

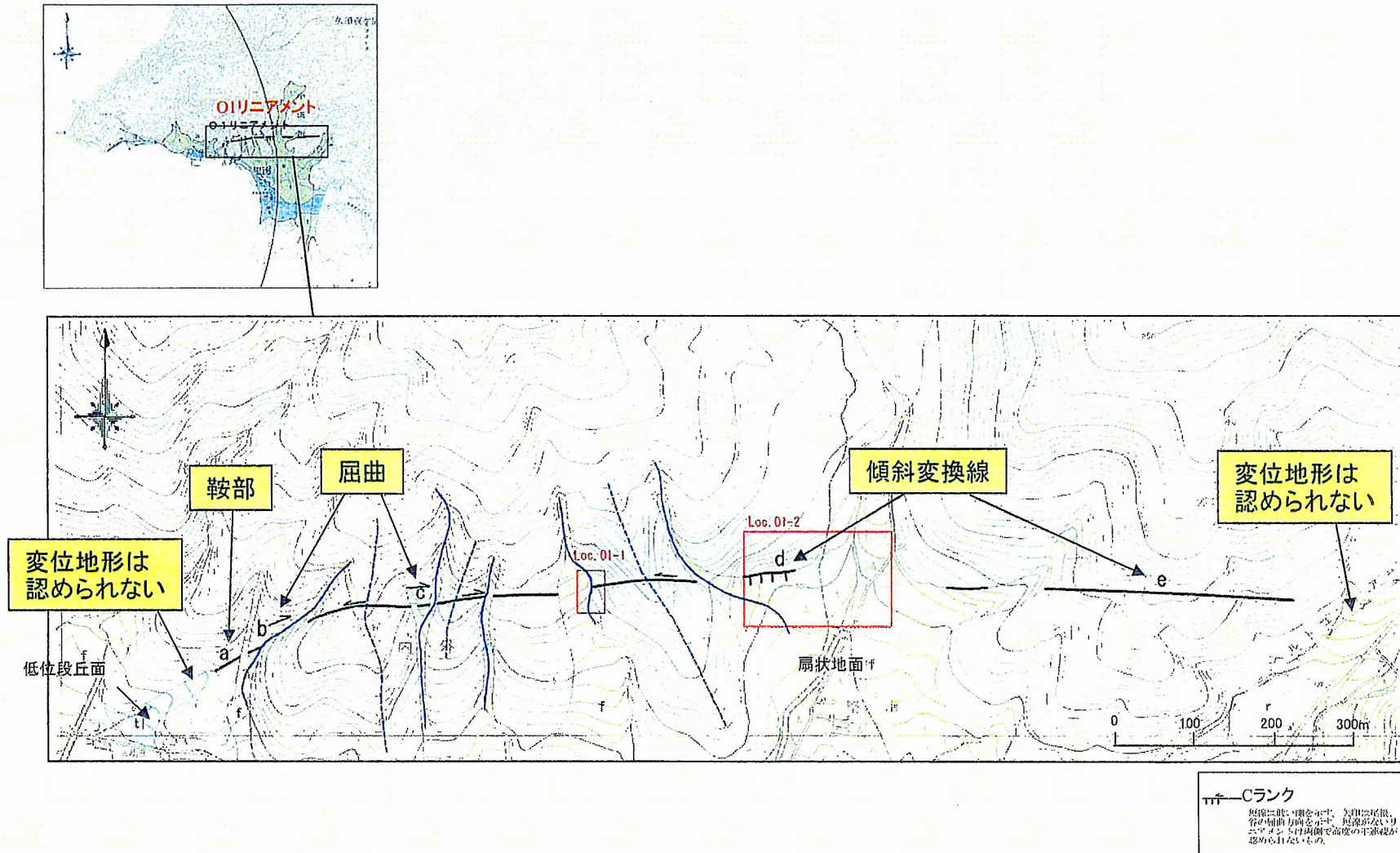
3. 敷地近傍の地形、地質・地質構造

- 3-1 敷地近傍の地形調査結果
- 3-2 O1リニアメント
- 3-3 O2リニアメント
- 3-4 O3リニアメント

3-1 敷地近傍の地形調査結果

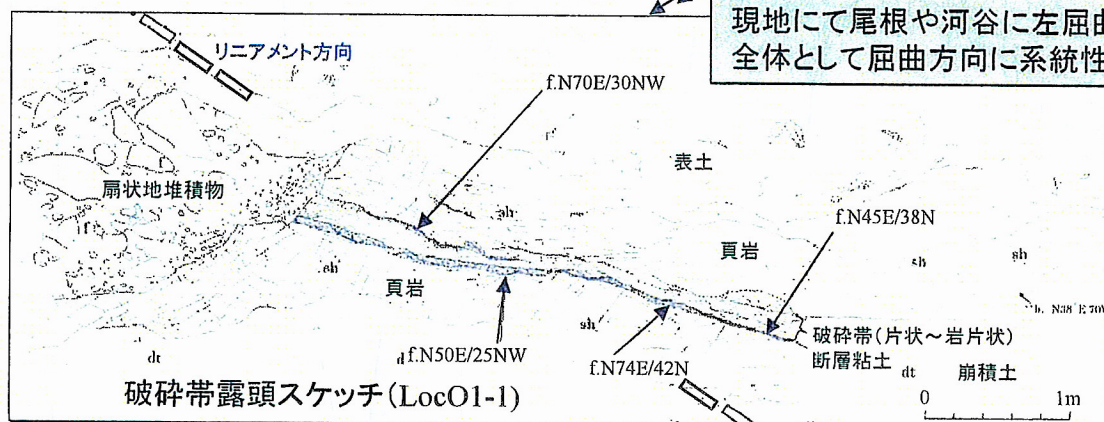
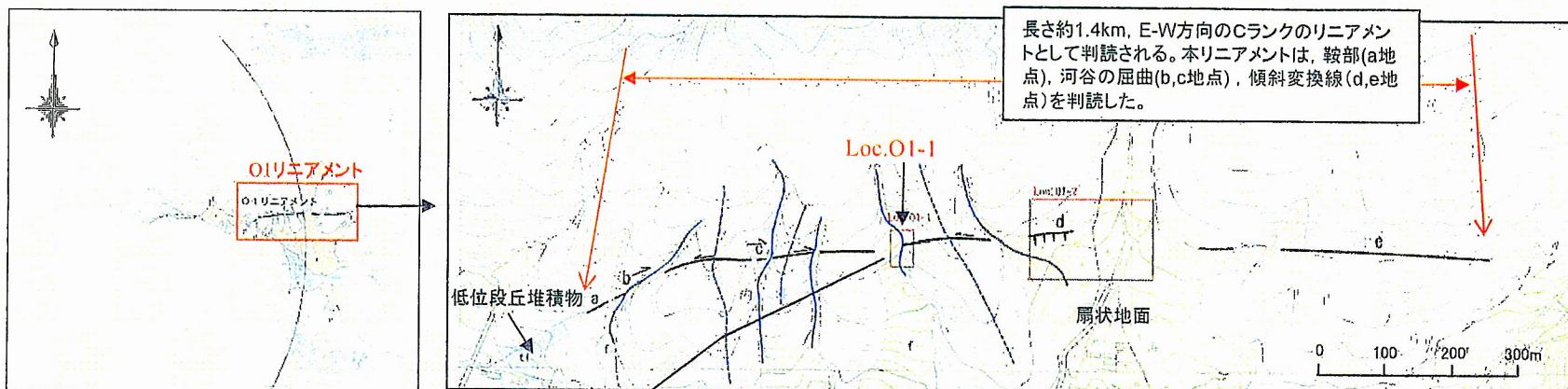
3-2 O1リニアメント

O1リニアメントの地形調査結果



- ・長さ約1.4km、EW方向のCランクのリニアメントとして判読される。
- ・判読要素は、鞍部(a地点)、河谷の屈曲(b,c地点)、傾斜変換線(d,e地点)である。
- ・現地にて尾根や河谷に左屈曲も認められ、全体として屈曲方向に系統性がないことを確認した。

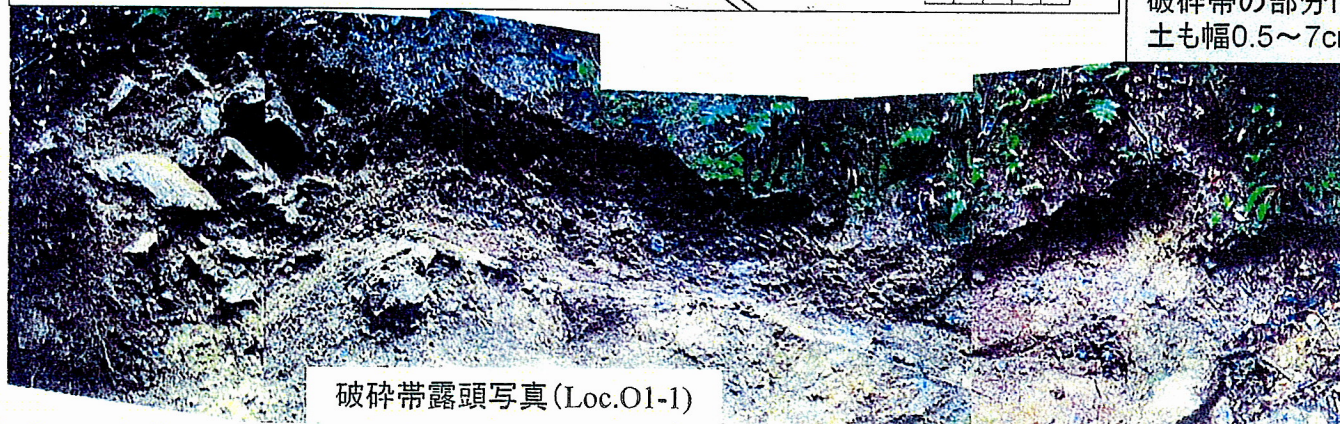
O1リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O1-1)



現地にて尾根や河谷に左屈曲も認められ、全体として屈曲方向に系統性がないことを確認した。

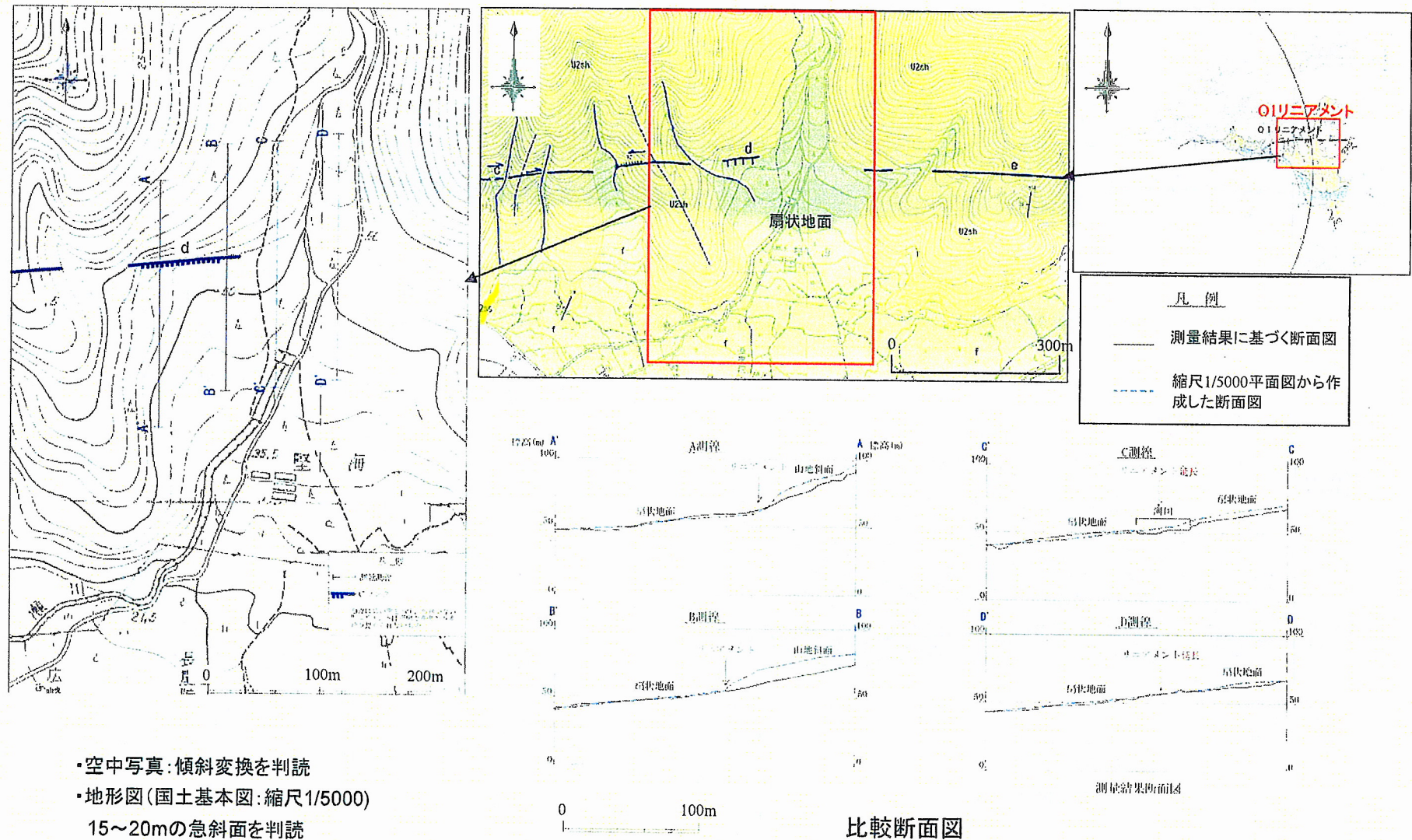
Cランク
短線は断層を示す。矢印は断層の滑動方向を示す。短線がないリニアメントは両側で断層の下遊段が認められないもの。

- ・幅20m程度の剥ぎ取り調査を行った。
- ・超丹波帯頁岩の連続分布域で、断層を確認した。
- ・断層面は、リニアメントの方向とほぼ調和的な走向傾斜を示し、直線性は認められず湾曲する。
- ・破碎帯は著しく膨縮する。片状~岩片状の破碎帯の部分は固結。破碎帯に含まれる粘土も幅0.5~7cmと著しく膨縮する。



破碎帯露頭写真(Loc.O1-1)

O1リニアメント 縦断測量結果(Loc.O1-2)



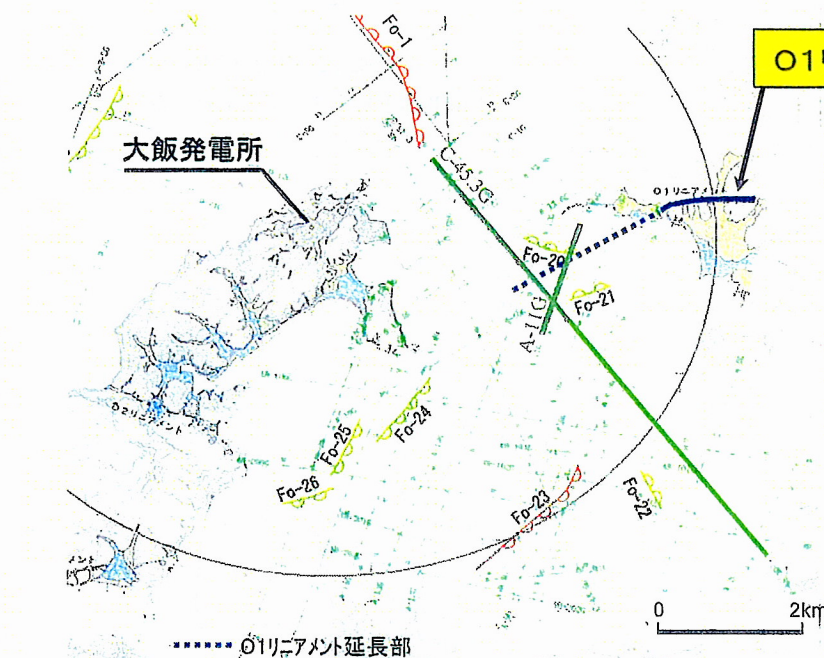
- ・空中写真: 傾斜変換を判読
- ・地形図(国土基本図: 縮尺1/5000)
- 15~20mの急斜面を判読



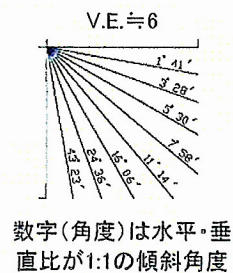
変位地形の可能性があると判断し、縦断測量を実施

地形図から判読した直線状の傾斜変換線は存在しない。
東延長部の扇状地面にも変位・変形が認められない。

O1リニアメントの調査結果(延長海域)



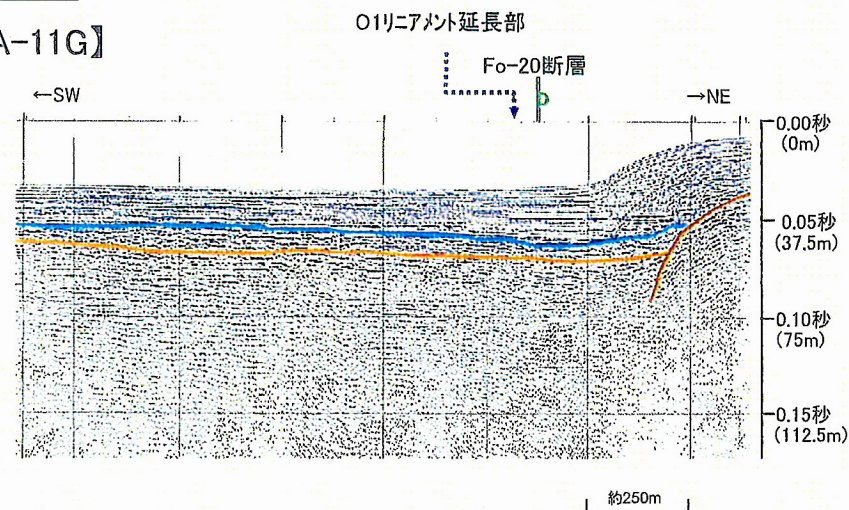
——— : 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
——— : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲



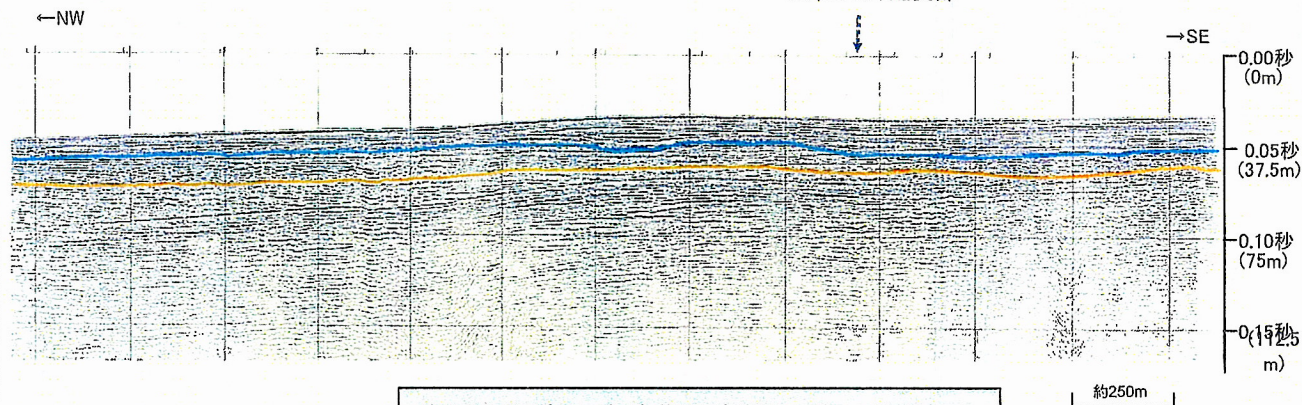
凡 例
——— B層上面
——— C層上面
——— R層上面

O1リニアメント

【A-11G】

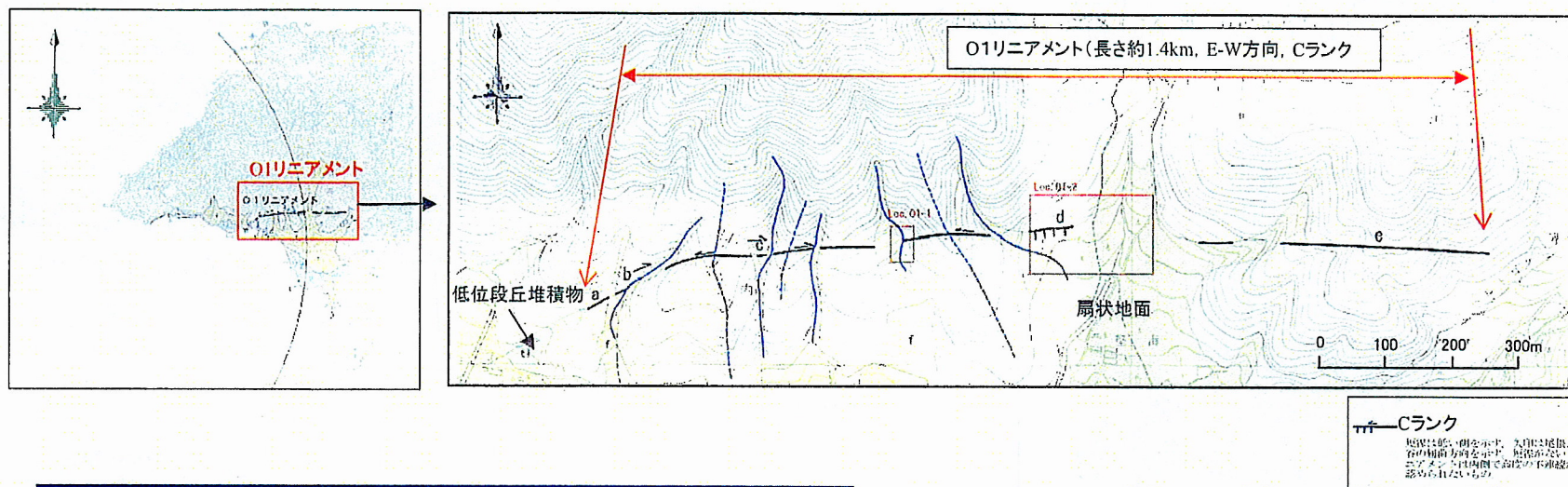


【C-45.3G】



海域延長部にも後期更新世以降に堆積した地層に変位・変形は認められない

O1リニアメントの当初の評価



活動性の評価

- ・河谷や尾根の屈曲に系統性はない。
- ・断層面に直線性は認められず、湾曲する。
- ・破碎帯は著しく膨縮する。片状～岩片状の破碎帯の部分は固結。破碎帯に含まれる粘土も著しく膨縮する。
- ・西側延長海域において、後期更新世以降の地層に変位・変形がない

O1リニアメント直下には、少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層はない。

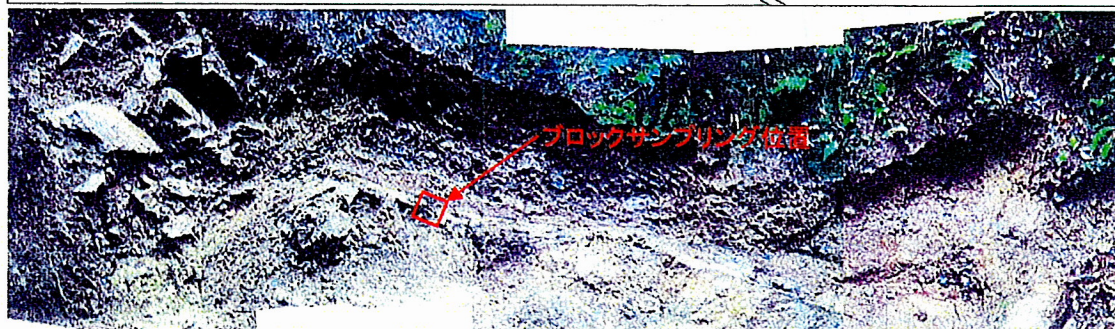
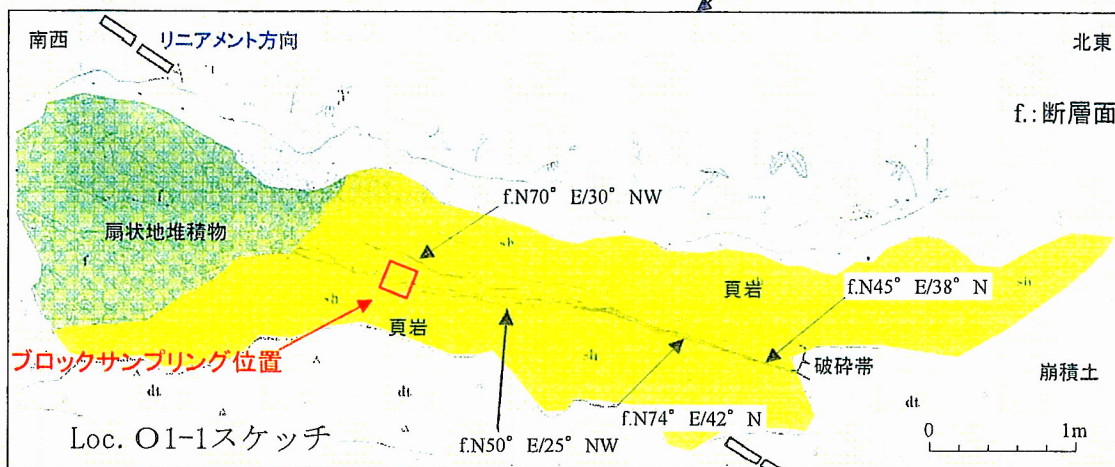
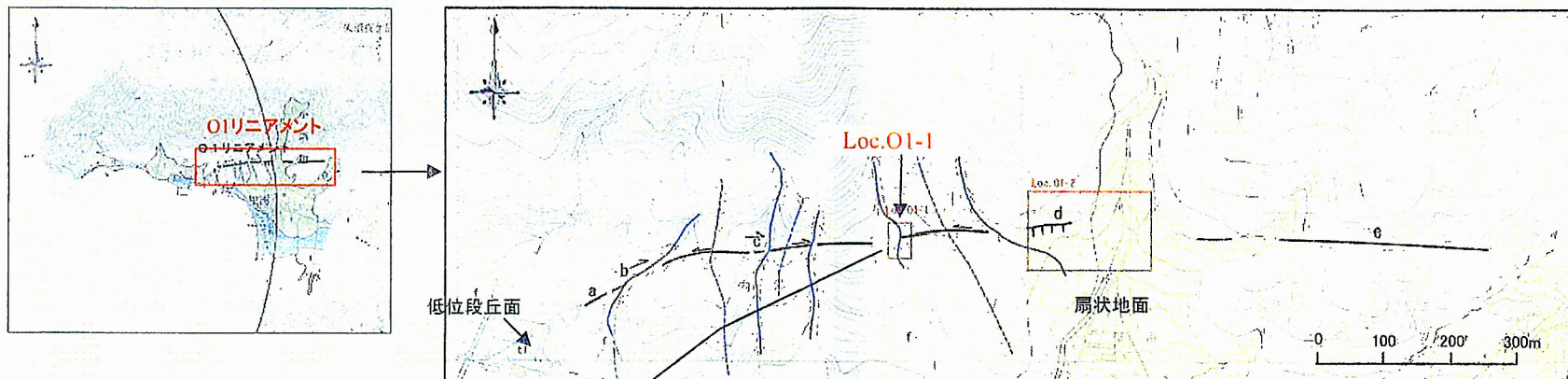
超丹波帯堆積岩中の断層を反映した組織地形と評価

【コメント】

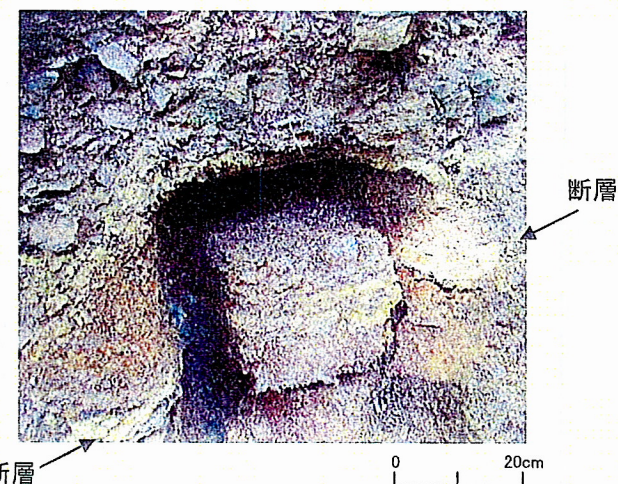
- ①断層の活動性の評価は、断層粘土や破碎帯の湾曲や膨縮だけでは否定の根拠となっていない。
- ②20～30年前の精度の悪い昔の地形図の代わりにレーザー測量を実施するのが望ましい。
- ③測線A-11Gに認められる堆積層中の曲がりについては、活断層の疑いがある。

補足調査(変形組織の観察、レーザー測量、海上音波探査)を実施

01リニアメントの地表地質調査結果 (Loc.01-1)



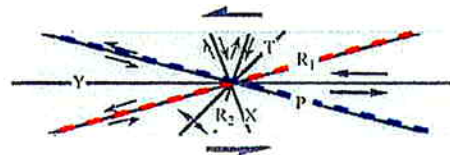
Loc.01-1露頭写真



剥ぎ取り調査により、リニアメント直下で確認した超丹波帯頁岩中の破碎帯からブロックサンプリングを実施し、変形組織の検討を行った。

01リニアメントの地表地質調査結果(Loc.01-1)

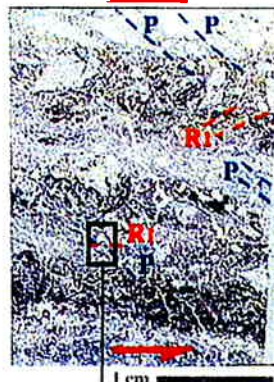
－変形組織の観察－



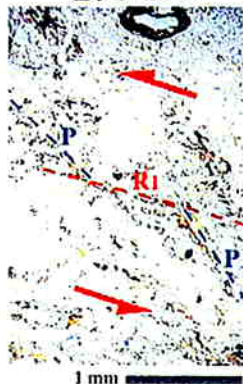
せん断センスを示す複合面構造
(狩野・村田、1998を反転)

薄片

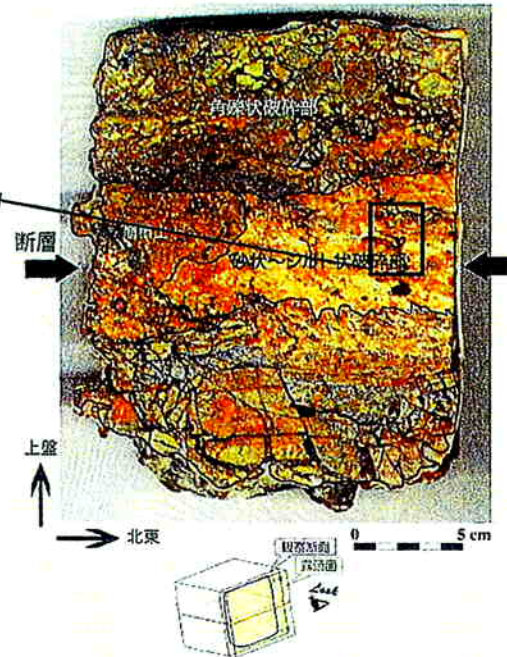
左ずれセンス



左ずれセンス



研磨片(横ずれ成分観察用)



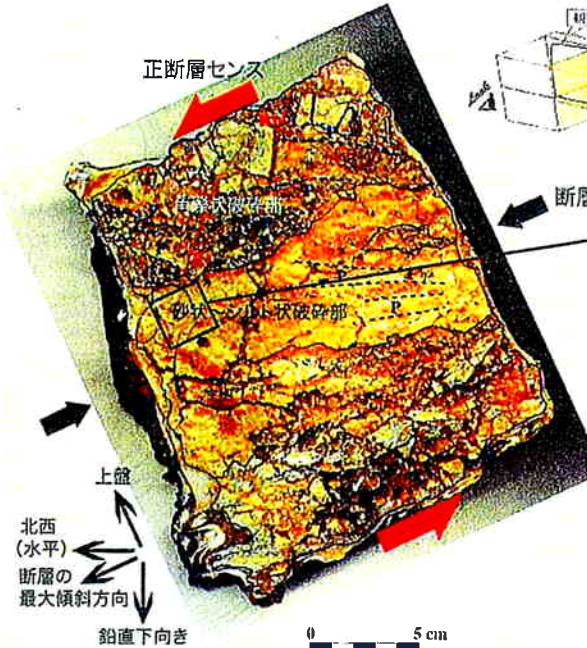
研磨片観察結果

・角礫状破碎部および砂状～シルト状破碎部からなる。

薄片観察結果

・カタクレーサイトからなる。
・P面とR1面の関係から左ずれセンスを示す。

研磨片(縦ずれ成分観察用)



研磨片観察結果

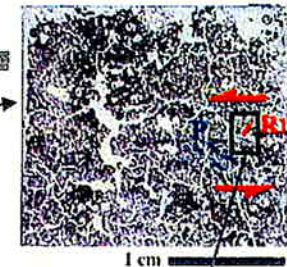
・角礫状破碎部および砂状～シルト状破碎部からなる。
・P面とR1面の関係から正断層センスを示す。

薄片観察結果

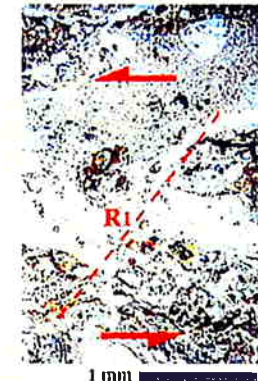
・カタクレーサイトからなる。
・P面とR1面の関係から正断層センスを示す。

薄片

正断層センス



正断層センス



破碎部はカタクレーサイトからなり、正断層センスを示すことから、古い断層であると判断した。

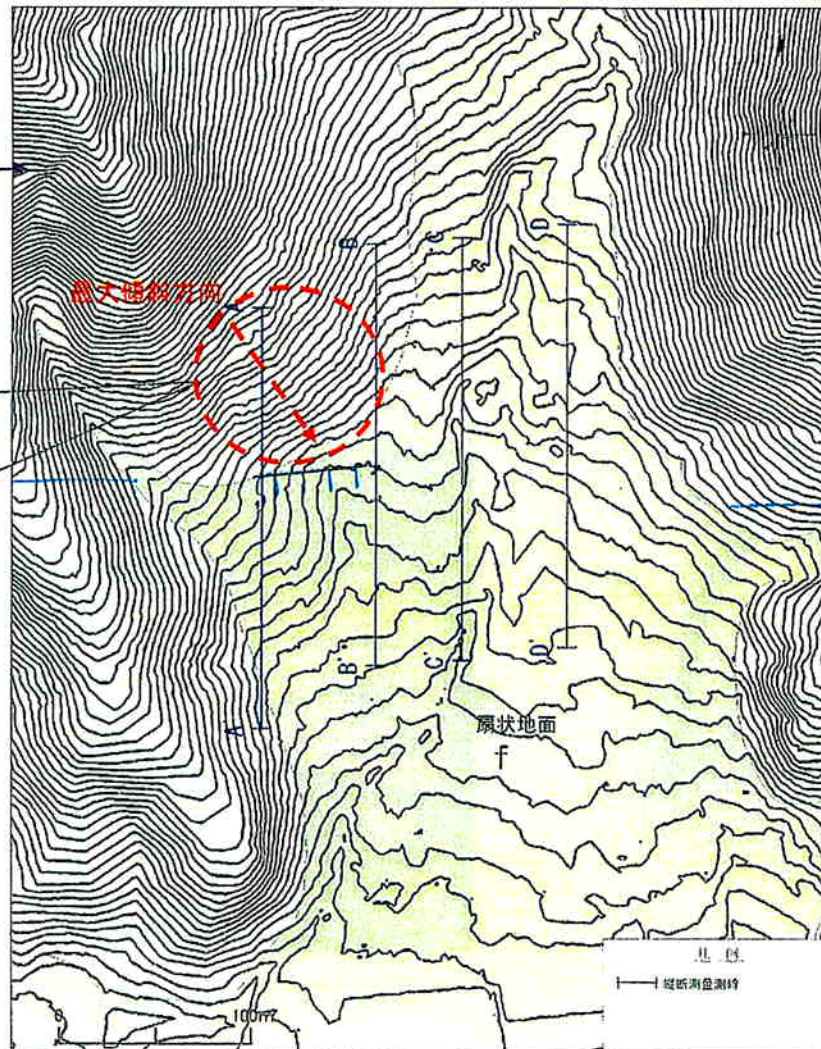
O1リニアメント レーザー測量結果 (Loc.O1-2)



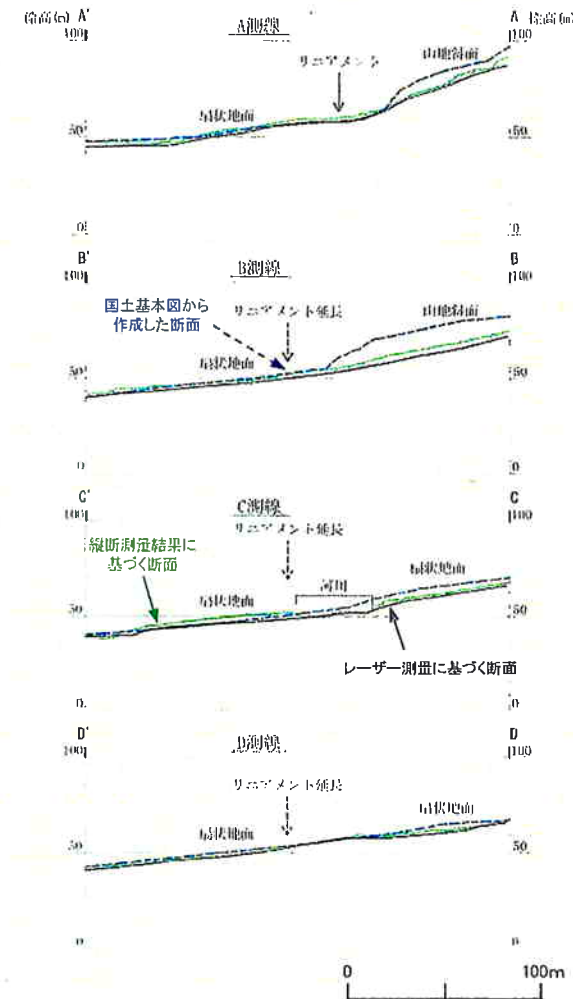
斜面の最大傾斜方向は、リニアメントと斜交する。



現地調査で御確認頂いた斜面末端は断層崖ではなく、リニアメントとは関連性の無い超丹波帯頁岩山体の斜面と扇状地面との境界と判断



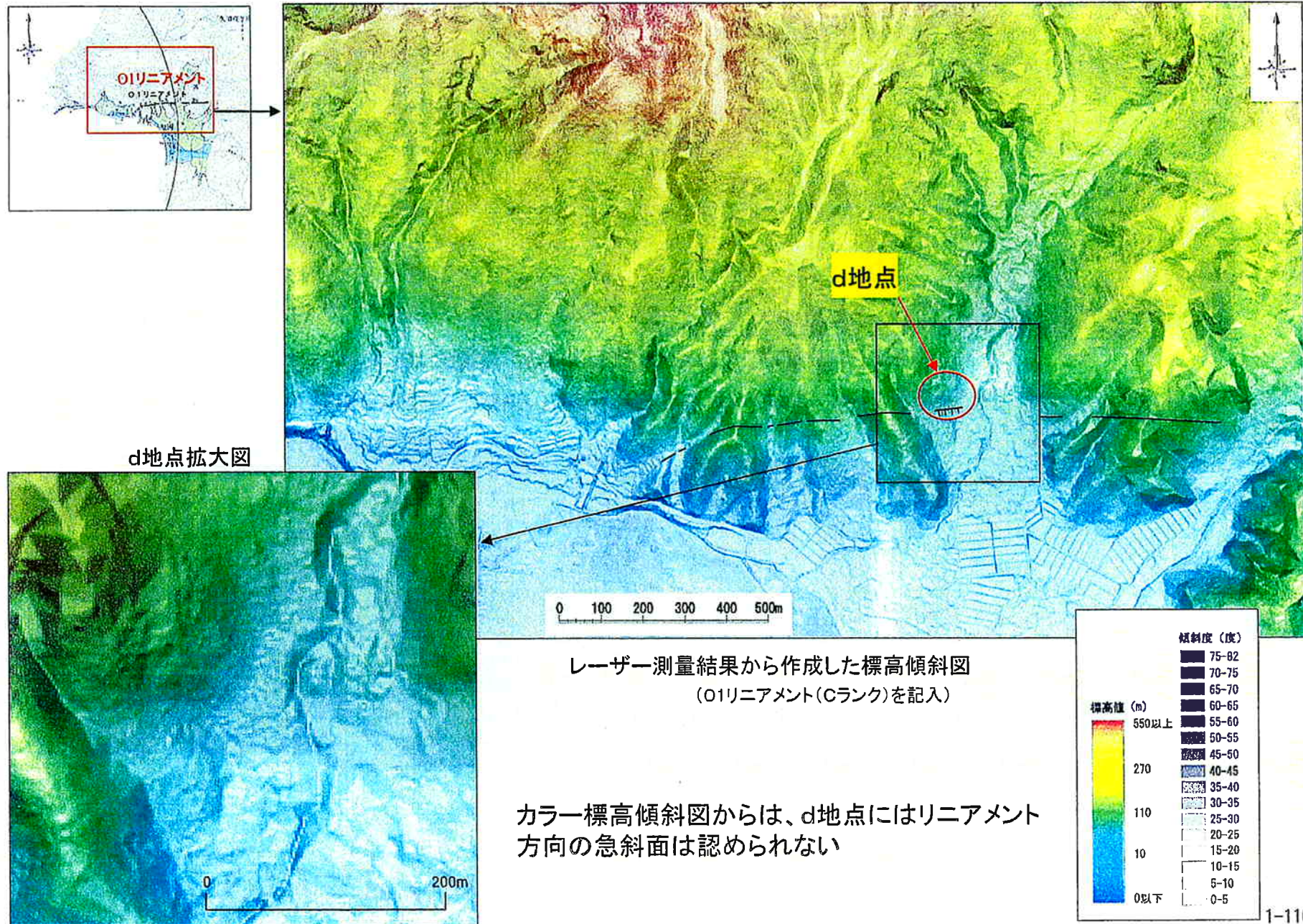
レーザー測量結果から作成した地形図
(O1リニアメント(Cランク)を記入)



レーザー測量結果と
縦断測量結果との対比断面図

- ・レーザー測量の結果、国土基本図(1/5,000)で示された急斜面は認められず、扇状地面にも低断層崖は認められない。
- ・レーザー測量に基づく断面と縦断測量結果は整合する。

O1リニアメント レーザー測量結果 (Loc.O1-2)



レーザー測量結果から作成した標高傾斜図
(O1リニアメント(Cランク)を記入)

カラー標高傾斜図からは、d地点にはリニアメント
方向の急斜面は認められない

01リニアメント レーザー測量結果(Loc.O1-2)

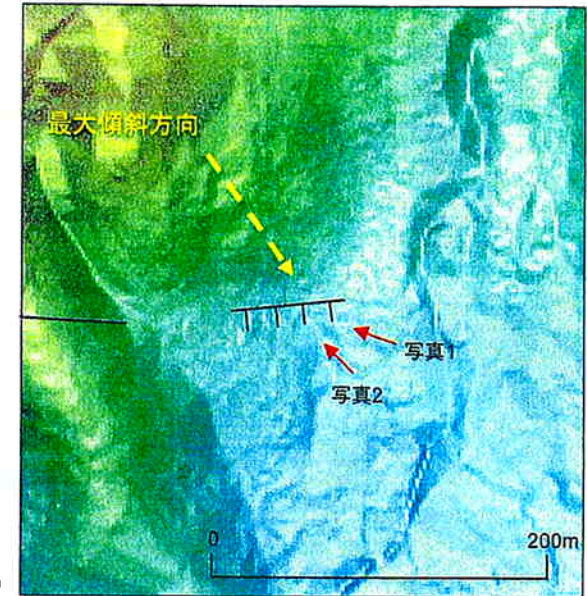


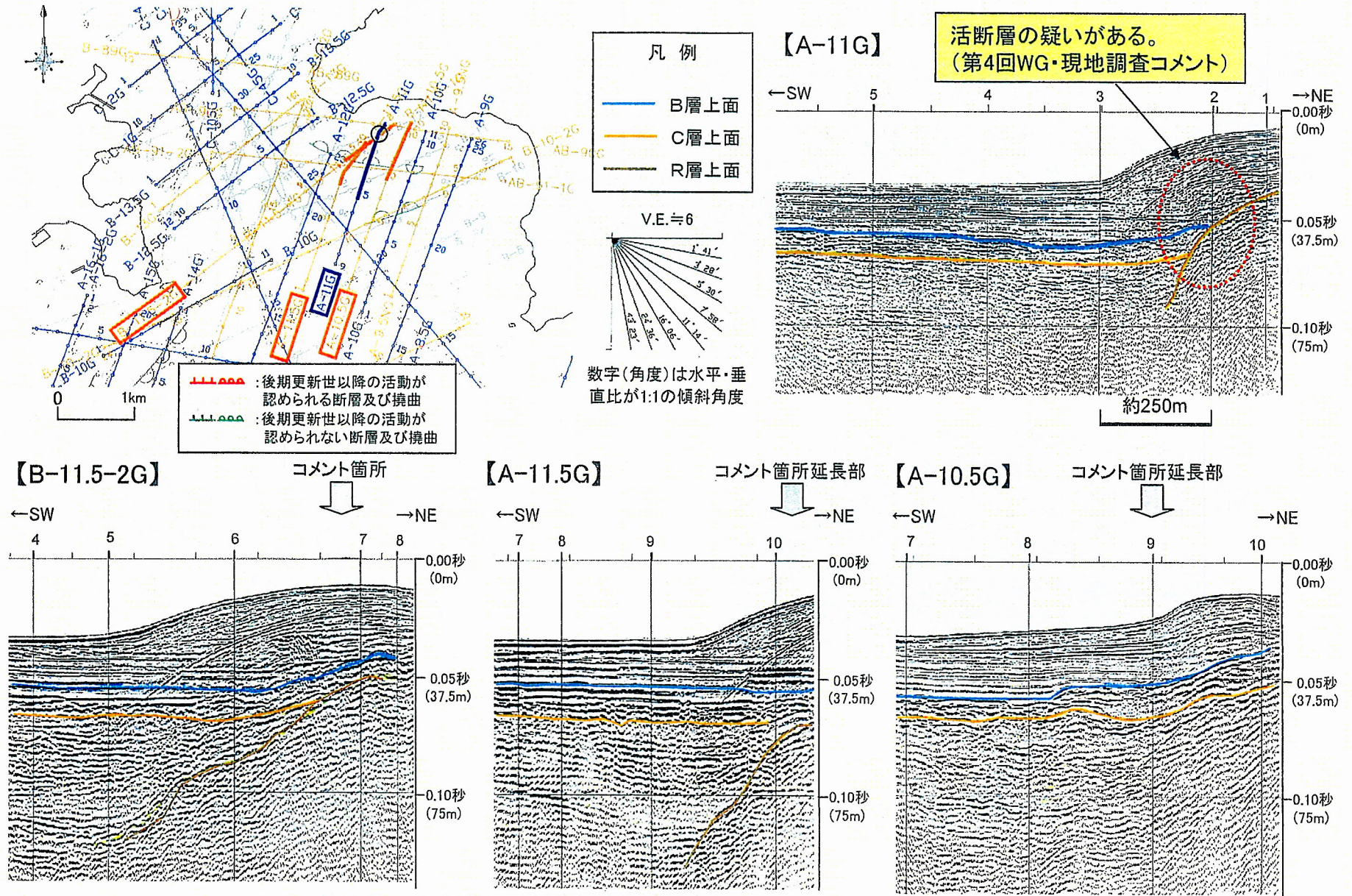
写真1 崖地形を判読した斜面(リニアメント方向に東から西側を望む)

緩やかな山腹斜面と扇状地面の境界に傾斜変換は認められるが、急崖等は認められない



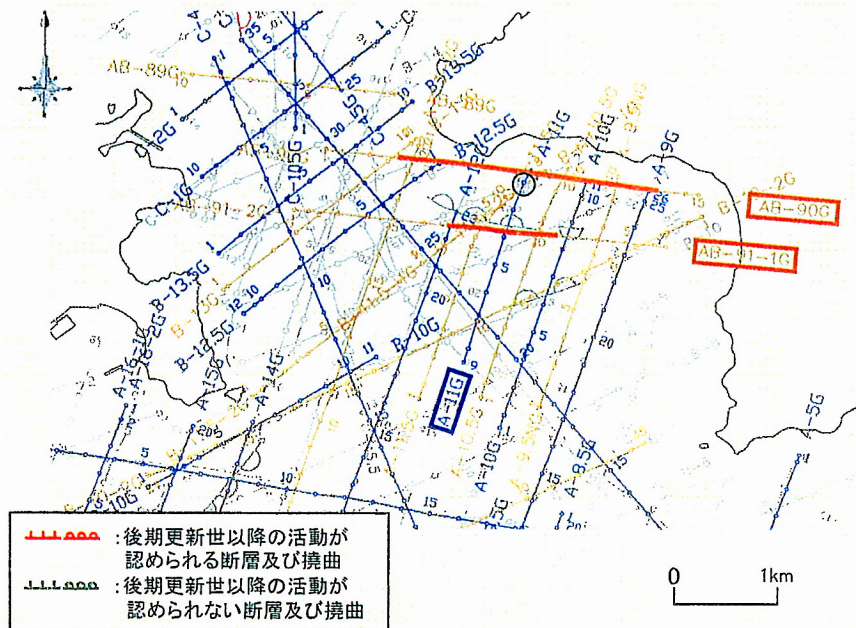
写真2 崖地形を判読した斜面(リニアメント方向を南側から望む)

補足の海上音波探査結果(○1リニアメント延長部)

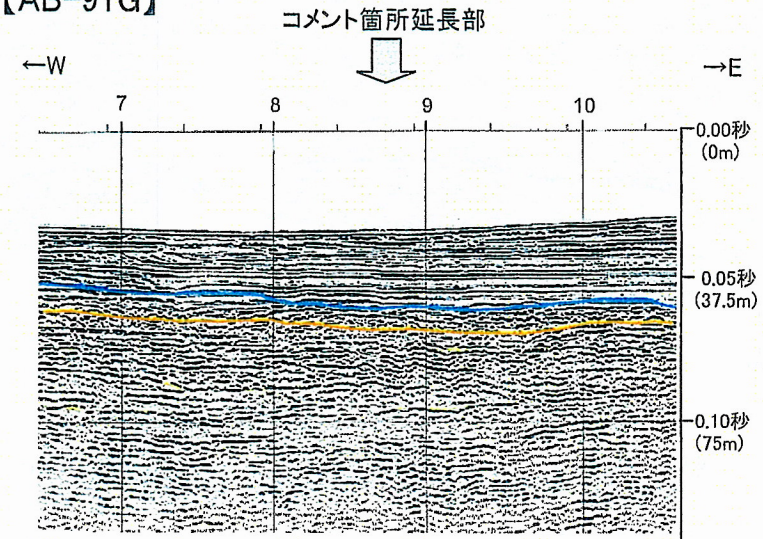


後期更新世以降の地層には断層による変位・変形は認められない。

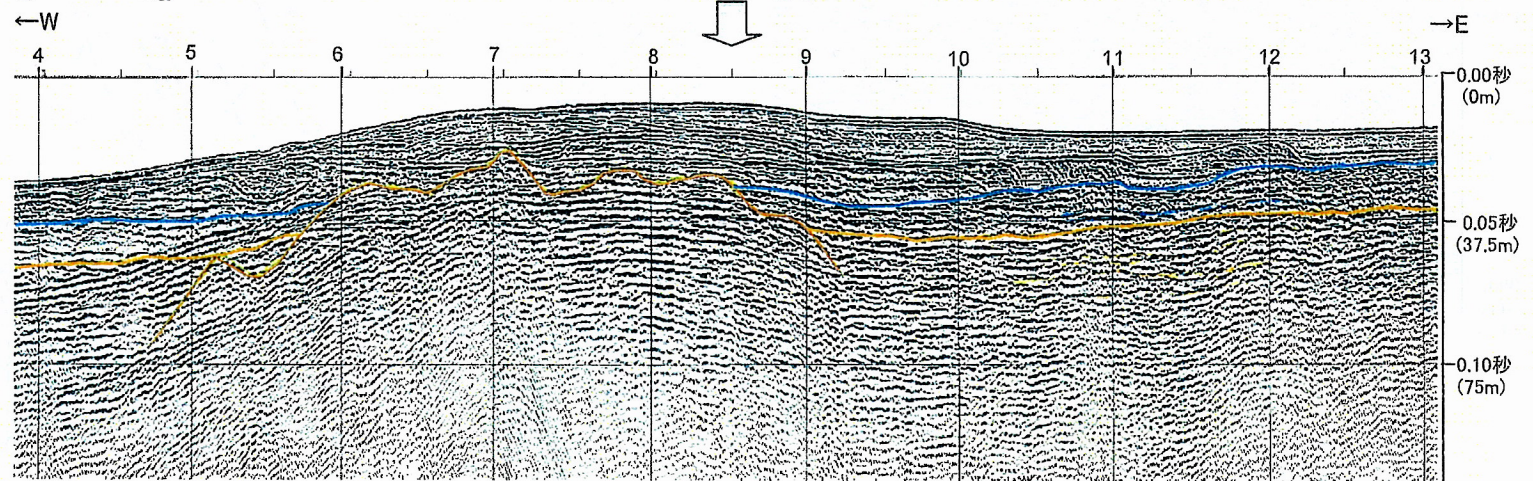
補足の海上音波探査結果(○1リニアメント延長部)



【AB-91G】

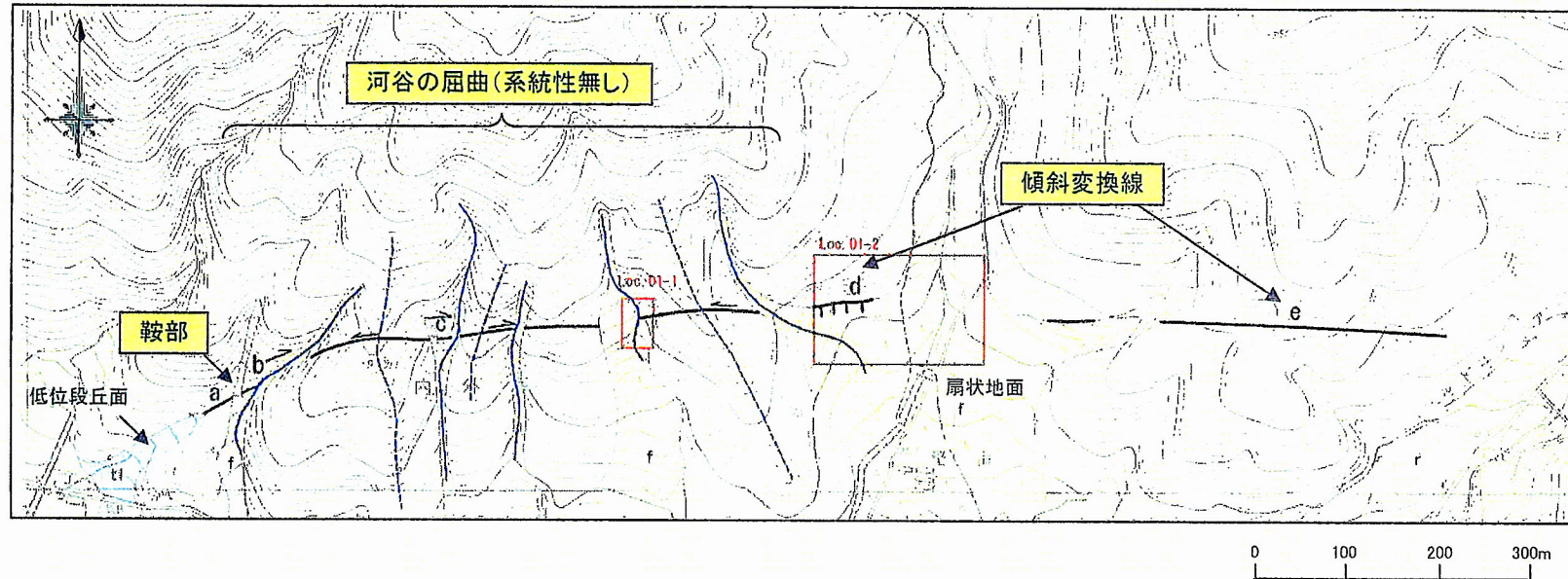


【AB-90G】



後期更新世以降の地層には断層による変位・変形は認められない。

○1リニアメントの評価



【調査結果】(●:補足の地質調査結果)

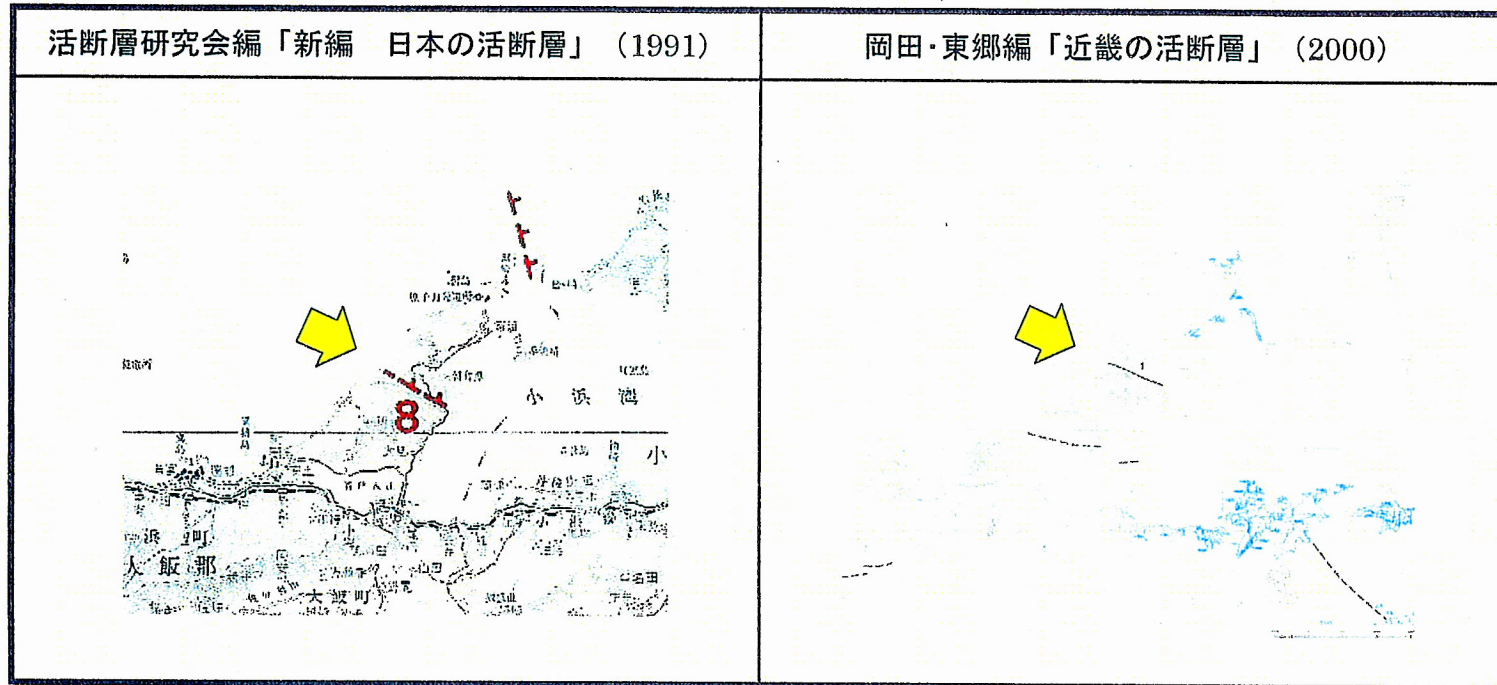
- 本リニアメントは、鞍部(a地点)、河谷の屈曲(b,c地点)、傾斜変換線(e地点)を判読。ただし、現地にて尾根や河谷に左屈曲も認められ、全体として屈曲方向に系統性なし。
- リニアメントの直下(Loc.01-1)で剥ぎ取り調査を行った結果、超丹波帯頁岩の連続分布域で断層を確認。
- 西側延長海域において、後期更新世以降の地層に変位・変形なし。
- Loc.01-1の断層について変形組織の観察を行った結果、リニアメントとは関連性の無い古い断層であることを確認した。
- レーザー測量の結果、国土基本図(5千分の1)により認識した急斜面(d地点)は認められず、扇状地面に低断層崖は認められない。



超丹波帯堆積岩中の断層等を反映した組織地形と評価

3-3 O2リニアメント

〇2リニアメントに関する文献



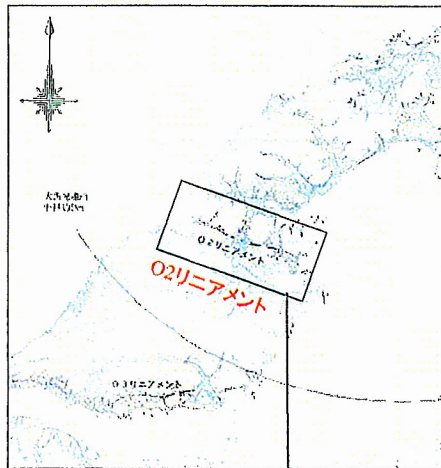
断層名	長さ	確実度	変位の向き
8 大島半島中部	3 km	Ⅱ	南側隆起

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

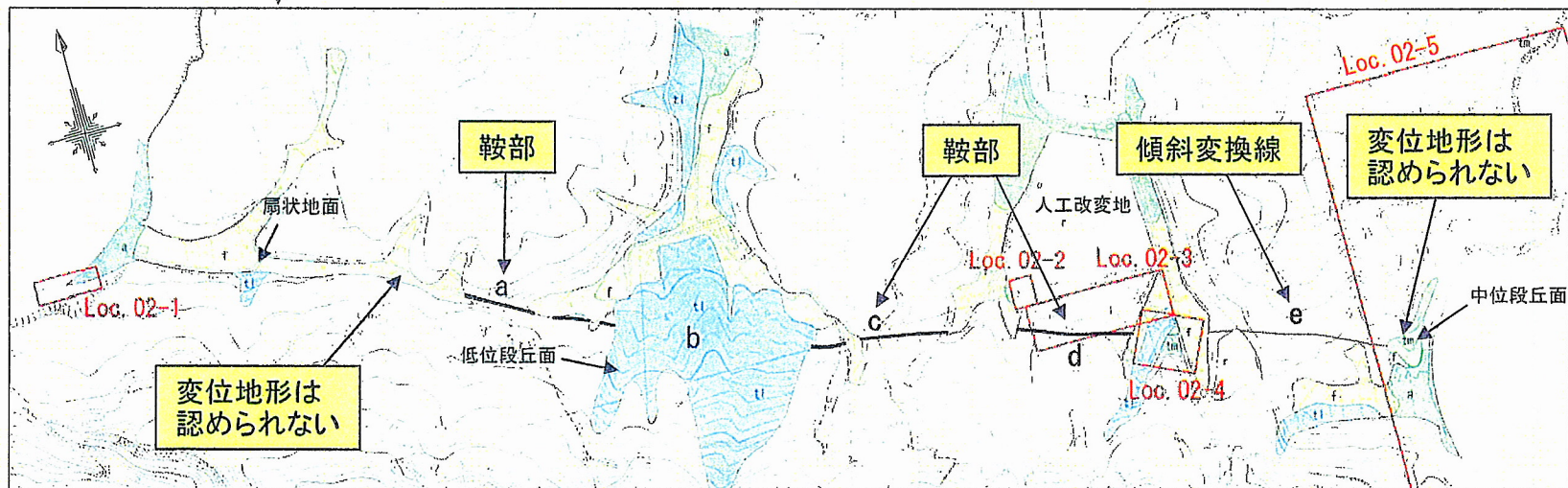
断層名	長さ	確実度	変位の向き
1 大島南西	1.7 km	L	南側隆起

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

O2リニアメントの地形調査結果



- ・長さ約1.3km、WNW-ESE方向のC～Dランクのリニアメントとして判読される。
- ・判読要素は、鞍部(a,c,d地点)、傾斜変換線(e地点)である。
- ・a地点より西側の扇状地面及びe地点より東側の中位段丘面には変位地形は認められない。
- ・b地点に低位段丘面が分布するが、崖地形や河谷の屈曲は認められない。

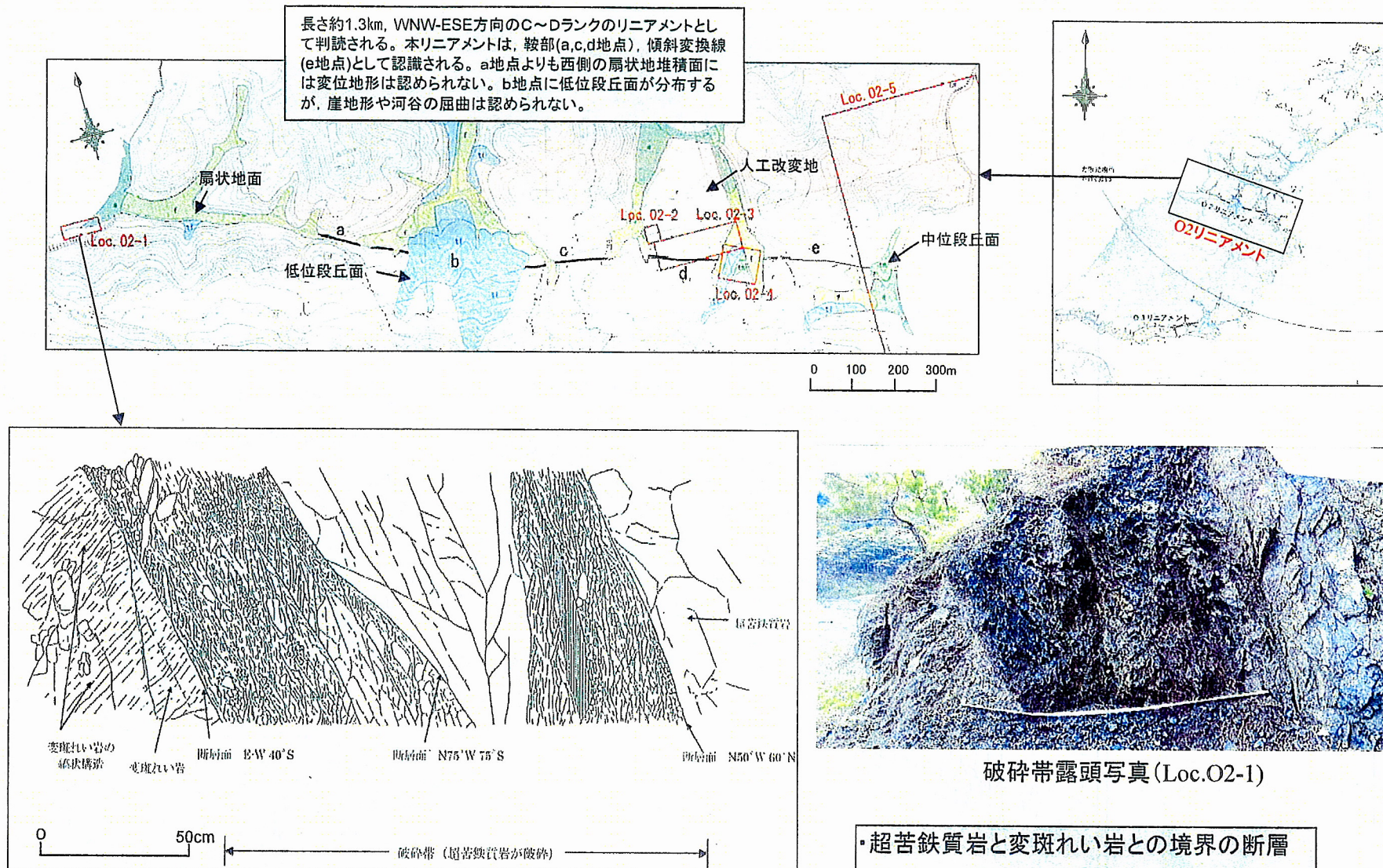


— Cランク

— Dランク

断線は既知の間を示す。断線がないリニアメントは両側で高度の不連続が認められないもの。

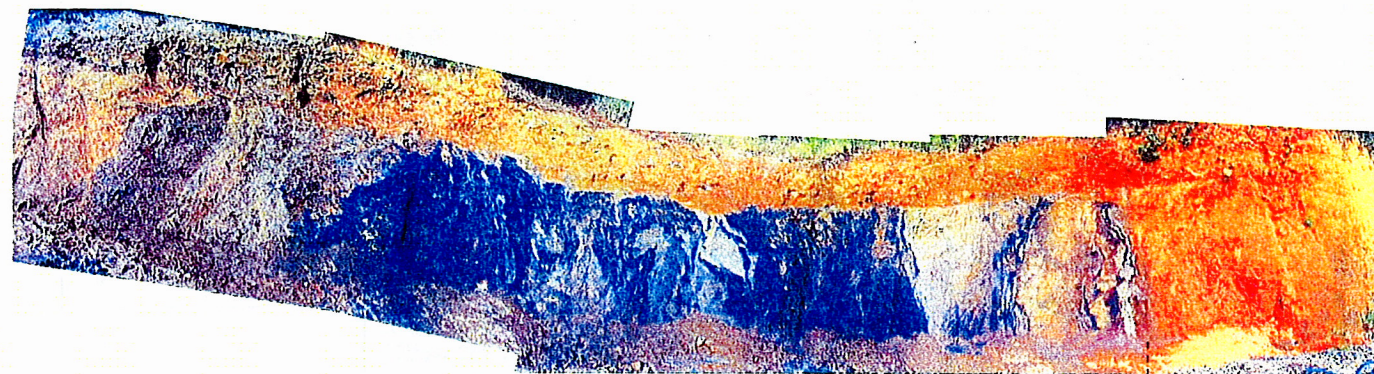
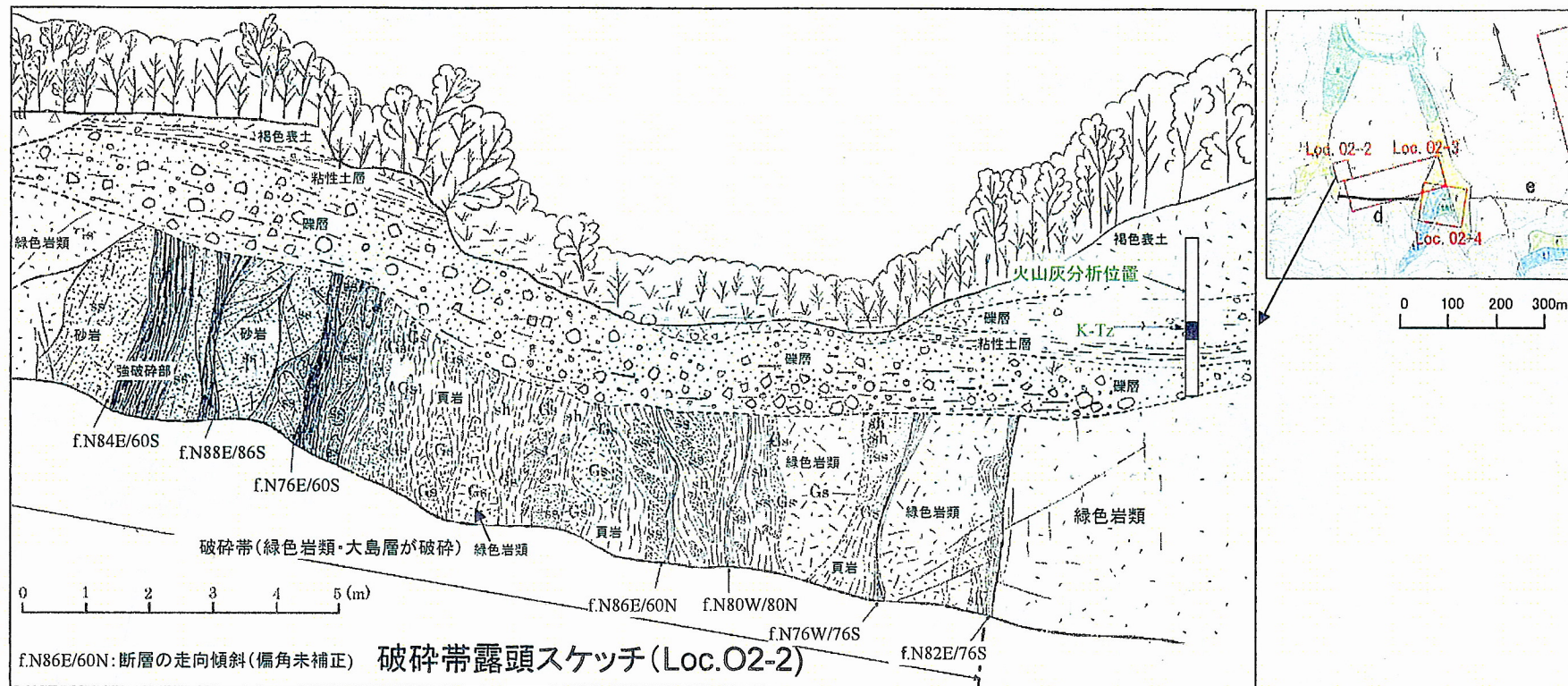
O2リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O2-1)



破砕帯露頭スケッチ (Loc.O2-1)

- ・超苦鉄質岩と変斑れい岩との境界の断層
- ・固結した角礫状～砂状破砕帯を確認

O2リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O2-2)



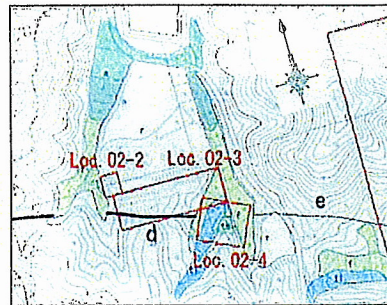
破碎帯露頭写真(Loc.O2-2)

幅広い破碎帯は、
K-Tzテフラの降灰層準
を含む中位段丘堆積
物に覆われ、その堆積
物には変位・変形は認
められない。

K-Tz: 鬼界葛原テフラ
(約9.5万年前)

破碎帯(緑色岩類・大島層が破碎) ← → 緑色岩類

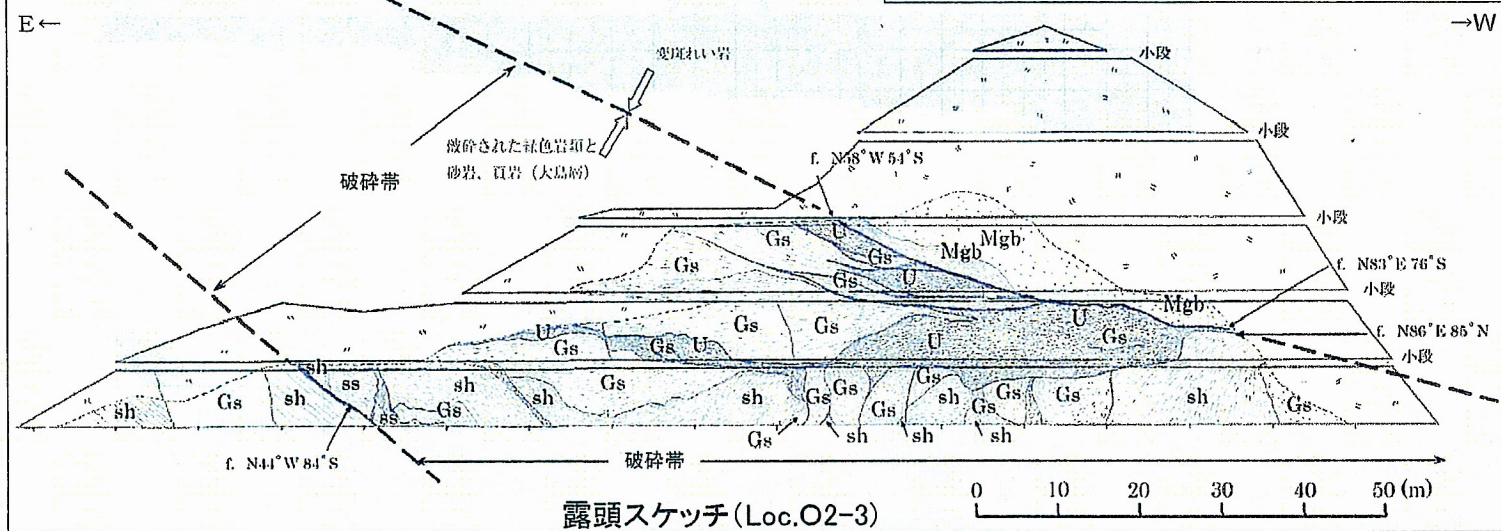
O2リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O2-3)



0 100 200 300m

岩種		破砕部	
	強風化帯		大島層・緑色岩類・変斑れい岩起源の岩塊
	砂岩		超苦鉄質岩起源の岩塊
	頁岩		角礫状破砕物質
	緑色岩類	変質部	
	変斑れい岩		
	夜久野オフィオライト		変斑れい岩
	超苦鉄質岩		

f. N70°W80°N: 断面の走向、傾斜 (偏角未補正)



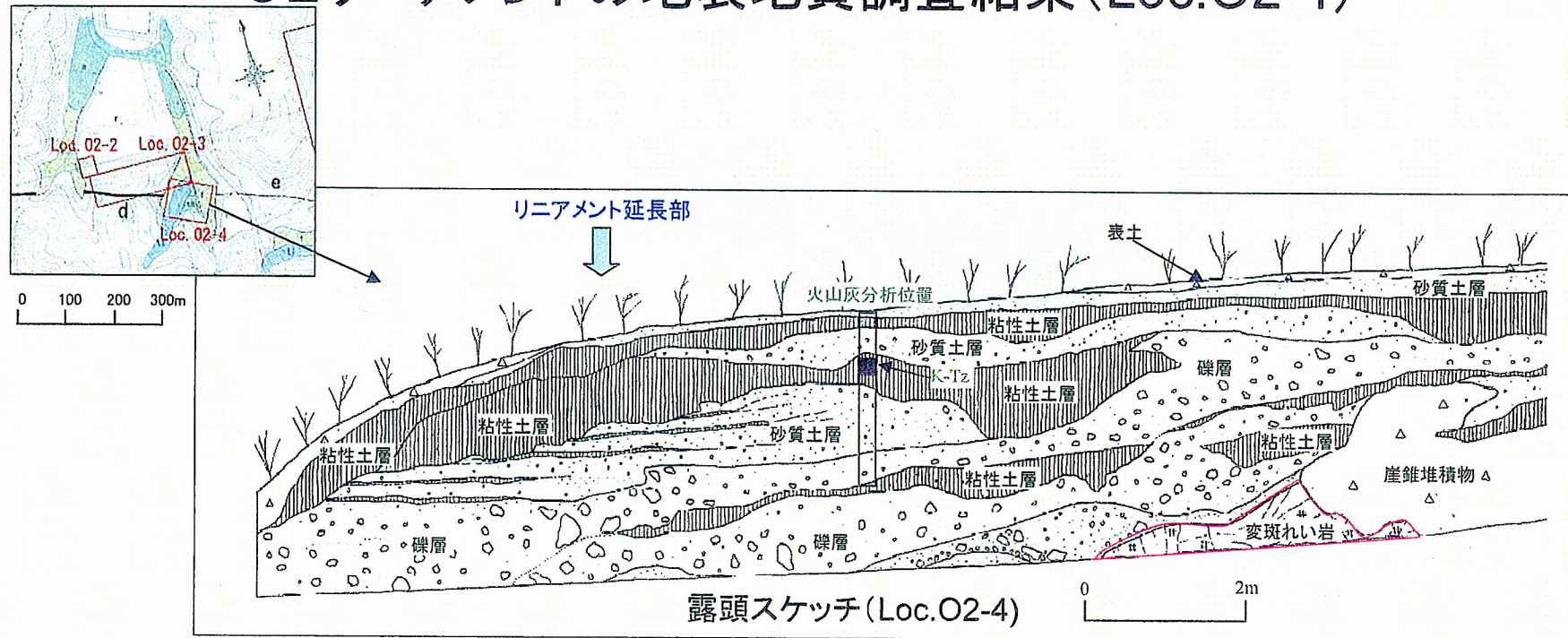
露頭スケッチ (Loc.O2-3)

切土のり面に現れた幅数10mの破砕帯で、断層の上盤側は変斑れい岩、下盤側は緑色岩類・大島層(砂岩・頁岩)が分布する。破砕帯は緑色岩類、砂岩、頁岩、超苦鉄質岩起源の岩塊や角礫、砂等からなり、へき開面が密に発達している。超苦鉄質岩の岩塊は蛇紋岩化し、光沢のあるへき開面が発達する。破砕帯は強風化帯では見えなくなる。



露頭写真 (Loc.O2-3)

O2リニアメントの地表地質調査結果 (Loc.O2-4)

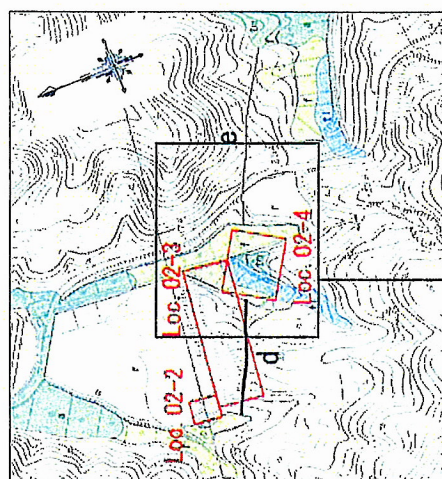


露頭写真 (Loc.O2-4)

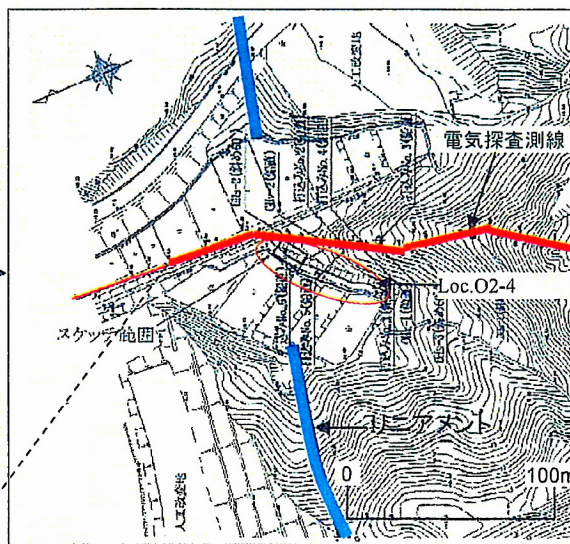
リニアメント延長部付近にはK-Tzテフラの降灰層準を含む堆積物が分布するが、この堆積物に変位・変形は認められない。

K-Tz: 鬼界葛原テフラ
(約9.5万年前)

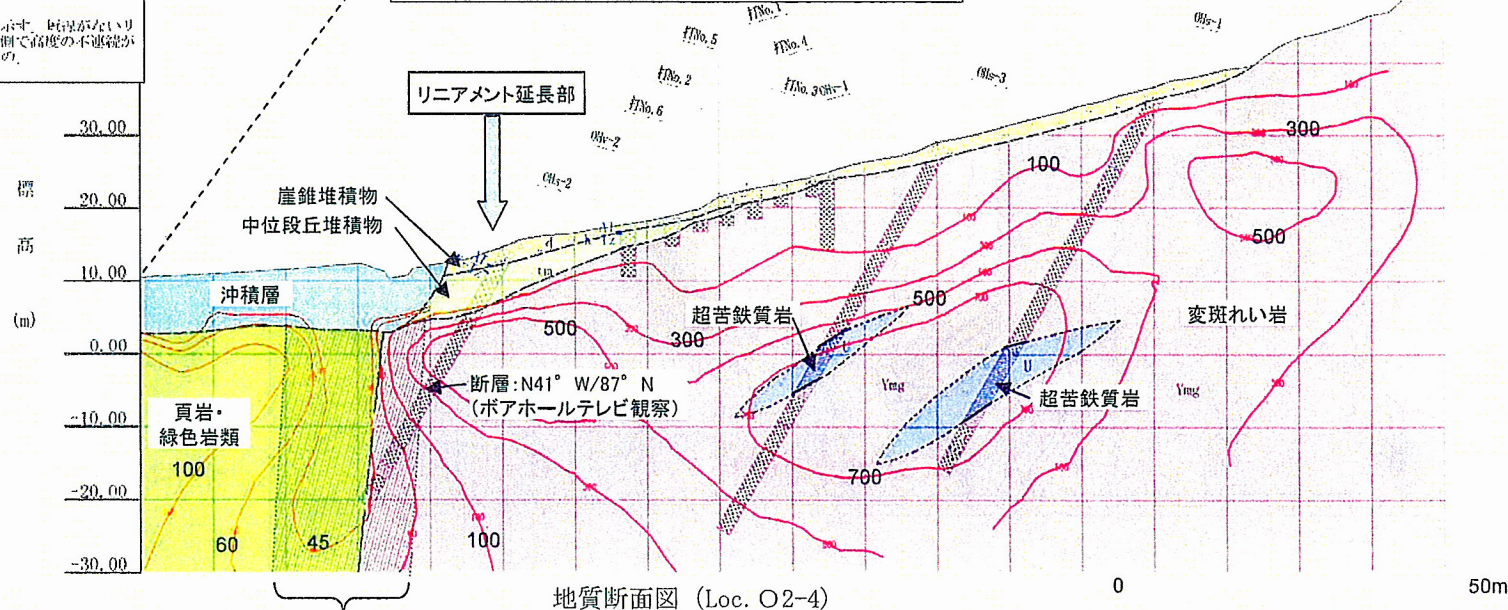
O2リニアメントの地表地質調査結果 (Loc.O2-4)



〓 Cランク
 〓 Dランク
 標高は低い側を示す。等高線がないリニアメントは両側で高度の不連続が認められないもの。



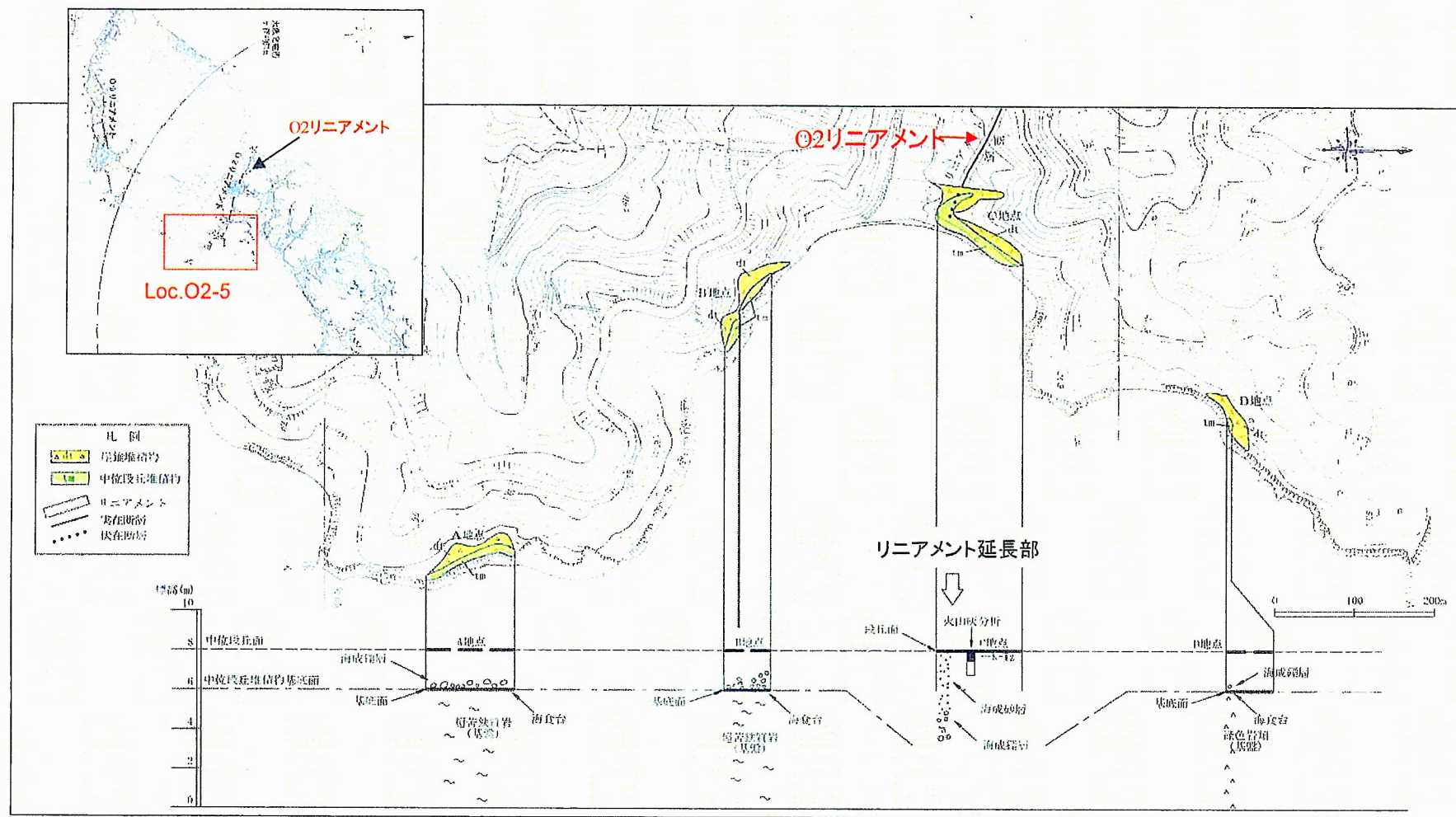
電気探査及びボーリング調査で、リニアメント直下から約10m北側に断層破碎帯 (N41° W/87° N) を確認し、この断層は西側のLoc. O2-2の断層破碎帯に連続すると判断した。



電気探査(低比抵抗部)とボーリング調査から推定される破碎帯

* 等比抵抗線の単位は $\Omega \cdot m$

O2リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O2-5)



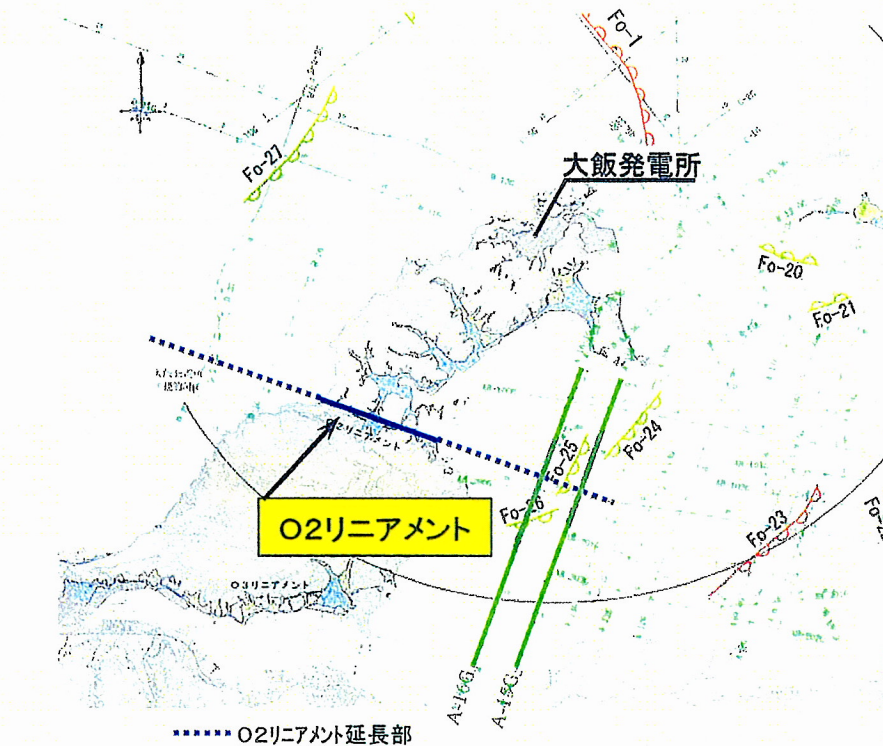
露頭調査結果(Loc.O2-5)

リニアメント延長方向のK-Tzテフラ降灰層準を含む中位段丘堆積物上に断層を示唆する変位地形は認められない。

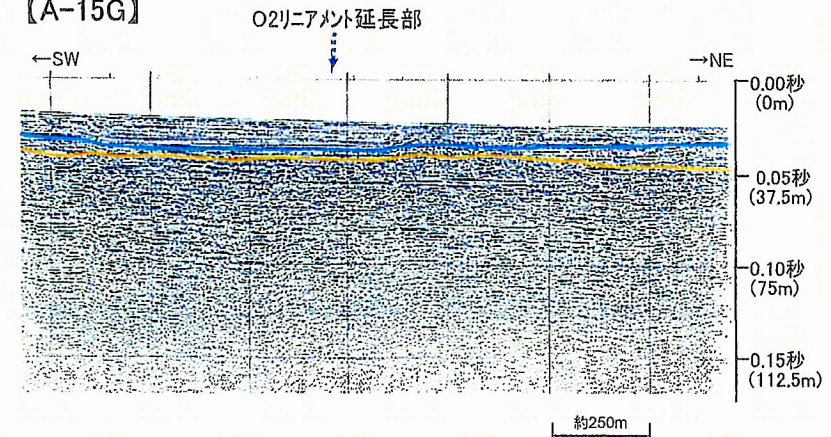
リニアメントを挟んで中位段丘相当層基底面に大きな高度差は認められない。

K-Tz: 鬼界葛原テフラ
(約9.5万年前)

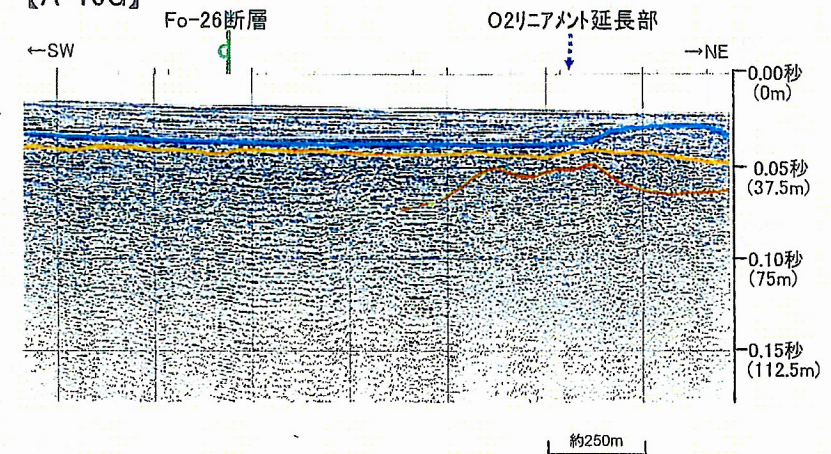
O2リニアメントの調査結果(延長海域)



【A-15G】

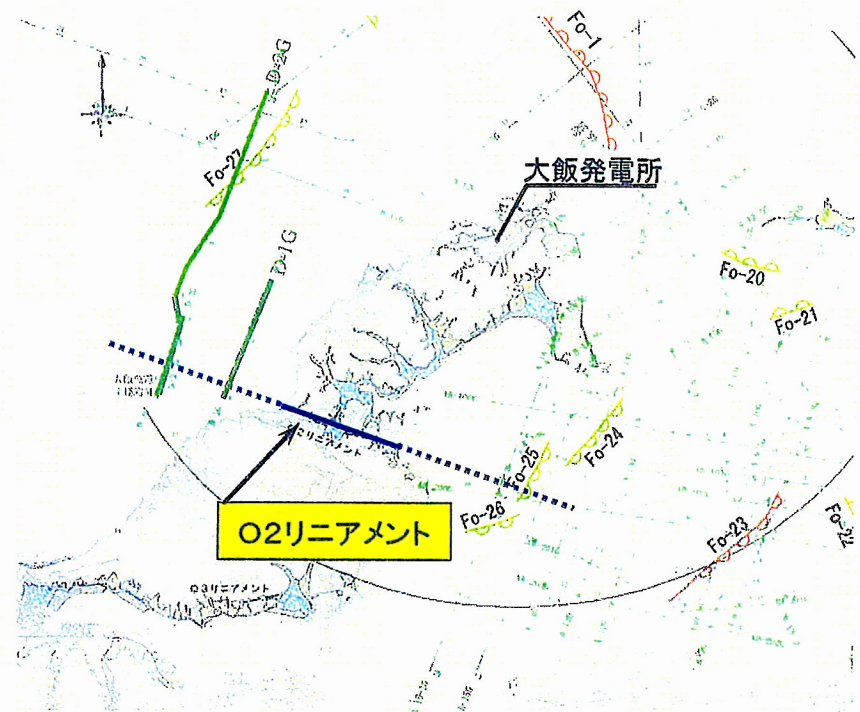


【A-16G】



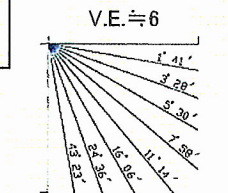
海域延長部にも後期更新世以降に堆積した地層に変位・変形は認められない

O2リニアメントの調査結果(延長海域)

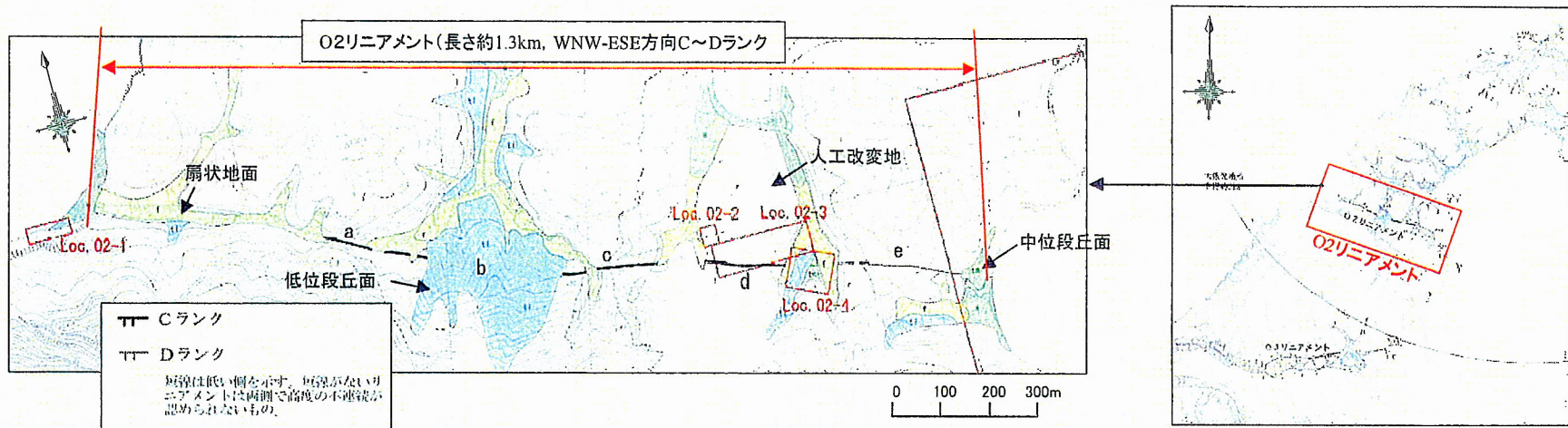


..... O2リニアメント延長部

||||| : 後期更新世以降の活動が認められる断層及び撓曲
||||| : 後期更新世以降の活動が認められない断層及び撓曲



O2リニアメントの当初の評価



活動性の評価

- ・破碎帯を覆う中位段丘堆積物に変位・変形は認められない。
- ・海域延長部において、後期更新世以降の地層に変位・変形なし。

O2リニアメント直下には、少なくとも後期更新世以降の活動を示唆する断層はない。

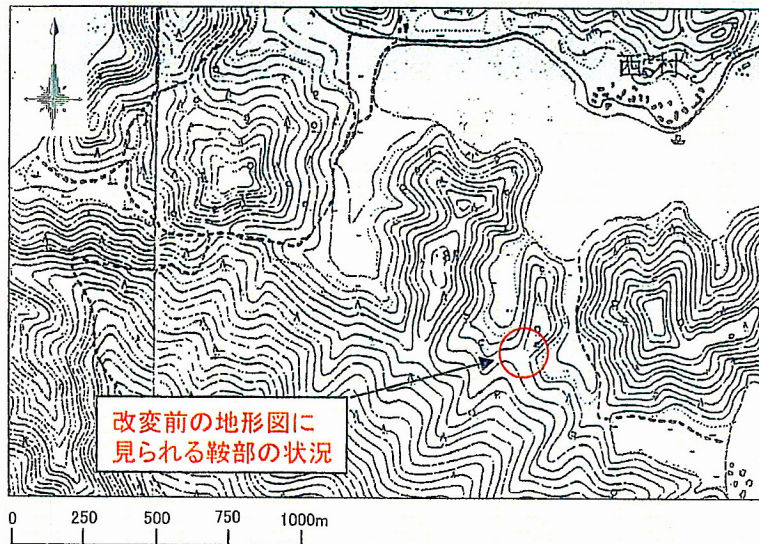
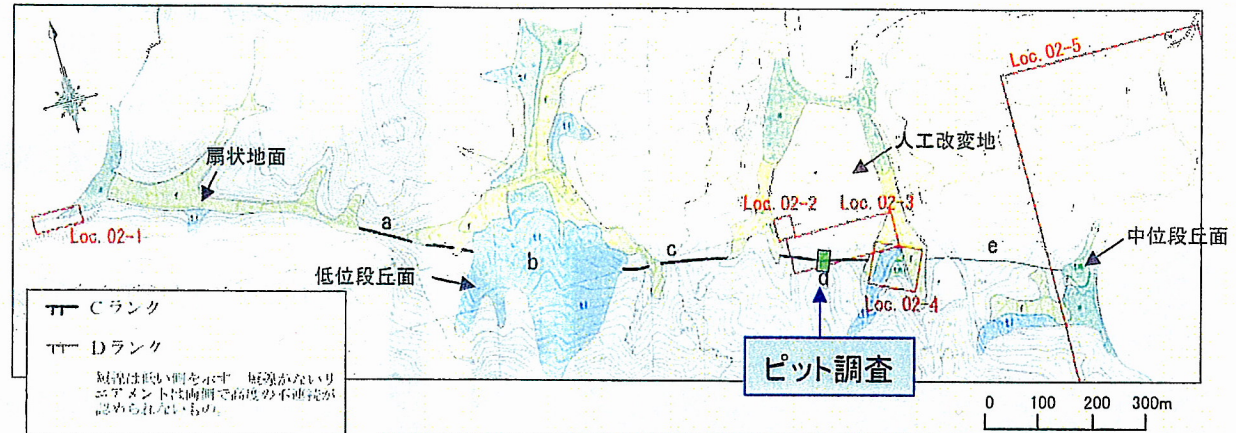
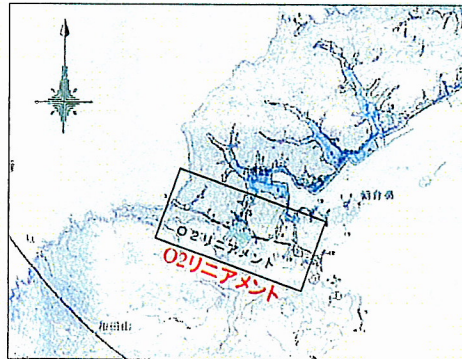
変斑れい岩と緑色岩・頁岩の岩種境界をなす破碎帯や風化の著しい変斑れい岩が、選択的に差別浸食された組織地形と評価。

【コメント】

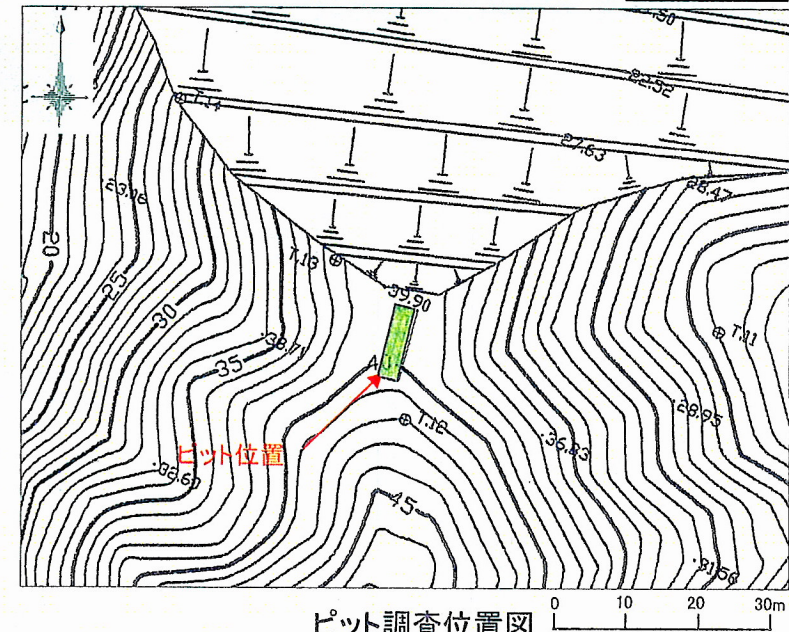
変動地形学的調査によりリニアメントとして認識した箇所に対する評価を行うためには、リニアメント直下の調査結果に基づいて評価を行う必要がある。

補足調査(ピット調査、詳細な地質分布の検討)を実施

〇2リニアメント ピット調査位置



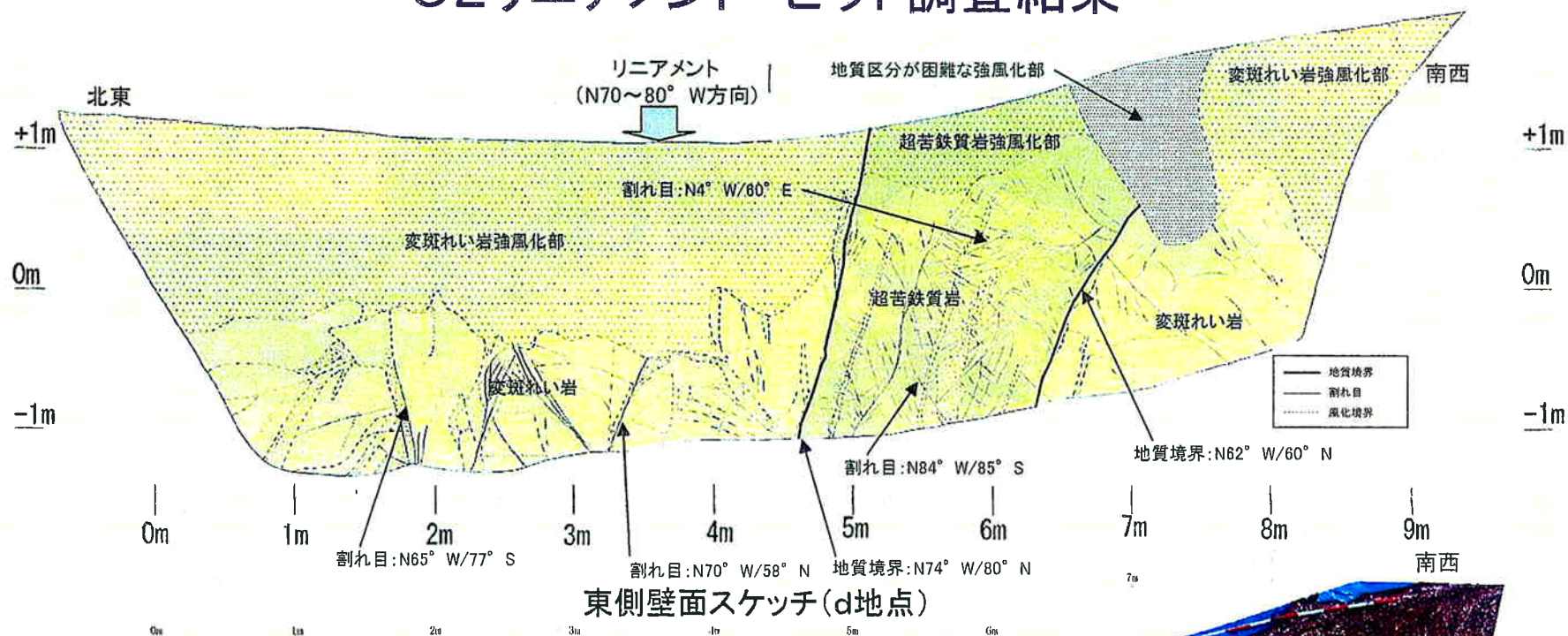
旧版地形図におけるピット調査位置
(昭和33年発行2万5千分の1地形図「鋸崎」及び「難波江」を使用)



ピット調査位置図
(詳細測量図面に記入)

鞍部を判読した箇所(d地点)において
長さ約10m、幅約2m、深さ約2mのピット調査を実施

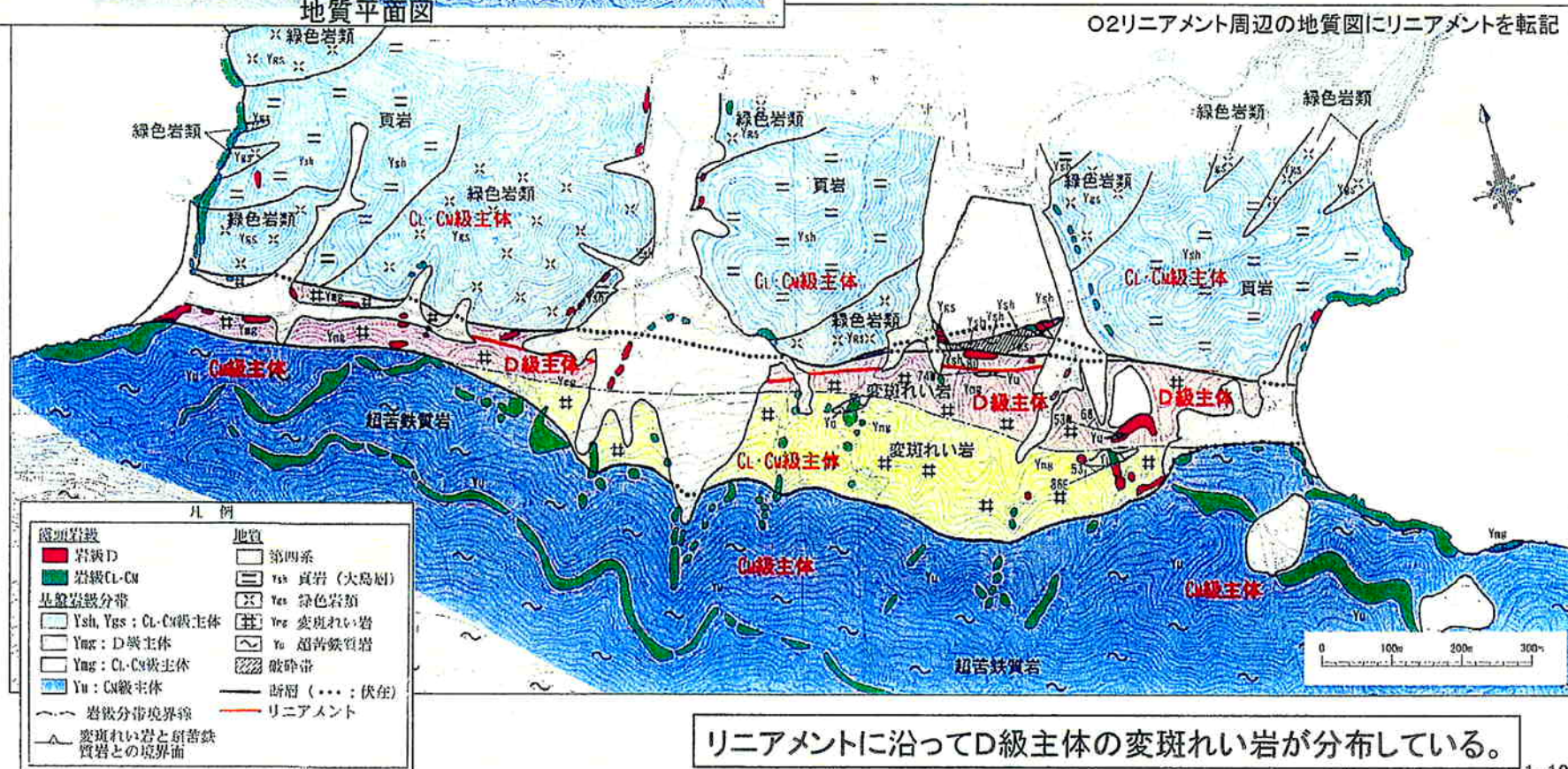
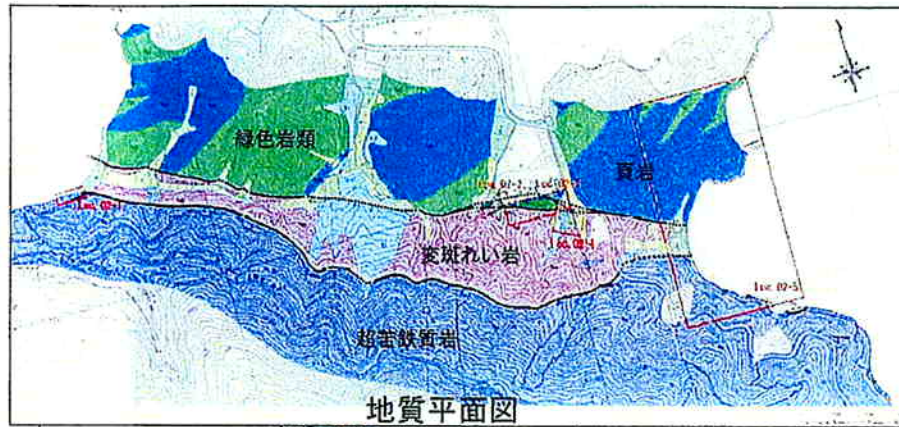
02リニアメント ピット調査結果



東側壁面写真(d地点)

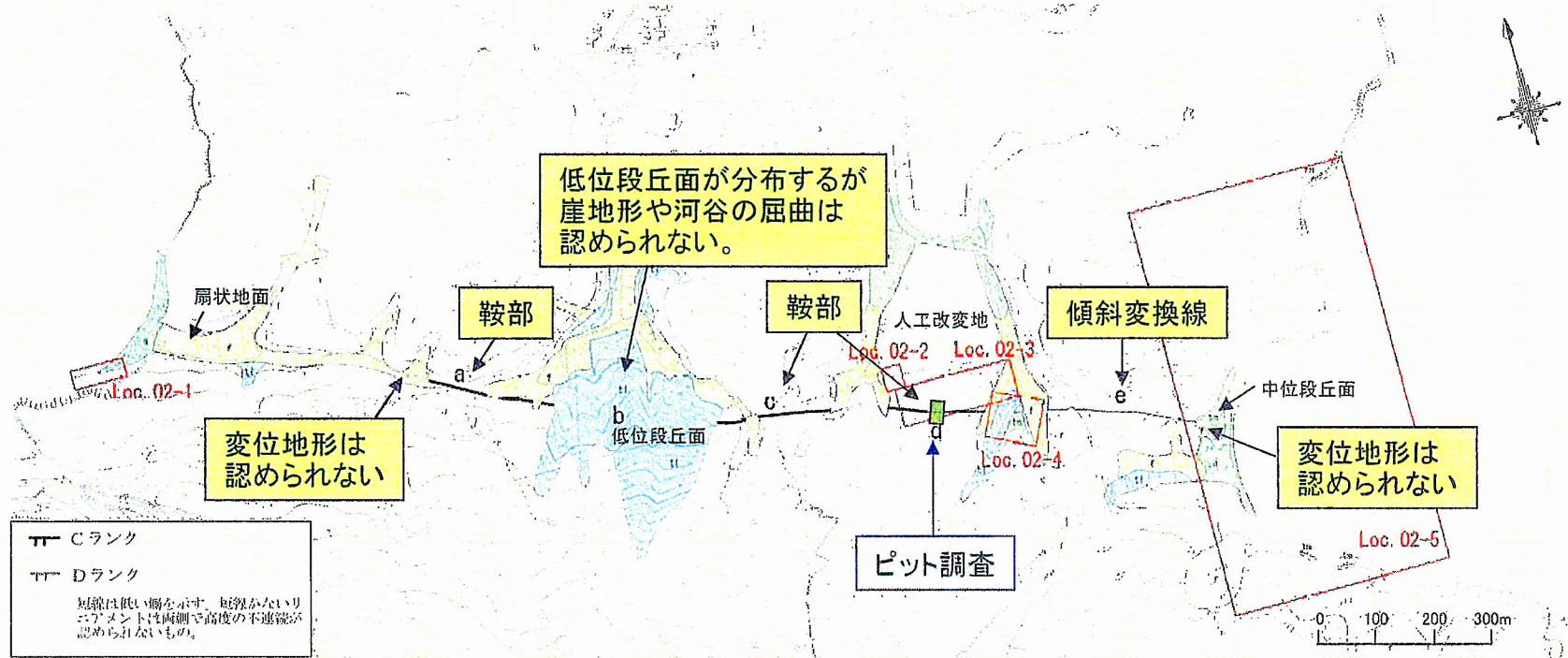
ピット壁面では、変斑れい岩と超苦鉄質岩が分布しているが、断層は認められない。地質境界及び割れ目の方向は、リニアメント方向にほぼ一致している。

O2リニアメント周辺の地質・岩級区分図



リニアメントに沿ってD級主体の変斑れい岩が分布している。

02リニアメントの評価



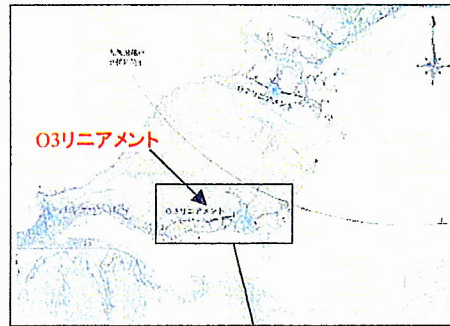
【調査結果】(●:補足の地質調査結果)

- 本リニアメントは、鞍部(a,c,d地点)、傾斜変換線(e地点)として認識。a地点よりも西側の扇状地堆積面には変位地形なし。b地点に低位段丘面が分布するが、崖地形や河谷の屈曲なし。
- リニアメントの北側に分布する破碎帯を覆う中位段丘堆積物に変位・変形なし。(Loc.02-2)
- リニアメント延長部付近の中位段丘堆積物に変位・変形なし。(Loc.02-4,2-5)
- 海域延長部において、後期更新世以降の地層に変位・変形なし。
- 鞍部を判読した箇所において、断層は認められない。(d地点)
- リニアメント沿いにD級主体の変斑れい岩が分布する。

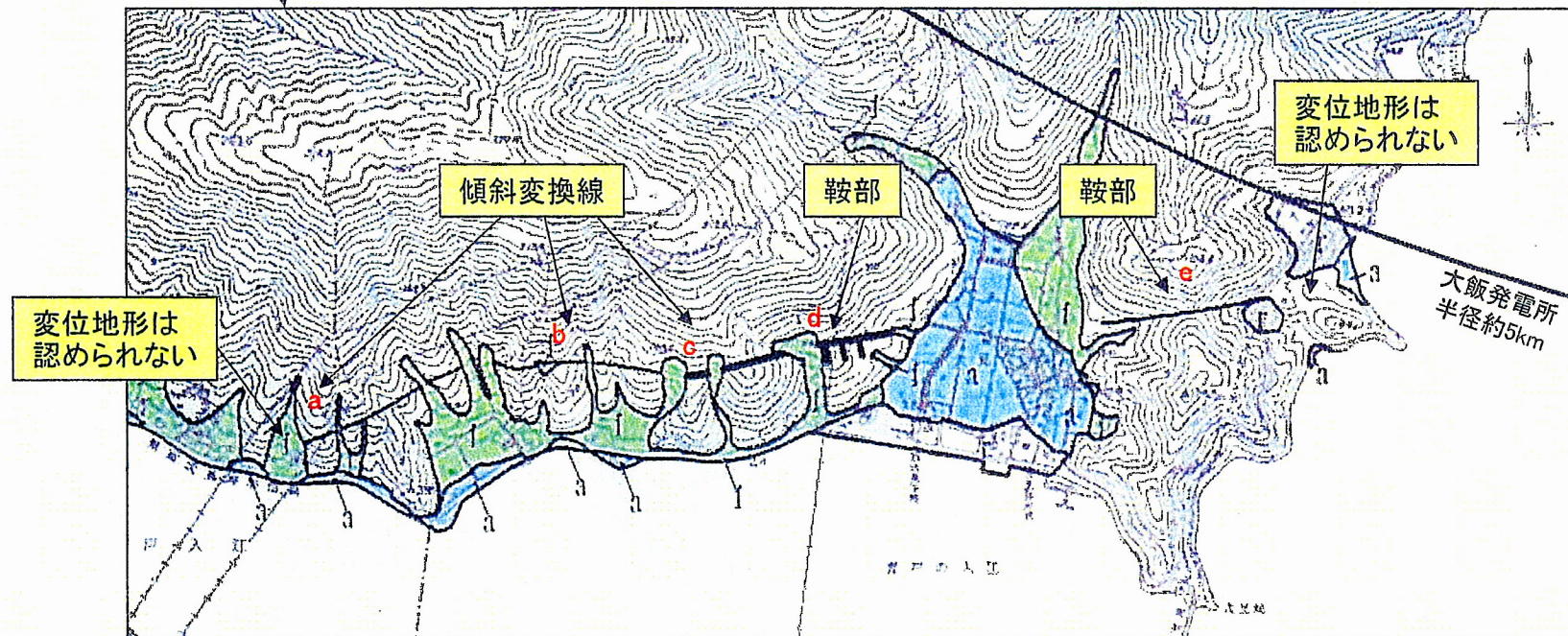
周辺に比べて脆い変斑れい岩が、差別浸食を受けて形成された組織地形と評価。

3-4 O3リニアメント

O3リニアメントの地形調査結果

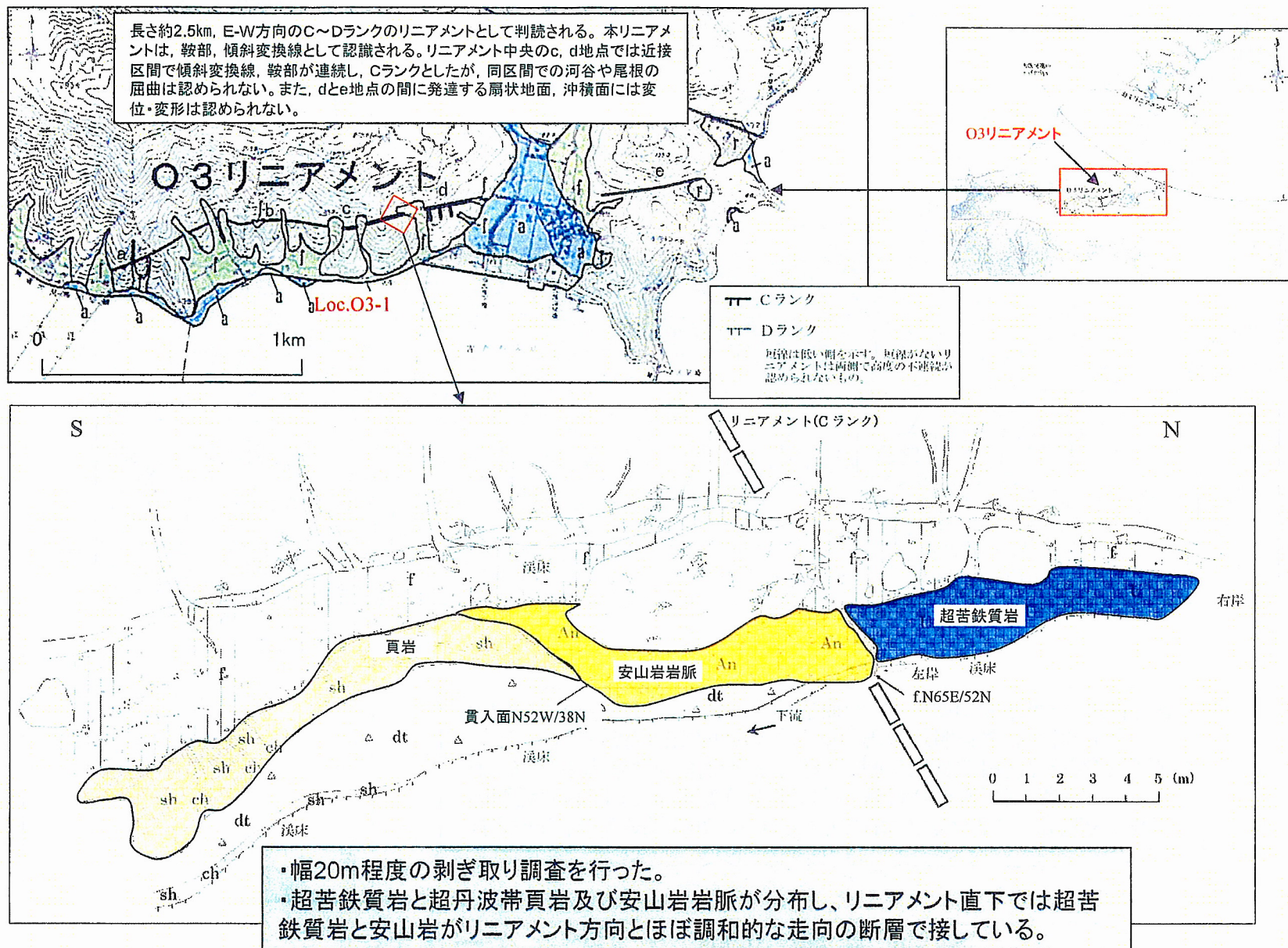


- ・長さ約2.5km、EW方向のC～Dランクのリニアメントとして判読される。
- ・判読要素は、傾斜変換線(a,b,c地点)、鞍部(d,e地点)である。
- ・リニアメント中央のc、d地点では近接区間で傾斜変換線と鞍部が連続し、Cランクとしたが、同区間での河谷や尾根の屈曲は認められない。
- ・d地点とe地点の間に発達する扇状地面、沖積面には変位・変形は認められない。

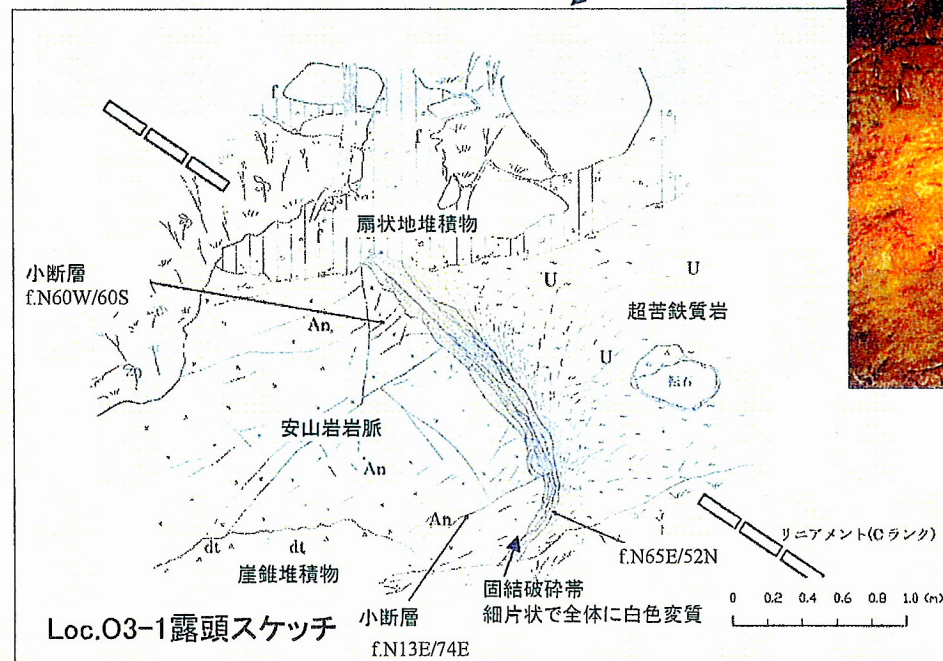
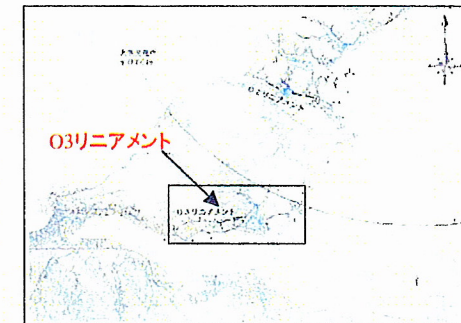
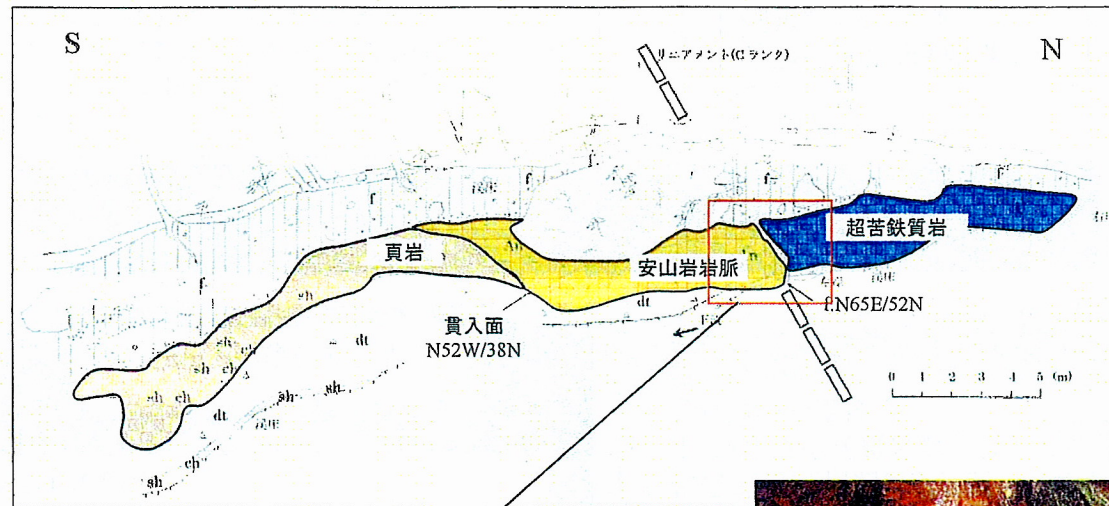


〓 Cランク
 〓 Dランク
 傾斜は低い間を示す。傾斜がないリニアメントは両側で高度の不連続が認められないもの。

O3リニアメントの地表地質調査結果(Loc.O3-1)



O3リニアメントの地表地質調査結果 (Loc.O3-1)



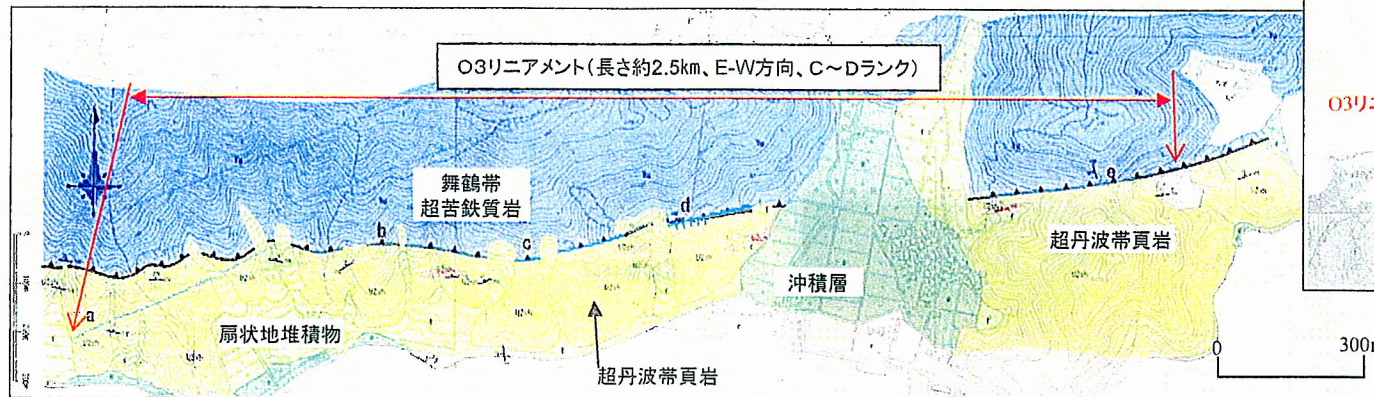
Loc.O3-1露頭写真



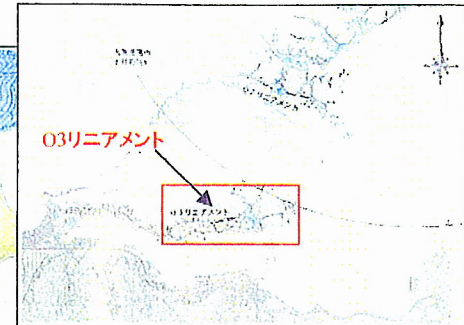
破碎帯拡大写真

・断層は、全体にやや白く変質し、固結している破碎帯を伴い、リニアメント方向と斜交あるいは直交する固結した小断層に切られている。

O3リニアメントの評価



※地質図にO3リニアメントを転記



地質帯境界
Cランク
Dランク

風向きは低い側を示す。境界がないリニアメントは内側で高度の不連続が認められないもの。

活動性の評価

・断層破碎帯とそれを切る小断層は共に固結している。

後期更新世以降の活動なし

文献における評価

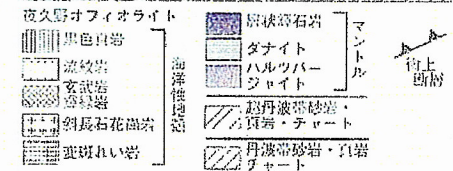
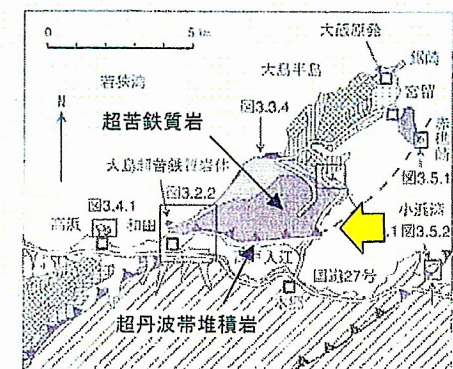
超丹波帯堆積岩と夜久野オフィオライト(超苦鉄質岩)との間の衝上断層

超丹波帯堆積岩と舞鶴帯夜久野オフィオライトの超苦鉄質岩を分ける付加体形成に関わる衝上断層を反映した組織地形と評価。

【コメント】

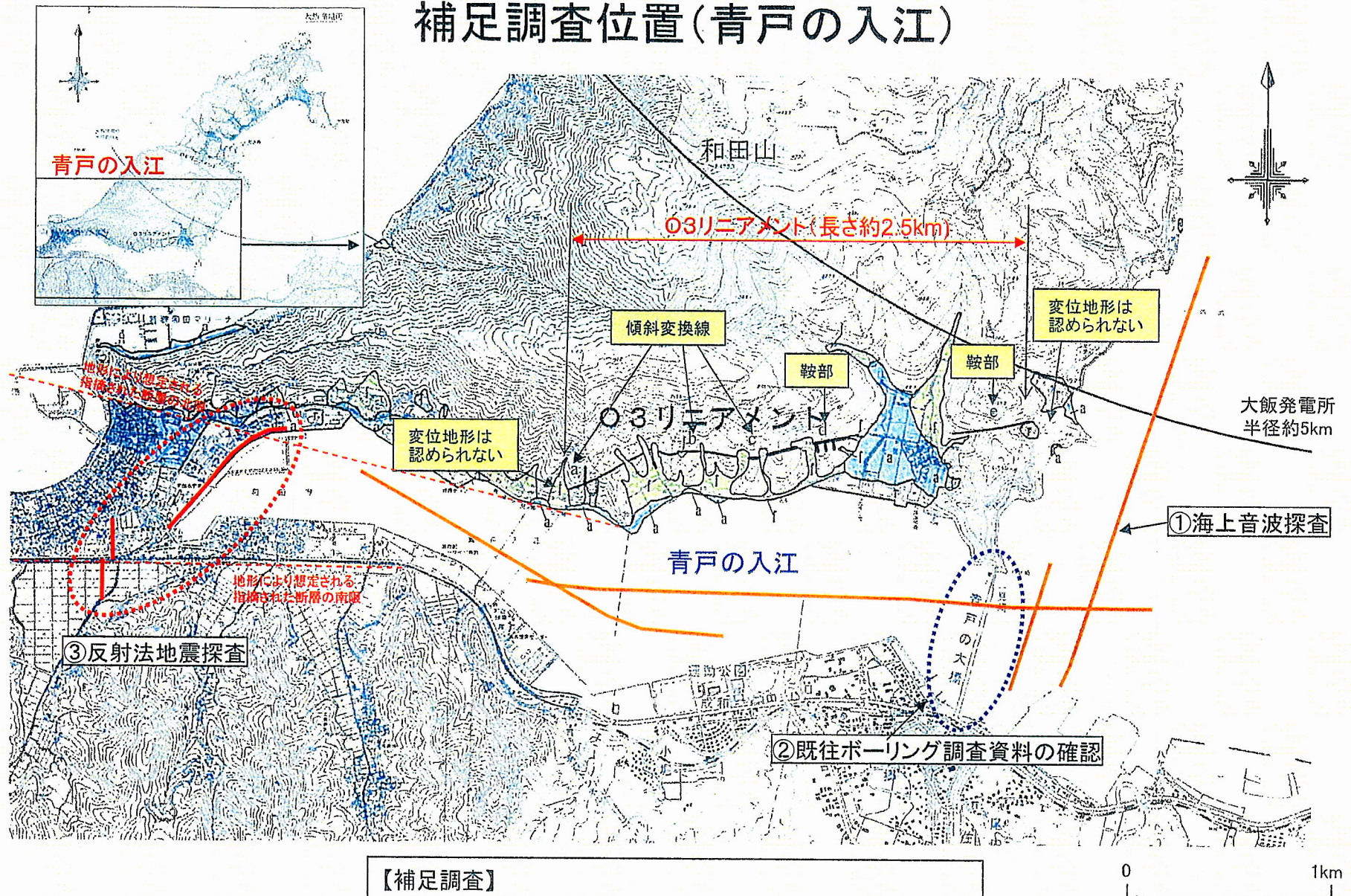
O3リニアメントに沿って分布する超苦鉄質岩と超丹波帯の境界の地質断層よりも、青戸の入江の方が大きな構造の可能性がある。青戸の大橋のボーリングデータ等があるならば、それを確認しておく方が良い。

青戸の入江付近において補足調査を実施



日本地方地質誌「中部地方」(2006)に一部加筆

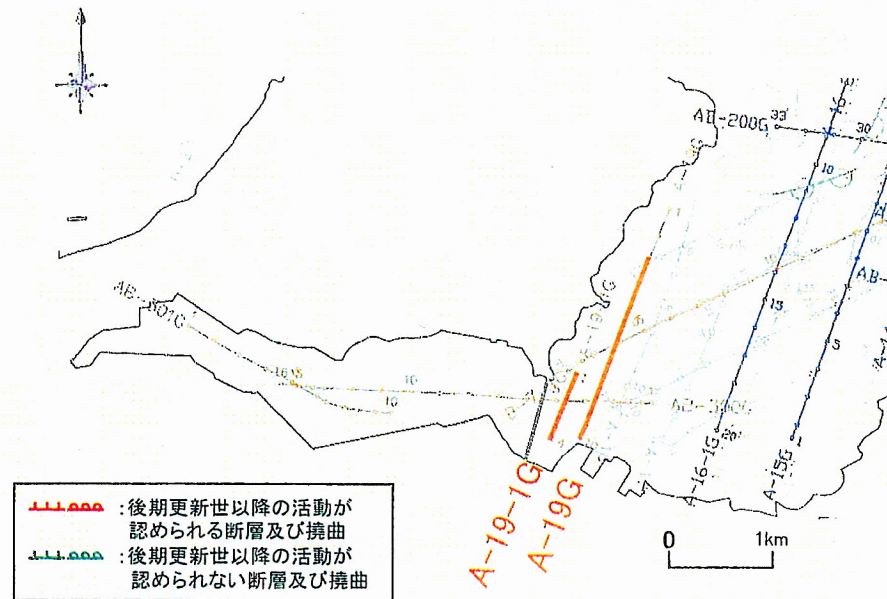
補足調査位置(青戸の入江)



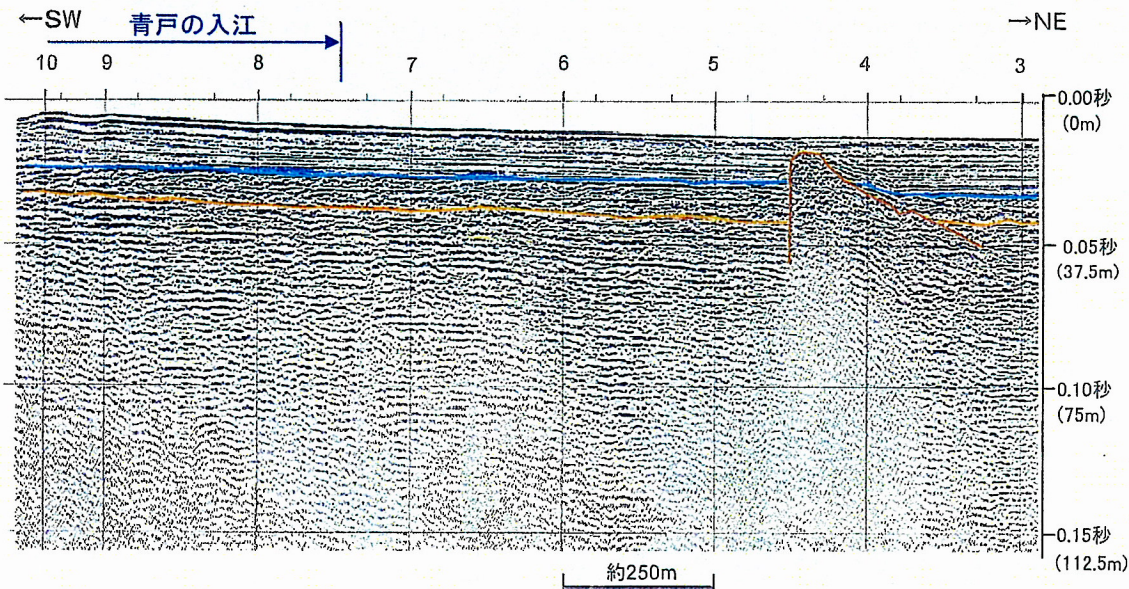
【補足調査】

- ①海上音波探査: ジオパルス・マルチチャンネル方式(4測線)
- ②既往ボーリング調査資料の確認
- ③反射法地震探査: P波(2測線)

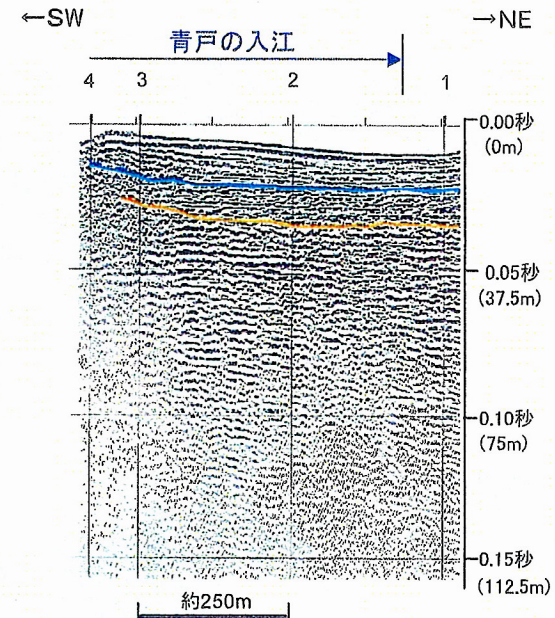
海上音波探査結果(青戸の入江)



【A-19G】

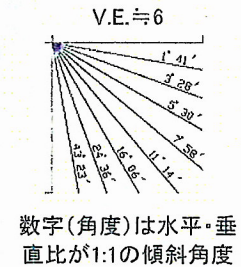


【A-19-1G】



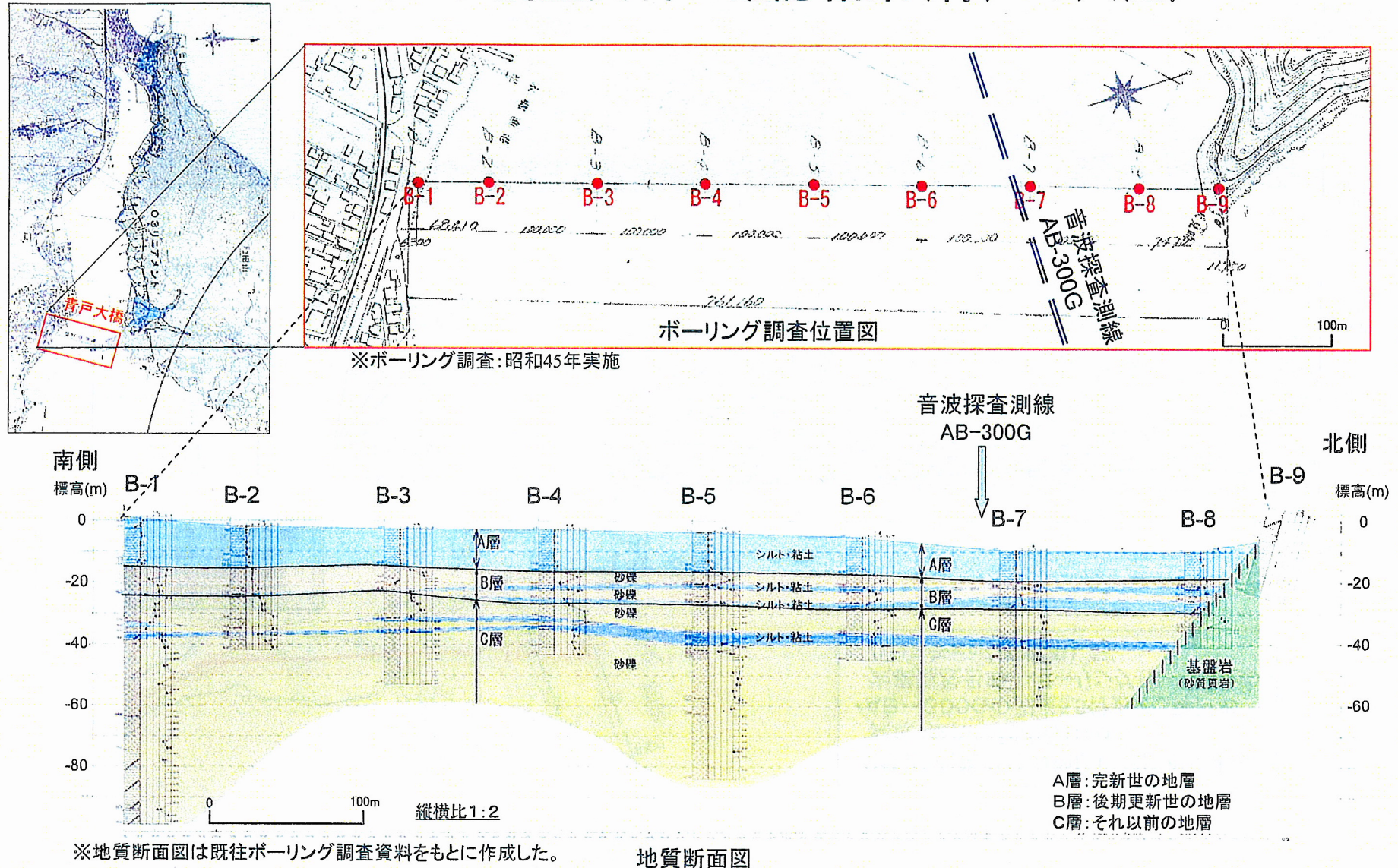
凡 例

- B層上面
- C層上面
- R層上面



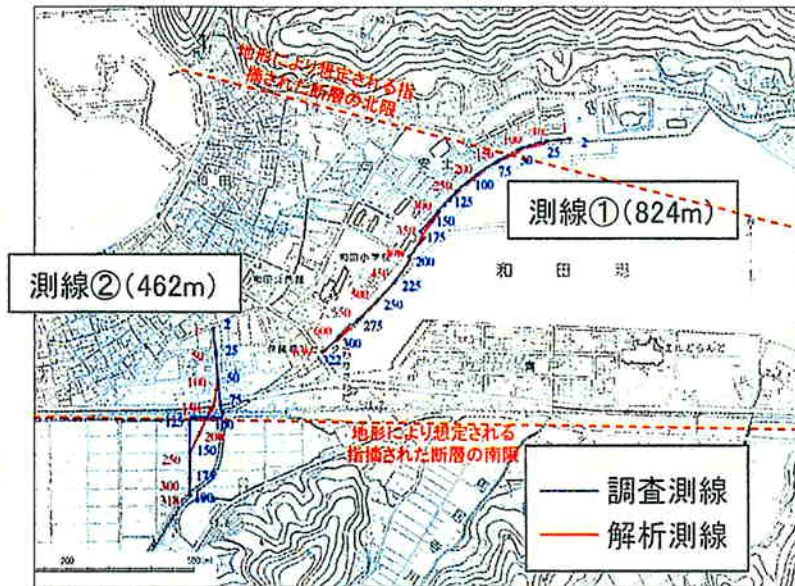
後期更新世以降の地層には断層による変位・変形は認められない。

既往ボーリング調査資料の確認結果(青戸の入江)

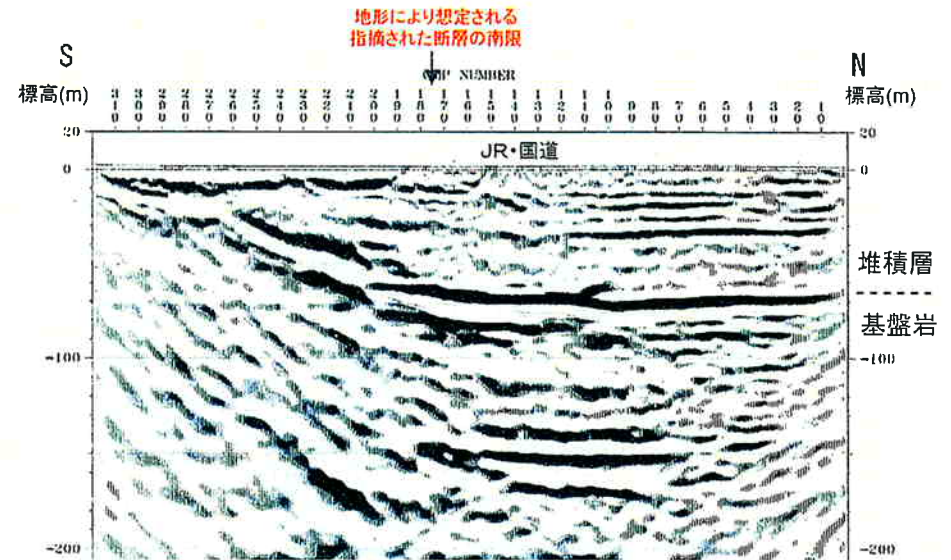


- ・既往ボーリング調査資料(9本)を検討した結果、堆積層の分布に断層による変位・変形は認められない。
- ・B-7孔と音波探査測線AB-300Gとのクロスチェックにより、地質断面図をA層、B層、C層に区分した結果、断層を示唆する変位・変形が認められない。

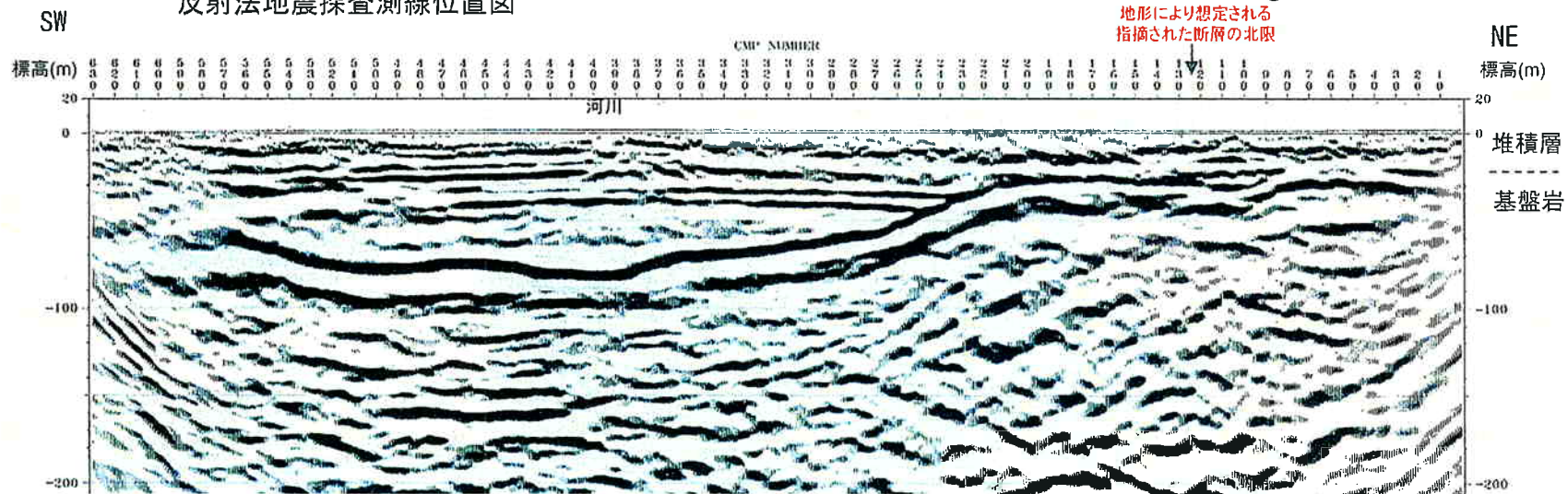
反射法地震探査結果(青戸の入江)



反射法地震探査測線位置図



反射記録断面(測線②)

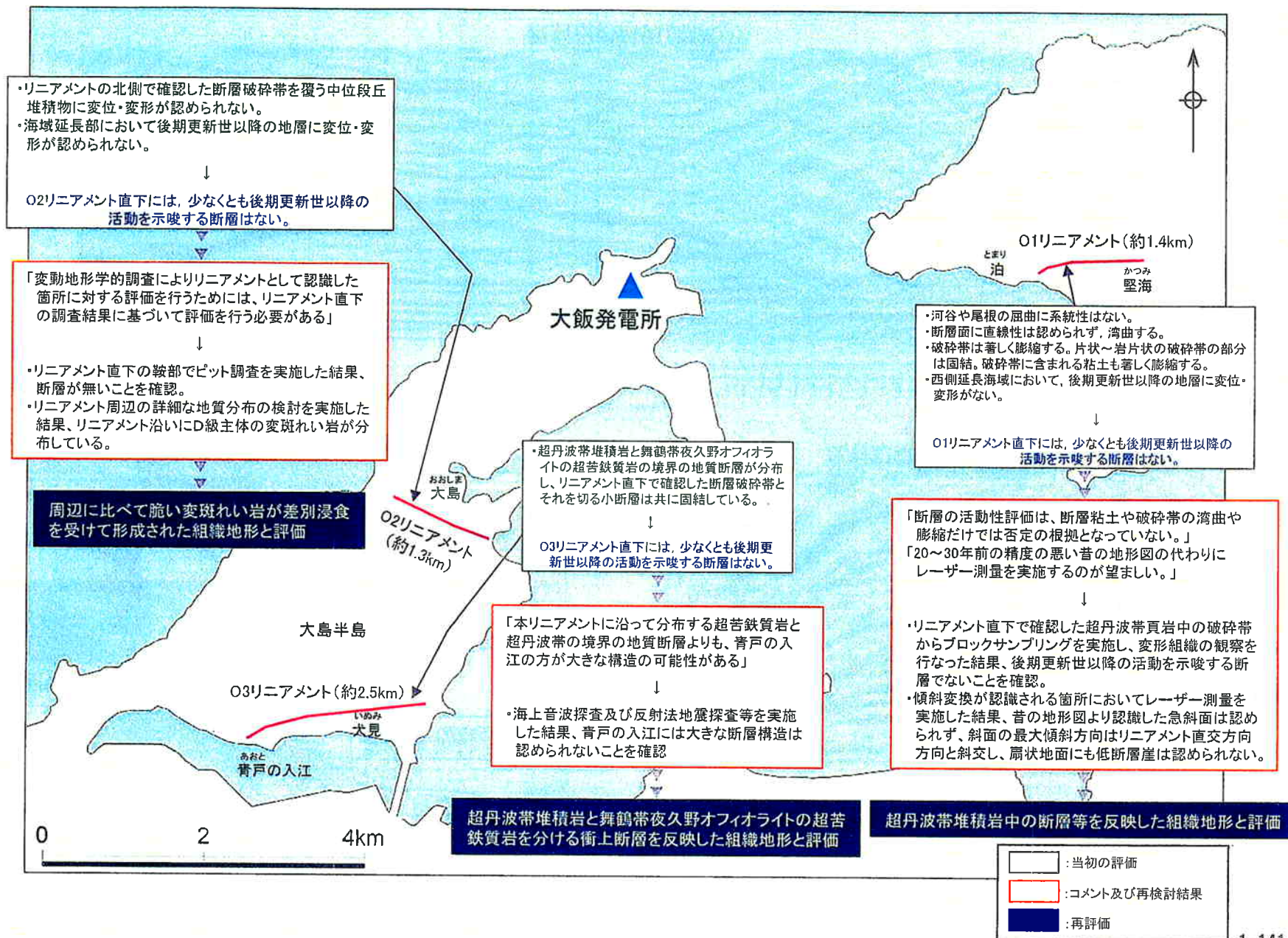


反射記録断面(測線①)

反射法地震探査の結果、基盤岩上面(想定)や堆積層には断層による変位・変形は認められない。

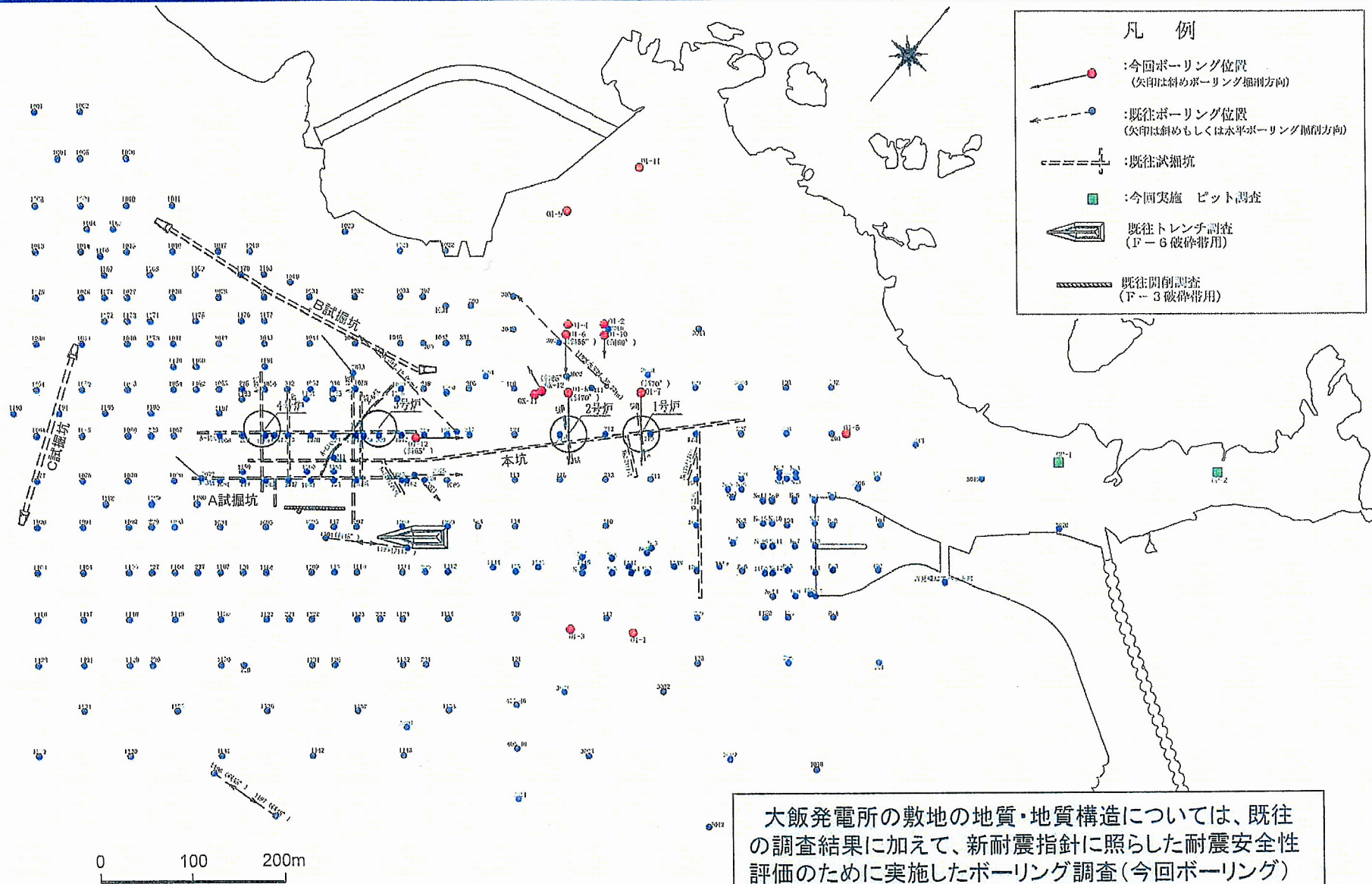
海上音波探査、既往ボーリング調査、反射法地震探査から、青戸の入江には大きな断層構造は認められない。

01, 02, 03リニアメントの評価の概要



4. 敷地の地形、地質・地質構造

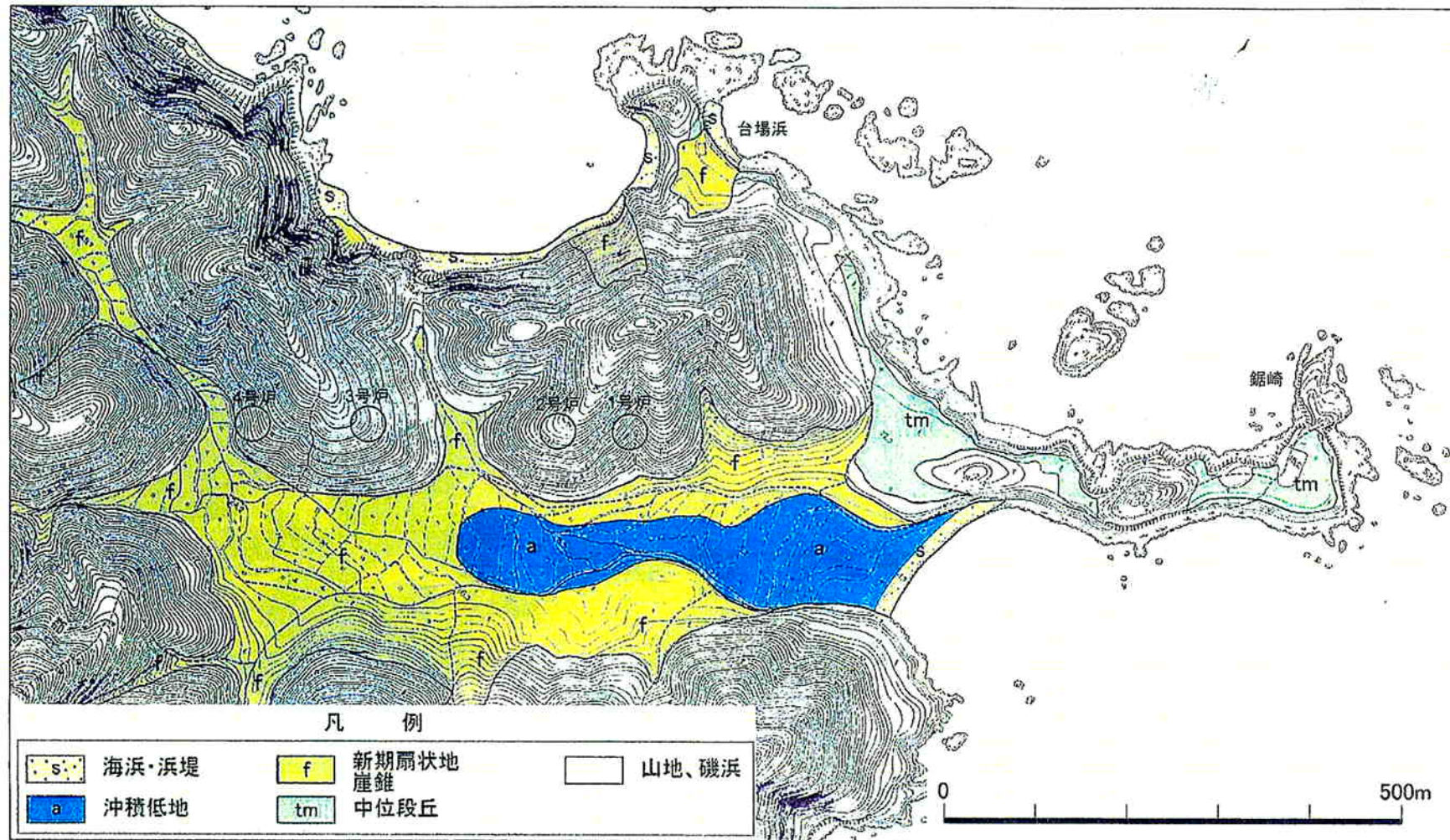
大飯発電所 敷地内地質調査位置図



大飯発電所の敷地の地質・地質構造については、既往の調査結果に加えて、新耐震指針に照らした耐震安全性評価のために実施したボーリング調査(今回ボーリング)等を含めて検討を行った。

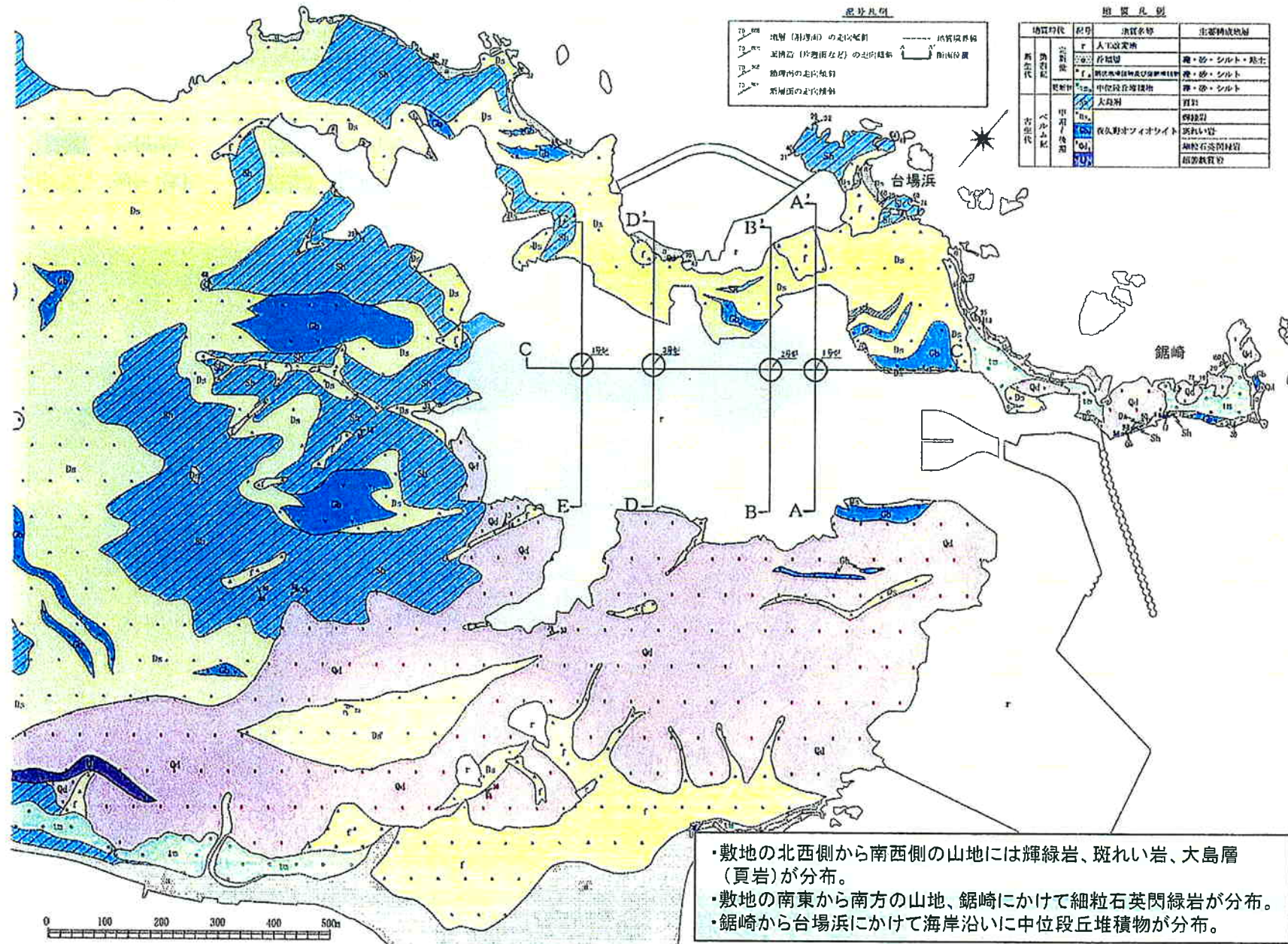
なお、破碎帯については、設置許可申請書に記載されたものを対象とした。

大飯発電所 敷地の地形

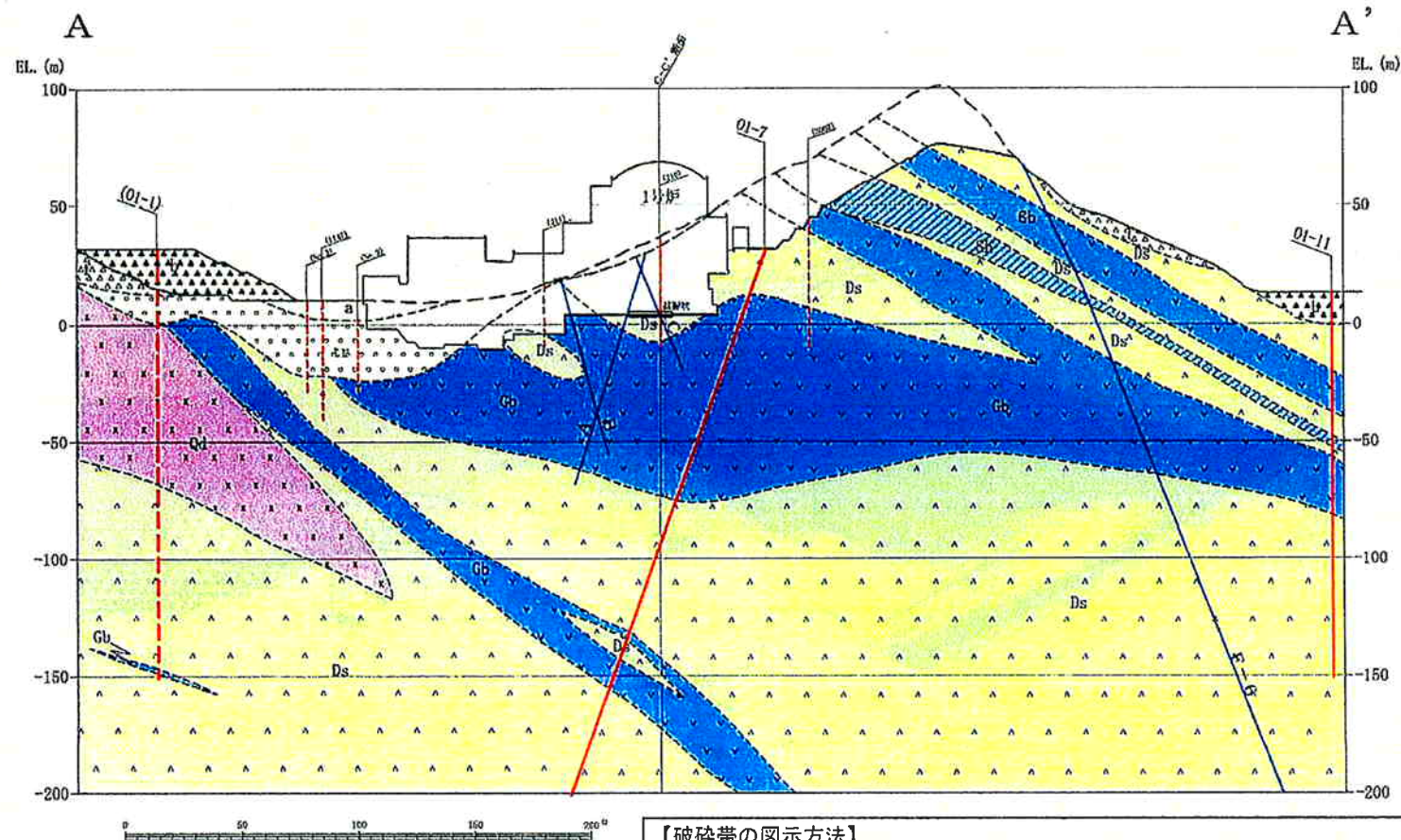


- ・敷地の地形は主として山地からなり、中央部には山に挟まれた谷が南西から北東にかけて延び、海に面している。
- ・敷地中央の谷には沖積低地、新期扇状地や崖錐が分布する。
- ・鋸崎から台場浜にかけての海岸沿いには、狭小な段丘地形が認められる。
- ・リニアメントは判読できない。

大飯発電所 敷地の地質



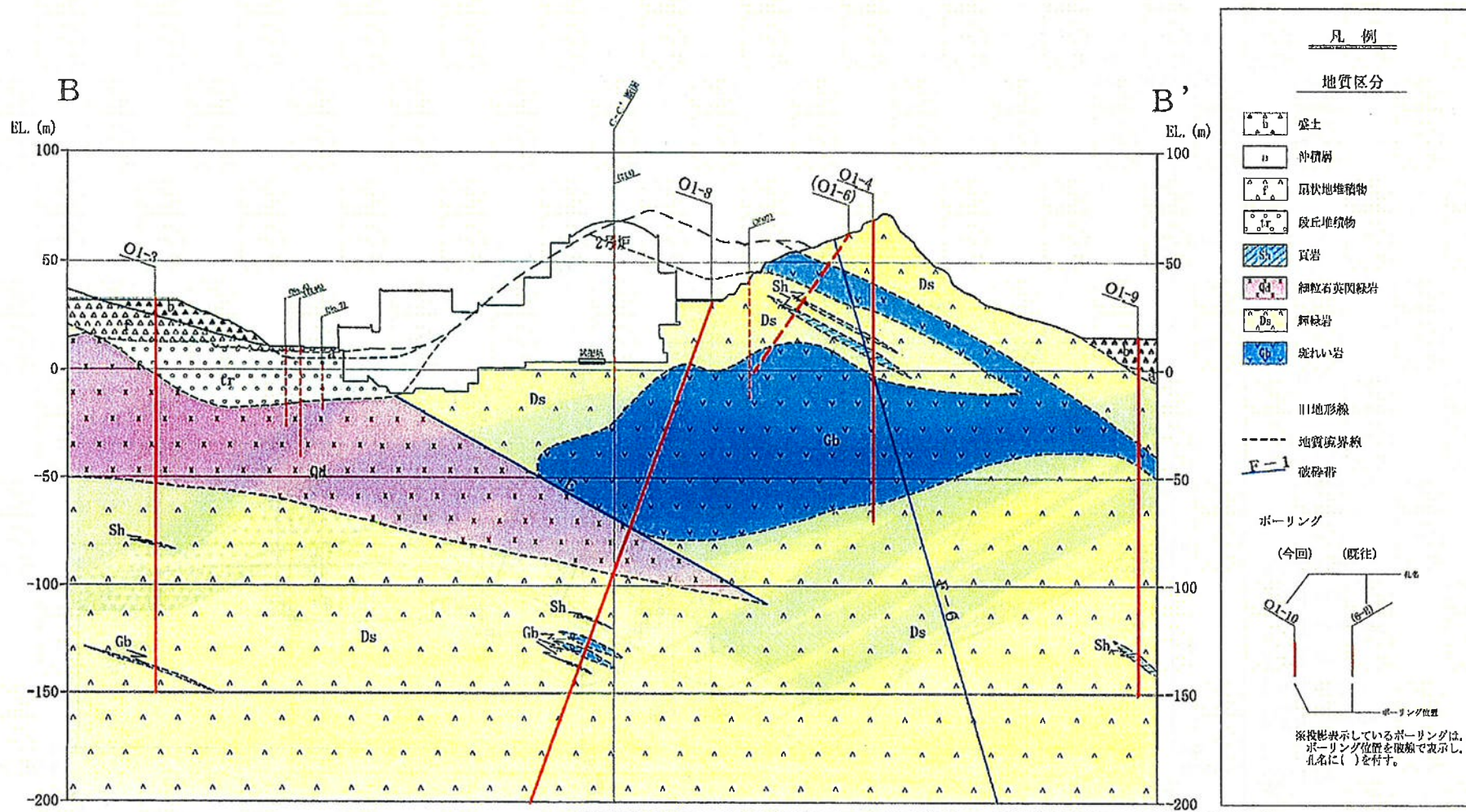
大飯発電所 地質断面図(1号炉:A-A')



【破碎帯の図示方法】

- ・破碎帯の連続性は、既往の試掘坑調査で確認された走向・傾斜に基づいて検討。
- ・調査で端部を確認した場合、確認された範囲について破碎帯を図示。
- ・破碎帯の延長部で実施した調査により、当該破碎帯が認められない場合、破碎帯が認められた箇所と認められない箇所との中点まで破碎帯を図示。
- ・試掘坑調査やボーリング調査等の既往調査により、断層による地質分布のずれは地質図に表現できないほど小さいことを確認しており、今回のボーリング調査でも地質分布が破碎帯に沿ってずれているデータが得られなかったため、地質図には断層による地質分布のずれを表現していない。

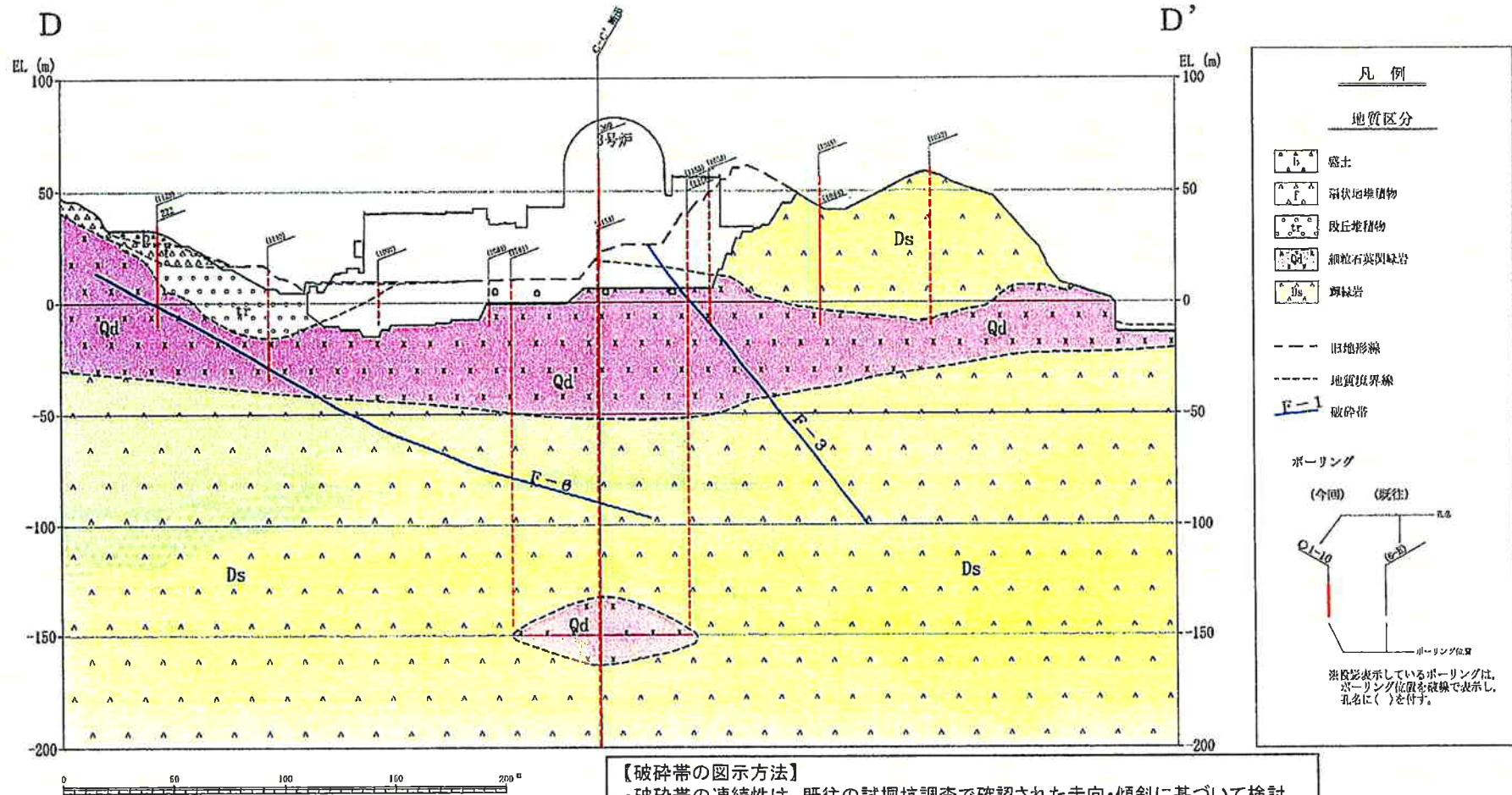
大飯発電所 地質断面図(2号炉:B-B')



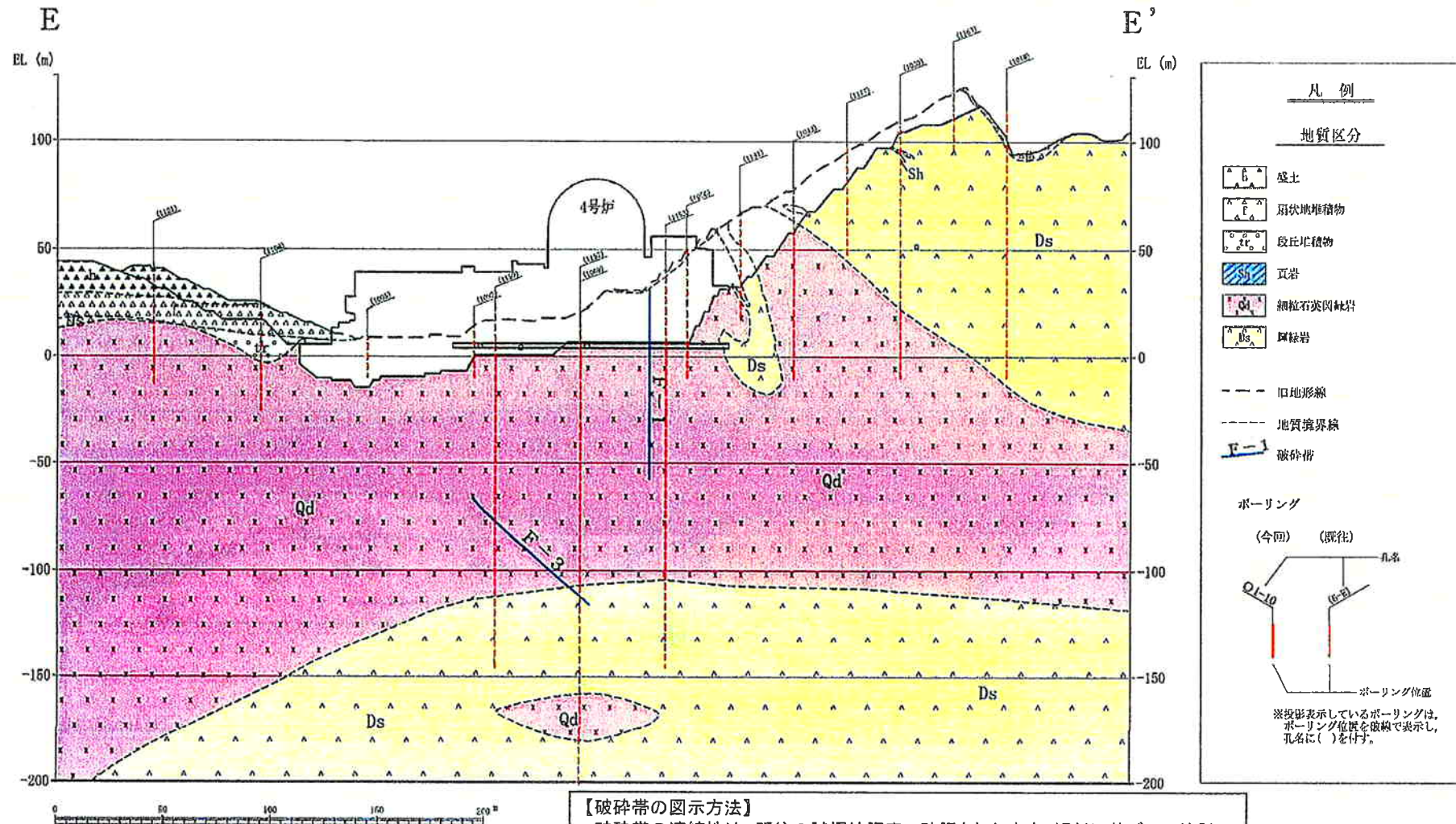
【破碎帯の図示方法】

- ・破砕帯の連続性は、既往の試掘坑調査で確認された走向・傾斜に基づいて検討。
- ・調査で端部を確認した場合、確認された範囲について破砕帯を図示。
- ・破砕帯の延長部で実施した調査により、当該破砕帯が認められない場合、破砕帯が認められた箇所と認められない箇所との中点まで破砕帯を図示。
- ・試掘坑調査やボーリング調査等の既往調査により、断層による地質分布のずれは地質図に表現できないほど小さいことを確認しており、今回のボーリング調査でも地質分布が破砕帯に沿ってずれているデータが得られなかったため、地質図には断層による地質分布のずれを表現していない。

大飯発電所 地質断面図(3号炉:D-D')



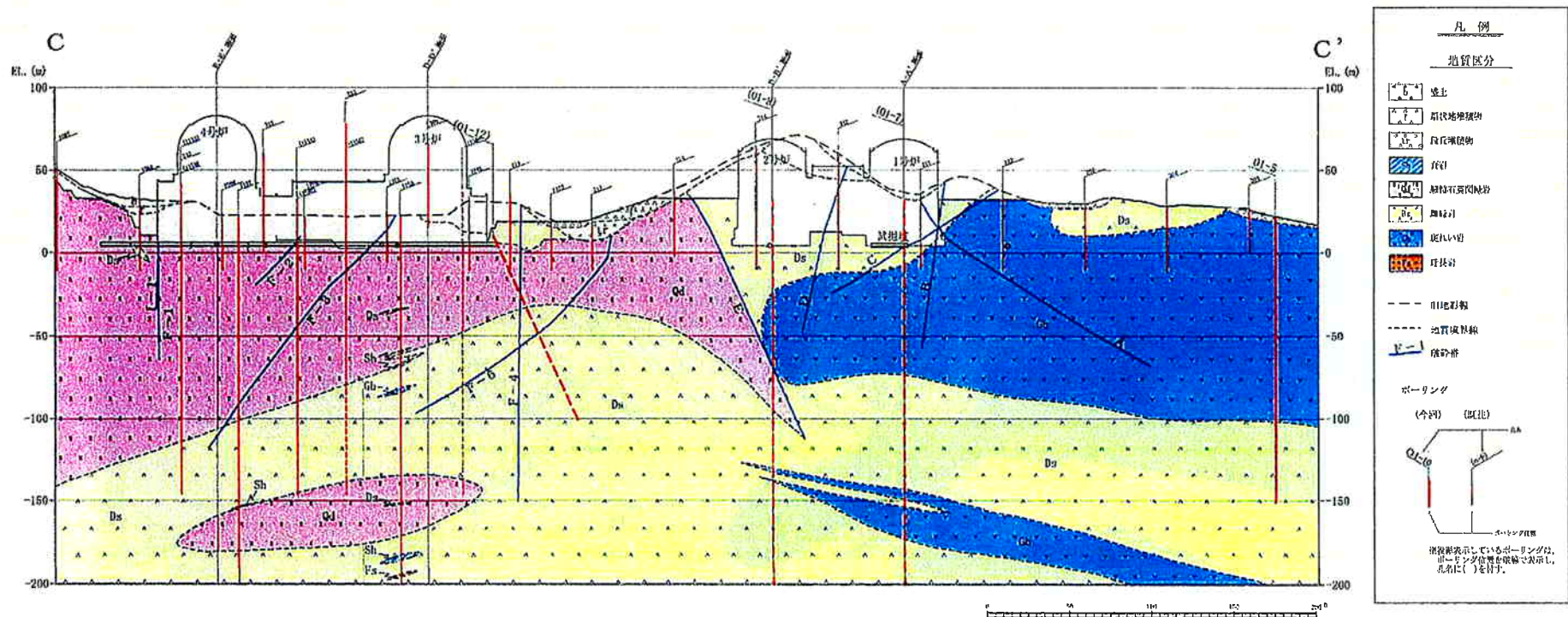
大飯発電所 地質断面図(4号炉:E-E')



【破碎帯の図示方法】

- ・破碎帯の連続性は、既往の試掘坑調査で確認された走向・傾斜に基づいて検討。
- ・調査で端部を確認した場合、確認された範囲について破碎帯を図示。
- ・破碎帯の延長部で実施した調査により、当該破碎帯が認められない場合、破碎帯が認められた箇所と認められない箇所との中点まで破碎帯を図示。
- ・試掘坑調査やボーリング調査等の既往調査により、断層による地質分布のずれは地質図に表現できないほど小さいことを確認しており、今回のボーリング調査でも地質分布が破碎帯に沿ってずれているデータが得られなかったため、地質図には断層による地質分布のずれを表現していない。

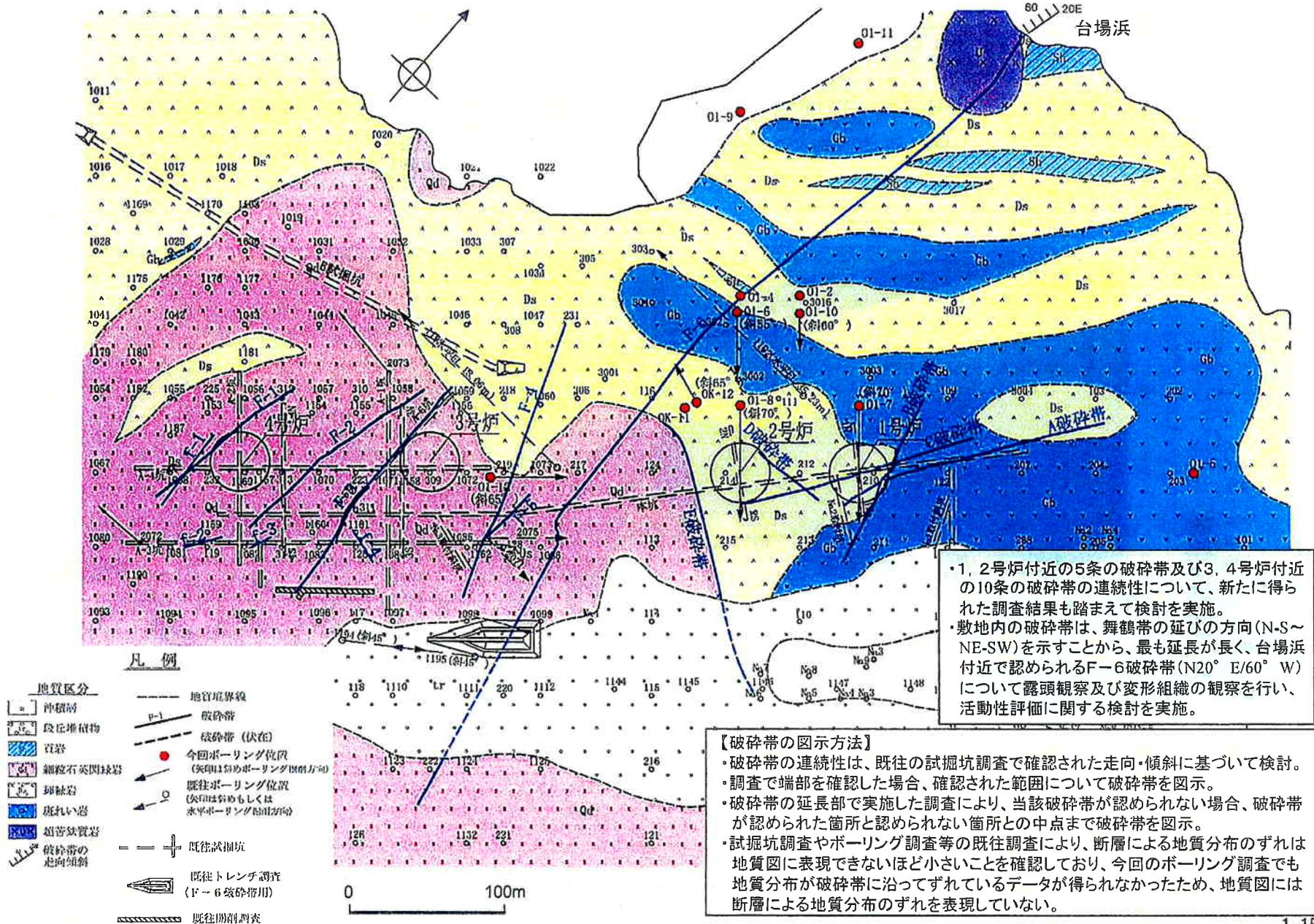
大飯発電所 地質断面図(1~4号炉:C-C')



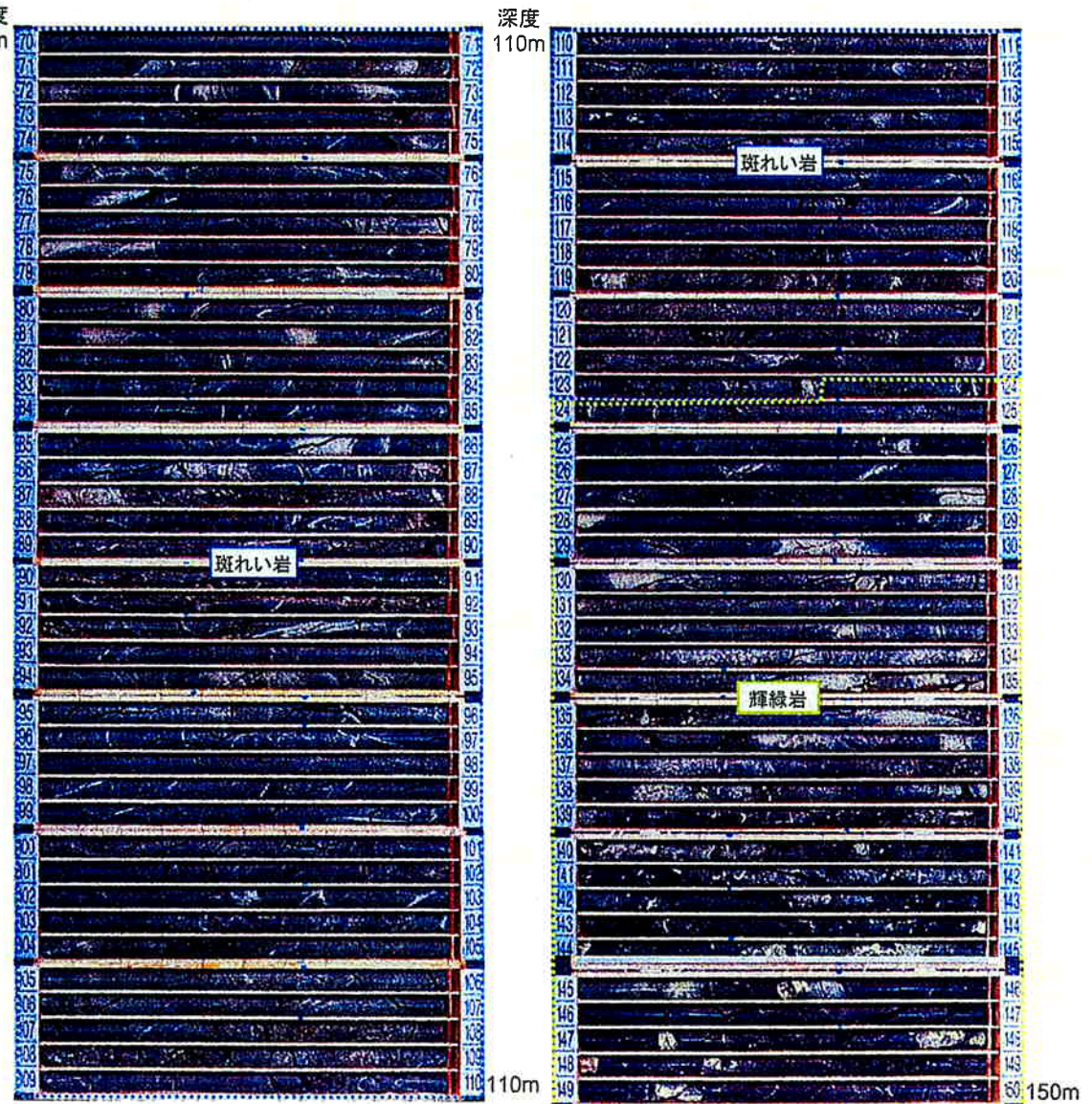
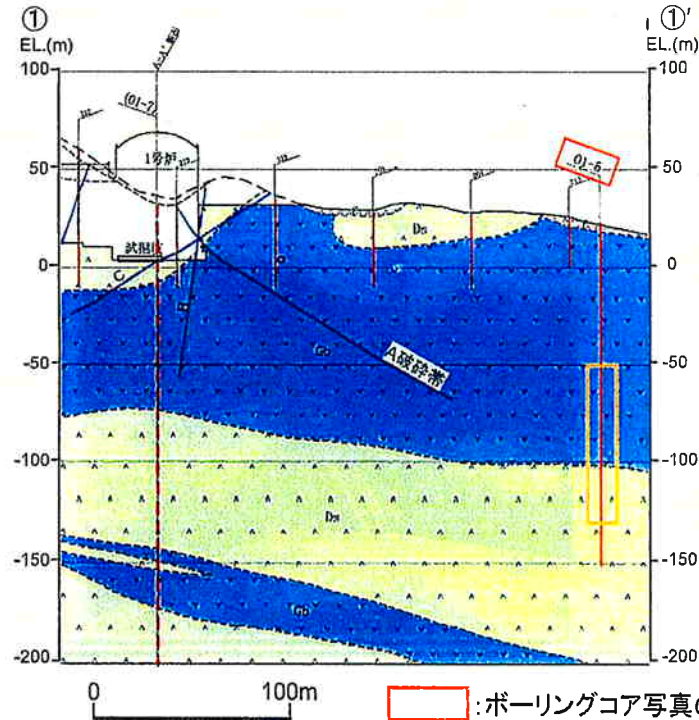
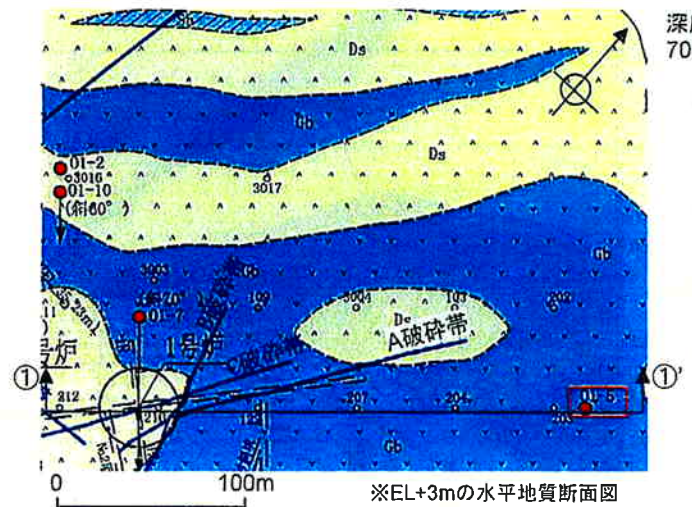
【破碎帯の図示方法】

- ・破砕帯の連続性は、既往の試掘坑調査で確認された走向・傾斜に基づいて検討。
- ・調査で端部を確認した場合、確認された範囲について破砕帯を図示。
- ・破砕帯の延長部で実施した調査により、当該破砕帯が認められない場合、破砕帯が認められた箇所と認められない箇所との中点まで破砕帯を図示。
- ・試掘坑調査やボーリング調査等の既往調査により、断層による地質分布のずれは地質図に表現できないほど小さいことを確認しており、今回のボーリング調査でも地質分布が破砕帯に沿ってずれているデータが得られなかったため、地質図には断層による地質分布のずれを表現していない。

大飯発電所 地質水平断面図(EL+3m)

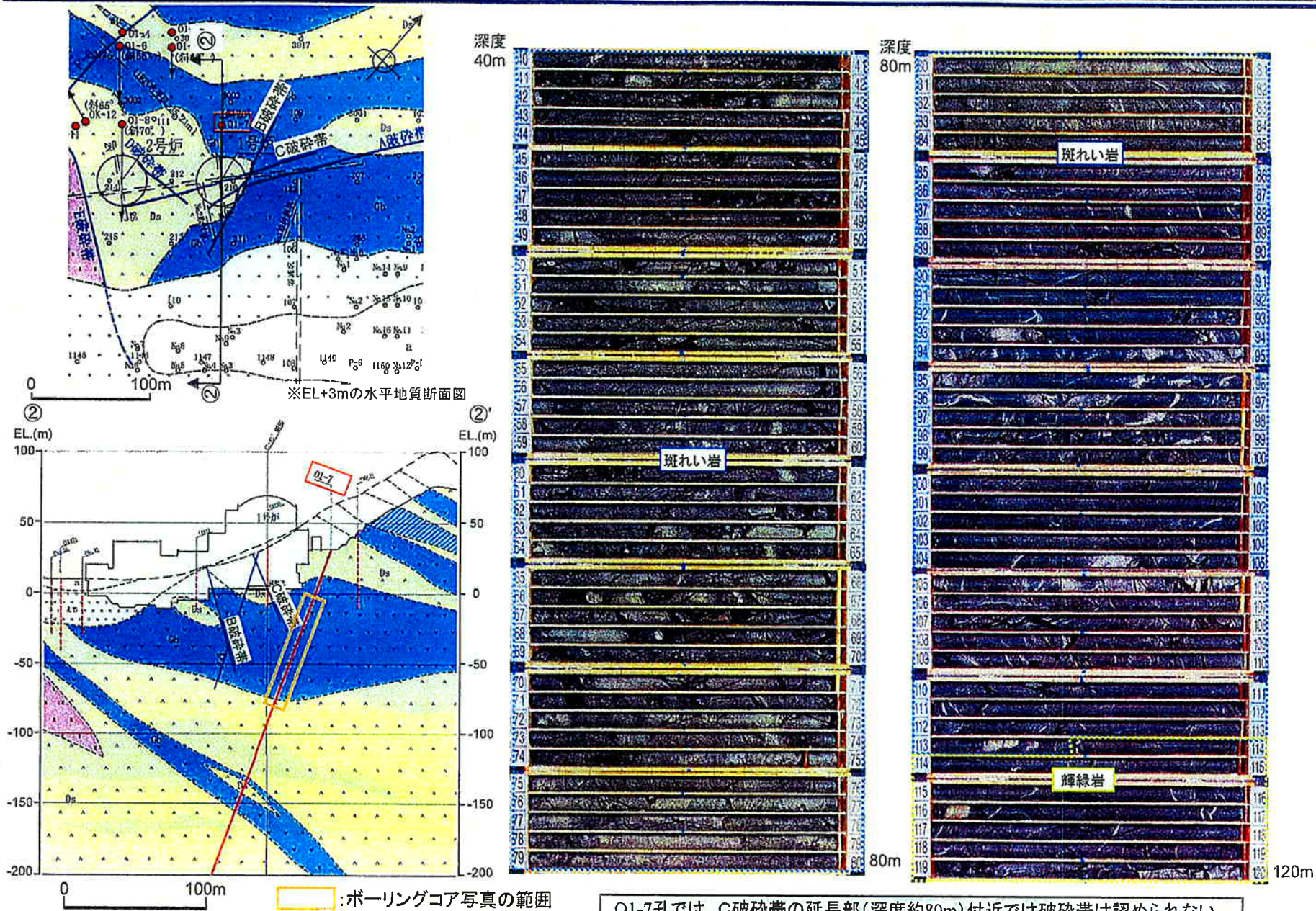


ボーリング調査結果(O1-5孔:A破碎帯延長部付近)

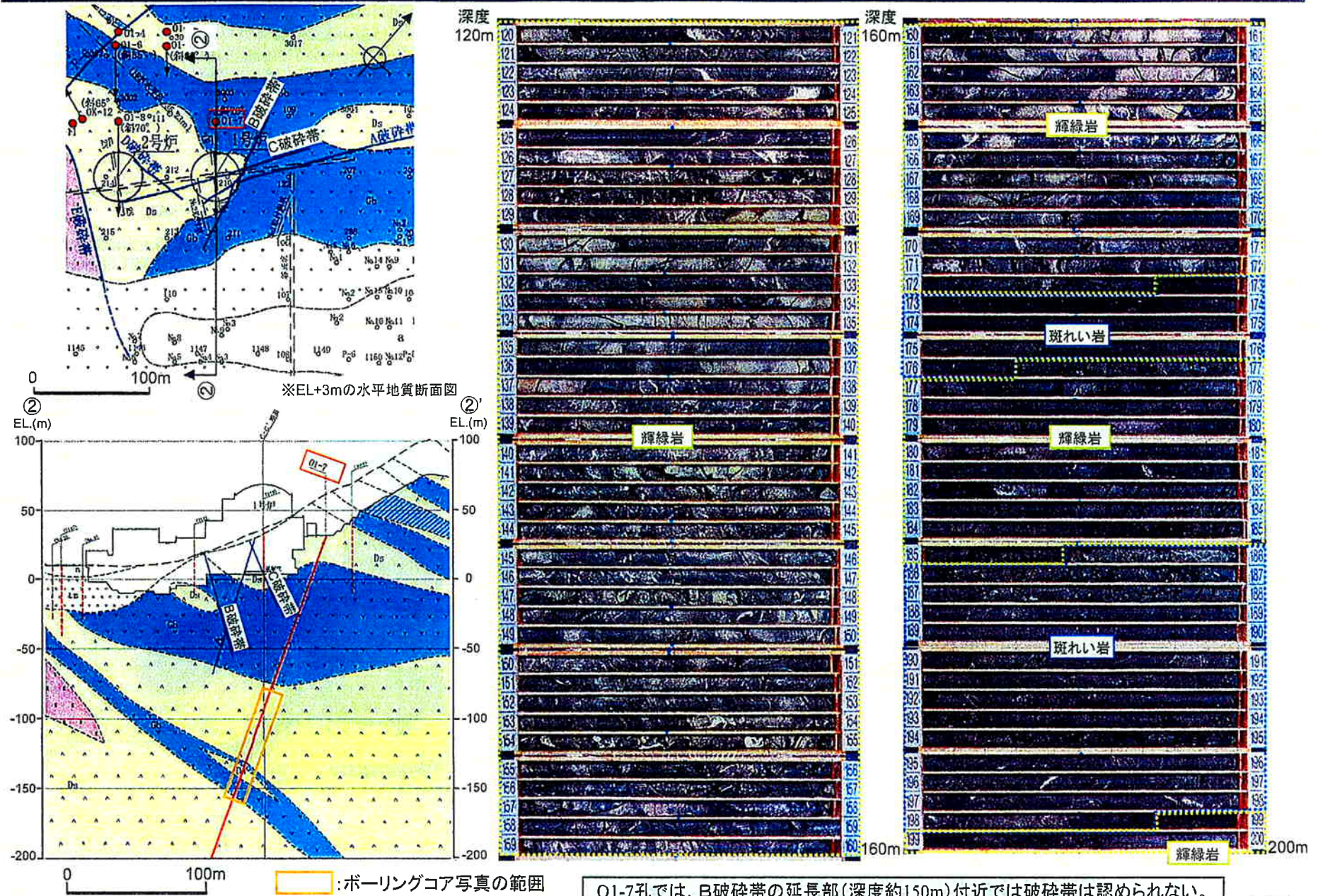


O1-5孔では、A破碎帯の延長部(深度約130m)付近では破碎帯は認められない。

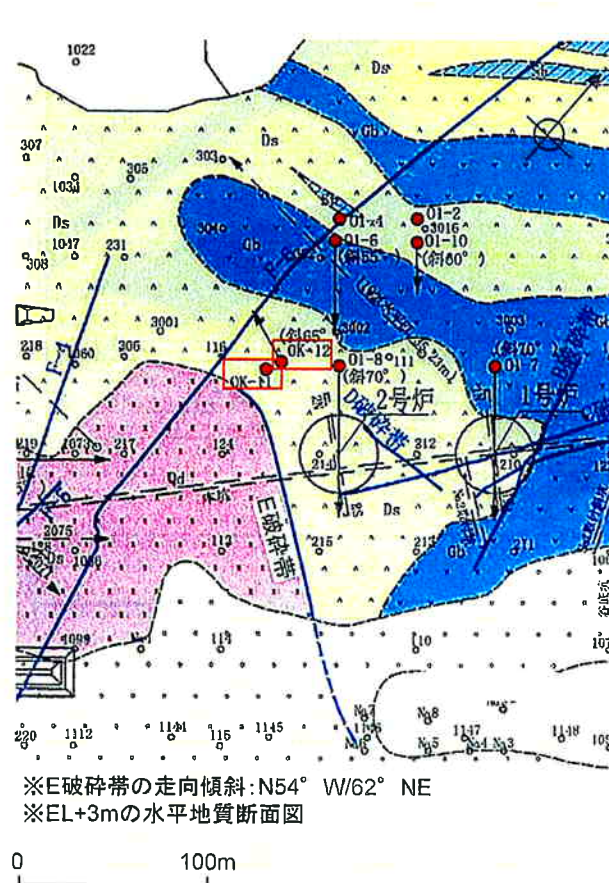
ボーリング調査結果(O1-7孔:B破碎帯・C破碎帯延長部付近)



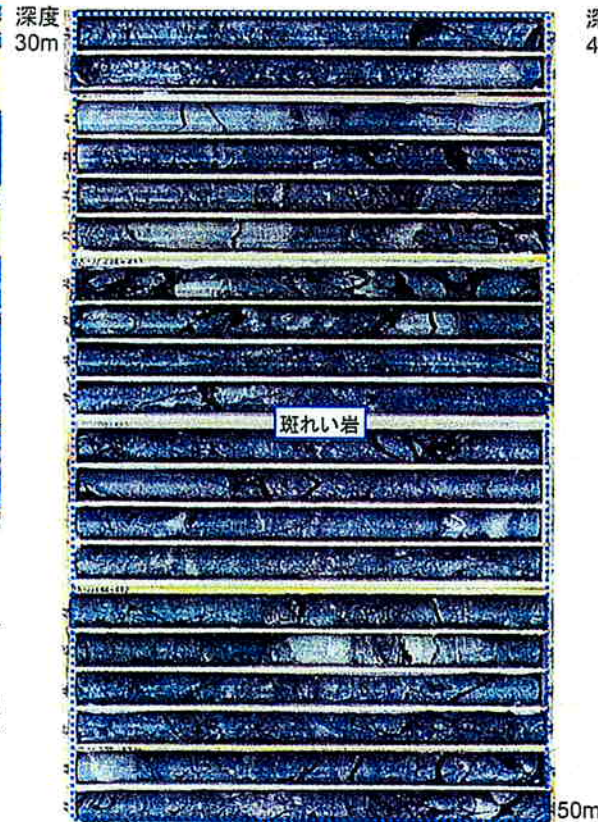
ボーリング調査結果(O1-7孔:B破碎帯・C破碎帯延長部付近)



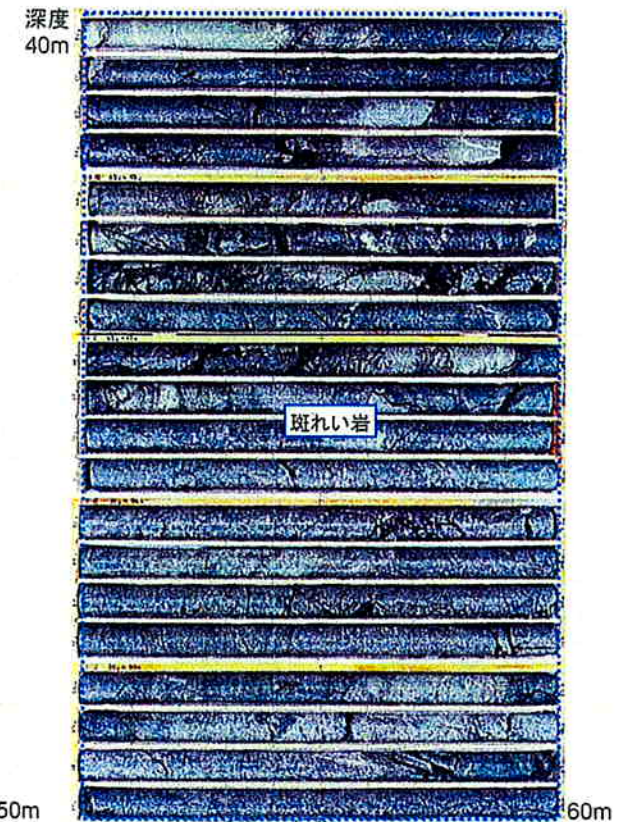
ボーリング調査結果(OK-11・OK-12孔:E破碎帯延長部付近)



●OK-11(30~50m)



●OK-12(40~60m)

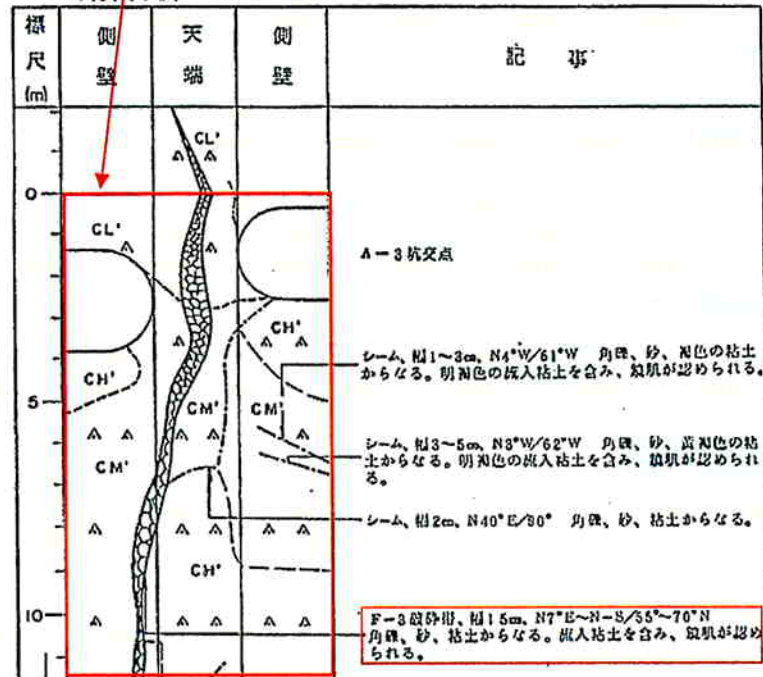
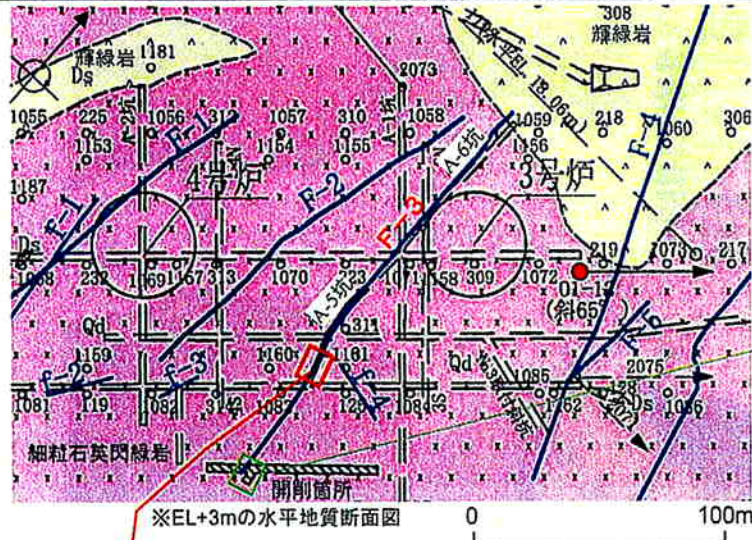


E破碎帯の延長部(OK-11:深度約40m、OK-12:深度約50m)付近では破碎帯が認められない。

【1, 2号炉付近の破碎帯に関する評価】

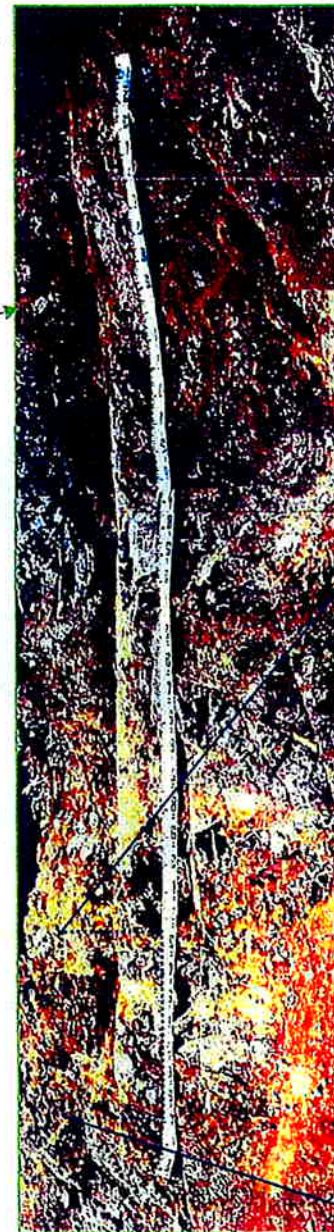
- ・今回実施したボーリング調査の結果、A破碎帯、B破碎帯、C破碎帯、E破碎帯については、各破碎帯の延長部付近では破碎帯が認められない。
- ・以上から、1, 2号炉付近の破碎帯は、いずれも短いものであり、分布も極めて狭い範囲に限られると考えられる。

3, 4号申請当時の評価



A-6坑

試掘坑展開図(A-5坑)



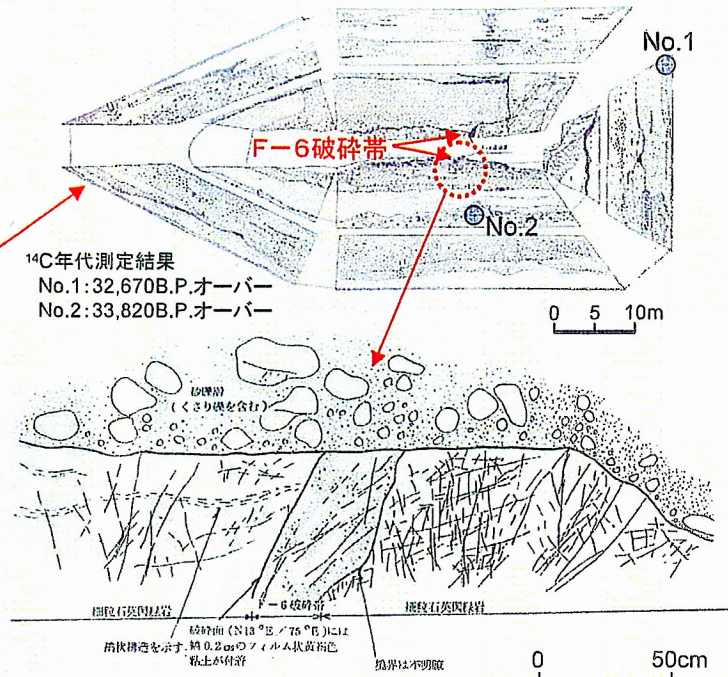
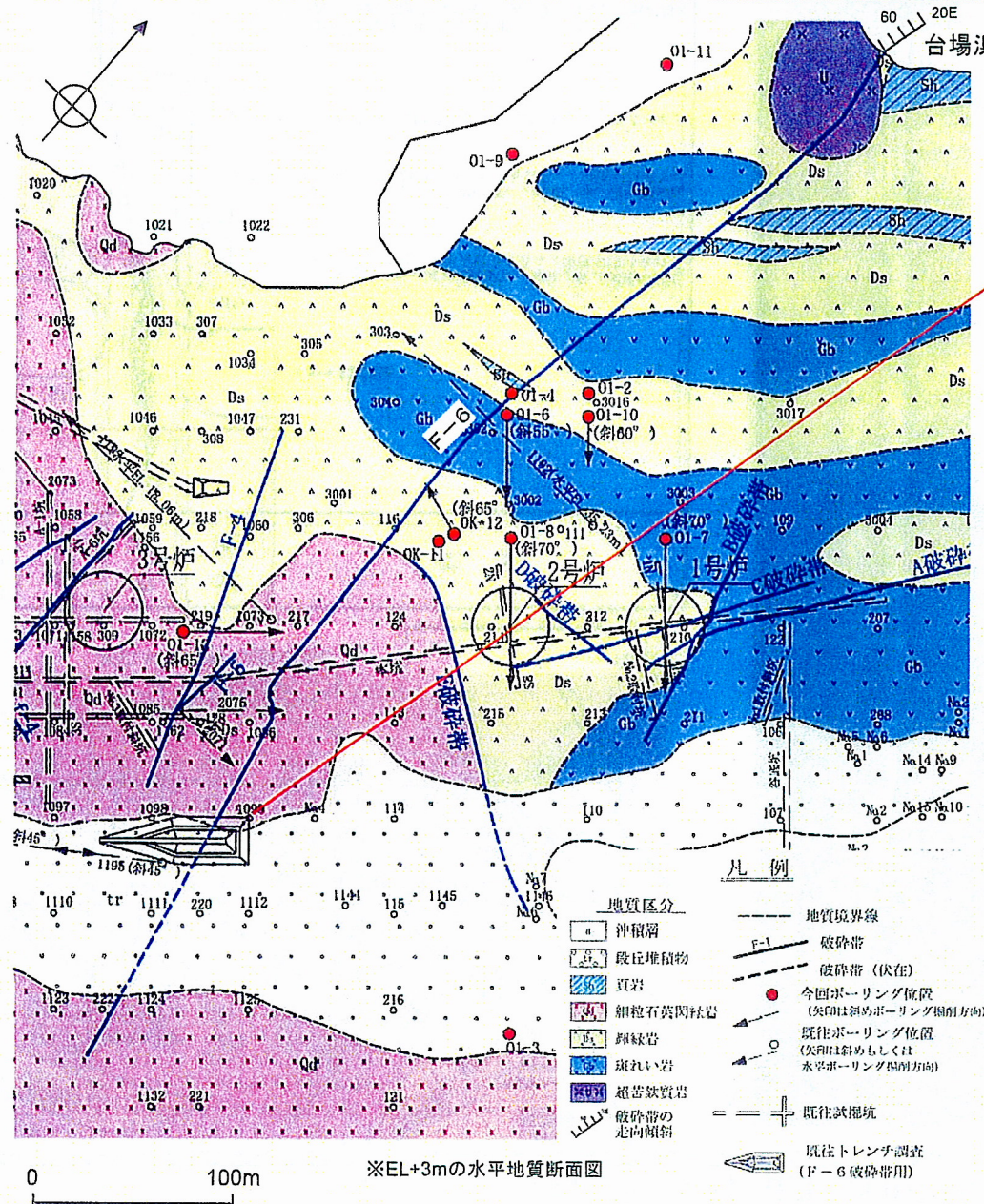
【F-3破碎帯に関する評価】

設置許可申請書では、「F-3破碎帯は3号原子炉格納施設基礎底面をN-S方向に横切る破碎帯であるため、その性状及び連続性をより詳細に調査するために破碎帯の走向方向に追跡坑(A-5坑、A-6坑)を掘削した結果、破碎帯は走向・傾斜N30° W~N7° E/42°~80° Wの範囲内で幅1~50cmの膨縮をくり返しているが、破碎帯追跡坑の南側で実施した開削箇所では幅は徐々に縮小し、最終的には消滅している。」と評価。



F-3破碎帯写真(開削箇所)

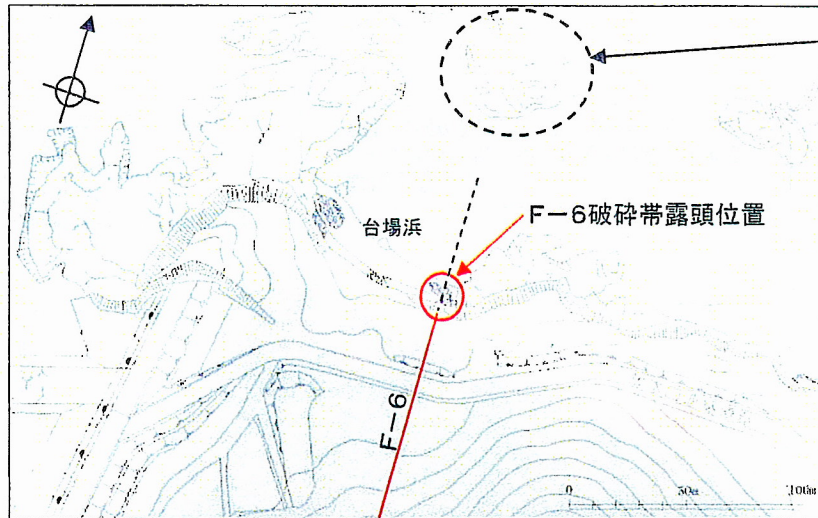
3, 4号申請当時の評価



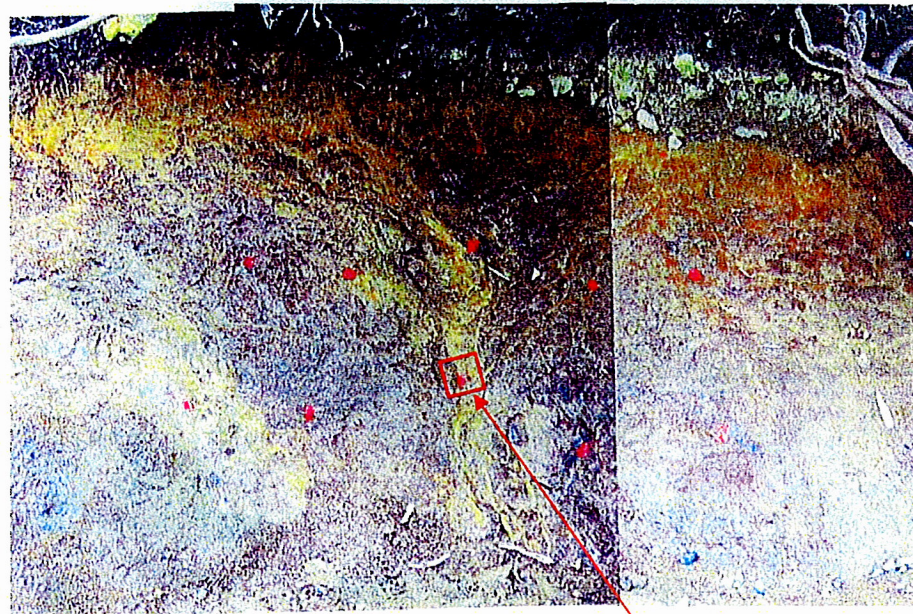
【F-6破碎帯に関する評価】

- ・設置許可申請書では、「原子炉設置位置付近で認められた10条の破碎帯のうち、f-4破碎帯を除く全ての破碎帯の走向はN-S～NE-SW方向であり、舞鶴帯の延びの方向とほぼ一致するため、これらの破碎帯は舞鶴帯の形成と密接に関連して形成された古い破碎帯と考えられる。」と記載している。
- ・また、10本の破碎帯のうちで最も延長の長いF-6破碎帯についてトレンチ調査を実施し、「F-6破碎帯は中段段丘相当の段丘堆積物に覆われ、この段丘堆積物に変位を与えていないことから、少なくとも段丘堆積物堆積後は活動していないものと考えられる。」と評価。
- ・台場浜の輝緑岩中に認められる破碎帯は、「走向・傾斜及び性状から判断して、F-6破碎帯に連なると考えられるが、北側の延長線上にある岩礁には破碎帯が存在しないことを確認している。」と記載。

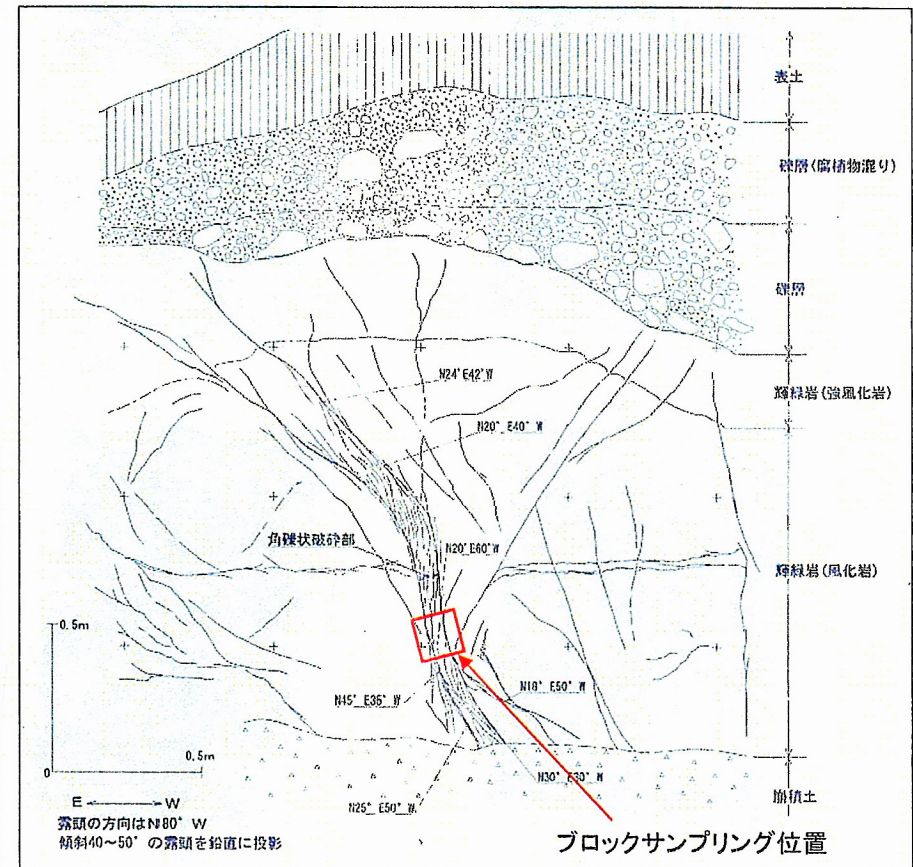
台場浜海岸露頭の検討結果(F-6破碎帯)



F-6破碎帯は台場浜北方の岩礁では認められない。



ブロックサンプリング位置



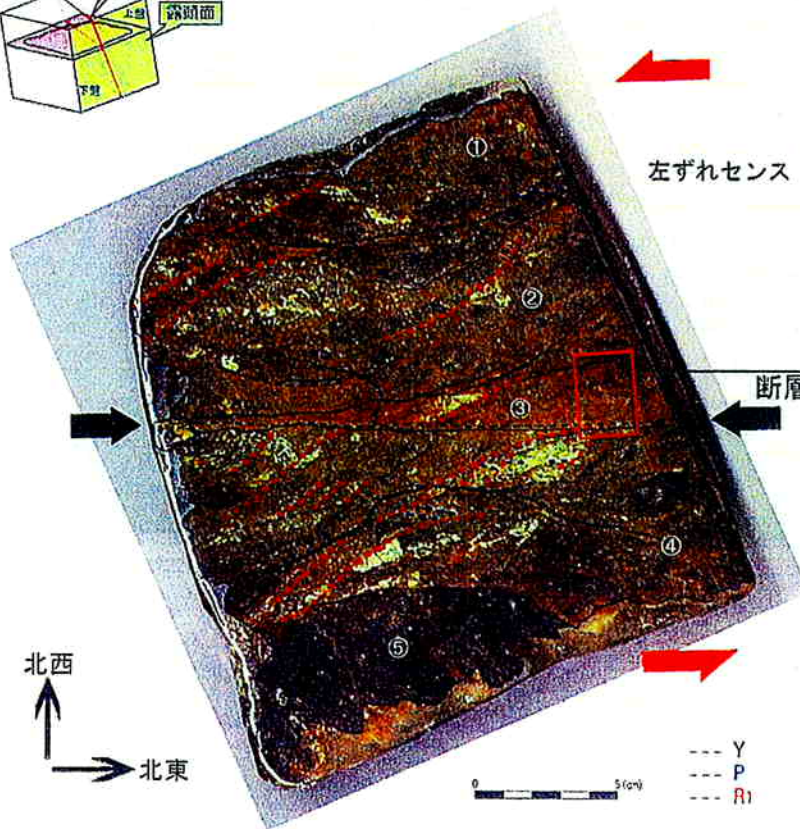
ブロックサンプリング位置

F-6破碎帯の断層面は湾曲し、破碎部は固結ないし半固結し、明瞭な粘土状破碎部を伴わない。

変形組織の観察(F-6破碎帯)



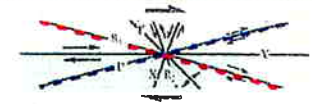
研磨片(横ずれ成分観察用)



- ①角礫状破碎部(原岩組織を残す)
- ②角礫状破碎部
- ③砂状～シルト状破碎部
- ④角礫状破碎部
- ⑤角礫状破碎部(原岩組織を残す)

研磨片観察結果

- ・角礫状及び砂状～シルト状破碎部からなる。
- ・P面とR1面の関係から左ずれセンスを示す。

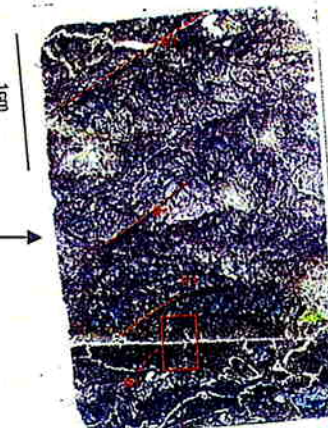


せん断センスを示す複合面構造
(狩野・村田、1998)

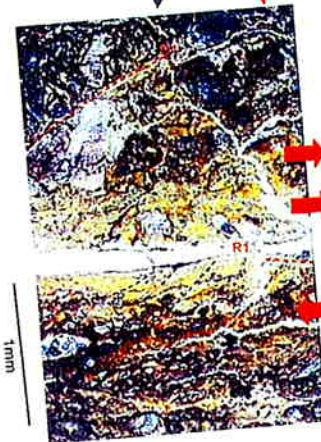
薄片(横ずれ成分観察用)

単ニコル

直交ニコル



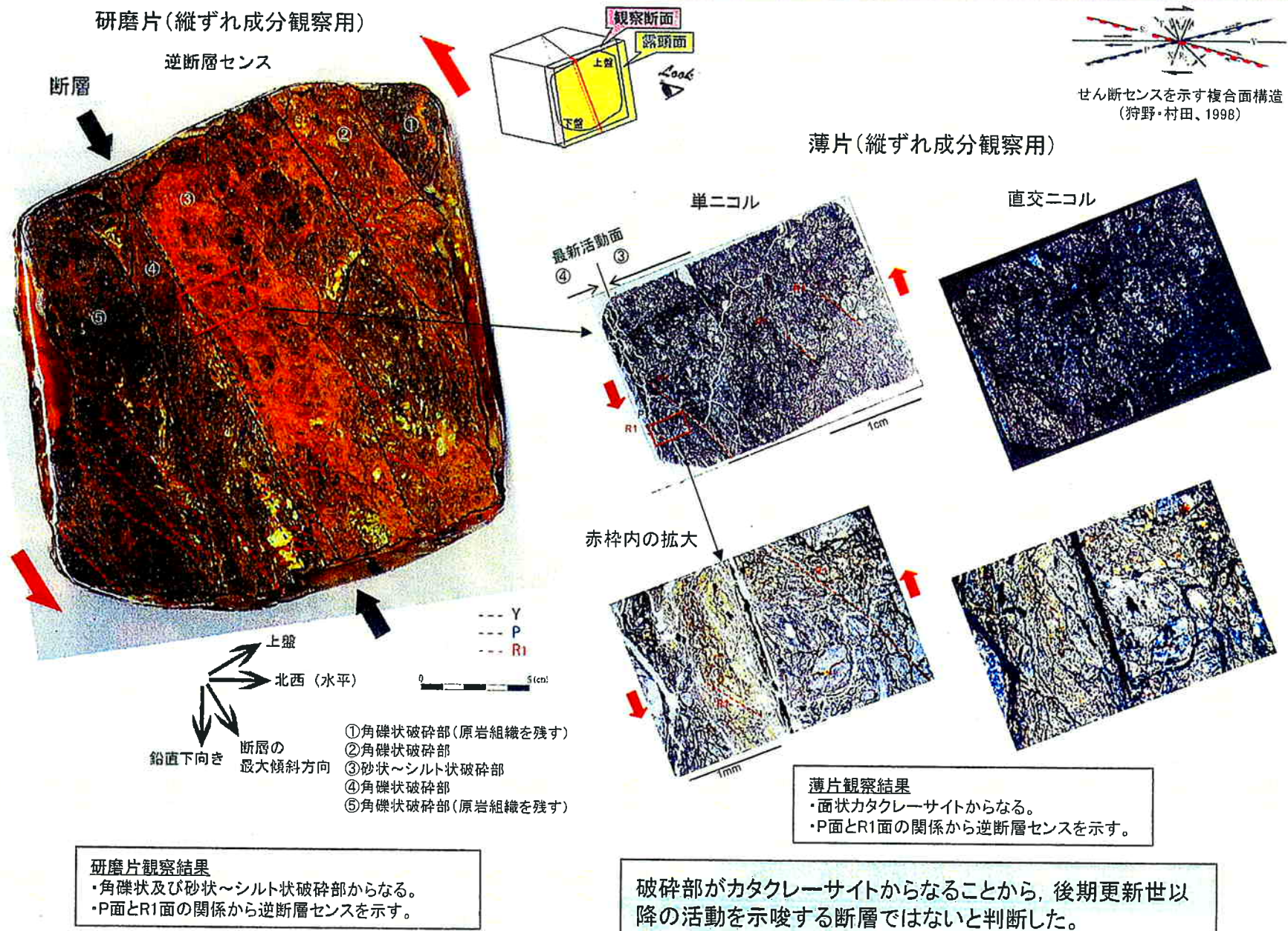
赤枠内の拡大



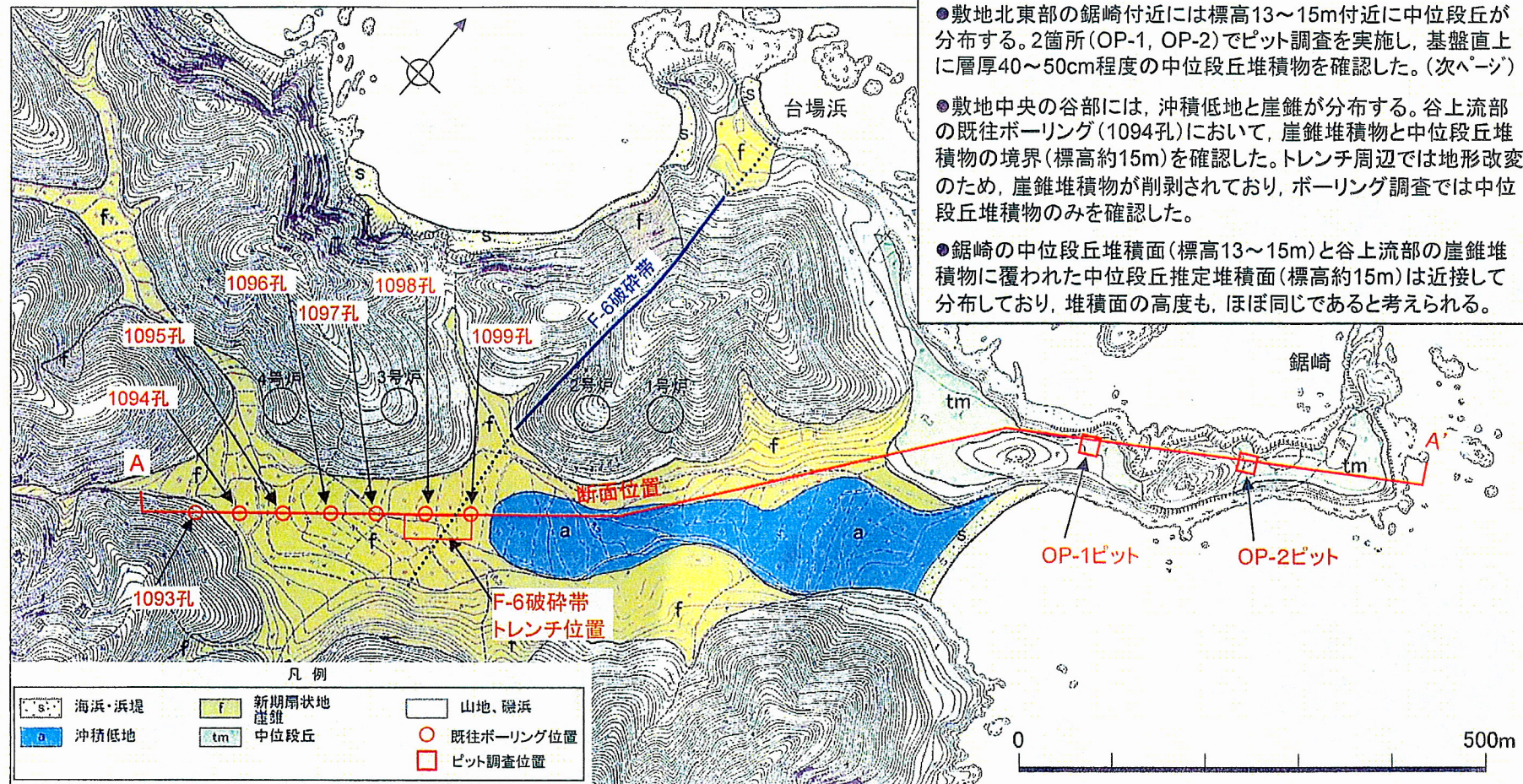
薄片観察結果

- ・面状カタクレサイトからなる。
- ・P面とR1面から左ずれ及び右ずれセンスを示す。

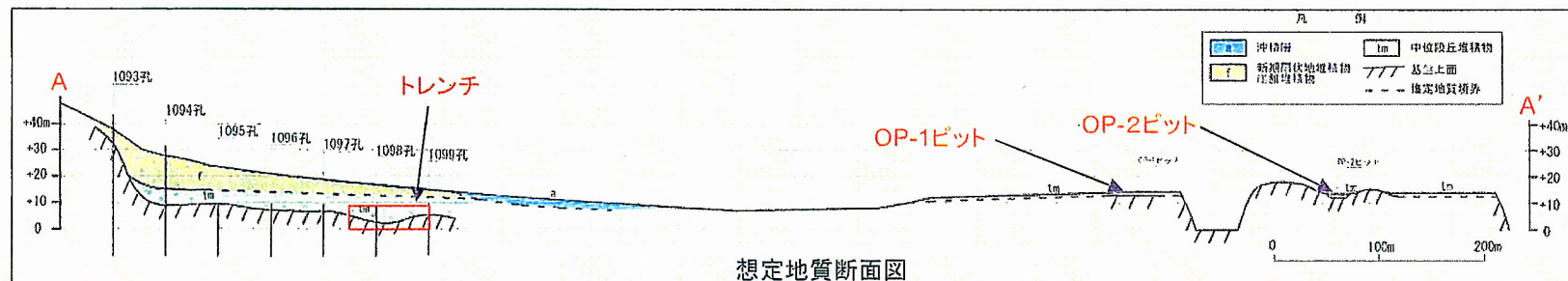
変形組織の観察(F-6破碎帯)



F-6破碎帯上載層の検討

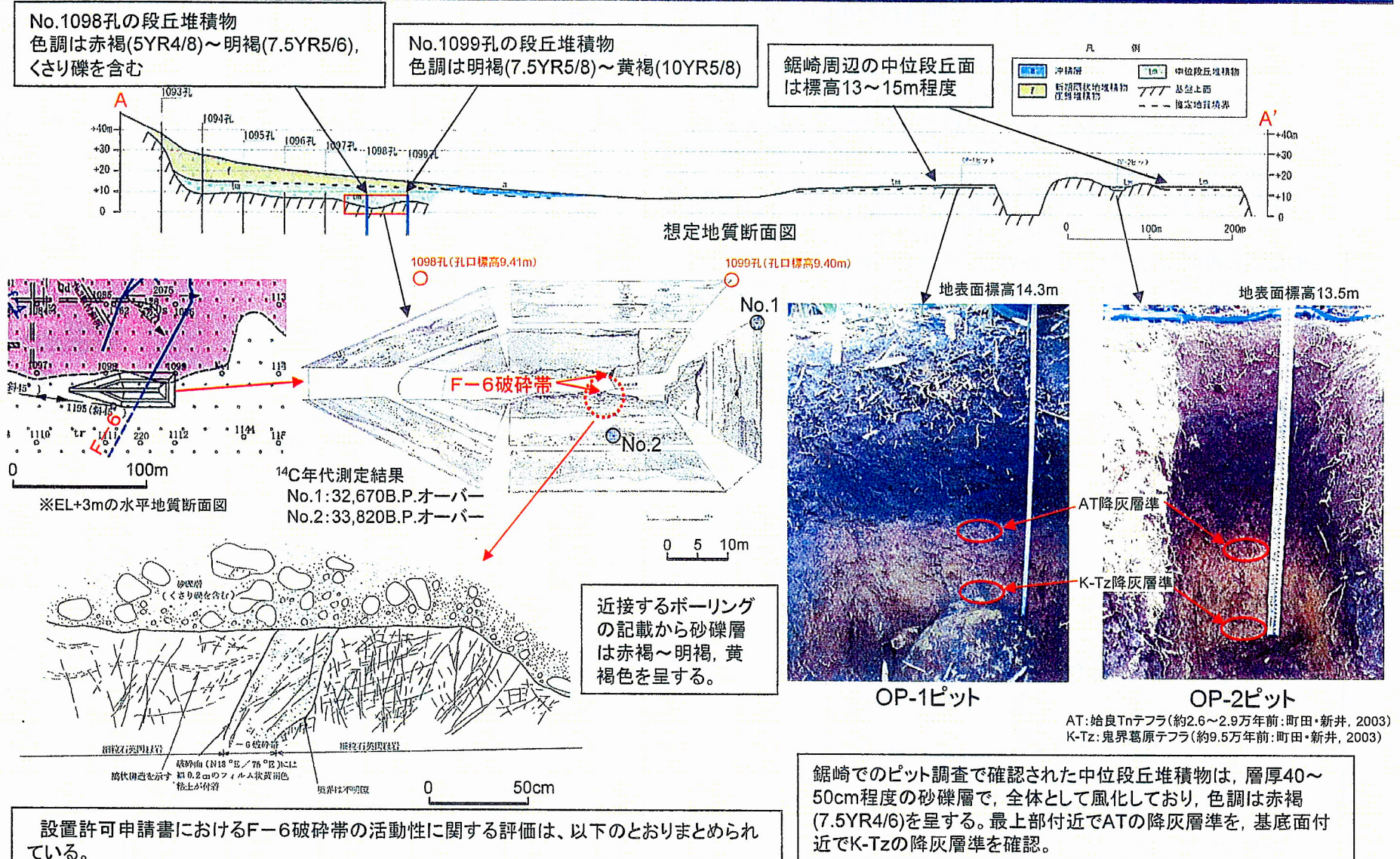


地形区分図

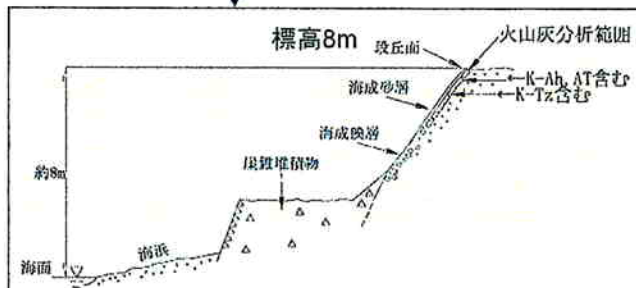
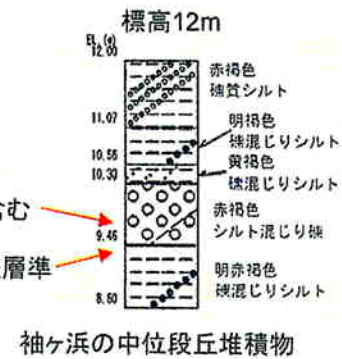
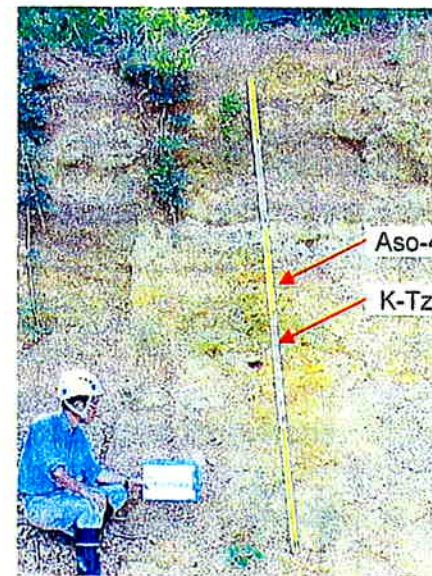
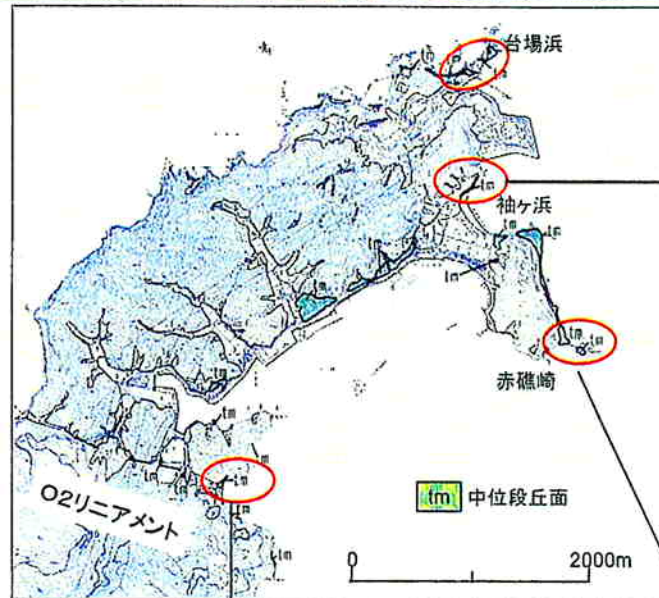


想定地質断面図

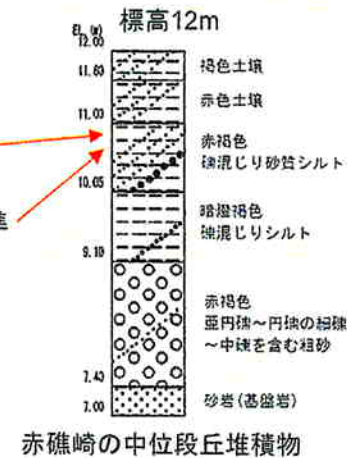
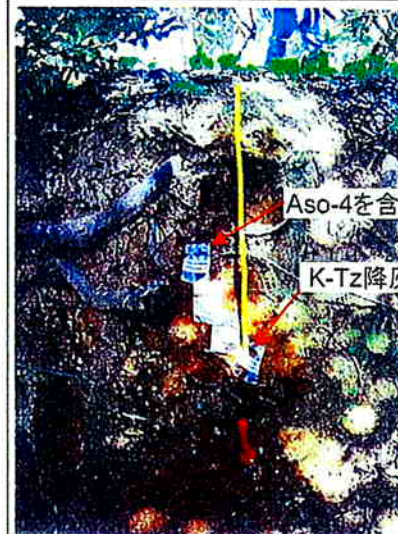
F-6破碎帯上載層の検討



大島半島北部の中位段丘面



O2リニアメントの中位段丘堆積物



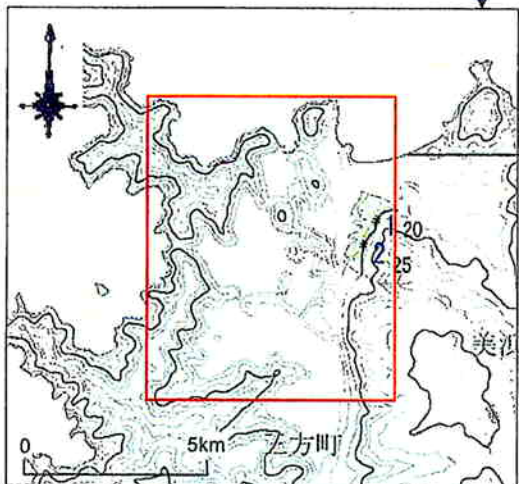
火山灰の年代
(町田・新井, 2003より引用)
K-Ah: 約7.3千年前
AT: 約2.6～2.9万年前
Aso-4: 約8.5～9.0万年前
K-Tz: 約9.5万年前

大島半島北部の中位段丘面を構成する堆積物は、概ね褐色から赤褐色を呈し、Aso-4火山灰やK-Tz火山灰を含むことから中位段丘堆積物と考えられる。

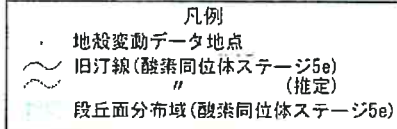
三方五湖周辺の中位段丘面について



敷地周辺陸域の変動地形・リニアメント分布図



宮津地域のステージ5e段丘面分布図
(日本の海成段丘アトラスより引用)



三方五湖周辺の地形概図と寛文2(1662)年前の旧汀線高度分布。(岡田1984)*1を引用。

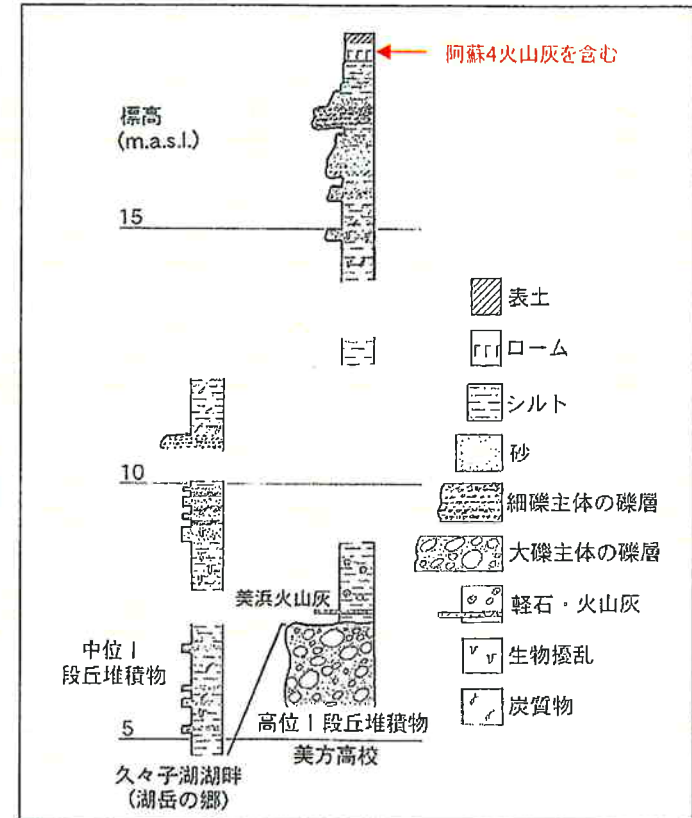
凡例
1: 山地・海・寛文2年後の沖積面 2: 砂丘・浜堤
3: 寛文2年前の沖積面 4: 低位段丘面 5: 中位段丘面
6: 高位段丘II面 7: 高位段丘I面 8: 三方断層

日本の海成段丘アトラスに示された段丘面分布と岡田(1984)*1の中位段丘面はほぼ同じ範囲であり、小松原(2002)*2の中位I段丘面に相当する。

小松原(2002)*2は、中位I段丘堆積物を、層相や海生軟体動物化石ならびにクジラ化石が得られることから、高海水準期の内湾性堆積物と考え、これを覆うローム層の下部から阿蘇4火山灰(8.5~9.0万年前: 町田・新井, 2003)が得られることから、この高海水準期は最終間氷期に相当すると考えている。

大飯発電所周辺の中位段丘に関する文献等を確認した。

三方五湖周辺には中位段丘面が広く分布し、同段丘堆積物において行われた火山灰分析により、最終間氷期に相当する中位段丘堆積物であることを確認した。



中位I段丘堆積物の柱状図。(小松原2002)*2を引用。

*1: 岡田篤正(1984)
三方五湖低地の形成過程と地殻変動。鳥浜貝塚—縄文前期を主とする低湿地遺蹟の調査, vol.4 (1983年度調査概報), p9-42.
*2: 小松原琢(2002)
西津地域の地質, V.第四系。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)。産総研地質調査総合センター, p52-60.

F-6破碎帯上載層の検討結果

F-6破碎帯の上載層は、色調等の性状や分布高度から、鋸崎付近に分布する中位段丘堆積物と同じであると判断していたが、大島半島北部における火山灰分析及び中位段丘に関する文献調査により、F-6破碎帯上載層の年代に関する再検討を実施した。



①大島半島北部における火山灰分析結果

大島半島北部の中位段丘4箇所では火山灰分析を実施した結果、海成段丘を構成する堆積物中にAso-4火山灰やK-Tz火山灰を確認した。

②中位段丘に関する文献調査結果

- ・「近畿の活断層」及び「日本の海成段丘アトラス」では、大島半島北部付近に海成の中位段丘面のみが分布し、「日本の海成段丘アトラス」は鋸崎付近の中位段丘面を酸素同位体ステージ5eとしている。
- ・「日本の海成段丘アトラス」では、三方五湖周辺に中位段丘面を広く図示し、酸素同位体ステージ5eとしており、これは「小松原(2002)」の中位I段丘面に相当する。「小松原(2002)」は、この段丘を構成する堆積物を中位I段丘堆積物として、高海水準期の内湾性堆積物と考え、これを覆うローム層の下部からAso-4火山灰が得られることから、この高海水準期は最終間氷期に相当するとしている。

③検討結果

各種文献によると、大島半島北部付近に海成の中位段丘面のみが図示されており同段丘を構成する堆積物にはAso-4火山灰やK-Tz火山灰が挟まれること、三方五湖周辺の段丘堆積物が最終間氷期に相当する中位段丘堆積物とされていることから、鋸崎付近に分布する中位段丘堆積物は最終間氷期の地層と判断される。



F-6破碎帯の上載層は、風化の程度、しまりの程度、色調等の性状や分布高度等から、鋸崎付近に分布する中位段丘堆積物に対比されることが考えられることから、最終間氷期の地層と判断される。

ま と め

【敷地の地形】

- ・変動地形・リニアメントは判読されない。

【敷地の地質・地質構造】

- ・敷地の北西側から南西側の山地には輝緑岩、斑れい岩、大島層(頁岩)が分布し、敷地の南東から南方の山地、鋸崎にかけて細粒石英閃緑岩が分布。
- ・原子炉設置位置付近で認められる破碎帯の走向はN-S～NE-SW方向が卓越している。
- ・鋸崎から台場浜にかけて海岸沿いに中位段丘堆積物が分布。

【断層の活動性】

最も延長が長いF-6破碎帯について検討した結果、以下の状況から少なくとも後期更新世以降に活動したものではないと判断される。

- ・台場浜の海岸付近で露頭観察を行った結果、断層面は湾曲し破碎部は固結ないし半固結し、明瞭な粘土状破碎部を伴わない。
- ・変形組織の観察を行った結果、破碎部がカタクレーサイトからなる。
- ・設置許可申請書では、トレンチ調査により、F-6破碎帯は中位段丘相当の段丘堆積物に変位を与えていないと評価しており、今回、F-6破碎帯上載層について検討した結果、色調等の性状や分布高度、大島半島北部における火山灰分析結果及び中位段丘に関する文献調査結果から、鋸崎付近に分布する中位段丘堆積物(最終間氷期の地層)と同じである判断される。

5. FO-A～FO-B断層の活動に伴う
地盤変位・傾斜に関する検討

断層活動に伴う地盤変位・傾斜に対する安全性評価の流れ

断層の性状把握 (検討条件の整理)

- ・地盤の変位・傾斜の評価を行うにあたって、以下の項目について把握。
 - －「断層位置」、「断層長さ」、「断層傾斜角」、「変位センス」、「(単位)変位量」、「地盤物性」等
- ・これらのうち、地形・地質調査等の結果からは直接得られないものや不確かさを考慮すべきものについて整理し、不確かさを考慮した検討も実施。

地盤変位・傾斜の評価 (数値解析による検討)

【アプローチ】

不確かさも考慮した数値解析による検討

【解析手法】

食い違いの弾性論による検討

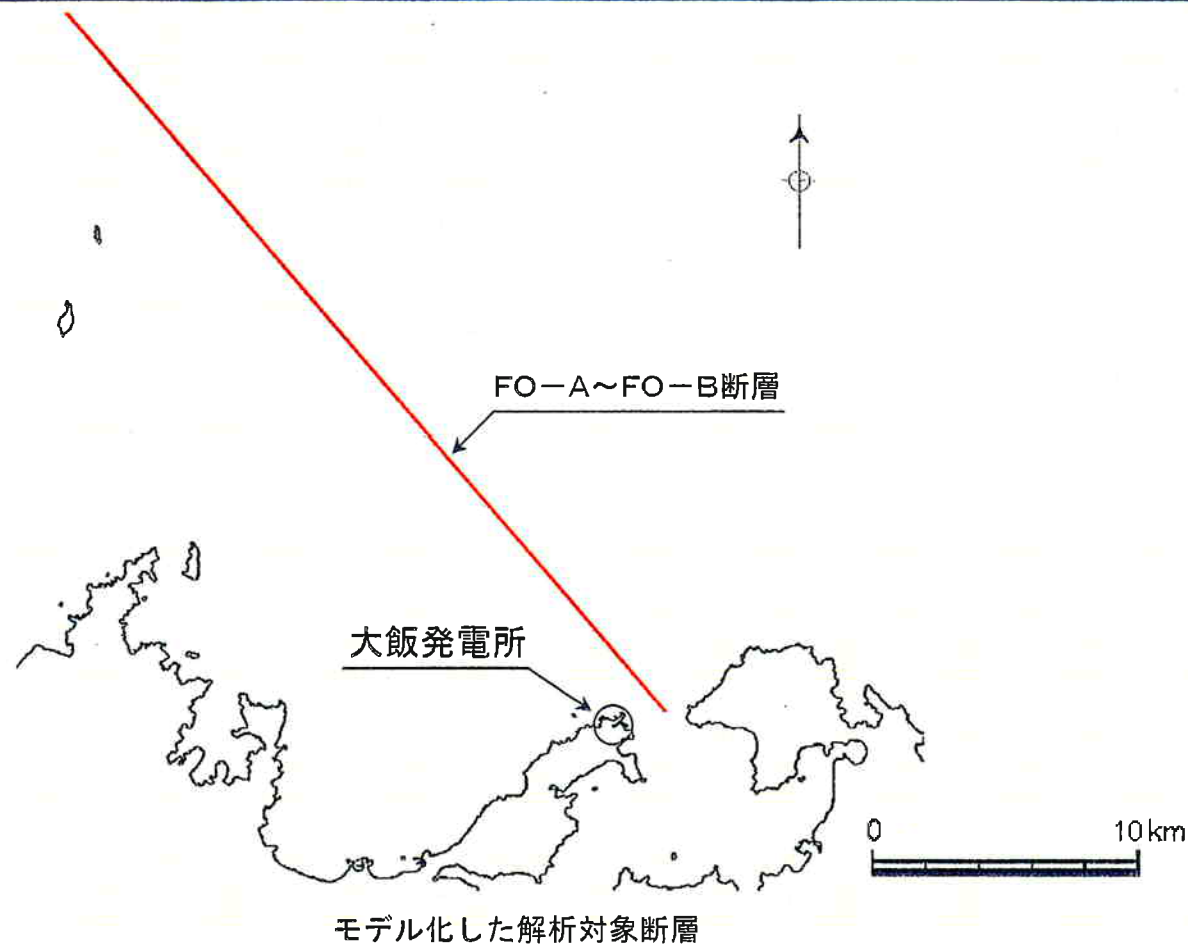
(基本ケース、不確かさを考慮したケース)

- ・断層の検討条件を基に算定された断層のすべり量を断層面に与え、食い違いの弾性論※により周辺地盤の変位量、傾斜量を計算する。

※単層モデルはOkada(1992)により、多層モデルはWang et al.(2003)により計算

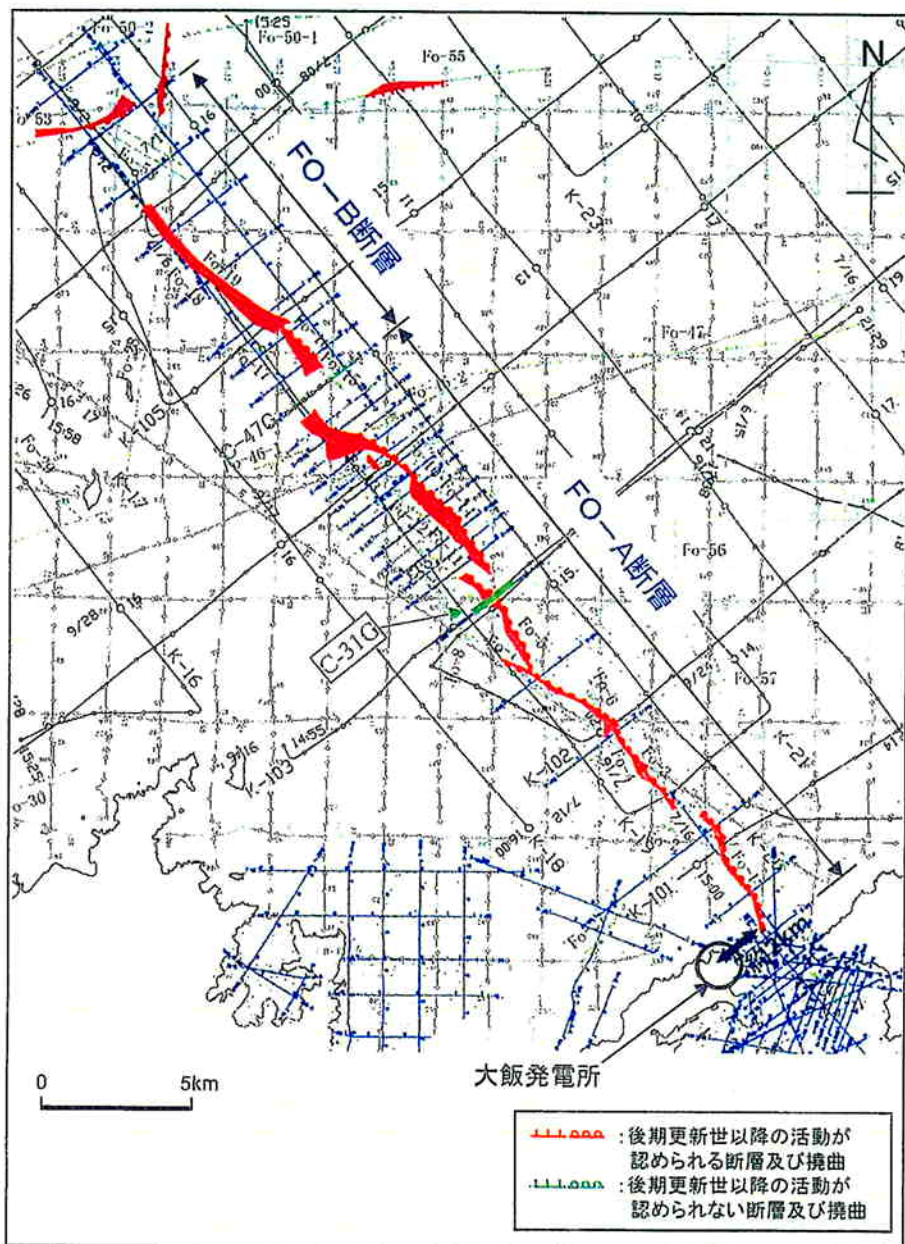
【評価項目】 傾斜量に対する評価

地盤変位・傾斜の検討方針



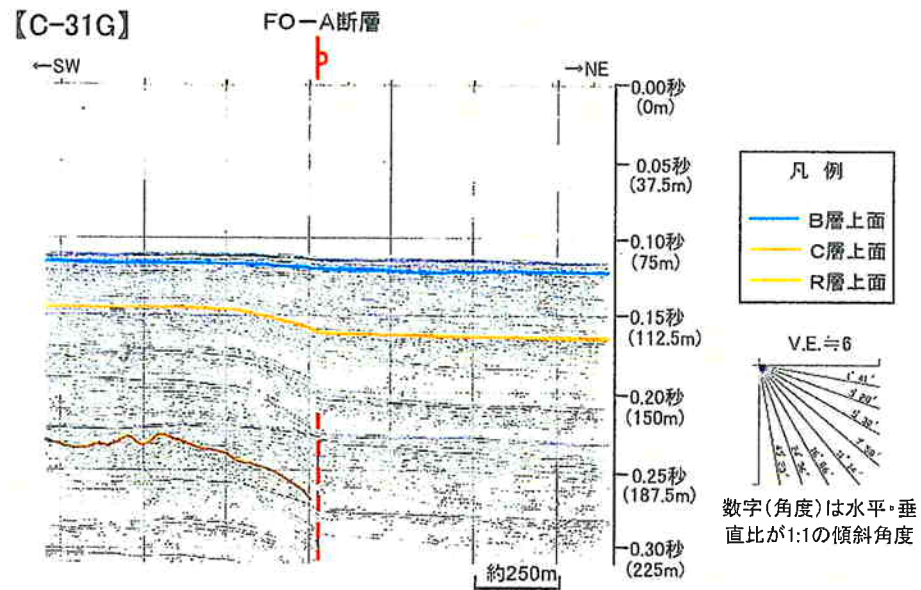
- ・ 食い違いの弾性論に基づき、FO-A~FO-B断層の活動に伴い生じる基礎地盤の変位・傾斜について検討した。
- ・ 解析条件の設定にあたっては、各種の調査結果や食い違いの弾性論に基づき検討を行う津波評価※を参考にすることを基本とした。
- ・ 様々な不確かさについては、それを考慮した検討も併せて行った。

FO-A~FO-B断層について



FO-A~FO-B断層の性状

分布位置	・大飯発電所(1号機)の北東、約2kmの海域から北西方向に延びるように分布
断層長さ	・約35km
形状	・走向は北西－南東 ・断層傾斜角はほぼ鉛直
活動履歴	・海上音波探査により、完新世における活動を推定
変位センス	・南西側隆起の左横ずれ断層
変位量	・累積変位量:数m～十数m程度 (海上音波探査記録より、B層(後期更新世の地層)基底を基準とした鉛直方向の累積変位量)



海上音波探査による記録からは変形幅も狭く、繰り返し同じ断層面で活動していると考えられる。

食い違いの弾性論の解析条件

		FO-A～FO-B断層の幾何学的形状				断層のすべり		地盤モデル			検討結果 (傾斜量)
		断層長さ	断層幅	傾斜角	断層上端深さ	すべり角	すべり量	地質構造	ポアソン比	剛性率	
基本	基本検討 (検討①)	35km	15km	90°	0km	広域応力場の圧縮軸の方向(90°～120°)*1と断層面の関係から算出	2.91m	単層モデル (均質な半無限媒質)	0.25	3.5×10^{10} N/m ²	約1/10,400
	根拠	地質調査結果	「原子力発電所の津波評価技術」による	地質調査結果等から設定	地形的に認識される断層で、断層面も地表に達していることを確認	「原子力発電所の津波評価技術」による	「原子力発電所の津波評価技術」による	単層モデルによる再現事例がある	上部地殻の標準的な値	上部地殻の標準的な値 (「原子力発電所の津波評価技術」による)	
各種不確かさを考慮した検討	断層長さを変えた検討(検討②)	北西端固定で、順に短くし33kmまで変更	15km	90°	0km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	断層長さに応じたすべり量	単層モデル	0.25	3.5×10^{10} N/m ²	約1/8,100
	断層幅を変えた検討(検討③)	35km	断層上端固定で、1/6ずつ狭めて半分になるまで変更	90°	0km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	2.91m	単層モデル	0.25	3.5×10^{10} N/m ²	約1/7,600
	傾斜角を変えた検討(検討④)	35km	15km	75° (南西側に傾斜)	0km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	2.91m	単層モデル	0.25	3.5×10^{10} N/m ²	約1/15,000
	すべり量を変えた検討(検討⑤)	35km	15km	90°	0km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	各種算定式により設定	単層モデル	0.25	3.5×10^{10} N/m ²	—※2
	地盤モデルを変えた検討 (検討⑥)	35km	15km	90°	0km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	2.91m	地震動評価に用いた地盤モデルで検討			約1/10,500
								多層モデル	各層の密度 ρ 、 V_s 、 V_p に応じた値		
	断層モデルを変えた検討 (検討⑦)	地震動評価に用いた断層モデルで検討							単層モデル	0.25	3.5×10^{10} N/m ²
	35km	14km	60°	4km 0kmも検討	0° (左横ずれ)	アスベリティー考慮				0kmは 約1/73,200	

※1：広域応力場の圧縮軸の方向については、北から時計回りの角度で示す。

※2：松田（1975）他で算出したすべり量は、土木学会津波評価技術（2002）と比べて減少する。

食い違いの弾性論の解析条件

■ 追加検討

合同WGにおける

- ・広域応力場の圧縮軸の方向を振る範囲が $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ としているが、 85° などでも断層の変位センスが説明できると考えられるので、合理的な範囲を説明すること。
- ・断層上端深さを0kmとしているが、安全側の評価となるからなのか。

とのコメントを受け、以下のケースを追加検討

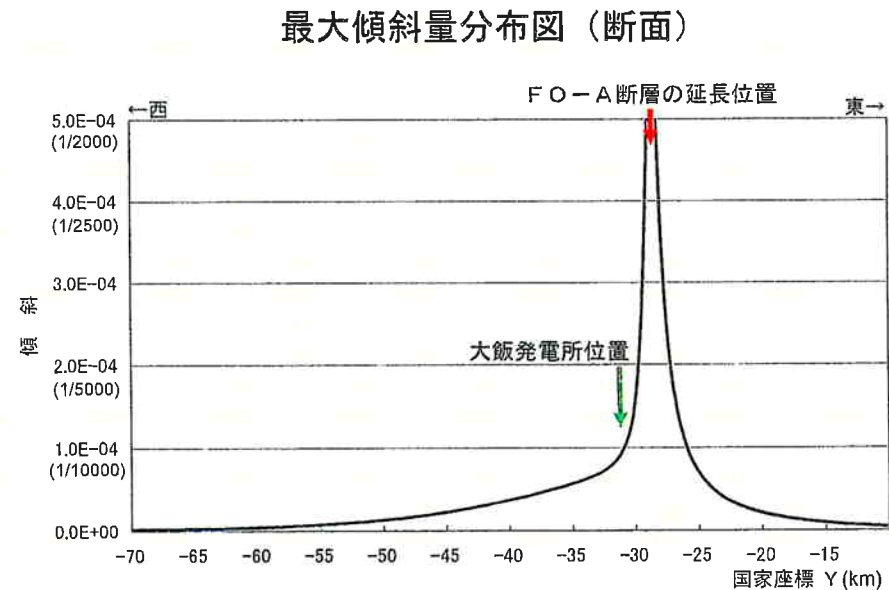
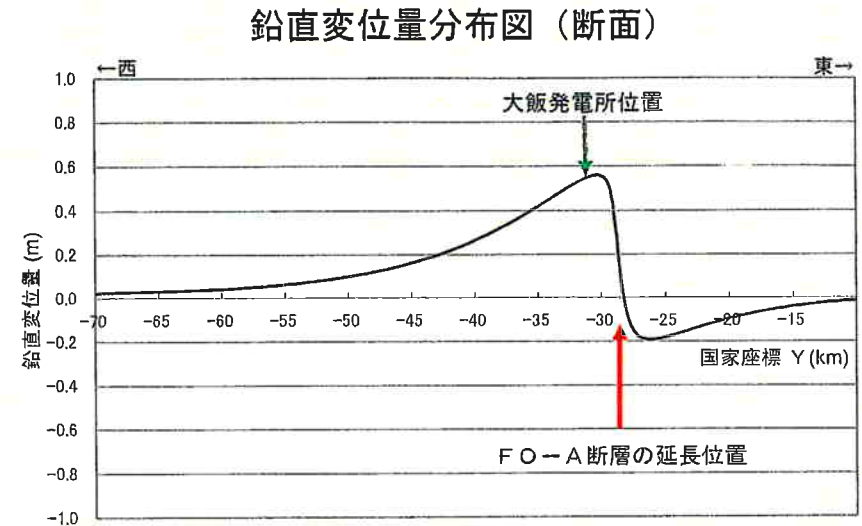
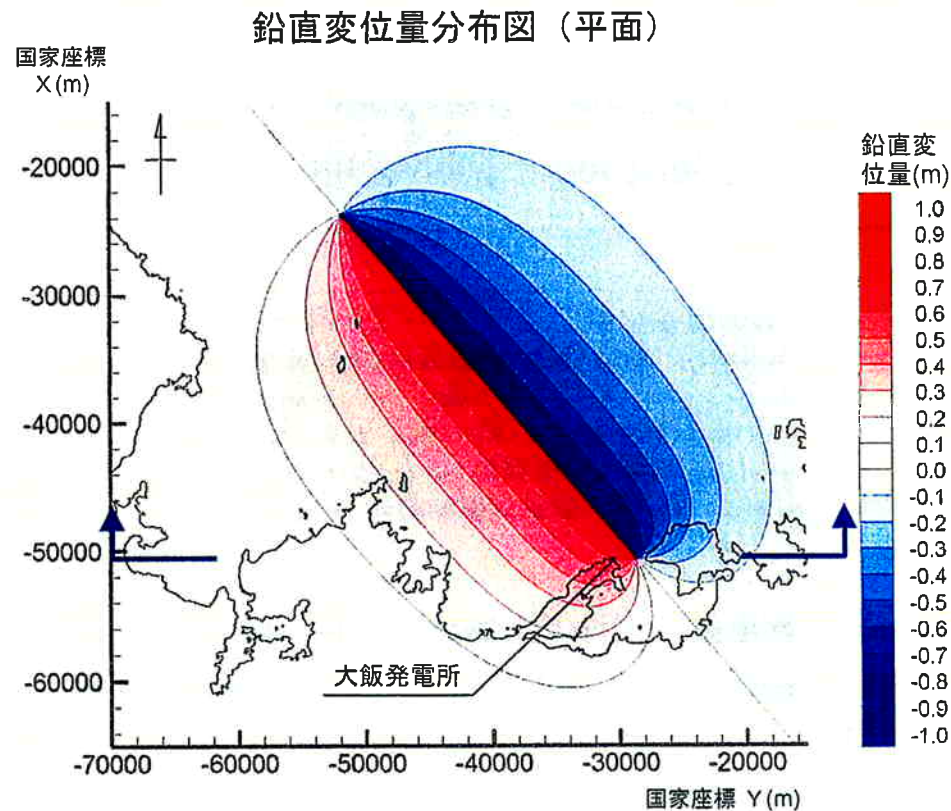
	FO-A~FO-B断層の幾何学的形状				断層のすべり		地盤モデル			検討結果 (傾斜量)	
	断層長さ	断層幅	傾斜角	断層上端深さ	すべり角	すべり量	地質構造	ポアソン比	剛性率		
追加検討	P軸の検討範囲を変えた場合の検討(検討⑧)	35km	15km	90°	0km	広域応力場の圧縮軸の方向(85°)と断層面の関係から算出	2.91m	単層モデル	0.25	3.5 × 10 ¹⁰ N/m ²	約1/7,000
	断層上端深さを変えた検討(検討⑨)	35km	15km	90°	1,2,3,4km	基本検討で最大傾斜量を示したすべり角	2.91m	単層モデル	0.25	3.5 × 10 ¹⁰ N/m ²	約1/10,600

検討結果（概要）

一例として、広域応力場の圧縮軸（P軸）の方向が 90° の場合の結果を示す。

大飯発電所の位置付近で、

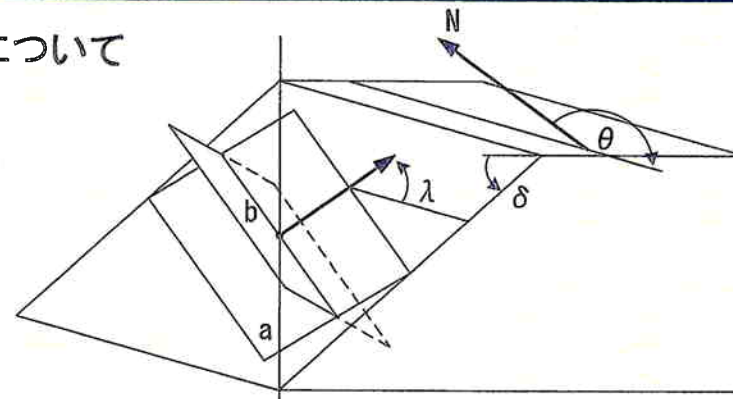
- 50cm強程度の地盤の隆起が想定される。
- 1.0×10^{-4} (1/10,000) 程度の傾斜が想定される。



(参考)FO-A～FO-B断層の活動に伴う地盤のすべり量の算出方法 (基本ケースのP軸の方向が90° の場合を例として)

■断層の走向・傾斜とP軸の方向から求まるすべり角について

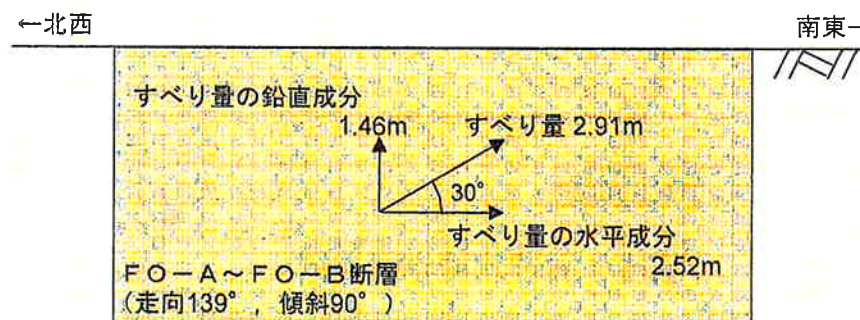
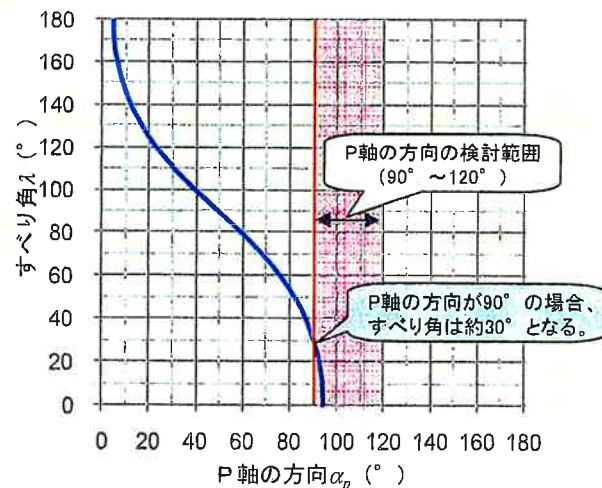
「すべり角は、発震機構の原理に基づき、活断層周辺の応力場と走向・傾斜角から幾何学的に推定できる。主圧力軸(P軸)と主張力軸(T軸)は2枚の節面から45°の傾きをもち、スリップベクトルは補助面(実際の断層面でない節面)の法線の方に一致する。」
[土木学会(2002)]



$$\tan \alpha_p = \frac{\sin \delta \cos \theta - \cos \lambda \sin \theta + \cos \delta \sin \lambda \cos \theta}{-\sin \delta \sin \theta - \cos \lambda \cos \theta - \cos \delta \sin \lambda \sin \theta}$$

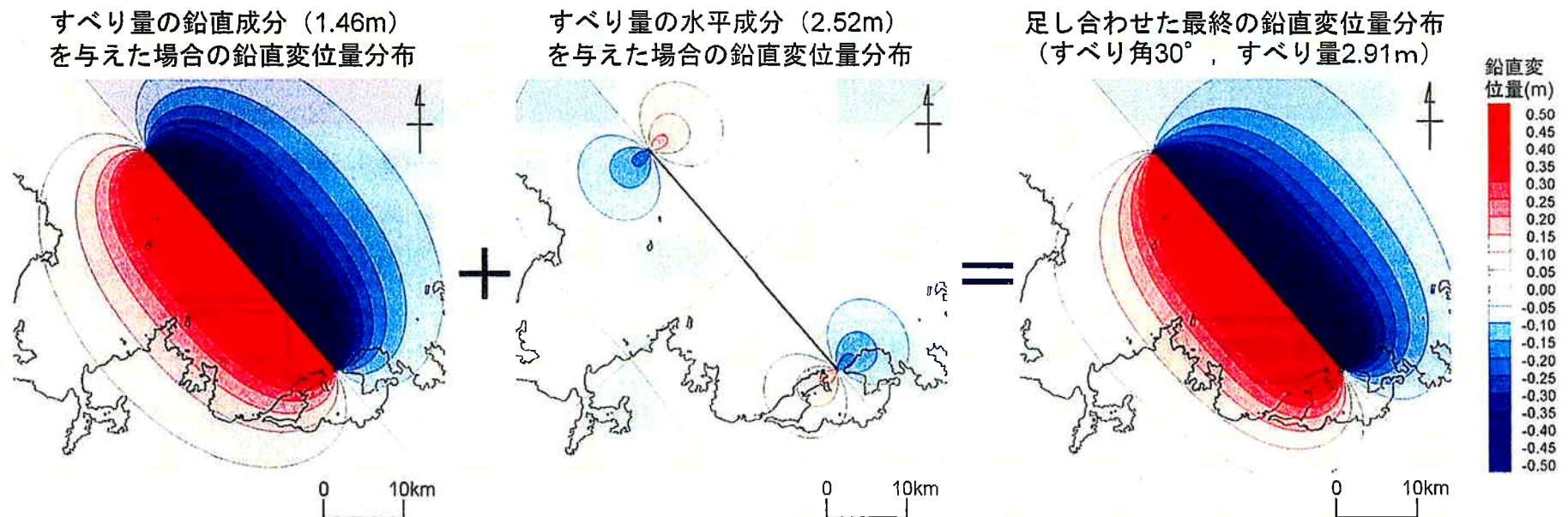
α_p : P軸の方向[北から時計回りの角度]
 δ : 断層の傾斜角
 θ : 断層の走向
 λ : すべり角

【FO-A～FO-B断層(走向: $\theta=139^\circ$, 傾斜角: $\delta=90^\circ$)の場合】



(参考)FO-A～FO-B断層の活動に伴う地盤の鉛直変位量分布 (基本ケースのP軸の方向が90° の場合を例として)

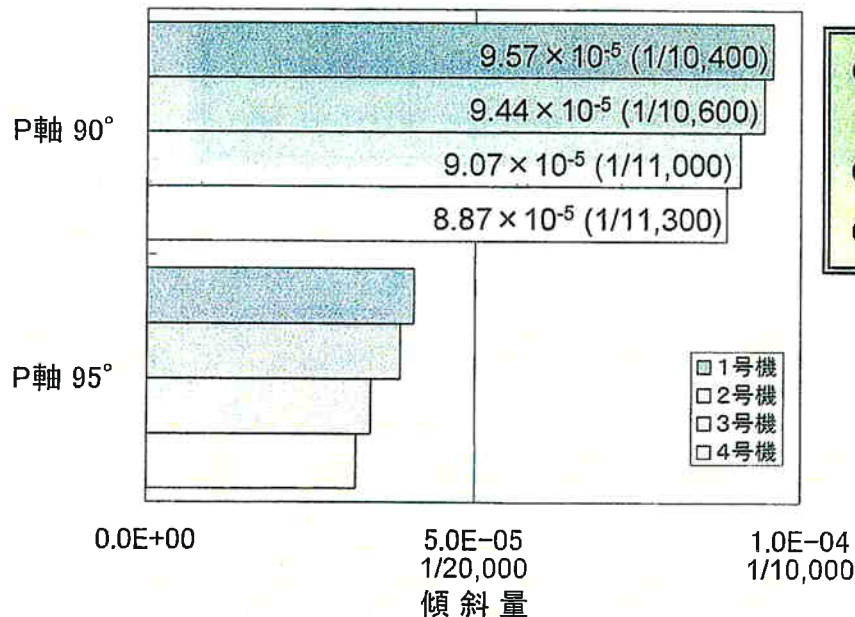
FO-A～FO-B断層の活動に伴う地盤の鉛直変位量の計算は、すべり量の鉛直成分を与えた結果とすべり量の水平成分を与えた結果を重ね合わせた結果となる。



- すべり量の鉛直成分を与えたケースとすべり量の水平成分を与えたケースを比較すると、地盤の鉛直変位量はすべりの鉛直成分を与えた場合の方が大きくなる。
(横ずれに伴う地盤の鉛直変位量は小さい)
- すべりの鉛直成分を与えたケースの地盤の鉛直変位量が大きいことから、足し合わせた地盤の鉛直変位量はすべりの鉛直成分を与えたケースに近い結果を示す。

基本検討：P軸の方向を変えた検討結果【検討①】

炉心位置の最大傾斜量

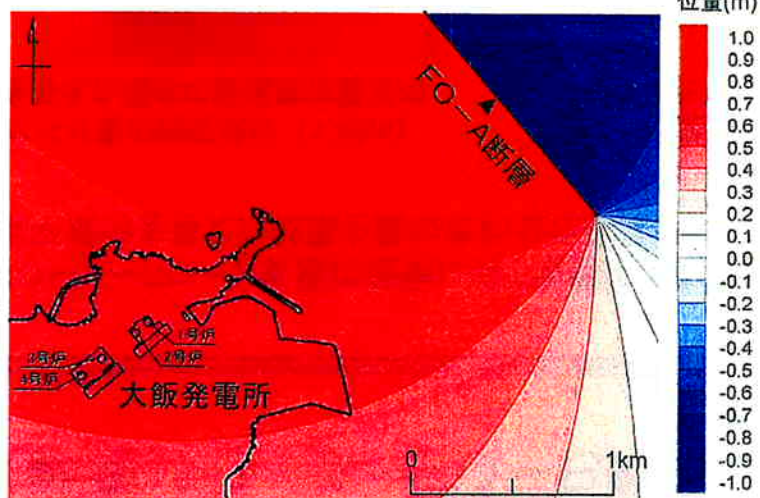


- 広域応力場の圧縮軸(P軸)の方向が95°以上のケースは横ずれのみとなる。(地盤の傾斜量は95°の場合と同じとなる)
- 広域応力場の圧縮軸(P軸)の方向が90°で最大傾斜を示す。
- 断層に近い1号機で最大傾斜(約1/10,400)を示す。

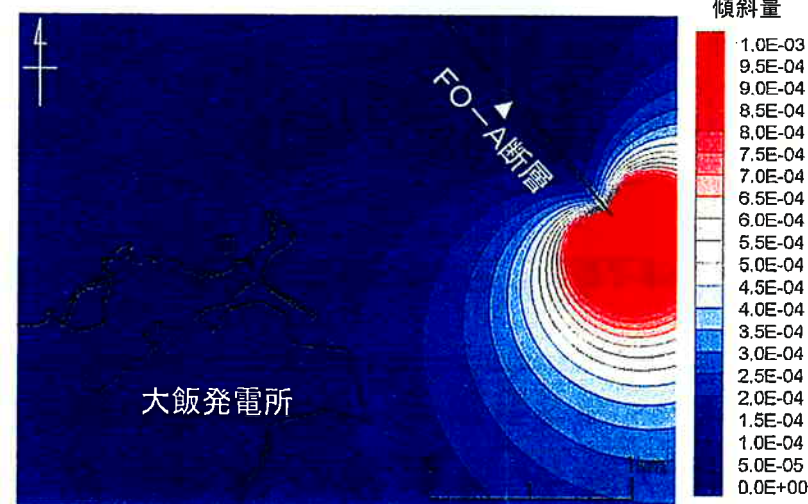


P軸の方向 90° を基本にパラスタによる検討を実施

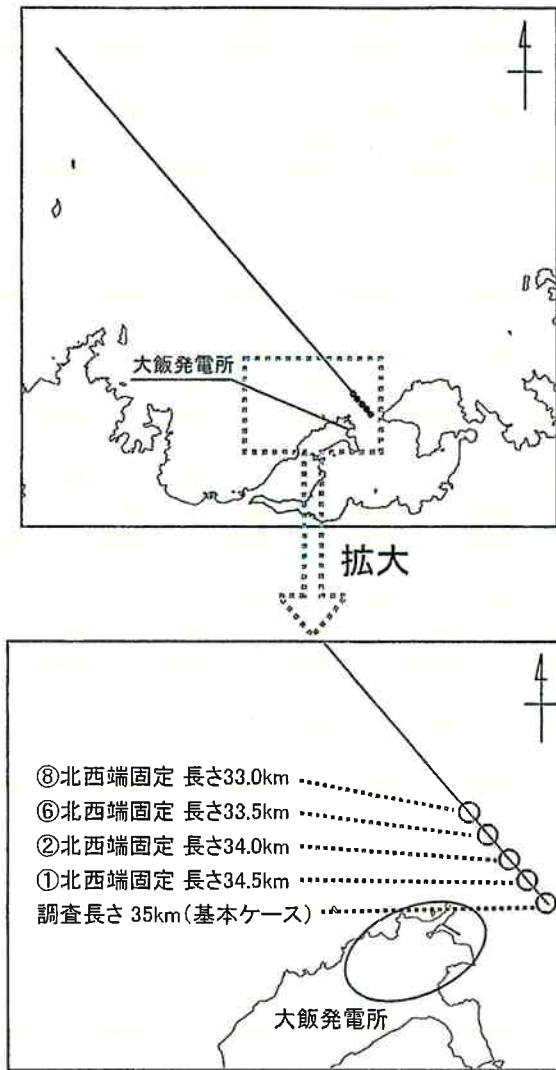
鉛直変位量分布図 (P軸の方向=90°)



最大傾斜量分布図 (P軸の方向=90°)



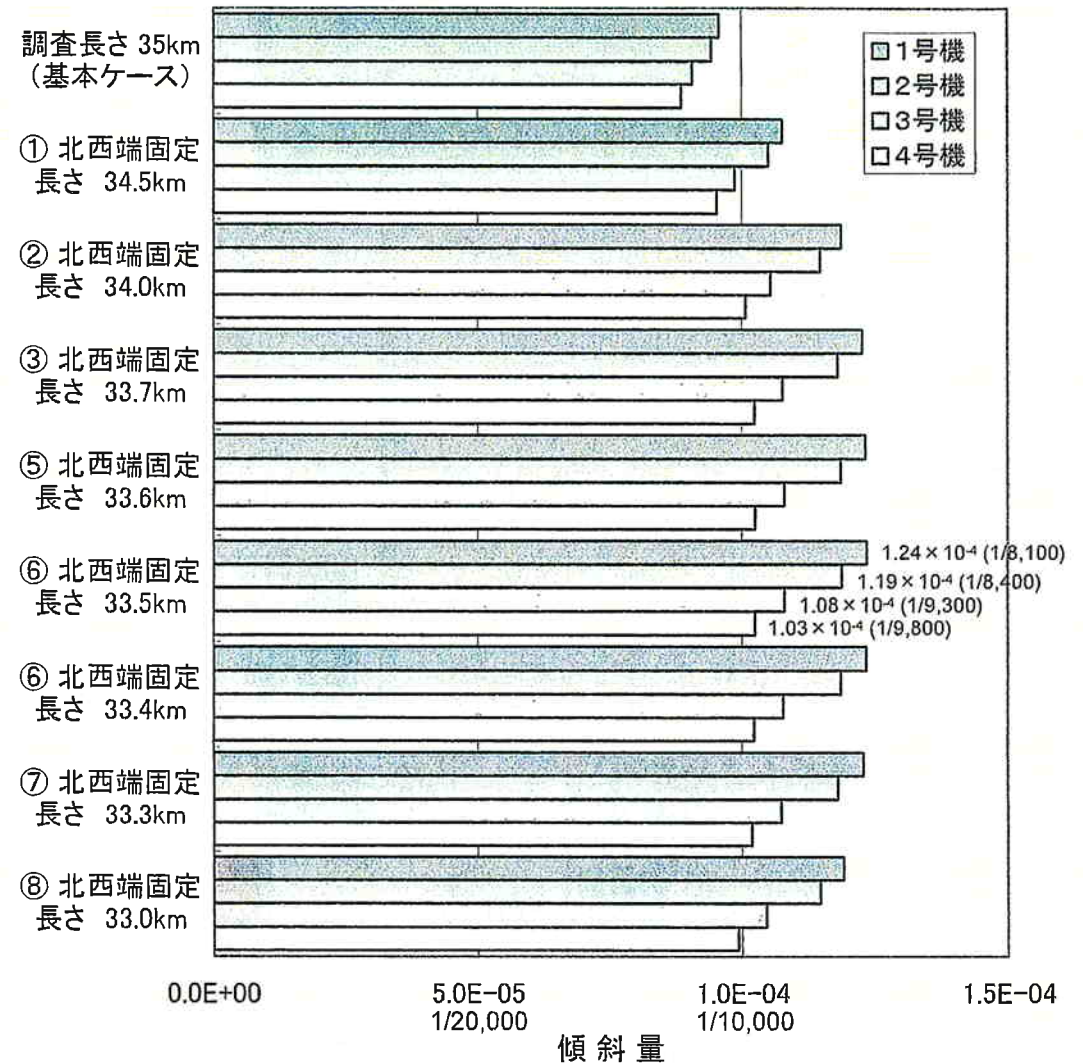
断層長さを変えた検討結果【検討②】



大飯発電所はF O - A断層の南東端部付近に位置することから、断層北西端を固定して南東端を変えた検討を実施

炉心位置の最大傾斜量

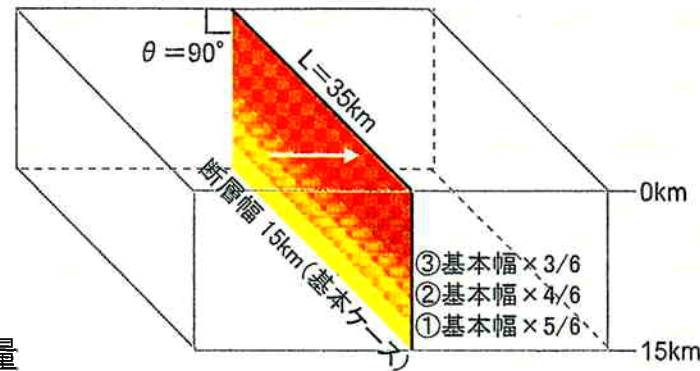
※ 長さに応じたすべり量Dを与えた結果



- 断層長さが33.5km程度で最大傾斜を示す。
- 断層に近い1号機で最大傾斜(約 1/8,100)を示す。

断層幅を変えた検討結果【検討③】

断層上端（深さ0km）を固定して、下端を浅くした（断層幅を変えた）検討を実施



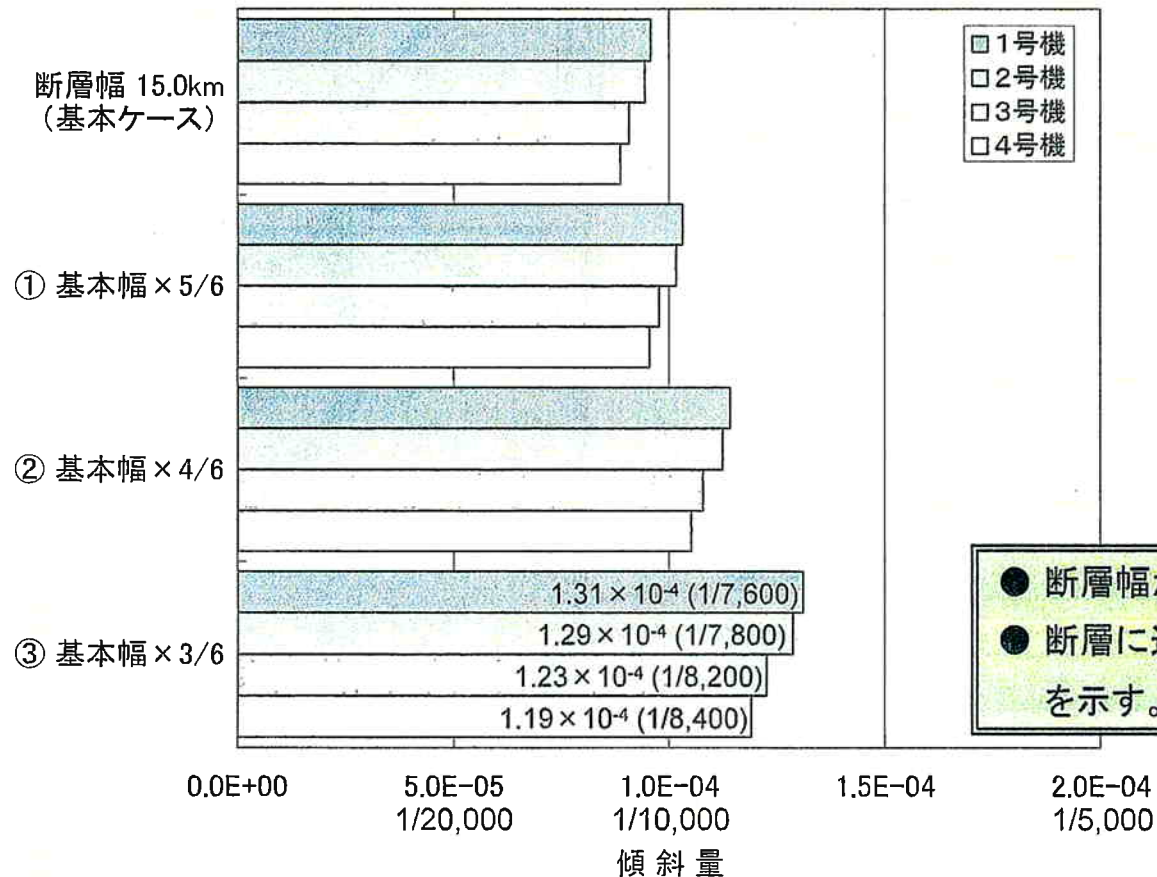
断層幅: $W = 15.0\text{km}$ (基本ケース)

① $5/6 W = 12.5\text{km}$

② $4/6 W = 10.0\text{km}$

③ $3/6 W = 7.5\text{km}$

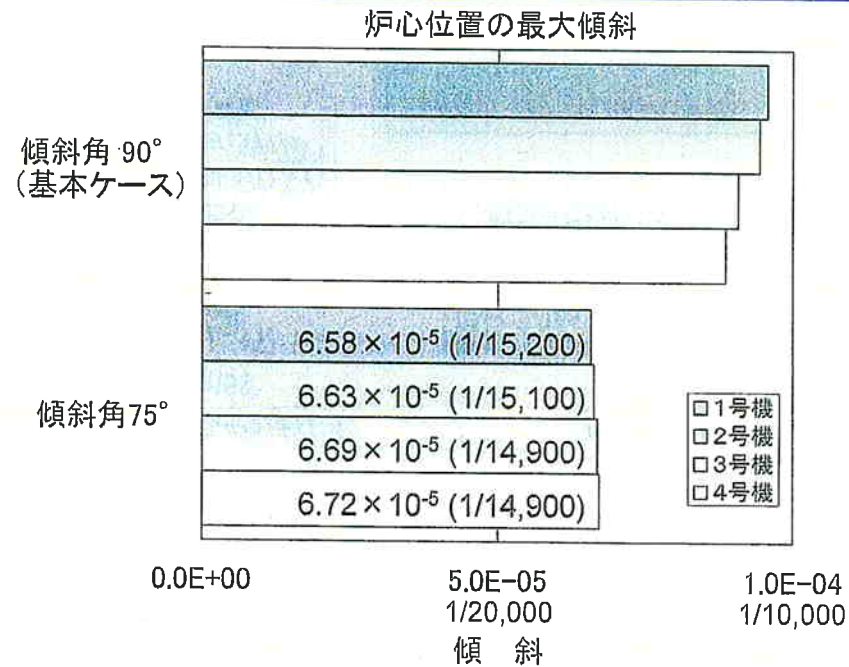
炉心位置の最大傾斜量



● 断層幅が半分 ($\times 3/6$) で最大傾斜を示す。

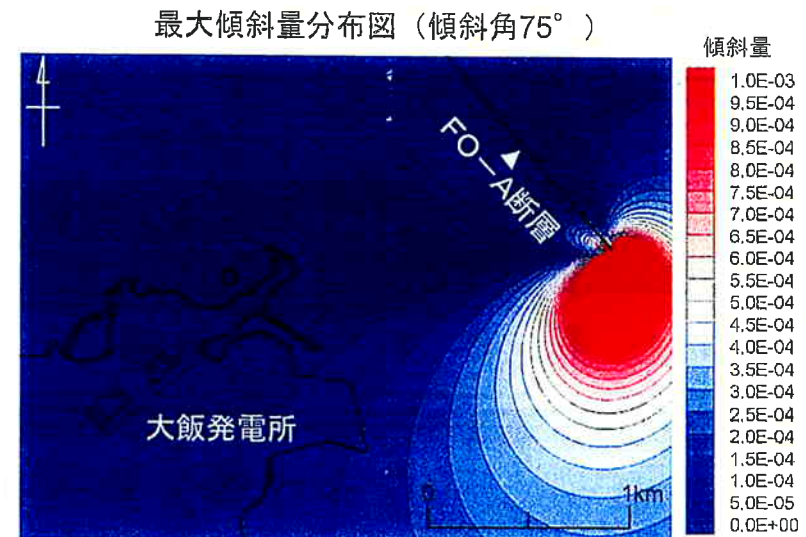
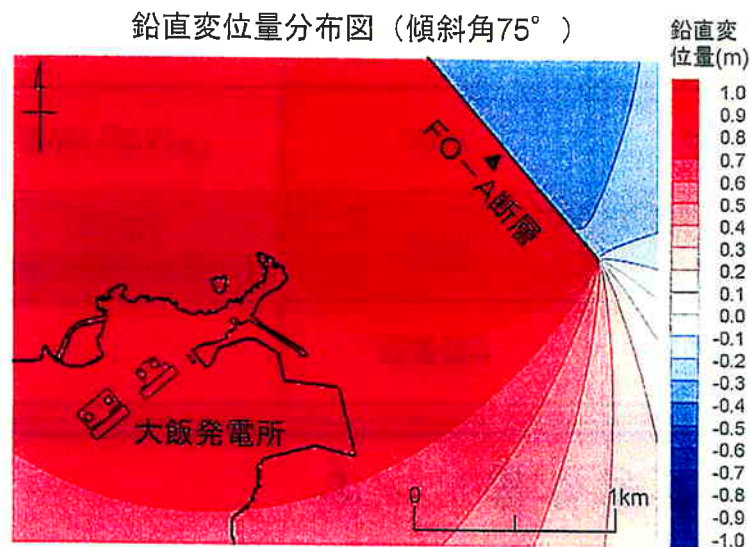
● 断層に近い1号機で最大傾斜 (約 1/7,600) を示す。

傾斜角を変えた検討結果【検討④】



傾斜角の不確かさとして75° 南西傾斜の場合を検討
(広域応力場の圧縮軸(P軸)の方向は90° で検討)

- 傾斜角が75° の場合の方が、傾斜は小さくなる。
- 傾斜角が75° の場合の傾斜は約1/15,000である。



すべり量を変えた検討結果【検討⑤】

	断層長さ	断層幅	傾斜角	すべり量
土木学会津波評価技術 (2002)	35km	15.0km	90°	2.91m
松田(1975)※ ¹	35km	考慮せず	考慮せず	2.78m
佐藤(1989)※ ²	35km	17.5km	考慮せず	1.06m
地震調査研究推進本部 (2008)※ ³ に準拠	35km	14.0km	90°	0.786m (平均すべり量D) (参考) 1.750m(大アスペリティー) 1.237m(小アスペリティー) 0.539m(背景領域)

基本ケース

土木学会津波評価技術
(2002)

$D = M_0 / (\mu \cdot S)$
 D : すべり量
 M_0 : 地震モーメント
 μ : 剛性率
 S : 断層面積
 [武村(1998)※⁴及び
 Kanamori(1977)※⁵
 より M_0 を算出]

松田(1975)

$\log L = 0.6M - 2.9$
 $\log D = 0.6M - 4.0$
 D : すべり量(m)
 M : 地震の規模(マグニチュードM)
 L : 断層の長さ(km)

佐藤(1989)

$\log L = 0.5M - 1.88$
 $\log D = 0.5M - 3.40$
 D : すべり量(m)
 M : 地震の規模(マグニチュードM)
 L : 断層の長さ(km)

地震調査研究推進本部
(2008)に準拠

$D = M_0 / (\mu \cdot S)$
 D : 平均すべり量
 M_0 : 地震モーメント
 μ : 剛性率
 S : 断層面積

松田(1975)他で算出したすべり量は、土木学会津波評価技術(2002)と比べて減少する
 ⇒ 弾性論による検討であることから、すべり量に比例して地盤変位量および傾斜も減少する

※1 松田時彦(1975): 活断層から発生する地震の規模と周期について, 地震 第2輯, vol.28, pp.269-283.

※2 佐藤良輔(1989): 日本の地震断層パラメーター・ハンドブック

※3 地震調査研究推進本部(2008): 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)

※4 武村雅之(1998): 日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震 第2輯, vol.51, pp.211-228.

※5 Kanamori, H. (1977): The energy release in great earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No.20, pp.2981-2987

地盤モデルを変えた検討結果【検討⑥】

地盤のポアソン比 $\sigma=0.25$ の均質な地盤（単層モデル）とした場合と、地震動評価時の地盤モデル（多層モデル）とした場合の比較検討を実施

単層モデル：Okada（1992）※¹に基づき検討
多層モデル：Wang et al.（2003）※²に基づき検討

大飯発電所の基準地震動策定に用いた地盤モデル

E.L. (m)	層	層厚 (m)	密度 ρ (t/m ³)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	ポアソン比	剛性率 (N/m ²)
0							
-60	1	60	2.7	2,200	4,300	0.32	1.3×10^{10}
-200	2	140	2.7	2,560	4,860	0.31	1.8×10^{10}
-630	2'	430	2.7	2,560	4,860	0.31	1.8×10^{10}
-1400	3	770	2.7	2,800	5,130	0.29	2.1×10^{10}
-4000	4	2600	2.7	3,100	5,310	0.24	2.6×10^{10}
	5	—	2.7	3,600	6,270	0.25	3.5×10^{10}

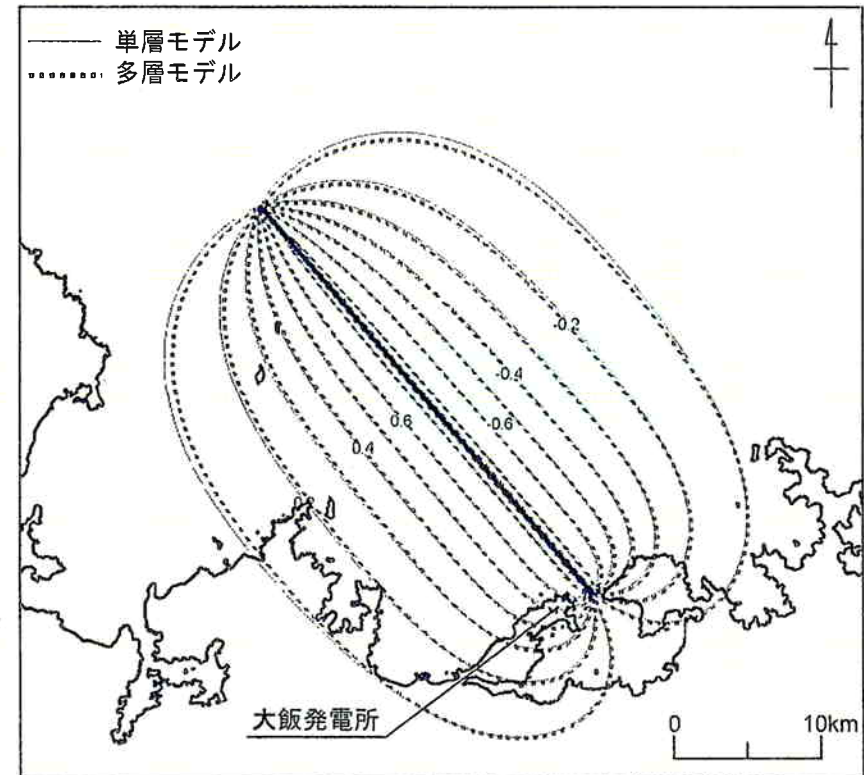
$$V_p/V_s = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \quad \sigma: \text{ポアソン比}$$

$$\mu = \rho \cdot V_s^2 \quad \mu: \text{剛性率}$$

1号機炉心位置での比較

	鉛直変位量 (m)	傾斜量
単層モデル(基本ケース)	0.55	9.57×10^{-5} (1/10,400)
多層モデル	0.57	9.56×10^{-5} (1/10,500)

鉛直変位量分布図



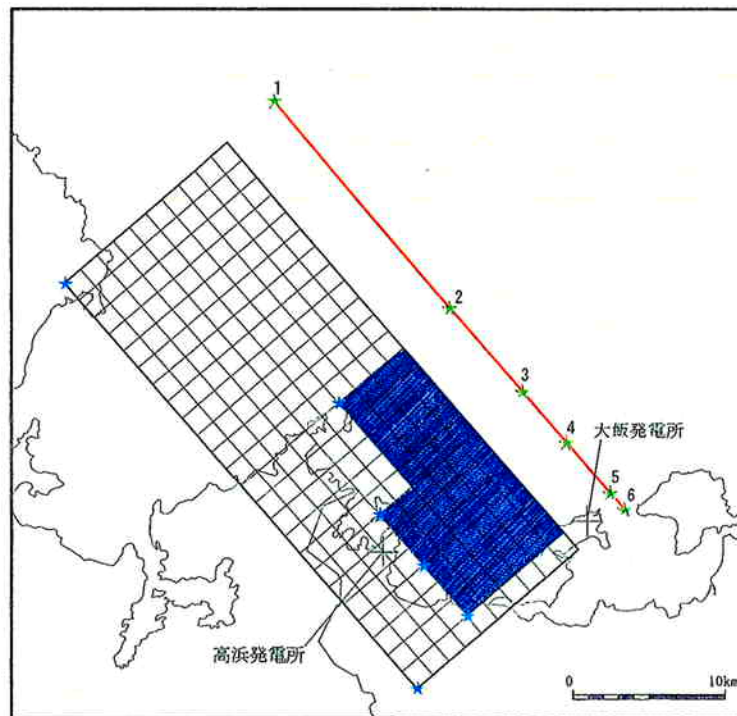
● 単層モデルと多層モデルとの間に有意な差は認められない。

※¹ Okada, Y. (1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, vol.82-2, pp.1018-1040.

※² Wang, R., Martin and F. L., Roth, F. (2003) : Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust - FORTRAN programs EDGRN/EDCMP. Computers and Geosciences, vol.29, pp.195-207.

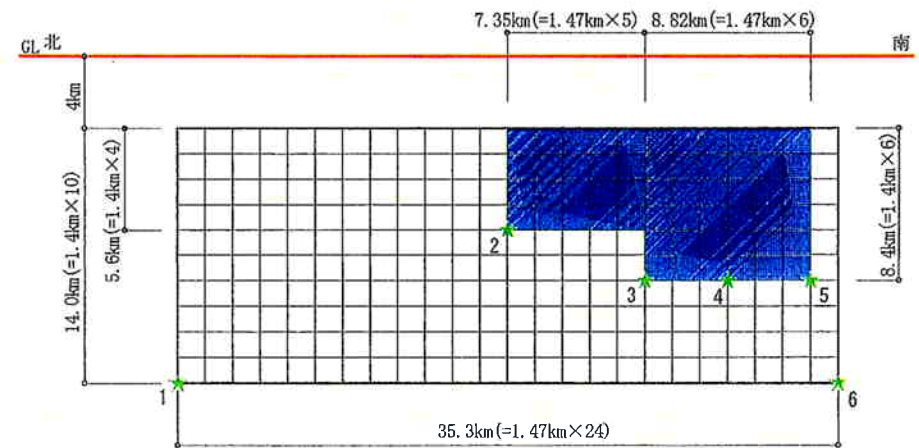
断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

■FO-A～FO-B断層のモデル図



i) 断層配置図

★: 破壊開始点



ii) 断面図

★: 破壊開始点

※モデル図は基本ケースを代表して示す

断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

■FO-A～FO-B断層のパラメータ

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
断層長さL(km)	35	断層位置から計算
断層傾斜角(°)	90	調査結果に基づき設定
断層上端深さ(km)	4	微小地震の発生及び地下構造を参考に設定
断層下端深さ(km)	18	
断層幅W(km)	14	地震発生層と傾斜角から設定
断層面積S(km ²)	494.2	断層面より算定
破壊伝播様式	同心円状	—
地震モーメントM ₀ (Nm)	1.36 × 10 ¹⁹	$M_0 = \{S / (4.24 \times 10^{-11})\}^{2.0}$
剛性率(N/m ²)	3.5 × 10 ¹⁰	$\mu = \rho \beta^2$, $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$, $\beta = 3.6 \text{ km/s}$
平均すべり量D(cm)	78.6	$D = M_0 / (\mu S)$
平均応力降下量 $\Delta \sigma$ (MPa)	3.0	$\Delta \sigma = (7 \pi^{1.5} / 16) (M_0 / S^{1.5})$
破壊伝播速度Vr(km/s)	2.59	$Vr = 0.72 \beta$
立ち上がり時間Tr(sec)	1.04	$Tr = 2.03 \times 10^{-9} M_0^{1/3}$
高周波限界遮断周波数fmax(Hz)	8.3	香川ほか、2003 ※1
短周期レベルA(Nm/s ²)	1.26 × 10 ¹⁹	$A = 2.46 \times 10^{17} \times M_0^{1/3}$
Q値	50f ^{1.1}	佐藤ほか、2007 ※2

※パラメータは基本ケースを代表して示す

断層パラメータ	パラメータ	設定方法
全アスペリティ	面積S _a (km ²)	117.01
	平均すべり量D _a (cm)	157.9
	地震モーメントM _{0a} (Nm)	6.47 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta \sigma_a$ (MPa)	12.7
大アスペリティ	面積S _{a1} (km ²)	78.00
	平均すべり量D _{a1} (cm)	175.0
	地震モーメントM _{0a1} (Nm)	4.78 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta \sigma_{a1}$ (MPa)	12.7
小アスペリティ	面積S _{a2} (km ²)	39.00
	平均すべり量D _{a2} (cm)	123.7
	地震モーメントM _{0a2} (Nm)	1.69 × 10 ¹⁸
	応力降下量 $\Delta \sigma_{a2}$ (MPa)	12.7
背景領域	面積S _b (km ²)	337.19
	平均すべり量D _b (cm)	53.9
	地震モーメントM _{0b} (Nm)	7.12 × 10 ¹⁸
	実効応力 σ_b (MPa)	2.5

検討においては、アスペリティ位置にすべり量175.0cm及び123.7cmを、背景領域にすべり量53.9cmを与えて検討を実施

※1 香川敬生, 鶴来雅人, 佐藤信光 (2003) : 硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討. 土木学会地震工学論文集, p.315.

※2 佐藤智美, 壇一男, 岡崎敦, 羽田浩二 (2007) 若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析. 日本地震学会講演予稿集, p.286.

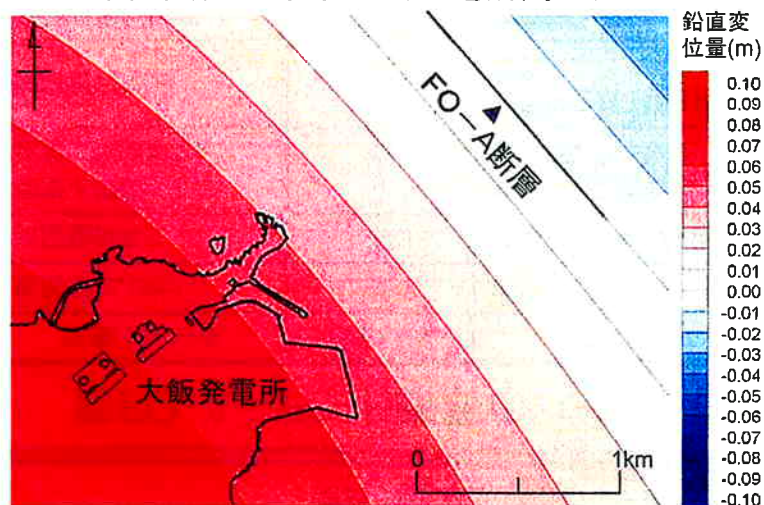
断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

地盤動評価時に設定したF O - A ~ F O - B断層の震源モデルを用いて検討を実施。

位 置	鉛直変位量 (m)	傾斜量
1号機炉心	0.057	1.84×10^{-5} (1/54,300)
2号機炉心	0.059	1.74×10^{-5} (1/57,500)
3号機炉心	0.062	1.51×10^{-5} (1/66,200)
4号機炉心	0.064	1.37×10^{-5} (1/73,000)

● 断層に近い1号機で最大傾斜(約1/54,300)を示す。

鉛直変位量分布図（発電所周辺）

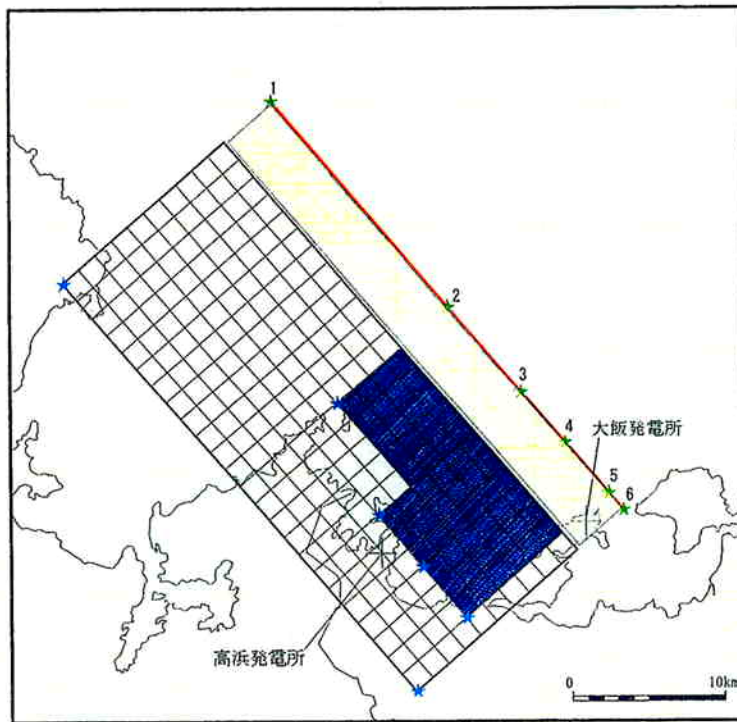


最大傾斜量分布図（発電所周辺）



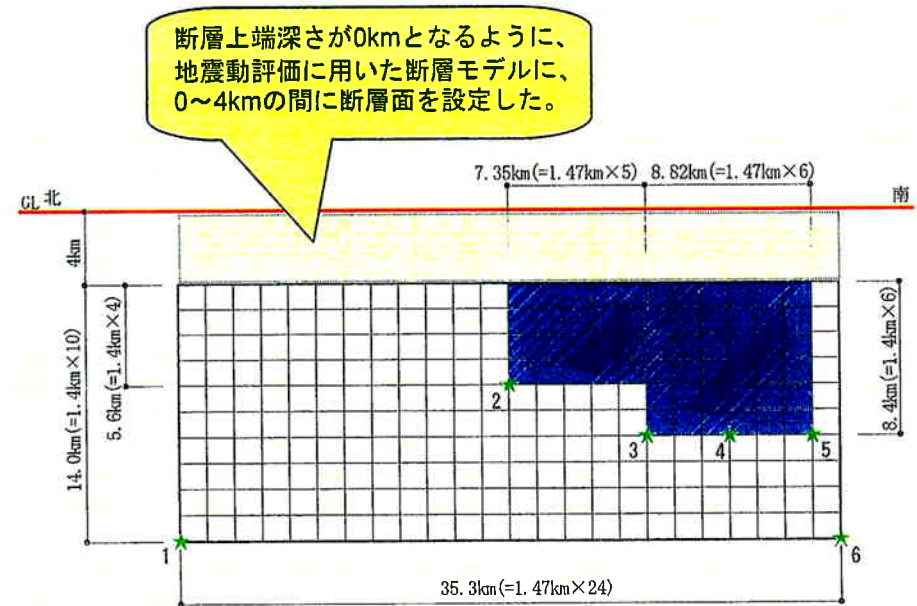
断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

■FO-A～FO-B断層のモデル図（断層上端深さを0kmとする場合）



i) 断層配置図

★：破壊開始点



ii) 断面図

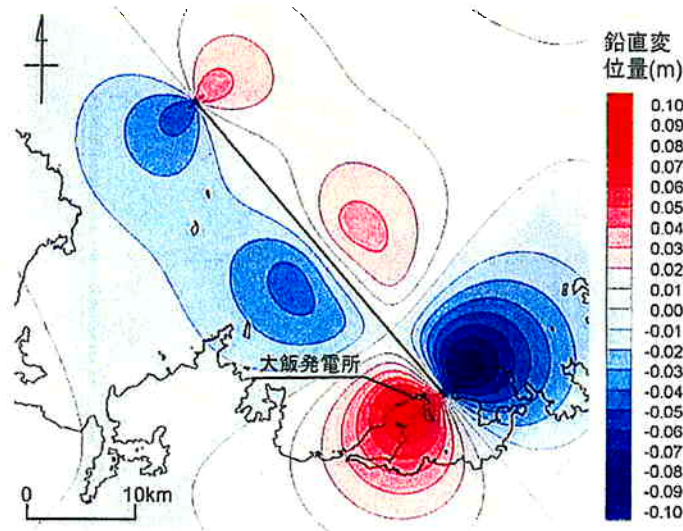
★：破壊開始点

※モデル図は基本ケースを代表して示す

断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

■断層モデルによる検討において、断層上端深さを0kmとした場合の検討結果

鉛直変位量分布図（広域）

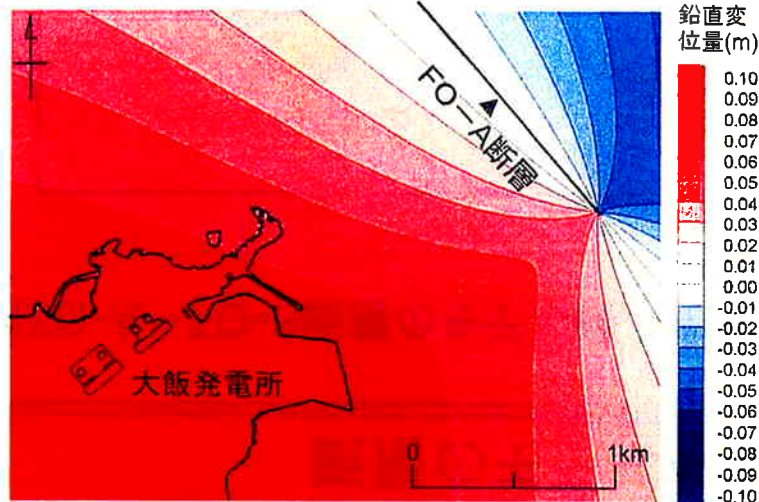


地震動評価時に設定したF OーA～F OーB断層の震源モデルを用いて検討を実施。但し、断層上端深さが0kmとなるように0～4kmに断層面を設定し、その断層面には背景領域のすべり量を与えた。

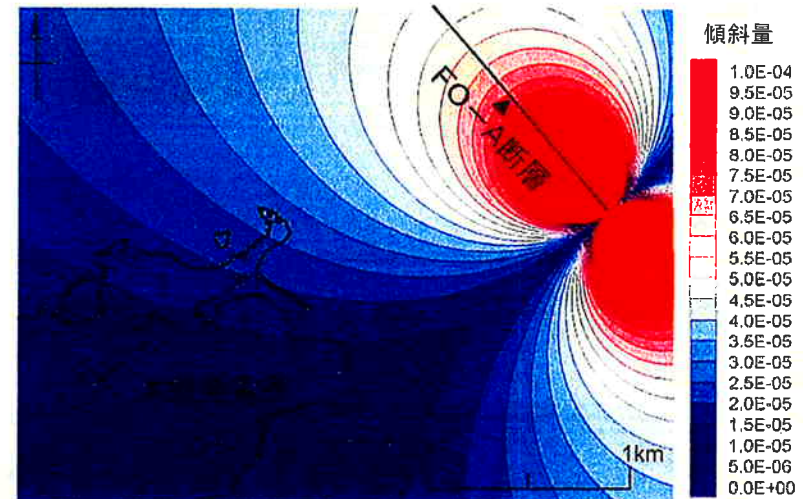
位 置	鉛直変位量 (m)	傾斜量
1号機炉心	0.068	13.67×10^{-6} (1/73,200)
2号機炉心	0.069	12.65×10^{-6} (1/79,100)
3号機炉心	0.071	10.29×10^{-6} (1/97,200)
4号機炉心	0.072	8.99×10^{-6} (1/111,200)

● 断層に近い1号機でも傾斜量約1/73,200と小さい値を示す。

鉛直変位量分布図（発電所周辺）



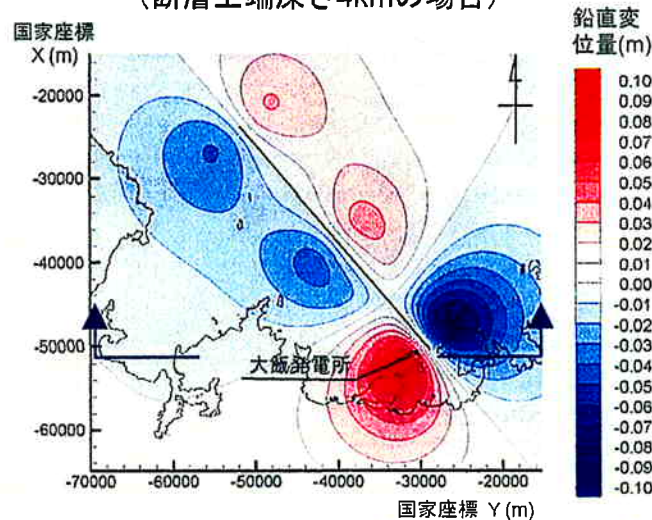
最大傾斜量分布図（発電所周辺）



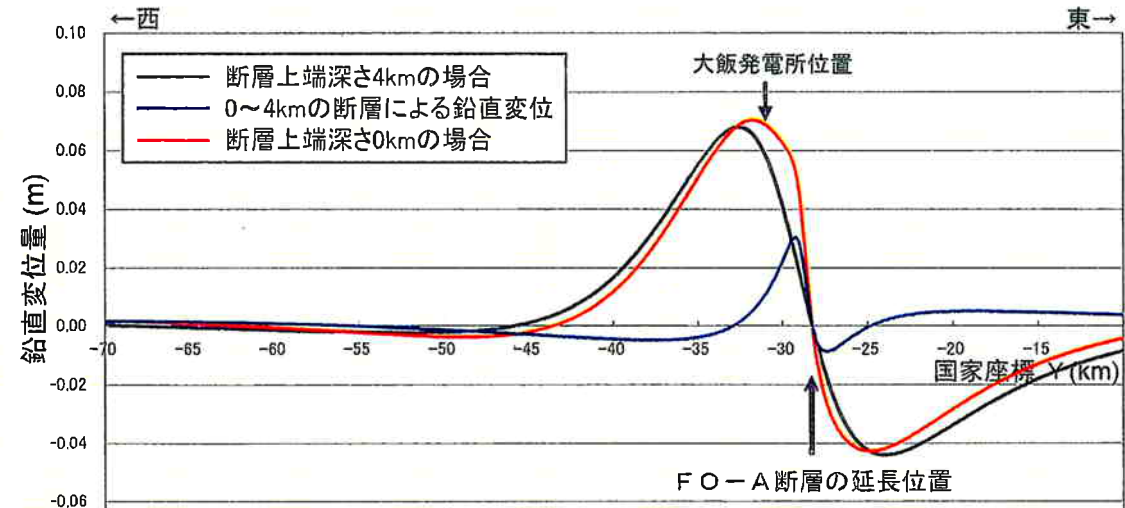
断層のモデルを変えた検討結果【検討⑦】

■断層上端深さ4kmの場合と断層上端深さ0kmの場合の比較

広域の鉛直変位量分布図
(断層上端深さ4kmの場合)



鉛直変位量分布図（大飯発電所を通る東西断面）

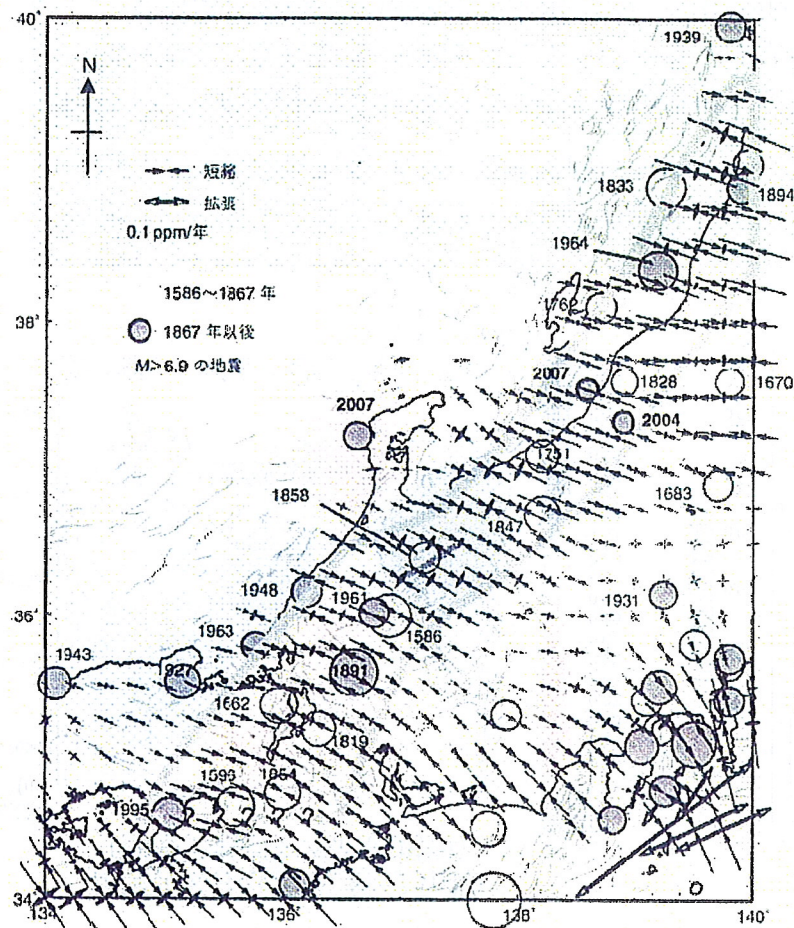


- 断層上端深さ0kmの場合の検討を実施したところ、断層上端深さ4kmの場合の結果と比較して、大飯発電所における鉛直変位量（隆起量）は大きくなったが、傾斜量は小さくなった。
- 断層上端深さ0kmの場合の鉛直変位量は、断層上端深さ4kmの場合の鉛直変位量に、0～4kmに設定した断層による鉛直変位量を足したものとなったため、大きくなった。
[(断層上端深さ4kmの場合の鉛直変位) + (0～4kmの断層による鉛直変位) = (断層上端深さ0kmの場合の鉛直変位)]
- 断層上端深さ0kmの場合の傾斜量については、大飯発電所付近において、断層上端深さ4kmの場合の傾斜の方向と、0～4kmに設定した断層による傾斜の方向が異なったため、小さくなった。

P軸の検討範囲を変えた場合の検討結果【追加検討: 検討⑧】

■若狭湾付近における広域応力場を示した既往研究例

【①鷲谷威 (2007)】



鷲谷 (2007) は、国土地理院が整備したGPS観測網で得られた地殻変動速度を用いて、新潟ー神戸ひずみ集中帯におけるひずみ速度の分布を整理し、若狭湾付近における圧縮軸の方向は西北西ー東南東として図示している。

【②新編日本の活断層 (1991)】

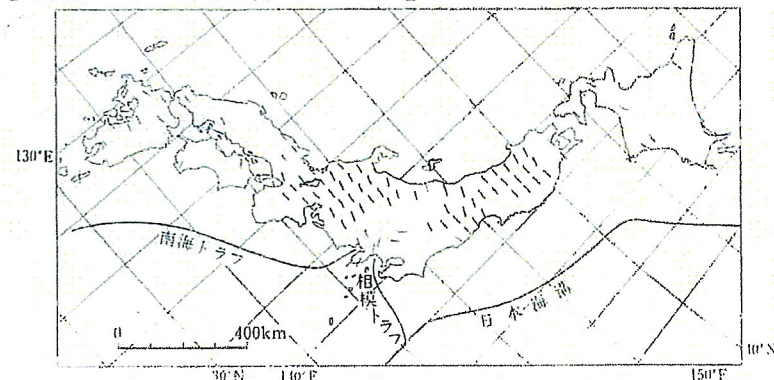


図6 陸上活断層から求めた水平最大圧力軸の方位の分布

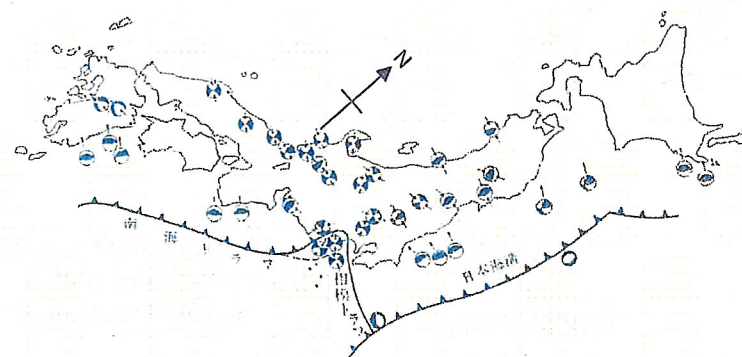


図7 地震の発震機構 (岡田・安野, 1979)

1926年以後の地震につき、内陸ではマグニチュード6.5、プレート沈み込み地震(太平洋岸)ではマグニチュード7.5を下限として、しかも精度のよいものは適宜加えてある。震源球の下半球に投影し、黒色の部分がP(観測点で)、白色の部分がT(引張)として表現してある。4象限の形で震源断層型、黒が中央に位置しているのが逆断層型、白が中央に位置しているのが正断層型の震源断層を示す。

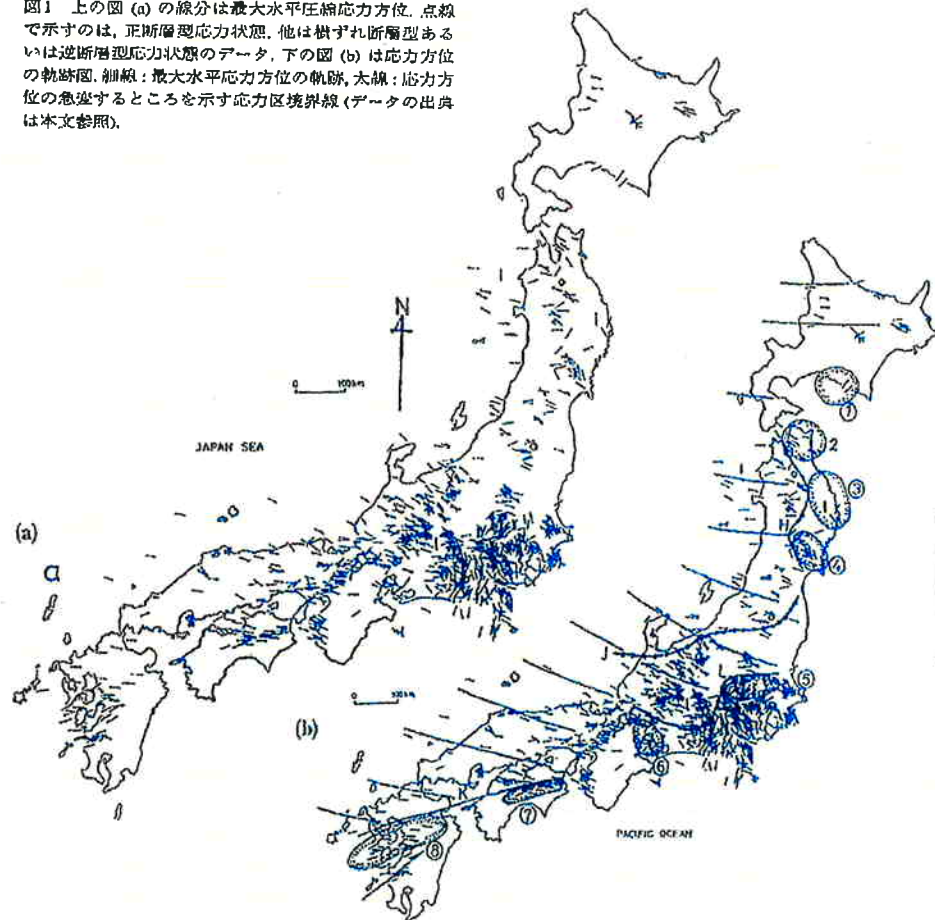
新編日本の活断層 (1991) は、活断層の型の分布から水平最大圧力軸の方位を図示しており、若狭湾周辺では西北西ー東南東方向であるとしている。また、この方位分布は、浅い地震の発震機構から求められる水平最大圧力方位ともよく対応している、と記載している。

P軸の検討範囲を変えた場合の検討結果【追加検討：検討⑧】

■若狭湾付近における広域応力場を示した既往研究例

【③塚原（1999）】

図1 上の図 (a) の線分は最大水平圧縮応力方位。点線で示すのは、正断層型応力状態。他は横ずれ断層型あるいは逆断層型応力状態のデータ。下の図 (b) は応力方位の軌跡図。細線：最大水平応力方位の軌跡。太線：応力方位の急変するところを示す応力区境界線（データの出典は本文参照）。



塚原（1999）は、中小の浅発地震（震源深度 $\leq 35\text{km}$ ）の発震機構解および地殻応力測定データを収集し、若狭湾周辺の最大水平圧縮軸応力方向は西北西—東南東方向であるとしている。

※文献名

①鷲谷威(2007):「ひずみ集中帯」とは何か, 科学, Vol.77, No.11, 1200-1205

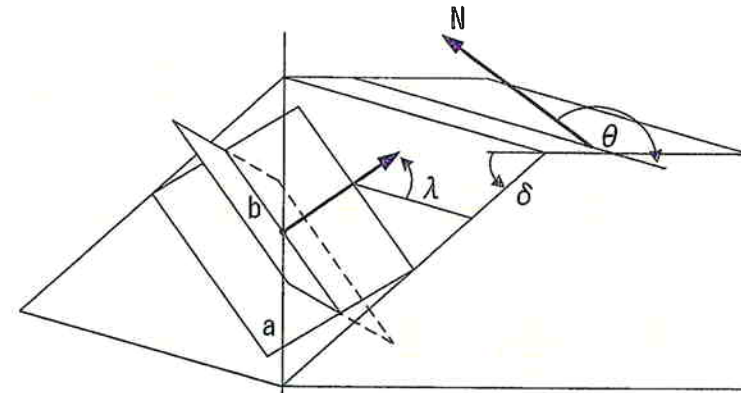
②新編日本の活断層(1991): 日本の活断層図(1/200万分の1) 解説, 活断層研究会編

③塚原(1999): 日本列島の現在の地殻応力場, 月刊地球, Vol.21, No.10, 660-666

P軸の検討範囲を変えた場合の検討結果【追加検討：検討⑧】

■FO-A～FO-B断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜に関する検討におけるP軸の検討範囲について

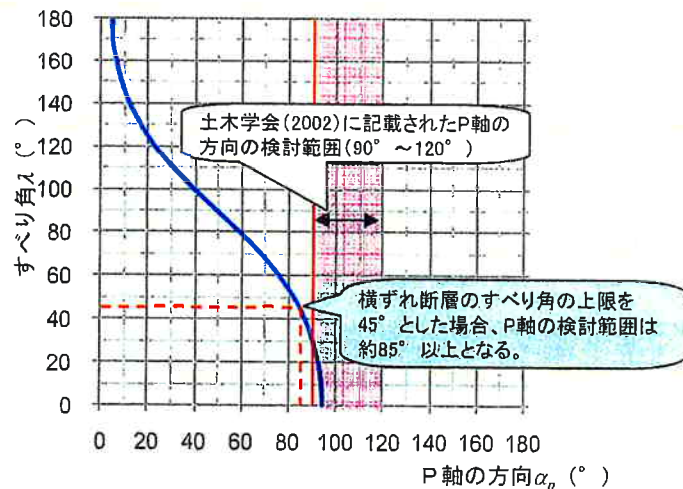
「すべり角は、発震機構の原理に基づき、活断層周辺の応力場と走向・傾斜角から幾何学的に推定できる。主圧力軸(P軸)と主張力軸(T軸)は2枚の節面から45°の傾きをもち、スリップベクトルは補助面(実際の断層面でない節面)の法線の方に一致する。」 [土木学会(2002)]



$$\tan \alpha_p = \frac{\sin \delta \cos \theta - \cos \lambda \sin \theta + \cos \delta \sin \lambda \cos \theta}{-\sin \delta \sin \theta - \cos \lambda \cos \theta - \cos \delta \sin \lambda \sin \theta}$$

α_p : P軸の方向[北から時計回りの角度]
 δ : 断層の傾斜角
 θ : 断層の走向
 λ : すべり角

【FO-A～FO-B断層(走向: $\theta=139^\circ$, 傾斜角: $\delta=90^\circ$)の場合】

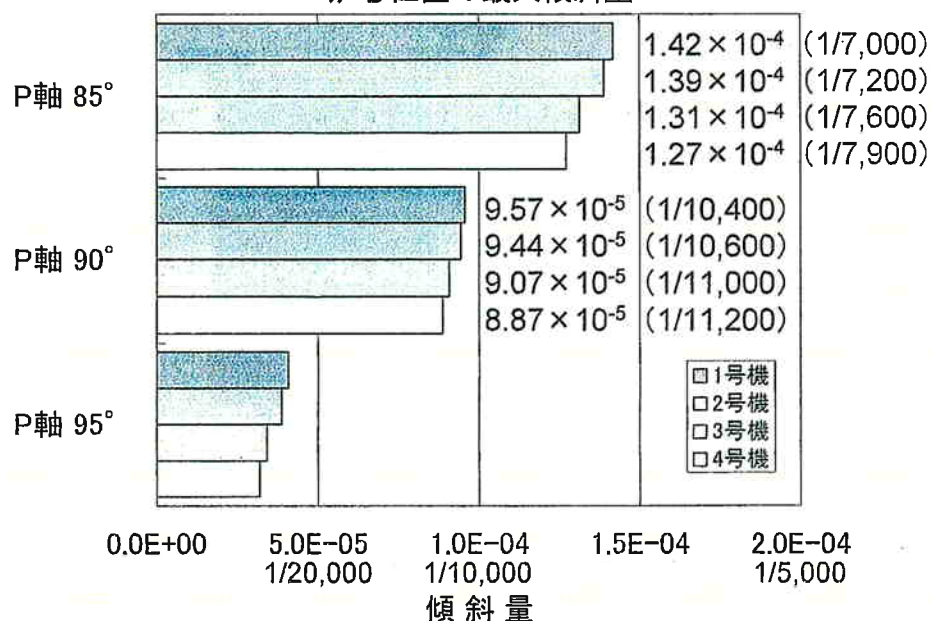


- ・FO-A～FO-B断層は左横ずれ断層である。
- ・文献等に記載された若狭湾周辺における広域応力場の圧縮軸(P軸)の方向はいずれも西北西－東南東方向とされている。
 また、土木学会(2002)も若狭湾周辺のP軸の範囲を90～120°としている。
- ・したがって、FO-A～FO-B断層の活動に伴う地盤の変位・傾斜に関する検討では、P軸の検討範囲は90～120°を基本とするが、横ずれ断層のすべり角の上限を45°とした場合、P軸の検討範囲は85°以上となるため、P軸85°を不確かさとして検討。

P軸の検討範囲を変えた場合の検討結果【追加検討: 検討⑧】

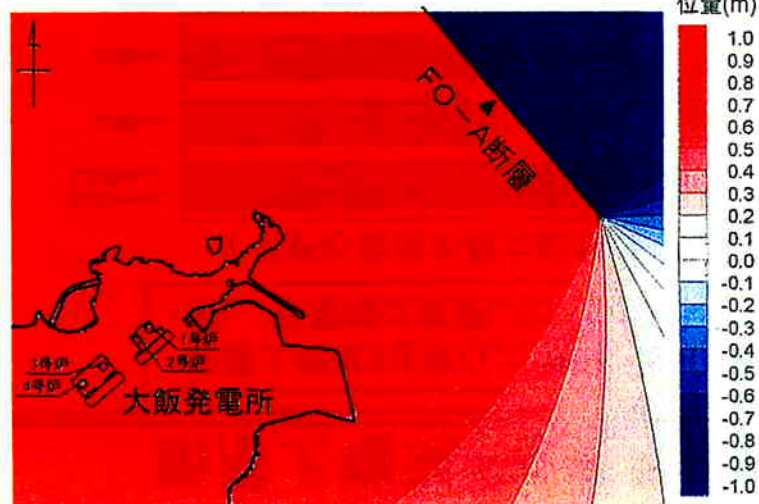
■P軸の方向を85°とした場合の検討結果

炉心位置の最大傾斜量

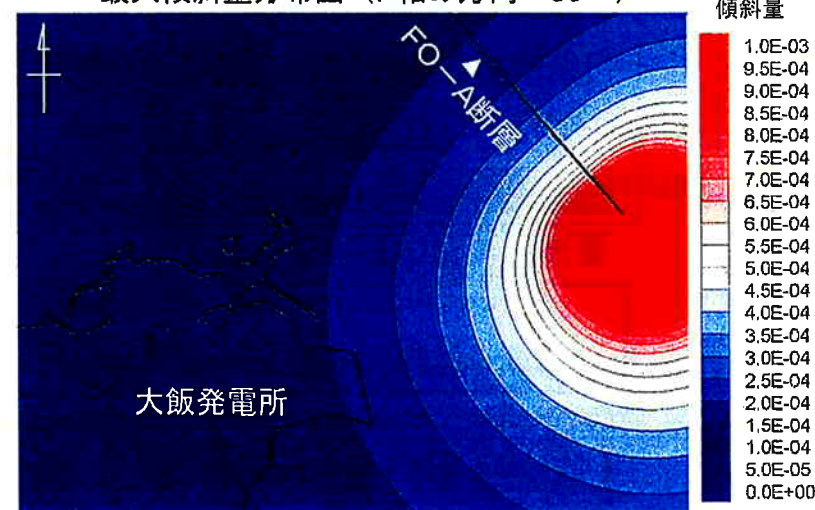


- P軸の方向 85° の場合、1号機で約1/7,000の傾斜量となる。
- これまでの検討結果の最大傾斜量の約1/7,600とほぼ同等。

鉛直変位量分布図 (P軸の方向=85°)



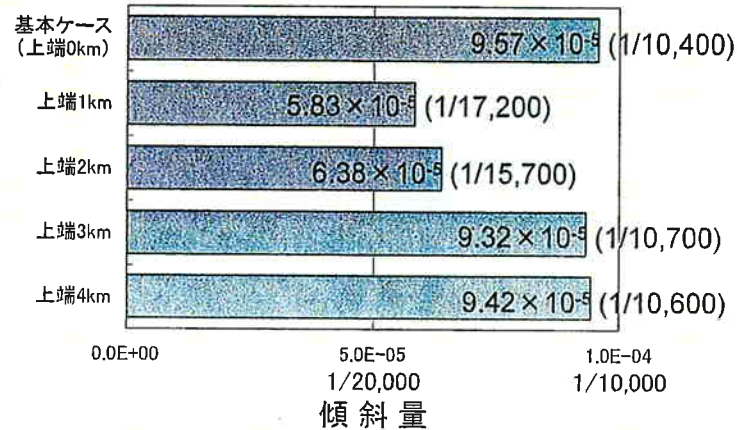
最大傾斜量分布図 (P軸の方向=85°)



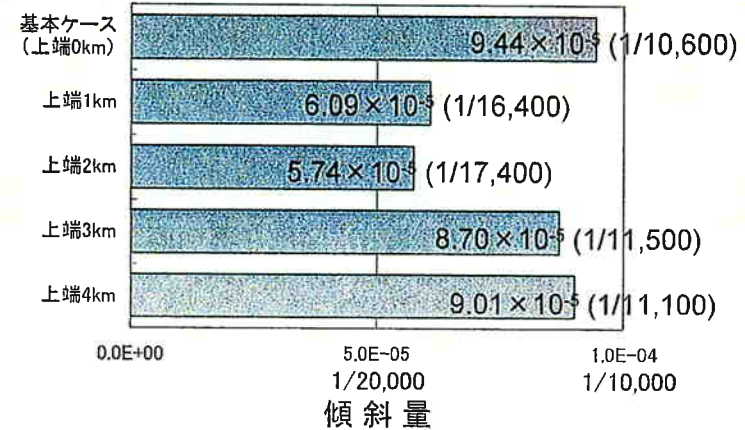
断層上端深さを変えた検討結果【追加検討：検討⑨】

- ・断層上端深さを深くした検討(1km, 2km, 3km, 4kmの4ケース深さで検討)を実施。
- ・但し、断層幅は変更しないものとした。

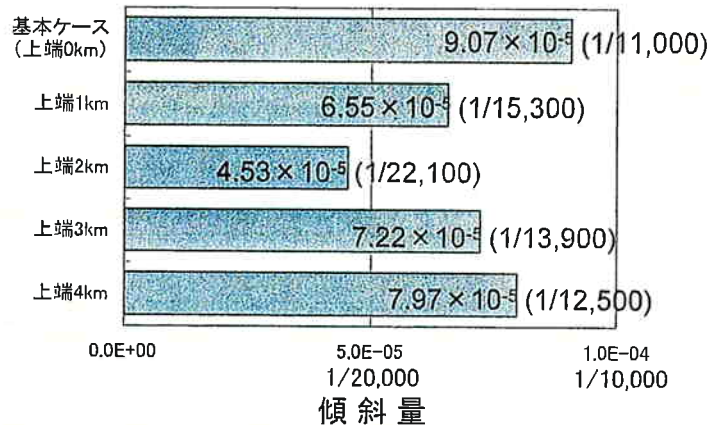
1号炉心位置の最大傾斜量



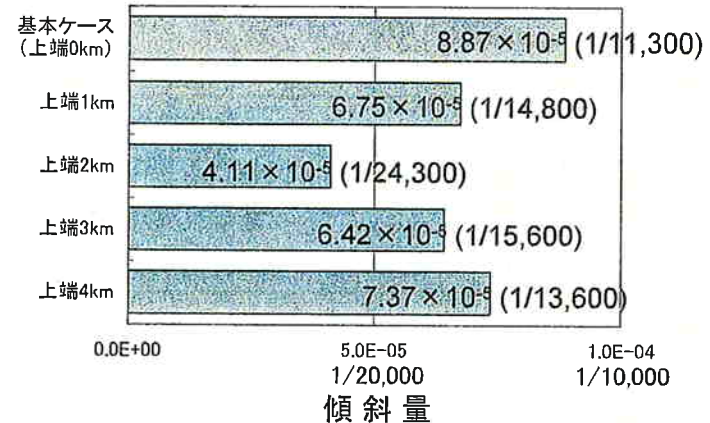
2号炉心位置の最大傾斜量



3号炉心位置の最大傾斜量



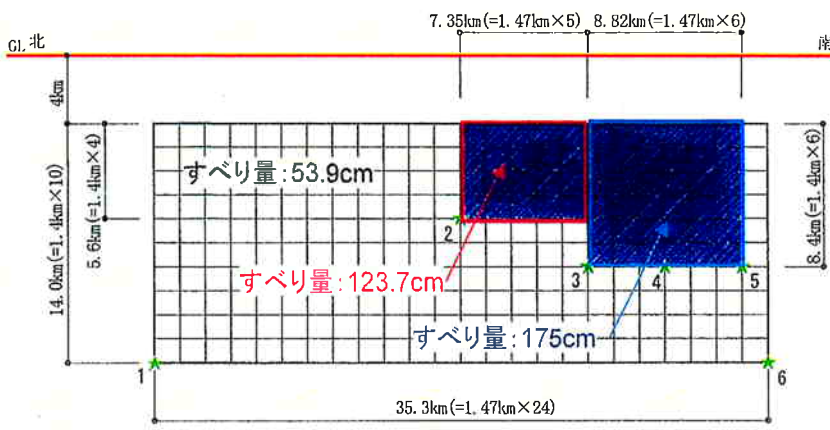
4号炉心位置の最大傾斜量



- 全ての号機において、基本ケースである断層上端深さ0kmのケースの傾斜が最大傾斜量となる。

断層上端深さを変えた検討結果【追加検討: 検討⑨】

■地震動評価に用いた断層モデルによる検討結果との比較

検討⑨の内、上端深さ4kmとした場合	地震動評価に用いた断層モデル(検討⑦)
	
- 断層に近い1号機で最大傾斜約1/10,600を示し、基本ケース(上端深さ0km、最大傾斜約1/10,400)と大差は無い。 - 上端深さ3km(最大傾斜約1/10,700)と4kmにおける結果に大差は無い。(前ページ)	- 断層に近い1号機で最大傾斜約1/54,300を示す。 - 検討⑨で上端深さを変更した場合の結果を踏まえると、地震動評価に用いた断層モデルの上端深さを3kmとしても結果には大差は無いと考えられる。

ま と め

- 食い違いの弾性論により、FO-A～FO-B断層が活動した場合の大飯発電所での地盤変位・傾斜について検討を実施した。
- 土木学会「原子力発電所の津波評価技術」を参考に設定した条件をもとに、断層長さ、断層幅等を変えた検討等を実施した結果、原子炉建屋位置での勾配は 1/7,000程度である。
- FO-A～FO-B断層の活動に伴い大飯発電所に想定される地盤変位・傾斜は、十分小さく、施設の安全性に影響を与えるものではないと考えられる。

引用文献

- ・若狭湾周辺地域原子力発電所(敦賀発電所、高速増殖原型炉もんじゅ、美浜発電所、大飯発電所及び高浜発電所)に係る耐震設計審査指針の改訂に伴う耐震安全性評価(活断層等に係る評価の中間的整理)(案)、平成21年8月31日、原子力安全・保安院
- ・活断層研究会編(1991):新編日本の活断層 分布図と資料、東京大学出版会
- ・岡田・東郷編(2000):近畿の活断層、東京大学出版会
- ・池田他編(2002):第四紀逆断層アトラス、東京大学出版会
- ・中田・今泉編(2002):活断層詳細デジタルマップ、東京大学出版会
- ・海上保安庁水路部(1980):沿岸の海の基本図(5万分の1)「若狭湾東部」及び同報告書
- ・海上保安庁水路部(1980):沿岸の海の基本図(5万分の1)「若狭湾西部」及び同報告書
- ・地質調査所(1985):50万分の1活構造図「岡山」
- ・地質調査所(1985):50万分の1活構造図「金沢」
- ・地質調査所(2002):50万分の1活構造図「京都(第2版)」
- ・地質調査所(2000):20万分の1海洋地質図「ゲンタツ瀬海底地質図」及び同説明書
- ・地質調査所(1993):20万分の1海洋地質図「経ヶ岬沖海底地質図」及び同説明書
- ・日本原電 敦賀発電所:敦賀発電所 原子炉設置変更許可申請書(3号及び4号原子炉の増設)、平成16年3月、日本原子力発電株式会社
- ・福井県(1997):柳ヶ瀬断層帯(甲楽城断層、山中断層)に関する調査報告書、福井県
- ・田中・小草(1981):山陰沖における中期中新世以降の構造運動, 地質学雑誌, Vol.87, No.11, p.725-736
- ・地震調査研究推進本部地震調査委員会(2005):三峠・京都西山断層帯の長期評価について
- ・狩野謙一・村田明広(1998):構造地質学, 朝倉書店
- ・町田洋・新井房夫(2003):新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺-, 東京大学出版会
- ・都市圏活断層図「熊川」(2005):2.5万分の1都市圏活断層図「熊川」、国土地理院
- ・Itoh,et.al(2002):Active right-lateral strike-slip fault zone along the southern margin of the Japan Sea, Tectonophysics, Vol.351, p.301-314
- ・日本地質学会編(2006):日本地方地質誌「中部地方」、朝倉書店
- ・大飯発電所 原子炉設置変更許可申請書(3, 4号炉増設)、昭和60年2月、関西電力株式会社

- ・土木学会 原子力土木委員会 津波評価部会(2002):原子力発電所の津波評価技術
- ・松田時彦(1975):活断層から発生する地震の規模と周期について. 地震 第2輯, vol.28, pp.269-283.
- ・佐藤良輔(1989):日本の地震断層パラメーター・ハンドブック
- ・地震調査研究推進本部(2008):震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レンピ」)
- ・武村雅之(1998):日本列島における地殻内地震のスケーリング則—地震断層の影響および地震被害との関連—, 地震 第2輯, vol.51, pp.211-228.
- ・Kanamori,H(1977):The energy release in great earthquakes, Journal of Geophysical Research, Vol.82, No.20, pp.2981-2987
- ・Okada, Y. (1992): Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, vol.82-2, pp.1018-1040.
- ・Wang, R., Martin and F. L., Roth, F. (2003) :Computation of deformation induced by earthquakes in a multi-layered elastic crust – FORTRAN programs EDGRN/EDCMP.Computers and Geosciences, vol.29, pp.195-207.
- ・香川敬生,鶴来雅人,佐藤信光(2003):硬質サイトの強震観測記録に見られる高周波低減特性の検討. 土木学会地震工学論文集, p.315.
- ・佐藤智美,壇一男,岡崎敦,羽田浩二(2007)若狭湾周辺の地殻内地震の記録を用いたスペクトルインバージョン解析. 日本地震学会講演予稿集, p.286.
- ・鷺谷威(2007):「ひずみ集中帯」とは何か, 科学, Vol.77, No.11, 1200-1205
- ・塚原(1999):日本列島の現在の地殻応力場, 月刊地球, Vol.21, No.10, 660-666