・隔離弁閉 |
| 蒸気発生器への過剰給水 (主給水制御弁開他*1) | | *3 タービントリップ |
| 主給水流量喪失 (主給水ポンプ停止他*2) | | |
| 負荷の喪失 (主蒸気隔離弁閉他*3) | | |
| 出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | | |
| 主給水管破断 | | |
| 2次冷却系の異常な減圧 (タービンバイパス弁開他*4) | 上記機能に加え、 ・高圧注入 | 上記系統に加え、 |
| 原子炉冷却材系の異常な減圧 (加圧器逃がし弁開*5) | | ・高圧注入系 *4 主蒸気逃がし弁開、ター |

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| 主蒸気管破断 | | ビン蒸気加減 弁開 *5 加圧器逃が しスプレイ弁 開 加圧器補助 スプレイ弁開 |
| 「原子炉冷却材喪失 (LOCA)」 及び「制御棒飛び出し」 | 上記機能に加え、 ・低圧注入 ・格納容器スプレ イ ・格納容器隔離 | 上記系統に加 え、 低圧注入系 ・格納容器ス プレイ系 ・格納容器隔 離弁 |

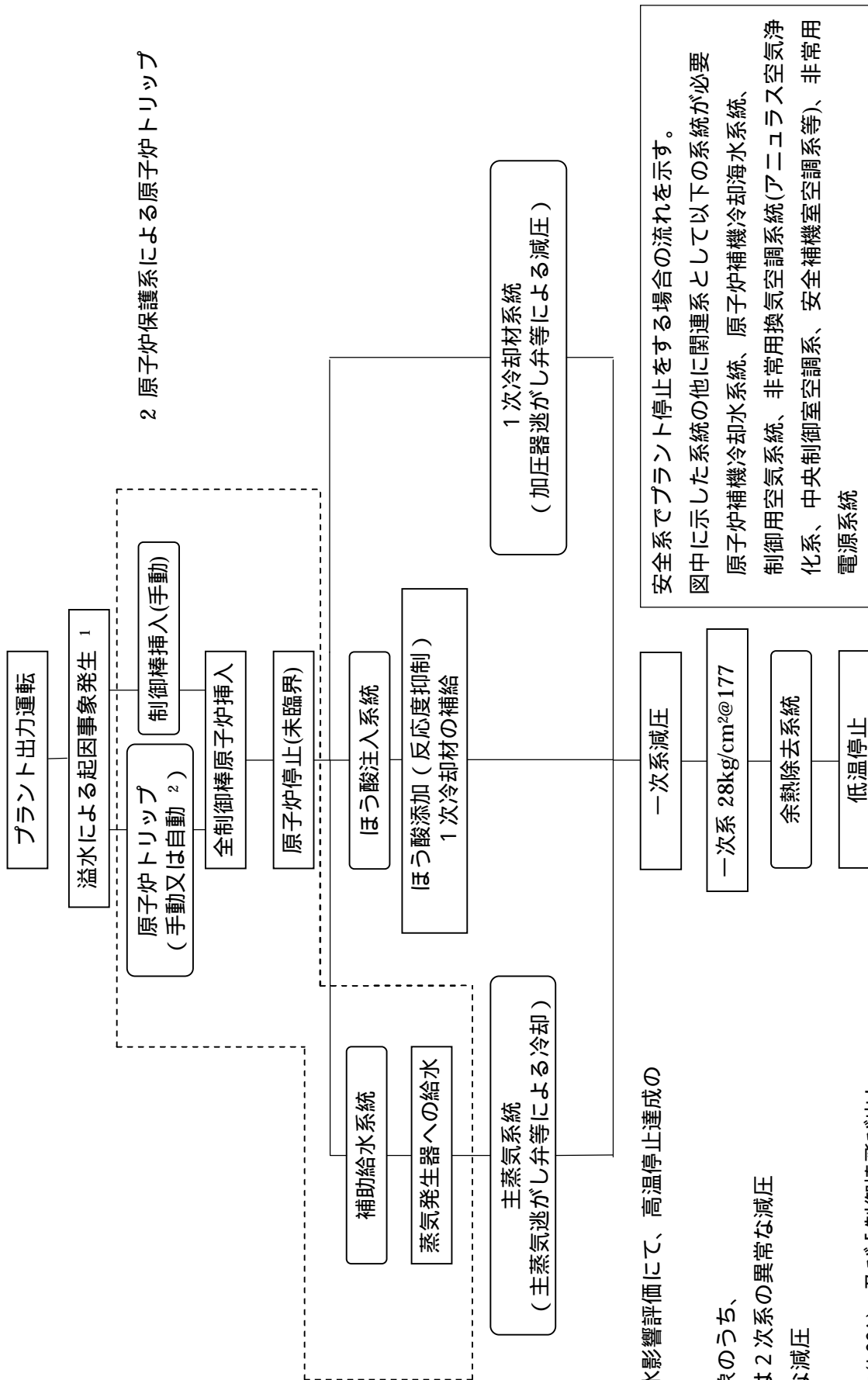


図-1 プラントの停止の流れ

1 破線の枠内は溢水影響評価にて、高温停止達成のために期待する範囲
 (溢水による起因事象のうち、蒸気負荷の急増又は2次系の異常な減圧
 1次冷却系の異常な減圧
 主蒸気管破断
 「原子炉冷却材喪失(LOCA)」及び「制御棒飛び出し」への対応としては、高圧注入系統等他設備が必要。)

使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統

1.はじめに

溢水の影響評価にあたっては、発電所内で発生した溢水に対して、使用済燃料ピットの冷却機能および遮蔽機能を維持するために必要となる系統を抽出する。

2.使用済燃料ピットの冷却・給水機能に必要な設備

使用済燃料ピットを保安規定で定めた水温(65 以下)に維持する必要があるため、使用済燃料ピット冷却系統を抽出した。

また、使用済燃料ピットの放射線を遮へいするための水量を維持する必要があるため、使用済燃料ピット給水系統を抽出した。

選定フローを図 -1 に示す。

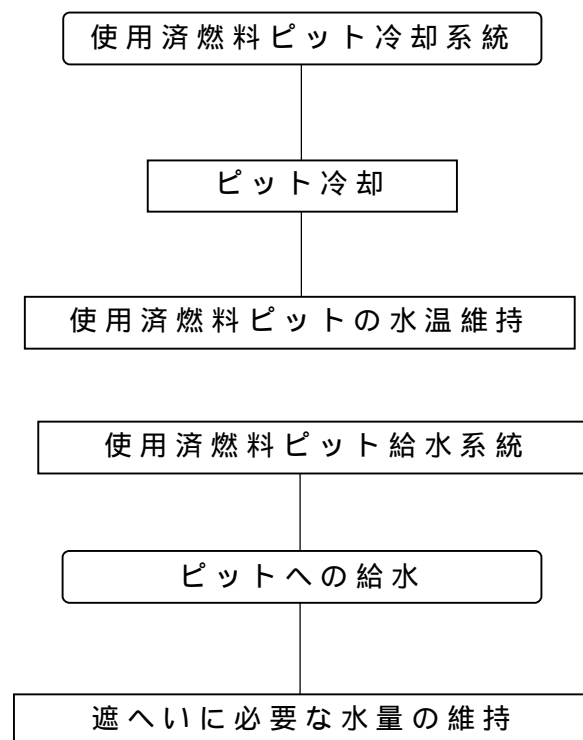


図 -1 使用済燃料ピットの冷却・給水機能を有する系統

3号機防護対象設備リスト(1/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|---------|---|---------|----------|-----------|
| 補助給水系統 | 3A,3B電動補助給水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.65m |
| 補助給水系統 | 3タービン動補助給水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.1m |
| 補助給水系統 | 3タービン動補助給水ポンプ起動弁A,B (3V MS-570A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.34.5m |
| 補助給水系統 | 3タービン動補助給水ポンプ起動弁A,B (3TDF-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.2m |
| 補助給水系統 | 3A,3B,3C,3D蒸気発生器補助給水流量 (3FT-3716,3726,3736,3746) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.0m |
| 補助給水系統 | 3復水ピット水位 (3LT-3760,3761) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.05m |
| 補助給水系統 | 3A,3B,3C,3D補助給水隔離弁 (3V-FW-574A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.88m |
| 補助給水系統 | 3復水ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | - |
| ほう酸注入系統 | 3A,3B充てんポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.74m |
| ほう酸注入系統 | 3C充てんポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.28m |
| ほう酸注入系統 | 3C充てんポンプ速度制御盤 (3CSC) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.97m |
| ほう酸注入系統 | 3C充てんポンプ速度制御補助盤 (3CSAC) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.2m |
| ほう酸注入系統 | 3A,3B,3C1,3C2充てんポンプ現場操作箱 (3LB-5,6,7,8) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| ほう酸注入系統 | 3緊急ほう酸注入ライン補給弁 (3V-CS-573) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.21.3m |
| ほう酸注入系統 | 3充てんポンプ入口燃料取替用水ピット側補給弁A,B (3LCV-121D,E) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| ほう酸注入系統 | 3A,3Bほう酸ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.62m |
| ほう酸注入系統 | 3A,3Bほう酸ポンプ現場操作箱 (3LB-9,10) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| ほう酸注入系統 | 3充てんライン止め弁 (3V-CS-155) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| ほう酸注入系統 | 3体積制御タンク出口第1止め弁 (3LCV-121B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |
| ほう酸注入系統 | 3体積制御タンク出口第2止め弁 (3LCV-121C) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |
| ほう酸注入系統 | 3充てんライン格納容器隔離弁 (3V-CS-157) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.21.6m |
| ほう酸注入系統 | 3封水冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 3A,3B封水注入フィルタ | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | - |
| ほう酸注入系統 | 3封水ストレナ | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 3体積制御タンク | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 3A,3Bほう酸タンク水位 (3LT-206,208) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.1m |
| ほう酸注入系統 | 3A,3Bほう酸タンク | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |

3号機防護対象設備リスト(2/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|------------|--|---------|----------|------------|
| ほう酸注入系統 | 3ほう酸フィルタ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| 余熱除去系統 | 3A,3B余熱除去ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.35m |
| 余熱除去系統 | 3A,3B余熱除去ポンプ現場操作箱 (3LB-14,15) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.7m |
| 余熱除去系統 | 3A,3B余熱除去ポンプ出口流量 (3FT-601,611) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.6m |
| 余熱除去系統 | 3A,3B余熱除去ポンプミニマムフローライン止め弁 (3FCV-601,611) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.8m |
| 余熱除去系統 | 3A,3B余熱除去冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気圧縮機制御盤 (3IAC-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気圧縮器 | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気供給母管圧力 (3PT-1800,1810) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.0m |
| 制御空気系統 | 3A・C,3B・C制御用空気母管連絡弁 (3V-IA-501A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気乾燥器 (3IAH1A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気だめ (3IAT1A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| 制御空気系統 | 3A,3B制御用空気主蒸気逃がし弁等供給ライン止め弁 (3V-IA-505A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A,3B余熱除去冷却器冷却水止め弁 (3V-CC-114A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.6m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3原子炉補機冷却水サージタンク | 原子炉周辺建屋 | EL.39.0m | - |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A,3B原子炉補機冷却水冷却器 | 制御建屋 | EL.7.0m | - |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A,3B,3C,3D原子炉補機冷却水ポンプ | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.47m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A,3B,3C,3D原子炉補機冷却水ポンプ現場操作箱 (3LB-20,21,22,23) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.9m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A・C,3B・C原子炉補機冷却水戻り母管連絡弁 (3V-CC-043A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.7.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A・C,3B・C原子炉補機冷却水供給母管連絡弁 (3V-CC-056A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.7.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 34廃棄物処理建屋冷却水供給ライン第1,2止め弁(3号機側) (34V-CC-600,601) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.8m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3原子炉補機冷却水サージタンク水位 (3LT-1200,1201) | 原子炉周辺建屋 | EL.39.0m | EL.40.1m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 3A,3B格納容器スプレイ冷却器冷却水止め弁 (3V-CC-178A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.7m |
| 電気盤 | 3主盤(原子炉盤) (3MCB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.964m |
| 電気盤 | 3原子炉補助盤 (3RAB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.985m |
| 電気盤 | 3原子炉安全保護計装盤 (3RPR- , , ,) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.828m |
| 電気盤 | 3A,3B,3C,3D原子炉安全保護ロジック盤 (3RPL-A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.958m |

3号機防護対象設備リスト(3/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-------------|--|--------------|----------|------------|
| 電気盤 | 3安全保護シーケンス盤AG1,AG2,BG1,BG2 (3SFS-A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.22.0m |
| 電気盤 | 3A1,3A2,3A3,3A4,3B1,3B2,3B3,3B4ソレノイド分電盤 (3SD-A1,A2,A3,A4,B1,B2,B3,B4) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 電気盤 | 3原子炉トリップ遮断器盤 (3RTS) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.162m |
| 電気盤 | 3A,3Bドロップ盤 (3BCP-A-DRP,3BCP-B-DRP) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 3A,3B直流き電盤 (3DMP-A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 3A,3B直流分電盤 (3DDP-A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.28m |
| 電気盤 | 3A,3B蓄電池 | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.602m |
| 電気盤 | 3A,3B充電器盤 (3BCP-A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 3A1,3A2,3B1,3B2メタルクラッドスイッチギア (3MC-A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.95m |
| 電気盤 | 3A1,3A2,3B1,3B2パワーセンタ (3PC-A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.862m |
| 電気盤 | 3A1,3A2,3B1,3B2原子炉コントロールセンタ (3RCC-A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.01m |
| 電気盤 | 3A,3B,3C,3D計装用電源盤(1)~(3) (3IBC-A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.9m |
| 電気盤 | 3A1,3A2,3B1,3B2,3C1,3C2,3D1,3D2計装用分電盤 (3IPD-A1,A2,B1,B2,C1,C2,D1,D2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 電気盤 | 3A,3B,3C,3D計装用交流電源切替盤 (3ISP-A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.13m |
| 電気盤 | 3所内盤 (3HSB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.9m |
| 電気盤 | 3AC,3BD計装用後備分電盤 (3IBD-AC,BD) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 3A,3B原子炉補機冷却水冷却器海水止め弁 (3V-SW-570A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.7m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 3海水ポンプ出口3A,3B,3C,3D海水ストレーナ (3S-SW-01A,B,C,D) | 海水ポンプ ピット | EL.1.0m | - |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 3A,3B,3C海水ポンプ | 海水ポンプ ピット | EL.2.5m | EL.4.65m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 3A,3B1,3B2,3C海水ポンプ現場操作箱 (3LB-26,27,28,29) | 海水ポンプ ピット | EL.2.5m | EL.6.5m |
| 非常用電源系統 | 3A,3Bディーゼル発電機コントロールセンタ (3GCC-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.24m |
| 非常用電源系統 | 3A,3Bディーゼル機関 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.3.9m |
| 非常用電源系統 | 3A,3Bディーゼル発電機 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.3.78m |
| 非常用電源系統 | 3A,3Bディーゼル発電機制御盤 (3DGC-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.095m |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイヘッダ冷却器出口格納容器隔離弁 (3V-CP-024A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイ冷却器 | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3よう素除去薬品タンク | 原子炉周辺建屋 | * | * |

3号機防護対象設備リスト(4/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|---------------------|--|---------|----------|-----------|
| C Vスプレイ系統 | 3格納容器圧力(広域) , , , (3PT 950,951,952,953) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイポンプ | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイポンプ現場操作箱 (3LB 18,19) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイポンプ燃料取替用水ピット側入口止め弁 (3V CP 001A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3B格納容器スプレイポンプ再循環サンブ側入口格納容器隔離弁 (3V CP 003A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3Bよう素除去薬品注入ライン第1止め弁 (3V CP 054A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 3A,3Bよう素除去薬品注入ライン第2止め弁 (3V CP 056A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| 高圧注入系統 | 3A,3B高圧注入ポンプ格納容器再循環サンブ側入口格納容器隔離弁 (3V SI 093A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B余熱除去ポンプRWSピット及び再循環サンブ側入口弁 (3V SI 096A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B高圧注入ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.3.85m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B高圧注入ポンプ現場操作箱 (3LB 12,13) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.7m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B高圧注入ポンプ燃料取替用水ピット側入口弁 (3V SI 002A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B低圧注入ポンプミニマムフローライン第1止め弁 (3V SI 015A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.6.6m | EL.7.1m |
| 高圧注入系統 | 3A,3B高圧注入ポンプミニマムフローライン第2止め弁 (3V SI 016A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.6.6m | EL.7.1m |
| 高圧注入系統 | 3A高圧注入流量(),3B高圧注入流量() (3FT 962,963) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.9m |
| 高圧注入系統 | 3燃料取替用水ピット水位 , , , (3LT 1400,1401,1402,1403) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.1m |
| 高圧注入系統/使用済燃料ピット給水系統 | 3燃料取替用水ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.18.5m | - |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 3A,3B使用済燃料ピット冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 3A,3B使用済燃料ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | - |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 3A,3B使用済燃料ピットポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.76m |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 3A,3B使用済燃料ピットポンプ現場操作箱 (3LB 24,25) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| 使用済燃料ピット給水系統 | 3A,3B燃料取替用水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.64m |
| 使用済燃料ピット給水系統 | 3A,3B燃料取替用水ポンプ現場操作箱 (3LB 33,34) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 3A,3B,3C,3D主蒸気逃がし弁 (3PCV 3610,3620,3630,3640) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.36.9m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | , , , ,3A,3B,3C,3D主蒸気圧力 (3PT 465,466,467,468,475,476,477,478,485,486,487,488, 495,496,497,498) | 原子炉周辺建屋 | EL.29.0m | EL.30.0m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 3A,3B,3C,3D主蒸気隔離弁 (3V MS 533A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.29.0m | EL.29.6m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 4A 1~5,4B 1~5,4C 1~5,4D 1~5主蒸気安全弁 (3V MS 526~530A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.38.1m |

3号機防護対象設備リスト(5/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-----|--|---------|----------|-----------|
| 空調系 | 3A,3B,3C,3D空調用冷凍機 | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.4m |
| 空調系 | 3A,3B,3C,3D空調用冷水ポンプ | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.58m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室空調ユニット冷水温度制御弁 (3TCV 2878,2879) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.4m |
| 空調系 | 34C,34D安全補機閉器室空調ユニット冷水温度制御弁 (34TCV 2800,2801) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.0m |
| 空調系 | 3空調用冷水Nヘッダ供給,戻りライン止め弁 (3V CH 032,033) | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.35m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室循環ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.26.4m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室空調ファン出口ダンパ (3D V/S 603A,B) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL29.9m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室循環ファン入口ダンパ (3D V/S 604A,B) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.5m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室循環流量調節ダンパ (3HCD 2885,2886) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.5m |
| 空調系 | 3中央制御室温度(1),(2) (3TS 2908,2909) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.22.7m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室空調ファン出口流量 (3FS 2910,2911) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.4m |
| 空調系 | 3安全系電気盤室給気止めダンパA,B (3D V/S 532,533) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.29.3m |
| 空調系 | 3安全系電気盤室排気止めダンパA,B (3D V/S 536,537) | 制御建屋 | EL.28.7m | EL.29.5m |
| 空調系 | 3A,3B安全補機閉器室温度 (3TS 2817,2818) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.17.2m |
| 空調系 | 3A,3B制御用空気圧縮機室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.24m |
| 空調系 | 3制御用空気圧縮機室温度(1),(2),(3),(4) (3TS 2771,2772,2773,2774) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.5m |
| 空調系 | 3制御用空気圧縮機室排気ダンパA,B (3D V/S 431A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.22.2m |
| 空調系 | 3A,3B電動補助給水ポンプ室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.26m |
| 空調系 | 3A,3B電動補助給水ポンプ室温度(1),(2) (3TS 2741,2742,2743,2744) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.4m |
| 空調系 | 3電動補助給水ポンプ室排気ダンパA,B (3D V/S 411A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.21.3m | EL.23.3m |
| 空調系 | 3A1,3A2,3B1,3B2ディーゼル発電機室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.34.25m |
| 空調系 | 3A,3Bディーゼル発電機室温度(1),(2),(3),(4) (3TS 2701,2702,2703,2704,2711,2712,2713,2714) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.3m |
| 空調系 | 3ディーゼル発電機室排気ダンパA1,A2,B1,B2 (3D V/S 401A,B,403A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.14.0m |
| 空調系 | 3A,3B安全補機室冷却ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.94m |
| 空調系 | 3A,3B安全補機室温度(1),(2) (3TS 2680,2681,2690,2691) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.3m |
| 空調系 | 3A,3Bほう酸ポンプ室空調ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.46m |

3号機防護対象設備リスト(6/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-----|---|---------|----------|------------|
| 空調系 | 3A,3Bほう酸ポンプ室空調ファン給気加熱コイル | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.4m |
| 空調系 | 3A,3Bほう酸ポンプ室温度調節計 (3TC-2601,2611) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.7m |
| 空調系 | 3ほう酸タンク室温度(1),(2),(3),(4) (3TS-2602,2603,2612,2613) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.3m |
| 空調系 | 3換気空調盤 (3VB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.97m |
| 空調系 | 3A1,3A2,3B1,3B2中央制御室外換気空調盤 (3VEP-A1,A2,B1,B2) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.375m |
| 空調系 | 34A,34B安全補機開閉器室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.88m |
| 空調系 | 34C,34D安全補機開閉器室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.88m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室循環ダンパ流量設定 (3HC-2885,2886) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.5m |
| 空調系 | 3A,3B安全補機室冷却ファン現場操作箱 (3LB-82,83) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 3A1・A2,3B1・B2ディーゼル発電機室給気ファン現場操作箱 (3LB-84,85) | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.34.8m |
| 空調系 | 3A,3B電動補助給水ポンプ室給気ファン現場操作箱 (3LB-86,87) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 3A,3B制御用空気圧縮機室給気ファン現場操作箱 (3LB-90,91) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室循環ファン現場操作箱 (3LB-95,96) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 3A,3B中央制御室空調ファン現場操作箱 (3LB-101,102) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 3A,3B,3C,3D空調用冷水ポンプ現場操作箱 (3LB-103,104,105,106) | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| 空調系 | 34A,34B,34C,34D安全補機開閉器室空調ファン現場操作箱 (34LB-13,14,20,21) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 3A,3Bほう酸ポンプ室空調ファン現場操作箱 (3LB-77,78) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |

注)「*」の設備は原子炉冷却材喪失(LOCA)時に必要な設備であるが、以下の理由から検討対象外とした。

- ・格納容器内に設置される設備は、LOCA時の格納容器内の状態(温度・圧力及び溢水影響)を考慮した耐環境仕様としている。
- ・格納容器外に設置される設備は、LOCA時の影響を受けない。

4号機防護対象設備リスト(1/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|---------|---|---------|----------|-----------|
| 補助給水系統 | 4復水ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | - |
| 補助給水系統 | 4A,4B電動補助給水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.65m |
| 補助給水系統 | 4タービン動補助給水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.1m |
| 補助給水系統 | 4タービン動補助給水ポンプ起動弁A,B (4V-MS-570A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.34.5m |
| 補助給水系統 | 4タービン動補助給水ポンプ起動盤A,B (4TDF-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.2m |
| 補助給水系統 | 4A,4B,4C,4D蒸気発生器補助給水流量 (4FT-3716,3726,3736,3746) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.1m |
| 補助給水系統 | 4復水ピット水位 (4LT-3760,3761) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.06m |
| 補助給水系統 | 4A,4B,4C,4D補助給水隔離弁 (4V-FW-574A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.93m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4B充てんポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.74m |
| ほう酸注入系統 | 4C充てんポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.28m |
| ほう酸注入系統 | 4C充てんポンプ速度制御盤 (4CSC) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.0m |
| ほう酸注入系統 | 4C充てんポンプ速度制御補助盤 (4CSAC) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.2m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4B,4C1,4C2充てんポンプ現場操作箱 (4LB-5,6,7,8) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| ほう酸注入系統 | 4封水冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 4A,4B封水注入フィルタ | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | - |
| ほう酸注入系統 | 4封水ストレーナ | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 4体積制御タンク | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| ほう酸注入系統 | 4緊急ほう酸注入ライン補給弁 (4V-CS-573) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.21.3m |
| ほう酸注入系統 | 4充てんポンプ入口燃料取替用水ピット側補給弁A,B (4LCV-121D,E) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4Bほう酸ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.62m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4Bほう酸ポンプ現場操作箱 (4LB-9,10) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4Bほう酸タンク水位 (4LT-206,208) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.1m |
| ほう酸注入系統 | 4A,4Bほう酸タンク | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| ほう酸注入系統 | 4ほう酸フィルタ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| ほう酸注入系統 | 4充てんライン止め弁 (4V-CS-155) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| ほう酸注入系統 | 4体積制御タンク出口第1止め弁 (4LCV-121B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |
| ほう酸注入系統 | 4体積制御タンク出口第2止め弁 (4LCV-121C) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |

4号機防護対象設備リスト(2/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|------------|---|---------|----------|------------|
| ほう酸注入系統 | 4充てんライン格納容器隔離弁 (4V-CS-157) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.21.6m |
| 余熱除去系統 | 4A,4B余熱除去ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.35m |
| 余熱除去系統 | 4A,4B余熱除去冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| 余熱除去系統 | 4A,4B余熱除去ポンプ現場操作箱 (4LB-14,15) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.7m |
| 余熱除去系統 | 4A,4B余熱除去ポンプ出口流量 (4FT-601,611) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.5m |
| 余熱除去系統 | 4A,4B余熱除去ポンプミニマムフローライン止め弁 (4FCV-601,611) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.8m |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気圧縮機制御盤 (4IAC-A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気圧縮機 | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.69m |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気乾燥器 (4IAH1A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気だめ (4IAT1A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | - |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気供給母管圧力 (4PT-1800,1810) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.2m |
| 制御空気系統 | 4A・C,4B・C制御用空気母管連絡弁 (4V-1A-501A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 制御空気系統 | 4A,4B制御用空気主蒸気逃がし弁等供給ライン止め弁 (4V-1A-505A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.6m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A,4B,4C,4D原子炉補機冷却水ポンプ | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.47m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A,4B,4C,4D原子炉補機冷却水ポンプ現場操作箱 (4LB-20,21,22,23) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.9m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4原子炉補機冷却水サージタンク | 原子炉周辺建屋 | EL.42.0m | - |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A,4B原子炉補機冷却水冷却器 | 制御建屋 | EL.7.0m | - |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A・C,4B・C原子炉補機冷却水戻り母管連絡弁 (4V-CC-043A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.7.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A・C,4B・C原子炉補機冷却水供給母管連絡弁 (4V-CC-056A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.7.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 34廃棄物処理建屋冷却水供給ライン第1,2止め弁(4号機側) (4V-CC-605,606) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A,4B余熱除去冷却器冷却水止め弁 (4V-CC-114A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.6m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4A,4B格納容器スプレイ冷却器冷却水止め弁 (4V-CC-178A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.7m |
| 原子炉補機冷却水系統 | 4原子炉補機冷却水サージタンク水位 , (4LT-1200,1201) | 原子炉周辺建屋 | EL.39.0m | EL.40.0m |
| 電気盤 | 4主盤(原子炉盤) (4MCB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.964m |
| 電気盤 | 4原子炉補助盤 (4RAB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.985m |
| 電気盤 | 4原子炉安全保護計装盤 , , , (4RPR - , , ,) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.828m |
| 電気盤 | 4A,4B,4C,4D原子炉安全保護ロジック盤 (4RPL-A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.958m |

4号機防護対象設備リスト(3/6)

| 系統 | 設 備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-------------|---|--------------|----------|------------|
| 電気盤 | 4安全保護シーケンス盤AG1,AG2,BG1,BG2 (4SFS -A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.97m |
| 電気盤 | 4A1,4A2,4A3,4A4,4B1,4B2,4B3,4B4ソレノイド分電盤 (4SD -A1,A2,A3,A4,B1,B2,B3,B4) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 電気盤 | 4原子炉トリップ遮断器盤 (4RTS) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.162m |
| 電気盤 | 4A,4Bドロップ盤 (4BCP -A -DRP,4BCP -B -DRP) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 4A,4B直流き電盤 (4DMP -A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 4A,4B直流分電盤 (4DDP -A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.28m |
| 電気盤 | 4A,4B蓄電池 | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.602m |
| 電気盤 | 4A,4B充電器盤 (4BCP -A,B) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.92m |
| 電気盤 | 4A1,4A2,4B1,4B2メタルクラッドスイッチギア (4MC -A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.95m |
| 電気盤 | 4A1,4A2,4B1,4B2パワーセンタ (4PC -A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.862m |
| 電気盤 | 4A1,4A2,4B1,4B2原子炉コントロールセンタ (4RCC -A1,A2,B1,B2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.01m |
| 電気盤 | 4A,4B,4C,4D計装用電源盤(1)~(3) (4IBC -A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.15.9m |
| 電気盤 | 4A1,4A2,4B1,4B2,4C1,4C2,4D1,4D2計装用分電盤 (4IPD -A1,A2,B1,B2,C1,C2,D1,D2) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 電気盤 | 4A,4B,4C,4D計装用交流電源切替盤 (4ISP -A,B,C,D) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.13m |
| 電気盤 | 4所内盤 (4HSB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.9m |
| 電気盤 | 4AC,4BD計装用後備分電盤 (4IBD -AC,BD) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.16.09m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 4A,4B原子炉補機冷却水冷却器海水止め弁 (4V -SW -570A,B) | 制御建屋 | EL.7.0m | EL.9.7m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 4A,4B,4C海水ポンプ | 海水ポンプ ピット | EL.2.5m | EL.4.65m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 4A,4B1,4B2,4C海水ポンプ現場操作箱 (4LB -26,27,28,29) | 海水ポンプ ピット | EL.2.5m | EL.6.4m |
| 原子炉補機冷却海水系統 | 4海水ポンプ出口4A,4B,4C,4D海水ストレーナ (4S -SW -01A,B,C,D) | 海水ポンプ ピット | EL.1.0m | - |
| 非常用電源系統 | 4A,4Bディーゼル発電機コントロールセンタ (4GCC -A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.24m |
| 非常用電源系統 | 4A,4Bディーゼル機関 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.3.9m |
| 非常用電源系統 | 4A,4Bディーゼル発電機 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.3.78m |
| 非常用電源系統 | 4A,4Bディーゼル発電機制御盤 (4DGC -A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.095m |
| C Vスプレイ系統 | 4格納容器圧力(広域) , , , (4PT -950,951,952,953) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイポンプ | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイポンプ現場操作箱 (4LB -18,19) | 原子炉周辺建屋 | * | * |

4号機防護対象設備リスト(4/6)

| 系統 | 設備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|---------------------|--|---------|----------|-----------|
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイ冷却器 | 原子炉周辺建屋 | * | - |
| C Vスプレイ系統 | 4よう素除去薬品タンク | 原子炉周辺建屋 | * | - |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイポンプ燃料取替用水ピット側入口止め弁 (4V-CP-001A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイポンプ再循環サブ側入口格納容器隔離弁 (4V-CP-003A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4B格納容器スプレイヘッド冷却器出口格納容器隔離弁 (4V-CP-024A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4Bよう素除去薬品注入ライン第1止め弁 (4V-CP-054A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| C Vスプレイ系統 | 4A,4Bよう素除去薬品注入ライン第2止め弁 (4V-CP-056A,B) | 原子炉周辺建屋 | * | * |
| 高圧注入系統 | 4A,4B高圧注入ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.3.85m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B高圧注入ポンプ現場操作箱 (4LB-12,13) | 原子炉周辺建屋 | EL.3.5m | EL.4.7m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B高圧注入ポンプ燃料取替用水ピット側入口弁 (4V-SI-002A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B低圧注入ポンプミニマムフローライン第1止め弁 (4V-SI-015A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.6.6m | EL.7.1m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B高圧注入ポンプミニマムフローライン第2止め弁 (4V-SI-016A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.6.6m | EL.7.1m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B高圧注入ポンプ格納容器再循環サブ側入口格納容器隔離弁 (4V-SI-093A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 4A,4B熱除去ポンプRWSピット及び再循環サブ側入口弁 (弁4V-SI-096A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 高圧注入系統 | 4燃料取替用水ピット水位 (4LT-1400,1401,1402,1403) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.1m |
| 高圧注入系統 | 4A高圧注入流量(),4B高圧注入流量() (4FT-962,963) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.9m |
| 高圧注入系統/使用済燃料ピット給水系統 | 4燃料取替用水ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.18.5m | - |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 4A,4B使用済燃料ピット冷却器 | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | - |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 4A,4B使用済燃料ピットポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.79m |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 4A,4B使用済燃料ピットポンプ現場操作箱 (4LB-24,25) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| 使用済燃料ピット冷却系統 | 4A,4B使用済燃料ピット | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | - |
| 使用済燃料ピット給水系統 | 4A,4B燃料取替用水ポンプ | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.65m |
| 使用済燃料ピット給水系統 | 4A,4B燃料取替用水ポンプ現場操作箱 (4LB-33,34) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 4A,4B,4C,4D主蒸気逃がし弁 (4PCV-3610,3620,3630,3640) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.36.9m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 4PT-465,466,467,468,475,476,477,478,485,486,487,488, 495,496,497,498) | 原子炉周辺建屋 | EL.29.0m | EL.30.0m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 4A,4B,4C,4D主蒸気隔離弁 (4V-MS-533A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.29.0m | EL.29.6m |
| 主蒸気系統 (主蒸気逃がし弁等) | 4A-1~5,4B-1~5,4C-1~5,4D-1~5主蒸気安全弁 (4V-MS-526~530A,B,C,D) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.38.0m |

4号機防護対象設備リスト(5/6)

| 系統 | 設 備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-----|---|---------|----------|------------|
| 空調系 | 4換気空調盤 (4VB) | 制御建屋 | EL.21.8m | EL.21.97m |
| 空調系 | 4A1,4A2,4B1,4B2中央制御室外換気空調盤 (4VEP-A1,A2,B1,B2) | 原子炉周辺建屋 | EL.26.0m | EL.26.375m |
| 空調系 | 4A,4B,4C,4D空調用冷凍機 | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.4m |
| 空調系 | 4A,4B,4C,4D空調用冷水ポンプ | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.56m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室空調ユニット冷水温度制御弁 (4TCV-2878,2879) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.0m |
| 空調系 | 34A,34B安全補機閉器室空調ユニット冷水温度制御弁 (34TCV-2798,2799) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.0m |
| 空調系 | 4空調用冷水Nヘッダ供給,戻りライン止め弁 (4V-CH-032,033) | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.10.8m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室循環ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.26.2m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室空調ファン出口ダンパ (4D-VS-603A,B) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.30.0m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室循環ファン入口ダンパ (4D-VS-604A,B) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.6m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室循環流量調節ダンパ (4HCD-2885,2886) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.4m |
| 空調系 | 4中央制御室温度(1),(2) (4TS-2908,2909) | 原子炉周辺建屋 | EL.21.8m | EL.22.7m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室空調ファン出口流量 (4FS-2910,2911) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.4m |
| 空調系 | 4安全系電気盤室給気止めダンパA,B (4D-VS-532,533) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.29.3m |
| 空調系 | 4安全系電気盤室排気止めダンパA,B (4D-VS-536,537) | 制御建屋 | EL.28.7m | EL.29.5m |
| 空調系 | 4A,4B安全補機閉器室温度 (4TS-2817,2818) | 制御建屋 | EL.15.8m | EL.17.1m |
| 空調系 | 4A,4B制御用空気圧縮機室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.4m |
| 空調系 | 4制御用空気圧縮機室排気ダンパA,B (4D-VS-431A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.21.5m |
| 空調系 | 4A,4B電動補助給水ポンプ室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.26m |
| 空調系 | 4電動補助給水ポンプ室排気ダンパA,B (4D-VS-411A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.21.3m | EL.23.7m |
| 空調系 | 4A1,4A2,4B1,4B2ディーゼル発電機室給気ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.33.9m |
| 空調系 | 4ディーゼル発電機室排気ダンパA1,A2,B1,B2 (4D-VS-401A,B,403A,B) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.14.0m |
| 空調系 | 4A,4B安全補機室冷却ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.17.9m |
| 空調系 | 4A,4Bほう酸ポンプ室空調ファン | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.4m |
| 空調系 | 4A,4Bほう酸ポンプ室空調ファン給気加熱コイル | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.4m |
| 空調系 | 4A,4Bほう酸ポンプ室温度調節計 (4TC-2601,2611) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.10.7m |

4号機防護対象設備リスト(6/6)

| 系統 | 設 備 | 設置建屋 | 設置高さ | 機能喪失高さ |
|-----|--|---------|----------|----------|
| 空調系 | 34A,34B安全補機開閉器室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.8m |
| 空調系 | 34C,34D安全補機開閉器室空調ファン | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.8m |
| 空調系 | 4A,4B安全補機室冷却ファン現場操作箱 (4LB-82,83) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 4A1・A2,4B1・B2ディーゼル発電機室給気ファン現場操作箱 (4LB-84,85) | 原子炉周辺建屋 | EL.33.6m | EL.34.8m |
| 空調系 | 4A,4B電動補助給水ポンプ室給気ファン現場操作箱 (4LB-86,87) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 4A,4B制御用空気圧縮機室給気ファン現場操作箱 (4LB-90,91) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.3m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室循環ファン現場操作箱 (4LB-95,96) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室空調ファン現場操作箱 (4LB-101,102) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 4A,4B,4C,4D空調用冷水ポンプ現場操作箱 (4LB-103,104,105,106) | 制御建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| 空調系 | 34A,34B,34C,34D安全補機開閉器室空調ファン現場操作箱 (34LB-13,14,20,21) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.3m |
| 空調系 | 4A,4Bほう酸ポンプ室空調ファン現場操作箱 (4LB-77,78) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.2m |
| 空調系 | 4A,4B中央制御室循環ダンパ流量設定 (4HC-2885,2886) | 制御建屋 | EL.26.1m | EL.27.8m |
| 空調系 | 4制御用空気圧縮機室温度(1),(2),(3),(4) (4TS-2771,2772,2773,2774) | 原子炉周辺建屋 | EL.17.1m | EL.18.4m |
| 空調系 | 4A,4B安全補機室温度(1),(2) (4TS-2680,2681,2690,2691) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.3m |
| 空調系 | 4A,4B電動補助給水ポンプ室温度(1),(2) (4TS-2741,2742,2743,2744) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.4m |
| 空調系 | 4A,4Bディーゼル発電機室温度(1),(2),(3),(4) (4TS-2701,2702,2703,2704,2711,2712,2713,2714) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.4m |
| 空調系 | 4ほう酸タンク室温度(1),(2),(3),(4) (4TS-2602,2603,2612,2613) | 原子炉周辺建屋 | EL.10.0m | EL.11.4m |

注)「*」の設備は原子炉冷却材喪失(LOCA)時に必要な設備であるが、以下の理由から検討対象外とした。
 ・格納容器内に設置される設備は、LOCA時の格納容器内の状態(温度・圧力及び溢水影響)を考慮した耐環境仕様としている。
 ・格納容器外に設置される設備は、LOCA時の影響を受けない。

溢水源の抽出

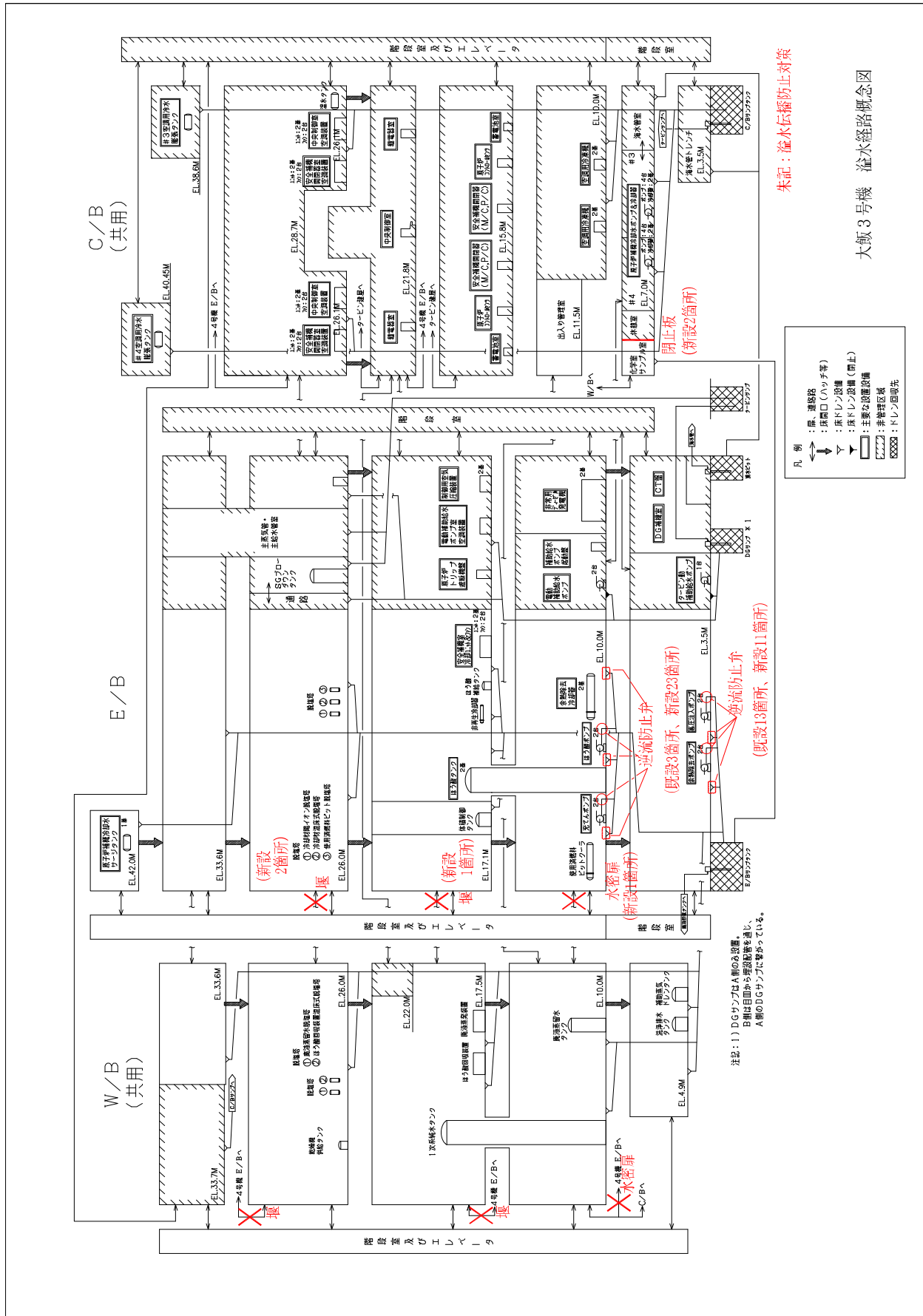
原子炉周辺建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋における溢水源となりうる機器は以下のとおり

| 建屋 | フロア | 機器 |
|--------------------|-------------|----------------|
| 3号機 原子炉 周辺建屋 | EL.42.0m | 原子炉補機冷却水サージタンク |
| | | 配管 |
| | EL.39.0m | 樹脂タンク |
| | | 配管 |
| | EL.33.6m | 使用済燃料ピット |
| | | 配管 |
| | EL.26.0m | 冷却材混床式脱塩塔 |
| | | 冷却材陽イオン脱塩塔 |
| | | 冷却材脱塩塔入口フィルタ |
| | | 冷却材フィルタ |
| | | 封水注入フィルタ |
| | | 余剰抽出冷却器 |
| | | 使用済燃料ピット脱塩塔 |
| | | 使用済燃料ピットフィルタ |
| | | ブローダウータンク |
| | | 格納容器冷却ユニット |
| | | 復水ピット |
| | EL.18.5m | 配管 |
| | | 燃料取替用水ピット |
| | EL.17.1m | 封水冷却器 |
| | | 体積制御タンク |
| | | 1次系薬品タンク |
| | | ほう酸補給タンク |
| | | 非再生冷却器 |
| | | 試料冷却器 |
| | | ブローダウン試料冷却器 |
| | | 安全補機室冷却ユニット |
| よう素除去薬品タンク | | |
| pH調整剤タンク | | |
| 配管 | | |
| EL.10.0m | 使用済燃料ピット冷却器 | |
| | ほう酸タンク | |
| | 格納容器スプレイ冷却器 | |
| | 余熱除去冷却器 | |
| EL.3.5m | 配管 | |
| | 清水冷却器 | |
| | 潤滑油冷却器 | |
| | | 配管 |

| 建屋 | フロア | 機器 |
|--------------------|----------|----------------|
| 4号機 原子炉 周辺建屋 | EL.42.0m | 原子炉補機冷却水サージタンク |
| | | 配管 |
| | EL.39.0m | 樹脂タンク |
| | | 配管 |
| | EL.33.6m | 使用済燃料ピット |
| | | 配管 |
| | EL.26.0m | 冷却材混床式脱塩塔 |
| | | 冷却材陽イオン脱塩塔 |
| | | 冷却材脱塩塔入口フィルタ |
| | | 冷却材フィルタ |
| | | 封水注入フィルタ |
| | | 余剰抽出冷却器 |
| | | 使用済燃料ピット脱塩塔 |
| | | 使用済燃料ピットフィルタ |
| | | ブローダウンタンク |
| | | 格納容器冷却ユニット |
| | | 復水ピット |
| | EL.18.5m | 配管 |
| | | 燃料取替用水ピット |
| | EL.17.1m | 配管 |
| | | 封水冷却器 |
| | | 体積制御タンク |
| | | 1次系薬品タンク |
| | | ほう酸補給タンク |
| | | 非再生冷却器 |
| | | 試料冷却器 |
| | | ブローダウン試料冷却器 |
| | | 安全補機室冷却ユニット |
| | | よう素除去薬品タンク |
| | | pH調整剤タンク |
| | EL.10.0m | 配管 |
| | | 使用済燃料ピット冷却器 |
| ほう酸タンク | | |
| 格納容器スプレイ冷却器 | | |
| 余熱除去冷却器 | | |
| EL.3.5m | 配管 | |
| | 清水冷却器 | |
| | 潤滑油冷却器 | |

| 建屋 | フロア | 機器 |
|--------------|------------------------|-------------------------|
| 制御建屋 | EL.38.6m | 空調用冷水膨張タンク |
| | | 配管 |
| | EL.26.1m | 安全補機開閉器室空調ユニット |
| | | 中央制御室空調ユニット |
| | | 放射線管理室冷却ユニット |
| | | 出入管理室温水タンク |
| | | 配管 |
| | EL.10.0m | 空調用冷凍機 |
| | | 原子炉補機冷却水冷却器 |
| 配管 | | |
| 廃棄物 処理建屋* | EL.26.0m | ほう酸回収装置混床式脱塩塔 |
| | | ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ |
| | | 廃液蒸留水脱塩塔 |
| | | 廃液フィルタ |
| | | 格納容器雰囲気ガス試料冷却器 |
| | | ガス圧縮装置 |
| | | 除湿装置 |
| | | 配管 |
| | EL.17.5m | 廃液蒸発装置中和剤注入装置か性ソーダ計量タンク |
| | | 廃液蒸発装置中和剤注入装置 |
| | | ほう酸回収装置 |
| | | 廃液蒸発装置 |
| | | 乾燥造粒装置 |
| | 配管 | |
| | EL.10.0m | 冷却材貯蔵タンク |
| | | 廃液貯蔵タンク |
| | | 廃液蒸留水タンク |
| | | 膜分離活性汚泥処理装置 |
| | | 使用済樹脂貯蔵タンク |
| | | 1次系純水タンク |
| | | 洗たく設備 |
| 雑固体焼却設備 | | |
| 配管 | | |
| EL.4.9m | 洗浄排水タンク | |
| | 強酸ドレンタンク | |
| | 強酸ドレンタンク中和装置か性ソーダ計量タンク | |
| | 補助蒸気ドレンタンク | |
| | 補助蒸気復水モータ冷却器 | |
| 配管 | | |

* 廃棄物処理建屋から原子炉周辺建屋への流入経路については、堰や水密扉、床ドレンの逆流防止弁を設置していることから、溢水源として評価対象としない



朱記：溢水伝播防止対策

大飯3号機 溢水経路概念図

- 凡 例
- ◀▶ : 扉、連絡路
 - ▽ : 床開口 (ハッチ等)
 - ▽ : 床ドレン設備
 - ▽ : 床ドレン設備 (閉止)
 - : 主要な設備設備
 - : 非管理区画
 - : ドレン回収先

注記：1) DCGタンクは人用の設備
B槽は目印から消防設備を指し、
A槽のDCGタンクに繋がっている。

溢水影響評価において期待することができる設備

| 号機 | 設置場所 | 設置 高さ | 対象 | | 新設 既設 | 箇所数 | |
|------------|-----------------------|--------------|-----------|----------|----------|-----|----|
| 3号機 | 原子炉 周辺建屋 (管理区域) | EL. 3.5m | 逆流 防止弁 | 機器ドレン逆止弁 | 既設 | 2 | |
| | | | | | 新設 | 10 | |
| | | | | ベント逆止弁 | 新設 | 1 | |
| | | | | 目皿逆止弁 | 既設 | 11 | |
| | | | サンプタンク | | | 既設 | 1 |
| | | EL. 10m | 逆流 防止弁 | 機器ドレン逆止弁 | 既設 | 3 | |
| | | | | | 新設 | 9 | |
| | | | | 目皿逆止弁 | 新設 | 14 | |
| | | | 水密扉 | | | 新設 | 1 |
| | | EL. 17.1m | 堰 | | | 新設 | 1 |
| EL. 26m | 堰 | | | 新設 | 2 | | |
| 4号機 | 原子炉 周辺建屋 (管理区域) | EL. 3.5m | 逆流 防止弁 | 機器ドレン逆止弁 | 既設 | 2 | |
| | | | | | 目皿逆止弁 | 既設 | 11 |
| | | | | サンプタンク | | | 既設 |
| | | EL. 10m | 水密扉 | | | 新設 | 1 |
| | | EL. 17.1m | 堰 | | | 新設 | 1 |
| | | EL. 22m | 堰 | | | 新設 | 1 |
| EL. 26m | 堰 | | | 新設 | 2 | | |
| 3,4号機 | 制御建屋 (管理区域) | EL. 7m | 閉止板 | | 新設 | 2 | |

想定破損等により生じる溢水影響評価

1.はじめに

本添付は、溢水の影響を評価するために、大飯3, 4号機における想定破損による内部溢水について検討を行い、溢水による影響評価結果を取りまとめたものである。

2.配管の破損想定について

2.1 大飯3, 4号機における配管の破損想定の考え方

大飯3, 4号機については、発電所の設計段階において、配管破断防護設計の考え方にに基づき、高エネルギー配管については0.8Sa以下、低エネルギー配管については0.4Sa以下と発生応力が低くなるように配慮したルート及びサポート設計が行われている。さらに、破損を想定した場合に特にエネルギーの高い主蒸気、主給水、補助給水、蒸気発生器ブローダウンなどの主要な高エネルギー配管は、格納容器貫通部からタービン建屋に至る配管を主蒸気・主給水管室（以下、MS室）等に配置し、万一の破断の影響が安全機能を有する設備に及ばないように、図1に示すような区画分離した配置設計としている。

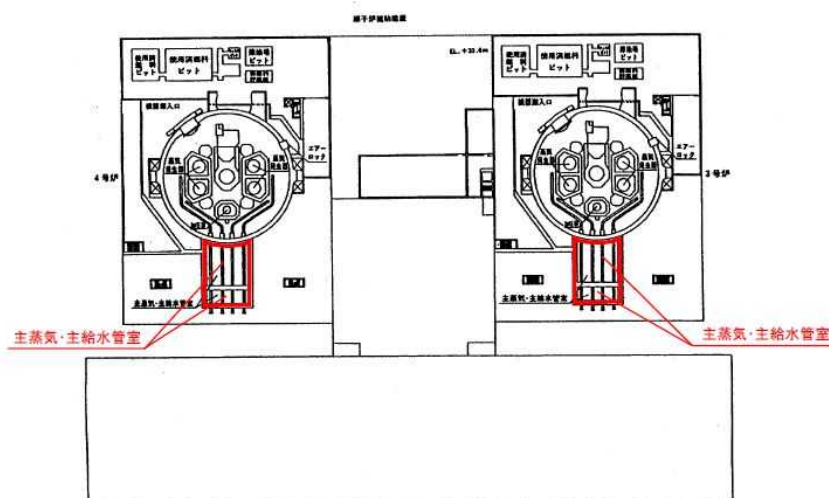


図1：主蒸気・主給水管室の区画区分のイメージ図

供用期間中は、機器・弁等の開放点検時の配管内部の目視点検や外観目視検査、日常点検（巡視点検等）などにより配管に有意な劣化がないことを確認するとともに、クラス 1～3 配管については供用期間中検査において非破壊試験・漏えい試験等により有意な欠陥がないことを確認している。また、過去の運転経験等に基づき経年劣化事象が想定される配管については、個別に点検・評価・予防保全を実施している。

さらに、配管破損の想定にあたっては、内部流体を含む配管に欠陥などが存在し、それが運転期間中に進展するようなことになったとしても、材料の靱性が高いか、または作用応力が低ければ破断することなしに適切な対応処置を講じることができるものと考えられる。

以上のように、大飯 3 , 4 号機における配管破損に対する防護設計や供用期間中の保全を踏まえると、破断の可能性は極めて低いものと考えられる。

2.2 配管破損を考慮する対象配管の選定

大飯 3 , 4 号機における溢水の影響を評価するために想定される高エネルギー配管を抽出した結果、表 1 の系統配管となる。また、対象配管の使用条件を別紙 1 に示す。

表 1 : 配管破損を考慮する対象配管

| 系統名 | 溢水評価における対象範囲 | 配置 |
|----------|-----------------------|------|
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 封水注入 | E/B |
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 再生熱交換器管側入口 | E/B |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器出口 | E/B |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器入口 | E/B |
| 主蒸気系統 | 主蒸気管 | MS 室 |

| | | |
|---------------|---------------------------|------|
| 主蒸気系統 | 主蒸気逃がし弁 | MS 室 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気隔離弁バイパス | MS 室 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気ドレン | MS 室 |
| 主蒸気系統 | タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気 | MS 室 |
| 主給水系統 | 主給水管 | MS 室 |
| 主給水系統 | 主給水バイパス | MS 室 |
| 蒸気発生器ブローダウン系統 | 蒸気発生器ブローダウン (ペネ～アングル弁) | BD 室 |
| 補助給水系統 | 補助給水 | MS 室 |
| 補助蒸気系統 | 補助蒸気 | C/B |

E/B：原子炉周辺建屋 MS 室：主蒸気・主給水管室

BD 室：ブローダウン室 C/B：制御建屋

なお、低エネルギー配管については、別紙 2 に示すとおり、溢水源として想定する対象がないことを確認しているため、以降、高エネルギー配管について検討を行った。

2.3 高エネルギー配管の応力評価結果

抽出した高エネルギー配管に対して応力評価を実施した。各系統配管の応力解析結果を表 2 に示す。全ての対象系統配管において、 $0.8S_a$ を下回っており、配管破損に対する健全性は確保されていることを確認した。

表 2 : 高エネルギー配管の配管破損評価結果

| 配管名 | 一次 + 二次応力 (MPa) | | | | | 上段 : 許容値 下段 : 参考値 |
|-------------------------------------|-----------------|------|-------|-------|-------|--------------------------|
| | 自重 | 内圧 | 熱膨張 | 1/3Sd | 合計 | 上段 : 0.8Sa 下段 : 0.4Sa |
| 充てんポンプ出口 / 封水注入 ² | 14.9 | 42.4 | 0 | 15.7 | 73.0 | 269 134 |
| 充てんポンプ出口 / 再生熱交換器管側入口 ² | 14.9 | 42.4 | 0 | 15.7 | 73.0 | 269 134 |
| 抽出ライン / 非再生冷却器出口 ² | 19.5 | 25.2 | 100.0 | 79.9 | 224.6 | 269 134 |
| 抽出ライン / 非再生冷却器入口 ² | 23.7 | 25.2 | 100.0 | 58.2 | 207.1 | 256 128 |
| 主蒸気管 ¹ | | | | | 85.0 | 221 110 |
| 主蒸気逃がし弁 ¹ | | | | | 93.0 | 200 100 |
| 主蒸気隔離弁バイパス ² | 10.1 | 27.2 | 0 | 63.3 | 100.6 | 200 100 |
| 主蒸気ドレン ² | 12.1 | 31.7 | 100.0 | 13.4 | 157.2 | 200 100 |
| タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気 ¹ | | | | | 196.0 | 200 100 |
| 主給水管 ¹ | | | | | 58.0 | 259 129 |
| 主給水バイパス ² | 12.6 | 34.3 | 0 | 19.4 | 66.3 | 259 129 |
| 蒸気発生器ブローダウン (ペネ～アングル弁) ² | 23.5 | 33.1 | 100.0 | 42.5 | 199.1 | 200 100 |
| 補助給水 ² | 13.1 | 24.0 | 100.0 | 21.3 | 158.4 | 200 100 |
| 補助蒸気 ² | 7.5 | 6.1 | 100.0 | 8.3 | 121.9 | 200 100 |

1 : 3次元はりモデルによる応力解析により算出。参考として主蒸気、主給水管の応力解析結果例を別紙3に示す。

2 : 定ピッチスパン法による設計をしており、自重は標準支持間隔の配管重量による発生応力を算出、熱膨張は設計上 100MPa 以下になるようサポート設計をしていることから、この制限値を発生応力としている。地震荷重は、標準支持間隔に対する 1/3Sd 地震動の発生応力を算出。これら算出応力に規格計算で求めた内圧による応力を加えて発生応力を算出。

2.4 配管破損に対する評価結果

対象となる各系統配管において応力評価を実施した結果、配管破損を想定する必要はなく、大飯3，4号機においては、配管の健全性は確保されていることから、溢水の影響は生じないことを確認した。

3. 溢水影響評価

大飯3，4号機については、配管破損に対する健全性は確保されているものの、万一、配管破損が発生した場合を想定し、より安全性を高めることを目的として溢水影響評価を実施した。溢水影響評価は、配管破損が生じた場合の没水による影響、被水による影響、蒸気による影響について評価を行うこととなるが、それぞれ機器への影響の与え方が異なること及び大飯3，4号機のプラント設計を踏まえ、以下の通り各項目の影響評価を行う。

- (1) 没水による影響評価を行う場合は、想定破損による溢水経路図を作成し、各フロアでの機能喪失高さの最も低い防護対象設備を抽出して影響の有無を評価する。
- (2) 被水による影響評価を行う場合は、想定破損による溢水によりプラント停止に係る安全機能を有する機器が2系統同時に喪失しないことを確認するが、大飯3，4号機のプラント設計では分離配置していることから影響を受けにくいいため、この特性を踏まえて、共通要因故障の観点から評価を実施する。
- (3) 蒸気による影響評価を行う場合については、万一の破断の影響が安全機能を有する設備に及ばないよう区画分離したMS室等にある系統以外の運転温度が95℃以上となる高温配管から破損の影響を考慮することとし、具体的には、抽出ライン（非再生冷却器入口側）、補助蒸気系統配管について評価を実施する。

それぞれの影響評価項目で抽出された対象系統に対して、応力評

価結果に基づき破損想定を行なうこととなるが、配管の応力評価は合理的に設計されていることもあり、詳細な応力評価により、発生応力は低減されるものと考えられるが、今回の評価では、これまでの配管の応力評価結果を流用し、影響評価を行うものである。

3.1 没水による影響評価

抽出された対象系統について、一般部の貫通クラック想定に比べて溢水量が保守的となるターミナルエンドにおける破断を想定した。各系統配管における破損想定位置を表3に示す。

表3：没水評価における破損想定位置について

| 系統名 | 溢水評価における対象範囲 | 没水評価における破損想定位置 |
|----------|-----------------------|---|
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 封水注入 | 封水フィルタ室ターミナルイント [*] (EL.26m) |
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 再生熱交換器管側入口 | 充てんポンプ室ターミナルイント [*] (EL.10m) |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器出口 | 非再生冷却器室ターミナルイント [*] (EL.17.1m) |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器入口 | 非再生冷却器室ターミナルイント [*] (EL.17.1m) |
| 主蒸気系統 | 主蒸気管 | なし |
| 主蒸気系統 | 主蒸気逃がし弁 | なし |
| 主蒸気系統 | 主蒸気隔離弁バイパス | なし |
| 主蒸気系統 | 主蒸気ドレン | MS室ターミナルイント [*] (EL.26.1m) |
| 主蒸気系統 | タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気 | MS室ターミナルイント [*] (EL.26.1m) |
| 主給水系統 | 主給水管 | MS室ターミナルイント [*] (EL.21.3m) |

| | | |
|---------------|-----------------------|---------------------------|
| 主給水系統 | 主給水バイパス | なし |
| 蒸気発生器ブローダウン系統 | 蒸気発生器ブローダウン（ペネ～アングル弁） | なし |
| 補助給水系統 | 補助給水 | なし |
| 補助蒸気系統 | 補助蒸気 | C/Bターミナルイント (EL.26.0m) |

表3で想定した破損に基づく溢水源からの溢水経路として、階段あるいは機器ハッチを経由して下層へ伝播する場合は、溢水経路上の各フロアの溢水量を積算し、滞留面積に基づき溢水水位を算出するとともに、防護対象設備の機能喪失高さと比較することにより、防護対象設備が機能喪失に至らないことを確認した。

別紙4に、本評価で用いた溢水経路、溢水水位及び防護設備の機能喪失高さを示すとともに、確認した結果例を表4に示す。

表4：3号機原子炉周辺建屋における評価結果例

| 建屋 | EL. (m) | 防護対象設備 | 溢水 水位 (m) | 機能喪失 高さ (m) | 判定 |
|-----------------|------------|-------------------|-----------------|-------------------|----|
| 原子炉 周辺 建屋 | 17.1 | 燃料取替用水 ポンプ | 0.044 | 0.54 | |
| | 10.0 | 充てんポンプ 速度制御補助盤 | 0.076 | 0.20 | |

溢水源は、化学体積制御系統（抽出ライン）

隔離時間は約70分で隔離すると溢水量は48.07m³となる。

3.2 被水による影響評価

被水による影響評価については、MS 室、BD 室に配置されている主給水系統及び蒸気発生器ブローダウン系統については、分離区画されていることから、他の区画への被水を考慮する必要はなく、また MS 室内等に配置されている電気品・計装品等は耐環境仕様となっており、被水しても機能は喪失することはない。また、蒸気配管である主蒸気系統、補助蒸気系統は蒸気による影響評価と同様であることから、次項の 3.3 にて影響評価を行うものとする。

従って対象系統は化学体積制御系統となり、この系統配管についての影響評価はターミナル^①での破断想定により実施した。

破損想定位置を表 5 に示す

表 5：被水評価における破損想定について

| 系統名 | 溢水評価における対象範囲 | 被水評価における破損想定位置 |
|----------|-----------------------|---|
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 封水注入 | 封水フィルタ室ターミナルイント ^① (EL.26m) |
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 再生熱交換器管側入口 | 充てんポンプ室ターミナルイント ^① (EL.10m) |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器出口 | 非再生冷却器室ターミナルイント ^① (EL.17.1m) |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器入口 | 非再生冷却器室ターミナルイント ^① (EL.17.1m) |

被水の影響評価については、ターミナル^①の破断を考慮した場合、当該の系統機器は機能喪失となるが、別紙 5 の通り、この評価対象区画は分離設計となっており、被水による影響は当該区画内のみであり、この区画には他の安全防護設備は設置されておらず、プラント停止に係る安全上重要な機器が 2 系統同時に喪失しないことから、問題となるものではない。

また、共通要因故障の観点から、防護対象機器の区画配置及び防水仕様を調査し、被水影響に対する対策を実施していることから、一般部配管からの被水については問題とはならない。(別紙6参照)

3.3 蒸気の影響による評価

蒸気の影響による評価については、MS室、BD室に配置されている主蒸気系統、主給水系統及び蒸気発生器ブローダウン系統については、万一の破断の影響が安全設備に及ばないように区画分離されていることから問題はない。また、化学体積制御系統のうち、充てんラインと抽出ライン(非再生冷却器出口側)については、配管の運転温度条件から蒸気が流出することはないことから、本評価は不要となる。従って、蒸気による破損の影響を考慮する系統配管として、抽出ライン(非再生冷却器入口側)、補助蒸気系統配管について、破断想定を行なった。破損想定位置を表6に示す。

表6：蒸気評価における破損想定について

| 系統名 | 溢水評価における対象範囲 | 蒸気評価における破損想定位置 |
|----------|------------------|---|
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器入口 | 非再生冷却器室ターミナルイント [*] (EL.17.1m) |
| 補助蒸気系統 | 補助蒸気 | C/Bターミナルイント [*] (EL.26.0m) |

蒸気の影響を考慮する場合、ターミナルイント^{*}で破断することで、より多くの蒸気量が噴出することからターミナルイント^{*}での破断を想定した。抽出ライン(非再生冷却器入口側)については、配管破損に伴う蒸気の影響範囲は当該機器の設置フロアを越えることとなるが、別紙7の通り、蒸気の影響に伴う建屋区画内の環境解析を行った結果、破断区画は100以上となるが系統隔離を中央制御室から15分以内に行うことにより、隣接区画が約50程度

となることから、この操作が行われることにより、蒸気により区画内に設置された防護対象設備が機能喪失することはないこととなる。なお、当該の非再生冷却器室には防護対象設備がないことから問題とならない。

補助蒸気系統配管については、建屋内を広範囲にわたって敷設されており、影響は広範囲に及ぶため、蒸気の影響を限定するため、図2に示すとおり、通常時通気する範囲を廃棄物処理建屋のほう酸回収装置等に供給するラインに限定し、その他の系統は隔離して通気しない運用とする。この運用により、通気ラインはタービン建屋から制御建屋を経由して廃棄物処理建屋にいたるラインに限定される。

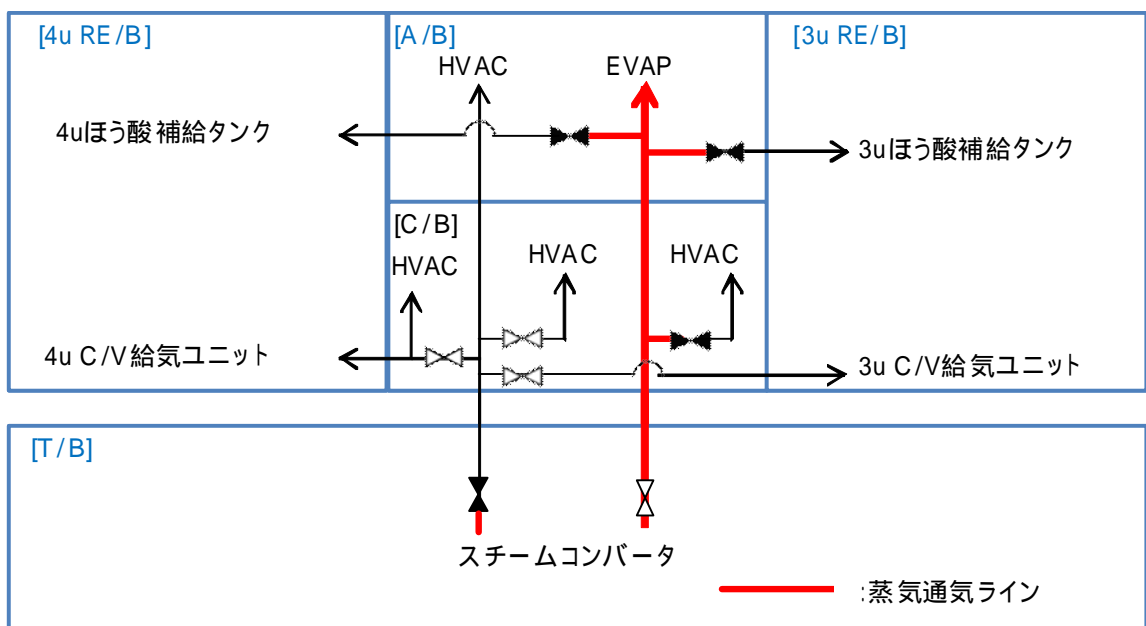


図2：補助蒸気ラインの限定運用

この条件に基づき配管破損に伴う蒸気の影響範囲を検討し、原子炉の安全停止にかかる最低限の設備を抽出した結果、該当する防護対象設備はなく、15分後には蒸気の供給を停止することから、原子炉施設の安全性を損なうことはない。

4. 確認結果のまとめ

大飯3, 4号機については、発電所の設計段階において配管破断防護設計の考え方にに基づき配管、配置設計がなされており配管の健全性は確保されていることから、溢水の影響は生じないことを確認した。また、より安全性を高めることを目的として溢水影響評価を行った結果、配管破損により生じる内部溢水について現在運転中の大飯3, 4号機については問題になるものではないことを確認した。

しかしながら、更なる信頼性確保の観点から原子力発電所の安全性向上のため、5. に記載する対策等を実施する。

5. 今後の対応

5.1 至近定検までの対応について

更なる溢水影響の軽減を図り、より安全性を向上させるために、配管破損に伴う蒸気の影響評価において、短時間の隔離操作に期待する必要がある抽出ライン（非再生冷却器入口側）、補助蒸気配管により想定される溢水の影響については、至近の定検開始までの対応として、以下の対応を行う。

a. 抽出ライン（非再生冷却器入口側）

- ・配管の破損を想定した場合に蒸気の漏えいを早期に検知し、隔離操作が実施できるよう監視強化を実施する。また、隔離操作のための運転操作手順も整備する

b. 補助蒸気配管

- ・プラントの運転継続に必要な機器以外への補助蒸気供給を停止する。運転継続に必要な機器は、ほう酸回収装置、廃液蒸発装置等であり、全ての機器は廃棄物処理建屋内に設置されている。（原子炉周辺建屋内への補助蒸気供給停止）
- ・廃棄物処理建屋へは制御建屋経由で補助蒸気を供給しているため、この供給配管に破損が生じたとしても、漏えいを早期に検知し、隔離操作が実施できるよう監視強化対策を実施する。また、隔離操作のための運転操作手順を整備する。

5.2 至近定検時の対応

更なる溢水影響の軽減を図り、より安全性を向上させるために、至近定検時に以下の対応を行う。

- ・ 補助蒸気配管について隔離操作の迅速化の検討（隔離弁設置含む）
- ・ 防護対象区画の蒸気侵入を防止するシール対策の実施

別紙 1：対象配管の系統条件

別紙 2：低エネルギー配管の破損想定について

別紙 3：主蒸気、主給水管の応力評価

別紙 4：没水影響評価における溢水経路、溢水水位及び防護設備の機能喪失高さ

別紙 5：被水の影響を考慮すべき対象区画の配置

別紙 6：被水による影響評価

別紙 7：蒸気の影響に伴う対象建屋区画内の環境解析

対象配管の系統条件

| 系統名 | 対象範囲 | 対象範囲における 使用条件 |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 封水注入 | 運転圧力：約 17MPaG 運転温度：約 50 |
| 化学体積制御系統 | 充てんポンプ出口 / 再生熱交換器管側入口 | 運転圧力：約 17MPaG 運転温度：約 50 |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器出口 | 運転圧力：約 2.2MPaG 運転温度：約 50 |
| 化学体積制御系統 | 抽出ライン / 非再生冷却器入口 | 運転圧力：約 2.2MPaG 運転温度：約 140 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気管 | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気逃がし弁 | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気隔離弁バイパス | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 主蒸気系統 | 主蒸気ドレン | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 主蒸気系統 | タービン動補助給水ポンプ駆動用蒸気 | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 主給水系統 | 主給水管 | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 224 |
| 主給水系統 | 主給水バイパス | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 224 |
| 蒸気発生器ブローダウン系統 | 蒸気発生器ブローダウン (アングル弁～海水放出) | 運転圧力：約大気圧 運転温度：約 100 |
| 蒸気発生器ブローダウン系統 | 蒸気発生器ブローダウン (ペネ～アングル弁) | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 277 |
| 補助給水系統 | 補助給水 | 運転圧力：約 6.03MPaG 運転温度：約 224 |
| 補助蒸気系統 | 補助蒸気 | 運転圧力：約 0.7MPaG 運転温度：約 170 |

低エネルギー配管の破損想定について

大飯 3 , 4 号機における低エネルギー配管について、評価ガイドの付録 A に基づき抽出した結果を下表に示す。

表 1 低エネルギー配管系統リスト

| 系統名 | 耐震 C クラス |
|----------------|----------|
| 原子炉補機冷却水系統 | |
| 格納容器スプレイ系統 | |
| 化学体積制御系統 | |
| 空調用冷水設備系統 | |
| 1 次系洗浄水系統 | |
| 1 次系放射性機器ドレン系統 | |
| 1 次系放射性床ドレン系統 | |
| 消火水系統 | |
| 1 次系補給水系統 | |
| 余熱除去系統 | |
| 燃料取替用水系統 | |
| 燃料ピット冷却浄化系統 | |
| 安全注入系統 | |
| 1 次系試料採取系統 | |
| 原子炉補機冷却海水系統 | |
| 液体廃棄物処理系統 | |
| 固体廃棄物処理系統 | |
| 補助給水系統 | |

1 . 設計上の考え方

低エネルギー配管は、定ピッチスパン法により、発生する一次 + 二次応力は十分小さくなるよう、設計配慮がなされている。一次 + 二次応力の要素となる「自重」「内圧」「地震」「熱」各々の特徴については以下のとおりである。

(1) 自重応力

自重応力については、設計時より 30MPa 以下となるよう制限しており、自重が占める応力は小さく(概ね 0.05Sa 程度)、また、系統配管によらず同程度と考えられる。

(2) 内圧応力

内圧応力については、最高使用圧力に対して余裕をもった必要板厚 t を満たすような設計要求があり、さらにこれに十分マージンをもたせて配管を選定するため、内圧が占める応力は小さく(概ね 0.1Sa 程度)、また、系統配管によらず同程度と考えられる。

(3) 地震応力

地震応力については、 $1/3S_d$ 地震時の応力であることから、許容応力に対して十分小さい(概ね 0.1 ~ 0.2Sa 程度)と考えられるが、系統配管毎固有のルート設計やサポート設計による影響を受けるため、他応力と比較すると、ばらつきが生じている可能性がある。

(4) 熱応力

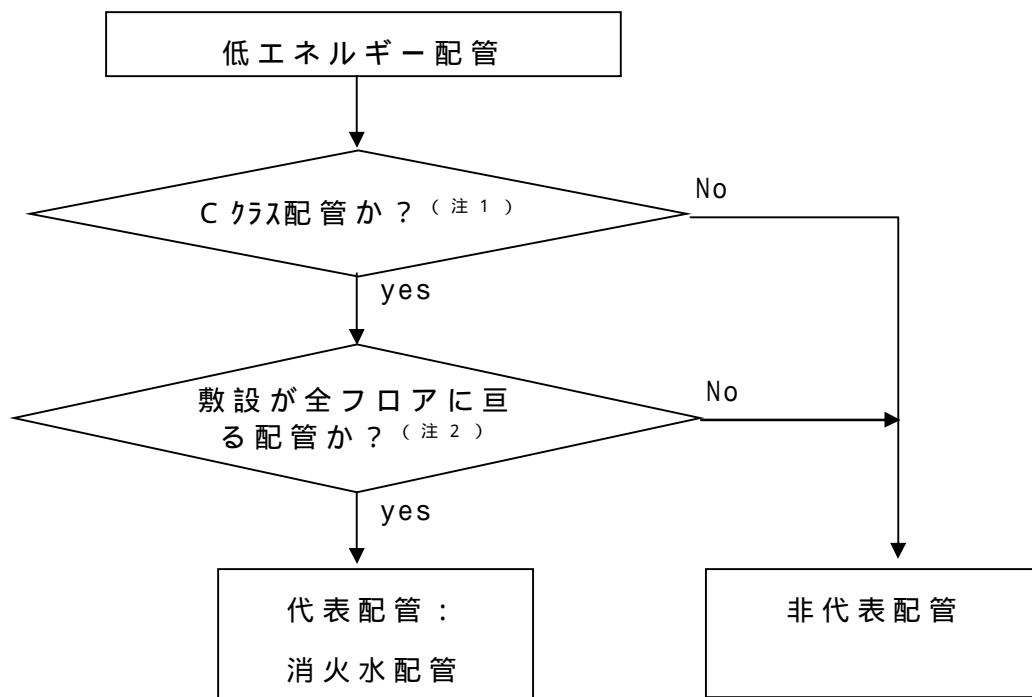
低エネルギー配管であることから、運転温度は低く、有意な熱応力は発生しない。

2 . 代表系統配管の配管破損評価

「1 . 設計上の考え方」で示した各応力の特徴から、「地震応力」に着目して代表配管系統を抽出し、抽出した配管に対する配管破損評価を実施する。

(1) 代表配管系の抽出

地震応力の大きさ及び網羅性の観点から、以下のフローにしたがい、代表配管系を抽出した。



注 1 : B クラス配管の設計用地震力は C クラス配管より大きいいため、定ピッチスパン法による最大支持スパンは、B クラスの方が小さくなる。したがって、同じレベルの地震力に対しては C クラス配管の地震応力は B クラス配管より大きくなることから、C クラス配管を代表とする。

注 2 : 定ピッチスパン法による設計では、配管が同口径で建屋フロアが同じであれば、配管系統が異なることによる差異は生じない。したがって、網羅性の観点から全フロアに亘っており、使用される配管口径の種類も多い配管系を代表とする。

図 1 : 低エネルギー配管の評価代表抽出フロー

(2) 代表配管の配管破損評価結果

定ピッチスパン法による、代表配管（消火設備配管）の評価結果を下表に示す。代表配管の一次 + 二次応力は、0.1Sa 以下であり、0.4Sa と比較し十分小さいことから、低エネルギー配管については、溢水源として破損を想定する必要はないと判断できる。

表 2 代表配管の配管破損評価結果

| 代表配管 | 一次 + 二次応力 (MPa) | | | | (注 2) 許容値 (MPa) | 破損 想定 要否 |
|--------|-----------------|-------------|----------------------|------|-----------------------|----------------|
| | (注 1) 内圧 | (注 1) 自重 | (注 1) 1/3Sd 地震 | 合計 | | |
| 消火設備配管 | 6.3 | 5.0 | 5.2 | 16.5 | 85 | 否 |

(注 1) 建設時標準支持間隔に基づく定ピッチスパン法による計算結果である。

(注 2) 許容値 (0.4Sa) の Sa は以下計算式にて算定している。

$$S_a = 1.25f S_c + (1.2 + 0.25f) S_h$$

主蒸気・主給水管の応力評価

1. 主蒸気管の評価結果

主蒸気管は図 1 に示すように、各系統とも格納容器貫通部から一直線状に配置されていることから、発生応力は非常に低い結果となった。表 1 に示すとおり、ターミナル点も含めて最大となる発生応力は $0.4S_a$ 以下であり、 $0.8S_a$ を十分下回っていることから破損を想定する必要がないことを確認した。

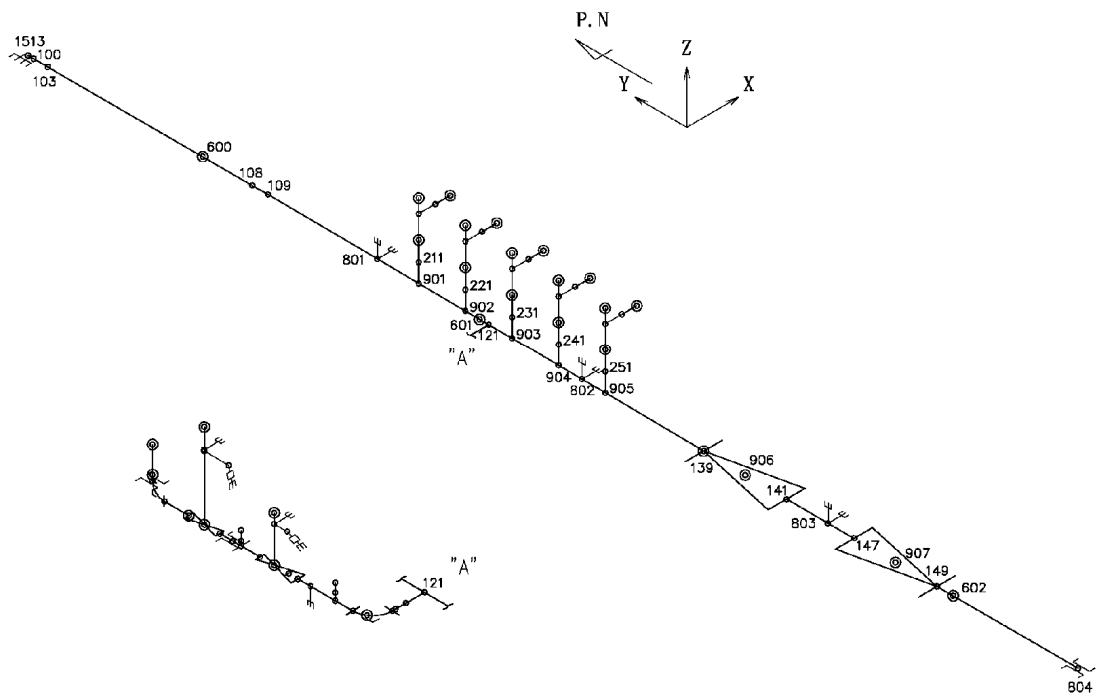


図 1 主蒸気管アイソメ図
主蒸気管(CV 外)MS11

表 1：応力評価結果による破損想定（主蒸気管）

主蒸気管 (CV 外) MS11

| 配管名称 | 節点番号 | 供用状態 A,B および (1/3)Sd 地震荷重に対する 一次 + 二次応力 (MPa) | | 破損想定 要否 |
|------------------------|------|---|-----|------------|
| | | 発生応力 | 許容値 | |
| 主蒸気管 (CV 外) MS11 | 1513 | 49 | 221 | 否 |
| | 100 | 49 | 221 | 否 |
| | 103 | 85 | 221 | 否 |
| | 600 | 55 | 221 | 否 |
| | 108 | 54 | 221 | 否 |
| | 109 | 57 | 221 | 否 |
| | 801 | 81 | 221 | 否 |
| | 901 | 72 | 221 | 否 |
| | 902 | 65 | 221 | 否 |
| | 601 | 62 | 221 | 否 |
| | 121 | 71 | 221 | 否 |
| | 903 | 55 | 221 | 否 |
| | 904 | 49 | 221 | 否 |
| | 802 | 55 | 221 | 否 |
| | 905 | 55 | 221 | 否 |
| | 139 | 57 | 221 | 否 |
| | 906 | 55 | 221 | 否 |
| | 141 | 52 | 221 | 否 |
| | 803 | 62 | 221 | 否 |
| | 147 | 56 | 221 | 否 |
| | 907 | 51 | 221 | 否 |
| | 149 | 51 | 221 | 否 |
| | 602 | 51 | 221 | 否 |
| | 804 | 51 | 221 | 否 |
| | 211 | 79 | 259 | 否 |
| | 221 | 82 | 259 | 否 |
| 231 | 82 | 259 | 否 | |
| 241 | 81 | 259 | 否 | |
| 251 | 79 | 259 | 否 | |

なお、許容値 (0.8Sa) の Sa は以下計算式にて算定している。

$$S_a = 1.25f S_c + (1.2 + 0.25f) S_h$$

S_a : 日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」(JSME S NC1 -2005/2007、以下「設計・建設規格」という。PPC -3530(1)d の計算式により計算した許容応力

f : 設計・建設規格 表 PPC -3530 -1 に記載されている温度変化サイクル数の区分に応じた許容応力低減係数

S_c : 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表に規定する室温^(注 1)における材料の許容引張応力

S_h : 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する使用温度^(注 2)における材料の許容引張応力

(注 1) 室温は 21 とする。

(注 2) 使用温度は 302.4 とする。

2. 主給水管の評価結果

主給水管も図2に示すように、各系統とも格納容器貫通部から一直線状に配置されていることから、発生応力は非常に低い結果となった。表2に示すとおり、ターミナル点も含めて最大となる発生応力は $0.4S_a$ 以下であり、 $0.8S_a$ を十分下回っていることから破損を想定する必要がないことを確認した。

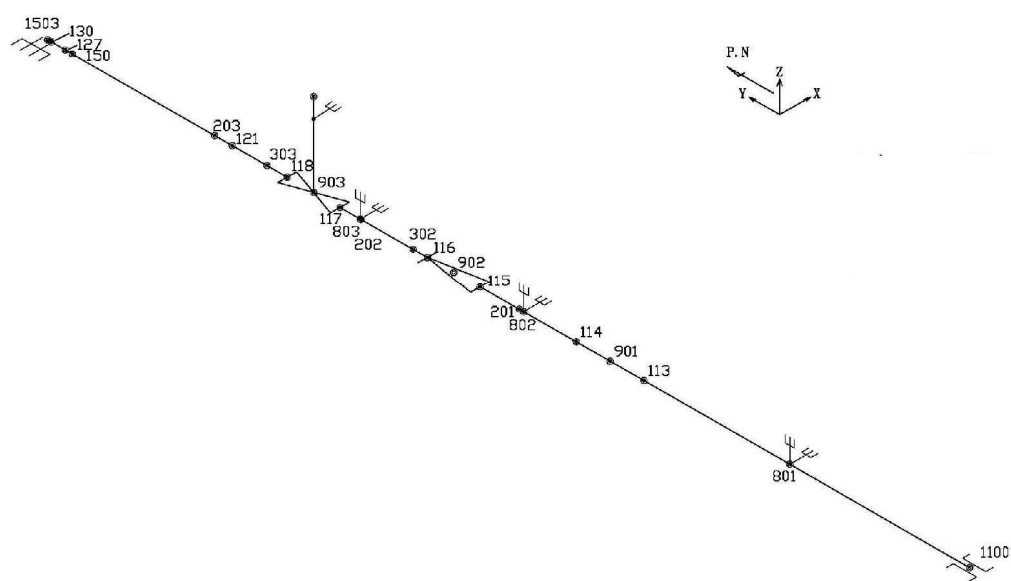


図2：主給水管アイソメ図

主給水管(CV外)FW11

表 2 : 応力評価結果による破損想定 (主給水管)

主給水管 (CV 外) FW11

| 配管名称 | 節点番号 | 供用状態 A,B および (1/3)Sd 地震荷重に対する 一次 + 二次応力 (MPa) | | 破損想定 要否 |
|------------------------|------|---|-----|------------|
| | | 発生応力 | 許容値 | |
| 主給水管 (CV 外) FW11 | 1100 | 41 | 259 | 否 |
| | 600 | 42 | 259 | 否 |
| | 601 | 43 | 259 | 否 |
| | 801 | 47 | 259 | 否 |
| | 602 | 41 | 259 | 否 |
| | 603 | 46 | 259 | 否 |
| | 113 | 49 | 259 | 否 |
| | 901 | 49 | 259 | 否 |
| | 114 | 44 | 259 | 否 |
| | 802 | 51 | 259 | 否 |
| | 201 | 50 | 259 | 否 |
| | 115 | 46 | 259 | 否 |
| | 902 | 46 | 259 | 否 |
| | 116 | 49 | 259 | 否 |
| | 302 | 57 | 259 | 否 |
| | 202 | 57 | 259 | 否 |
| | 803 | 57 | 259 | 否 |
| | 117 | 51 | 259 | 否 |
| | 903 | 58 | 259 | 否 |
| | 118 | 57 | 259 | 否 |
| | 303 | 53 | 259 | 否 |
| | 121 | 51 | 259 | 否 |
| | 203 | 40 | 259 | 否 |
| | 604 | 38 | 259 | 否 |
| | 605 | 41 | 259 | 否 |
| | 150 | 51 | 259 | 否 |
| 127 | 52 | 259 | 否 | |
| 130 | 37 | 259 | 否 | |
| 1503 | 37 | 259 | 否 | |

なお、許容値 (0.8Sa) の Sa は以下計算式にて算定している。

$$S_a = 1.25f S_c + (1.2 + 0.25f) S_h$$

S_a :日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」
(JSME S NC1 -2005/2007、以下「設計・建設規格」とい
う。)PPC -3530(1)dの計算式により計算した許容応力
 F :設計・建設規格 表 PPC -3530 -1 に記載されている温度変化
サイクル数の区分に応じた許容応力低減係数
 S_c :設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する室温
(注 1)における材料の許容引張応力
 S_h :設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する使用
温度 (注 2)における材料の許容引張応力
(注 1) 室温は 21 とする。
(注 2) 使用温度は 223.8 とする。

想定破損による溢水影響評価

(1) 化学体積制御系統（充てん/封水注入ライン）

- ・ 3A、3B封水注入フィルタ管台（原子炉周辺建屋 EL.26.0m）
- ・ 3A、3B、3C充てんポンプ管台（原子炉周辺建屋 EL.10.0m）
- ・ 3A、3B、3C充てんポンプ管台（原子炉周辺建屋 EL.10.0m）
- ・ 溢水量：50.4^{m³}
- ・ 隔離時間：約20分で隔離（流量低検知+隔離）

| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 滞留面積 [m ²] | 溢水量 [m ³] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (地上 [m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 |
|-------------------|------|---------|-------------|---------------------------|--------------------------|------------|-----------------------------|---------------------|--------------------|--------------|----|---|
| 3号 原子炉 周辺建屋 | 管理区域 | 10.0 | 3EB - | 435.7 | 50.4 | 0.116 | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | |
| | | | 3EB - | 1109.8 | 50.4 | 0.046 | 17.64 | 0.54 | < | | | |
| | | | 3EB - | 1247.1 | 50.4 | 0.041 | 17.64 | 0.54 | < | | | |
| | | | 3EB - A,B | 50.7 | 50.4 | 0.995 | 10.74 | 0.74 | < | | | A,Bの内、片トレン室内での評価 溢水位と比べて 機能喪失高さが低い が、複数トレンが同時に水没しない ため、同級なし。 |
| | | | 3EB - C | 31.4 | 50.4 | 1.606 | 10.28 | 0.28 | < | | | Cトレン室内での評価 溢水位と比べて 機能喪失高さが低い が、複数トレンが同時に水没しない ため、同級なし。 |
| | | | 3EB - | 638.0 | 50.4 | 0.079 | 3C充てんポンプ/速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | < | | |
| | | | 3EB - | 799.2 | 50.4 | 0.064 | 3C充てんポンプ/速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | < | | |
| | | | 3EB - | 964.9 | 50.4 | 0.053 | 3C充てんポンプ/速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | < | | |

(2) 化学体積制御系統（抽出ライン）

- ・ 非再生冷卻器管台（原子炉周辺建屋 EL.17.1m）
- ・ 隔離時間：約70分で隔離（加圧器水位低+隔離）
- ・ 溢水量：48.07^{m³}

| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 滞留面積 [m ²] | 溢水量 [m ³] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (地上 [m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 |
|-------------------|------|---------|-------------|---------------------------|--------------------------|------------|--------|---------------------|--------------------|------|----|----|
| 3号 原子炉 周辺建屋 | 管理区域 | 10.0 | 3EB - | 1109.8 | 48.07 | 0.044 | 17.64 | 0.54 | < | | | |
| | | | 3EB - | 1247.1 | 48.07 | 0.039 | 17.64 | 0.54 | < | | | |
| | | | 3EB - | 638.0 | 48.07 | 0.076 | 10.20 | 0.20 | < | | | |
| | | | 3EB - | 799.2 | 48.07 | 0.061 | 10.20 | 0.20 | < | | | |
| | | | 3EB - | 964.9 | 48.07 | 0.050 | 10.20 | 0.20 | < | | | |

(3) 補助蒸気系統

- ・ 破損想定位置
・ 主給水配管
・ 主給水配管
・ 主給水配管
- ・ 溢水量：10.0^{m³}
- ・ 隔離時間：約15分で隔離（火災報知器+隔離）

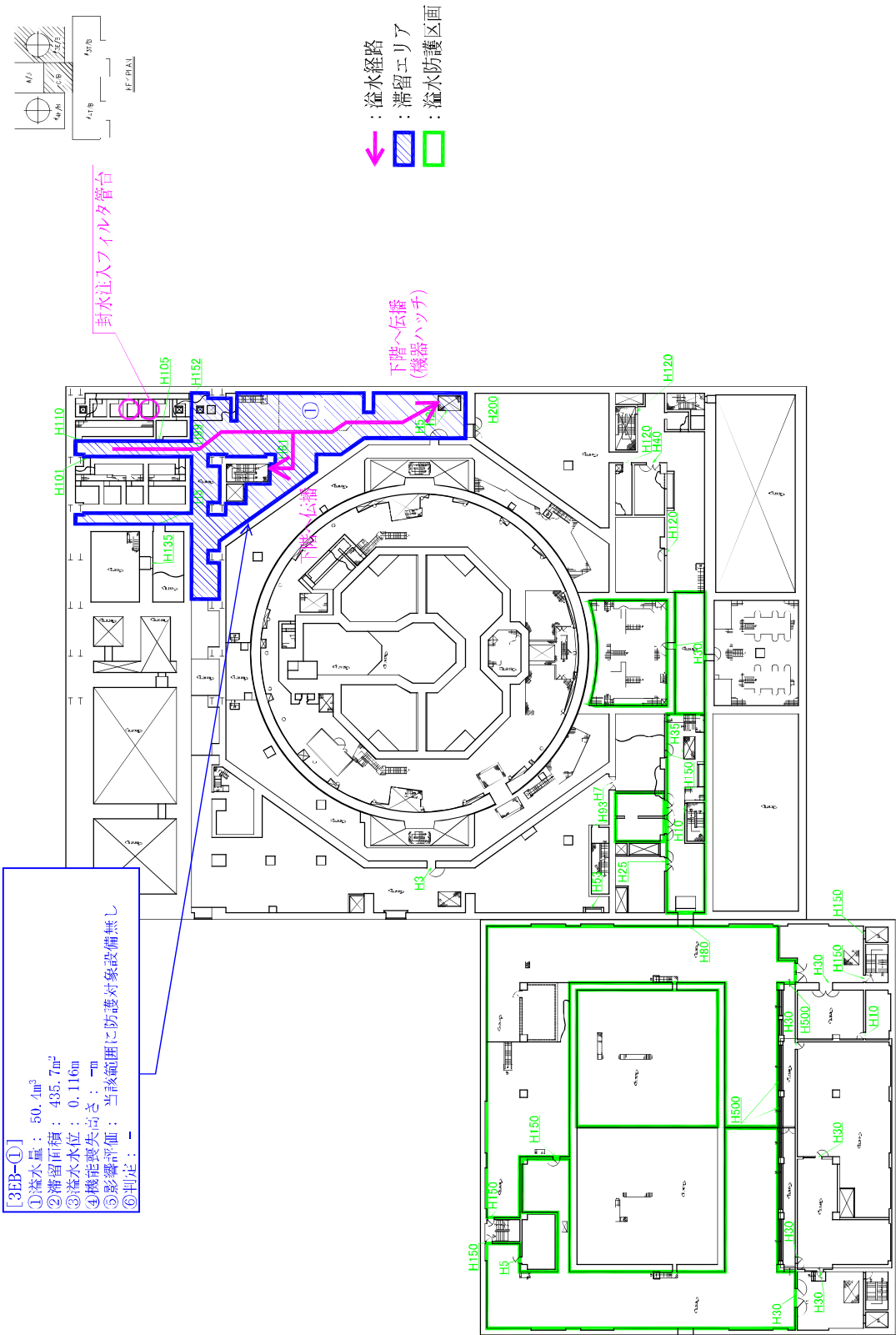
| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 滞留面積 [m ²] | 溢水量 [m ³] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (地上 [m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 | |
|----------|-------|---------|-------------|---------------------------|--------------------------|------------|--------|---------------------|--------------------|--------------|--------------|----|--|
| 制御 建屋 | 非管理区域 | 26.1 | CB - | 22.5 | 10.0 | 0.445 | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | | |
| | | | CB - | 81.4 | 10.0 | 0.123 | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | |
| | | | CB - | 157.2 | 10.0 | 0.064 | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | |
| | | | CB - | 760.5 | 10.0 | 0.014 | 26.4 | 0.30 | < | | | | |

(4) 主蒸気・主給水系統

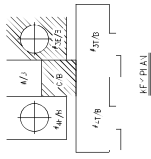
- ・ 破損想定位置
・ 主給水配管
・ 主給水配管
・ 主給水配管
- ・ 溢水量：172.0^{m³}
- ・ 隔離時間：約111分で隔離（主蒸気ライン差圧+補助給水隔離）

| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 滞留面積 [m ²] | 溢水量 [m ³] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (地上 [m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 |
|-----------|-------|---------|-------------|---------------------------|--------------------------|------------|--|---------------------|--------------------|------|----|----|
| 3号 原子炉 | 非管理区域 | 26.0 | MS/PV室 | 208.4 | 172.0 | 0.926 | 3A、3B、3C補助給水隔離弁 (3V_FVI/574A,B,C,D) | 26.88 | 0.88 | < | | |

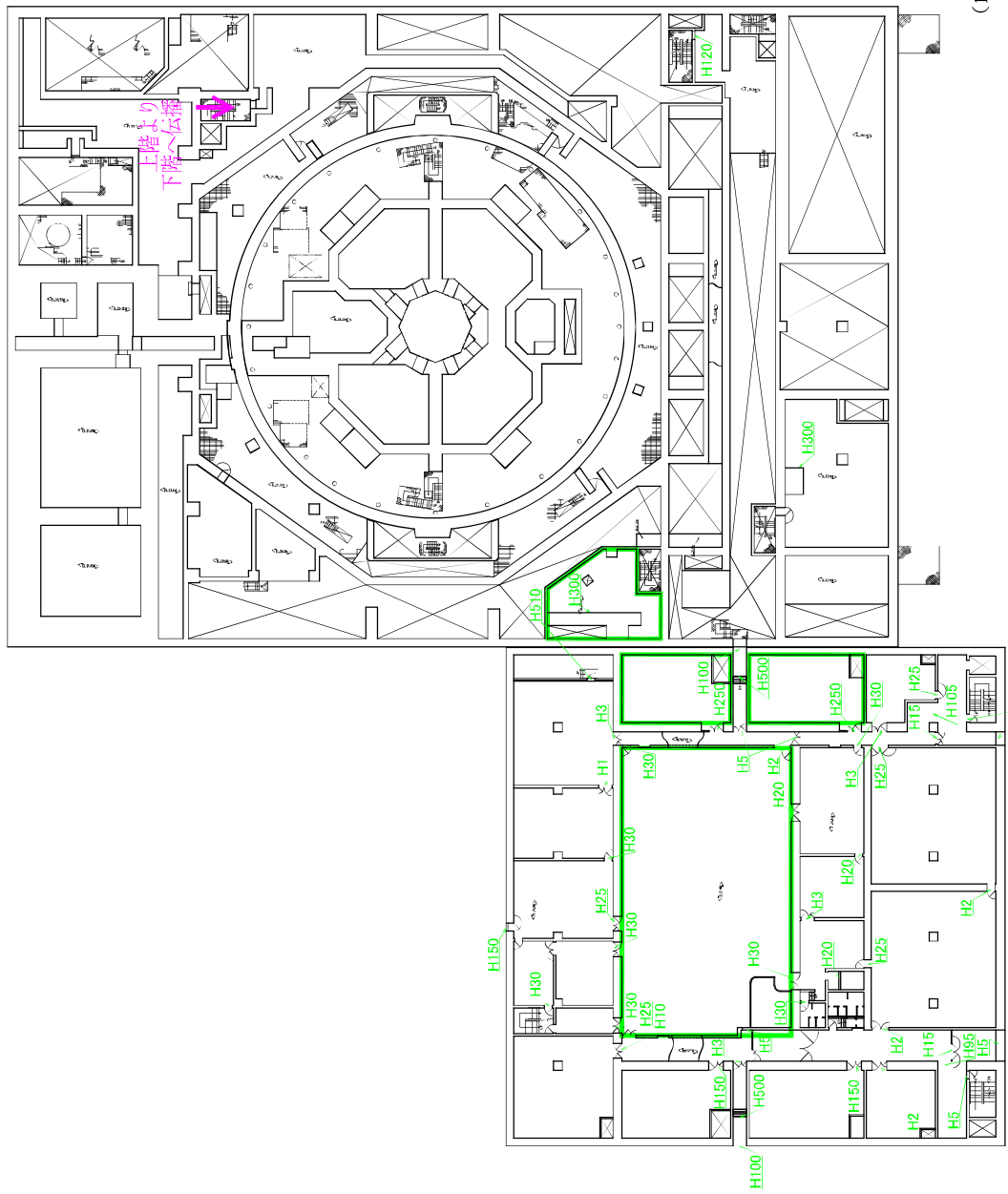
：海水源設置エリア



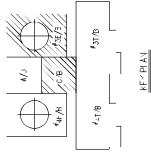
(1) 化学体積制御系統 充てん/封水注入ライン
 大飯3号機 EL. 26. 0M, EL. 26. 1M
 溢水経路図



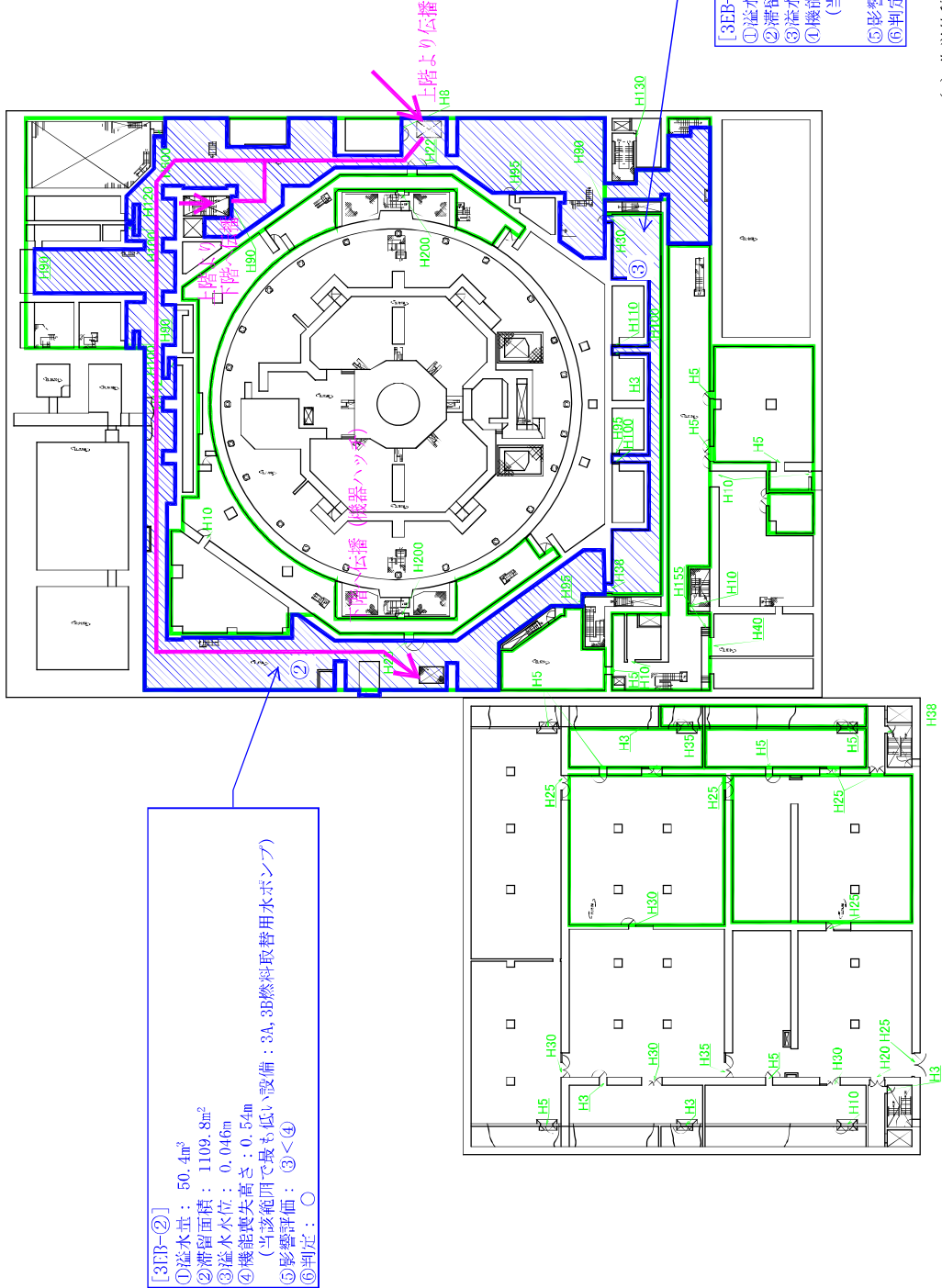
- ↓ : 溢水経路
- ▨ : 滞留エリア
- : 溢水防護区画



(1) 化学体積制御系統 充てん/封水注入ライン
大飯3号機 EL. 22. 0M, EL. 21. 8M
溢水経路図



- ↑ : 溢水経路
- : 滞留エリア
- : 溢水防護区画



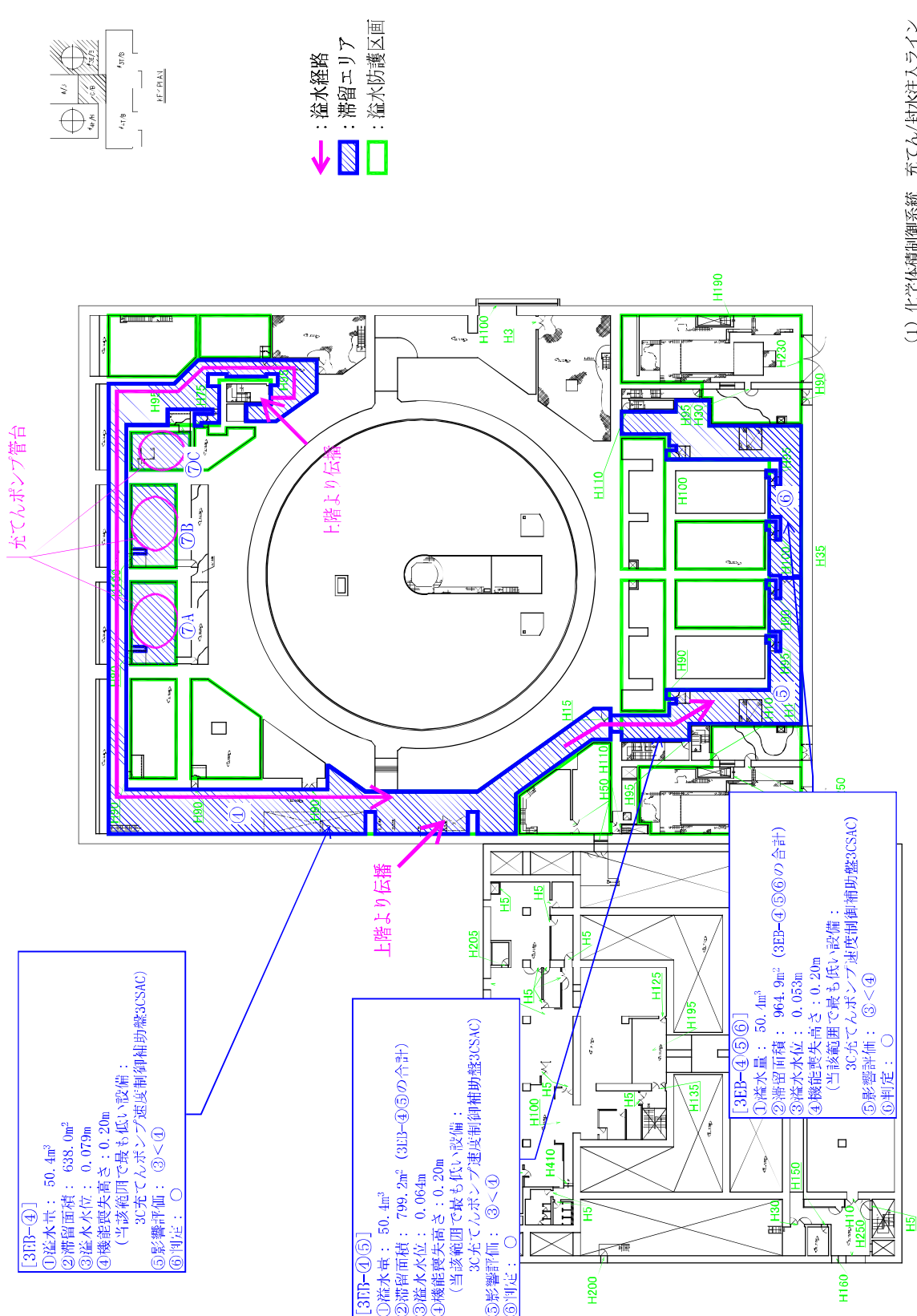
[3FB-②]

- ① 溢水量 : 50.4m³
- ② 滞留面積 : 1109.8m²
- ③ 溢水水位 : 0.046m
- ④ 機能喪失高さ : 0.54m
(当該範囲で最も低い設備 : 3A, 3B燃料取替用水ポンプ)
- ⑤ 影響評価 : ③<④
- ⑥ 判定 : ○

[3EB-②③]

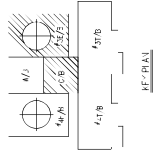
- ① 溢水量 : 50.4m³
- ② 滞留面積 : 1247.1m² (3EB-②③の合計)
- ③ 溢水水位 : 0.041m
- ④ 機能喪失高さ : 0.54m
(当該範囲で最も低い設備 :
3A, 3B燃料取替用水ポンプ)
- ⑤ 影響評価 : ③<④
- ⑥ 判定 : ○

(1) 化学体積制御系統 充てん/封水注入ライン
大鉄3号機 EL.17.1M, EL.15.8M
溢水経路図



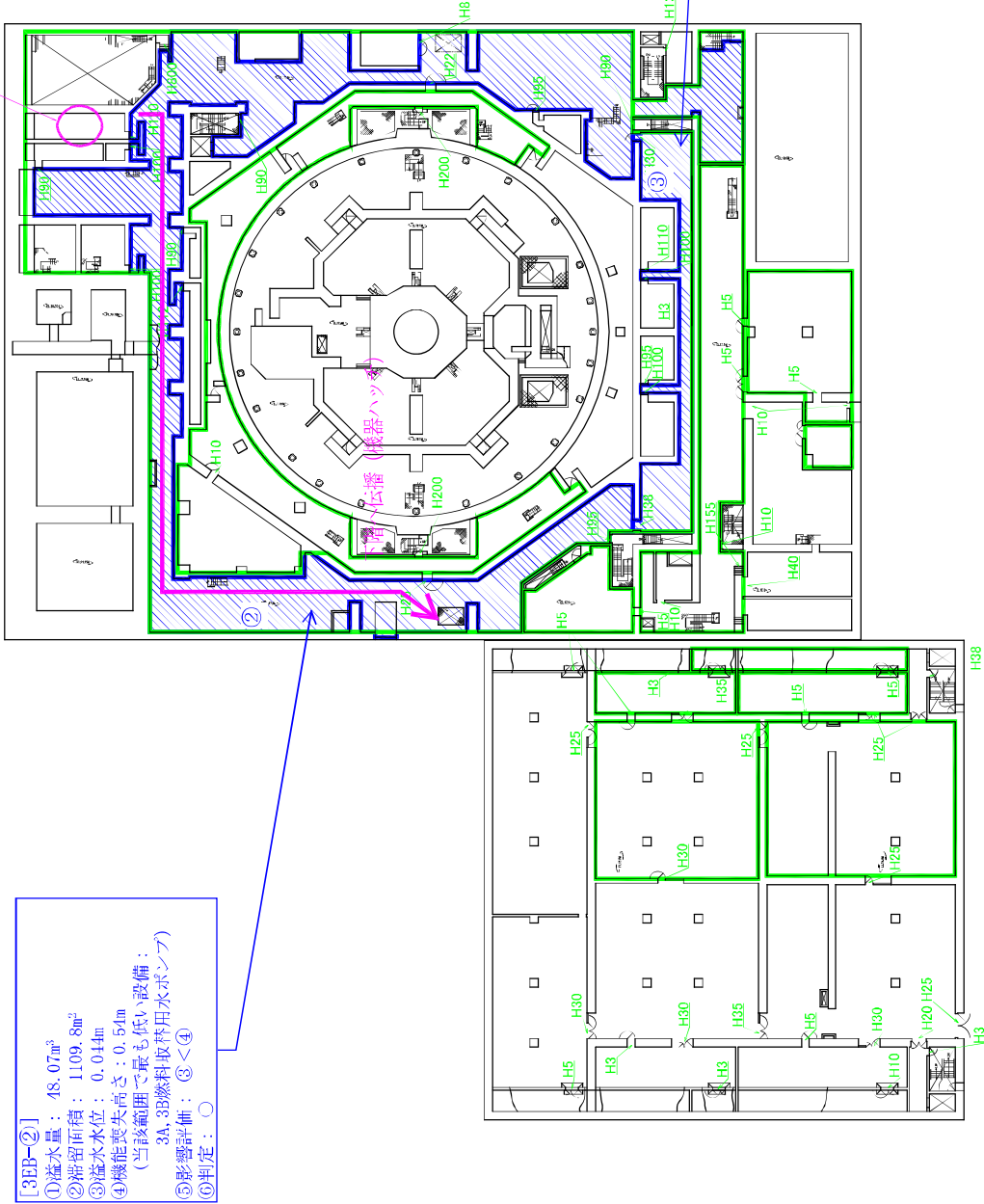
(1) 化学体制御系統 充てん/封水注入ライン

大飯3号機 EL.10.0M
溢水経路図



非再生冷却器管台

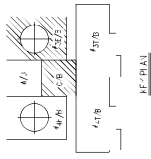
- : 溢水経路
- : 滞留エリア
- : 溢水防護区画



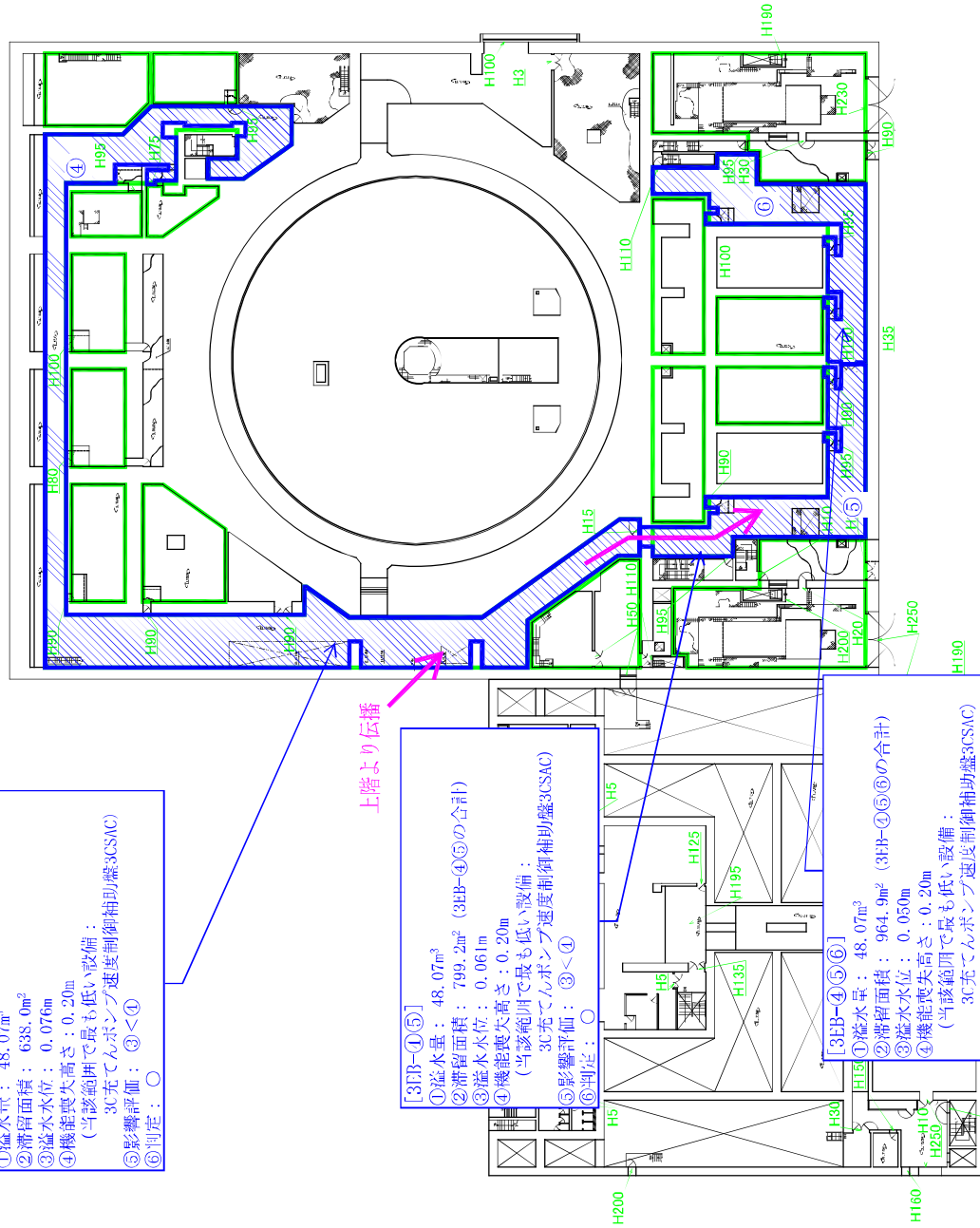
[3EP-②]
 ①溢水量 : 48.07m³
 ②滞留面積 : 1109.8m²
 ③溢水水位 : 0.044m
 ④機能喪失高さ : 0.5/m
 (当該範囲で最も低い設備 : 3A, 3B燃料取扱用水ポンプ)
 ⑤影響評価 : ③<④
 ⑥判定 : ○

[3EP-②③]
 ①溢水量 : 48.07m³
 ②滞留面積 : 1247.1m² (3EP-②③の合計)
 ③溢水水位 : 0.039m
 ④機能喪失高さ : 0.5/m
 (当該範囲で最も低い設備 : 3A, 3B燃料取扱用水ポンプ)
 ⑤影響評価 : ③<④
 ⑥判定 : ○

(2) 化学体積制御系統 抽出ライン
 大飯3号機 EL.17.1M, EL.15.8M
 溢水経路図



- : 溢水経路
- ▨ : 滞留エリア
- : 溢水防護区画



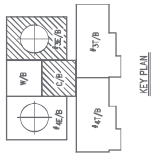
[3BB-④]
 ①溢水量：48.07m³
 ②滞留面積：638.0m²
 ③溢水水位：0.076m
 ④機能喪失高さ：0.20m
 (当該範囲で最も低い設備：
 3C赤てんポンプ速度制御補助器3CSAC)
 ⑤影響評価：③<④
 ⑥判定：○

上階より伝播

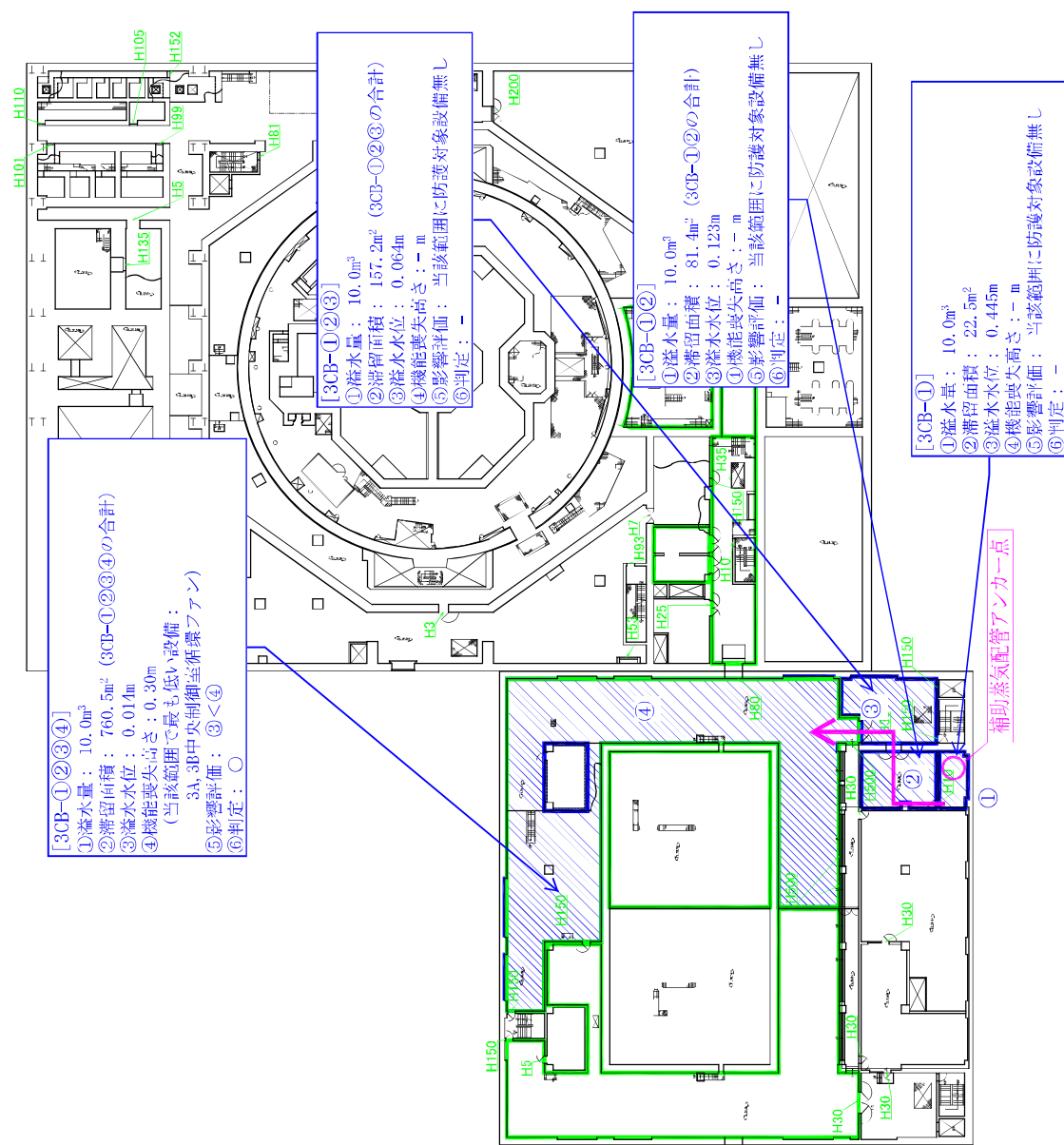
[3BB-①⑤]
 ①溢水量：48.07m³
 ②滞留面積：799.2m² (3BB-④⑤の合計)
 ③溢水水位：0.061m
 ④機能喪失高さ：0.20m
 (当該範囲で最も低い設備：
 3C赤てんポンプ速度制御補助器3CSAC)
 ⑤影響評価：③<④
 ⑥判定：○

[3BB-④⑤⑥]
 ①溢水量：48.07m³
 ②滞留面積：964.9m² (3BB-④⑤⑥の合計)
 ③溢水水位：0.050m
 ④機能喪失高さ：0.20m
 (当該範囲で最も低い設備：
 3C赤てんポンプ速度制御補助器3CSAC)
 ⑤影響評価：③<④
 ⑥判定：○

(2) 化学体積制御系統 抽出ライン
 大飯3号機 EL.10.0M
 溢水経路図



① : 溢水経路
 ② : 滞留エリア
 ③ : 溢水防護区画



[3CB-①②③④]
 ① 溢水量：10.0m³
 ② 滞留面積：760.5m² (3CB-①②③④の合計)
 ③ 溢水水位：0.01/m
 ④ 機能喪失高さ：0.30m
 (当該範囲で最も低い設備：3A, 3B中央制御室循環ファン)
 ⑤ 影響評価：③<④
 ⑥ 判定：○

[3CB-①②③]
 ① 溢水量：10.0m³
 ② 滞留面積：157.2m² (3CB-①②③の合計)
 ③ 溢水水位：0.064m
 ④ 機能喪失高さ：-m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

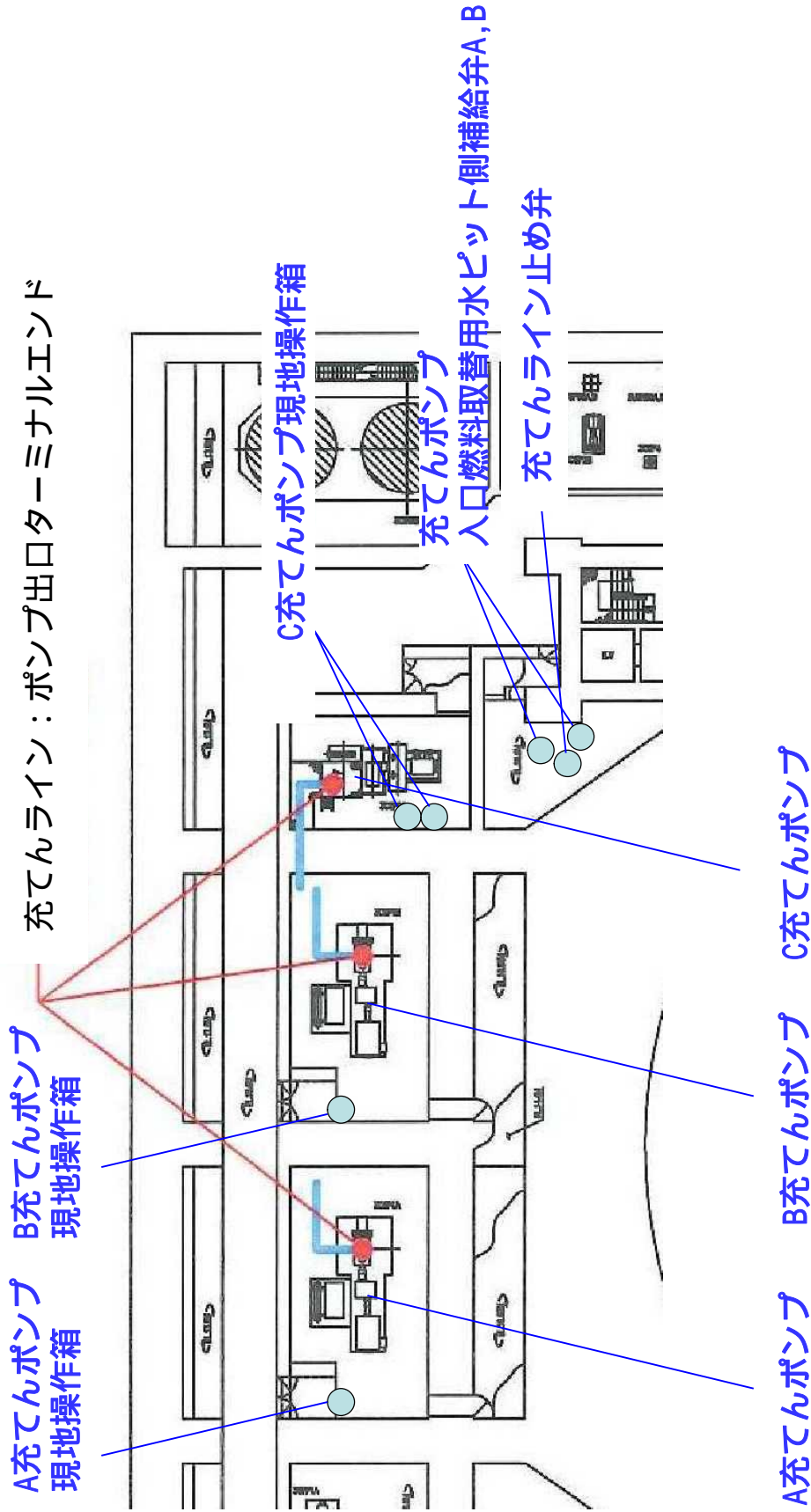
[3CB-①②]
 ① 溢水量：10.0m³
 ② 滞留面積：81.4m² (3CB-①②の合計)
 ③ 溢水水位：0.123m
 ④ 機能喪失高さ：-m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

[3CB-①]
 ① 溢水量：10.0m³
 ② 滞留面積：22.5m²
 ③ 溢水水位：0.445m
 ④ 機能喪失高さ：-m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

補助蒸気配管アンカー点

(3) 補助蒸気系統
 大飯3号機 EL. 26. 0M, EL. 26. 1M

被水の影響を考慮すべき対象区画の配置（充てんライン破損想定の場合）



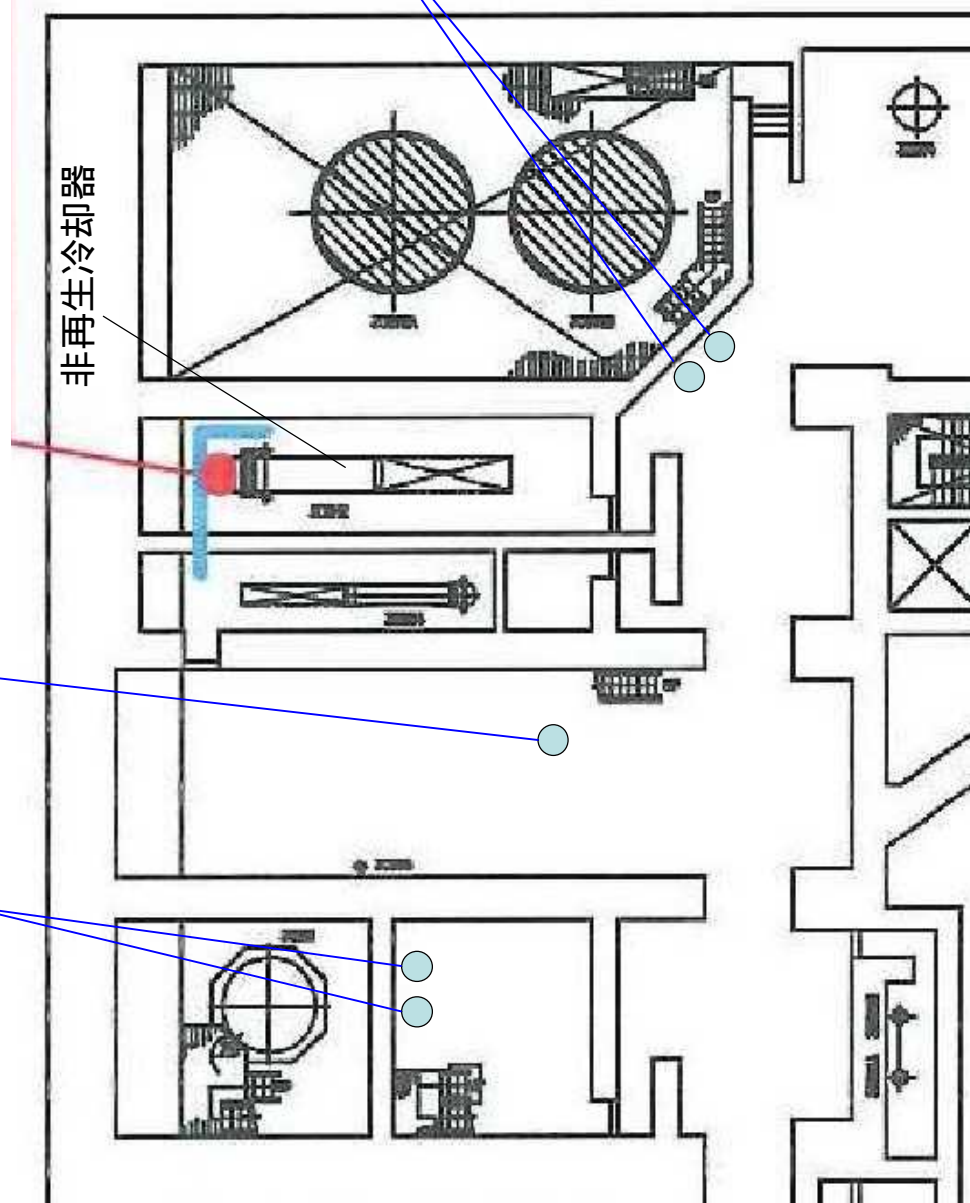
充てんポンプ室は分離隔離されており、当該区画の防護対象設備は機能喪失の可能性はあるが、防護対象設備に被水することはないため、2系統の同時機能喪失とはならず問題ない

被水の影響を考慮すべき対象区画の配置（抽出ライン破損想定の場合）

緊急ほう酸注入電動弁

VCT出口電動弁

抽出ライン：非再生冷却ターミナルエンド

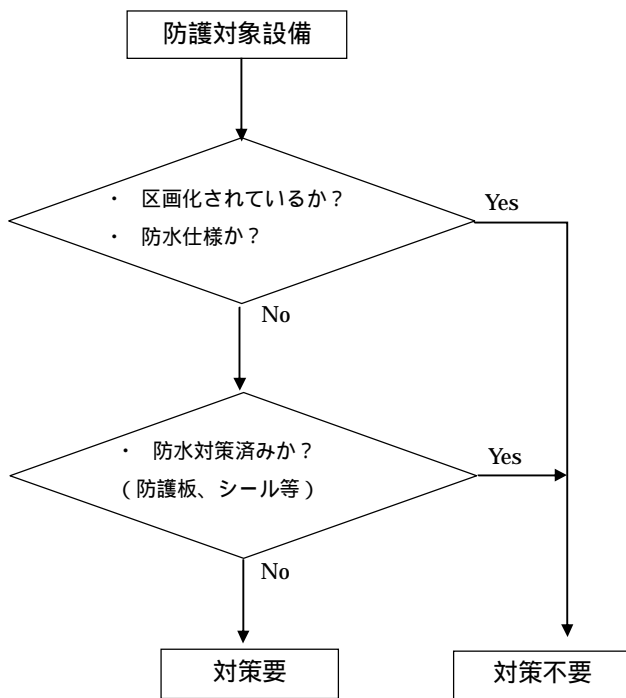


ほう酸タンク水位計

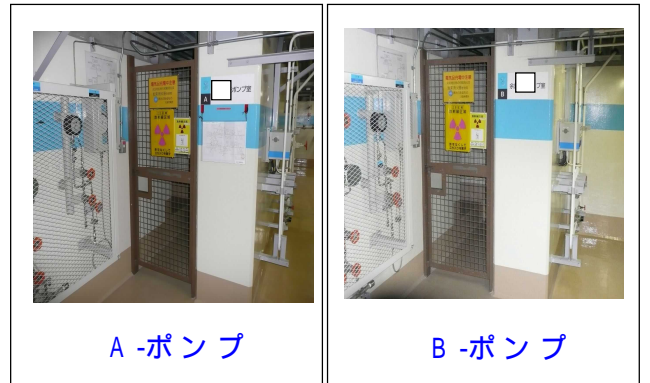
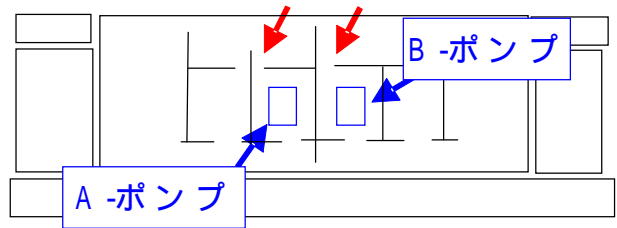
非再生冷却器は分離隔離されており、当該区画に防護対象設備はなく、周辺の防護対象設備に被水することはない

被水による影響評価

防護対象設備については、原則として区画分離等（原子炉周辺建屋最下層の配置例を示す）により被水による影響を受けないようにしているが、以下のフローにしたがって調査を実施し、必要な箇所については対策を実施した。



被水対策検討フロー図



原子炉周辺建屋配置例

以上

蒸気の影響に伴う対象建屋区画内の環境解析

1. 評価対象範囲

高エネルギー配管のうち、MS 室等の区画内に配置されていない高温配管として、補助蒸気配管および CVCS の抽出配管がある。

補助蒸気配管については周辺建屋への供給停止を実施していることから、対象配管については、CVCS (抽出ライン) とする。

2. 影響評価

(1) 破損想定位置

ターミナルエンドである非再生熱交換器入口管台での破断を想定する。

(2) 破損時の蒸気影響

破損を想定する箇所である非再生冷却換器入口管台で破断が生じたとして、中央制御室の運転員が監視カメラおよび火災報知器により蒸気漏れを検知し、破断後の 15 分後に系統隔離による漏えいが停止するものとして、建屋区画内の環境解析を実施した結果、破損区画においては、温度 102 程度となり、破損位置の周辺区画では温度 50 程度との結果となった。解析モデル図を図 1 に、解析結果を図 2 に示す。

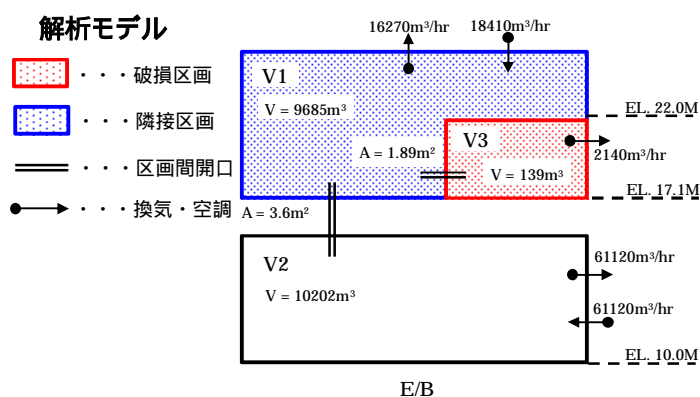


図 1 CVCS 環境解析モデル図

解析条件

区画： 非再生冷却器室 E/B EL. 17.1M (139m³)

破損箇所： 非再生冷却器入口管台

破損形態： ギロチン破断

停止： 15分(900秒)後に、系統隔離により放出停止

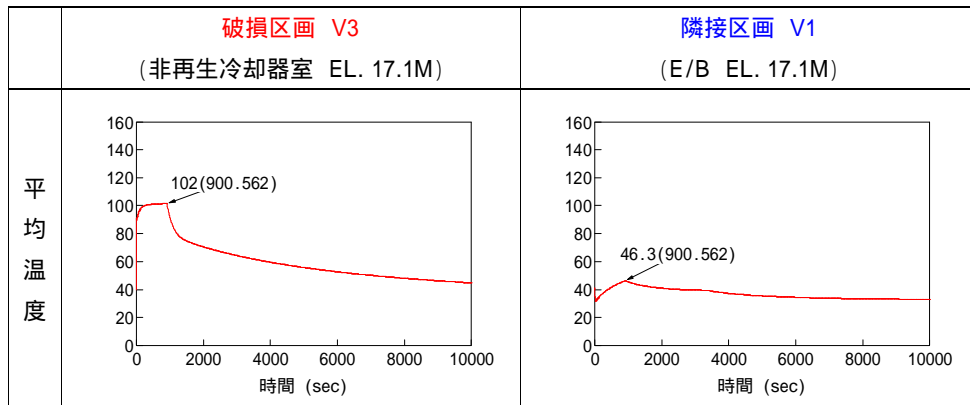
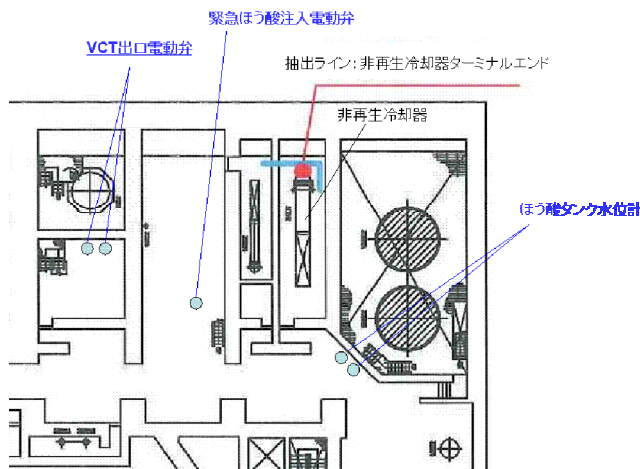


図 2. CVCS 環境解析結果

破断区画には防護対象機器はないが、蒸気の影響を受ける可能性のある隣接区画において、原子炉の安全停止にかかる設備を抽出した結果、緊急ほう酸注入電動弁が存在する。これらの機器は破断区画には設置されておらず、温度上昇の影響も比較的軽微である。当該弁は、プラントの高温停止維持後の低温停止移行に使用するものであるが、環境解析の結果、原子炉施設の安全性を損なうことはない。



消火活動に係る時間設定の考え方

1. はじめに

消火活動における放水量については、防護対象設備が設置されている原子炉周辺建屋および制御建屋において、消火栓による消火活動を想定し、消火活動が連続して実施される時間を見込んで算定する。具体的には、原則として3時間の消火活動を想定して溢水量を算定しているが、火災源が小さいエリアについては、日本電気協会電気指針「原子力発電所の火災防護指針 (JEAG4607 -2010)」解説 4-9 の規定による「火災荷重」および「等価時間」で算定する。

2. 評価方針

日本電気協会電気技術指針「原子力発電所の火災防護指針 (JEAG4607 -2010)」解説 4-5 (1) の規定による、火災荷重に対応する等価時間を放水時間として評価する。

【解説-4-5】「耐火壁」

(1) 評価法

火災に対する耐火壁能力の評価を行い、耐火壁の健全性を確認する。

- a. 耐火壁にて囲まれた区域の可燃物の種類及び量から、全可燃物の燃焼時の発生熱量を求める。
- b. 次式により区域の火災荷重を求める。

$$F_{load} = Q_f / A$$

ここで F_{load} : 火災荷重 (MJ/m²)

Q_f : 発生熱量 (MJ)

A : 区域床面積 (m²)

- c. 米国NFPA Handbook (表4-3参照) に示されている火災荷重と等価火災時間より、当該区域の壁が必要とする耐火時間を求める。
- d. 耐火壁の仕様と当該区域の壁が必要とする耐火時間を比較し、耐火壁が必要な耐火時間を満足していることを確認する。

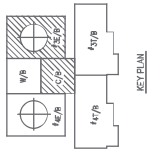
表 4-3 火災荷重と等価火災時間について
(米国NFPA Handbook Twentieth Edition より)





| 火災荷重 (MJ /m ²) | 等価火災時間 (h) |
|-------------------------------|---------------|
| 454 | 0.5 |
| 909 | 1.0 |
| 1,360 | 1.5 |
| 1,820 | 2.0 |
| 2,730 | 3.0 |
| 3,640 | 4.5 |
| 4,320 | 7.0 |
| 4,910 | 8.0 |
| 5,680 | 9.0 |

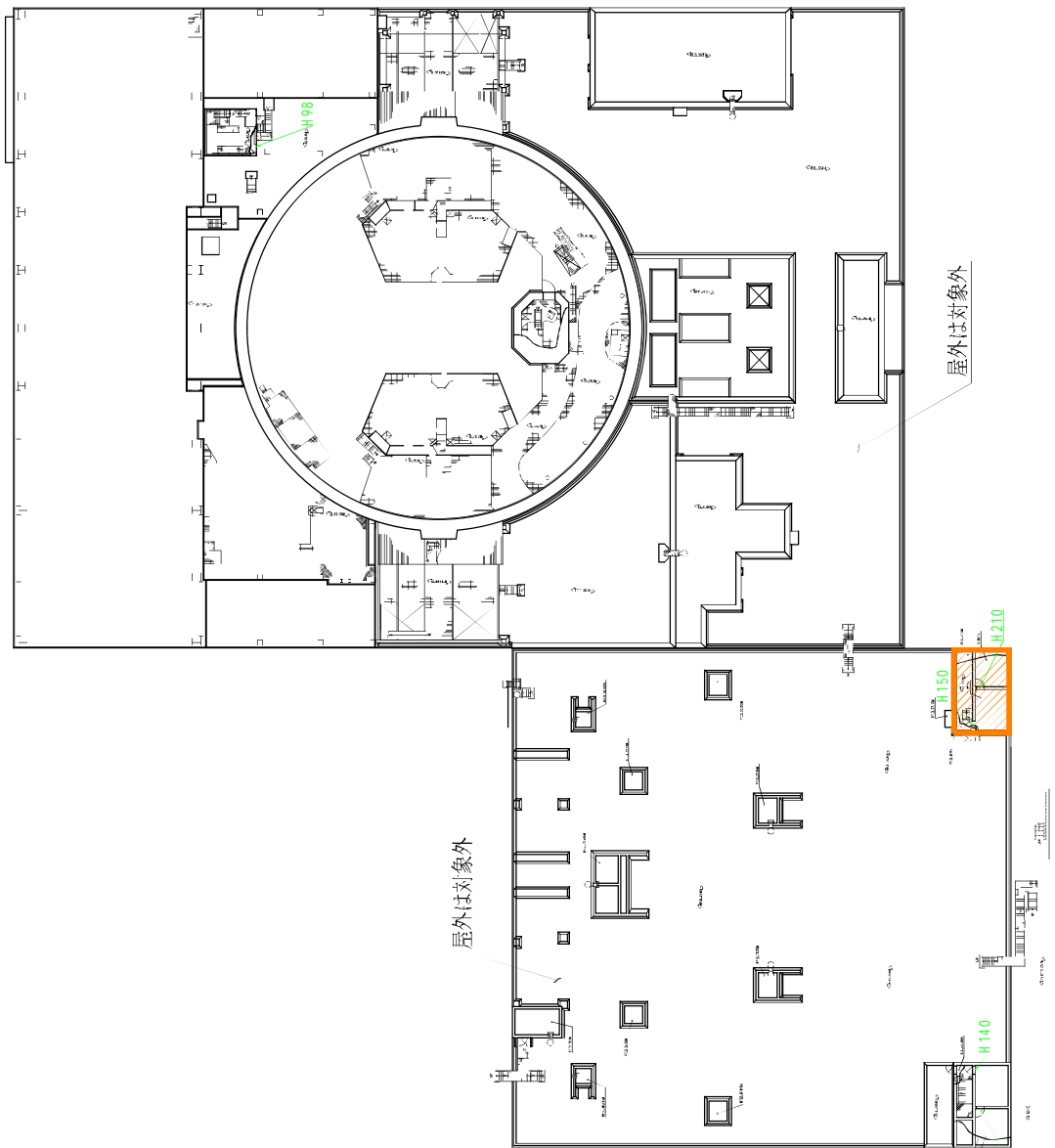
3.放水時間の設定

消火活動における放水時間の設定については、原則として3時間とした。

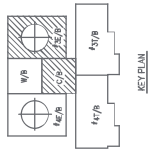
ただし、火災源が小さいエリアについては、2.の表4-3に従い「火災荷重」および「等価時間」を考慮し、0.5～1.5時間とした。







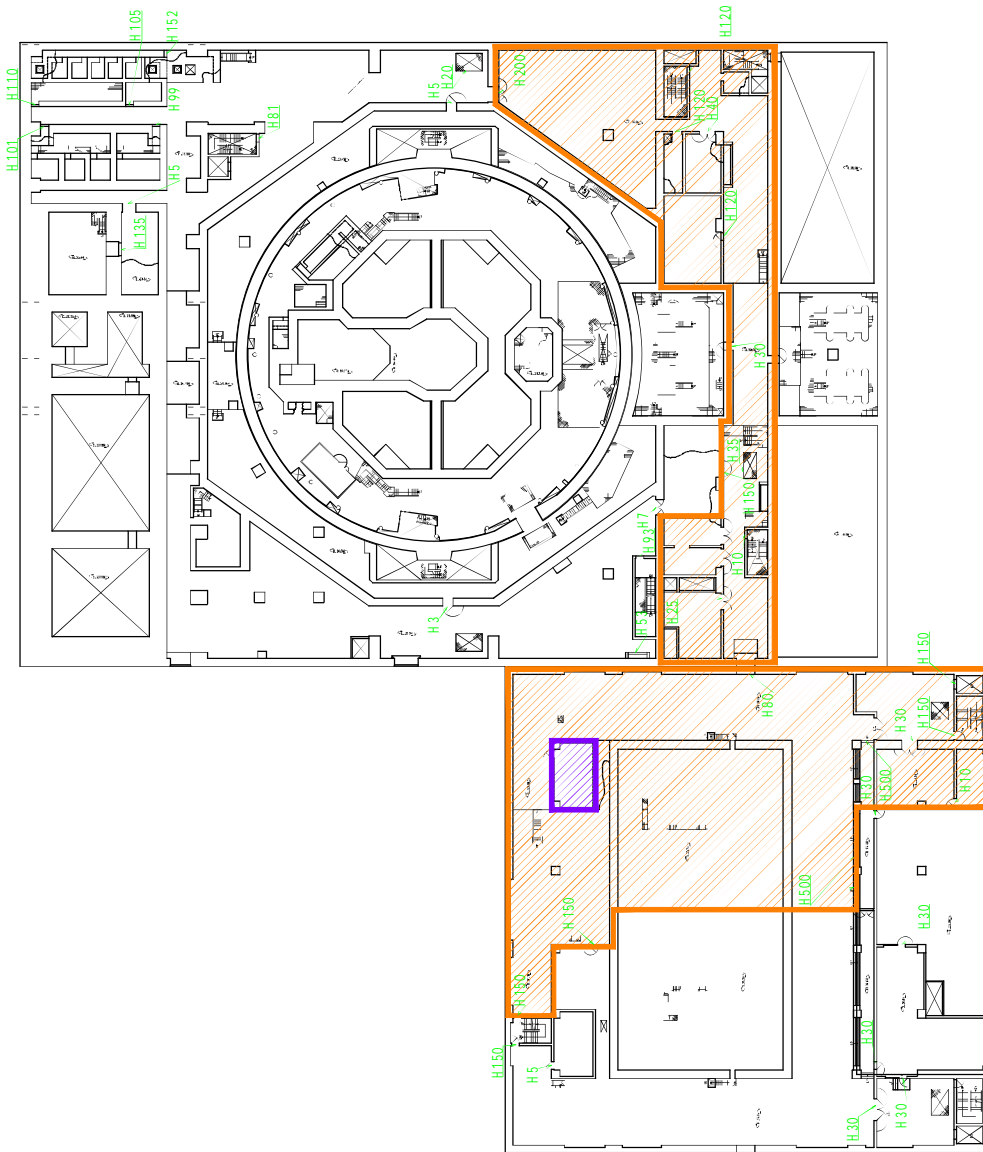
-  : 0.5時間放水エリア
-  : 1.0時間放水エリア
-  : 1.5時間放水エリア
-  : その他
のエリア : 3時間放水エリア



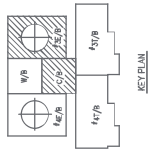
大館3号機 階: 38.7M, 階: 42.6M
消火栓からの放水による時間設定エリア



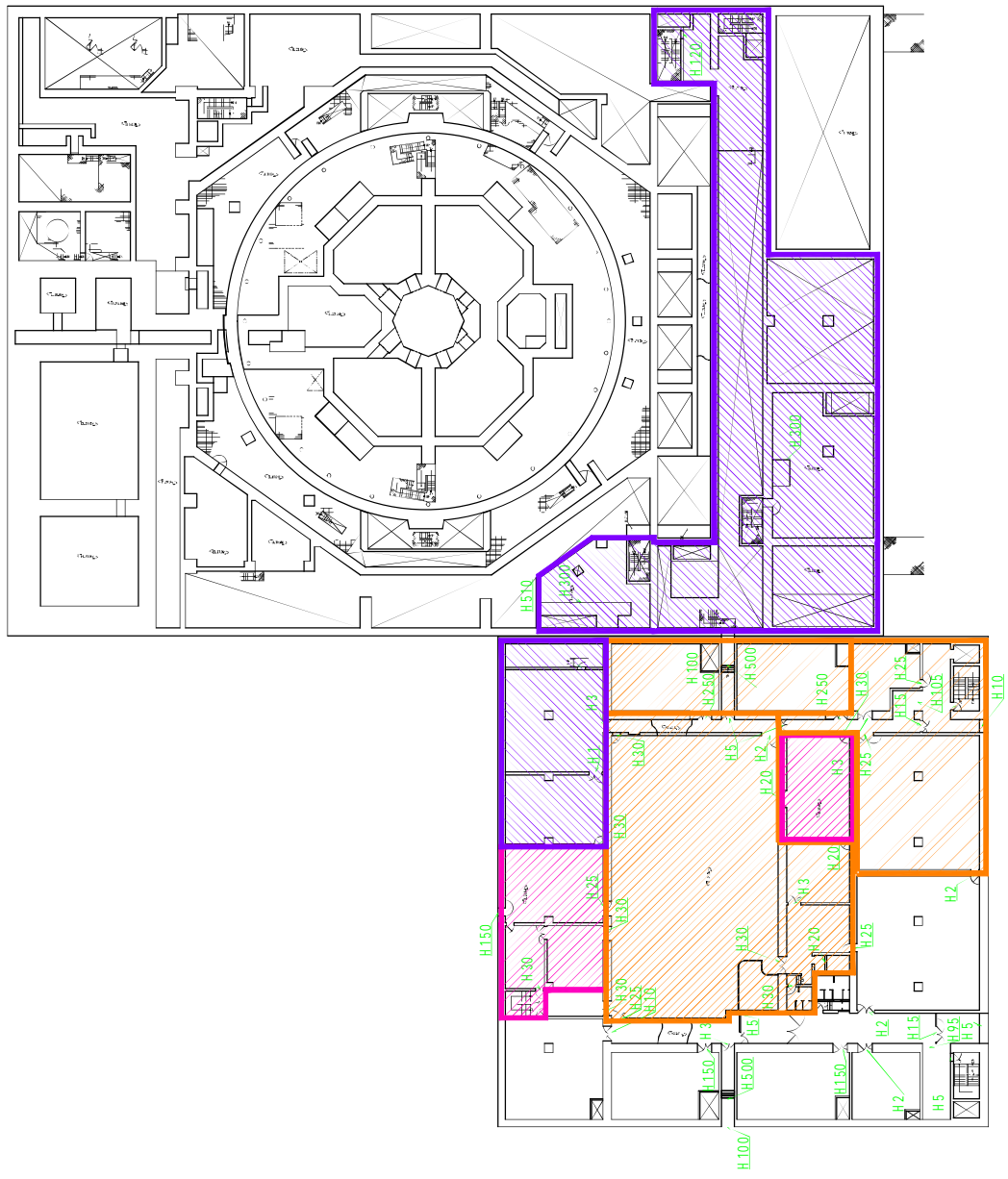
-  : 0.5時間放水エリア
-  : 1.0時間放水エリア
-  : 1.5時間放水エリア
-  : その他
のエリア
-  : 3時間放水エリア



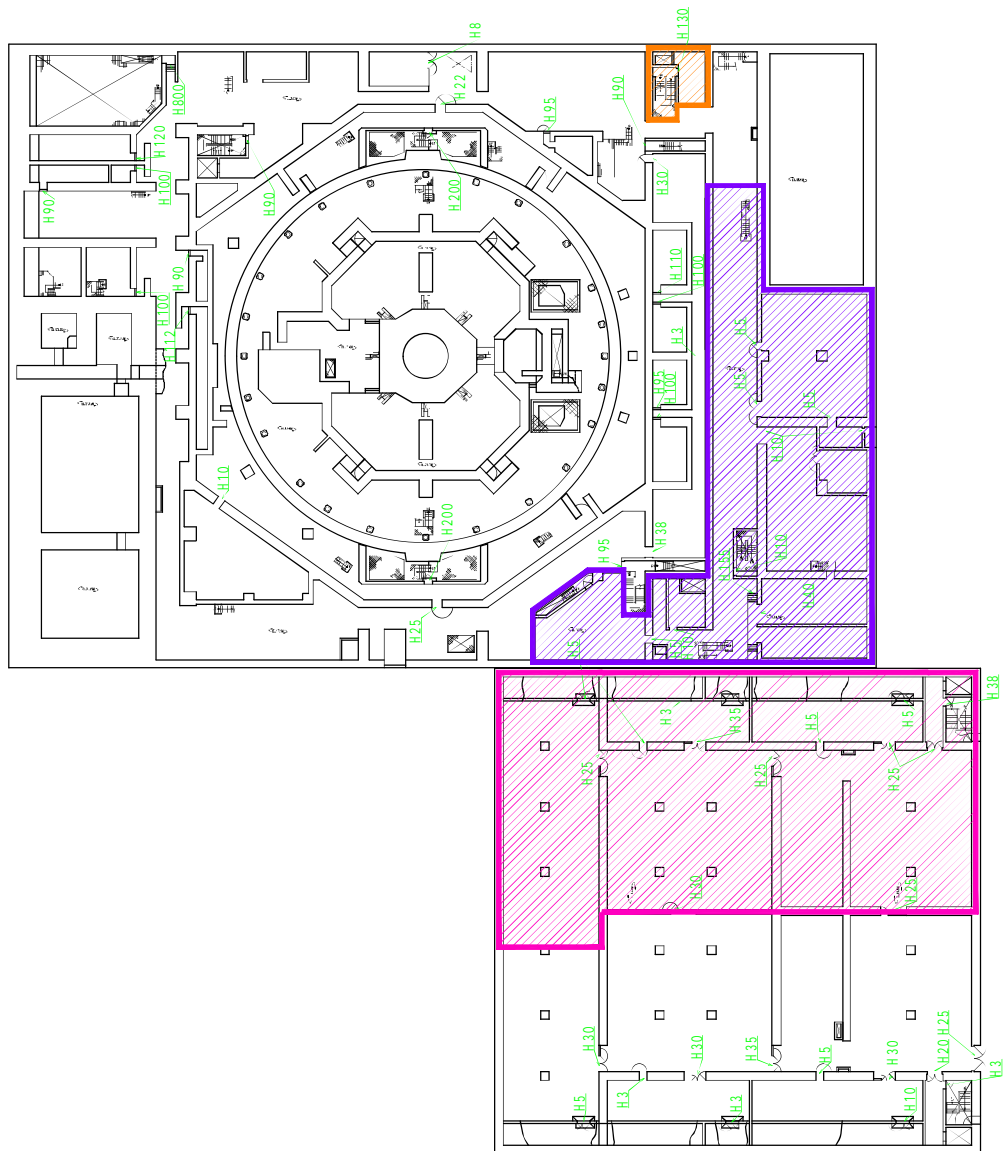
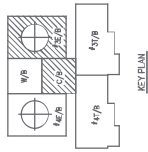
大館3号機 図.26.0M 図.26.1M
消火栓からの放水による時間設定エリア



- : 0.5時間放水エリア
- : 1.0時間放水エリア
- : 1.5時間放水エリア
- その他 : 3時間放水エリア

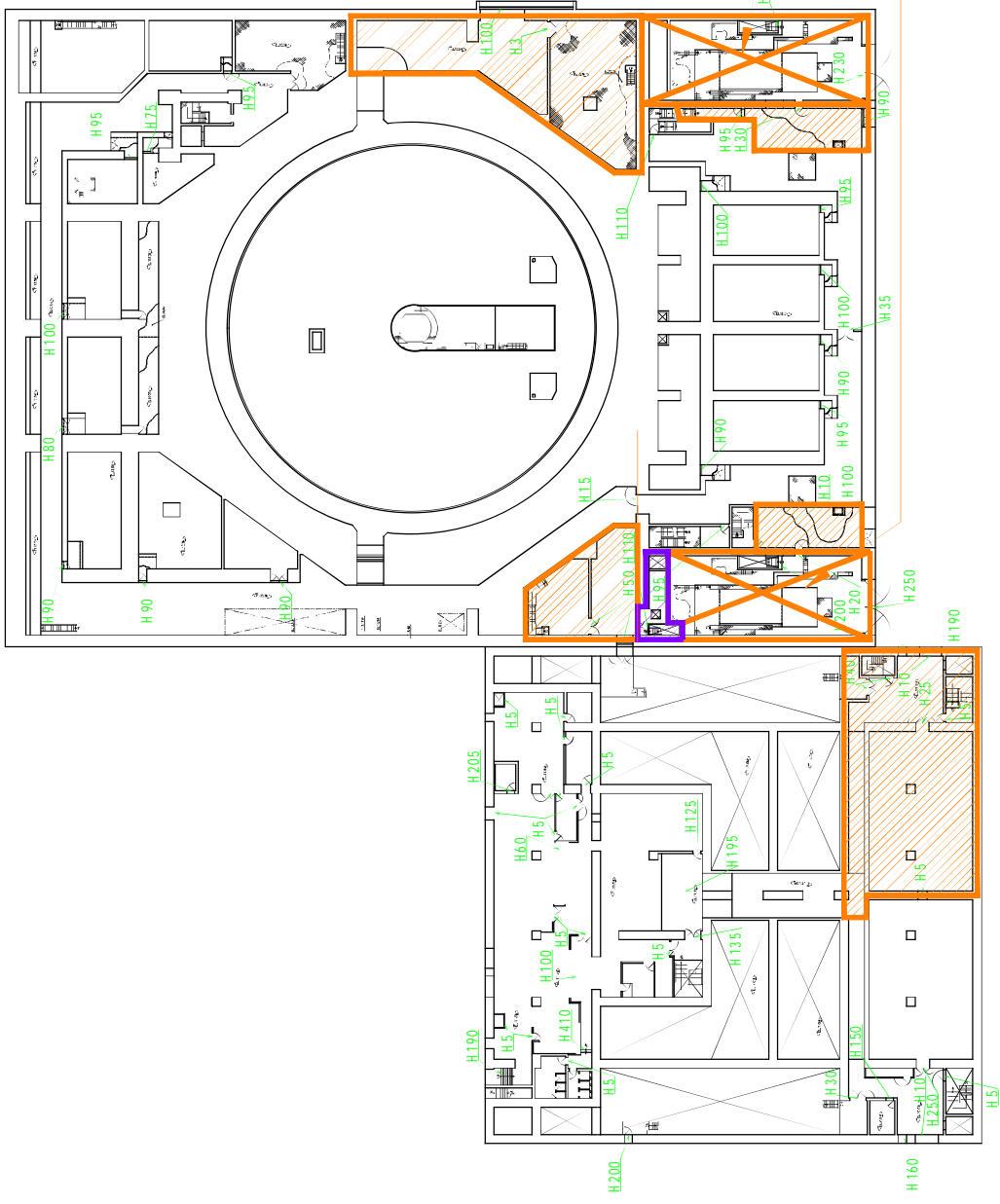
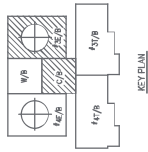


大館3号機 EL.22.0M, EL.21.8M
消火栓からの放水による時間設定エリア



- : 0.5時間放水エリア
- : 1.0時間放水エリア
- : 1.5時間放水エリア
- その他 : 3時間放水エリア

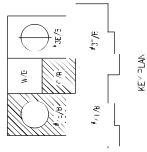
大船3号機 EL.17.1M, EL.15.8M
消火栓からの放水による時間設定エリア



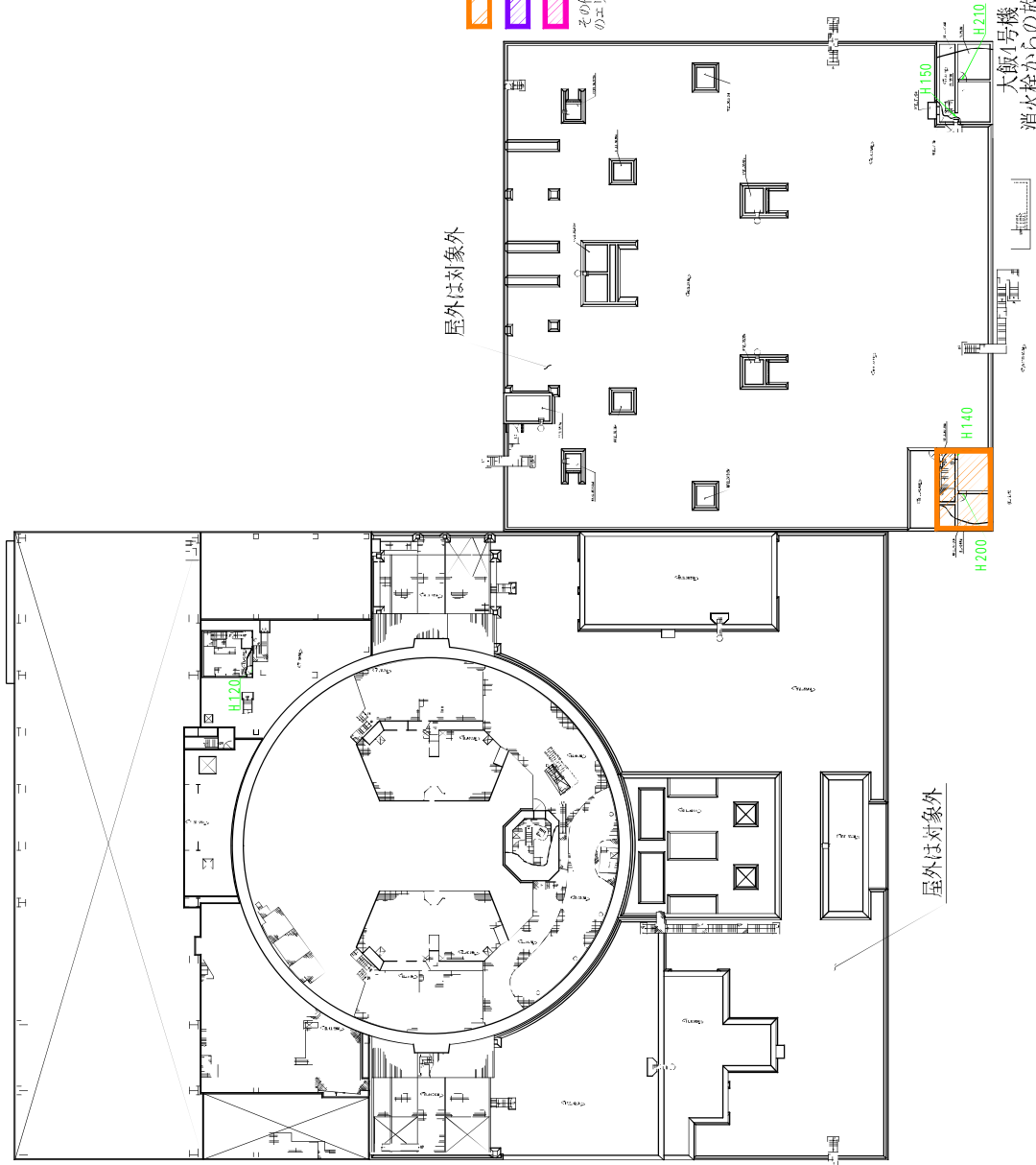
- : 0.5時間放水エリア
 - : 1.0時間放水エリア
 - : 1.5時間放水エリア
 - : 3時間放水エリア
- その他の放水エリア

DC室内は100%消火で対応するため消火水の放火は想定しない

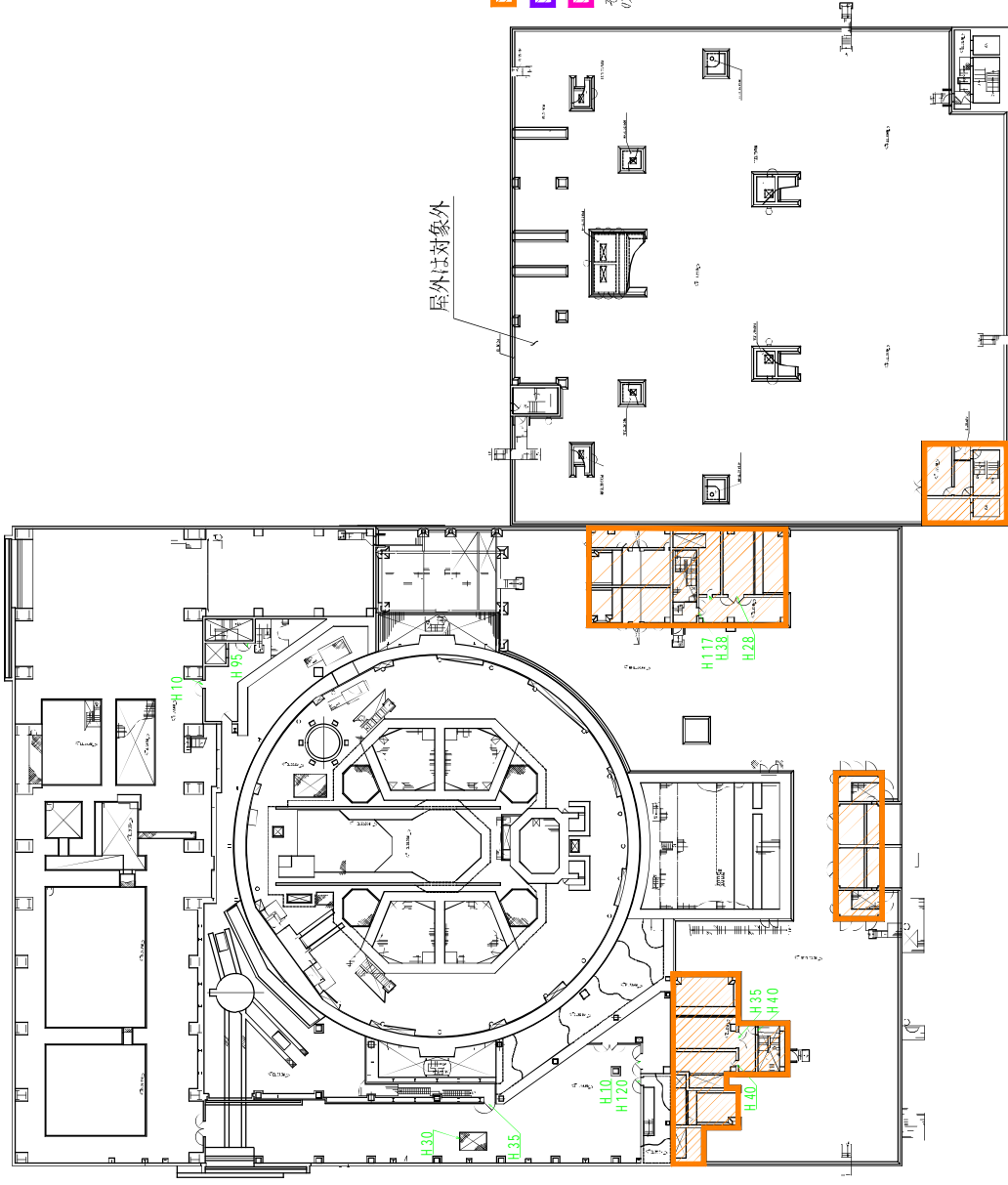
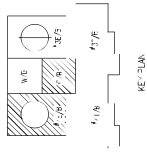
大船3号機 EL 10.0M
消火栓からの放水による時間設定エリア



- : 0.5時間放水エリア
- : 1.0時間放水エリア
- : 1.5時間放水エリア
- : その他
のエリア ; 3時間放水エリア



大館4号機 図. 38.7M, PL. 42.6M
 消火栓からの放水による時間設定エリア



- : 0.5時間放水エリア
- : 1.0時間放水エリア
- : 1.5時間放水エリア
- その他
 のエリア : 3時間放水エリア

大船4号機 図. 33. 6M
 消火栓からの放水による時間設定エリア

消火栓からの放水による溢水影響評価

1. はじめに

消火活動における放水量をもとに、各エリアの消火栓からの放水による溢水影響評価を実施する。

2. 溢水量の算定

消火活動における放水時間の設定については、原則として3時間とするが、火災源が小さいエリアについては、「火災荷重」および「等価時間」を考慮し、消火栓からの放水量を下記のとおり評価した。

$$\cdot 130\ell/\text{min}/\text{個} \times 0.5 \text{ 時間} \times 2 \text{ 個} = 7.8\text{m}^3$$

$$\cdot 130\ell/\text{min}/\text{個} \times 1.0 \text{ 時間} \times 2 \text{ 個} = 15.6\text{m}^3$$

$$\cdot 130\ell/\text{min}/\text{個} \times 1.5 \text{ 時間} \times 2 \text{ 個} = 23.4\text{m}^3$$

$$\cdot 130\ell/\text{min}/\text{個} \times 3 \text{ 時間} \times 2 \text{ 個} = 46.8\text{m}^3$$

3. 溢水影響評価

消火水の放水量を各防護対象区画にて評価し、問題ないことを確認した。なお、区画によっては消火活動により防護対象区画エリアの扉を解放することを考慮した滞留面積を用いて評価した。結果を別紙1に示す。

・各建屋、各フロアで管理区域/非管理区域毎に、機能喪失高さが低く当該エリアでクリティカルになる設備を選定し、溢水影響を確認することにより当該エリアの評価を実施した。なお、放水活動ために扉の開放が想定される場合には、隣接エリアについても滞留エリアとして考慮した。

・エリアによっては、保守的に通路部だけの滞留面積をもとに溢水水位を算定し、機能喪失高さと比較を行うことにより、通路に面した各室の評価をまとめて行った。

代表例として、狭隘な区画及び機能喪失高さが一般的に低い電気盤が設置されている区画の評価結果を例として以下に示す。

- ・狭隘な区画である電動補助給水ポンプ室は A、B ポンプエリアが分離されており、消火活動時には扉を解放して放水することから、両エリアに溢水が伝播した状態の溢水水位を評価し、両トレンが同時に機能を失わないことを確認した。
- ・防護対象設備の機能喪失高さが低い区画であり、かつ室内に消火栓が設置されている安全補機開閉器室は、A トレン室内での消火水の放水を想定する場合、室内で滞留することとなるが、溢水水位に対して機能喪失高さが上回るため、問題ない。なお、B トレン室が分離されているので、両エリアが同時に影響を受けるような消火活動時には扉を解放して放水することから、その場合には更に水位が低くなる。

消火栓からの放水による影響評価

| 階層 | 区域区分 | EL. [m] | 消火エリア 番号 | 放水量 [m³] | 滞留面積 [m²] | 溢水水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床 [m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 | | |
|------------------|---------|---------|---------------------------------|-------------|--------------|-------------|---|---------------------|---|-------|-------|--|--|---|
| 3号機 原子炉 建屋 | 管理区域 | 17.1 | 39 3EB-1 | 46.8 | 167.6 | 0.279 | 3原子炉補機冷却水サーチャータンク水位 (3LT 1200, 1201) | 40.1 | 1.100 | < | | | | |
| | | | 3EB-2A 3EB-2B | 46.8 | 95.2 | 0.492 | 3A, 3B制御用空気供給母管圧力 (3PT 1800, 1810) | 18.0 | 0.900 | < | | 滞留面積が狭い3EB-2Aで評価する。 | | |
| | | | 3EB-3 | 46.8 | 1109.8 | 0.042 | 3A, 3B燃料取替用水ポンプ | 17.64 | 0.540 | < | | 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(3EB-4)で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-3へ伝播する。よって、3EB-3, 4で最も機能喪失高さが低い燃料取替用水ポンプを対象に評価する(3EB-4の評価は本評価に包絡される)。 | | |
| | | 17.1 | 3EB-5A 3EB-5B | 46.8 | 68.5 | 0.683 | 3A, 3B安全補機室冷却ファン | 17.94 | 0.840 | < | | 滞留面積が狭い3EB-5Bで評価する。 | | |
| | | | 3EB-6A 3EB-6B | 46.8 | 88.9 | 0.527 | 3A, 3B熱除去ポンプミニマムフローライン止め弁 (3FV 601, 611) | 17.8 | 0.700 | < | | 滞留面積が狭い3EB-6Bで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-6Bへ消火水が伝播する。よって、3EB-6Bと3EB-6Bの滞留面積を用いて評価する。 | | |
| | | 10.0 | 3EB-7 | 46.8 | 95.1 | 0.492 | 3充てんライン格納容器隔離弁 (3V CS 457) | 21.6 | 4.500 | < | | | | |
| | | | 3EB-8 | 46.8 | 638 | 0.073 | 3充てんポンプ速度制御補助装置 (3C3AC) | 10.2 | 0.200 | < | | 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(3EB-9A, 9B, 10A, 10B, 10C, 11, 12)の消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-8へ伝播する。よって、当フロアの管理区域で最も機能喪失高さが低い充てんポンプ速度制御補助装置を対象に評価する(3EB-9A, 9B, 10A, 10B, 10C, 11, 12の評価は本評価に包絡される)。 | | |
| | | 3.5 | 3EB-13 | 46.8 | 50.2 | 0.932 | 3ほう酸タンク室温度(1), (2), (3), (4) (3TS 2602, 2603, 2612, 2613) | 11.3 | 1.300 | < | | | | |
| | | | 3EB-14A 3EB-14B | 46.8 | 161.2 | 0.290 | 3A, 3B熱除去冷却器冷却水止め弁 (3V CC 114A, B) | 10.6 | 0.600 | < | | 滞留面積が狭い3EB-14Aで評価する。 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(3EB-15A, 16A)の消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-14Aへ伝播する。よって、3EB-14A, 15A, 16Aで最も機能喪失高さが低いA熱除去冷却器冷却水止め弁を対象に評価する(3EB-15A, 15B, 16A, 16Bの評価は本評価に包絡される)。 | | |
| | | 3.5 | 3EB-17A 3EB-17B | 46.8 | 198.4 | 0.236 | 3A, 3B熱除去ポンプ出口流量 (3FT 601, 611) | 4.6 | 1.100 | < | | 滞留面積が狭い3EB-17Aで評価する。 | | |
| | | | 3EB-18A 3EB-18B | 46.8 | 198.4 | 0.236 | 3A, 3B高圧注入ポンプ | 3.85 | 0.350 | < | | 当エリア内での消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-17A, 17Bへ消火水が伝播する。よって、3EB-17A, 17Bの内、滞留面積が小さい3EB-17Aにて評価する。 | | |
| | | | 3EB-19A 3EB-19B | 46.8 | 198.4 | 0.236 | 3A, 3B熱除去ポンプ | 4.35 | 0.850 | < | | 当エリア内での消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-17A, 17Bへ消火水が伝播する。よって、3EB-17A, 17Bの内、滞留面積が小さい3EB-17Aにて評価する。 | | |
| | | 3.5 | 非管理区域 | 33.6 | 3EB-N1 | 7.8 | 51.8 | 0.151 | 3B1, 3B2ディーゼル発電機室給気ファン | 34.25 | 0.650 | < | | 当エリア内での消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N2へ消火水が伝播する。よって、3EB-N1と3EB-N2を合わせた滞留面積にて評価する |
| | | | | | 3EB-N2 | 7.8 | 26.7 | 0.292 | 3B1・3B2ディーゼル発電機室給気ファン現 場操作箱(3LB 45) | 34.8 | 1.200 | < | | |
| 3EB-N3 | 7.8 | | | | 34.1 | 0.229 | 3A1, 3A2ディーゼル発電機室給気ファン | 34.25 | 0.650 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N4へ消火水が伝播する。よって、3EB-N3と3EB-N4を合わせた滞留面積にて評価する | | |
| 3EB-N4 | 7.8 | | | | 9.8 | 0.796 | 3A1・A2ディーゼル発電機室給気ファン現 場操作箱(3LB 44) | 34.8 | 1.200 | < | | | | |
| 29 | 3EB-N5 | | | 46.8 | 208.4 | - | 3A, 3B, 3C, 3D主蒸気隔離弁 (3V MS 633A, B, C, D) | 29.6 | 0.600 | - | | 主蒸気管は下階と連通しているため、3EB-N7で評価する | | |
| | 3EB-N6 | | | 7.8 | 83.64 | - | 3A, 3B, 3C, 3D主蒸気圧力 (3PT 465, 466, 467, 468, 475, 476, 477, 478, 485, 486, 487, 488, 495, 496, 497, 498) | 30.0 | 1.000 | - | | 他のエリア(EL. 26, 0M)より高いフロアに設置されており、埋等の当水経路上の障害物がないため、当エリアに滞留することはないことから、影響はない。 | | |
| 26 | 3EB-N7 | | | 46.8 | 211.2 | 0.222 | 3A, 3B, 3C, 3D補助給水隔離弁 (3V FV 674A, B, C, D) | 26.88 | 0.880 | < | | | | |
| | 3EB-N8 | | | 7.8 | 105.3 | 0.074 | 3換水ビット水位 (3LT 3760, 3761) | 26.05 | 0.050 (0.100) | < | | 防護対象設備周囲に100mmの堰を設置することから影響はない。 | | |
| 21.3 | 3EB-N10 | | | 7.8 | 88.6 | 0.088 | 3電動補助給水ポンプ室排気タンク (3D VS 411A, B) | 23.3 | 2.000 | < | | | | |
| 10.0 | 3.5 | | | 17.1 | 3EB-N11 | 15.6 | 282.2 | 0.055 | 3A・C, 3B・D制御用空気母管連絡弁 (3V 4A 601A, B) | 17.6 | 0.500 | < | | |
| | | 3EB-N12 | 15.6 | | 282.2 | 0.055 | 3A, 3B制御用空気圧縮機室給気ファン | 17.24 | 0.140 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N11へ消火水が伝播する。よって、3EB-N11の滞留面積にて評価する。 | | |
| | | 3EB-N13 | 15.6 | | 282.2 | 0.055 | 3原子炉トリップ遮断器盤 (3RT5) | 17.162 | 0.062 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N11へ消火水が伝播する。よって、3EB-N11の滞留面積にて評価する。 | | |
| | | 3EB-N14 | 15.6 | | 282.2 | 0.055 | 3A, 3B電動補助給水ポンプ室給気ファン | 17.26 | 0.160 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N11へ消火水が伝播する。よって、3EB-N11の滞留面積にて評価する。 | | |
| | | 10.0 | 3EB-N15A 3EB-N15B | - | - | - | ディーゼル発電機 | - | - | - | | DG室はCO ₂ 消火であることからエリア内の消火水の放水は想定しない。 隣接する3EB-N16A, N16Bからの消火水が伝播するが、DG室は床開口で下階と連通しているため3EB-N19A, N19Bの評価に包絡される | | |
| | | | 3EB-N16A 3EB-N16B | 7.8 | 53.6 | 0.146 | 3A, 3Bディーゼル発電機制御盤 (3DSC A, B) | 10.095 | 0.095 | < | | 溢水水位と比べて、機能喪失高さが低いA/Bトレンが東西で離れて配置されており、同時に水没することはないため問題ない。 | | |
| | | 3.5 | 3EB-N17A 3EB-N17B | 7.8 | 49.4 | 0.158 | 3タービン動補助給水ポンプ起動盤A, B | 10.2 | 0.200 | < | | 3EB-N17Aで消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3EB-N17Bへ消火水が伝播する。よって3EB-N17Bの滞留面積にて評価する。 | | |
| | | | 3EB-N18 3EB-N19A 3EB-N19B | 15.6 | 70.7 | 0.221 | 3タービン動補助給水ポンプ | 4.100 | 0.600 | < | | 溢水水位と比べて、機能喪失高さが低いA、電動補助給水ポンプが上階にあることから、同時に水没することはないため問題ない。 | | |

 : 代表評価エリア
 1 : 30時間の放水を想定
 2 : 0.58時間の放水を想定
 3 : 1.08時間の放水を想定
 4 : 1.58時間の放水を想定
 5 : 対象のエリアで最も機能喪失レベルが低い機器を表す

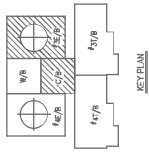
| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m³] | 滞留面積 [m²] | 溢水位 [m] | 防衛対象設備 5 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床上面) | 影響評価 | 判定 | 備考 | |
|----------|-------|---------|--------------------|-------------|--------------|------------|----------|--|-----------------|------------------|----|----|---|
| 制御 建屋 | 非管理区域 | 28.7 | 3CB-N1 | 7.8 | 2 | 349.6 | 0.022 | 3安全系電気盤室用気止めダンパVA (3D-VS-636) | 31.0 | 2.300 | < | | |
| | | 26.1 | 3CB-N2 | 15.6 | 3 | 603.3 | 0.026 | 3A,3B中央制御室循環ファン | 26.4 | 0.300 | < | | |
| | | 21.8 | 3CB-N3 | 23.4 | 4 | 430.8 | 0.054 | 3所内盤 (3HSB) | 21.9 | 0.100 | < | | |
| | | | 3CB-N4A 3CB-N4B | 7.8 | 2 | 67.8 | 0.115 | 3原子炉安全保護計装盤 (3RPR -) | 21.828 | 0.028 | | | 滞留面積が狭い3CB-N4Aエリアで評価する。 溢水位と比べて、機能喪失高さが低いから、当エリア入口にはH250mmの堰を 設置していることから、通路部等の他のエリアに伝播することはないため A/Bトレンが同時に機能喪失することはない。 |
| | | | 3CB-N5 | 23.4 | 4 | 120.5 | 0.194 | 3原子炉安全保護計装盤 (3RPR -) | 21.828 | 0.028 (0.250) | < | | 当エリアでの消火活動による、隣接エリアへの消火水の伝播による影響を確認 する。当エリア内での消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3CB-N6 へ消火水が伝播する。よって、3CB-N5と3CB-N6を合わせた滞留面積で評価す る。3CB-N4A、N4Bに対しては、溢水位が堰高さ(H250mm)を超えないため伝播 しない。また、3CB-N3に対しては3CB-N3の評価で問題ないことを確認してい る。(3CB-N5と3CB-N6に防衛対象設備はないが、3CB-N5の溢水量が多いことか ら影響を確認) |
| | | 15.8 | 3CB-N7A 3CB-N7B | 23.4 | 4 | 582.8 | 0.040 | 3A1,3A2,3B1,3B2パワーセンタ (3PC-A1,A2,B1,B2) | 15.862 | 0.062 | < | | 片トレンの滞留面積では水位が高い(約0.1m)ため、機能喪失するにはA/Bト レンが同時に水没する必要があることから、3CB-N7Aと3CB-N7Bを合わせた滞留 面積で評価する。 |
| | | | 3CB-N8A 3CB-N8B | 23.4 | 4 | 328.2 | 0.071 | 3A,3B,3C,3D計装用電源盤(1)~(3) (31BC-A,B,C,D) | 15.9 | 0.100 | < | | 滞留面積が狭い3CB-N8Aで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3CB-N7Aへ消火 水が伝播する。よって、3CB-N7Aと3CB-N8Aを合わせた滞留面積で評価する。 |
| | | | 3CB-N9A 3CB-N9B | 23.4 | 4 | 347.2 | 0.067 | 3A,3B蓄電池 | 16.602 | 0.802 | < | | 滞留面積が狭い3CB-N9Aで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、3CB-N8A及び 3CB-N7Aへ消火水が伝播する。よって、3CB-N7Aと3CB-N8Aと3CB-N9Aを合わ せた滞留面積で評価する。 溢水位に対して、パワーセンタの機能喪失高さの方が低いが、A/Bト レンが機能喪失するにはもう一方のパワーセンタのエリア(3CB-N7B)まで 溢水が伝播する必要があり、その場合は滞留面積が増え水位が下がる(約 0.036m)ため、問題ない。 |
| | | 10.0 | 3CB-N10 | 7.8 | 2 | 198.1 | 0.039 | 3A,3B,3C,3D空調用冷凍機 | 10.4 | 0.400 | < | | |
| | | 7.0 | 3CB-N11 | 46.8 | 1 | 229.3 | 0.204 | 3A・C,3B・C原子炉補機冷却水戻り母管連 絡弁 (3V-CC-043A,B) | 7.7 | 0.700 | < | | |
| | | | 3CB-N12 | 46.8 | 1 | 170 | 0.275 | 3A,3B,3C,3D原子炉補機冷却水ポンプ | 9.47 | 2.470 | < | | |
| | | | 3CB-N13 | 46.8 | 1 | 121 | 0.387 | 3B原子炉補機冷却水冷却器海水止め弁 (3V-SII-570B) | 9.7 | 2.700 | < | | |
| | | 28.7 | 4CB-N1 | 7.8 | 2 | 349.6 | 0.022 | 4安全系電気盤室用気止めダンパVA (4D-VS-636) | 31.1 | 2.400 | < | | |
| | | 26.1 | 4CB-N2 | 7.8 | 2 | 603.3 | 0.013 | 4A,4B中央制御室循環ファン | 26.2 | 0.100 | < | | |
| | | 21.8 | 4CB-N3 | 15.6 | 3 | 430.8 | 0.036 | 4所内盤 (4HSB) | 21.9 | 0.100 | < | | |
| | | | 4CB-N4A 4CB-N4B | 15.6 | 3 | 67.8 | 0.230 | 4原子炉安全保護計装盤 (4RPR -) | 21.828 | 0.028 (0.150) | | | 滞留面積が狭い4CB-N4Aで評価する。 溢水位と比べて、機能喪失高さが低いから、当エリア入口にはH150mmの堰 を設置していることから、溢水の一部は当エリアに貯水され、残り約5.5m ³ (67.8m ³ ×0.15m=10.1m ³ 、15.6m ³ ×0.1m=1.56m ³)が4CB-N5へ伝播する。こ の時の4CB-N5の水位は約0.10mであり、4CB-N4Bの入口堰(H150mm)以下である ことから4CB-N4Bには溢水は伝播しないので、A/Bトレンの両方が同時に影響を 受けないため、問題ない。 |
| | | | 4CB-N5 | 15.6 | 3 | 131.9 | 0.118 | 4原子炉安全保護計装盤 (4RPR -) | 21.828 | 0.028 | > | | 当エリアでの消火活動による、隣接エリアへの消火水の伝播による影響を確認 する。 4CB-N4A、N4Bに対しては、溢水位が堰高さ(H150mm)を超えないため伝播し ない。また、4CB-N3に対しては、4CB-N3の評価で問題ないことを確認してい る。 |
| | | 15.8 | 4CB-N6A 4CB-N6B | 23.4 | 4 | 578.8 | 0.041 | 4A1,4A2,4B1,4B2パワーセンタ (4PC-A1,A2,B1,B2) | 15.862 | 0.062 | < | | 片トレンの滞留面積では水位が高い(約0.1m)ため、機能喪失するにはA/Bト レンが同時に水没する必要があることから、4CB-N6Aと4CB-N6Bを合わせた滞留 面積で評価する。 |
| | | | 4CB-N7A 4CB-N7B | 23.4 | 4 | 325.7 | 0.072 | 4A,4B,4C,4D計装用電源盤(1)~(3) (41BC-A,B,C,D) | 15.9 | 0.100 | < | | 滞留面積が狭い4CB-N7Aで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4CB-N6Aへ消火 水が伝播する。よって、4CB-N6Aと4CB-N7Aを合わせた滞留面積で評価する。 |
| | | | 4CB-N8A 4CB-N8B | 23.4 | 4 | 343.4 | 0.068 | 4A,4B蓄電池 | 16.602 | 0.802 | < | | 滞留面積が狭い4CB-N8Aで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4CB-N7Aエリア 及び4CB-N6Aへ消火水が伝播する。よって、4CB-N6Aと4CB-N7Aと4CB-N8Aを 合わせた滞留面積で評価する。 溢水位に対して、パワーセンタの機能喪失高さの方が低いが、A/Bト レンが機能喪失するにはもう一方のパワーセンタのエリア(4CB-N8B)まで 溢水が伝播する必要があり、その場合は滞留面積が増え水位が下がる(約 0.036m)ため、問題ない。 |
| | | 10.0 | 4CB-N9 | 7.8 | 2 | 198.1 | 0.039 | 4A,4B,4C,4D空調用冷凍機 | 10.4 | 0.400 | < | | |
| | | 7.0 | 4CB-N10 | 46.8 | 1 | 226.3 | 0.207 | 4A・C,4B・C原子炉補機冷却水戻り母管連 絡弁 (4V-CC-043A,B) | 7.7 | 0.700 | < | | |
| | | | 4CB-N11 | 46.8 | 1 | 170 | 0.275 | 4A,4B,4C,4D原子炉補機冷却水ポンプ | 9.47 | 2.470 | < | | |
| | | | 4CB-N12 | 46.8 | 1 | 121 | 0.387 | 4B原子炉補機冷却水冷却器海水止め弁 (4V-SII-570B) | 9.7 | 2.700 | < | | |

- ：代表評価エリア
1: 3時間の放水を想定
2: 0.5時間の放水を想定
3: 1.0時間の放水を想定
4: 1.5時間の放水を想定
5: 対象のエリアで最も機能喪失レベルが低い機器を表す

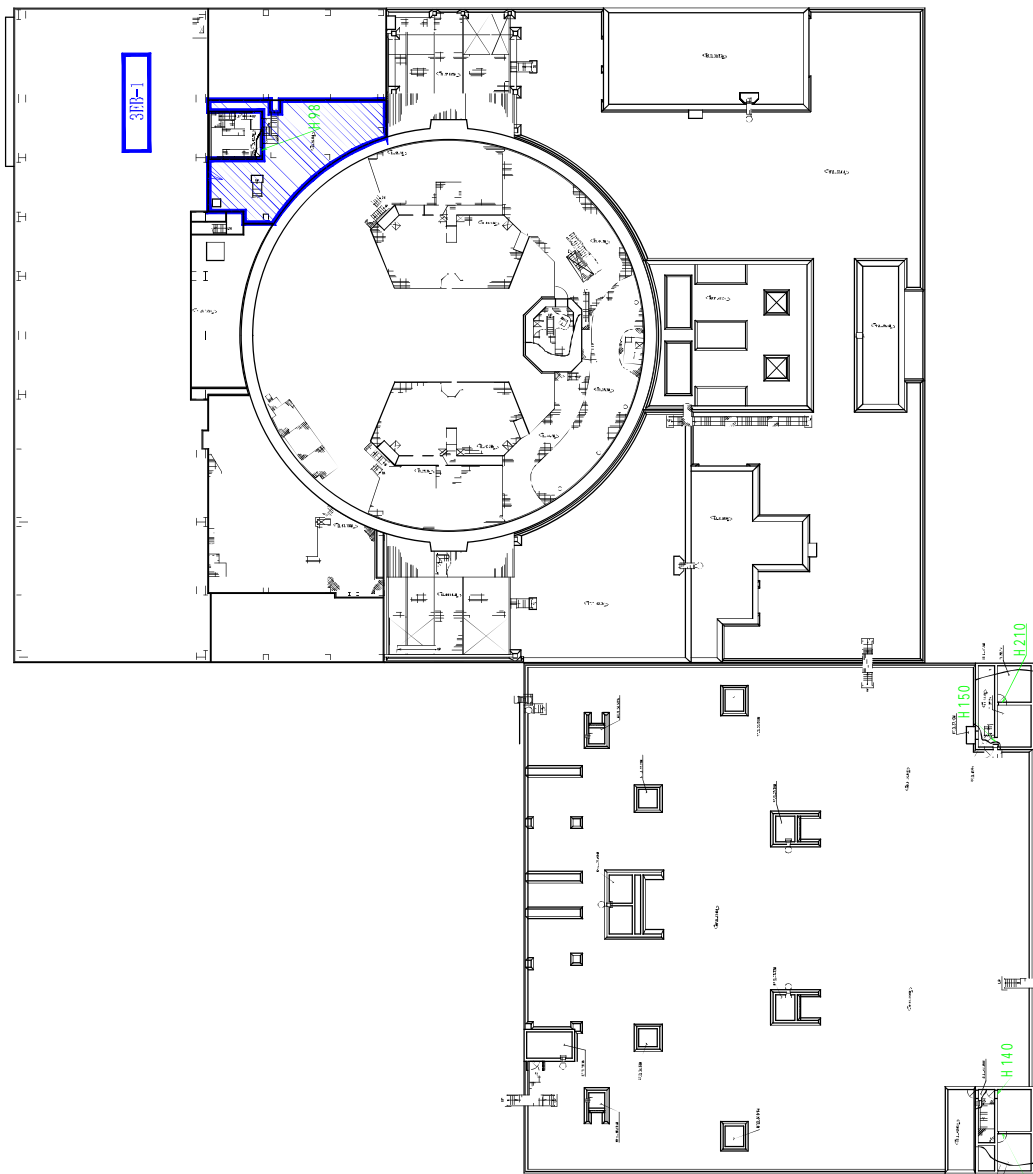
| 階層 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m³] | 滞留面積 [m²] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 5 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床土[m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 | |
|------------------|----------------------|---------|--------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|--|---|-------------------|-------|---|---|---|
| 4号機 原子炉 建屋 | 管理区域 | 39 | 4EB-1 | 46.8 | 1 | 167.6 | 0.279 | 4原子炉補機冷却水サージタンク水位 (4LT-1200,1201) | 40.0 | 1.000 | < | | |
| | | | 4EB-2A 4EB-2B | 46.8 | 1 | 95.2 | 0.492 | 4A,4B制御用空気供給母管圧力 (4PT-1800,1810) | 18.2 | 1.100 | < | | 滞留面積が狭い4EB-2Aエリアで評価する。 |
| | | | 4EB-3 | 46.8 | 1 | 1142 | 0.041 | 4A,4B燃料取替用水ポンプ | 17.65 | 0.550 | < | | 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(4EB-4)の消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-3へ伝播する。よって、4EB-3、4で最も機能喪失高さが低い燃料取替用水ポンプを対象に評価する(4EB-4の評価は本評価に包絡される)。 |
| | | 17.1 | 4EB-5A 4EB-5B | 46.8 | 1 | 64.7 | 0.723 | 4A,4B安全補機室冷却ファン | 17.9 | 0.800 | < | | 滞留面積が狭い4EB-5Bで評価する。 |
| | | | 4EB-6A 4EB-6B | 46.8 | 1 | 89.15 | 0.525 | 4A,4B余熱除去ポンプミニマムフローライン止め弁 (4FV-601,611) | 17.8 | 0.700 | < | | 滞留面積が狭い4EB-6Bで評価する。 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-6Bへ消火水が伝播する。よって、4EB-5Bと4EB-6Bの滞留面積を用いて評価する(4EB-6Bの評価は本評価に包絡される)。 |
| | | | 4EB-7 | 46.8 | 1 | 95.1 | 0.492 | 4充てんライン格納容器隔離弁 (4V-CS-457) | 21.6 | 4.500 | < | | |
| | | 10.0 | 4EB-8 | 46.8 | 1 | 585.3 | 0.080 | 4充てんポンプ速度制御補助盤 (4CSAC) | 10.2 | 0.200 | < | | 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(4EB-9A,9B,10A,10B,10C,11,12)の消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-8へ伝播する。よって、4EB-8の滞留面積が狭い4EB-8を対象に評価する(4EB-9A,9B,10A,10B,10C,11,12の評価は本評価に包絡される)。 |
| | | | 4EB-13 | 46.8 | 1 | 50.2 | 0.932 | 4ばう酸タンク室温度(1),(2),(3),(4) (4TS-2602,2603,2612,2613) | 11.4 | 1.400 | < | | |
| | | | 4EB-14A 4EB-14B | 46.8 | 1 | 146.5 | 0.320 | 4A,4B余熱除去冷却器冷却水止め弁 (4V-CC-114A,B) | 10.6 | 0.600 | < | | 滞留面積が狭い4EB-14Aで評価する。 消火栓が設置されていない隣接するエリア内(4EB-15A,16A)の消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-14Aへ伝播する。よって、4EB-14A,15A,16Aで最も機能喪失高さが低いA余熱除去冷却器冷却水止め弁を対象に評価する(4EB-15A,15B,16A,16Bの評価は本評価に包絡される)。 |
| | | 3.5 | 4EB-17A 4EB-17B | 46.8 | 1 | 189.1 | 0.248 | 4A,4B余熱除去ポンプ出口流量 (4FT-601,611) | 4.5 | 1.000 | < | | 滞留面積が狭い4EB-17Aで評価する。 |
| | 4EB-18A 4EB-18B | | 46.8 | 1 | 219.7 | 0.213 | 4A,4B高圧注入ポンプ | 3.85 | 0.350 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-17A,17Bへ消火水が伝播する。よって、4EB-17A,17Bの内、滞留面積が小さい4EB-17Aにて評価する。 | |
| | 4EB-19A 4EB-19B | | 46.8 | 1 | 198.4 | 0.236 | 4A,4B余熱除去ポンプ | 4.35 | 0.850 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-17A,17Bへ消火水が伝播する。よって、4EB-17A,17Bの内、滞留面積が小さい4EB-17Aにて評価する。 | |
| | 非管理区域 | 33.6 | 4EB-N1 | 7.8 | 2 | 51.8 | 0.151 | 4B1,4B2ディーゼル発電機室給気ファン | 33.9 | 0.300 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N2へ消火水が伝播する。よって、4EB-N1と4EB-N2を合わせた滞留面積にて評価する。 |
| | | | 4EB-N2 | 7.8 | 2 | 26.7 | 0.292 | 4B1・4B2ディーゼル発電機室給気ファン現場操作箱(4LB-85) | 34.8 | 1.200 | < | | |
| | | | 4EB-N3 | 7.8 | 2 | 34.1 | 0.229 | 4A1,4A2ディーゼル発電機室給気ファン | 33.9 | 0.300 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N4へ消火水が伝播する。よって、4EB-N3と4EB-N4を合わせた滞留面積にて評価する。 |
| | | | 4EB-N4 | 7.8 | 2 | 9.8 | 0.796 | 4A1・A2ディーゼル発電機室給気ファン現場操作箱(4LB-84) | 34.8 | 1.200 | < | | |
| | | 29 | 4EB-N5 | 46.8 | 1 | 211.2 | - | 4A,4B,4C,4D主蒸気隔離弁 (4V-MS-633A,B,C,D) | 29.6 | 0.600 | - | | 主蒸気管は下階と連通しているため、4EB-N7で評価する |
| | | | 4EB-N6 | 7.8 | 2 | 83.64 | - | 4A,4B,4C,4D主蒸気圧力 (4PT-465,466,467,468,475,476,477,478,485,486,487,488,495,496,497,498) | 30.0 | 1.000 | - | | 他のエリア(EL.26.0M)より高いフロアに設置されており、壁等の温水経路上の障害物がないため、当エリアに滞留することはないことから、影響はない。 |
| 26 | | 4EB-N7 | 46.8 | 1 | 208.4 | 0.225 | 4A,4B,4C,4D補助給水隔離弁 (4V-FW-674A,B,C,D) | 26.93 | 0.930 | < | | | |
| | | 4EB-N8 | 7.8 | 2 | 105.3 | 0.074 | 4種水ピット水位 (4LT-3760,3761) | 26.06 | 0.060 (0.100) | < | | 防護対象設備周囲に100mmの堰を設置することから影響はない。 | |
| 21.3 | | 4EB-N11 | 7.8 | 2 | 77.9 | 0.100 | 4電動補助給水ポンプ室排気ダンパ(A,B) (4D-4S-411A,B) | 23.7 | 2.400 | < | | | |
| | | 4EB-N12 | 15.6 | 3 | 283.2 | 0.055 | 4A・C,4B・C制御用空気母管連絡弁 (4V-4A-601A,B) | 17.6 | 0.500 | < | | | |
| | 4EB-N13 | 15.6 | 3 | 283.2 | 0.055 | 4A,4B制御用空気圧縮機室給気ファン | 17.4 | 0.300 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N12へ消火水が伝播する。よって、4EB-N12の滞留面積にて評価する。 | | |
| | 4EB-N14 | 15.6 | 3 | 283.2 | 0.055 | 4原子炉トリップ遮断器盤 (4RTS) | 17.162 | 0.062 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N12へ消火水が伝播する。よって、4EB-N12の滞留面積にて評価する。 | | |
| | 4EB-N15 | 15.6 | 3 | 283.2 | 0.055 | 4A,4B電動補助給水ポンプ室給気ファン | 17.26 | 0.160 | < | | 当エリア内で消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N12へ消火水が伝播する。よって、4EB-N12の滞留面積にて評価する。 | | |
| 10.0 | 4EB-N16A 4EB-N16B | - | - | - | - | ディーゼル発電機 | - | - | - | | D6室はCO2消火であることからエリア内の消火水の放水は想定しないが、隣接する4EB-N17A,N17Bからの消火水が伝播するが、D6室は床開口で下階と連通しているため4EB-N20A,N20Bの評価に包絡される | | |
| | 4EB-N17A 4EB-N17B | 7.8 | 2 | 53.6 | 0.146 | 4A,4Bディーゼル発電機制御盤 (4DSC-A,B) | 10.095 | 0.095 | < | | 溢水位と比べて、機能喪失高さが低いが、A/Bトレンが東西で離れており、同時に水没することはないため問題ない。 | | |
| | 4EB-N18A 4EB-N18B | 7.8 | 2 | 47.9 | 0.163 | 4タービン動補助給水ポンプ起動盤A,B (4TDF-A,B) | 10.2 | 0.200 | < | | 4EB-N18Aで消火活動を行う際は、扉を開けて放水するため、4EB-N18Bへ消火水が伝播する。よって4EB-N18Bの滞留面積にて評価する。 | | |
| | 4EB-N19 | 15.6 | 3 | 24.8 | 0.629 | 4タービン動補助給水ポンプ | 4.1 | 0.600 | < | | 溢水位と比べて、機能喪失高さが低いが、電動補助給水ポンプが上階にあることから、同時に水没することはないため問題ない。 | | |
| 3.5 | 4EB-N20A 4EB-N20B | 23.4 | 4 | 70.7 | 0.331 | 4A,4Bディーゼル発電機 | 3.78 | 0.280 | < | | D6室はCO2消火であることから、エリア内での消火水の放水は想定しないが、E/B非管理区域のドレンがD6室内のD6サンプに回収されることから4E/B非管理区域で最大の放水量を想定する。 溢水位と比べて、機能喪失高さが低いが、A/Bトレンが同時に水没することはないため問題ない(ドレンの逆流により4EB-N20Aから4EB-N20Bへ伝播するが、滞留面積が約2倍に水位が約1.65mに下がるため、問題ない)。なお、4EB-N5, N7 (MS/PI室)での放水による溢水は、床トレンが7/8サンプに回収される系統構成であることから、当エリアへ伝播はしないため問題はない。 | | |

| 階層 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m³] | 滞留面積 [m²] | 溢水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床土[m]) | 影響評価 | 判定 | 備考 | |
|------------------|-------|---------|-------------|-------------|--------------|------------|--------|-------------------------------------|-------------------|-------|----|----|--|
| 海水 ポンプ エリア | 非管理区域 | 2.5 | - | 46.8 | 1 | 548.6 | 0.085 | 4A,4B,4C海水ポンプ | 4.65 | 2.150 | < | | |
| | | | - | 46.8 | 1 | 548.6 | 0.085 | 4A,4B海水供給母管A,B連絡弁 (4V-SW-615A,B) | 3.3 | 0.800 | < | | |

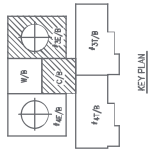
：代表評価エリア
1：3時間の放水を想定
2：0.5時間の放水を想定
3：1.0時間の放水を想定
4：1.5時間の放水を想定
5：対象のエリアで最も機能喪失レベルが低い機器を表す



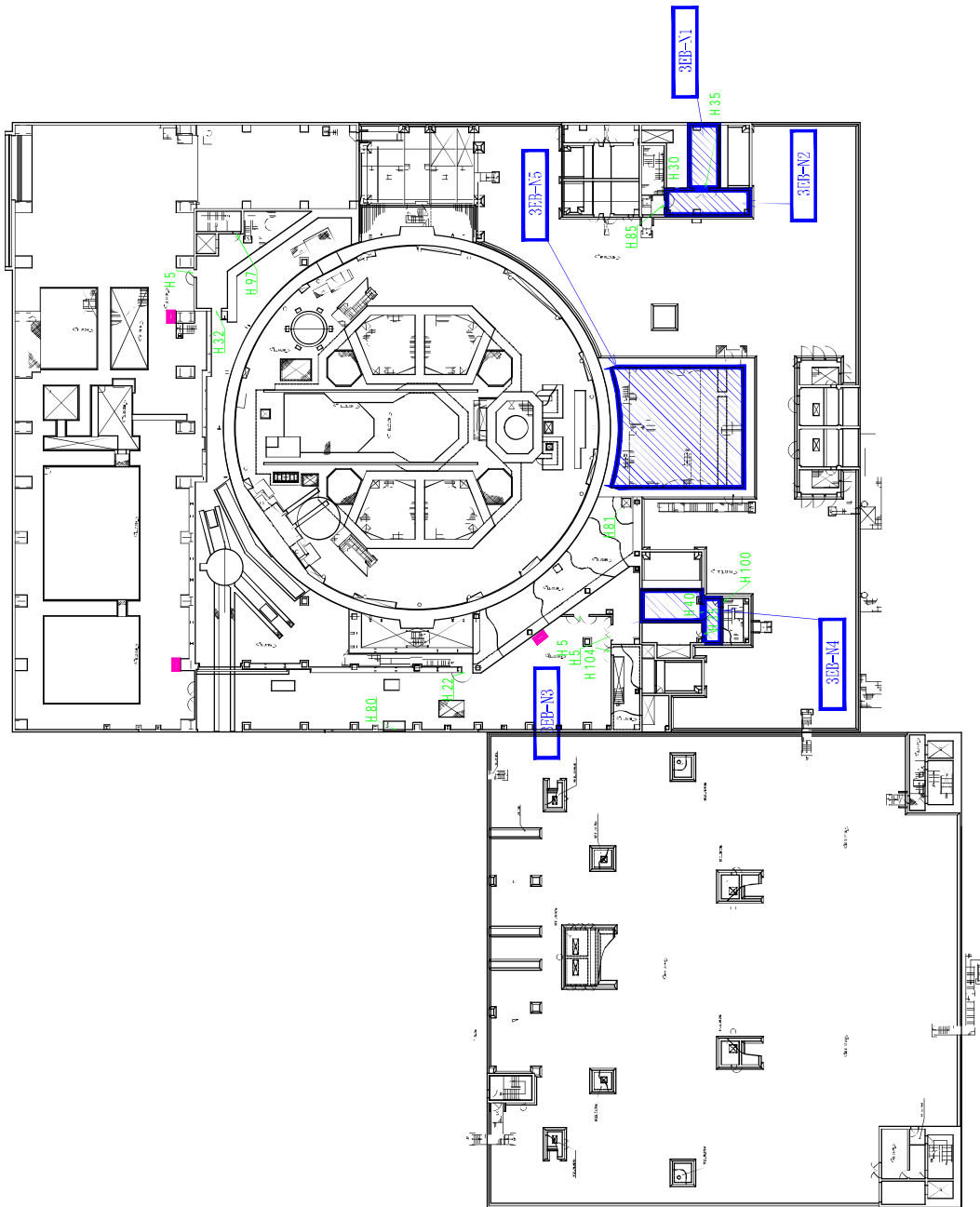
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



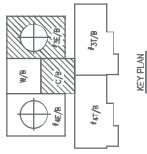
大館3号機 階 38.7M 階 42.6M
 消火栓からの放水による溢水経路図



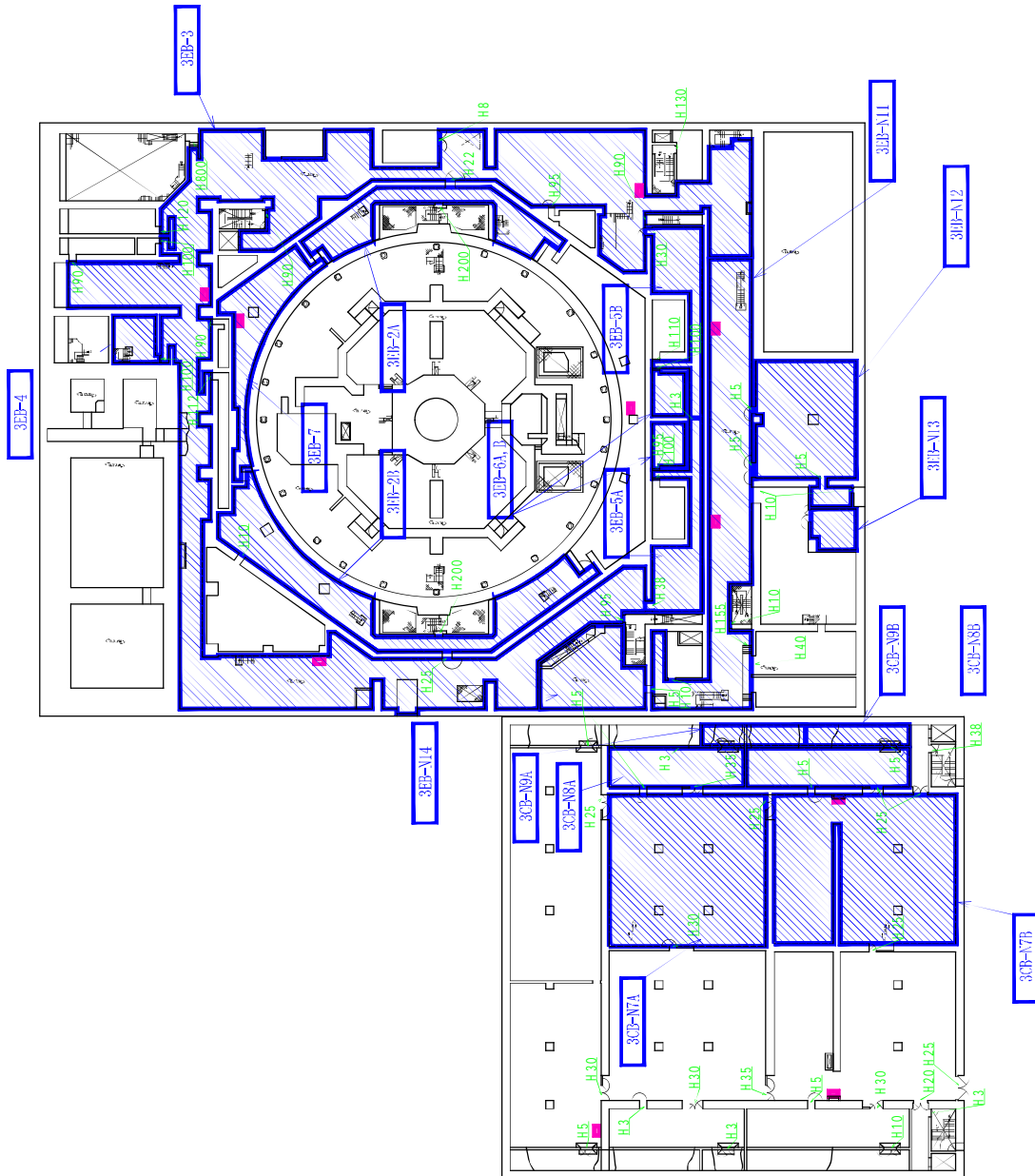
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



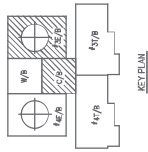
大船3号機 図. 33. 6M
消火栓からの放水による溢水経路図



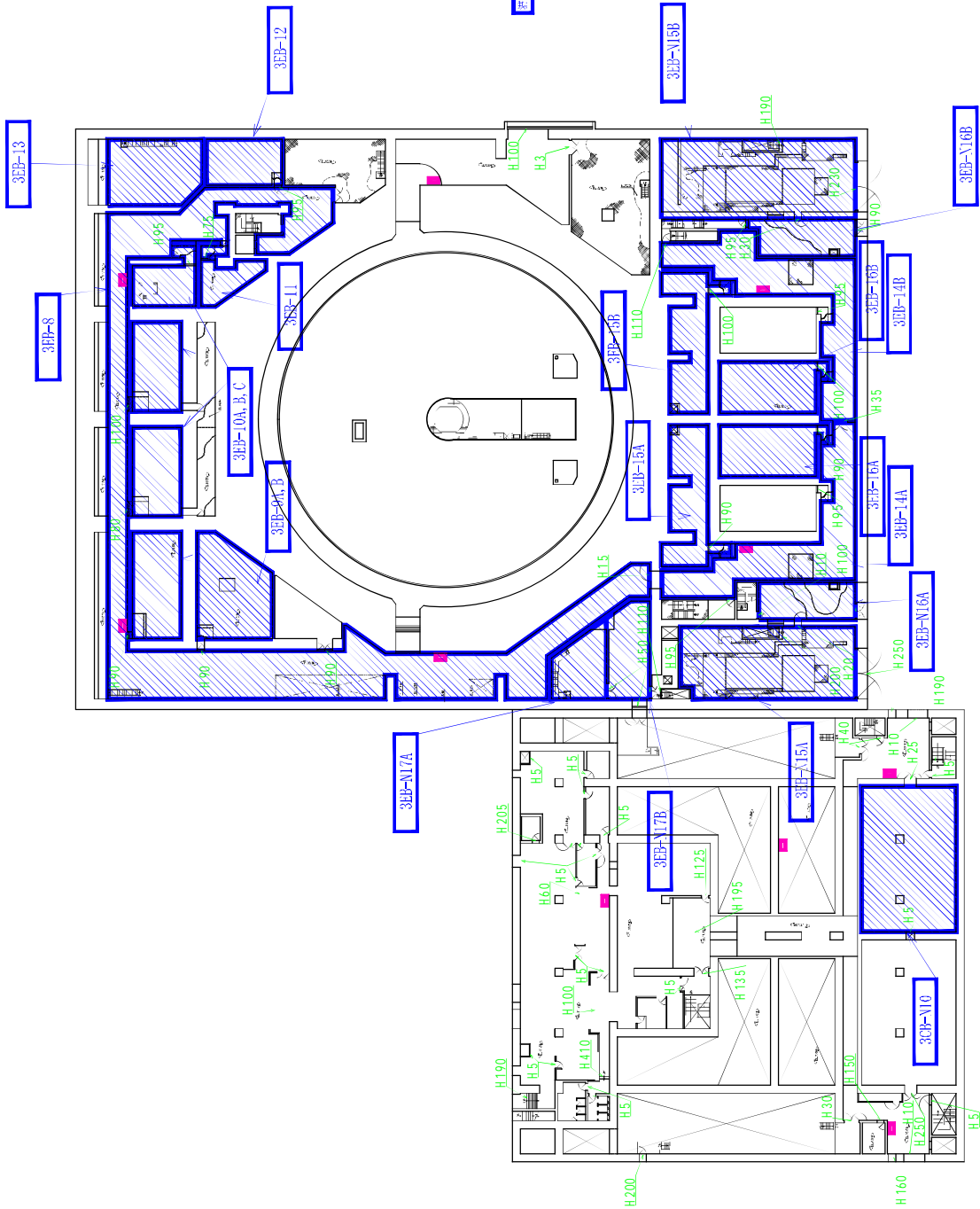
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



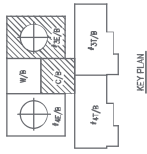
大館3号機 17.1M, EL. 15.8M
消火栓からの放水による溢水経路図



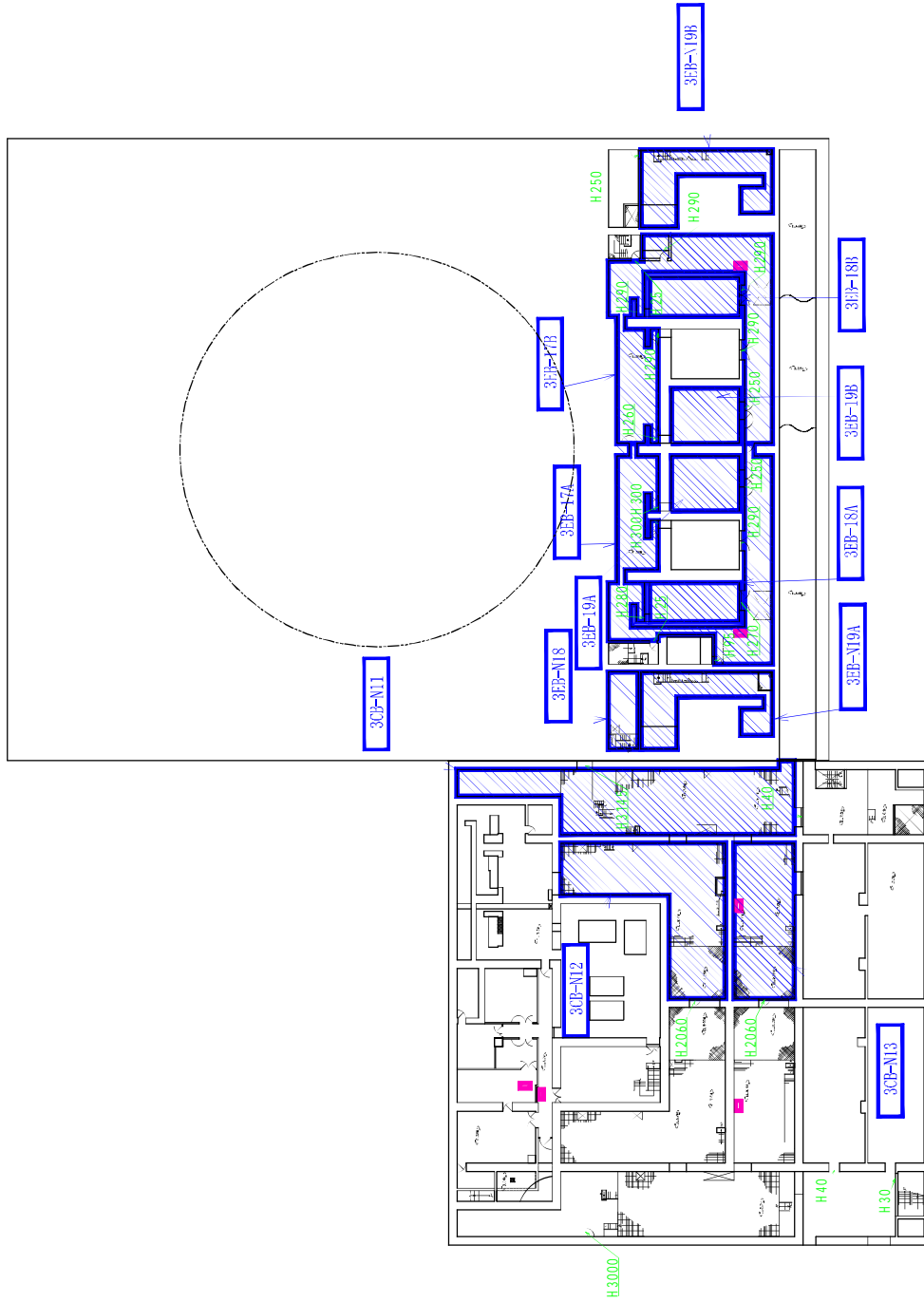
- : 消火栓
- ▨ : 滞留エリア
- ▨ (with circle) : 滞留エリアNoを示す



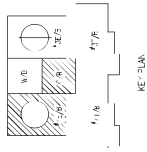
大船3号機 EL.10.0M
消火栓からの放水による溢水経路図



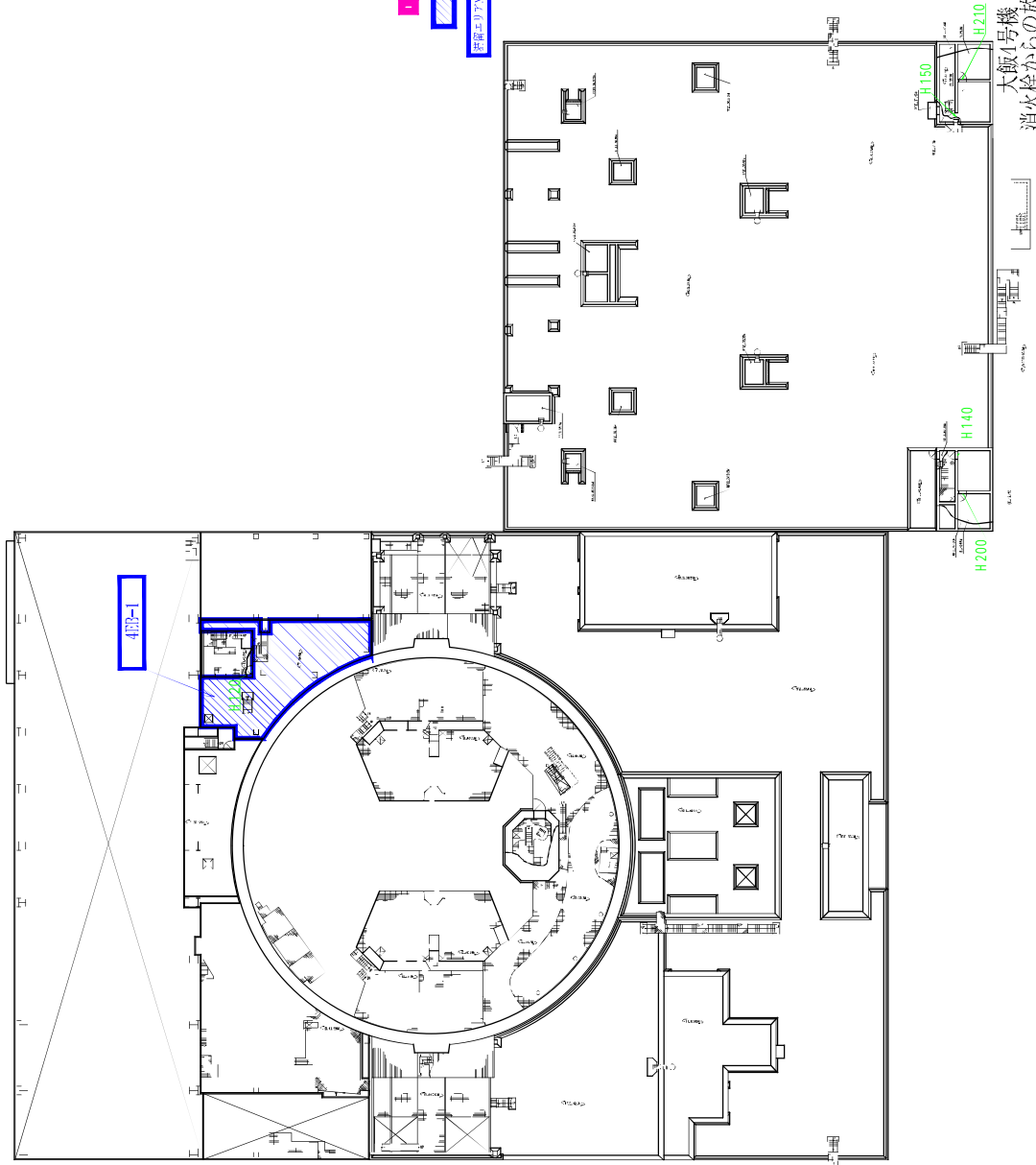
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



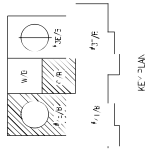
大館3号機、EL.3.5M、EL.7.0M
消火栓からの放水による溢水経路図



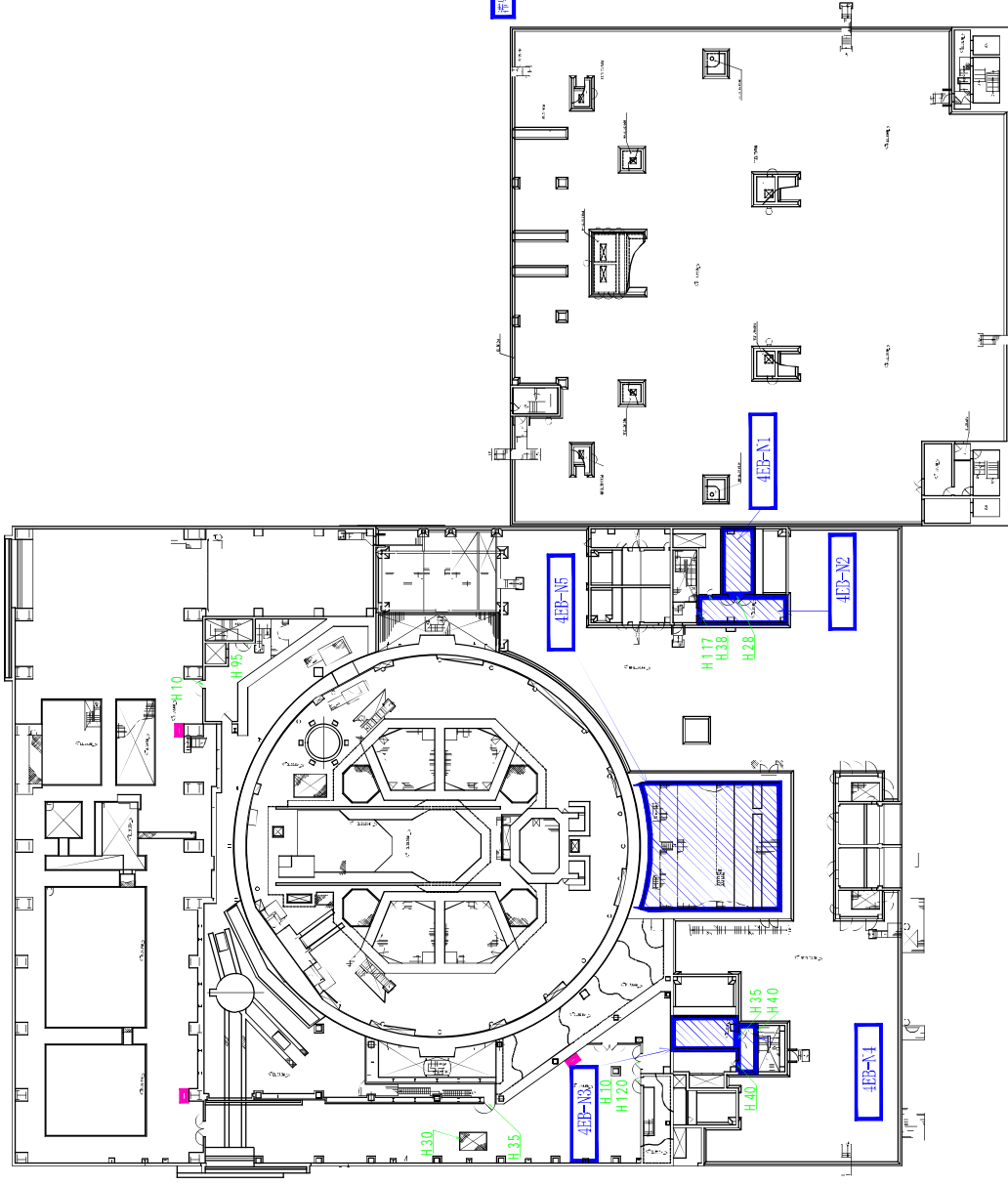
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



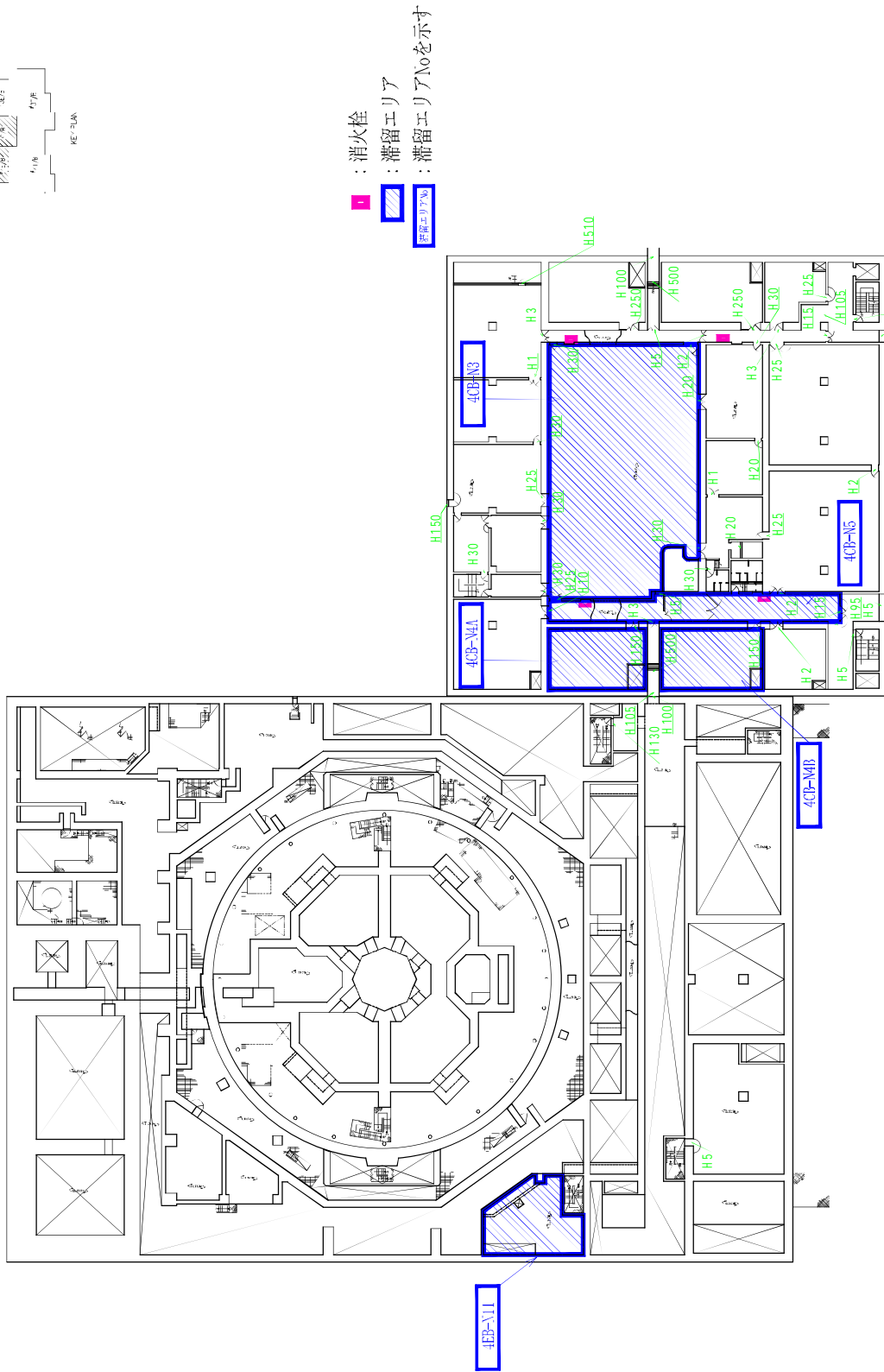
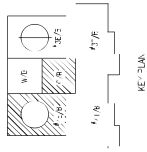
大館4号機 大館4号機 EL.38.7M EL.42.6M
消火栓からの放水による溢水経路図



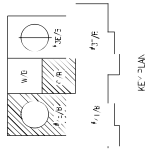
■ : 消火栓
 □ : 滞留エリア
 □ : 滞留エリアNoを示す



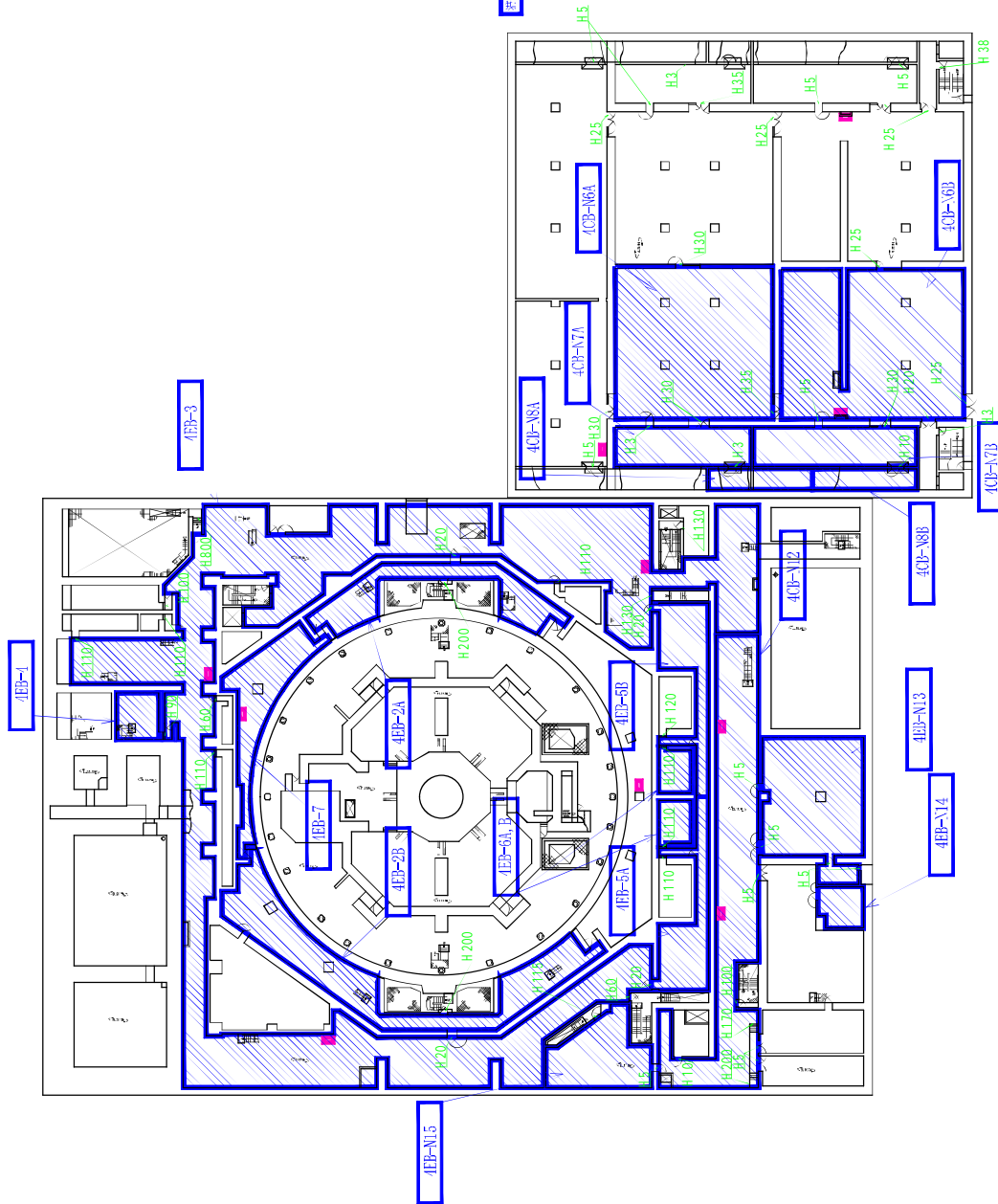
大船4号機 図. 33. 6M
 消火栓からの放水による溢水経路図



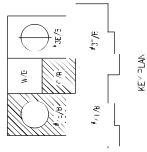
大館4号機 EL.22.0M EL.21.8M
 消火栓からの放水による溢水経路図



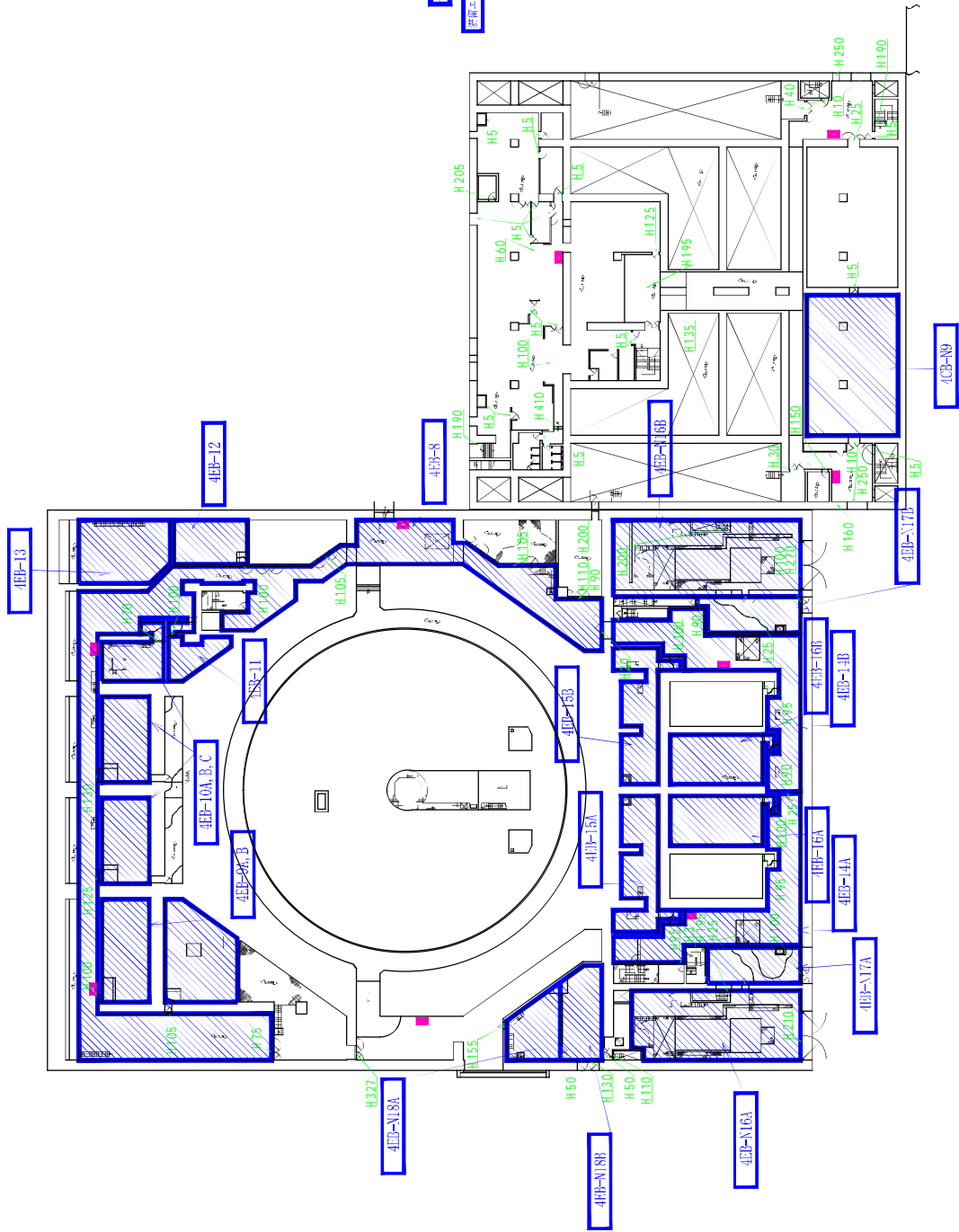
- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



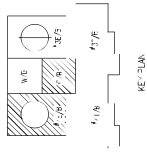
大館4号機 図.17.1M, EL.15.8M
消火栓からの放水による放水経路図



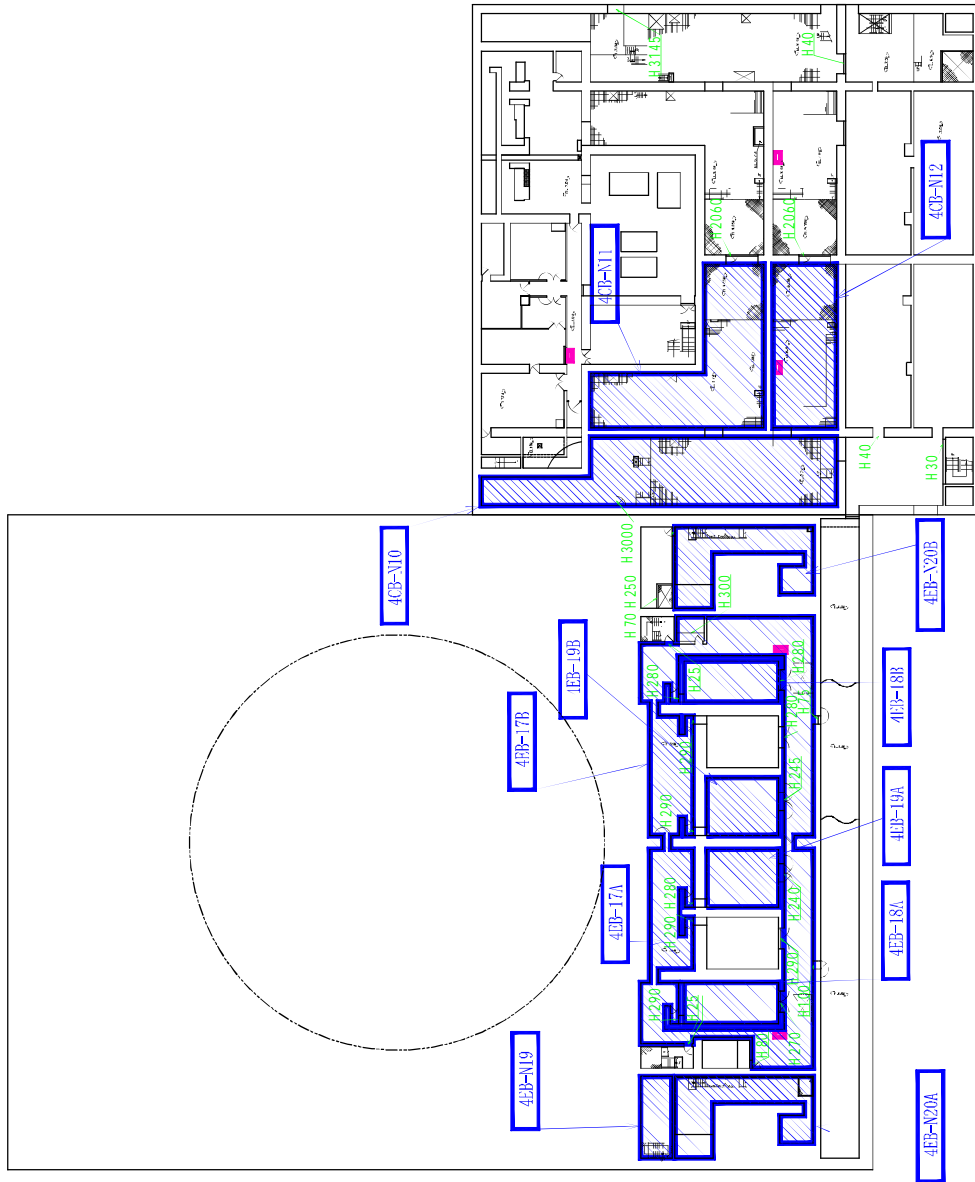
■ : 消火栓
 : 滞留エリア
 : 滞留エリアNoを示す



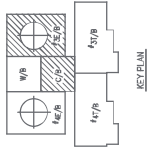
大船4号機 EL.10.0M
 消火栓からの放水による溢水経路図



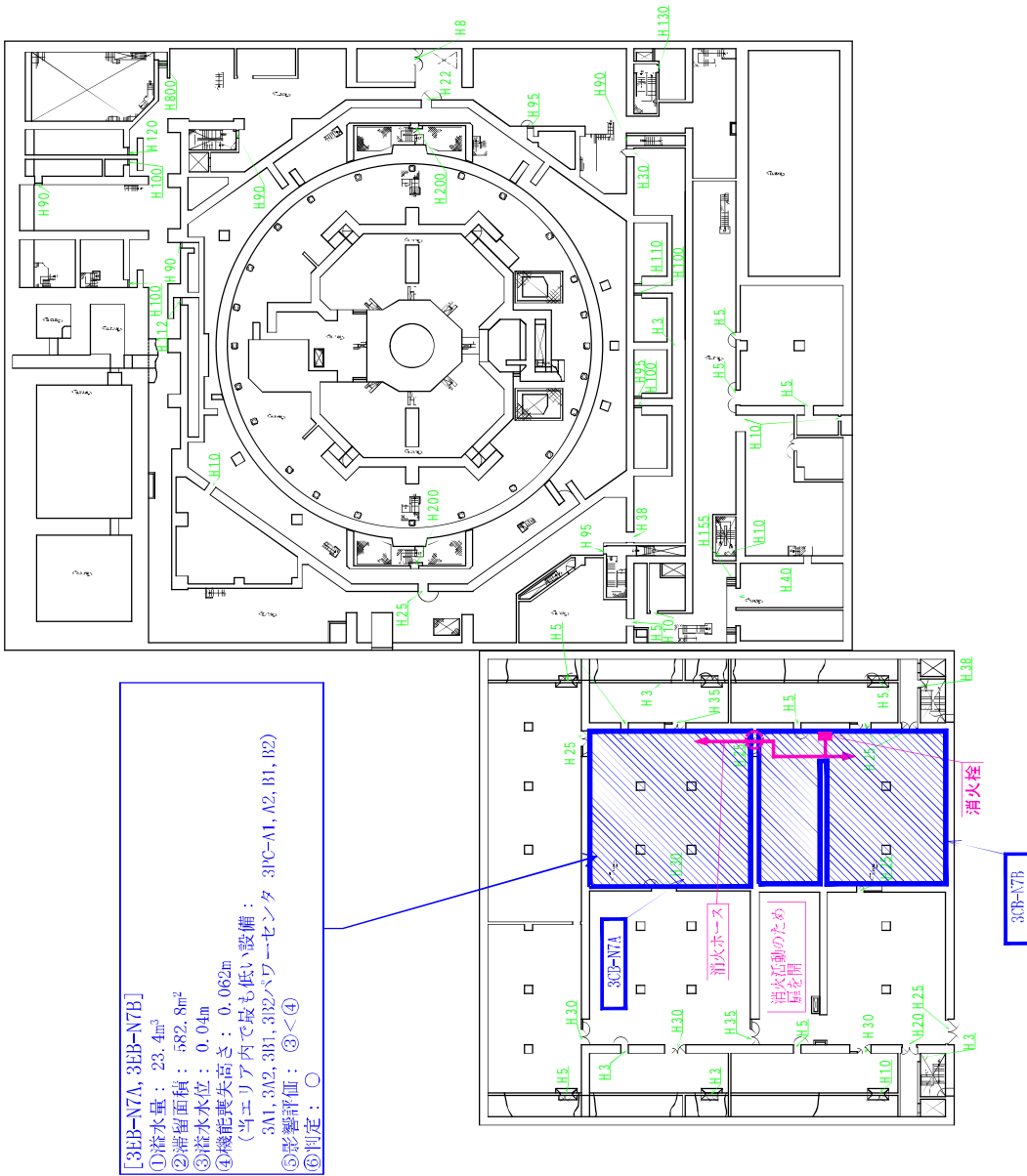
- : 消火栓
- ▨ : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



大飯4号機、EL.3.5M、EL.7.0M
消火栓からの放水による溢水経路図

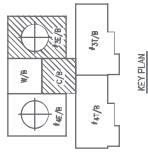


H : 消火栓
H : 滞留エリア
H : 滞留エリアNoを示す

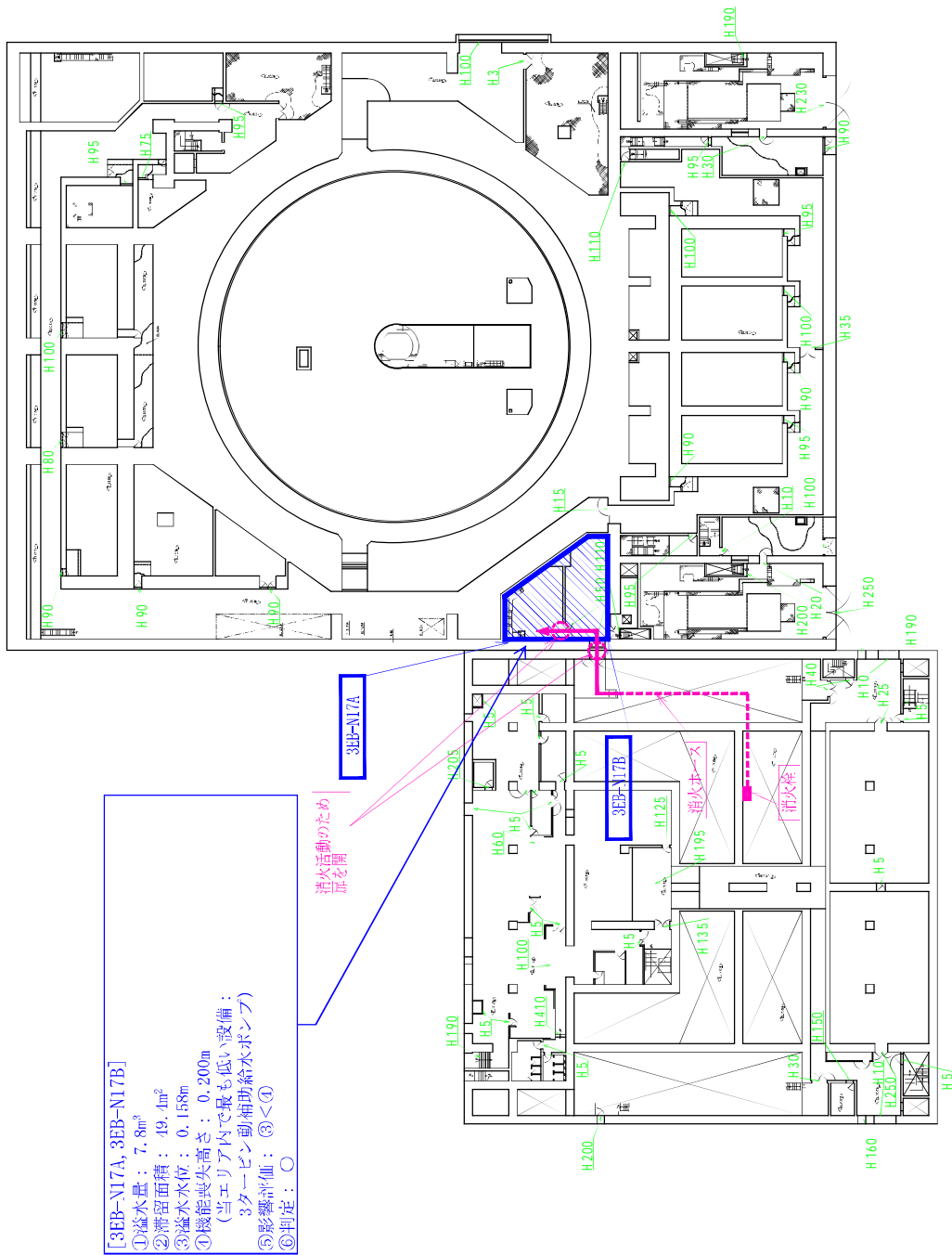


[3EB-N7A, 3EB-N7B]
 ① 排水量 : 23.4m³
 ② 滞留面積 : 582.8m²
 ③ 排水水位 : 0.04m
 ④ 機能喪失高さ : 0.062m
 (当エリア内で最も低い設備 :
 3A1, 3A2, 3B1, 3B2パワーセンター 31C-A1, A2, B1, B2)
 ⑤ 影響評価 : ③<④
 ⑥ 判定 : ○

大館3号機 EL.17.1M, EL.15.8M
 消火栓からの放水による溢水経路図



- : 消火栓
- : 滞留エリア
- : 滞留エリアNoを示す



大船3号機 EL.10.0M
消火栓からの放水による溢水経路図

耐震 B、C クラス機器の耐震性評価方法及び評価結果

1. はじめに

地震時に流体を内包する耐震 B、C クラス機器(配管、容器)が破損することで、重要度の特に高い安全機能を有する系統に対して、溢水による影響を及ぼす可能性があることから、溢水源から除外する耐震 B、C クラス機器について基準地震動 S_s で破損しないことを確認する。

2. 評価方法および結果

機器の破損による溢水防止の観点から、基準地震動 S_s による地震力に対して、耐震評価対象となる耐震 B、C クラス機器(表 1)の構造強度評価を実施し、バウンダリ機能が確保されることを確認する。構造強度評価にあたっては、以下のとおり耐震 S クラス機器と同様の評価手法を用いる。

構造強度評価に係る応答解析は、基準地震動 S_s を用いた動的解析によることとし、機器の応答性状を適切に表現できるモデルを設定する。その上で、当該機器の据付床の水平方向および鉛直方向それぞれの床応答を用いて応答解析を行い、それぞれの応答解析結果を適切に組み合わせる。

なお、減衰定数については、原則として「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601 -1991 追補版」に記載の値とし、試験等で妥当性が確認された値も評価に用いる。

応力評価にあたっては、基準地震動 S_s に対する応力発生値と評価基準値を比較することにより行い、評価基準値は「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補 -1984」(以下、「JEAG」という。)、
「発電用原子力施設規格 設計・建設規格 JSME S NC1 -2005」等の規格基準で規定されている値または試験等で妥当性が確認されている値を用いる。ただし、バウンダリ機能の確保の観点から、設備

の実力を反映する場合には規格基準以外の評価基準値の適用も検討する。

評価部位については、JEAG 等の評価対象部位を元に構造上適切に選定した評価部位を選定する。

(1) 容器等の耐震評価および結果

評価対象となる耐震 B、C クラスの容器およびポンプ（以下、「容器等」という。）個別の主な解析条件を以下に、評価手法・条件および結果を表 2 に示す。評価結果は評価部位の評価のうち、最も耐震上厳しい評価部位の値を記載しているものである。（解析条件）

- ・ 設計用地震力：基準地震動 S_s
- ・ 減衰定数：（水平）1.0%、（鉛直）1.0%
- ・ 床応答曲線（FRS）：±10%拡幅
- ・ 応力の組合せ：絶対値和または二乗和平方根（SRSS）

今回適用した評価手法・条件と規格基準上の評価手法・条件を比較するため、耐震 S クラス容器等の代表的な評価手法・条件を表 2 に示す。

今回の耐震 B、C クラス容器等の評価にあたっては、「規格基準以外の評価基準値」など、規格基準と異なる評価手法・条件を適用したものはない。

評価の結果、いずれの容器等においても発生応力が評価基準値を満足していた。

(2) 配管の耐震評価および結果

対象となる耐震 B、C クラス配管については、種々の配管があることから、耐震評価にあたり、工事計画認可で考慮されている対象配管の配管条件、相対変位の影響等を確認し（表 3）、対象配管について定ピッチスパン法による評価を実施する。

a. 評価方法

(a) 解析条件

2 スパン 3 点支持モデル (定ピッチスパン法) および 3 次元はりモデルによる評価のための主要な解析条件を以下に示す。

- ・ 設計用地震力：基準地震動 S_s
- ・ 減衰定数：0.5%、1.5%、2.0%、3.0%
- ・ 床応答曲線 (FRS)：±10% 拡幅、ピーク保持
- ・ 応力の組合せ：二乗和平方根 (SRSS)

なお、今回の耐震 B、C クラス配管の S_s 地震力に対する解析条件と耐震 S クラスの解析条件の比較を表 4 に示す。

(b) 評価手順

溢水影響の対象となる耐震 B、C クラス配管の耐震性を確認するための評価の手順を以下に示す。(図 4)

対象配管の整理

溢水影響の対象配管について、「建屋・階層・配管仕様」を整理する。

定ピッチスパン評価による発生応力算出

「建屋・階層・配管仕様」毎に基準地震動 S_s による定ピッチスパン評価を実施し、評価基準値以内であることを確認する。

3次元はりモデルによる詳細評価

で評価基準値を超える配管部については、基準地震動 S_s による 3 次元はりモデル評価を実施し、評価基準値以内であることを確認する。なお、評価基準値を超える場合は、改造を実施する。

(c) 評価結果

対象配管の支持間隔における発生応力が許容基準値以内であることを確認した。

表 1 耐震評価対象の耐震 B、C クラス機器（配管、容器）

| | 対象機器 |
|---------------|--|
| 溢水保有量の多い系統の容器 | 体積制御タンク、非再生熱交換器、封水冷却器、原子炉周辺建屋サンプポンプ、原子炉周辺建屋サンプタンク、使用済燃料ピット冷却器、使用済燃料ピットポンプ、使用済燃料ピット脱塩塔、使用済燃料ピットフィルタ、ほう酸補給タンク |
| 耐震 B、C クラス配管 | 補助給水系統、原子炉補機冷却水系統、化学体積制御系統、空調用冷水設備系統、1 次系洗浄水系統、1 次系放射性機器ドレン系統、1 次系放射性床ドレン系統、消火水系統、主蒸気・給水系統、1 次系補給水系統、燃料取替用水系統、燃料ピット冷却浄化系統、蒸気発生器ブローダウン系統、安全注入系統、1 次系試料採取系統、液体廃棄物処理系統、固体廃棄物処理系統、補助蒸気系統 |

ただし、廃棄物処理建屋の機器は破損による溢水を考慮することから対象外とする。

表 2 容器等の耐震評価手法・条件及び結果整理表(構造強度)

| 区分 | 設備名称 | 評価部位 | 応力分類 | 発生値 MPa | 評価基準値 MPa | JEA等の規格基準の代表的な評価手法・条件との相違 | | | | 備考 | | |
|--------|--------------|---|---------|------------|--------------|---|------------------------------|-----------|----------------------|----|-----------------|---|
| | | | | | | 解析手法(公式等による評価) スベクトル(モーダル)解析等) | 相違内容 | 同じ 異なる | 相違内容 | | 同じ 異なる | 減衰定数 |
| 容器・タンク | 耐震Sクラス 容器 | 胴板 支持脚 基礎ボルト | - | - | - | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | 代表的な評価手法・条件 | |
| | 非再生冷却器 | 胴板 | 一次応力 | 165 | 334 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 封水冷却器 | 基礎ボルト | 引張応力 | 41 | 210 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 体積制御タンク | 胴板 | 組合せ一次応力 | 51 | 267 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 原子炉周辺建屋サブタンク | 本タンクは、原子炉周辺建屋(原子炉建屋)の床コンクリートに埋設されているため、耐震性を有している。 | | | | 既工認と同様の理由で計算は省略 | 既工認と同様の理由で計算は省略 | | 既工認と同様の理由で計算は省略 | | 既工認と同様の理由で計算は省略 | 既工認記載内容 本タンクは、原子炉周辺建屋の床コンクリートに埋設されるものであり、耐震計算を行うまでもなく、耐震性については十分安全であるので、耐震計算は省略する。 |
| | 使用済燃料ピット冷却器 | 基礎ボルト | 引張応力 | 227 | 400 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 使用済燃料ピット脱塩塔 | 基礎ボルト | 引張応力 | 180 | 210 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | ○ | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 使用済燃料ピットフィルタ | 基礎ボルト | 引張応力 | 54 | 210 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | ほう酸補給タンク | 支持構造物 | 組合せ応力 | 66 | 261 | (応答解析)スベクトルモーダル解析 (応力解析)スベクトルモーダル解析 | (応答解析)シェルモデル (応力解析)シェルモデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | JEA記載の1質点系評価モデルに該当しないため、FEM解析モデルにて評価したものであり、適切な評価手法である。 |
| | 耐震Sクラス ポンプ | 基礎ボルト 取付ボルト | - | - | - | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | - | 代表的な評価手法・条件 |
| ポンプ | 原子炉周辺建屋サブポンプ | 基礎ボルト | 引張応力 | 17 | 153 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |
| | 使用済燃料ピットポンプ | 基礎ボルト | せん断応力 | 9 | 160 | (応答解析)各設備の固有値に基づき(応答加速度)による評価 (応力解析)公式等による評価 | (応答解析)モデルなし (応力解析)質点モデル | - | (水平)1.0% (鉛直)1.0% | - | なし | |

表 3 溢水対象配管の配管条件・評価方法

| システム名 | 材質 | 配管の条件 | | | 建設 工認時 評価方法 | 備 考 |
|---------------|---------|----------------------|------|------------|-------------------|--------|
| | | 温度 150 超 口径 4B 以上 | 左記以外 | 建屋 相対変位 | | |
| 補助給水系統 | SUS | - | | - | - | |
| 原子炉補機冷却水系統 | CS, SUS | - | | - | - | |
| 化学体積制御系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 空調用冷水設備系統 | CS | - | | *2 | - | |
| 1次系洗浄水系統 | SUS | - | | - | - | |
| 1次系放射性機器ドレン系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 1次系放射性床ドレン系統 | SUS | - | | - | - | |
| 消火水系統 | CS | - | | *2 | - | |
| 主蒸気・主給水系統 | CS | *1 | | - | - | |
| 1次系補給水系統 | SUS | - | | - | - | |
| 燃料取替用水系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 燃料ピット冷却浄化系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 蒸気発生器ブローダウン系統 | CS, SUS | - | | *2 | - | |
| 安全注入系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 1次系試料採取系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 液体廃棄物処理系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 固体廃棄物処理系統 | SUS | - | | - | 定ピッチ | |
| 補助蒸気系統 | CS, SUS | *1 | | *2 | - | |

*1：建設時、熱の影響が大きい配管は、定ピッチスパンにて耐震設計を行い、3次元はりモデルにて熱影響評価を行っており、建設時から支持スパンが変更されていないため、建設時の熱条件を考慮する。

*2：配管が異なる建屋（原子炉周辺建屋および制御建屋）間の相対変位を考慮する。

表4 耐震B、Cクラス配管における解析条件

溢水対象の耐震B、Cクラス配管のS_s地震力に対する解析における条件を以下に示す。なお、参考として耐震Sクラス配管の解析条件を合わせて示す。

| | B、Cクラス低温配管 (溢水波及影響評価) | 【参考】 Sクラス低温配管 (設計評価) | 備考 |
|-------------------------|---|---------------------------------|----|
| 手法 | 定ピッチスパン法 | 定ピッチスパン法(*1) | |
| 地震波 | S _s (・NS・EW包絡 ・±10%拡幅 ・ピーク保持) | S _s (同 左) | |
| 荷重の組合せ | 二乗和平方根(SRSS) | 同 左 | |
| 減衰定数 | 0.5、1.5、2.0、3.0% (*2) | 同 左 | |
| 許容応力状態 | A _s | 同 左 | |
| 評価項目 ・応力 ・振動数 | × | | |
| 地震時の 相対変位の 考慮(*3) | 要 | 要 | |

*1: 150 を超え、4B以上の高温配管は3次元はりモデル解析

*2: JEAG4601-1991 および試験等で妥当性が確認された値

*3: 熱応力については建設時の条件を確認

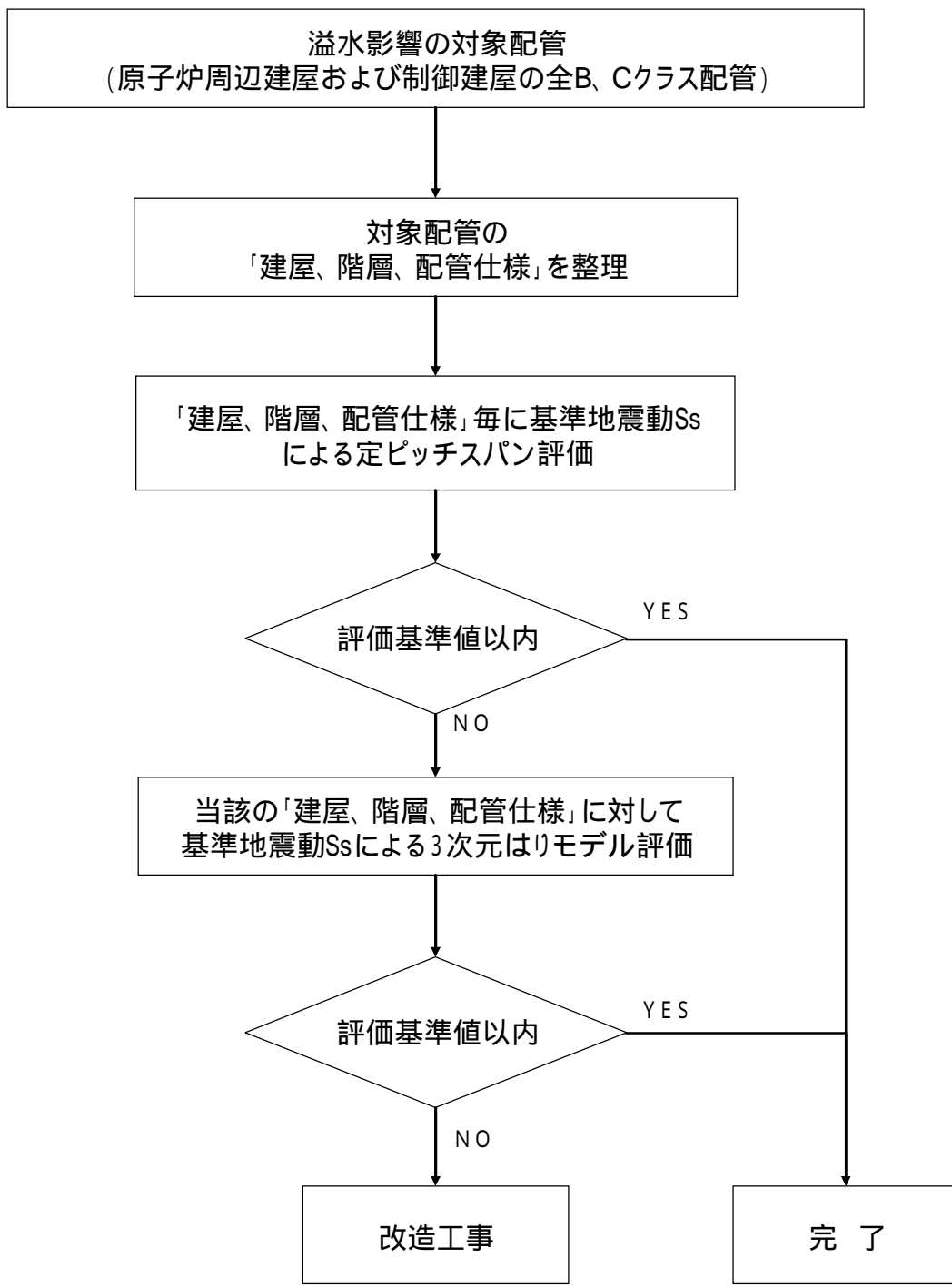


図1 対象配管の評価フロー

地震時に溢水源として想定する機器リスト

【地震に起因する溢水】

流体を内包する機器（配管、容器）のうち、基準地震動による地震力によって破損が生じるとされる機器（耐震重要度分類B,Cクラス機器）について、破損を想定する。

ただし、B,Cクラス機器であっても、基準地震動による地震力に対して耐震性が確認されているものについては、漏水を考慮しない。溢水量は、系統の全保有水量が漏えいするものとした。

| 建屋 | フロア | 溢水源 | No. | 溢水量 (m ³) | 備考 |
|--------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|---|
| 3号機 原子炉 周辺建屋 | EL.39.0m | 樹脂タンク | (1) | 0.23 | |
| | EL.33.6m | 使用済燃料ピットスロッシング | (2) | 22.62 | |
| | | 冷却材混床式脱塩塔 | (3) | 48.07 | |
| | | 冷却材陽イオン脱塩塔 | | | |
| | | 冷却材脱塩塔入口フィルタ | | | |
| 冷却材フィルタ | | | | | |
| EL.17.1m | 1次系薬品タンク | (4) | 0.02 | | |
| | ほう酸補給タンク | (5) | 1.5 | | |
| 4号機 原子炉 周辺建屋 | EL.39.0m | 樹脂タンク | (1) | 0.23 | |
| | EL.33.6m | 使用済燃料ピットスロッシング | (2) | 22.62 | |
| | EL.26.0m | 冷却材混床式脱塩塔 | (3) | 48.07 | |
| | | 冷却材陽イオン脱塩塔 | | | |
| | | 冷却材脱塩塔入口フィルタ | | | |
| EL.17.1m | 冷却材フィルタ | | | | |
| | 1次系薬品タンク | (4) | 0.02 | | |
| 制御建屋 | EL.26.1m | 放射線管理室冷却ユニット | (6) | 57.4 | |
| | | 出入管理室温水タンク | (7) | 11.4 | |
| 廃棄物 処理建屋 | EL.26.0m | ほう酸回収装置混床式脱塩塔 | - | 1215.3 | ・水密扉、逆止弁、堰を設置し、原子炉周辺建屋と隔離している ・溢水量は、破損した場合に漏えいする可能性のある系統保有水量を、各設備毎に示したものである。（建屋内で重複している場合は()で示す） 以下の通り、各系統保有水量を溢水量とした。 化学体積制御系統（ほう酸回収ライン）： 1215.3m ³ 廃棄物処理系統：783.9m ³ 原子炉補機冷却水系統（3号機）：386.5m ³ 原子炉補機冷却水系統（4号機）：396.5m ³ 1次系補給水系統：815.0m ³ 1次系洗浄水系統：13.5m ³ 補助蒸気系統（復水ライン）：24.0m ³ その他配管：924.9m ³ ・廃棄物処理建屋の合計溢水量は4559.6m ³ |
| | | ほう酸回収装置脱塩塔フィルタ | - | | |
| | | 廃液蒸留水脱塩塔 | - | 783.9 | |
| | | 廃液フィルタ | - | | |
| | | 格納容器雰囲気ガス試料冷却器 | - | 386.5 | |
| | | 除湿装置（廃ガス冷却器） | - | | |
| | | ガス圧縮装置 | - | (783.9) | |
| | 除湿装置 | - | (386.5) | | |
| | EL.17.5m | 廃液蒸発装置中和剤注入装置か性ソーダ計量タンク | - | (783.9) | |
| | | 廃液蒸発装置中和剤注入装置 | - | | |
| | | Aほう酸回収装置 | - | (1215.3) (386.5) | |
| | | A廃液蒸発装置 | - | (783.9) (386.5) | |
| | | 乾燥造粒装置 | - | (1215.3) 396.5 | |
| | EL.10.0m | Bほう酸回収装置 | - | (783.9) (396.5) | |
| | | B廃液蒸発装置 | - | | |
| | | 冷却材貯蔵タンク | - | (1215.3) | |
| | | ほう酸回収装置給水ポンプ | - | | |
| | | 廃液貯蔵タンク | - | | |
| | | 廃液蒸留水タンク | - | | |
| | | 廃液給水ポンプ | - | (783.9) | |
| | | 廃液蒸留水ポンプ | - | | |
| | | 膜分離活性汚泥処理装置 | - | | |
| | | 使用済樹脂貯蔵タンク | - | | |
| EL.4.9m | 1次系純水タンク | - | 815.0 | | |
| | 1次系補給水ポンプ | - | | | |
| | 洗たく設備 | - | 13.5 | | |
| | 雑固体焼却設備 | - | (783.9) | | |
| | 洗浄排水タンク | - | | | |
| | 強酸ドレンタンク | - | (783.9) | | |
| | 強酸ドレンタンク中和装置か性ソーダ計量タンク | - | | | |
| 洗浄排水ポンプ | - | | | | |
| - | 補助蒸気ドレンタンク | - | 24.0 | | |
| | 補助蒸気復水モニタ冷却器 | - | (386.5) (24.0) | | |
| | 強酸ドレンポンプ | - | (783.9) (386.5) | | |
| - | 配管 | - | 924.9 | | |

廃棄物処理建屋から原子炉周辺建屋への流入経路については、堰や水密扉、床ドレンの逆流防止弁を設置していることから、溢水源として評価対象としない

使用済燃料ピットのスロッシングによる溢水量評価

1.はじめに

基準地震動 S_s による使用済燃料ピットのスロッシング解析を行い、ピットからの溢水量を評価する。

2.基準地震動 S_s による溢水量の推定

2.1 溢水量の解析方法

使用済燃料ピットのあるフロアレベルの燃料取扱建屋をモデル化範囲とし、スロッシングによる溢水量を保守的に評価するために、使用済燃料ピット、燃料取替用キャナル、キャスクピット、燃料検査ピットの全てが水張りされた状態とした3次元流動解析により溢水量を算定する。

燃料取扱建屋(E.L.33.6m)の使用済燃料ピット周辺の概要を図-1に示す。

解析条件

| | |
|--------|--|
| モデル化範囲 | 使用済燃料ピットのあるフロアレベル全体(図-1参照) |
| 境界条件 | シャッター位置およびピット室への出入口からは水が流出するものとする。 また、上部は開放とし、他は壁による境界を設定。 |
| 水位 | EL.33.21m |
| 評価用地震波 | 燃料取扱建屋 EL.33.6m の波を使用 スペクトルベース(1波)と断層モデルベース(2波)に対し、EW+UDとNS+UDの2方向で評価する。 |
| 解析コード | FLOW-3D(流体解析ソフトウェア) 自由表面(および2流体界面)の大変形を伴う複雑な3次元流動現象を精度よく計算することを特徴としている。 一般産業施設の主要な解析実績としては、液体燃料やLNGタンクのスロッシング解析、インクジェット解析、鋳造湯流れ凝固解析などが挙げられる。 |
| その他 | 使用済燃料ラックは考慮せず、ピット内の水が全て揺動するとした。 また、ピット周りに設置されているフェンスは考慮しない。 |

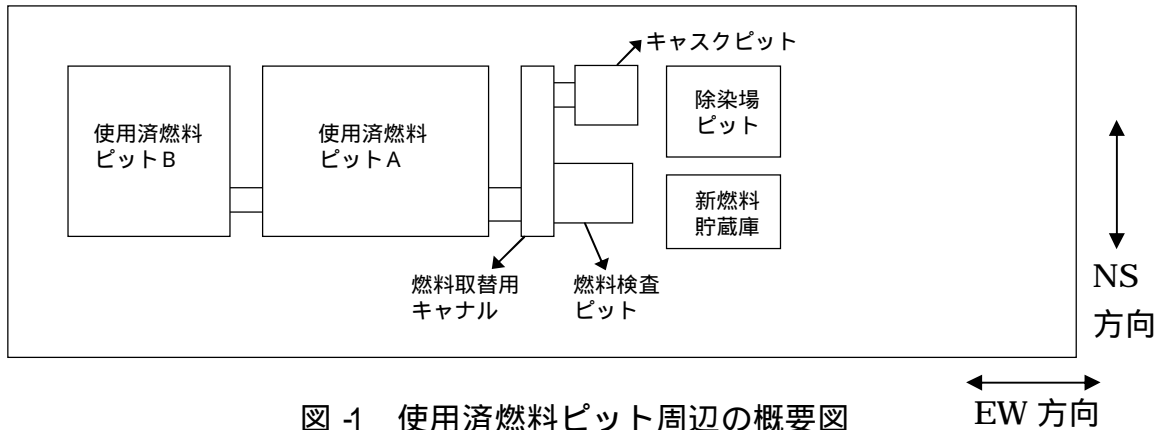


図-1 使用済燃料ピット周辺の概要図

2.2 溢水量の推定結果

上記 2.1.1 により算定した基準地震動 S_s における使用済燃料ピットのスロッシングによる最大溢水量を表-1, 使用済燃料ピット水位を表-2 に示す。

表-1 スロッシングによる最大溢水量

| | |
|---------|---------------------|
| NS 方向地震 | 22.62m ³ |
| EW 方向地震 | 17.57m ³ |

表-2 溢水時の使用済燃料ピット水位

| | |
|----------------|--------------------|
| 初期ピット水位 | 12.06m (E.L.33.21) |
| NS 方向地震後のピット水位 | 11.98m (E.L.33.13) |
| EW 方向地震後のピット水位 | 11.99m (E.L.33.14) |

溢水経路、溢水水位および機能喪失高さの考え方

1. はじめに

溢水による影響評価を実施するために必要となる、溢水経路、溢水水位および機能喪失高さの設定の考え方を示す。

2. 溢水経路

溢水経路の設定にあたっては、溢水防護区画内漏えいと溢水防護区画外漏えいを想定して設定する。

(1) 溢水防護区画内漏えいでの溢水経路

溢水防護区画内漏えいでの溢水経路の評価を行う場合、防護区画内の水位が最も高くなるよう、当該溢水区画から他区画への流出がないように溢水経路を設定している。

a. 床ドレン

床ドレン配管が設置され他の区画とつながっている場合であっても、他の区画への流出は想定していない。

b. 床面開口部及び床貫通部

評価対象区画床面において、他区画への流出を期待するものは、明らかに流出が期待できることを定量的に確認できる階段あるいは機器ハッチとしている。

c. 壁貫通部

評価対象区画の境界壁の貫通部が溢水による水位より低い位置にある場合であっても、その貫通部からの流出は考慮していない。

d. 扉

評価対象区画に扉が設置されている場合であっても、当該扉から隣室への流出は考慮していない。

e. 排水設備

評価対象区画に排水設備が設置されている場合であっても、当該区画の排水は考慮していない。

(2) 溢水防護区画外漏えいでの溢水経路

溢水防護区画外漏えいでの溢水経路の評価を行う場合、防護対象機器の存在する溢水防護区画の水位が最も高くなるように溢水経路を設定している。

a. 床ドレン

評価対象区画の床ドレン配管が他の区画とつながっている場合は、水位差による流入量を考慮している。

評価対象区画内に設置されているドレン配管に逆止弁を設置している場合は、その効果を考慮している。

b. 天井面開口部及び貫通部

評価対象区画の天井面に開口部又は貫通部がある場合は、上部の区画で発生した溢水量の全量が流入するものとしている。ただし、開口部又は貫通部に流出防止処置を施している場合は、評価対象区画への流入は考慮していない。

c. 壁貫通部

評価対象区画の境界壁の貫通部が溢水による水位より低い位置にある場合は、その貫通部からの流入を考慮している。

d. 扉

評価対象区画に扉が設置されている場合は、水位差による流入量を考慮している。

水密扉については、水圧による水密性の確保でき、その水位に耐えられる強度を有しており、流入を考慮していない。

e. 堰

溢水が発生している区画に堰が設置されている場合は、他に流出経路が存在しない場合は、当該区画で発生した溢水は堰の高さまで蓄積されるものとしている。

評価対象区画によっては、溢水量から得られる水位の算出において、保守的な評価となるよう堰の有無にかかわらず、堰があるものとして滞留面積を小さくすることで評価用の水位を高く設定している。

f. 排水設備

評価対象区画に排水設備が設置されている場合であっても、当該区画の排水は考慮していない。

以上より、各フロアの区画における、溢水量及び滞留面積を算出する。

なお、上層階から階段あるいは機器ハッチを經由して下階へ伝播する場合は、上層階の溢水量を積算し、その溢水量が当該フロアに滞留するものとする。

3. 溢水水位

影響評価に用いる溢水水位の算定は、溢水経路上の評価対象区画の全てに対して行う。

溢水水位：H は、下式に基づき算出する。

$$H = Q/A$$

Q: 流入量 (m³)

A: 滞留面積 (m²)

滞留面積は、コンクリート基礎等の範囲を除く有効面積を滞留面積として評価する。(図1)。

4. 機能喪失高さ

滞留エリア毎に、最も低い位置にある防護対象設備の設置高さを、機能喪失高さとする。(図1)。

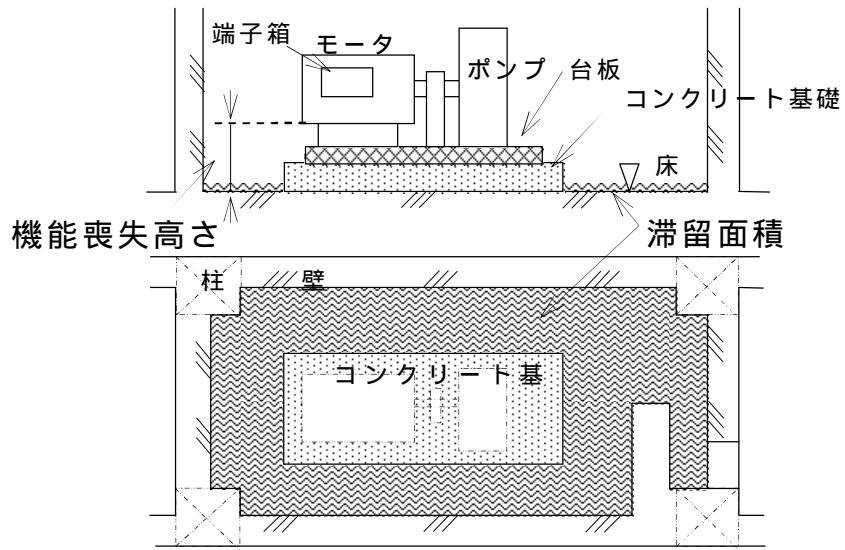


図1 機能喪失高さと滞留面積の考え方

溢水影響評価

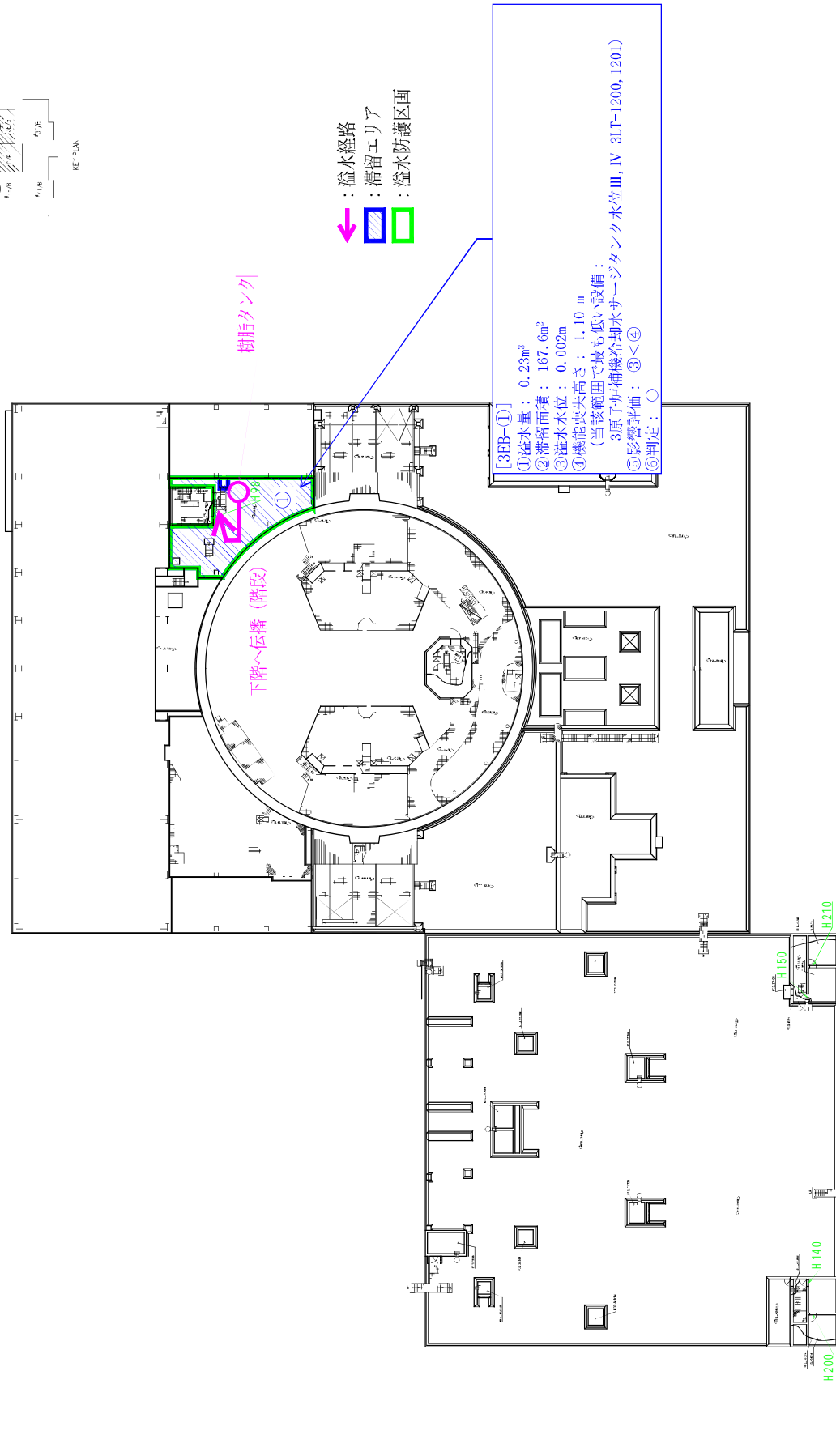
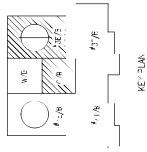
| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m ³] | 滞留面積 [m ²] | 溢水水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床上[m]) | 影響評価 | 判定 | | |
|--------------------|------|---------|-------------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------|------|--------------|--------------|---|
| 3号機 原子炉 周辺建屋 | 管理区域 | 39.0 | 3EB - | 0.23 1 | 167.6 | 0.002 | 3原子炉補機冷却水サージタンク水位 (3LT-1200, 1201) | 40.1 | 1.10 | < | < | | |
| | | | 3EB - | 0.23 1 | 55.3 | 0.005 | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | |
| | | 33.6 | 3EB - | 22.85 2 | 1121.0 | 0.021 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | | 3EB - | 22.85 2 | 1477.6 | 0.016 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | 26.0 | 3EB - | 49.59 3 | 435.7 | 0.114 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | | 3EB - | 22.85 2 | 517.3 | 0.045 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | 17.1 | 3EB - | 72.44 4 | 1109.8 | 0.066 | 3A, 3B燃料取替用水ポンプ | 17.64 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | < | < |
| | | | 3EB - | 72.44 4 | 1247.1 | 0.059 | 3A, 3B燃料取替用水ポンプ | 17.64 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | < | < |
| | | 10.0 | 3EB - | 72.44 4 | 638.0 | 0.114 | 3C充てんポンプ速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < |
| | | | 3EB - | 72.44 4 | 799.2 | 0.091 | 3C充てんポンプ速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < |
| | | 3EB - | 72.44 4 | 964.9 | 0.076 | 3C充てんポンプ速度制御補助盤 (3CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < | |

| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m ³] | 滞留面積 [m ²] | 溢水水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床上[m]) | 影響評価 | 判定 | | |
|--------------------|---------|---------|-------------|--------------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------------|---------------------|-------------------|------|--------------|--------------|---|
| 4号機 原子炉 周辺建屋 | 管理区域 | 39.0 | 4EB - | 0.23 1 | 167.6 | 0.002 | 4原子炉補機冷却水サージタンク水位 (4LT-1200, 1201) | 40.0 | 1.00 | < | < | | |
| | | | 4EB - | 0.23 1 | 55.3 | 0.005 | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - | |
| | | 33.6 | 4EB - | 22.85 2 | 1121.0 | 0.021 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | | 4EB - | 22.85 2 | 1480.1 | 0.016 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | 26.0 | 4EB - | 49.59 3 | 405.5 | 0.123 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | | 4EB - | 22.85 2 | 520.2 | 0.044 | - | - | - | - | - | 防護対象設備 無し | - |
| | | 17.1 | 4EB - | 72.44 4 | 1142.0 | 0.064 | 4A, 4B燃料取替用水ポンプ | 17.65 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | < | < |
| | | | 4EB - | 72.44 4 | 1279.3 | 0.057 | 4A, 4B燃料取替用水ポンプ | 17.65 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | < | < |
| | | 10.0 | 4EB - | 72.44 4 | 585.3 | 0.124 | 4C充てんポンプ速度制御補助盤 (4CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < |
| | | | 4EB - | 72.44 4 | 754.1 | 0.097 | 4C充てんポンプ速度制御補助盤 (4CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < |
| | | 3.5 | 4EB - | 72.44 4 | 900.6 | 0.081 | 4C充てんポンプ速度制御補助盤 (4CSAC) | 10.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | < | < |
| | | | 4EB - | 72.44 4 | 291.9 | 0.249 | 4A, 4B高圧注入ポンプ | 3.85 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | < | < |
| 4EB - | 72.44 4 | 602.1 | 0.121 | 4A, 4B高圧注入ポンプ | 3.85 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | < | < | | | |

| 建屋 | 区域区分 | EL. [m] | 滞留エリア 番号 | 溢水量 [m ³] | 滞留面積 [m ²] | 溢水水位 [m] | 防護対象設備 | 機能喪失高さ (EL. [m]) | 機能喪失高さ (床上[m]) | 影響評価 | 判定 |
|------|-------|---------|-------------|--------------------------|---------------------------|-------------|------------------|---------------------|-------------------|------|------|
| 制御建屋 | 非管理区域 | 26.1 | CB - | 57.4 5 | 603.3 | 0.096 | 3A, 3B中央制御室循環ファン | 26.4 | 0.30 | < | < |
| | | | CB - | 68.8 6 | 679.1 | 0.102 | 3A, 3B中央制御室循環ファン | 26.4 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |

[溢水量内訳 (番号は溢水リストに対応)]

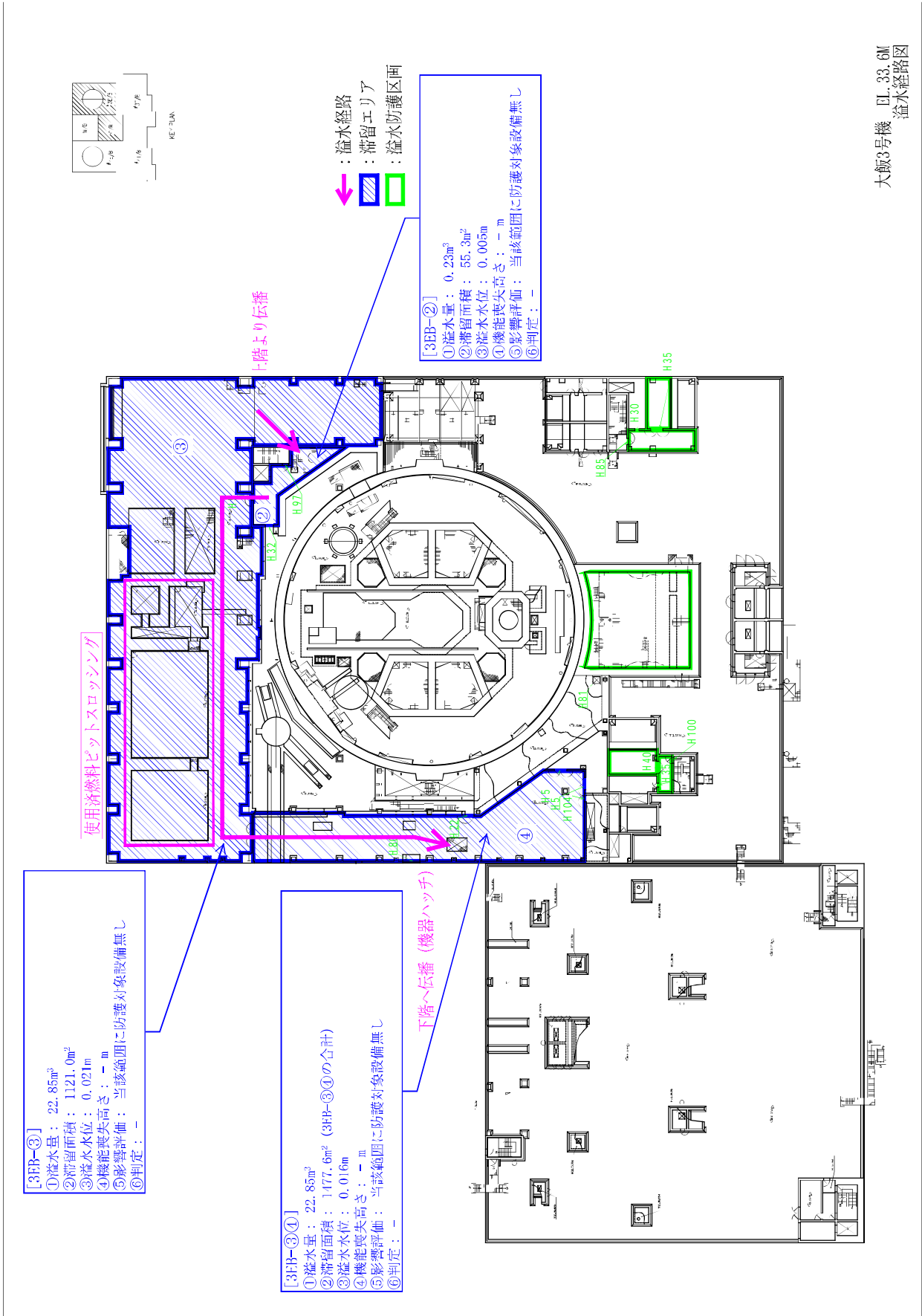
- 1: (1)
- 2: (1)+(2)
- 3: (3)+(4)+(5)
- 4: (1)+(2)+(3)+(4)+(5)
- 5: (6)
- 6: (6)+(7)



↓ : 溢水経路
 ■ : 滞留エリア
 □ : 溢水防護区画

3FB-①
 ① 溢水量 : 0.23m³
 ② 滞留面積 : 167.6m²
 ③ 溢水水位 : 0.002m
 ④ 機柜喪失高さ : 1.10 m
 (当該範囲で最も低い設備 : 3原了水-相線冷却水サージタンク水位Ⅲ, IV 3LT-1200, 1201)
 ⑤ 影響評価 : ③ < ④
 ⑥ 判定 : ○

大飯3号機 EL.38.7M EL.42.6M
 溢水経路図



[3FB-3]
 ① 溢水量：22.85m³
 ② 滞留面積：1121.0m²
 ③ 溢水水位：0.021m
 ④ 機能喪失高さ：- m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

[3FB-3④]
 ① 溢水量：22.85m³
 ② 滞留面積：1477.6m² (3FB-3③④の合計)
 ③ 溢水水位：0.016m
 ④ 機能喪失高さ：- m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

[3FB-2]
 ① 溢水量：0.23m³
 ② 滞留面積：55.3m²
 ③ 溢水水位：0.005m
 ④ 機能喪失高さ：- m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

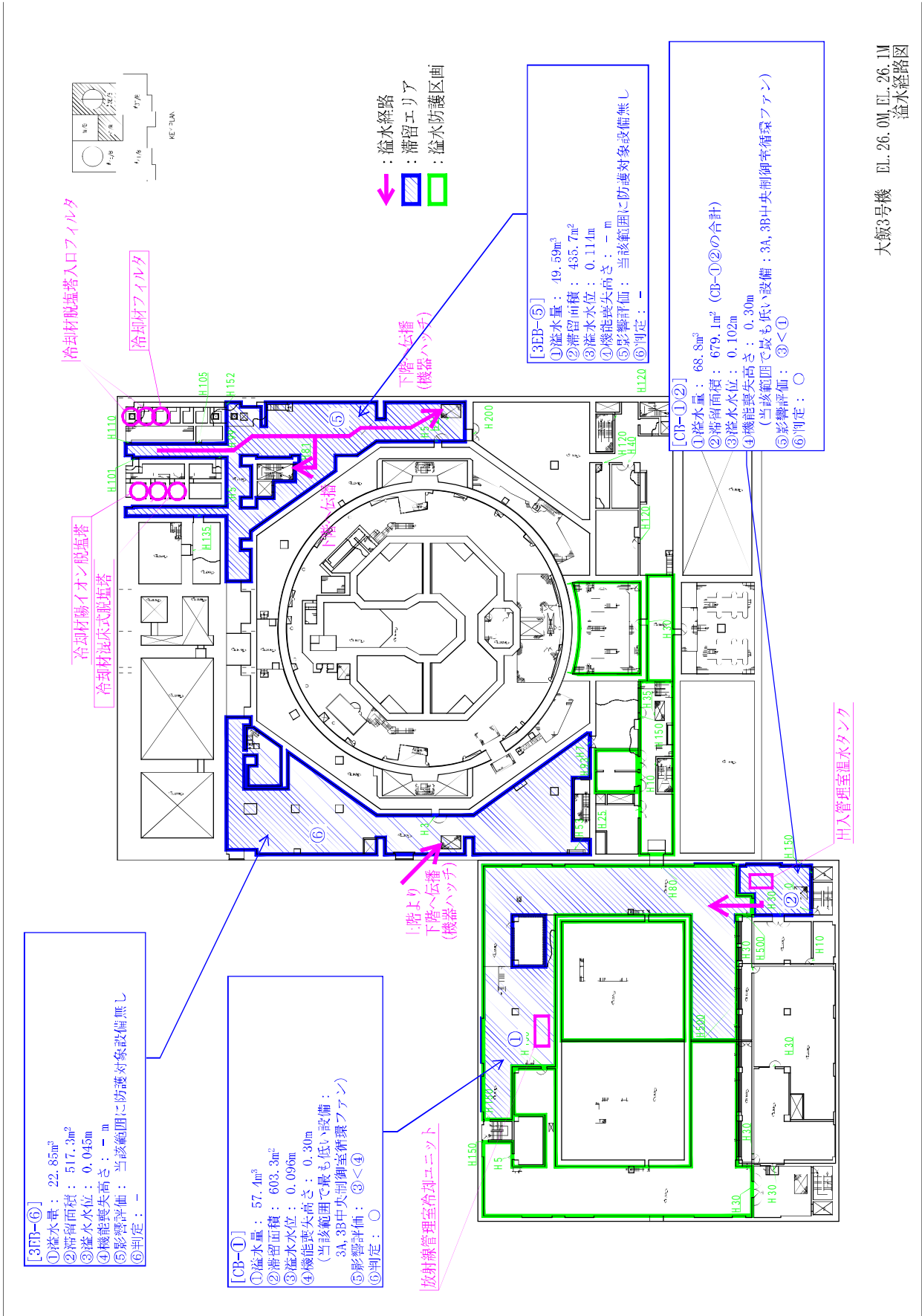
使用済燃料ピットストロング

上階より伝播

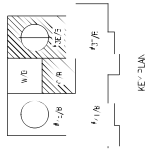
下階へ伝播 (機器ハッチ)

↑：溢水経路
 ■：滞留エリア
 □：溢水防護区画

大飯3号機 図. 33. 6M
 溢水経路図

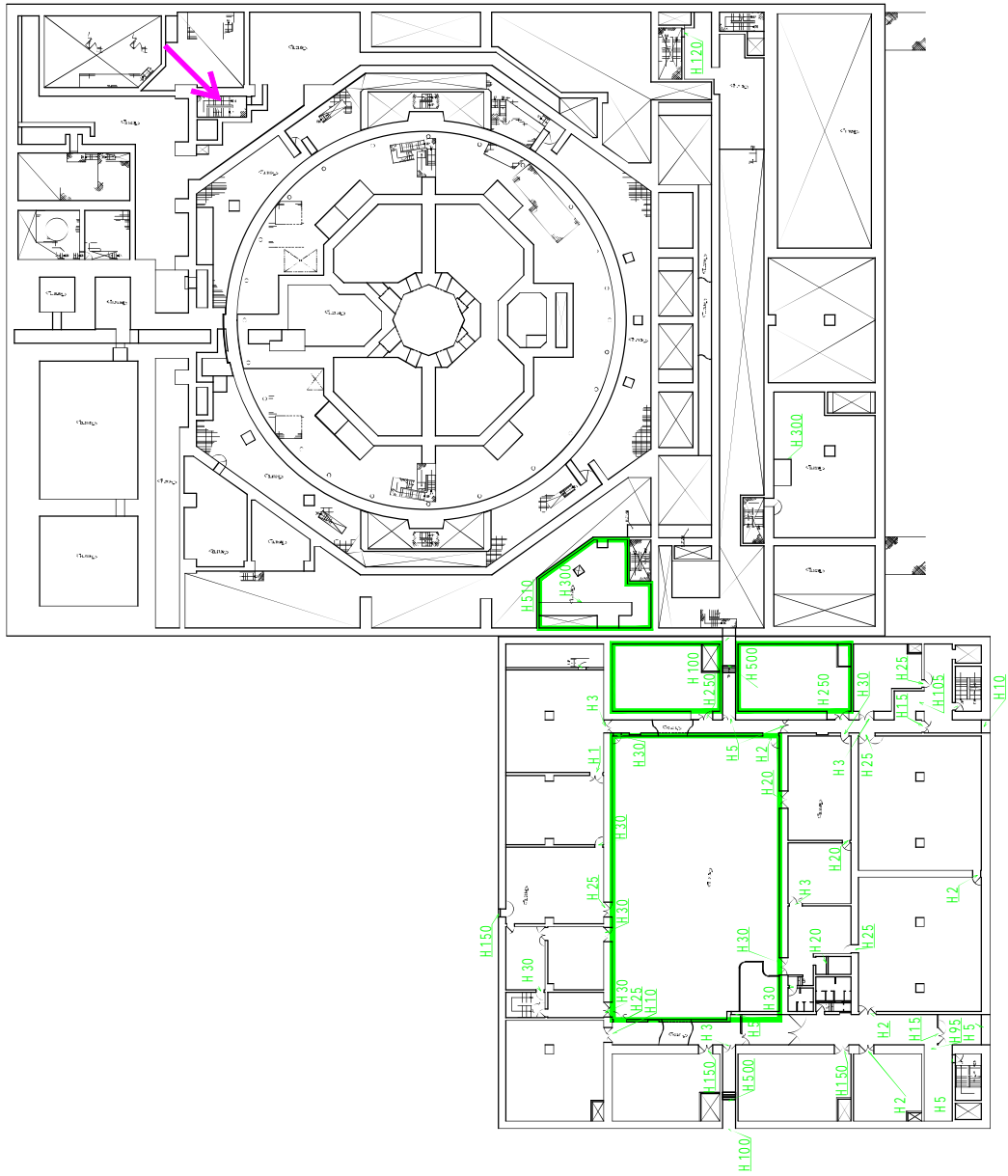


大飯3号機 EL.26.0M EL.26.1M
溢水経路図

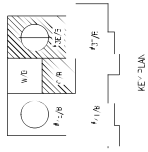


- : 溢水経路
- : 滞留エリア
- : 溢水防護区画

上階より
下階へ伝播

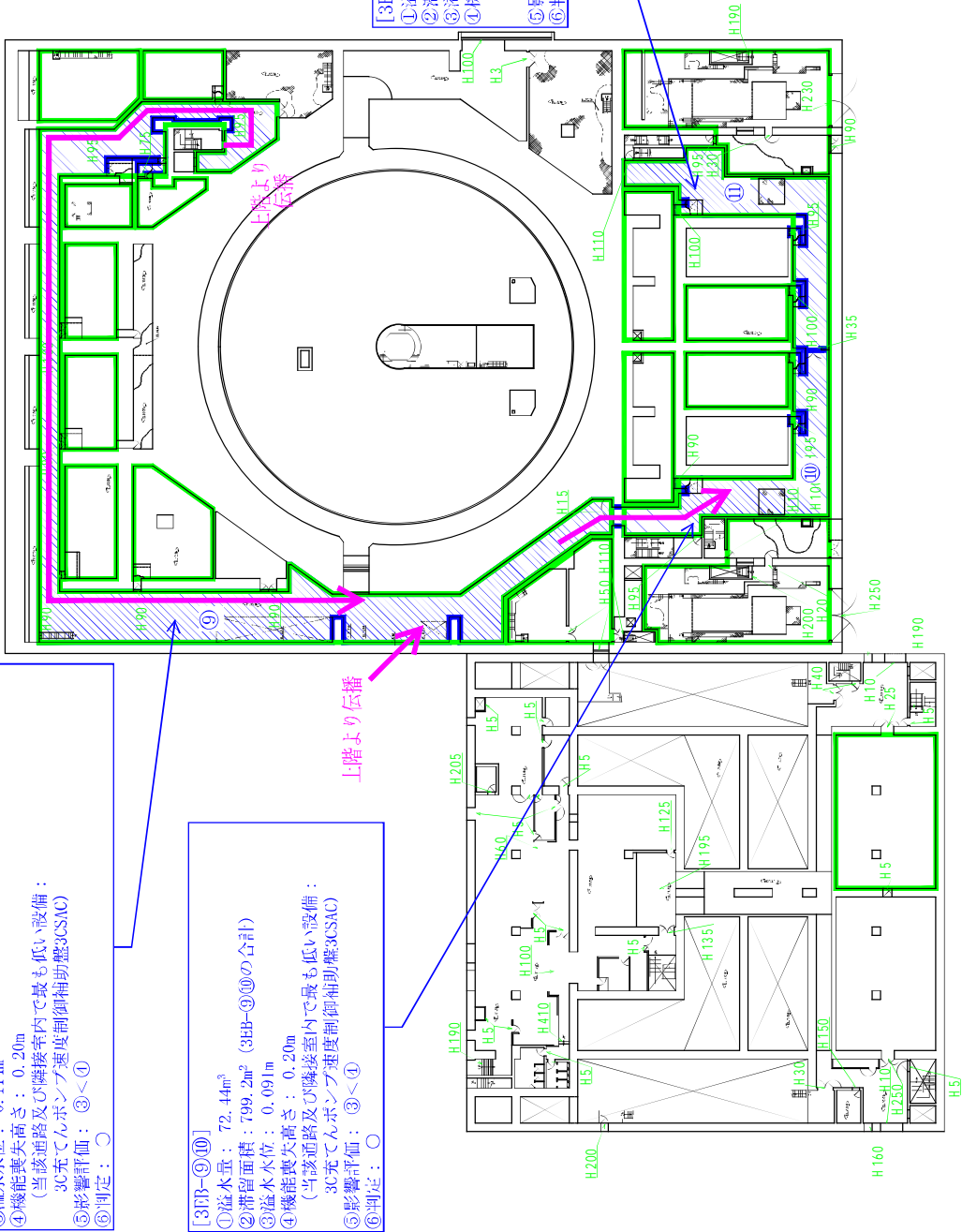


大飯3号機 EL. 22. 0M EL. 21. 8M
溢水経路図



① : 溢水経路
 ② : 滞留エリア
 ③ : 溢水防護区画

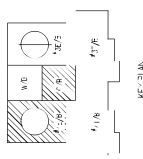
[3FB-⑨⑩⑪]
 ① 溢水量 : 72.41m³
 ② 滞留面積 : 964.9m² (3FB-⑨⑩⑪の合計)
 ③ 溢水水位 : 0.076m
 ④ 機能喪失高さ : 0.20m
 (当該通路及び隣接室内で最も低い設備 :
 3C充てんポンプ速度制御補助盤3CSAC)
 ⑤ 影響評価 : ③<④
 ⑥ 判定 : ○



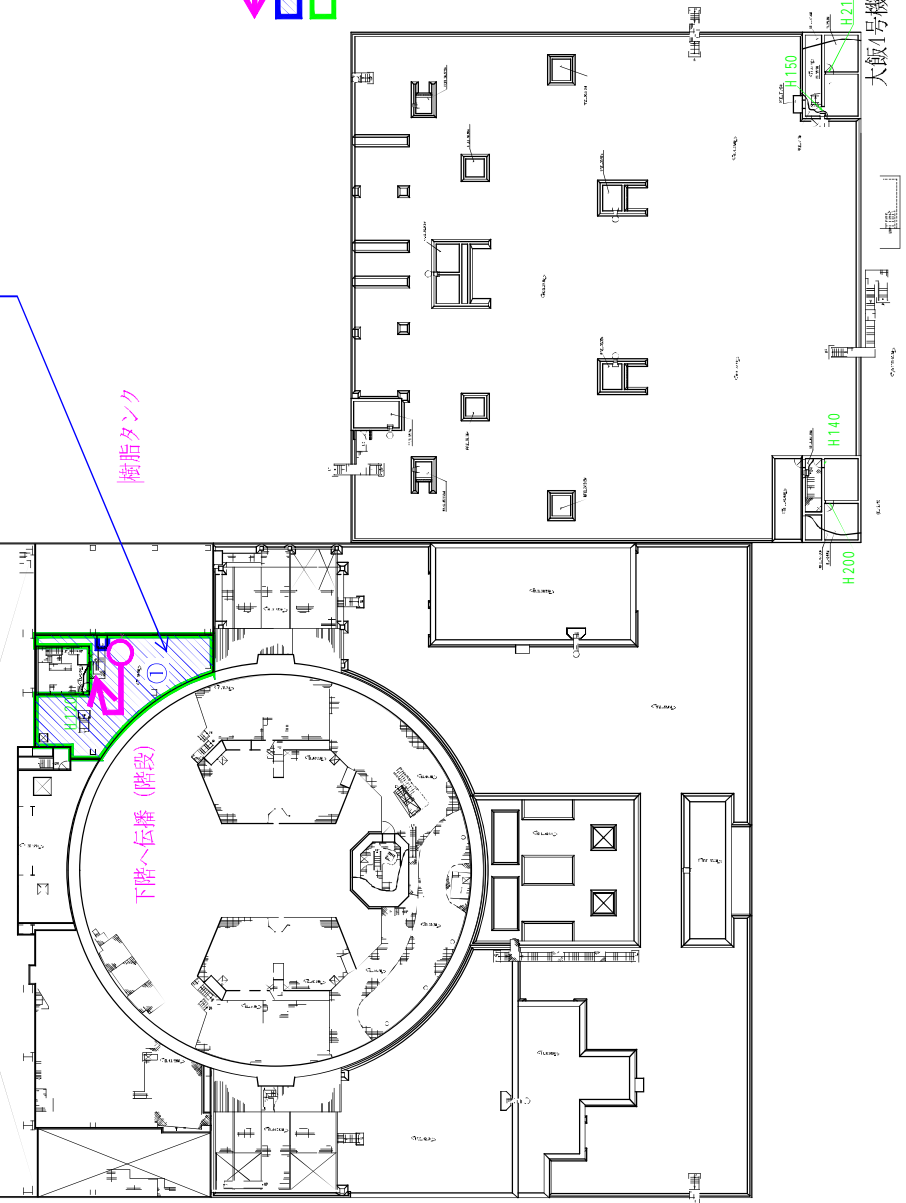
[3FB-⑨]
 ① 溢水量 : 72.44m³
 ② 滞留面積 : 638.0m²
 ③ 溢水水位 : 0.114m
 ④ 機能喪失高さ : 0.20m
 (当該通路及び隣接室内で最も低い設備 :
 3C充てんポンプ速度制御補助盤3CSAC)
 ⑤ 影響評価 : ③<④
 ⑥ 判定 : ○

[3FB-⑨⑩]
 ① 溢水量 : 72.44m³
 ② 滞留面積 : 799.2m² (3FB-⑨⑩の合計)
 ③ 溢水水位 : 0.091m
 ④ 機能喪失高さ : 0.20m
 (当該通路及び隣接室内で最も低い設備 :
 3C充てんポンプ速度制御補助盤3CSAC)
 ⑤ 影響評価 : ③<④
 ⑥ 判定 : ○

大飯3号機 EL.10.0M 溢水経路図

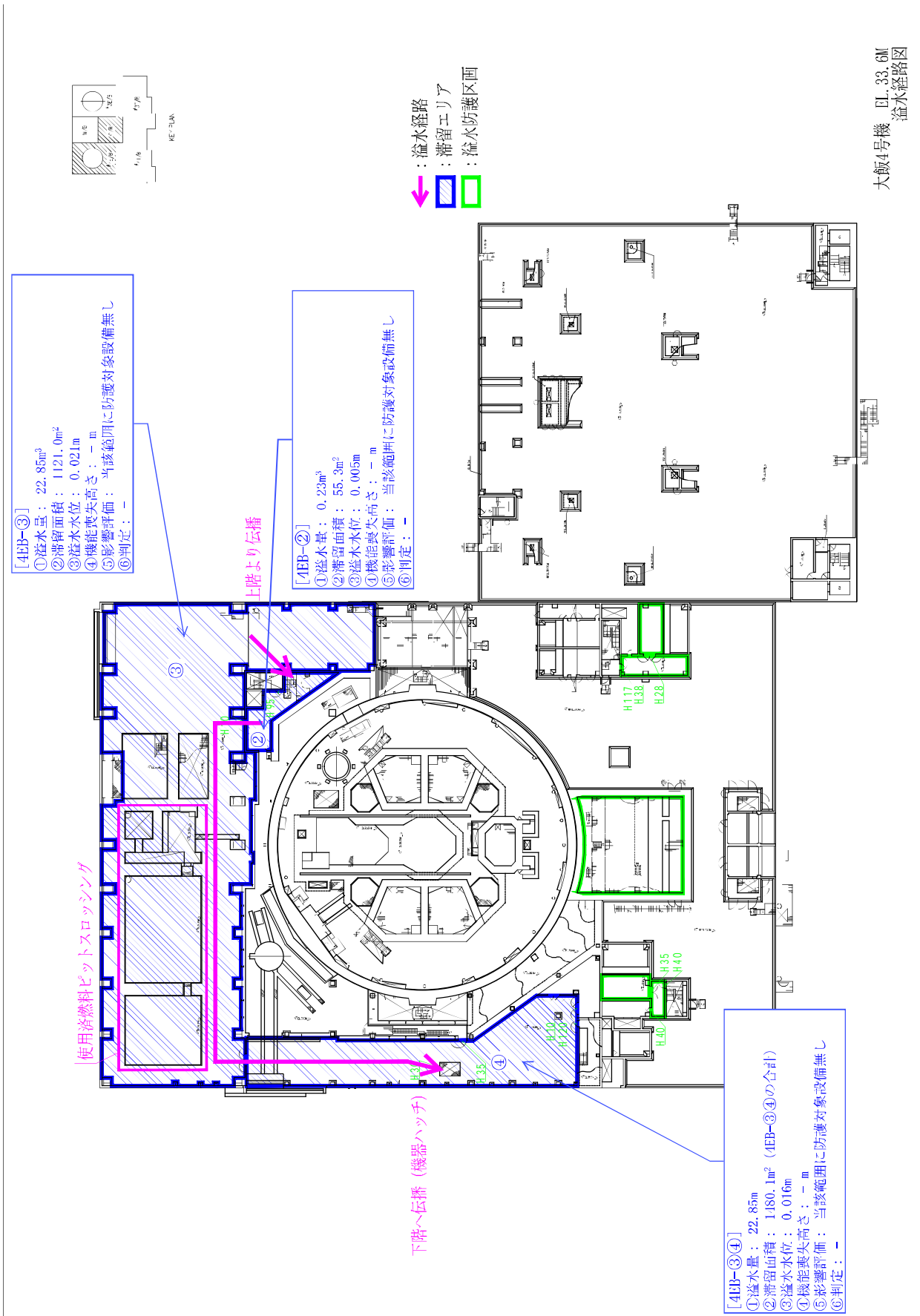


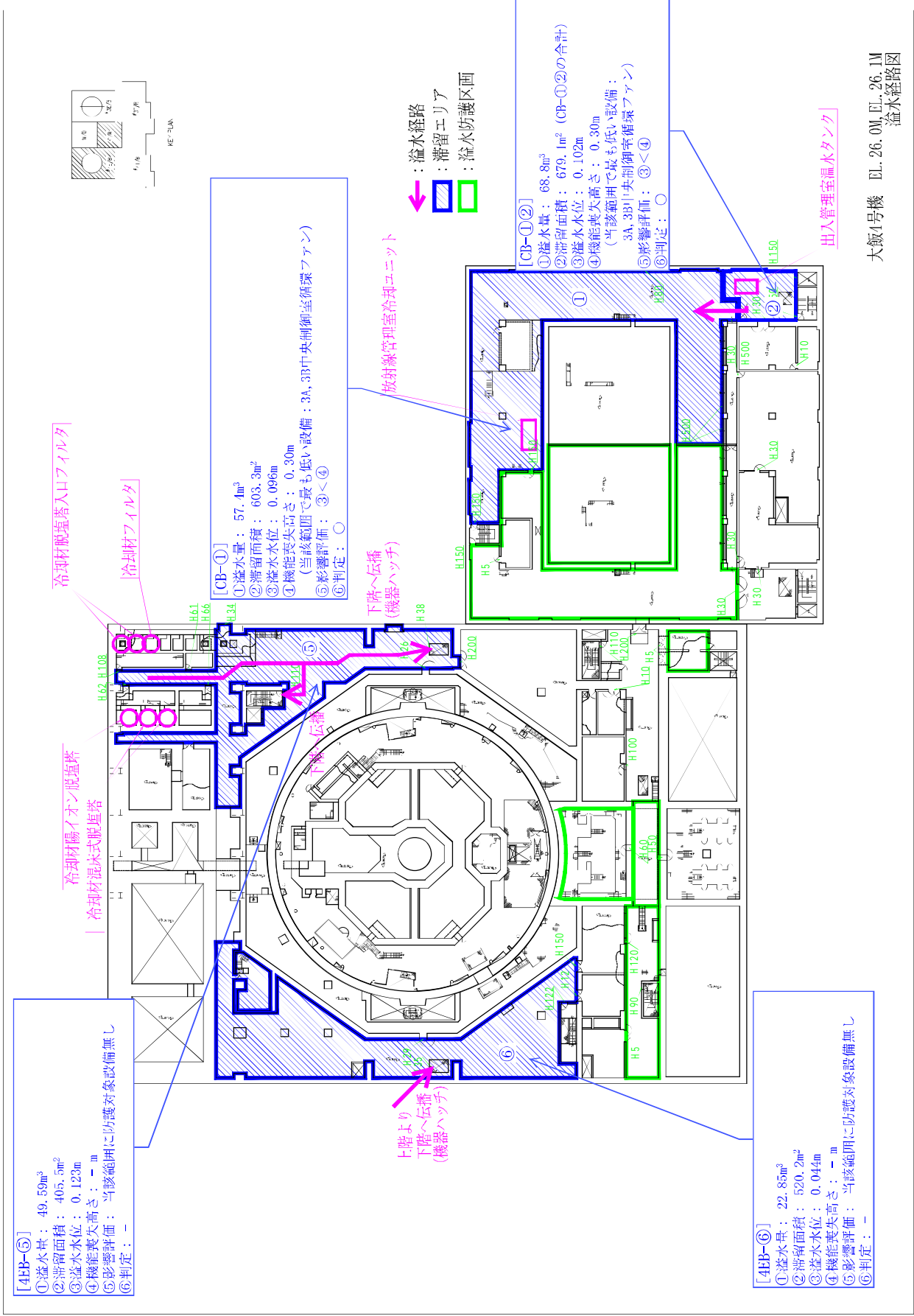
- [4EB-①]
- ① 溢水量：0.23m³
 - ② 滞留面積：167.6m²
 - ③ 溢水水位：0.002m
 - ④ 機能喪失高さ：1.00 m
(当該範囲で最も低い設備：
4原子炉補機冷却水サージタンク水位Ⅲ、Ⅳ 4LT-1200, 1201)
 - ⑤ 影響評価：③<④
 - ⑥ 判定：○



- ↓ (pink arrow) : 溢水経路
- ▨ (blue hatching) : 滞留エリア
- (green outline) : 溢水防護区画

大飯4号機
EL. 38.7M, EL. 42.6M
溢水経路図





[4BB-5]
 ① 溢水量：49.59m³
 ② 滞留面積：405.5m²
 ③ 溢水水位：0.123m
 ④ 機能喪失高さ：- m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

[4BB-6]
 ① 溢水量：22.85m³
 ② 滞留面積：520.2m²
 ③ 溢水水位：0.044m
 ④ 機能喪失高さ：- m
 ⑤ 影響評価：当該範囲に防護対象設備無し
 ⑥ 判定：-

[CB-1]
 ① 溢水量：57.4m³
 ② 滞留面積：603.3m²
 ③ 溢水水位：0.096m
 ④ 機能喪失高さ：0.30m
 (当該範囲で最も低い設備：3A, 3B中央制御室循環ファン)
 ⑤ 影響評価：③<④
 ⑥ 判定：○

[CB-1②]
 ① 溢水量：68.8m³
 ② 滞留面積：679.1m² (CB-1②の合計)
 ③ 溢水水位：0.102m
 ④ 機能喪失高さ：0.30m
 (当該範囲で最も低い設備：
 3A, 3B中央制御室循環ファン)
 ⑤ 影響評価：③<④
 ⑥ 判定：○

冷却材脱塩塔入口フィルタ
 冷却材フィルタ

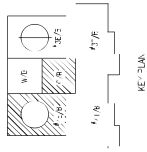
冷却材陽イオン脱塩塔
 冷却材混床式脱塩塔

溢水経路
 滞留エリア
 漏水防護区画

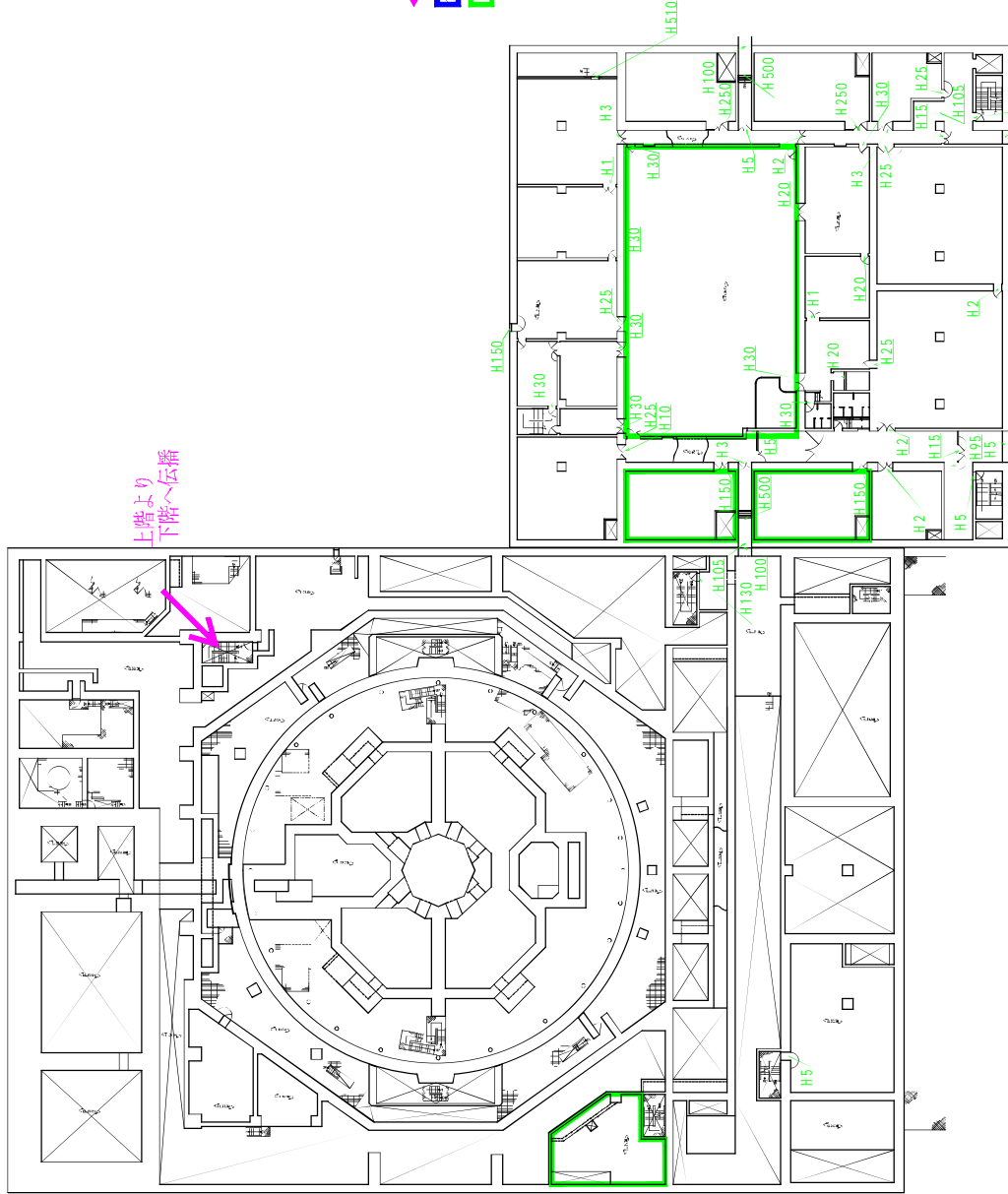
放射線管理室冷却ユニット
 下階へ伝播 (機器ハッチ)
 下階へ伝播 (機器ハッチ)

出入管理室温水タンク

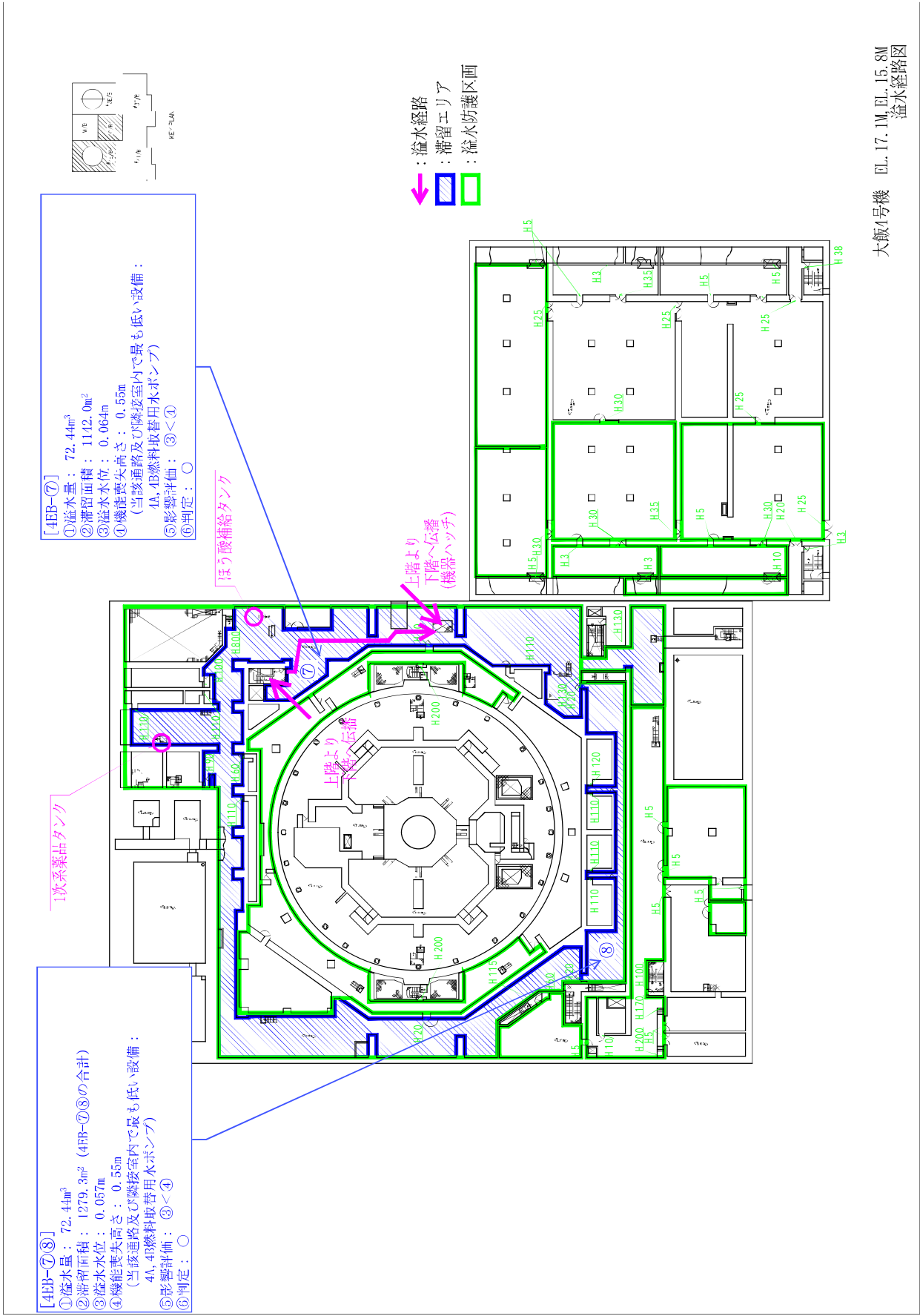
大飯4号機 図. 26. 0M 図. 26. 1M
 溢水経路図

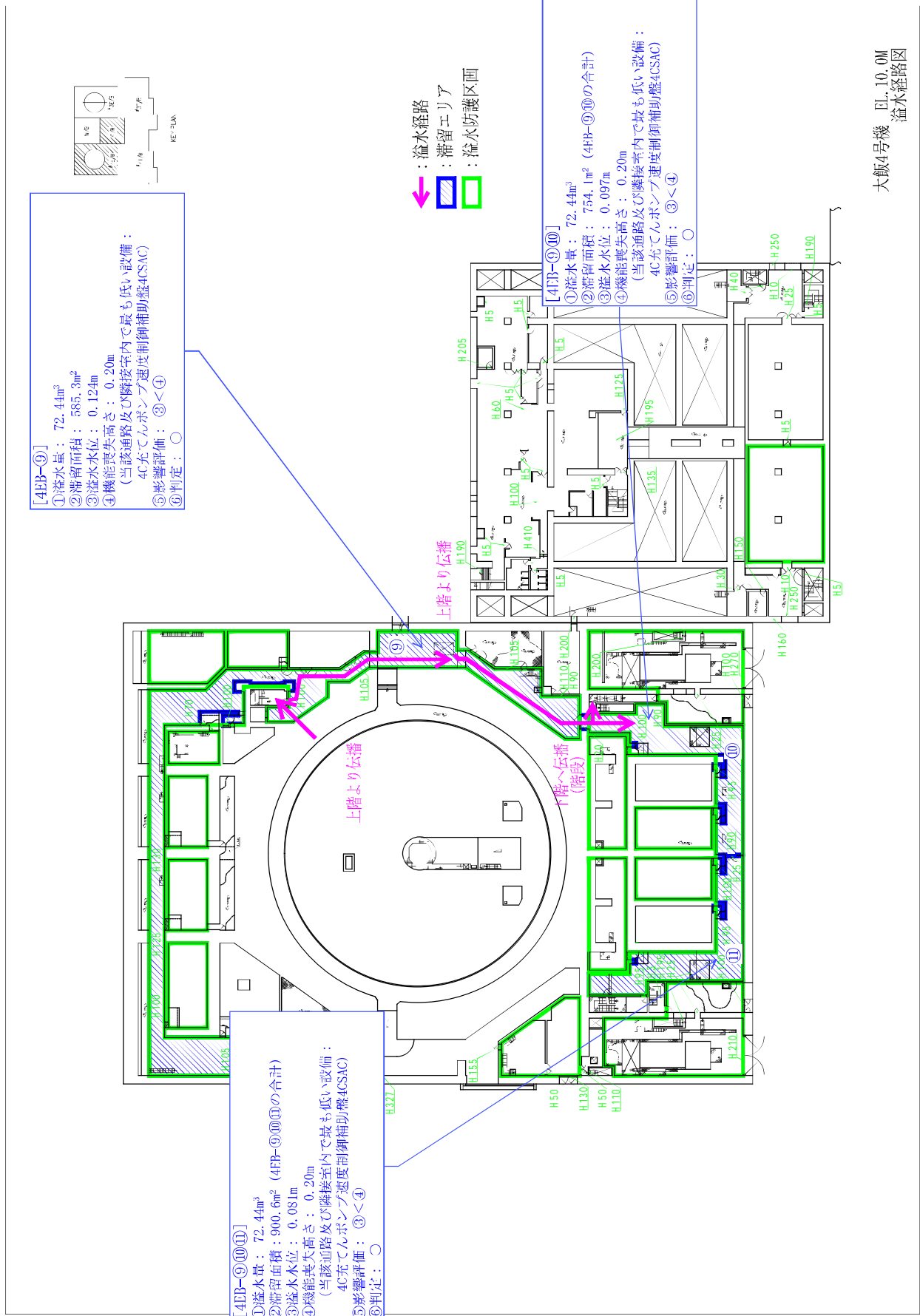


↓ : 溢水経路
 ■ : 滞留エリア
 □ : 溢水防護区画

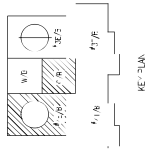


大飯4号機 EL. 22.0M EL. 21.8M
溢水経路図





大飯4号機 EL.10.0M
 溢水経路図



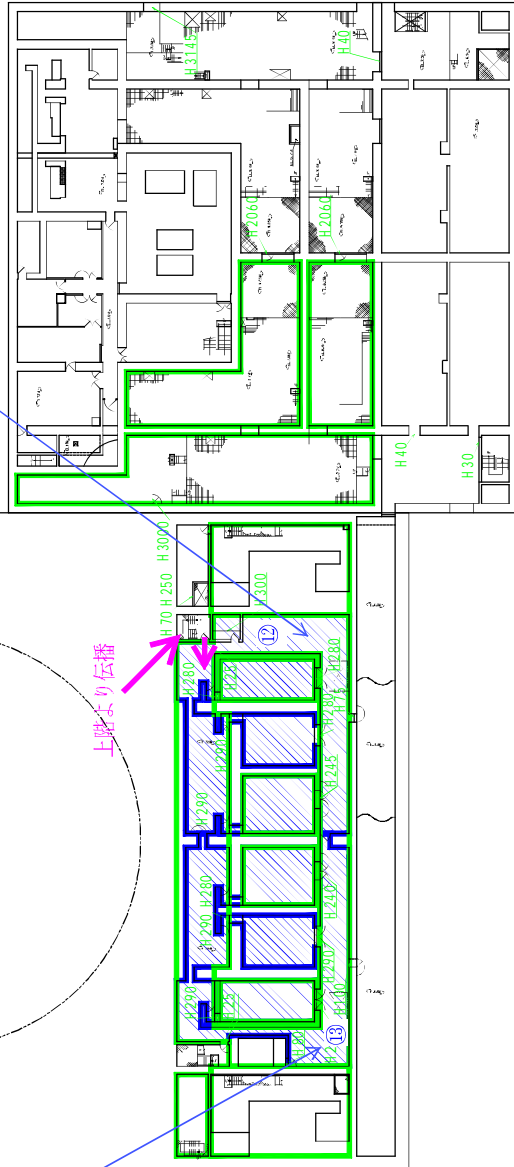
- ↑ : 溢水経路
- ▨ : 滞留エリア
- : 溢水防護区画

[4EB-⑫]

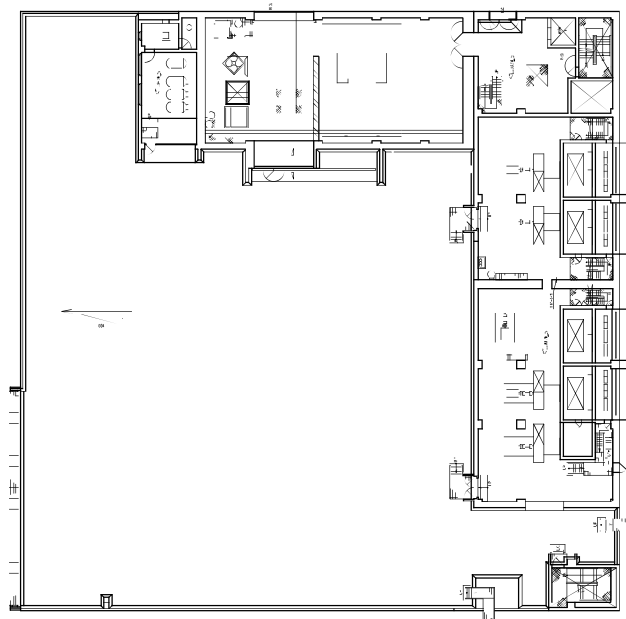
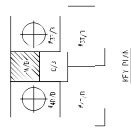
- ① 排水量 : 72.44m³
- ② 滞留面積 : 291.9m²
- ③ 排水水位 : 0.249m
- ④ 機能喪失高さ : 0.35m
(当該範囲で最も低い設備 : 4A, 4B高圧注入ポンプ)
- ⑤ 影響評価 : ③<④
- ⑥ 判定 : ○


[4EB-⑬]

- ① 排水量 : 72.44m³
- ② 滞留面積 : 602.1m² (4EB-⑫⑬の合計)
- ③ 排水水位 : 0.121m
- ④ 機能喪失高さ : 0.35m
(当該範囲で最も低い設備 : 4A, 4B高圧注入ポンプ)
- ⑤ 影響評価 : ③<④
- ⑥ 判定 : ○

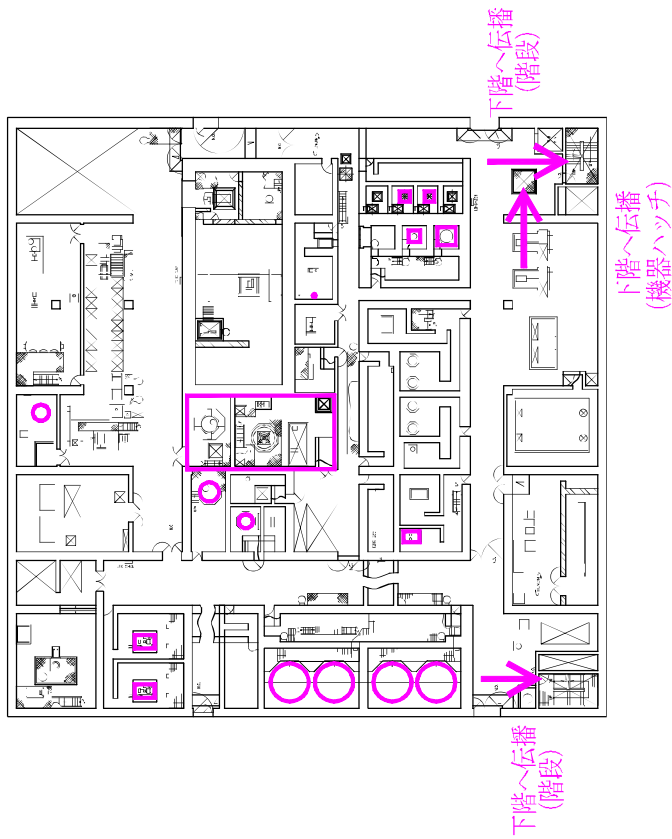
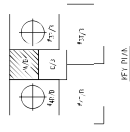


大飯4号機 EL. 3.5M, EL. 7.0M
溢水経路図

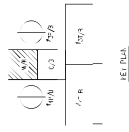




 : 溢水経路
 : 滞留エリア

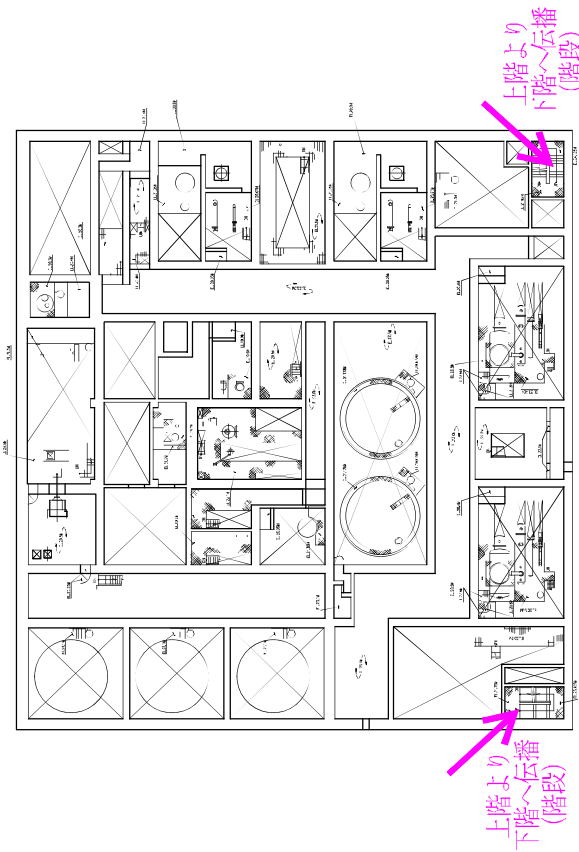
大飯3.4号機 W/B EL.33.6M
 溢水経路図



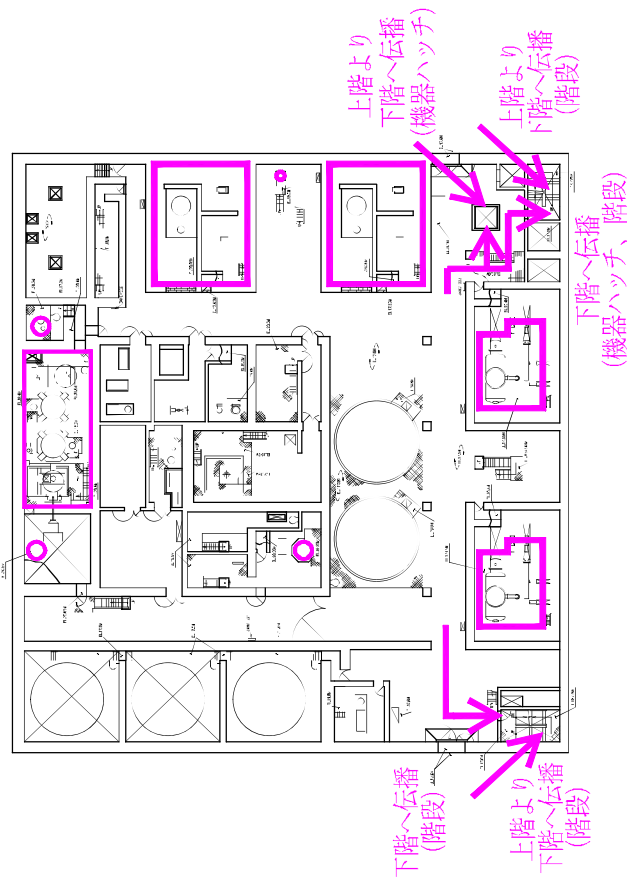
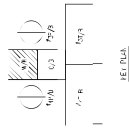
大飯3,4号機 W/B
 EL. 26.0M - 29.5M/30.5M
 溢水経路図



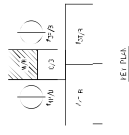
 : 溢水経路
 : 滞留エリア





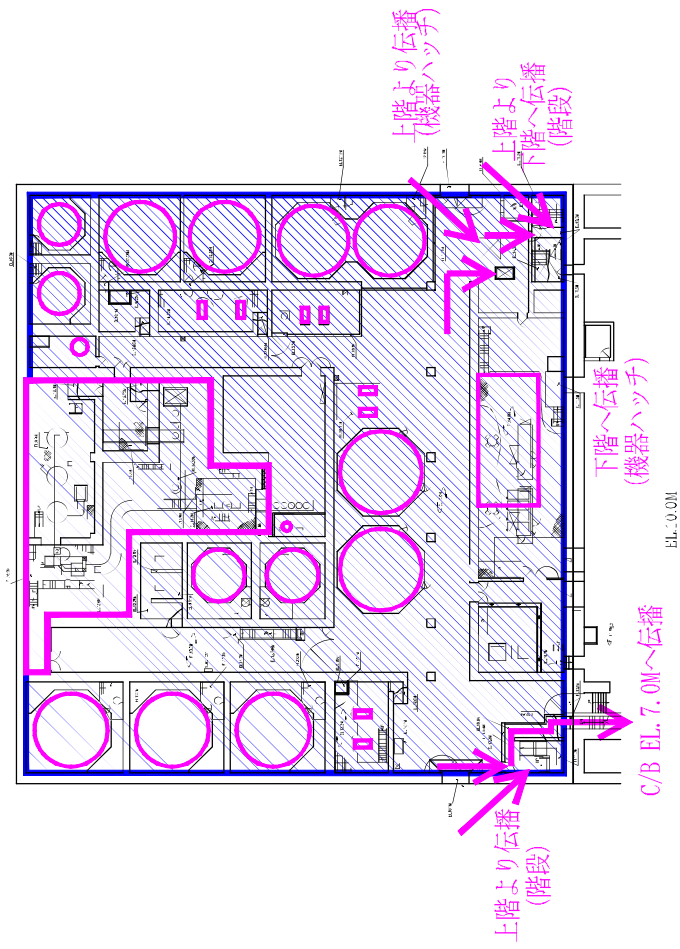
大飯3,4号機 W/R FI. 23. 0M
溢水経路図



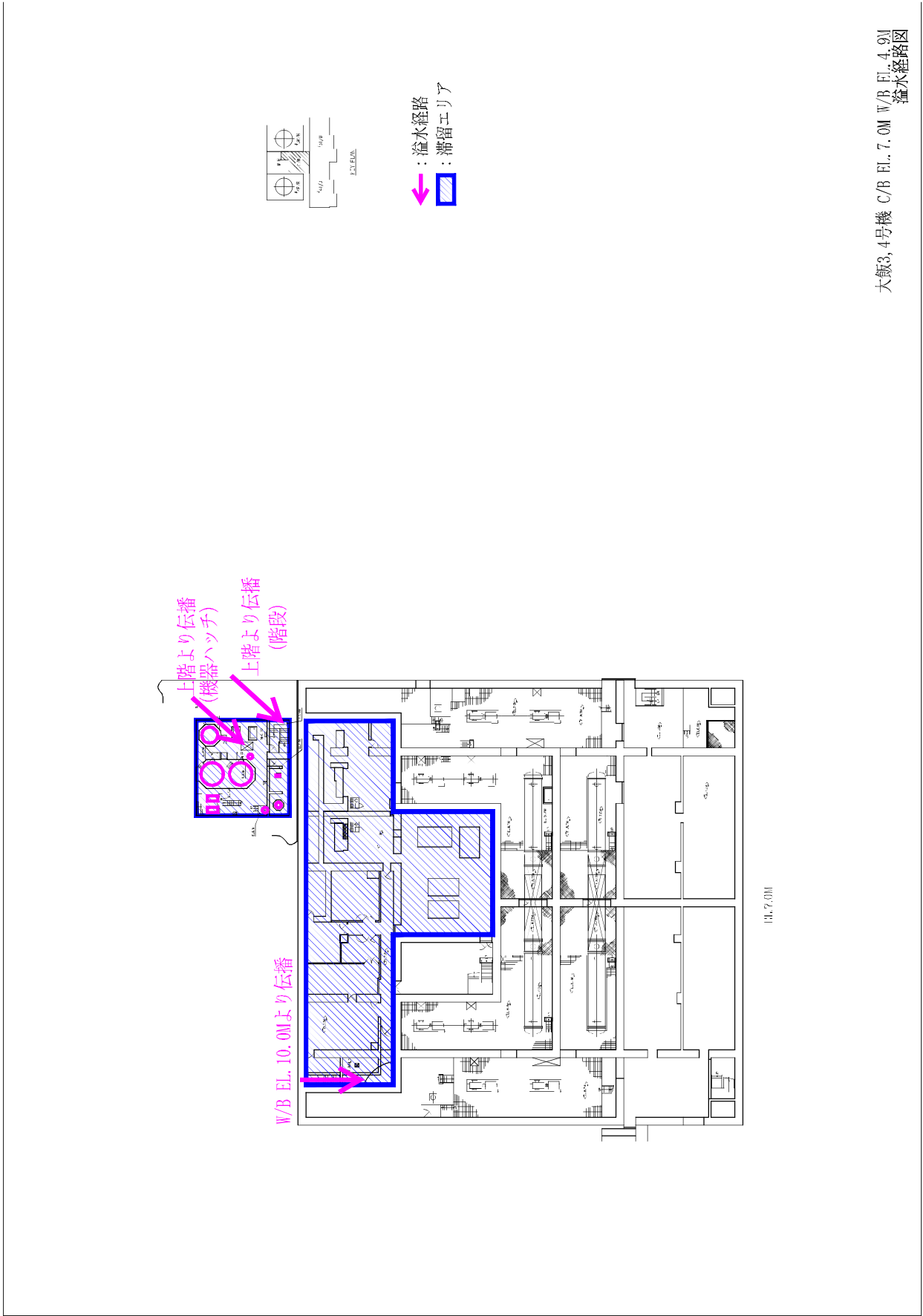
大観3, 4号機 W/R EL.17.5M
溢水経路図



 : 溢水経路
 : 滞留エリア



大飯3, 4号機 W/B FL. 10. 0M
 溢水経路図



海水ポンプエリアの溢水影響評価

1.はじめに

海水ポンプエリアには塵芥排出用トラフを経由して、取水路に排出されることから、溢水が滞留し続けることはないが、溢水の影響評価にあたっては、海水ポンプエリアにある低エネルギー配管の想定破損による溢水、消火栓からの溢水および地震時のCクラス配管からの溢水を想定する。

2. 溢水量

(1)地震時のCクラス配管からの溢水量

| | 溢水量 (m ³) |
|------------|-----------------------|
| 淡水系統 | 169 |
| スクリーン洗浄水系統 | 1.5 |
| 海水電解装置系統 | 4 |
| 海水淡水化装置系統 | 12 |
| 合計 | 186.5 |

(2)消火栓からの溢水量を算出

消火栓からの溢水量を下記のとおり算出した。

$$\cdot 130\ell/\text{min}/\text{個} \times 3 \text{ 時間} \times 2 \text{ 個} = 46.8\text{m}^3$$

(3)低エネルギー配管の想定破損による溢水量を算出

本ガイドに従い、単一機器の破損想定による溢水量は、Cクラス配管のうち、溢水量が最も多い淡水系統の溢水量 169m³とした。

以上より、地震時のCクラス配管からの溢水量は、消火栓からの溢水量および低エネルギー配管の想定破損による溢水量よりも大きいため、地震時におけるCクラス配管からの溢水量で影響評価を行った。

3. 溢水水位

海水ポンプエリアの床面積：548.6m³ (21.1m × 26.0)

機器の欠損率：35%

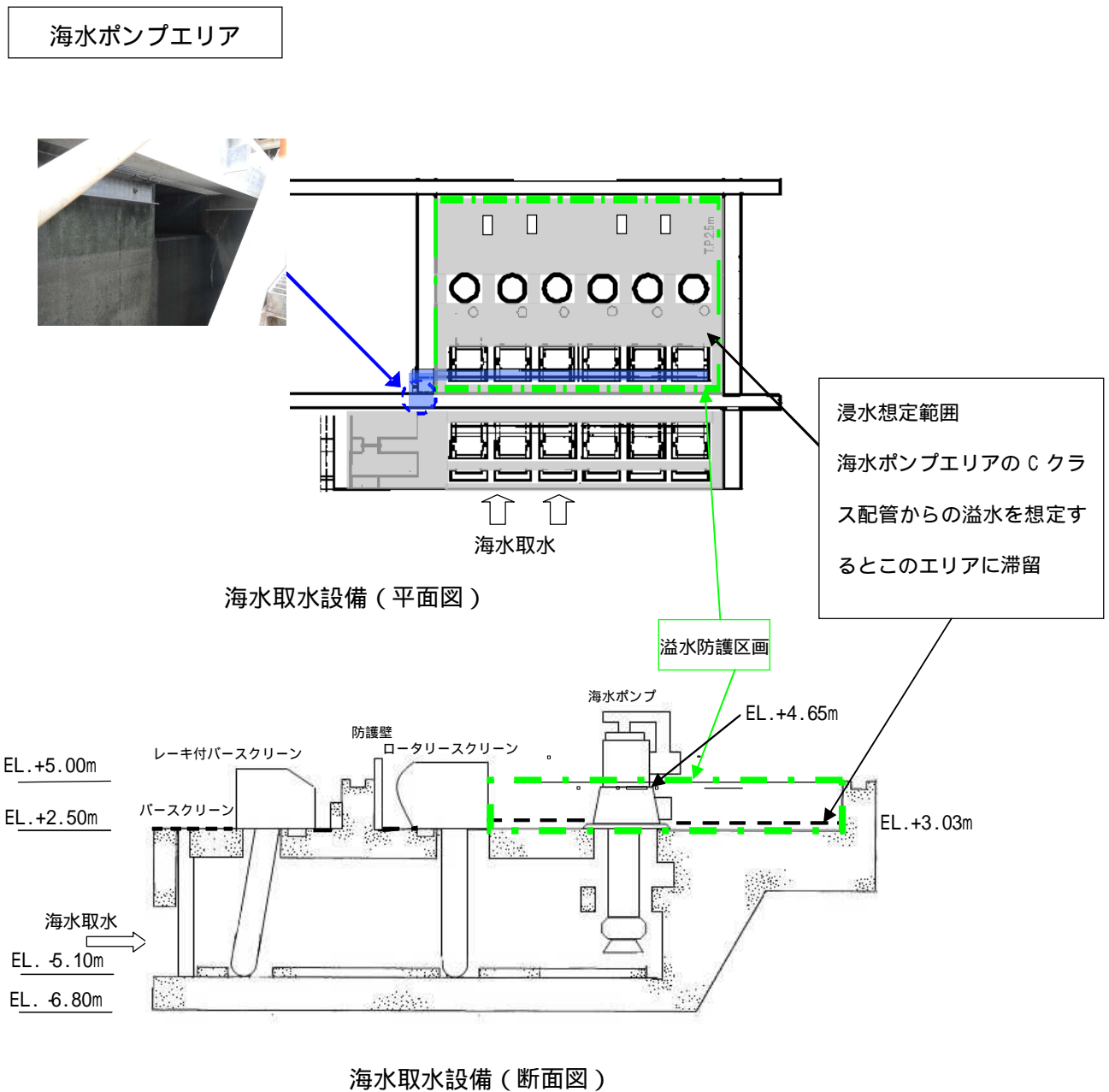
(主要な機器としてロータリースクリーン：約20%(約17.4m² × 6台)、海水ポンプ：約5%(約4.1m² × 6台)が設置されており、その他の機器の欠損を考慮して設定)

以上より

海水ポンプエリアの水位：約 0.53m(186.5/(548.6×0.65))

4. 溢水影響評価

想定される溢水水位 EL.3.03m (EL.2.5m + 0.53m) に対して、防護対象設備である海水ポンプの機能喪失高さは EL.4.65m であることから、溢水の影響はない。



タービン建屋からの溢水影響

1.はじめに

タービン建屋に設置されている循環水管の伸縮継手及び2次系設備における地震時の破損を想定した場合及び地震により、循環水ポンプが停止するまでの間に生じる溢水量に2次系設備の保有水を合算した水量が、タービン建屋内の地下部に貯水可能であることを確認する。また、防護対象設備が設置されている制御建屋への溢水高さ(EL.13.8m)と比較し、防護対象設備への影響がないことを確認する。また、基準津波による影響評価についてもあわせて実施する。

なお、3、4号機は地下階で繋がっていることから、3、4号機あわせて評価を実施することとする。

2.溢水流量

溢水流量は「原子力発電所の内部溢水防護評価ガイド(案)付録B」に基づき算出する。

(1)想定破損

- ・伸縮継手部が破損
- ・破損形状はDt/4クラック

$$Q = A \times C \quad (2 \times g \times H) \times 3600$$

Q: 溢水流量 (m³/h)
 A: 断面積 (m²)
 (D/2) × (t/2) にて算出
 C: 損失係数 (= 0.82)
 H: 水頭 (m) (= 16.2m)

| 内径(mm)D | 板厚(mm)t | 溢水流量(m ³ /hr)/ユニット |
|---------|---------|-------------------------------|
| 4,200 | 30 | 1657.0 |

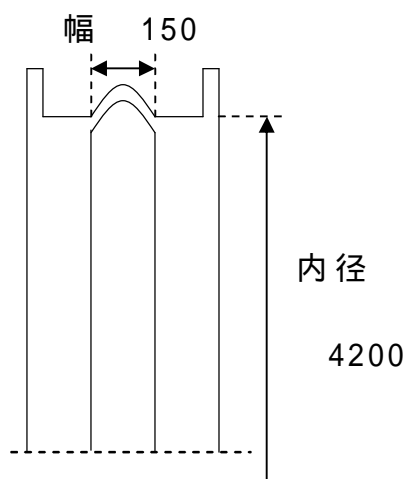
(2)地震による破損

- ・伸縮継手部が破損
- ・破損形状はリング状破損

$$Q = A \times C \quad (2 \times g \times H) \times 3600$$

Q: 溢水流量 (m³/h)
 A: 断面積 (m²)
 (× D × w) にて算出
 C: 損失係数 (= 0.82)
 H: 水頭 (m) (= 16.2m)

| 内径(mm)D | 継手幅(mm)w | 溢水流量(m ³ /hr)/ユニット |
|---------|----------|-------------------------------|
| 4,200 | 150 | 104057.2 |



3. 隔離までの時間

(1) 想定破損

| | |
|-----------------------------------|-----|
| タービンサンプあるいは海水サンプ の警報による異常の認知時間 | 10分 |
| 循環水ポンプ停止 | 6分 |
| 合計 | 16分 |

(2) 地震時

| | |
|----------------|-----|
| 地震発生事象確認 | 10分 |
| 地震発生による異常の認知時間 | 10分 |
| 循環水ポンプ停止 | 6分 |
| 合計 | 26分 |

4. 溢水量評価

(1) 循環水管からの溢水量

溢水量は以下の式により算出

$$(\text{溢水流量}) \times (\text{隔離までの時間}) = (\text{溢水量})$$

| | 溢水量 (m ³) |
|---------|------------------------------|
| 想定破損 | 約 450 × 2 ユニット = 約 900 |
| 地震による破損 | 約 45,100 × 2 ユニット = 約 90,200 |

(2) 建屋内機器、配管の保有水

| 保有水量 / ユニット | | 保有水量合計 (m ³) / ユニット |
|----------------------|----------------------|---------------------------------|
| 配管 (m ³) | 機器 (m ³) | |
| 約 1,130 | 約 2,940 | 約 4,100 |

$$4,100 \times 2 \text{ ユニット} = 8,200 \text{ m}^3$$

(3) 津波による循環水管からの溢水量

基準津波による設計津波高さは 3、4 号機循環水ポンプ室前で EL.2.85m と評価されるため津波が地上を遡上することはなく、また、循環水管を経由したタービン建屋への流入量は循環水ポンプが停止するまでの間に生じる溢水量に比べて十分小さい。

5. 空間容積

空間容積は EL.9.25m 以下のタービン建屋体積から、欠損部体積を差し引いた値。

欠損部体積を算出した主な設備は以下のとおり。

建屋構造物：柱基礎、壁、復水器基礎、タービン架台脚部、
循環水管基礎等

設備：ポンプ、タンク、盤等

配管：循環水管、復水管、海水管等

3、4 号機のタービン建屋は地下階で繋がっていることから、3、4 号機を合算した空間容積を算出。

| ユニット | 地下体積 (m ³) | 欠損部体積 (m ³) | 空間容積 (m ³) |
|------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| 3 号機 | 約 106,000 | 約 43,000 | 約 63,000 |
| 4 号機 | 約 74,000 | 約 25,800 | 約 48,200 |

$$\text{合計} \text{ 約 } 111,200 \text{ m}^3$$

6. 評価結果

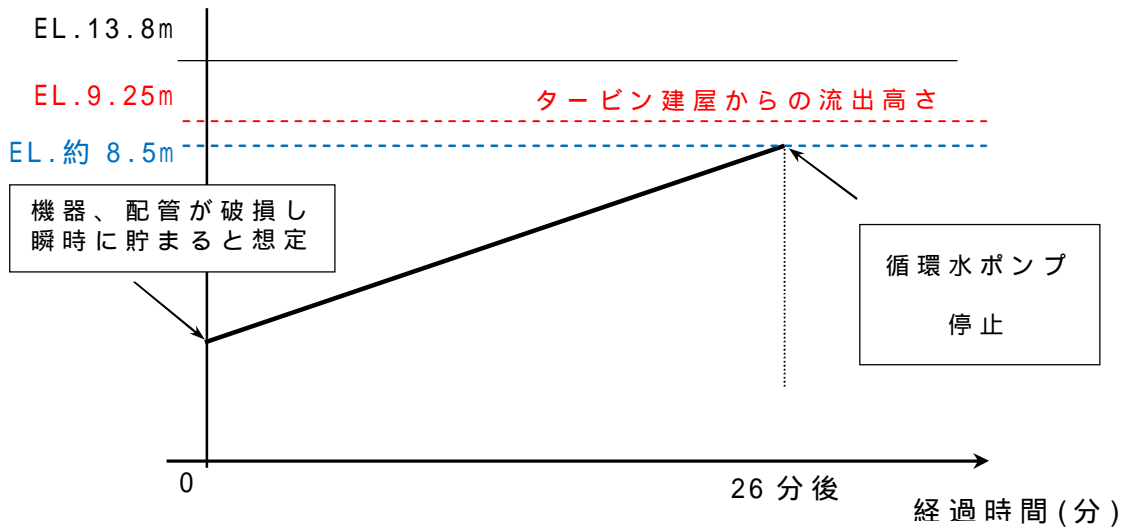
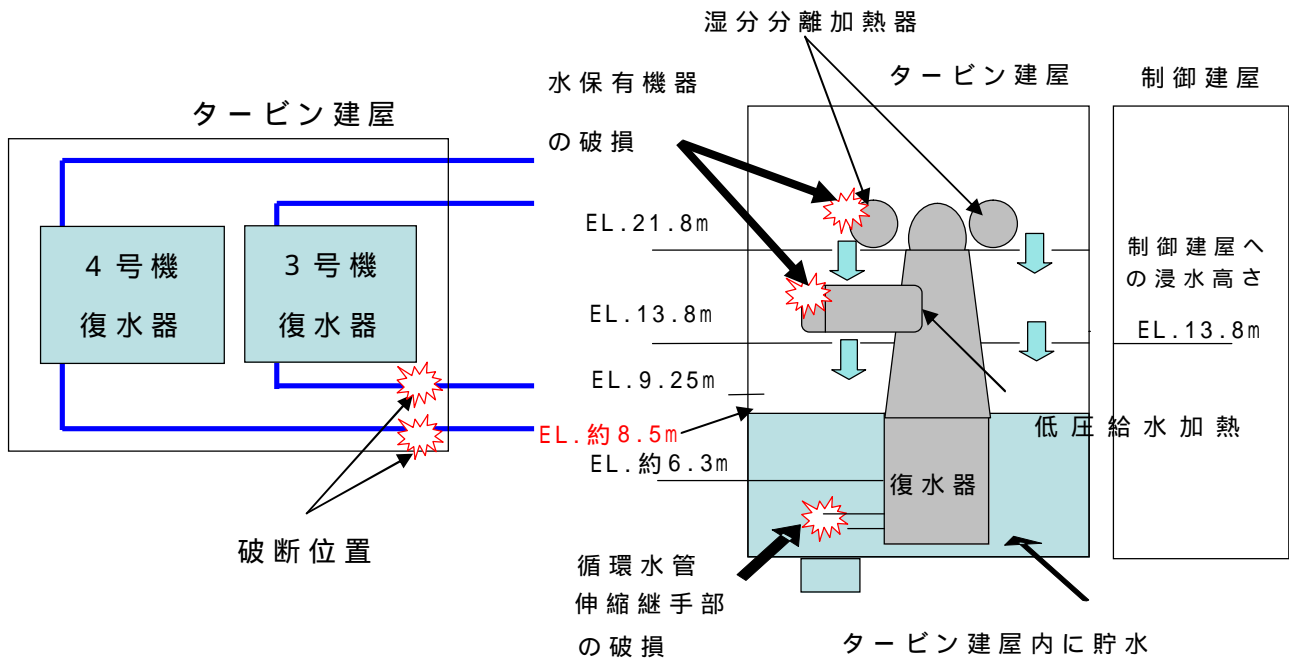
循環水管からの溢水量は地震による破損の場合は約 90,200m³ である。機器や配管の破損による溢水量は約 8,200m³ である。

したがって、循環水管と建屋内機器、配管の同時破損を想定した場合の溢水量は、上述の値の合計値約 98,400m³ となる。一方の空間容積は約 111,200m³ である。

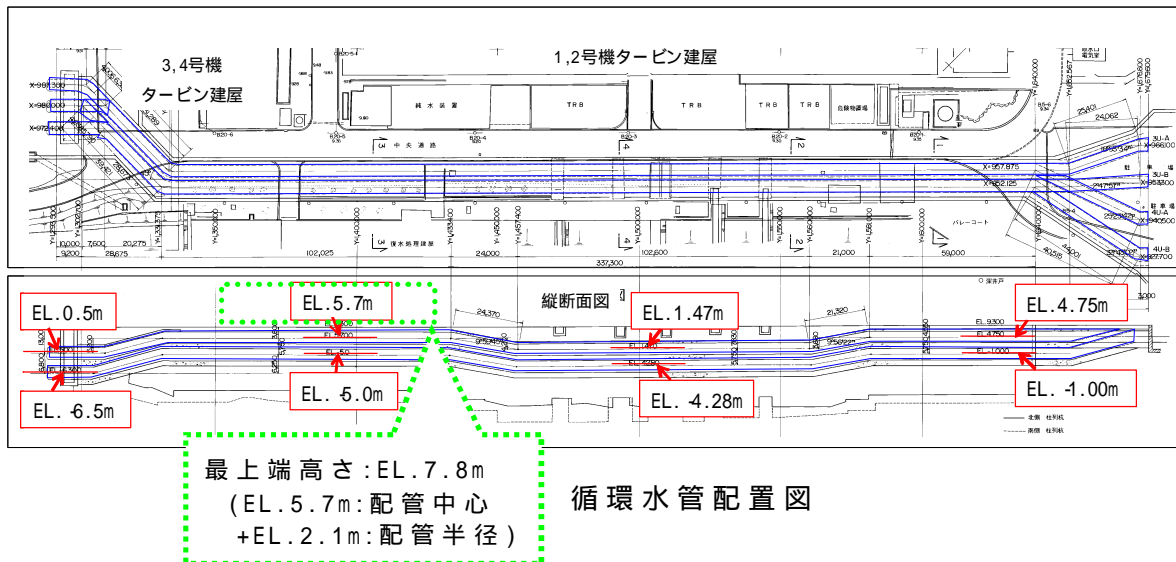
以上より、溢水はタービン建屋地下に滞留し、制御建屋の浸水高さを下回ることを確認した。

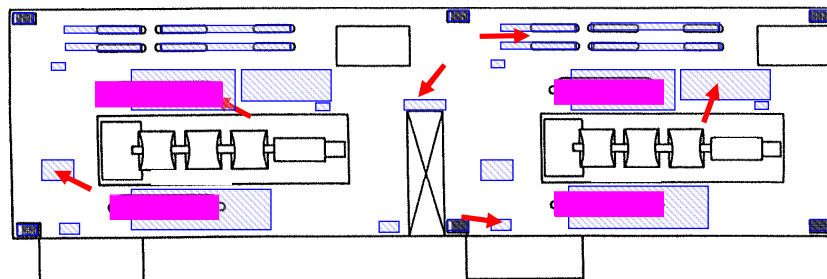
評価結果

| | 開口 | 伸縮 継手 諸元 (m) | 循環水管 からの 溢水 (m ³) | | 機器配 管から の溢水 (m ³) | 溢水量 (m ³) | 空間体積 (EL.9.25m) (m ³) | 制御建 屋への 浸水高 さ (m) |
|--------------|--|---------------------------|-------------------------------------|-------------|--|-----------------------------|---|----------------------------|
| | | | 3 号機 | 約 450 | | | | |
| 想定 破 損 | 1/4Dt クラック (配管口径 1/2 長 さと配管肉厚の 1/2 幅) | 内径 4,200 板厚 30 | 3 号機 | 約 450 | | 約 900 | 約 111,200 | EL. 13.8 |
| 地 震 時 | 伸縮継手部の全 周(リング)状破 損 | 内径 4,200 継手幅 150 | 3 号機 | 約 45,100 | 約 8,200 | 約 98,400 (約 EL. 8.5m) | | |
| | | | 4 号機 | 約 45,100 | | | | |



タービン建屋内の溢水水位イメージ

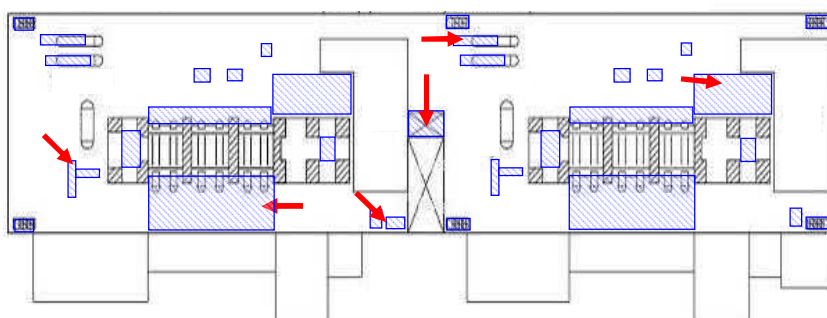




水保有水機器の破損
 開口部(グレーチング・階段開口)



タービン建屋 EL.21.8m 溢水経路図



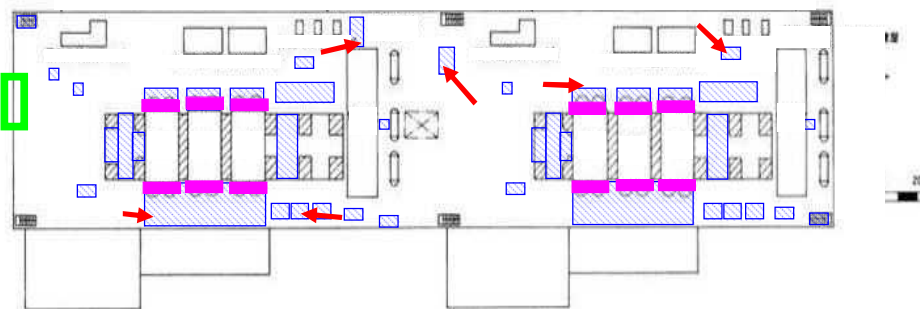
開口部(グレーチング・階段開口)



タービン建屋 EL.13.8m 溢水経路図



建屋外へ
EL.9.25m



■ 水保有水機器の破損

■ 開口部 (グレーチング・階段開口)



タービン建屋 EL.6.3m 溢水経路図

屋外タンクからの溢水影響

1.はじめに

原子炉施設高さ以上に設置されており、溢水の影響が想定される屋外タンク（淡水タンク及び、純水タンク）について、溢水による影響評価を実施する。

2.地震時のタンク座屈

淡水タンク等が基準地震動 S_s により座屈しないことを確認した。評価結果は以下の通り。

| 機器名称 | 設置高さ (m) | 基数 | 発生値 | 評価 基準値 | 判定 |
|-------|-------------|----|------|-----------|----|
| 淡水タンク | 81.0 | 3基 | 0.35 | 1 | |
| 純水タンク | 72.5 | 2基 | 0.72 | 1 | |
| 純水タンク | 81.0 | 1基 | 0.37 | 1 | |

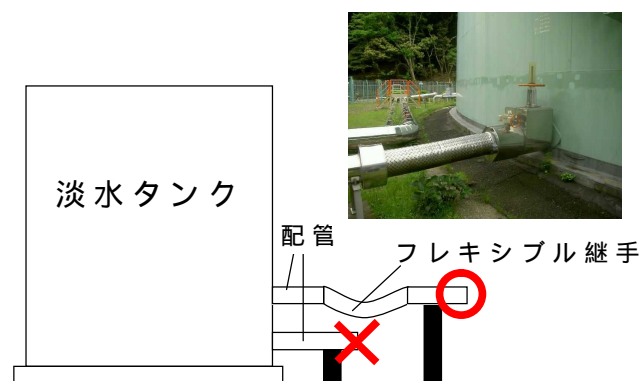
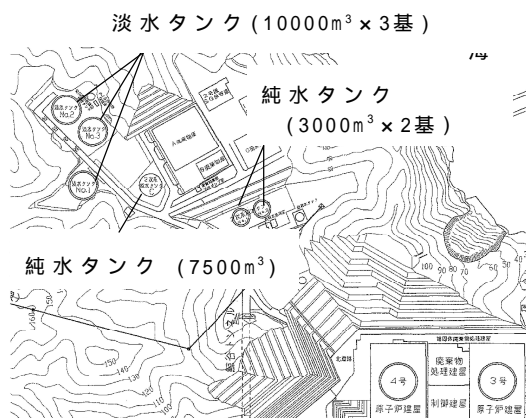
3.地震時のタンクすべり量

淡水タンク等には基礎ボルトがないことから、基準地震動 S_s に対するタンクすべり量を解析により算出した。タンクのすべり量は以下の通りであり、フレキシブル継手の吸収長さを下回ることから、配管は破損しない。

| 機器名称 | 設置高さ (m) | 基数 | すべり量 (mm) | フレキシブル継 手の吸収長さ |
|-------|-------------|----|--------------|-------------------|
| 淡水タンク | 81.0 | 3基 | 18.7 | 100mm |
| 純水タンク | 72.5 | 2基 | 65.1 | 100mm |
| 純水タンク | 81.0 | 1基 | 63.3 | 100mm |

4. 屋外タンクからの溢水影響

屋外タンクに接続されるフレキシブル継手以外の配管からの漏えいを想定した結果、溢水量は隣接する側溝の処理容量以下であり、原子炉周辺建屋への溢水影響がないことを確認した。



評価結果

| | 溢水量 (65A 以下) | 側溝の処理 容量 |
|--------------------|------------------------|------------------------|
| EL.80m 盤 タンク群 | 0.047m ³ /s | 0.245m ³ /s |
| EL.72.5m 盤 タンク群 | 0.011m ³ /s | 0.080m ³ /s |

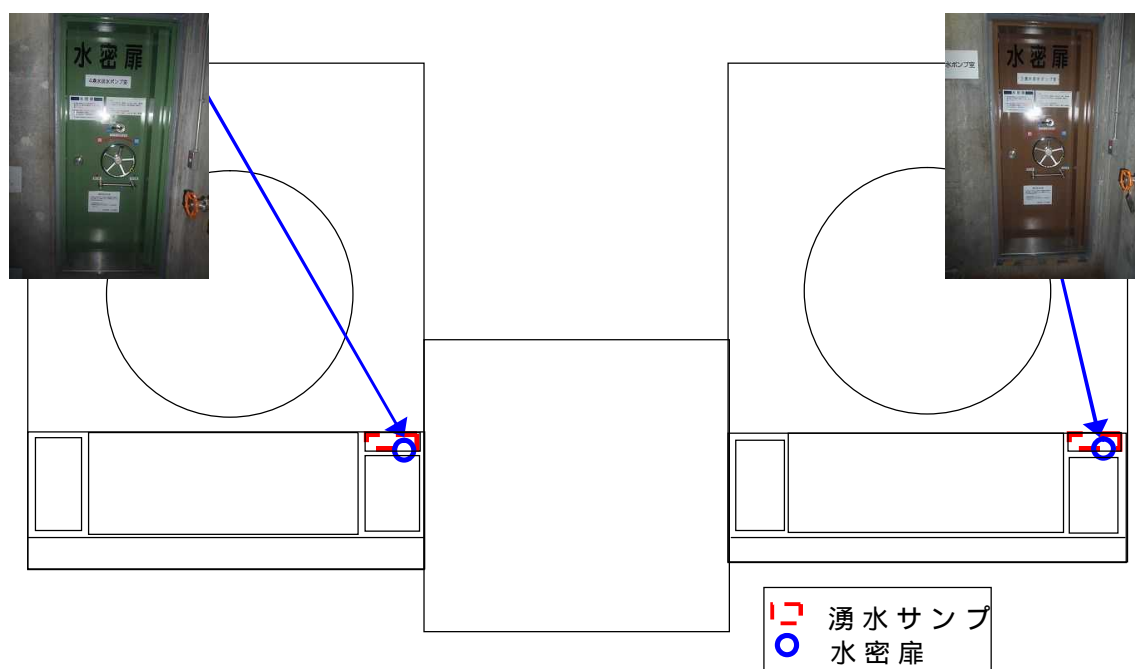
湧水サンプルからの溢水影響

1. はじめに

湧水サンプルからの原子炉周辺建屋への溢水影響を確認する。

2. 確認結果

湧水サンプルの出入口扉を水密扉としていることから、湧水サンプルからの溢水が原子炉周辺建屋に流入することはないことを確認した。



7 . 大飯発電所 3,4 号機における原子力発電所の内部火災影響評価について

1. はじめに

発電用軽水型原子炉施設内の火災区域又は火災区画に設置される安全機能を有する構築物、系統及び機器を火災から防護することを目的として、「実用発電用原子炉及びその附属施設に関する技術基準を定める規則（仮称）」では必要な火災防護対策を要求している。本報告書は、大飯発電所3，4号機を対象として、これらの要求に基づく火災防護対策により、原子炉施設内で火災が発生しても、原子炉の高温停止及び低温停止（以下、高温停止及び低温停止を総称して、「安全停止」という。）に関わる安全機能が少なくとも1系統確保されることについて確認した内部火災影響評価の結果を示すものである。

2. 火災の想定

原子炉の安全停止に関わる安全機能に影響を及ぼす可能性がある最も過酷な単一の火災を火災区画内に想定する。

具体的には、A，Bトレンの停止・冷却機能を有する機器がある火災区画及び隣接区画において火災を想定した。

地震時には、耐震B、Cクラスの機器を火災源として、火災区画内で最も苛酷な単一の火災を想定した。

3. 火災時の原子炉の安全確保

2.で想定する火災に対して、原子炉の停止を要求される場合に、火災による影響を考慮しても、安全停止に関わる安全機能が少なくとも1系統確保されることにより、原子炉を安全停止できることを確認した。

4. 情報及びデータの収集・整理

原子炉の安全停止に影響が及ぶシナリオを特定するために、各火災区画に対して、火災源、延焼の可能性を識別したスクリーニングに必要な情報を火災区画特性表として整理した。

4.1 火災区域及び火災区画の設定

4.1.1 火災区域の設定

火災区域は、耐火壁によって囲まれ、他の区域と分離されている区域であり、次の考え方により設定した。

- ・耐火壁（耐火性能を持つコンクリート壁、貫通部シール、防火扉、防火ダンパなど）により囲われた区域を火災区域として設定した。ただし、屋外に設置される設備に対しては、附属設備を含めて火災区域とみなす。（海水ポンプを設置している箇所がこれに該当する）

4.1.2 火災区画の設定

火災区画の範囲は、原子炉の安全停止に係る系統分離等に応じて設定した。

火災区画の設定イメージを添付資料 1 に示す。

4.2 機器リストの作成

火災区画内に設置される機器（ポンプ、空調機器、盤、ケーブル、電動弁等）の配置に係る情報を調査し、火災区画特性表に整理した。

4.2.1 火災防護対象機器の特定

火災によって、原子炉の安全停止に影響を及ぼす可能性のある機器を火災防護対象機器として特定する。火災防護対象機器には、多重性を有する安全上重要な設備で以下の系統の設備等があり、系統分離が要求されている。

<火災防護対象機器を有する系統>

- a. 安全保護系
- b. 原子炉停止系

- c. 補助給水系
- d. 高圧注入系
- e. 主蒸気系（主蒸気逃がし弁等）
- f. ほう酸注入系
- g. 1次冷却系（加圧器逃がし弁等）
- h. 非常用所内電源系
- i. 事故時監視計器
- j. 余熱除去設備
- k. 最終的な熱の逃がし場へ熱を輸送する設備
- l. 上記設備の補助設備（非常用換気空調系等）

火災による原子力発電所への影響としては、火災による誤動作が発生し、起因事象が発生した場合に事象を緩和する機器が少なくとも1系統作動する必要がある。この起因事象への対象系統の抽出の考え方については、添付資料2にまとめる。

ここで、火災により外部電源が喪失することも考慮し、非常用所内電源系に非常用ディーゼル発電機を含めて、選定した。

4.2.2 火災防護対象ケーブルの特定

火災により、火災防護対象機器が直接影響を受ける場合の他、ケーブルトレイのケーブルが火災により影響を受けることを考慮すると、火災防護対象機器を駆動もしくは制御するケーブルが火災防護対象ケーブルとなるが、安全側に安全系ケーブルを火災防護対象ケーブルとして特定した。

なお、4.2.1の火災防護対象機器及び4.2.2の火災防護対象ケーブルは、火災防護上、以下のいずれかの方法にて系統分離を行うことが要求されているが、他にも同等以上である手法も用いて系統分離を行う。

- ① 系統分離されている各系列（火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル）の間が3 時間以上の耐火能力を有するバリア等で分離されていること。
- ② 系統分離されている各系列（火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル）の間の水平距離が6m以上あり、かつ、火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。この場合、水平距離間には可燃性物質（一時的な持ち込みも含め）が存在しないこと。
- ③ 系統分離されている各系列（火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブル）の間が1 時間の耐火能力を有するバリア等で分離されており、かつ、火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画に設置されていること。

4.3 火災源の識別と等価火災時間の設定

火災区画の耐火壁の耐火能力を、当該火災区画内の可燃性物質の量と火災区画の面積に基づき、火災の継続時間を示す指標に相当する等価時間を用いて評価した。

4.3.1 火災源の識別

原子炉の安全停止に必要な火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルに影響を及ぼす可能性のある火災を、当該の火災区画及び隣接する火災区画内に想定した。

具体的には影響を及ぼす可能性のあるものとして、想定火災について次表のように選定、除外した。

表－1 想定火災の選定・除外について

| 想定火災 | 理由 |
|--------------------|--|
| ①補機潤滑油の漏えいに伴う火災 | 潤滑にグリースを用いる場合は内部火災に限定されるが、潤滑油を用いる場合は漏えいに伴い、発火するか否かを考慮して、火災の影響を想定する：添付資料3－1 |
| ②電力ケーブルの過電流による火災 | 制御・計装ケーブルについては、過去の制御盤の盤内電線の分離性の燃焼試験等の知見から当該ケーブルトレイ内に火災の影響が限定されるが、電力ケーブルについては過電流による隣接ケーブルトレイへの火災の影響を想定する。ただし、電線管で施工されている範囲については、仮に電線管内部でのケーブル単体の燃焼を想定しても、電線管内部に影響が限定されることから、影響を与える火災としては想定しない：添付資料3－2，3－3 |
| ③電気盤 (電圧440V以上) | 制御・計装盤、原子炉トリップ遮断器盤、電源盤については過去の実証試験により、火災の影響は当該盤内に限定され、周囲に影響を及ぼすことはないことが確認されているが、念のため電圧440V以上の電気盤について抽出する：添付資料3－3 |

4.3.2 等価時間の設定

火災区画内の全ての可燃性物質の火災荷重(単位面積当りの発熱量)と燃焼率(単位時間単位面積当たりの発熱量)から、以下の手順で、各火災区画の等価時間(潜在的火災継続時間)を求め、耐火壁の耐火能力を評価した。

(1) 火災区画の床面積

各火災区画の床面積(m²)を算出した。

(2) 火災区画の発熱量

識別した火災源の発熱量を、火災区画に設置される可燃性物質の量に応じて設定した。

発熱量 = 火災区画内の可燃性物質の量 × 単位発熱量 (kJ)

ここで、

可燃性物質の量: 火災区域内の各種可燃性物質の量 (m³又はkg)

単位発熱量 : 可燃性物質の種類ごとの単位量当たりの熱量
(kJ/m³ 又はkJ/kg)

(3) 等価火災時間の設定

前記4.3.2(2)で算出した火災区画の発熱量から、下式により等価火災時間を算出した。等価時間は、火災区画間の火災伝播の判定に使用される。

等価火災時間(h) = 火災荷重 / 燃焼率
= 発熱量 / 火災区画の面積 / 燃焼率

ここで、

火災荷重 = 発熱量 / 火災区画の面積

燃焼率としてはNFPA(National Fire Protection Association)ハンドブック(6)のFire Protection Handbook Section/Chapter 18, “Confinement of Fire in Buildings Association)”の標準火災曲線のうち最も厳しい燃焼クラスであるCLASS Eの値である908,095kJ/m²/hrを用いた。

なお、可燃性物質毎に使用している単位発熱量のうち、代表的なものについては、添付資料-4にまとめた。

4.4 火災感知手段の把握

5. でスクリーンアウトされない火災区画を対象として、火災影響評価で作動を期待する火災感知設備を確認した。

4.5 火災の消火手段の把握

5. でスクリーンアウトされない火災区画を対象として、火災影響評価で作動を期待する消火手段が自動か手動かを確認した。

4.6 原子炉運転への影響の確認

保守的に火災が発生すると、すべて原子炉を停止する要因があると仮定し、6. では、異常事象の種類によらず、少なくとも1系統の火災防護対象設備の機能が失われないことを確認することにより、同等以上の安全性を有していることを確認した。

4.7 火災区画特性表の作成

スクリーニングに用いるために、前記4.1から4.6で確認した情報、根拠等を含む火災区画ごとの火災区画特性表を作成した。

4.7.1 火災区画特性表

火災区画特性表は、火災源、火災の伝播経路、火災影響の緩和系、安全関連機器とその機能喪失が原子力発電所の安全性に与える影響、火災シナリオの作成に必要な原子力発電所の情報を、火災区画単位で表にまとめたものである。

一般に、火災区画特性表の作成に必要な情報は、配置や系統構成がわかる図書類、解析等の評価報告書等のほか、プラントウォークダウン等により収集した。どの火災区画にどの機器が存在するのかが分かるように、火災区画特性表は、火災区画単位で作成する。ある火災区域に複数の火災区画が存在する場合は、その火災区画の数だけ火災区画特性表を作成した。

4.7.2 火災区画特性表の記載内容

火災区画特性表の記載内容を以下に示す。

①火災区画の説明

火災区画の名称、床面積、床面積を記載した。

②火災区画の火災シナリオの説明

火災シナリオの想定の説明を記載した。

③火災区画にある火災源

火災区画ごとの火災源、存在する可燃性物質の量、発熱量を種類ごとに記載した。可燃性物質の発熱量を床面積で除することにより火災荷重を求め、また火災荷重と燃焼率との関係から等価時間を求め記載した。

④火災区画にある防火設備

火災区画ごとの火災感知設備、消火設備、障壁の耐火能力を記載した。

⑤火災区画に隣接する火災区画と火災の伝播経路各火災区画に隣接する火災区画、火災伝播経路、障壁の耐火能力、当該火災区画の消火方法、伝播の可能性がある火災区画の消火方法を記載した。

⑥火災により影響を受ける機器、ケーブルと関連する機器

各火災区画における火災により影響を受ける機器、安全系のケーブルトレイを記載した。

⑦火災により影響を受ける緩和系

各火災区画で火災を想定した場合に、影響を受ける緩和系を記載した。

⑧火災区画にある火災源機器数

各火災区画に存在する火災源の機器数を、カテゴリー分類して整理して、記載した。

5. スクリーニング手順

5.1 火災区域のスクリーニング

本影響評価においては、原子炉建屋、制御建屋、廃棄物処理建屋を含めて設定した火災区域内においては、火災による起因事象を前提とし、原子炉の安全停止に係る影響を評価するため、火災区域でのスクリーニングの対象となる火災区域は無い。

なお、この火災区域については、隣接するタービン建屋における火災からの影響を受けないことを確認した。(添付資料-5)

5.2 火災区画のスクリーニング

火災区域内において、火災区画毎に火災区画特性表を利用してスクリーニングを実施した。スクリーニング手順は、以下の3ステップのとおりである。

- ・ステップ1：隣接区画への火災伝播の可能性を評価した。
- ・ステップ2：ステップ1において、火災伝播の可能性があると評価された火災区画内において、影響を受ける機器、緩和系を特定した。
- ・ステップ3：火災により起因事象が発生すると想定し、隣接区画に伝播しないことで少なくとも一つ以上の安全停止機能が確保される場合は当該火災区画をスクリーンアウトした。

以下、各ステップ毎の手順について説明する。

(1)ステップ1：隣接区画への火災伝播の可能性評価

①入力データ

当該火災区域における耐火壁の耐火時間、火災荷重から求めた等価火災時間を火災区画特性表に記載した。

②実施手順

火災区画内の火災が以下のa又はbのいずれかを満足する場合には、隣接火災区画に火災が伝播するものとして、想定した。

a. 隣接区画への開口部が存在する場合

b. 火災発生区画の等価時間 > 火災伝播経路の耐火時間の場合

火災の伝播先の火災区画からさらに別の隣接する火災区画への伝播までは考慮しない。この理由は、さらなる火災の伝播までには、時間的に十分消火されると考えられるためである。

スクリーニング及び火災伝播評価において、火災感知の情報が確定しない場合があるため、保守的に火災は感知されないものとした。

(2)ステップ2：対象火災区画及び火災伝播区画内で影響を受ける機器、緩和系の特定

①入力データ

火災により起因事象が発生すると想定して、対象火災区画内に存在する火災防護対象機器及びケーブルとこれに係る緩和系についての情報を整理した。

②実施手順

対象火災区画内の火災防護対象機器が全て機能を喪失すると想定した場合に、影響を受ける緩和系を特定した。対象火災区画内の火災防護対象ケーブルが全て損傷すると想定した場合に、影響を受ける機器及び緩和系を特定した。このような特定作業を、対象火災区画のほかに、伝播先の火災区画についても行った。

対象火災区画及び伝播先の火災区画内で、火災により影響を受ける機器、緩和系について情報を整理した結果、影響を受ける緩和系がない場合は、当該火災区画はスクリーンアウトした。

(3)ステップ3：原子炉安全停止の観点からのスクリーニング

①実施手順

ステップ2までに整理された情報を基に、対象火災区画及び

伝播先の火災区画内の火災の影響により、少なくとも1つ以上の原子炉の安全停止機能が確保されるか確認し、問題がない場合には、当該火災区画はスクリーンアウトした。

6. 火災伝播評価の手順

火災区画を構成する火災区画内の個別の発火源を特定して、原子炉の安全停止機能への影響を確認した。

6.1 系統分離対策の確認

原子炉の安全停止に係わる安全機能を有する構築物、系統及び機器は、その相互の系統分離及び常用系との系統分離を行うために、火災防護規定に基づく以下の三つのうち基本的には①の方策を講じているが、他にも同等の安全性を確保しえると判断している対策を講じている。

- ① 系統分離された火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて、互いの系列間が3時間以上の耐火能力を有するバリア等で分離されていること。
- ② 系統分離された火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて、互いの系列間の水平距離が6m以上あり、かつ、火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画内に設置されていること。この場合、水平距離間には可燃性物質（一時的な持ち込みも含む）が存在しないこと。
- ③ 系統分離された火災防護対象機器及び火災防護対象ケーブルについて、互いの系列間が1時間の耐火能力を有するバリア等で分離されており、かつ、火災感知設備及び自動消火設備が当該火災区画内に設置されていること。

以下の手順により、その確認を行った。

- (1) 火災を想定する火災区画内あるいは隣接火災区画に対して、6. で作成した火災区域（区画）特性表等により、原子炉の安全停止に係る安全機能を有する機器、緩和系を特定した。
- (2) 特定した機器、緩和系に対して、火災防護規定で定められた①による系統分離が行われること、または、それ以外の同等以上な方法で系統分離を行う場合を含めて確認を行った。①による

系統分離を確認する場合は、全米防火協会NFPAハンドブックにおいて、耐火壁の厚さと耐火時間の関係が示されており、3時間の耐火性能を有する耐火壁については、鉄筋コンクリートの場合、厚さが約150mm以上とされている。

この厚みを目安とし、安全停止に必要な1トレン機器が設置されている区画が、他の隣接区画と耐火壁によって、分離されていることを確認した。

(3) 火災区画内の最も過酷な単一の火災によっても、原子炉の安全停止機能が確保されることを確認した。

6.2 火災区画内の評価

(1) 対象火災区画の選定

対象となる火災区画に関する情報を整理した。(5のスクリーニングで用いた情報も活用した)

(2) 火災源の特定

(1)で特定した火災区画内で想定される火災源を特定した。

ただし、補機の潤滑油等の漏えい油火災については、保守的に火災源となる補機が保有する潤滑油全量の燃焼を考慮した。

(3) ターゲットの特定

評価対象は、互いに相違する系列の火災防護対象機器、ケーブルとした。

(4) 火災源の影響範囲の特定

実証試験より得られたデータ、手法を用い、火災源からの影響範囲を特定した。

(5) 火災区画内の評価

同一火災区画内において、3時間以上の耐火能力を有するバリア以外の方法で、間隔・隔壁による火災影響評価を行う場合は、「原子力発電所の火災防護規程」(JEAC4626)に基づき、次のように火災を想定し、その影響を評価した。

① ケーブル火災（計装、制御、電力）

ケーブルトレイに布設されたケーブル過電流による火災は、燃焼試験結果から、制御・計装ケーブルについては、当該ケーブルは断線、短絡により損傷するが、当該ケーブルトレイ内の他の隣接ケーブルに延焼しない火災の態様であることを確認した。また、電力ケーブルについては、当該ケーブルトレイ内の隣接に延焼するが、米国電気電子工学会(IEEE)規格 384 の分離距離より遠方に設置されている場合は、影響がない火災の態様であることを確認した。

以上の火災の態様から、計装、制御ケーブルの影響は、安全系 1 トレン又は 1 チャンネルに留まる。電力ケーブルについては、防護すべき安全系のトレン間の分離距離が IEEE384 の分離距離を満足していることにより、火災の影響が 1 トレンに限定されることを確認した。

② 電気盤火災（動力盤、制御盤）

盤の過電流による火災の燃焼試験結果から、動力盤については、当該盤は機能を喪失するが、盤外には延焼しない火災の態様であることを確認した。また、制御盤については、スイッチ等の内部構成部品が一定の距離等により分離されている場合は他の構成部品には延焼しない火災の態様であることを確認した。

以上の火災の態様から、電気盤内の安全系が 1 トレン又は 1 チャンネルであれば、火災の影響は 1 トレン又は 1 チャンネルに留まる。複数の安全系のトレン又はチャンネルが混在する場合には、盤内の分離方法として妥当性が確認された方法を用いることで、火災の影響が 1 トレン又は 1 チャンネルに限定されることを確認した。

③ 補機火災

補機内部火災については、補機の潤滑油、又はモータ絶縁物が、補機内部で内包されている状態において、何らかの着火源により着火し内部で燃焼する火災である。火災燃焼試験の結果

から、当該補機は機能を喪失するが、他へ炎の伝播により影響を及ぼさない火災の態様であることを確認した。

一方、補機漏えい油火災については、補機の潤滑油が漏えいし、機器ベース、オイルパン、ドレンリムに漏えいした状態、あるいは、室内床面に溜まった状態において、何らかの火源により着火した火災であり、火災燃焼試験の結果から、当該補機は機能喪失するが、その火災の影響範囲については、熱伝導・対流・輻射を考慮して影響範囲を定めることができることを確認した。また、補機漏えい油火災の規模については、漏えいの監視設備の設計状態により補機保有油全量、又は補機最大保有部1箇所の油量とし、油火災面積は、ドレンリム、機器ベース、オイルパン、室内床の設計面積として想定できる。

以上の火災の態様から、補機内部火災については、火災の影響は安全系1トレンに留まる。補機漏えい油火災については、熱による影響範囲を求め、火災の影響が安全系1トレン又は1チャンネルに限定されることを確認した。

なお、クレーン等については、常時使用はしておらず、使用时には操作員が近くにいることから、補機漏えい油火災は想定火災としていない。

④燃料油火災

補機火災と同様に、内部火災と漏えい油火災を想定した。

⑤その他の火災

水素ガス火災及びチャコールフィルタ火災があり、これら機器は、機能喪失するものとして想定した。火災の態様から、火災の影響は1トレンに留まる。

6.3 火災伝播評価

火災区画間の伝播評価は、6.2で用いた補機漏えい油の温度評価式等により行う。

(1)火災区画対象火災区画の特定

(2)火災区画内に設置された機器（可燃物）の状況を踏まえ、火災源を選定する。火災源からの影響評価については過去の実証試験の知見を活用し、例えば補機漏えい油火災時の温度相関式により、油が全量漏えいした場合の空間温度を算出した*。

* 換気量を考慮した空間体積と油燃焼量の比をパラメータとして算定

(3)ターゲットの特定

(4)火災伝播評価

ケーブルに対する損傷基準は、保守的に短時間許容温度（90℃）を用いた。その温度に到達しないことを補機漏えい油火災時の温度評価結果と比較することによって、ケーブルが損傷しないことを確認した。損傷が否定できない場合、防護対策の強化が必要である。

6.4 評価結果と今後の対策について

5のスクリーニング及び6.1～6.3の確認、評価の結果として、大飯3，4号機の各火災区画において、いかなる火災によっても、安全保護系、原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮しても、多重化されたシステムの少なくとも一つが機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できることを、火災影響評価により確認した。大飯3，4号機の火災影響評価のまとめを添付資料6に示す。

なお、6.2の火災区画内の評価においては、3時間以上の耐火能力以外の方法（補機漏えい油火災の温度評価）も用いて、影響評価を行っていることから、火災の影響軽減の向上のため、次回の定期検査時には、火災感知器や消火装置（自動式又は固定式）の追設、

隔壁等を強化することで検討、計画している。

また、運転中の現時点においても、でき得る限りの火災の影響軽減向上のための方策（簡易な耐火隔壁、消火装置の設置等）を実施している。

以 上

< 添付資料リスト >

添付資料 1 : 火災区域及び火災区画の設定イメージ

添付資料 2 : 誤作動に対する火災防護対象の選定について

添付資料 3 - 1 : 補機潤滑油燃焼時の温度評価

添付資料 3 - 2 : 電力ケーブルトレイの過電流による火災

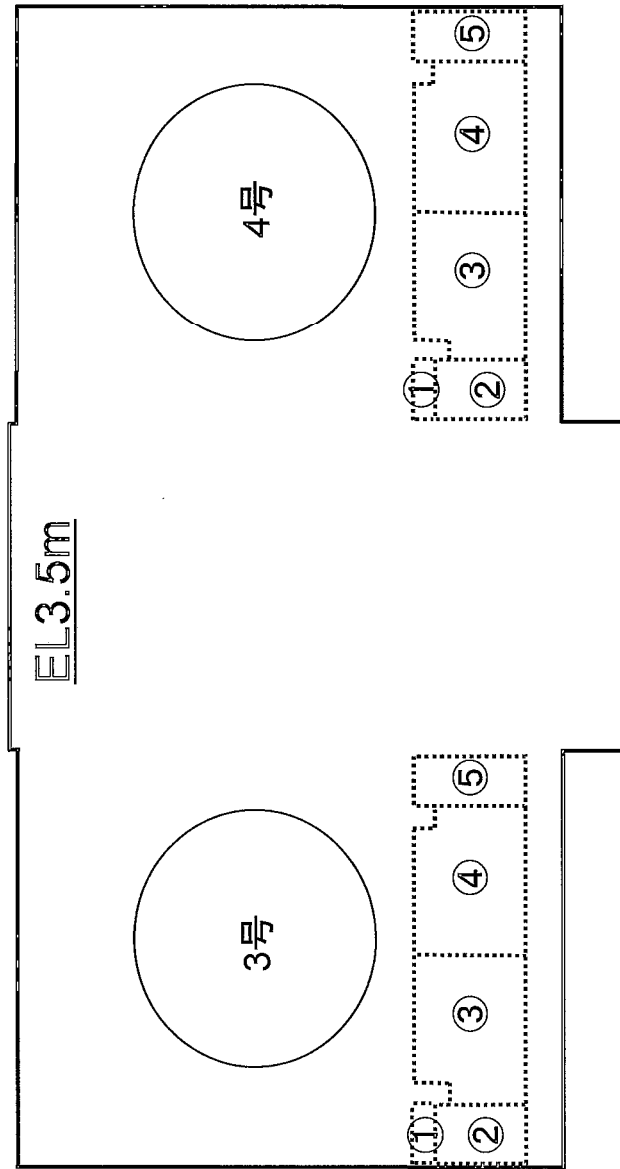
添付資料 3 - 3 : 電気盤（制御盤、電気盤）の火災

添付資料 4 : 可燃性物質毎の単位発熱量

添付資料 5 : タービン建屋からの火災の影響について

添付資料 6 : 大飯 3, 4 号機火災影響評価結果のまとめ

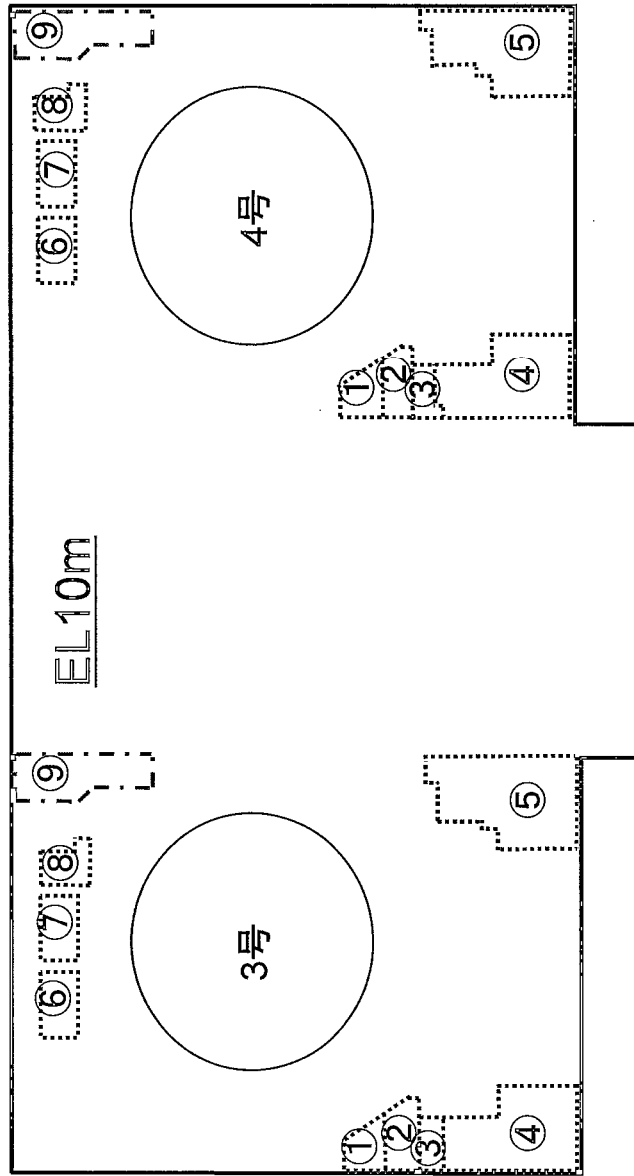
火災区画図



- ①タービン動補助給水ポンプ室
- ②A-D/G発電機室
- ③A-安全系ポンプ室
(高圧注入ポンプ室、格納容器
スプレイポンプ室、余熱除去
ポンプ室)
- ④B-安全系ポンプ室
(高圧注入ポンプ室、格納容器
スプレイポンプ室、余熱除去
ポンプ室)
- ⑤B-D/G発電機室

火災区画

火災区画図



- ①A-電動補助給水ポンプ室
- ②B-電動補助給水ポンプ室
- ③タービン動補助給水ポンプ室
- ④A-D/G発電機室
- ⑤B-D/G発電機室
- ⑥A-充てんポンプ室
- ⑦B-充てんポンプ室
- ⑧C-充てんポンプ室
- ⑨ほう酸ポンプ、タンク室

火災区画

誤作動に対する火災防護対象の選定について

(1) 火災防護対象の選定

内部火災影響評価では、原子炉施設内のいかなる火災によっても、安全保護系、原子炉停止系の作動が要求される場合には、火災による影響を考慮し、多重化されたそれぞれの系統が同時に機能を失うことなく、原子炉を高温停止及び低温停止できる設計であることを確認する。

この確認のために、安全保護系、原子炉停止系の作動が要求される場合に、原子炉を高温停止及び低温停止するのに必要な機器を火災防護対象として選定する。

まず、旧発電用軽水型原子炉施設の安全評価に関する審査指針を参考に、過渡事象及び事故を対象として、ケーブル火災に伴う機器の誤動作により、発生する可能性のある起回事象を抽出し、表-1 に整理する。

表-1 火災によって発生する起因事象の抽出

| 起因事象 | 火災 | スクリーンアウトする理由 |
|---------------------|----|--|
| ①原子炉起動時の制御棒の異常な引き抜き | ○ | |
| ②出力運転中の制御棒の異常な引き抜き | ○ | |
| ③制御棒の落下及び不整合 | ○ | |
| ④原子炉冷却材中のほう素の異常な希釈 | ○ | |
| ⑤原子炉冷却材流量の部分喪失 | ○ | |
| ⑥原子炉冷却材系の停止ループの誤起動 | ○ | |
| ⑦外部電源喪失 | ○ | |
| ⑧主給水流量喪失 | ○ | |
| ⑨蒸気負荷の異常な増加 | ○ | |
| ⑩2次冷却系の異常な減圧 | ○ | |
| ⑪蒸気発生器への過剰給水 | ○ | |
| ⑫負荷の喪失 | ○ | |
| ⑬原子炉冷却材系の異常な減圧 | ○ | |
| ⑭出力運転中の非常用炉心冷却系の誤起動 | ○ | |
| ⑮原子炉冷却材喪失（L O C A） | — | 火災によって1次冷却材バウンダリに機械的な損傷が生じることはないのでL O C Aは起こらない。 |
| ⑯原子炉冷却材流量の喪失 | ○ | |
| ⑰原子炉冷却材ポンプの軸固着 | ○ | |
| ⑱主給水管破断 | — | 火災によって主給水管に機械的損傷は起こらない。 |
| ⑲主蒸気管破断 | — | 火災によって主蒸気管に機械的損傷は起こらない。 |
| ⑳制御棒飛び出し | — | 本事象は制御棒駆動系あるいは同ハウジングの破損等により制御棒クラスタ1本が炉心外に飛び出すことを想定するものであるが、火災の発生によって上記事象を発生させる機械的損傷は起こらない。 |

表-1で抽出された結果を基に、火災による起因事象が発生した場合に高温停止を達成するための系統を表-2にまとめる。

表-2 火災による起因事象発生時に高温停止を達成するための系統

| 火災により発生する起因事象 (①～⑯は表-1に対応) | 起因事象発生時に対処する機能(系統) | 備考 |
|--|--|---|
| 制御棒引抜、落下：①②③ | <ul style="list-style-type: none"> ・原子炉トリップ (安全保護系) (原子炉停止系) ・補助給水 (補助給水系) | <ul style="list-style-type: none"> *1 主給水バイパス 制御弁開 *2 復水ポンプ停止、主給水制御弁・隔離弁閉 *3 タービン トリップ |
| ほう素の異常な希釈：④ (ほう素濃度制御系異常) | | |
| 1次冷却材流量喪失：⑤⑥⑦⑯⑰ (1次冷却材ポンプ停止) | | |
| 蒸気発生器への過剰給水：⑪ (主給水制御弁開他*1) | | |
| 主給水喪失：⑦⑧ (主給水ポンプ停止他*2) | | |
| 負荷喪失：⑫ (主蒸気隔離弁閉他*3) | | |
| ECCSの誤起動：⑭ | | |
| 蒸気負荷の急増又は2次系の異常な減圧：⑨⑩ (タービンバイパス弁開他*4) | <ul style="list-style-type: none"> 上記機能に加え、 ・高圧注入 (高圧注入系) | <ul style="list-style-type: none"> *4 主蒸気逃し弁開、タービン蒸気加減弁開 *5 加圧器逃がしスプレー弁開 加圧器補助スプレー弁開 |
| 1次冷却系の異常な減圧：⑬ (加圧器逃がし弁開*5) | | |

表-2のうち、火災により上枠の起因事象が発生した場合は、原子炉は通常の高温停止に必要な系統(安全保護系、原子炉停止系及び補助給水系)により、原子炉を冷却していく。

しかし、下枠のような過冷却事象及び1次系の減圧事象では、1次系の圧力の低下等を伴うため、高圧注入系が自動で動作する可能性があるため、前述の原子炉を高温停止まで冷却する系統に高圧注入系を加えて火災防護の対象に選定する。

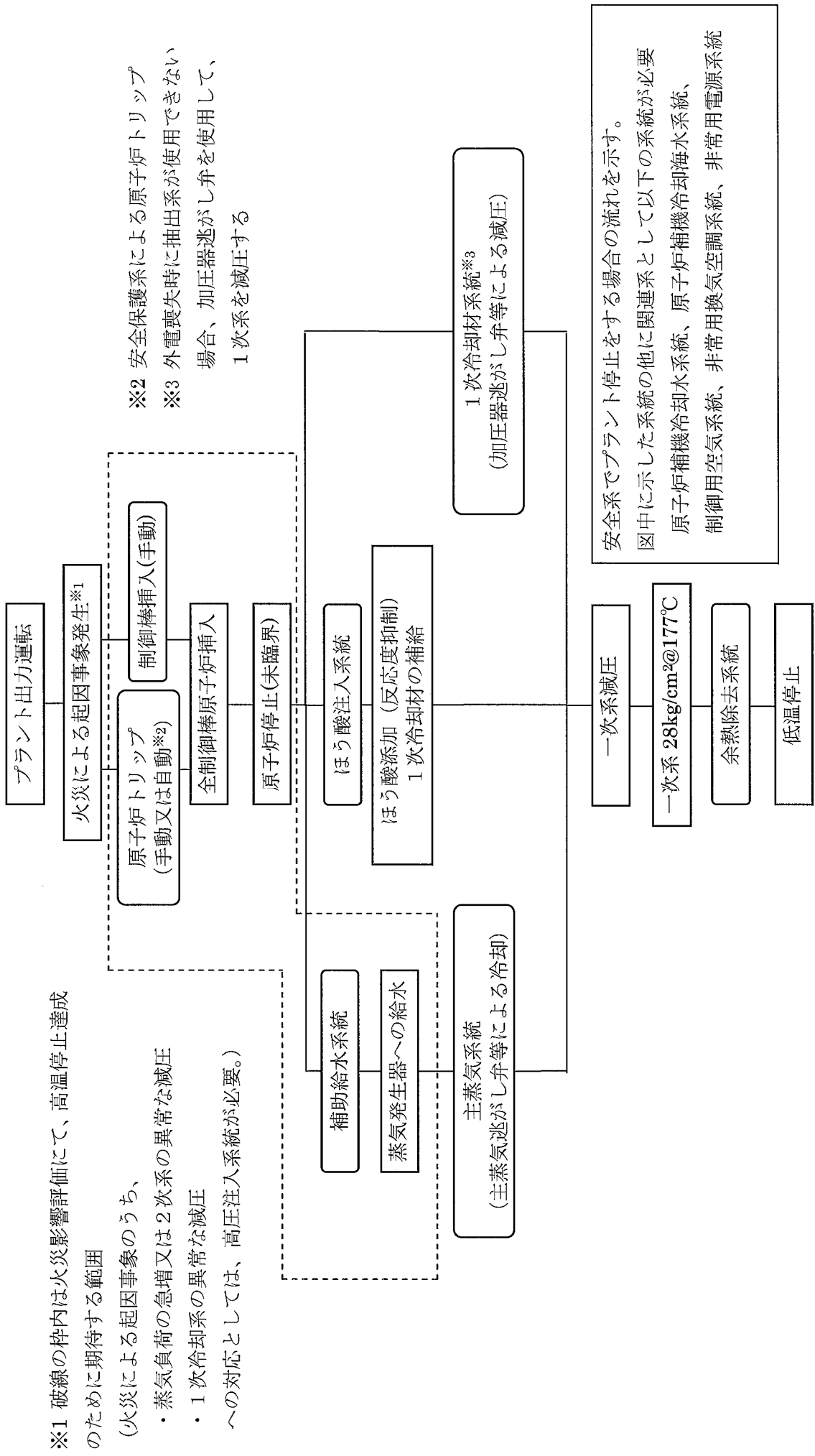
これらの系統によりプラントを高温停止した後には、低温停止に移行するための機能として余熱除去等、必要な系統を火災防護対象として選定する。

なお、火災に伴う起因事象が発生した場合の対応については、設置許可申請書の添付書類十において、事象が収束し、安全上の問題がないことを確認している。

これら一連の対応により、火災による起因事象が発生した場合に原子炉を「止める」、「冷やす」の機能が果たされる。

しかし、これらの火災による起因事象は原子炉冷却材バウンダリや格納容器バウンダリが損傷する事象とはならないことから、「閉じ込める」の機能については要求されない。

図-1 にこれらの起因事象に対するプラントの停止の流れを示す。



安全系でプラント停止をする場合の流れを示す。
 図中に示した系統の他に関連系として以下の系統が必要
 原子炉補機冷却水系統、原子炉補機冷却海水系統、
 制御用空気系統、非常用換気空調系統、非常用電源系統

図一-1 プラントの停止の流れ

※1 破線の枠内は火災影響評価にて、高温停止達成のために期待する範囲

(火災による起回事象のうち、

- ・ 蒸気負荷の急増又は2次系の異常な減圧
- ・ 1次冷却系の異常な減圧

への対応としては、高圧注入系統が必要。)

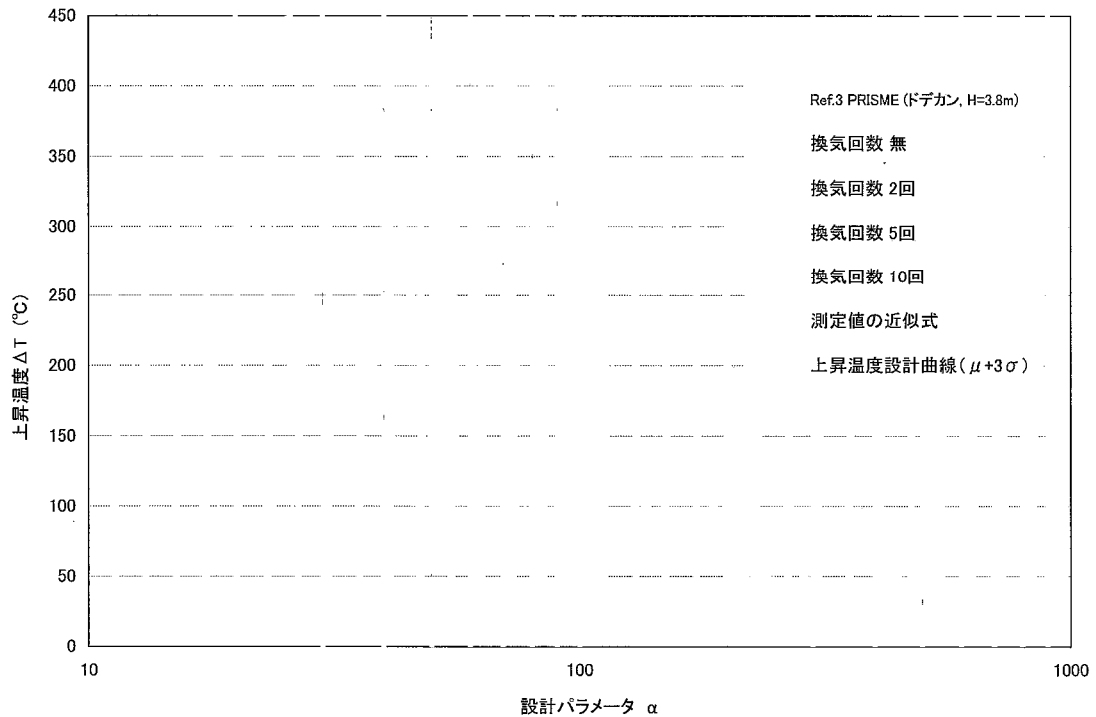
※2 安全保護系による原子炉トリップ
 ※3 外電喪失時に抽出系が使用できない場合、加圧器逃がし弁を使用して、1次系を減圧する

補機潤滑油燃焼時の温度評価

(1) 近似式

油燃焼試験の結果、室内は高温層と低温層に分かれ、高温層は火源からの距離によらず、ほぼ均一になっていたことを踏まえ、高温層の測定データを統計処理して作成した近似式を、測定データと比較して、下図に示す。これに、統計誤差を考慮した曲線（以降、「上昇温度設計曲線」という。）を用い、油燃焼時の温度上昇を保守的に算出している。

上昇温度設計曲線は、2006 年以降、現在も行われている OECD/NEA のマルチルームシナリオ火災伝播試験プロジェクト (PRISME) のデータも再現していることから、妥当なものである。



(2) 上昇温度設計曲線の使用方法

a. 温度の計算

上昇温度設計曲線を用いて、機器が内包する潤滑油が燃焼した場合の区画内（区画化されていると仮定する空間*を含む）の室内の温度上昇量を算出する。

b. 距離の計算

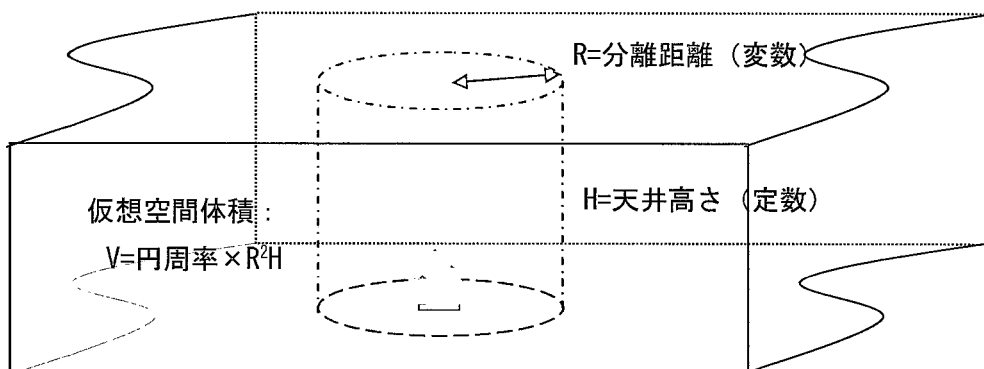
通路等の大きな空間で、実空間の形状で計算すると、温度上昇が非常に小さくなるのは、下図のような仮想空間*を想定し、上昇温度設計曲線を用いて、ケーブルが機能喪失する温度以上となる仮想空間の体積を以下のように算出し、求めた仮想空間の体積と高さ（天井高さ）から、最小分離距離（仮想空間の半径）を求める。

$$[\text{温度上昇}] = 5340 * [\text{換気効果を考慮した空間体積} / \text{燃焼物の重量}]^{-0.764}$$

〔 90℃ [ケーブルの短時間許容温度] > [算出する室温] となる仮想空間の体積を算出する。 〕

$$\text{仮想空間体積} = \text{円周率} \times [\text{分離距離}]^2 \times [\text{天井高さ}]$$

※油が燃焼して発生する熱は空間全体の温度を上昇させるため、空間が大きいと温度上昇は小さくなる。小さい仮想空間を仮定することで、温度上昇を大きく算出することになる。

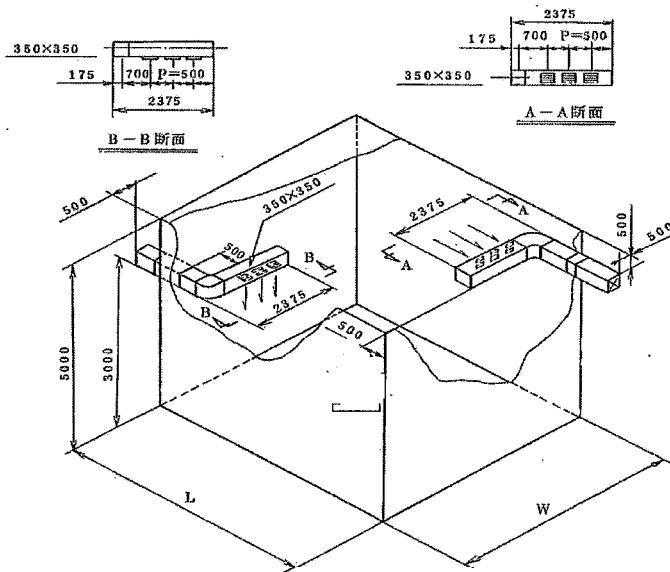


(3) 油燃焼試験

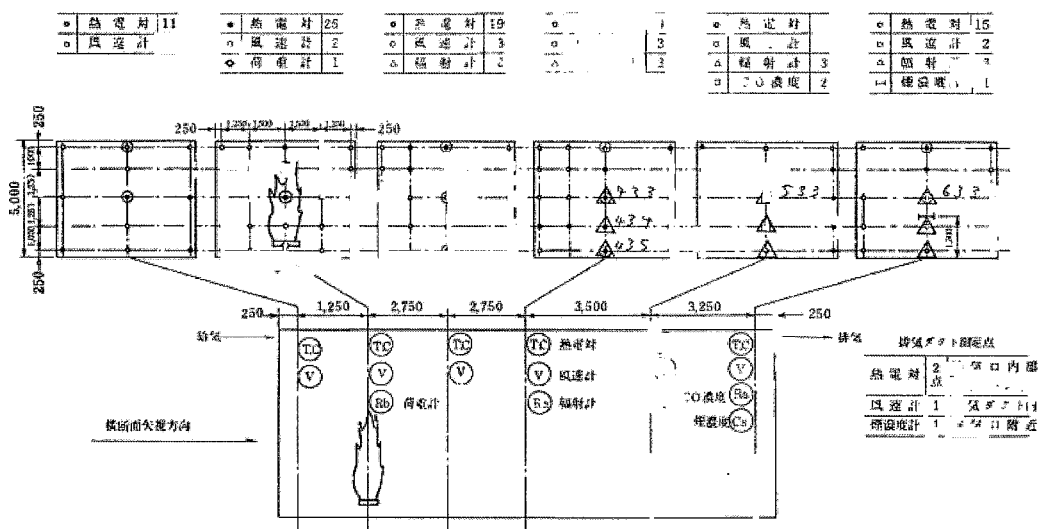
a. 試験内容

潤滑油の火災を想定して油を燃焼させ、室内温度を測定する実証試験を実施した。

b. 試験装置等



試験体系の例



データ測定点位置図 (例)

試験ケース一覧 (51 ケース)

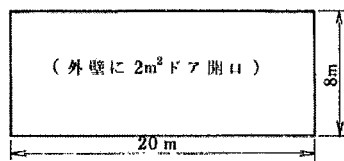
| Pattern | 開口形状および 火口位置 | 心の径 | ケース 寸法 | 火口 P. 数 | 火口の大きさ | | | | |
|---------|-----------------|-----|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | | | | 0.1m ² | 0.3m ² | 0.5m ² | 0.9m ² | 2.0m ² |
| 1 | | 500 | 20m x 8m | 0.1m ² | — | — | — | — | ○ |
| | | | | 2 | — | — | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 10 | — | — | ○ | ○ | ○ |
| | | | | 0.3m ² | — | — | — | — | ○ |
| | | | | 2 | — | — | — | — | ○ |
| | | | | 10 | — | — | — | — | ○ |
| 2 | | 同上 | 14m x 6m | 0.1m ² | ○ | ○ | ○ | — | — |
| | | | | 2 | — | — | X○ | ○ | — |
| | | | | 5 | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| | | | | 10 | — | — | ○ | ○ | — |
| 3 | | 同上 | 10.5m x 6m | 0.1m ² | ○ | ○ | ○ | — | — |
| | | | | 2 | — | — | X○ | — | — |
| | | | | 5 | ○ | ○ | ○ | ○ | — |
| | | | | 10 | — | — | ○ | ○ | — |
| 4 | | 同上 | 7m x 6m | 0.1m ² | — | — | ○ | — | — |
| | | | | 2 | ○ | — | X○ | — | — |
| | | | | 5 | ○ | — | ○ | — | — |
| | | | | 10 | — | — | ○ | ○ | — |
| 5 | | 同上 | 3.5m x 6m | 0.1m ² | ○ | ○ | — | — | — |
| | | | | 2 | ○ | — | — | — | — |
| | | | | 5 | ○ | ○ | ○ | — | — |
| | | | | 10 | ○ | — | — | — | — |

温度測定データ数

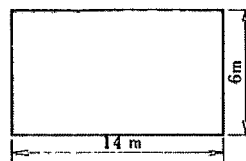
約 100 点/ケース ×
51 ケース ⇒ 約 5100 点

室形状は、実機の 1 リットル以上の油を内包する補機を設置している室を対象に、形状、寸法を調査し、最も多く存在するパターンの区画寸法を中心に選定した。

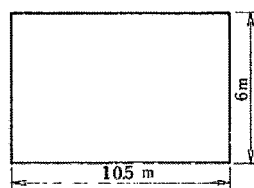
(i) Pattern 1



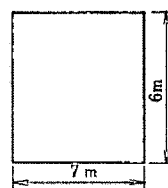
(ii) Pattern 2



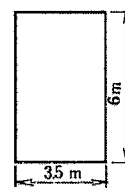
(iii) Pattern 3



(iv) Pattern 4



(v) Pattern 5



c. 試験条件

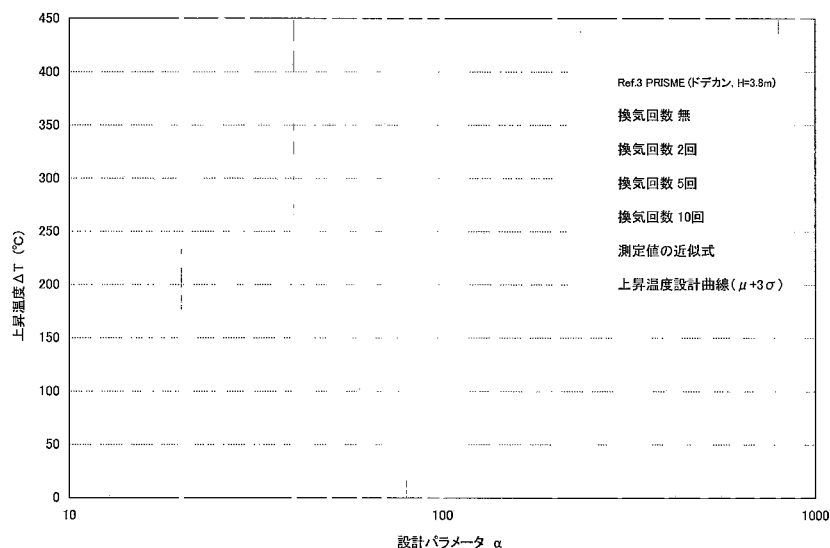
| 試験条件 | | 試験条件の選定理由 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|------|--------------------|----------|--------------------|--|----|----|----------|-----|-----|------|-----|-----------|-----|-----|------|-----|
| 燃焼物 | タービン油#90 | <p>実機で多く使用しているタービン油#90、#140 を火皿で燃焼させ、燃焼速度、炎の高さ、熱輻射量を測定し、燃焼特性に有意な差がないことを確認し、引火点の低いタービン油#90 を燃焼物として選定した。</p> <table border="1" data-bbox="638 667 1348 1025"> <thead> <tr> <th rowspan="2">油の種類</th> <th rowspan="2">燃焼速度 kg/mm2/min</th> <th rowspan="2">炎高さ m</th> <th colspan="2">熱輻射量 kcal/m2/hr</th> </tr> <tr> <th>3m</th> <th>5m</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>タービン油#90</td> <td>1.2</td> <td>2.0</td> <td>1500</td> <td>650</td> </tr> <tr> <td>タービン油#140</td> <td>1.2</td> <td>2.0</td> <td>1500</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table> <p>火皿面積 0.5m²</p> | 油の種類 | 燃焼速度 kg/mm2/min | 炎高さ m | 熱輻射量 kcal/m2/hr | | 3m | 5m | タービン油#90 | 1.2 | 2.0 | 1500 | 650 | タービン油#140 | 1.2 | 2.0 | 1500 | 650 |
| 油の種類 | 燃焼速度 kg/mm2/min | 炎高さ m | | | | 熱輻射量 kcal/m2/hr | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 3m | 5m | | | | | | | | | | | | | | | |
| タービン油#90 | 1.2 | 2.0 | 1500 | 650 | | | | | | | | | | | | | | | |
| タービン油#140 | 1.2 | 2.0 | 1500 | 650 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 火皿面積 | 0.1m ² , 0.3m ² , 0.5m ² , 1.0m ² , 2.0m ² | <p>実機で多く使っているドレンリム、機器ベースを模擬した火皿の燃焼速度、熱輻射量をカバーするよう、0.1m²~2m²の火皿面積を選定した。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 換気回数 | 0, 2, 5, 10 回/hr | <p>実機で多い2回/hr、10回/hrを選定したほか、これらの中間領域の代表として5回/hr、換気系停止状態を把握するための0回/hrを選定した。</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 主な測定項目 | 温度 煙濃度 気流速度 熱輻射量 油燃焼量 火災状況 | <p>火災による周囲への影響を把握する温度、熱輻射量のほか、火災時の現象を検討するために必要な煙濃度、気流速度、油燃焼量、火災状況を測定項目として選定した</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | |

d. データ処理及び他の試験結果との比較

試験の結果、室内は高温層と低温層に分かれ、高温層は火源からの距離によらず、ほぼ均一になっていた。また、火源から離れても、輻射量に有意な減少が見られなかったことから、火源からの輻射より高温ガスからの輻射が支配的であることが分かった。このため、高温層のガス温度に着目して、対流と輻射の影響を扱うこととし、統計処理により高温層の温度上昇を求める近似式を作成した。作成した近似式を高温層の測定データと比較して下図に示す。

下図に示すとおり、横軸 (α : 換気効果を考慮した空間体積と燃焼油重量の比) が大きい (空間体積に照らして、燃焼物が少ない) ほど、温度上昇が小さくなることは、物理的な現象と一致しており、かつ、PRISME プロジェクトのデータも、本試験と同様の結果となっていることから、本試験は妥当なものである。

本近似式に統計誤差を考慮した上昇温度設計曲線を適用する大飯発電所 3, 4号機の区画は、本試験と同様に、空気が局所的に澱むよう箇所がなく、ほぼ均一の高温層が形成される形状で、かつ、 α に測定データがある範囲で判定している。



(参考)

区画火災の簡易温度予測手法との比較

- McCaffrey 等は、上部高温層温度を一様、火災性状を準定常と近似し、上部高温層の熱量保存の近似式と、実験データとの回帰により、発熱速度、換気量、区画の有効伝熱面積から、区画内の温度上昇を予測する式を設定している。*

$$\Delta T_p/T_0 = \text{const}_1 * X_1^{\text{const}_2} * X_2^{\text{const}_3}$$

$$X_1 = f(Q, m_a) \quad \text{火源の発熱速度 } Q、\text{換気量 } m_a \text{ の関数}$$

$$X_2 = g(m_a, A_T) \quad \text{換気量 } m_a、\text{区画の有効伝熱面積 } A_T \text{ の関数}$$

$\text{const}_1, \text{const}_2, \text{const}_3$: 回帰曲線の係数

- 大飯発電所 3, 4号機で使用している上昇温度設計曲線は、McCaffrey 等と同様に、実験データとの回帰により、燃焼速度、換気量、空間体積から、区画内の温度上昇を予測するものである。

燃焼速度 v と発熱速度 Q には、 $Q=v*k$ (k : 単位燃焼あたりの発熱量) の関係があり、区画の有効伝熱面積は、区画の体積に関連する値であるため、単位燃焼あたりの発熱量や、有効伝熱面積と区画の体積の関係は、上昇温度設計曲線の係数 $\text{const}_4, \text{const}_5$ に含まれている。したがって、上昇温度設計曲線は、McCaffrey 等の式と同様のものである。

$$\text{高温層の温度上昇 } \Delta T = 5340 * \alpha^{-0.764} = \text{const}_4 * \alpha^{\text{const}_5}$$

$$\alpha = V(1+f(n)*t/3600)/S$$

$$= V(1+f(n)*t/3600) * (4*v*t * \gamma / \pi D^2)$$

$$\text{有効換気回数 } f(n) = 0.574 (\tanh(n-3)+1.0)$$

[換気回数をパラメータとした試験から求めた有効換気回数]

$$\text{燃焼物の重量 } S = \pi D^2 / 4 * v * t * \gamma$$

$$\text{燃焼速度 } v = 2.033 * 10^{-5} (1 - e^{-1.80D}) \quad \text{[測定データからの回帰曲線]}$$

$$V: \text{区画容積} [m^3] \quad t: \text{燃焼時間} [sec]$$

$$n: \text{換気回数} [回] \quad S: \text{燃焼油量} [kg]$$

$$D: \text{火皿直径} [m] \quad \gamma: \text{比重} [kg/m^3]$$

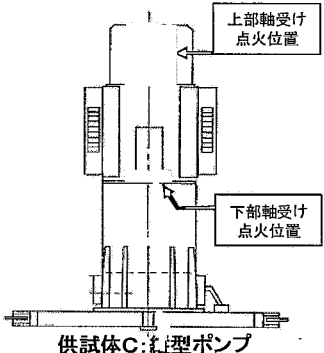
$\text{const}_4, \text{const}_5$: 回帰曲線の係数

- ※ McCaffrey, B. J., Quintiere, J. G., and Harkleroad, M. F.: Estimating Room Temperatures and the Likelihood of Flashover Using Fire Test Data Correlations Fire technology, Vol. 17, No. 2, 98-119, 1981

<ポンプ内での油火災実証試験>

ポンプ内に潤滑油を内包する補機で、ポンプ内で強制的に潤滑油を燃焼させたところ、炎は外部に出ず、周囲に火災の影響が及ばないことを確認した。

この結果から、ポンプ内での油火災は、ポンプ外に炎が出ないものとして扱う。

| 試験条件等 | |
|----------|---|
| 供試体 | <p>供試体 A: 横型ポンプ (50kW) 供試体 B: 横型ポンプ (350kW) 供試体 C: 縦型ポンプ (300kW) をそれぞれ模擬した潤滑油を内包する供試体</p>  |
| 潤滑油の初期温度 | 約 60℃ (通常の運転状態を模擬) |
| 点火方法 | <p>火薬玉 ただし、火薬玉で潤滑油が発火しない場合は、火薬玉+ガソリン、火薬玉+ガソリンウエスで発火させる。</p> |
| 試験結果 | <ul style="list-style-type: none"> ・グリスあるいは潤滑油が軸受け内部に保有されている状態では、容易に発火しなかった。 ・グリスあるいは潤滑油が軸受け内部に保有されている状態で、ガソリンを用いて強制的に発火させても、燃焼は継続しなかった。燃焼を継続させた場合でも、炎は軸受内部に留まり、外部に出なかった。 |

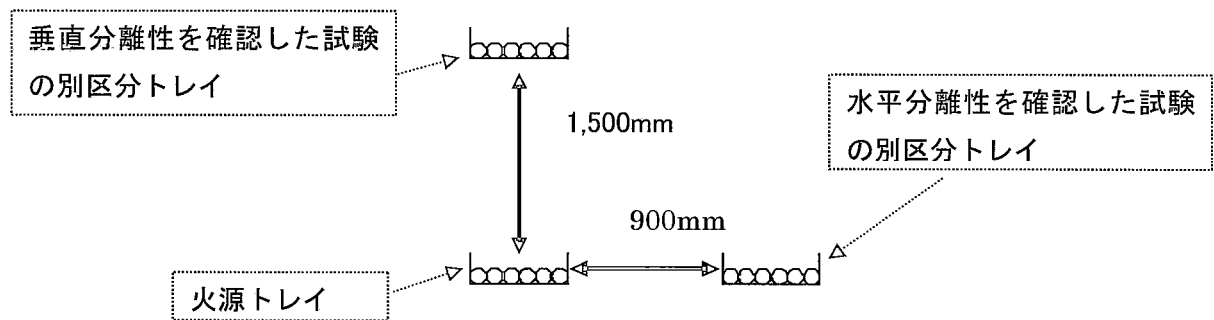
電力ケーブルトレイの過電流による火災

米国電気電子工学学会（IEEE）規格 384 は、ケーブルトレイ内のケーブルの過電流による火災を想定した場合に、隣接するケーブルトレイのケーブルに影響を与えない離隔距離を分離基準として規定している。

この分離基準は、米国の原子力規制文書である R. G1. 75 Rev. 2 においてもエンドーズされており、我が国においても原子力プラントの配線分離の基準として活用してきている。

（参考）

IEEE384 のトレイ蓋がない電源ケーブルの分離基準の体系で、電源ケーブルを燃焼させ、IEEE384 の国内プラントへの適用性を念のために確認している。



IEEE384 の分離基準（トレイ蓋がない電源ケーブル）

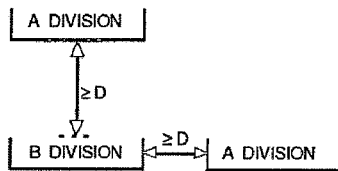
垂直分離性確認試験（標準空間距離）結果

| ケーブル品名 | バーナ燃焼時間 | 残炎時間 | | 損傷距離 (cm) | | | | 別区分トレイケーブル絶縁抵抗 | 備考 |
|--------|---------|---------|--------|-----------|--------|-------|-------|----------------|----|
| | | 火源トレイ | 別区分トレイ | 火源トレイ | 別区分トレイ | | | | |
| | | | | | 上面シース | 下面シース | 下面縁線体 | | |
| FR-CV | 3分 | 15' | 着火せず | 75 | 0 | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| M-SHV | 20分 | 0 | 着火せず | 103 | 0 | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| CV | 3分 | 27' | 着火せず | 全長(200) | 0 | 65 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| W | 20分 | 18' 15" | 着火せず | 136 | 0 | 101 | 57 | 2000MΩ以上 | |
| CV* | 3分 | 27' | 着火せず | 全長(200) | 0 | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| W* | 20分 | 17' 50" | 着火せず | 160 | 0 | 75 | 0 | 2000MΩ以上 | |

水平分断性確認試験結果

| ケーブル品名 | バーナ 燃焼時間 | 残炎時間 | | | シース損傷距離 (cm) | | | | | 別区分トレイ ケーブル 絶縁抵抗 | 備考 |
|--------|-------------|------------|-----------|------------|--------------|-------------|-------------|--------|----|------------------------|----|
| | | 火源 トレイ | 上段 トレイ | 別区分 トレイ | 火源 トレイ | 上段トレイ | | 別区分トレイ | | | |
| | | | | | | 上面 | 下面 | 上面 | 下面 | | |
| FR-CV | 3分 | 29' | 42'以上 | 着火せず | 全長 (200) | 130 | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| M-SHVV | 3分 | 21' 04" | 17' 30" | 着火せず | 全長 (200) | 190 | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| CV | 3分 | 29' | 32' | 着火せず | 全長 (200) | 全長 (200) | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| VV | 3分 | 31' 00" | 37' 40" | 着火せず | 全長 (200) | 全長 (200) | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| CV* | 3分 | 22' | 17' | 着火せず | 全長 (200) | 0 | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |
| VV* | 3分 | 30' 34" | 22' 43" | 着火せず | 全長 (200) | 0 | 全長 (200) | 0 | 0 | 2000MΩ以上 | |

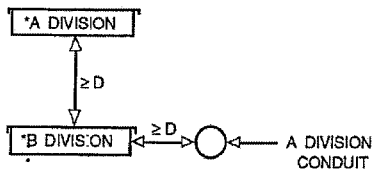
(参考 : IEEE384 基準)



(a) Open to Open

(OPEN to OPEN)

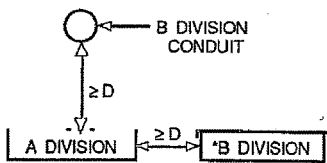
制御・計装ケーブル 水平 2.5cm、垂直 7.5cm
電力ケーブル 水平 0.9m、垂直 1.5m



(b) Enclosed to Enclosed

(ENCLOSED to ENCLOSED)

制御・計装ケーブル 水平 2.5cm、垂直 2.5cm
電力ケーブル 水平 2.5cm、垂直 2.5cm



(c) Enclosed to Open

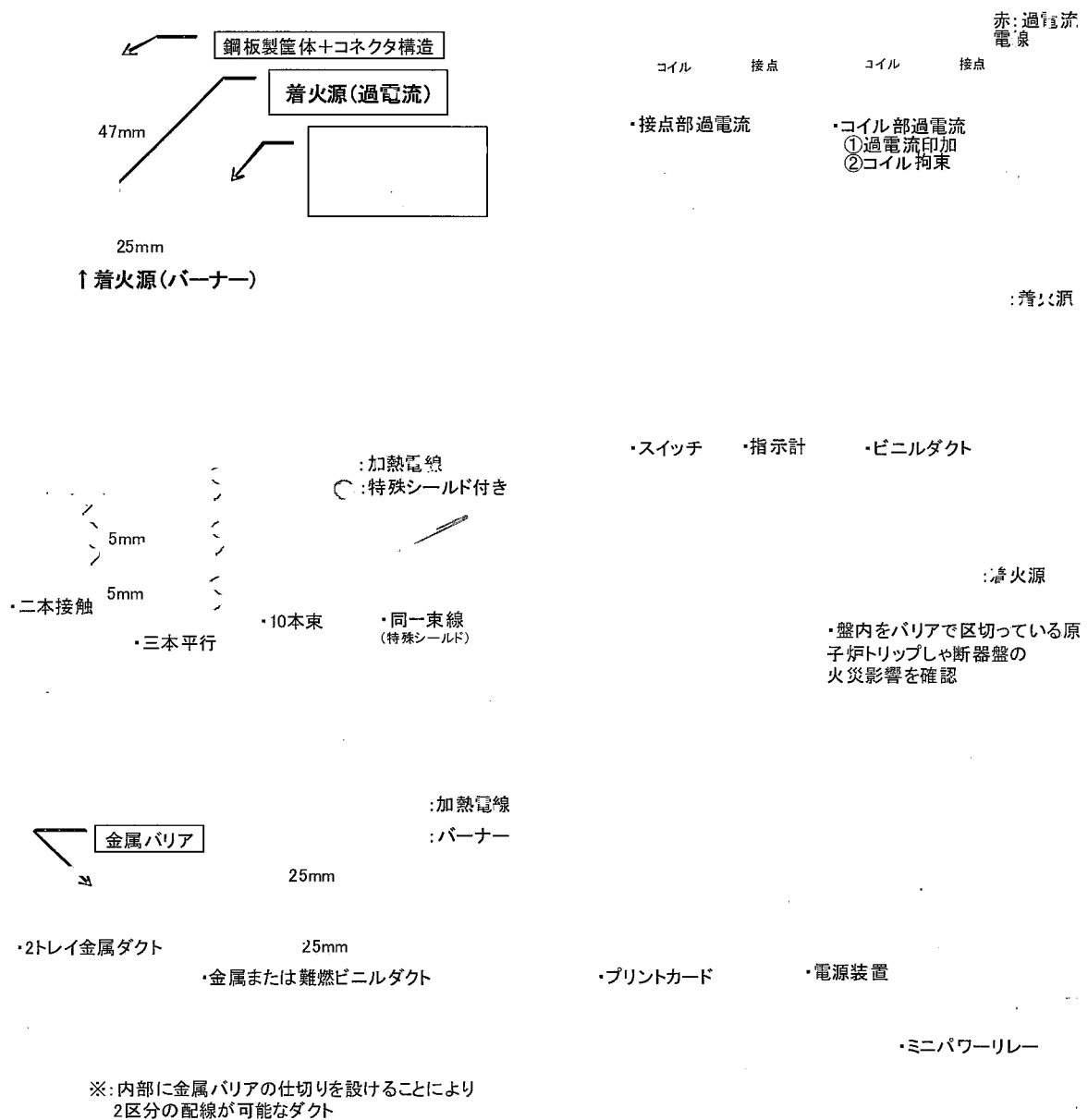
(ENCLOSED to OPEN)

制御・計装ケーブル 水平 2.5cm、垂直 7.5cm
電力ケーブル 水平 0.9m、垂直 1.5m

制御盤内構成部品の燃焼試験

制御盤で使用している操作スイッチ、配線、配線ダクト、リレー等の構成部品の1つを過電流やバーナーで燃焼させた結果、一定の距離を確保した又は障壁で仕切られた周囲の部品は火災の影響を受けず、機能を維持することを確認している。

これらの結果から、同一制御盤内であっても、一定の距離を確保して構成部品を配置、又は障壁を設置することで、制御盤内での火災を想定しても、少なくとも1系統はその機能を失わないようにできる。



電気盤の電気火災の実証試験

電気盤の使用条件では、過電流による火災が発生しなかったため、盤内で油を燃やして強制的に電気盤内の構成部品を燃焼させたところ、火災を発生させた電気盤の外部に炎は出ず、隣接盤の機能は維持されることを確認した。

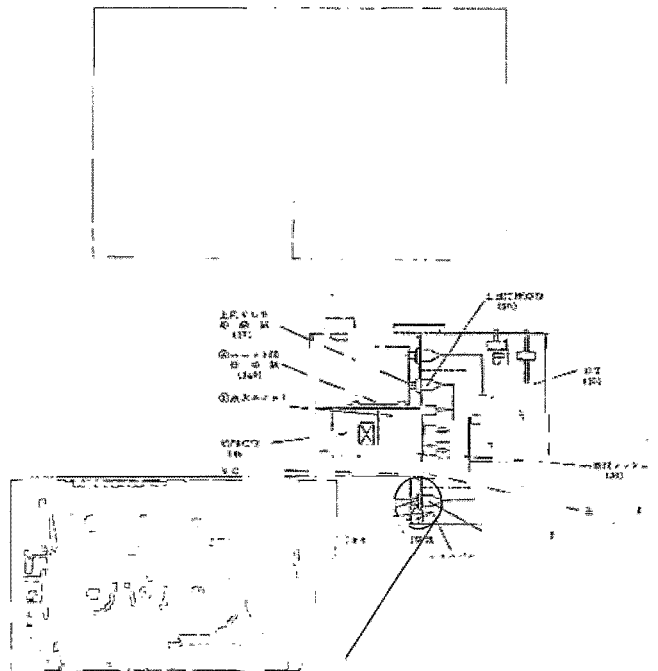
この結果から、電気盤での電気火災は、炎が盤外に出ないものとして扱う。

制御盤内油点火試験

| | ベンチ盤 | 直立盤 |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 炎の状況 | 外部へ炎は出ず | 外部へ炎は出ず |
| 隣接盤への影響 (絶縁抵抗: 試験前後) | 短絡無し (前100MΩ → 後100MΩ) | 短絡無し (前20MΩ → 後20MΩ) |

動力盤内油点火試験

| | M/C | P/C | C/C |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 炎の状況 | 外部へ炎は出ず | 同左 | 同左 |
| 隣接盤への影響(絶縁抵抗: 試験前後) | 短絡無し (前2000MΩ → 後600MΩ) | 短絡無し (前100MΩ → 後25MΩ) | 短絡無し (前4MΩ → 後0.8MΩ) |



本実証試験は、電源構成上予想される最大の拘束電流に相当する過電流では盤火災が発生しないことを確認したうえで、内部の構成部品に強制着火できる程度の可燃物（予備試験で確認した量）を用い、電気盤で起こりえる電気火災に近い状態を模擬したものである。

一方、米国 NUREG/CR-6850 で考慮された電気盤の燃焼試験 (NUREG/CR-4527) は、着火源として盤内に多くの可燃物を入れるが、盤内ケーブルに着火・延焼するまでバーナーで加熱し、電気盤が燃焼したときの特性を評価することとされている。

このため、電源構成から考えると大飯3，4号機で発生する可能性のある電気盤火災は、上記実証試験と同様の態様になると考える。

可燃性物質毎の単位発熱量表

| 番号 | 可燃物 | 単位発熱量(MJ/kg) | 単位発熱量(kcal/kg) | 根拠/備考 |
|----|---------------------|----------------------------|--------------------------------|---|
| 1 | LPガス | 50.4 MJ/kg | 12033.9 kcal/kg | propane (FPH p.6-272) |
| 2 | プロパンガス | 50.4 MJ/kg | 12033.9 kcal/kg | propane (FPH p.6-272) |
| 3 | アセチレン | 49.9 MJ/kg | 11928.8 kcal/kg | acetylene (FPH p.6-270) |
| 4 | 水素 | 12.7 MJ/m ³ | 3025.8 kcal/m ³ | hydrogen (FPH p.6-271) |
| 5 | エチレングリコール [kg] | 19.2 MJ/kg | 4586.5 kcal/kg | ethylene glycol (FPH p.6-271) |
| 6 | エチレングリコール [%] | 21.4 MJ/リットル | 5108.4 kcal/リットル | ethylene glycol (FPH p.6-271) |
| 7 | ゴム | 45.8 MJ/kg | 10946.5 kcal/kg | rubber - butyl (FPH p.6-280) |
| 8 | ビニール | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 9 | ベンジン | 47.1 MJ/kg | 11257.2 kcal/kg | naphtha (FPH p.6-280) |
| 10 | ホース | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 11 | ポリエチレン | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 12 | 塩化ビニル | 20.0 MJ/kg | 4784.9 kcal/kg | vinyl chloride (FPH p.6-272) |
| 13 | 活性炭 | 32.8 MJ/kg | 7839.4 kcal/kg | carbon (FPH p.6-270) |
| 14 | 紙 | 19.7 MJ/kg | 4708.4 kcal/kg | paper - news print (FPH p.6-280) |
| 15 | 紙 (m ³) | 16,154.0 MJ/m ³ | 3860898.7 kcal/m ³ | 820kg/m ³ (上質紙)で換算 |
| 16 | 壁紙(低未処理) | 19.7 MJ/kg | 4708.4 kcal/kg | paper - news print (FPH p.6-280) |
| 17 | 木材 | 21.8 MJ/kg | 5210.3 kcal/kg | wood - spruce (FPH p.6-280) |
| 18 | 段ボール | 7.72 MJ/kg | 1845.1 kcal/kg | Corrugated cardboard boxes (FPH p.6-280) |
| 19 | エポキシ | 33.5 MJ/kg | 8013.9 kcal/kg | epoxy of bisphenol-A (FPH p.6-274) |
| 20 | ポリウレタン | 28.6 MJ/kg | 6845.1 kcal/kg | polyurethane (FPH p.6-278) |
| 21 | ポリエステル | 29.8 MJ/kg | 7122.4 kcal/kg | polyester, unsaturated (FPH p.6-275) |
| 22 | ポリプロピレン | 46.2 MJ/kg | 11051.6 kcal/kg | polypropylene (FPH p.6-277) |
| 23 | テフロン | 7.7 MJ/kg | 1840.3 kcal/kg | hexafluoropropylene / polytetrafluoroethylene copolymer (FPH p.6-274) |
| 24 | ナイロン | 39.3 MJ/kg | 9383.4 kcal/kg | nylon 12 (FPH p.6-275) |
| 25 | シリコン | 25.3 MJ/kg | 6034.9 kcal/kg | polydimethylsiloxane (silicone rubber) (FPH p.6-275) |
| 26 | アルコール | 33.6 MJ/kg | 8033.0 kcal/kg | n-propanol (FPH p.6-272) |
| 27 | シンナー | 42.4 MJ/kg | 10141.0 kcal/kg | toluene (FPH p.6-272) |
| 28 | プラスチック | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 29 | ポリ塩化ビニル | 26.8 MJ/kg | 6393.4 kcal/kg | poly(vinyl chloride), flexible (FPH p.6-279) |
| 30 | ポリカーボネート | 31.5 MJ/kg | 7535.9 kcal/kg | polycarbonate (FPH p.6-275) |
| 31 | ABS樹脂 | 39.8 MJ/kg | 9522.0 kcal/kg | acrylonitrile-butadiene styrene copolymer (FPH p.6-273) |
| 32 | EVA樹脂 | 35.6 MJ/kg | 8515.8 kcal/kg | ethylene vinyl acetate (FPH p.6-274) |
| 33 | アクリル樹脂 | 29.5 MJ/kg | 7057.8 kcal/kg | polyethylmethacrylate (FPH p.6-276) |
| 34 | ゴム+ポリエチレン | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 35 | ポリエチレン+紙 | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 36 | ポリエチレン+綿+ゴム | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 37 | 衣料(高) | 30.8 MJ/kg | 7361.4 kcal/kg | acrylic fiber (FPH p.6-280) |
| 38 | 衣料(低) | 20.4 MJ/kg | 4875.7 kcal/kg | cotton (FPH p.6-280) |
| 39 | 衣料(低)+ゴム | 33.1 MJ/kg | 7911.1 kcal/kg | cotton (FPH p.6-280) + rubber - butyl (FPH p.6-280) |
| 40 | その他装置 | 47,740.0 MJ/m ³ | 11410133.8 kcal/m ³ | (ポリエチレンの値を採用、1m ³ =1,000kgで換算) |
| 41 | その他装置 | 47.7 MJ/kg | 11410.1 kcal/kg | polyethylene (FPH p.6-276) |
| 42 | 電エドラム [kg] | 28.6 MJ/kg | 6845.1 kcal/kg | polyurethane (FPH p.6-278) |
| 43 | 石油 | 46.8 MJ/kg | 11185.5 kcal/kg | gasoline (FPH p.6-280) |
| 44 | A重油 | 39.1 MJ/リットル | 9345.1 kcal/リットル | エネ庁、標準発熱量表 |
| 45 | 潤滑油 | 40.2 MJ/リットル | 9608.0 kcal/リットル | キヤオイル、シリコンオイル、タービンオイル、絶縁油、グリスは、エネ庁、標準発熱量表の潤滑油に統一する |
| 46 | グリス | 39.0 MJ/kg | 9319.8 kcal/kg | 潤滑油協会より密度0.97g/cm ³ で潤滑油換算する |
| 47 | チャコールフィルタ | 770 MJ/枚 | 183945 kcal/枚 | chacoal(FPH p.6-280) |
| 48 | ヘパフィルタ | 30.9 MJ/枚 | 7385.3 kcal/枚 | cellulose triacetate fiber(FPH p.6-280) |
| 49 | ラフフィルタ | 74.5 MJ/枚 | 17805.9 kcal/枚 | cellulose acetate fiber(FPH p.6-280) |

※FPH:NFAのFire Protection Handbook Twentieth Edition

タービン建屋からの火災の影響について

1. タービン建屋 (T/B) の等価火災時間

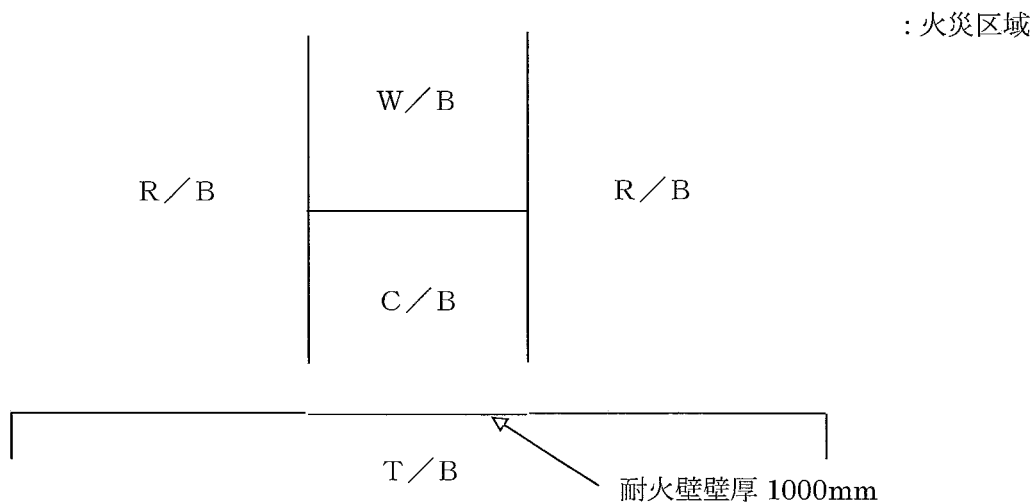
| 設置されている主な機器 | 火災荷重 ($\times 10^3 \text{kcal/m}^2$) | 等価火災時間 (h)※ |
|--|---|----------------|
| (T/B 1 F) ・ 電動主給水ポンプモータ ・ タービン動主給水ポンプ用ブースターポンプモータ ・ 主タービン用主油タンク ・ 主給水ポンプ駆動タービン用油タンク (T/B 2 F) ・ パワーセンタ ・ コントロールセンタ ・ 密封油処理装置 (T/B 3 F) ・ 発電機 ・ 励磁機 (共通) ・ ケーブルトレイ | 478.4 | 2.5 |

※：等価火災時間は 0.5h 刻みで切り上げ表示している。

2. 評価

火災区域と T/B 間の耐火壁の壁厚は 1000mm あり、その耐火時間は 3h 以上である。T/B の等価火災時間 < 耐火壁の耐火時間のため、火災区域は T/B からの火災影響はない。

(火災区域と T/B の関係)



大飯3, 4号機 火災影響評価結果のまとめ(1/2)

1. 目的

原子力発電所内の各火災区画毎に火災を想定し、原子炉の高温停止、低温停止に関わる安全機能が少なくとも1つ以上確保されることを確認する。

2. 火災の想定

原子炉の安全機能に影響を及ぼす可能性がある最も過酷な火災（具体的には以下のとおり）を想定する。

- 補機から漏えいした油による火災
- 電力ケーブルトレイのケーブル過電流による火災
- 電気盤（電圧440V以上）の火災

3. 火災防護対象機器、ケーブルの特定

原子炉の高温停止、低温停止に必要なシステムを抽出し、さらに火災による誤動作を想定した場合の起因事象への対応に必要なシステムも追加して、特定

- 高温停止：安全保護系、原子炉停止系等
- 低温停止：ほう酸注入系、余熱除去系等
- 誤作動対応：高圧注入ポンプ（1次冷却材減圧等）

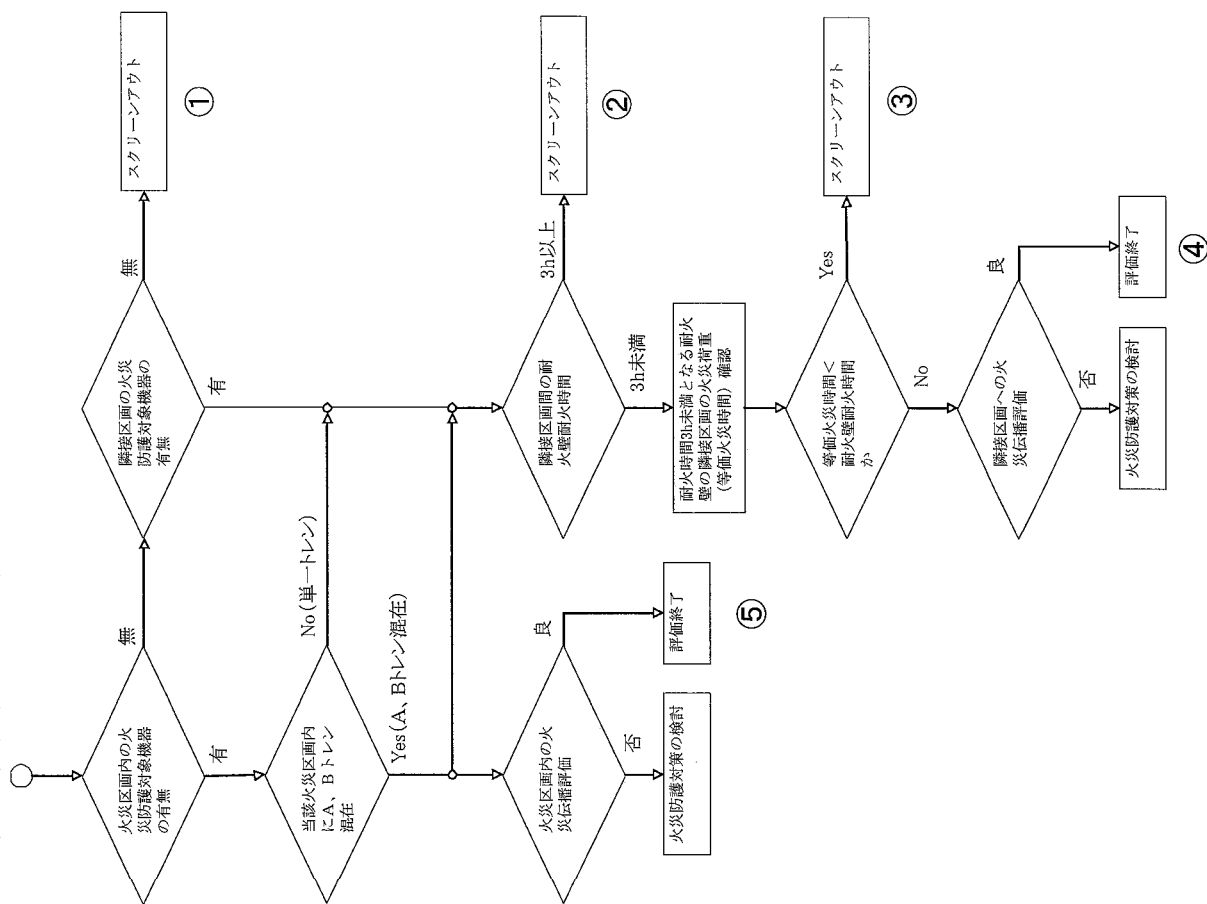
4. 火災区画特性表の作成

評価のために各火災区画毎の情報を整理する。

- 火災源の特定と火災シナリオ（影響を受ける機器）
 - 等価火災時間：区画内の可燃性物質の総発熱量を火災継続時間に換算したもの
 - 隣接区画との障壁の耐火能力※、伝播の可能性有無
 - 火災感知、消火手段
- ⇒ 隣接区画との障壁の耐火能力が等価火災時間を上回っていれば、隣接への影響はない。また、隣接区画側の等価火災時間よりも障壁の耐火能力が上回っていれば隣接からの影響を受けない。
- ※ 壁厚が150mm以上であれば、3時間の耐火能力を有する。

5. スクリーニング

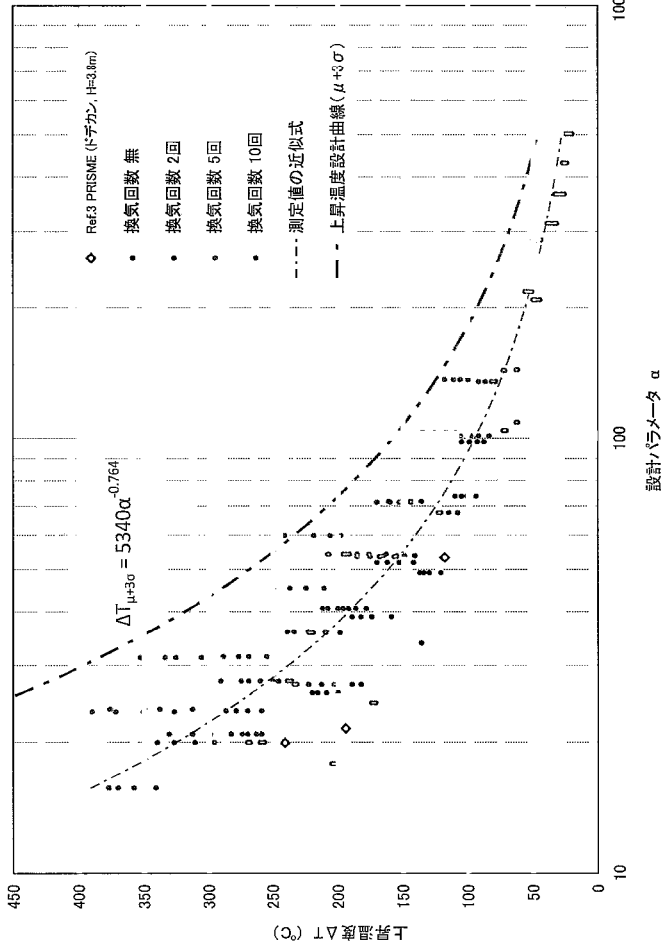
火災区画特性表を基に各火災区画毎にスクリーニングを実施する。



大飯3, 4号機 火災影響評価結果のまとめ(2/2)

6. 火災伝播評価に用いる評価手法

(1) 補機油漏えい火災時の区画内温度評価



過去の油火災実証試験により得られた結果を包絡する曲線により温度評価式を求め、各区画毎の設計パラメータ(区画の換気回数や油量、燃焼速度等)により、区画内の温度がケーブルの短時間許容温度(日本電線工業会規格による)90℃以下となることを確認する。

- ① 火災区画内の初期室温を40℃と設定し、90℃までの上昇温度 $\Delta T_{50^\circ\text{C}}$ に相当する設計パラメータ α を左のグラフより求める。 $\Rightarrow \alpha = 452$
- ② 温度評価式によって得られた火災区画の α が452以上であれば、区画内の温度は90℃に達しない。

<温度評価式> ほう酸ポンプ室の計算例

高温層の温度上昇 $\Delta T = 5340 * \alpha^{-0.764}$

$\alpha = V(1+f(n)) * t / 3600 / S$ [換気効果を考慮した空間体積と燃焼油重量の比]

有効換気回数 $f(n) = 0.574 (\tanh(n-3) + 1.0)$

[換気回数をパラメータとした試験から求めた有効換気回数]

燃焼油重量 $S = \pi D^2 / 4 * v * t * \gamma$ t 燃焼時間[sec]

燃焼速度 $v = 2.033 * 10^{-5} (1 - e^{-1.80D})$ (m/s) [測定データの回帰曲線(各入力パラメータ)]

V 区画容積[m³]: 313.4 m³ n 換気回数[回]: 2.8回

S 燃焼油量[kg]: 1.2 リットル

D 火皿直径[m]: 0.058m γ : 比重[kg/m³]: 870 kg/m³

(2) ケーブル過電流火災時のトレイ間距離

ケーブルが過電流火災時に他のトレイのケーブルに伝播・影響しないことを確認するため、安全系の異トレンのケーブルトレイの距離が米電気電子工学学会(IEEE)の規格384に規定されている水平、垂直の距離以上であることを確認した。

(3) 電気盤(440V以上)の火災時の盤外への影響

念のため、各火災区画毎に電気盤を抽出したが、当該の盤は機能喪失するものとするが、電気盤の火災は盤内に限定されることから、盤外には影響しないことを確認した。

7. 評価結果

原子力発電所の内部火災影響評価ガイド(案)に基づき、大飯3, 4号機の全ての火災区画について評価を実施した結果、原子炉の高温停止、低温停止に必要な系統が少なくとも1つ以上は確保されることを確認した。