

原子力発電所の外部電源の信頼性確保に係る開閉所等の
地震影響評価結果について

関西電力株式会社

平成23年7月

目 次

1. はじめに.....	1
2. 指示事項	1
3. 東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の設備損傷状況と 地震観測結果の分析.....	1
4. 当社の影響評価対象設備について.....	1
5. 開閉所設備等の影響評価手法	3
6. 評価結果	4
7. 今後の対応について	7

1. はじめに

平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震による揺れで、福島第一原子力発電所内の開閉所における空気遮断器等に損傷が発生したことを受け、平成23年6月7日に発出された経済産業省原子力安全・保安院指示文書「原子力発電所等の外部電源の信頼性確保に係る開閉所等の地震対策について(指示)」(平成 23・06・07 原院第 1 号)に基づき、当社、原子力発電所の開閉所等の電気設備が機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性についての影響評価等について、検討結果を報告するものである。

2. 指示事項

(1)平成23年東北地方太平洋沖地震により東京電力株式会社福島第一原子力発電所において観測された地震観測記録の分析結果を踏まえ、一般電気事業者等の原子力発電所等において開閉所等の電気設備が機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性についての影響評価。

なお、この評価に当たっては、基準とする開閉所等に係る地表面における地震力を各原子力発電所等において設定し、電気設備に生ずる応力を解析により求め、当該電気設備の構造強度との比較により評価を行うこと。

(2)上記(1)において機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性があるとして評価された場合、当該設備に対する地震対策の策定

3. 東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の設備損傷状況と地震観測結果の分析

(1) 東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の設備損傷状況

平成23年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震により、福島第一原子力発電所の1号機用大熊線1号線受電用遮断器及び2号機用大熊線2号線受電用遮断器・断路器に被害が発生した。

(2) 東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の地震観測結果の分析

前述の遮断器等の設置箇所における加速度の観測記録はないものの、福島第一原子力発電所の原子炉建屋基礎版上でNS方向、EW方向、UD方向の最大加速度(ガル)として、1号機では 258～460、2号機では 302～550 という数値が観測されている。また、自由地盤系地表面ではNS方向、EW方向、UD方向の最大加速度(ガル)として、南地点では 326～600、北地点では 239～699 という数値が観測されている。

4. 当社の影響評価対象設備について

今回の福島第一原子力発電所の1号機及び2号機の遮断器等の損傷を踏まえ、当社原子力発電所における同様の開閉所設備について影響評価を行う(表1)。また、原子力発電所においては、開閉所設備で受電した後に電圧を変換する変圧器があり、これについても大型機器であることから、地震による強い加震力を想定した場合に倒

壊、転倒しないことについても同様に評価することとした(表2)。

表1 当社原子力発電所の開閉所設備における影響評価対象設備について

発電所	号機	電圧階級	仕様
美浜発電所	1, 2号	275kV	気中(ガス)
	3号	275kV	GIS
	1~3号	77kV	気中(ガス)
高浜発電所	1~4号	500kV	GIS
		77kV	GIS
大飯発電所	1~4号	500kV	GIS
	1, 2号	77kV	GIS

表2 当社原子力発電所の変圧器設備における影響評価対象設備*について
(※外部電源受電に必要な変圧器を対象としている。)

発電所	号機	変圧器名称	電圧
美浜発電所	1号	主変圧器	262.5/17kV
		所内変圧器	17/6.9kV
	1, 2号	起動変圧器	262.5/6.9kV
	1~3号	予備変圧器	77/6.9kV
	3号	主変圧器	275/22kV
		A 所内変圧器	22/6.9kV
		B 所内変圧器	22/6.9kV
起動変圧器		262.5/6.9kV	
高浜発電所	1号	主変圧器	262.5/22kV
		昇圧変圧器	525/275kV
		A 所内変圧器	22/6.9kV
		B 所内変圧器	22/6.9kV
	1, 2号	A 起動変圧器	262.5/6.9kV
		B 起動変圧器	262.5/6.9kV
		降圧変圧器	525/275kV
	1~4号	予備変圧器	77/6.9kV
	2号	主変圧器	275/22kV
		昇圧変圧器	525/275kV
A 所内変圧器		22/6.9kV	
B 所内変圧器		22/6.9kV	

発電所	号機	変圧器名称	電圧
高浜発電所	3号	主変圧器	509.375/23kV
		所内変圧器	23/6.9kV
		起動変圧器	509.375/6.9kV
	4号	主変圧器	509.375/23kV
		所内変圧器	23/6.9kV
		起動変圧器	509.375/6.9kV
大飯発電所	1号	主変圧器	515/24kV
		所内変圧器	24/6.9kV
	2号	主変圧器	515/24kV
		所内変圧器	24/6.9kV
	1, 2号	A 起動変圧器	515/6.9kV
		B 起動変圧器	515/6.9kV
		予備変圧器	77/6.9kV
	3号	主変圧器	515/24kV
		所内変圧器	24/6.9kV
	4号	主変圧器	515/24kV
		所内変圧器	24/6.9kV
	3, 4号	予備変圧器	515/6.9kV

5. 開閉所設備等の影響評価手法

原子力発電所においては、開閉所設備と変圧器は耐震重要度上 C クラスであり、一般産業施設と同等の安全性を保持すればよいものという位置づけである。しかし、今回福島第一原子力発電所で観測された地震波形の応答スペクトルにおいて、がいし設備の共振領域である 0.5Hz～10Hz程度にピークが確認されたことから、従来より、地震の応答スペクトルとそれに対する機器の共振も考慮しているJEAG5003(変電所等における電気設備の耐震設計指針)による評価をまずは実施し、設計上の裕度を確認することとした。

(1) 開閉所設備

開閉所設備は、機器下端には $3m/s^2$ 共振正弦3波を入力し、動的評価を実施している。これは地表面への $3m/s^2$ 共振正弦2波入力に、基礎の存在による加速度増倍率 1.2 と鉛直加速度、接続導体等による不確定要因 1.1 を考慮し従来から一般的に使用している3波に換算したものである。

地表面加速度として想定している $3m/s^2$ については、過去 75 年の地震の 98% 程度を包絡している。一方、地表面への共振正弦2波入力に相当する応答倍率 4.7 では、過去の大規模地震データの約 93% 程度を包絡しており、共振正弦3波入力に相当する応答倍率 6.1 であれば、ほぼ全てのデータが含まれている。

(2) 変圧器設備

JEAG5003では、静的 5m/s^2 の入力で倒壊しない(基礎ボルトがせん断しない)ことを評価している。

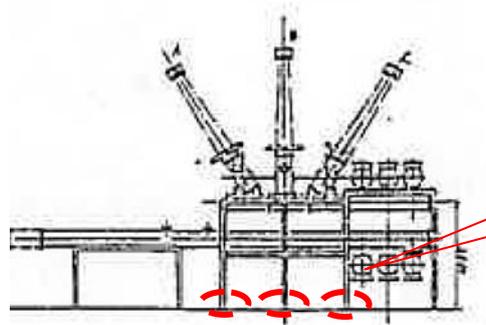
東北地方太平洋沖地震による福島第一原子力発電所の地震観測結果では、原子炉建屋基礎版上の最大加速度(ガル)として、1号機では $258\sim 460\text{gal}$ 、2号機では $302\sim 550\text{gal}$ 、自由地盤系地表面では $239\sim 699\text{gal}$ だったものの、変圧器本体は固有振動数が 15Hz 以上と高く、地震観測結果の加速度のピークからは外れていることから、静的 5m/s^2 を評価に用いることとしている。

6. 評価結果

4項で抽出した当社原子力発電所における開閉所設備、変圧器設備について、JEAG5003の手法による評価上の裕度を表3、4に示す。

表3 当社原子力発電所の開閉所設備に対する評価結果について

発電所	号機	電圧階級	仕様	裕度	評価部位
美浜発電所	1, 2号	275kV	気中(ガス)	1.40	断路器がいし
	3号	275kV	GIS	1.30	ブッシング
	1~3号	77kV	気中(ガス)	3.20	G C Bがいし
高浜発電所	1~4号	500kV	GIS	1.80	ブッシング
		77kV	GIS	1.63	ブッシング
大飯発電所	1~4号	500kV	GIS	2.25	ブッシング
	1, 2号	77kV	GIS	1.63	ブッシング



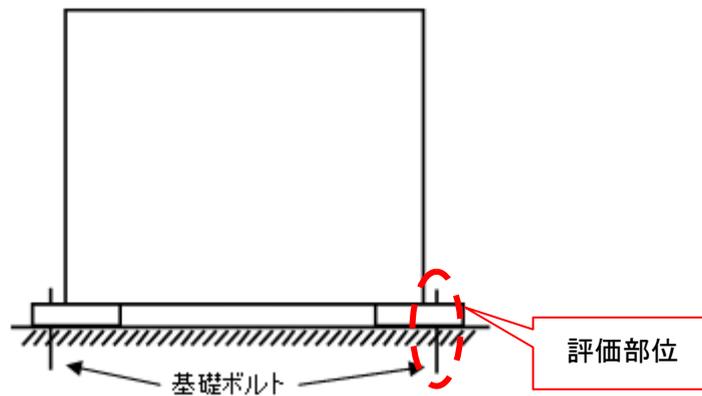
評価の結果裕度が最も小さい部位

275kV GISユニット

表4 当社原子力発電所の変圧器設備に対する評価結果について

発電所	号機	変圧器名称	電圧	裕度	評価部位
美浜発電所	1号	主変圧器	262.5/17kV	1.84	基礎ボルト
		所内変圧器	17/6.9kV	3.94	基礎ボルト
	1, 2号	起動変圧器	262.5/6.9kV	2.08	基礎ボルト
	1~3号	予備変圧器	77/6.9kV	3.78	基礎ボルト
	3号	主変圧器	275/22kV	1.65	基礎ボルト
		A 所内変圧器	22/6.9kV	3.99	基礎ボルト
		B 所内変圧器	22/6.9kV	4.59	基礎ボルト
		起動変圧器	262.5/6.9kV	2.54	基礎ボルト
高浜発電所	1号	主変圧器	262.5/22kV	1.65	基礎ボルト
		昇圧変圧器	525/275kV	2.04	基礎溶接部
		A 所内変圧器	22/6.9kV	3.82	基礎ボルト
		B 所内変圧器	22/6.9kV	4.95	基礎ボルト
	1, 2号	A 起動変圧器	262.5/6.9kV	2.47	基礎ボルト
		B 起動変圧器	262.5/6.9kV	2.27	基礎ボルト
		降圧変圧器	525/275kV	7.15	基礎溶接部
	1~4号	予備変圧器	77/6.9kV	2.81	基礎ボルト
	2号	主変圧器	275/22kV	1.55	基礎ボルト
		昇圧変圧器	525/275kV	2.04	基礎溶接部
		A 所内変圧器	22/6.9kV	4.03	基礎ボルト
		B 所内変圧器	22/6.9kV	4.95	基礎ボルト
	3号	主変圧器	509.375/23kV	3.01	基礎溶接部
		所内変圧器	23/6.9kV	3.52	基礎ボルト
		起動変圧器	509.375/6.9kV	2.34	基礎溶接部
	4号	主変圧器	509.375/23kV	3.01	基礎溶接部
所内変圧器		23/6.9kV	3.52	基礎ボルト	
起動変圧器		509.375/6.9kV	2.34	基礎溶接部	

発電所	号機	変圧器名称	電圧	裕度	評価部位
大飯発電所	1号	主変圧器	515/24kV	1.74	基礎ボルト
		所内変圧器	24/6.9kV	2.67	基礎ボルト
	2号	主変圧器	515/24kV	1.51	基礎ボルト
		所内変圧器	24/6.9kV	2.67	基礎ボルト
	1, 2号	A 起動変圧器	515/6.9kV	2.05	基礎ボルト
		B 起動変圧器	515/6.9kV	2.05	基礎ボルト
		予備変圧器	77/6.9kV	2.30	基礎ボルト
	3号	主変圧器	515/24kV	1.86	基礎溶接部
		所内変圧器	24/6.9kV	2.83	基礎溶接部
	4号	主変圧器	515/24kV	1.86	基礎溶接部
		所内変圧器	24/6.9kV	2.83	基礎溶接部
	3, 4号	予備変圧器	515/6.9kV	7.38	基礎溶接部



変圧器評価の概念図

ここで、評価結果の裕度に対する見方であるが、開閉所設備については、5-(1)における応答倍率 6.1 で過去の地震データをほぼ含んでいることを踏まえ、現在の評価結果において、裕度が1.3以上であれば、過去の大規模地震を考慮しても、機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性は低いものと見なすことができる。また、変圧器については5-(2)において、固有振動数を外れていることから裕度が1以上であれば、機能不全となる倒壊、損傷等が発生する可能性は低いものと見なすことができる。

7. 今後の対応について

今回開閉所設備と変圧器については、JEAG5003-2010 の手法にて評価した。

今回の評価結果で、一番厳しいところとして、美浜 3 号機の開閉所(275kV GIS)の裕度が 1.30 となっているが、今回の検討の起因となっている福島第一発電所内の開閉所設備においても、空気しゃ断器ならびに気中断路器の一部に損傷は見られたものの、ガス絶縁開閉設備(GIS)にかかる損傷は報告されていないことや、外部電源からの受電ラインの多様性として、77kV 予備変圧器からの受電ラインについては裕度が満足されていることにより、現状においても信頼性は確保されていると考えている。

なお、この 77kV 予備変圧器からの受電ラインについては、既に 5 月 16 日に報告した“外部電源の津波に対する信頼性向上対策”により、外部電源からの受電の更なる信頼性向上の観点から、中長期的な対策を検討していくこととしており、今後、GIS 化リプレーも計画しているところである。

今後、福島第一原子力発電所の1号機、2号機における遮断器等の損傷については、その応答スペクトルと損傷モード等、不明な点もあり、東京電力においてその詳細評価が行われると聞いており、その評価結果に基づく新たな知見の反映要否を含めて、別途最終報告することとしたい。

以上