

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(報告)

平成23年7月7日

東京電力株式会社

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、検討状況を報告するものです。

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
柏崎刈羽 原子力発電所	1～7号機	500kV	GIS
		154kV	気中遮断器(ガス)
		66kV	GIS
福島第二 原子力発電所	1～4号機	500kV	GIS
		500kV	気中遮断器(空気)
		66kV	GIS
		66kV	気中遮断器(ガス)

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

発電所	号機	変圧器名称	電圧	
柏崎刈羽 原子力発電所	1～7号機	1号高起動変圧器(1号機)	500/66kV	
		2号高起動変圧器(5号機)	500/66kV	
		3号高起動変圧器(4号機)	500/66kV	
		予備変圧器	154/66kV	
	1号機	低起動変圧器(A)	66/6.9kV	
		低起動変圧器(B)	66/6.9kV	
	3号機	低起動変圧器(A)	66/6.9kV	
		低起動変圧器(B)	66/6.9kV	
	5号機	低起動変圧器(A)	66/6.9kV	
		低起動変圧器(B)	66/6.9kV	
	6号機	低起動変圧器(A)	66/6.9kV	
		低起動変圧器(B)	66/6.9kV	
	福島第二 原子力発電所	1～4号機	高起動変圧器	500/66kV
		1号機	低起動変圧器(A)	66/6.9kV
低起動変圧器(B)			66/6.9kV	
3号機		低起動変圧器(A)	66/6.9kV	
		低起動変圧器(B)	66/6.9kV	

外部電源受電に必要な変圧器を対象としている。

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耐震性を保持すれば良い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 ~ 460gal、2号機では 302 ~ 550gal、自由地盤系地表面では 239 ~ 699gal 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. 評価状況

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状況について

発電所	号機	電圧階級	仕様	裕度	評価部位
柏崎刈羽 原子力発電所	1～7号機	500kV	GIS	3.80	ブッシング
		154kV	気中遮断器(ガス)	2.20	ブッシング
		66kV	GIS	2.30	タンク
福島第二 原子力発電所	1～4号機	500kV	GIS	2.04	ブッシング
		500kV	気中遮断器(空気)	2.10	中間碍子
		66kV	GIS	3.00	タンク
		66kV	気中遮断器(ガス)	2.70	架台

裕度の最も小さい評価部位を記載する。

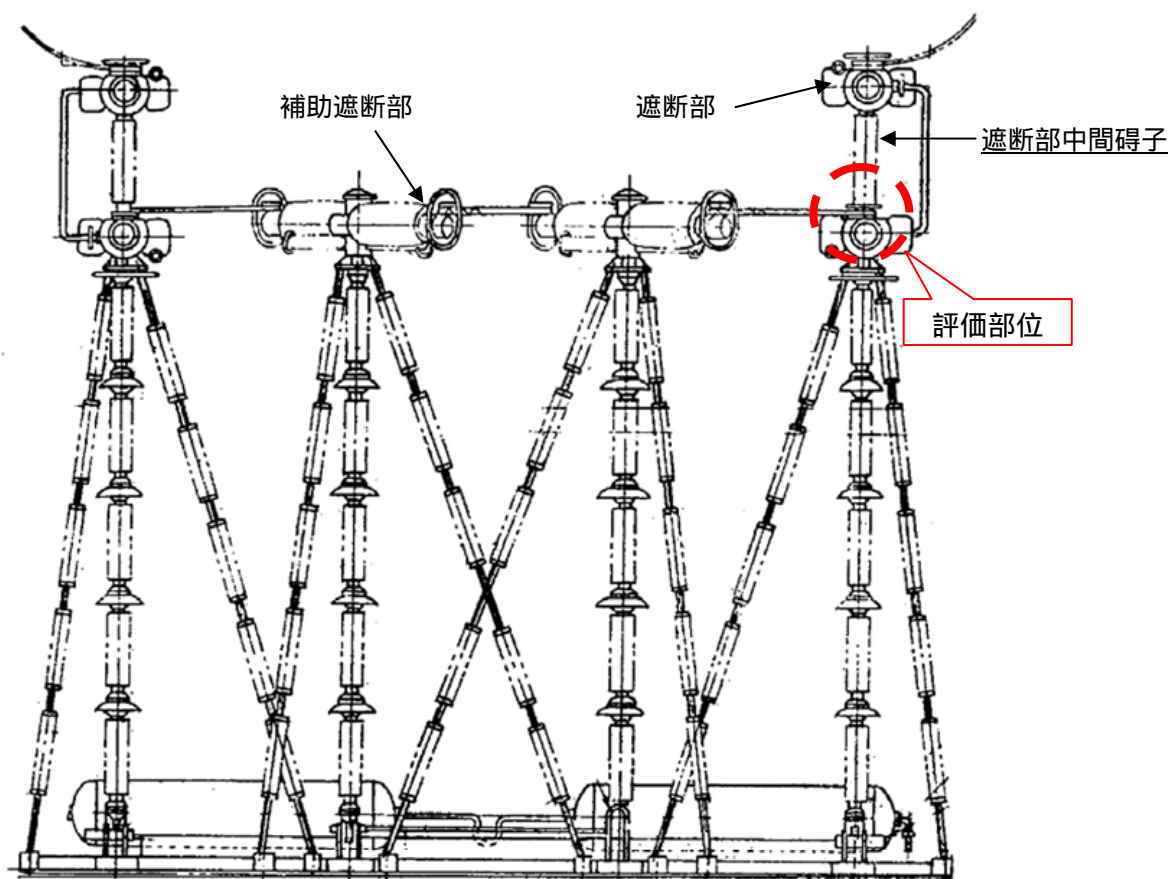


図1 500kV 気中遮断器(空気)に対するJEAG5003の評価部位

表4 当社原子力発電所の変圧器設備に対する評価状況について

発電所	号機	変圧器名称	電圧	裕度	評価部位
柏崎刈羽 原子力発電所	1 ~ 7号機	1号高起動変圧器	500/66kV	5.00	基礎固定部
		2号高起動変圧器	500/66kV	5.62	基礎固定部
		3号高起動変圧器	500/66kV	5.62	基礎固定部
		予備変圧器	154/66kV	3.90	基礎固定部
		1号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		1号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		3号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		3号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		5号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		5号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		6号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
		6号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	3.40	基礎固定部
福島第二 原子力発電所	1 ~ 4号機	高起動変圧器	500/66kV	1.06	基礎固定部
		1号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	1.65	基礎固定部
		1号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	1.65	基礎固定部
		3号低起動変圧器(A)	66/6.9kV	2.00	基礎固定部
		3号低起動変圧器(B)	66/6.9kV	2.00	基礎固定部

裕度の最も小さい評価部位を記載する。

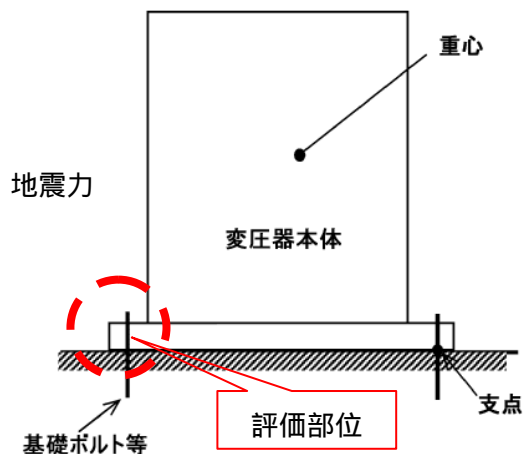


図2 変圧器評価の概念図

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 1.0 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、応答スペクトルと損傷モード等、不明な点もあることから、表5に示すスケジュールにて、耐震解析による損傷原因の評価を実施する。

この評価で得られた1 / 2号開閉所の地震波形や解析評価の結果を踏まえて、必要な影響評価を追加実施する。評価の結果、対策が必要と判断された設備については、必要な対策を立案実施する。

表5 今後の評価スケジュール

項 目	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
開閉所地点における地震動推定	■						
電気設備解析モデルの作成	■						
耐震解析				■			
損傷原因の評価							■

福島第一原子力発電所地点における地震動推定

解析にあたっては、損傷が確認された遮断器の設置箇所である1 / 2号機超高压開閉所の観測データがないことから、近接する観測点の観測記録から地震波形を推定する。福島第一原子力発電所における地震観測点の配置を、図3に示す。

1 / 2号機超高压開閉所に最も近い自由地盤系観測点は、地震観測室(南地点)であることから、同観測点における観測記録より、1 / 2号機超高压開閉所における地震波形を推定する。

電気設備解析モデルの作成

解析にあたり、電気設備の構造を模擬した解析モデルを作成する。解析モデルは、複数個の集中質量とばねとの組み合わせで模擬する。

耐震解析

で推定した地震波形を、で作成した解析モデルに入力して耐震解析を行う。耐震解析により、機器の各部に加わる応力を算出する。

損傷原因の評価

耐震解析で算出した各部に加わる応力と、機器の設計上の強度とを比較するとともに、実際の被害状況も踏まえ、機器損傷原因の評価を行う。また、耐震解析の結果と、JEAG5003の手法による評価との比較を行う。

以 上

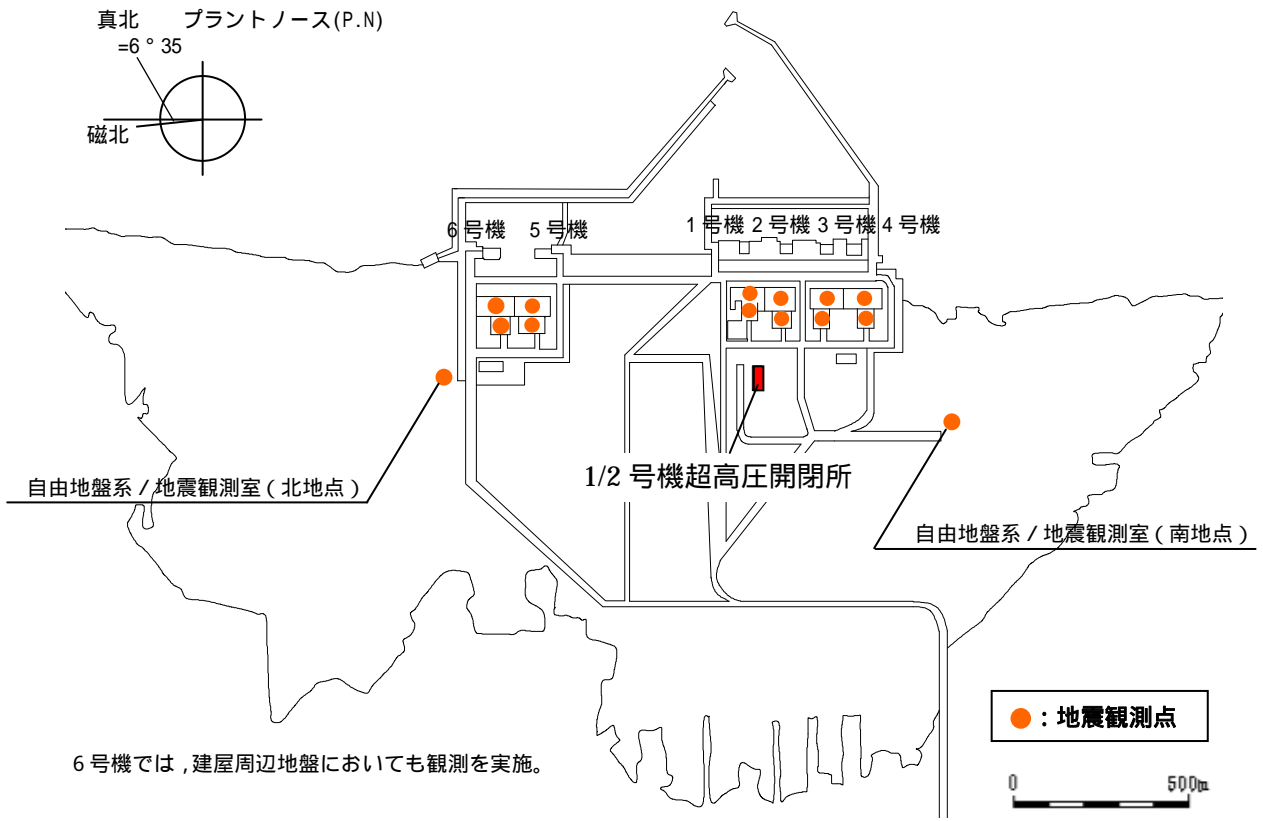


図3 福島第一原子力発電所における地震観測点の配置