

4. 耐震安全性向上のための取り組み状況

4. 1 基準地震動の設定と耐震安全性の見直し（バックチェック）

既設の原子力発電所は従来の耐震設計審査指針（旧指針）によって設計されていたが、平成 18 年 9 月 19 日に「発電用原子炉施設に関わる耐震設計審査指針」が 28 年ぶり改訂されたことに伴い、同 9 月 20 日に原子力安全・保安院（以下 NISA）指示が出され、各事業者では基準地震動 S_s を策定し、既設発電用原子炉施設の耐震安全性評価（バックチェック）が実施されている。

平成 19 年 7 月 16 日の新潟県中越沖地震は、各事業者によるバックチェックの最中に発生した事象であるが、旧指針で想定された設計震度以上の揺れが観測され、柏崎刈羽原子力発電所や地域に大きな被害をもたらした。経済産業大臣より、この地震から得られる知見を耐震安全性の評価に適切に反映し早期に評価を完了する旨の指示が電力事業者に出され、平成 19 年 12 月 27 日には、中越沖地震を踏まえた耐震安全評価に反映すべき事項の通知があった。

電力事業者は新しい知見に基づく基準地震動 S_s を設定し、それに基づくバックチェックを前倒して実施していたが、平成 20 年 9 月 4 日の NISA の中越沖地震から得られた知見の追加指示で、再度の耐震安全性見直しを実施中の状況にある。

4. 1. 1 耐震設計審査指針改定内容と基準地震動 S_s

表-4.1.1 に旧指針と新指針の改定内容との比較を示した。

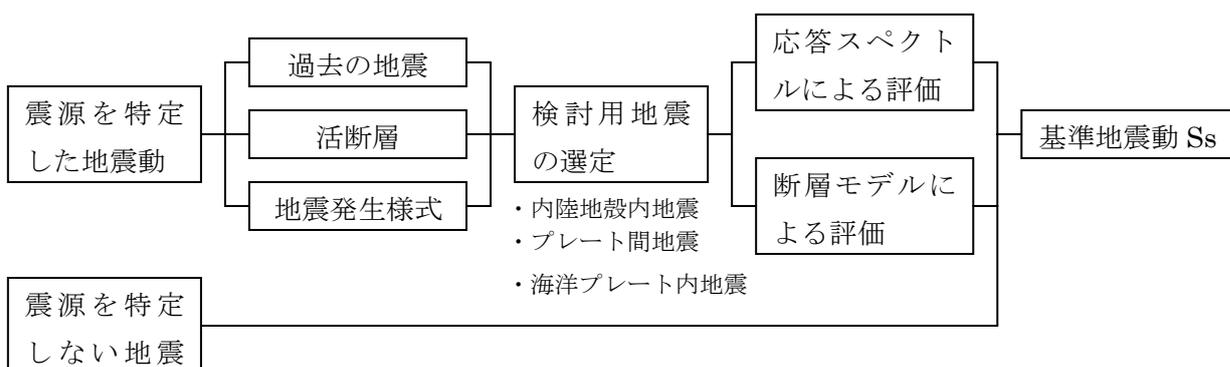
表-4.1.1 耐震設計審査指針の改定内容

項目	旧指針	新指針	既設プラントへの影響
地震動評価	・基準地震動 S_1 、 S_2 ・点震源評価	・基準地震動 S_s ・面震源評価	・安全性評価が必要
直下地震	・M6.5 直下地震 ・約 370 ガル相当	・震源を特定せず 策定する地震動 (450 ガル以上)	
地震動の算定	・鉛直地震力は静的	・鉛直地震力は静的に 加え動的	
重要度分類	・4分類 (A_s, A, B, C クラス)	・3 分類 $A_s, A \rightarrow S$ クラス B、C 変更なし	
活断層評価	・5 万年前以降	・後期更新世以降 (約 8 万年～ 13 万年前以降)	・サイトによって、追加の 地質調査が必要

旧指針からの大きな改定点は、活断層評価に使う活断層の活動時期を、これまでは5万年前以降に活動した活断層としていたが、新指針では後期更新世（約8万年～13万年前）以降の活動が否定できないものを含めたこと、また、活断層調査に当たっては、変動地形学的な観点からより綿密な調査が必要となった。活断層による地震動の評価においては、応答スペクトルによる評価に加え、従来の点震源評価から断層を面として捉える面震源評価を加味した「断層モデル」による解析手法が加えられた。さらに、従来は直下型地震として一律的にM6.5を想定していたが、新指針では、過去の地震、活断層、地質・地層による地震発生様式を考えた「震源を特定せずに策定する地震動」の想定を求めている。これにより各サイト毎の特性に応じ、想定外の地震にもできる限り対応できるとしている。

現在、各電力事業者は新指針に基づき、敷地内、海域を含めた広範な地質調査を行う等して、耐震安全性評価に使うための基準地震動 S_s を策定し、耐震安全性の見直し作業を行っている。表-4.1.2は、基準地震動 S_s の策定までの大きな流れを示したものである。

表-4.1.2 新指針の基準地震動策定までの流れ



4. 1. 2 東京電力の耐震安全性評価の動き

東京電力はNISAの平成19年7月16日の中越沖地震に対する安全上重要な設備の耐震安全性確認の指示を受け、耐震性向上に向けての取り組みとして、平成20年5月22日に「柏崎刈羽原子力発電所における地震時の観測データの分析及び基準地震動に係る報告書」をNISAに提出した。その後、敷地周辺の活断層評価の見直し、地質・地殻変動評価の追加を行い、同年9月22日に同発電所の基準地震動の見直しに関する報告書を提出した。

更に、新しく設定した地震動に対して、柏崎刈羽原子力発電所7号機の建屋・設備の安全機能が保持されるかどうかについて、地震応答解析による評価を進め、同年11月4日及び28日の2回に分けて、評価結果をNISAに提出した。これに続き、同年12月3日に、原子炉建屋等の基礎地盤の耐震安全性評価の結果及び、地震随伴事象（津波等）に関する評価結果をNISAに提出した。

なお、NISAは同年11月20日に中間報告書を原子力安全委員会に提出し、原子力安全委員会はこの基準地震動は妥当と評価している。

4. 1. 3 中越沖地震動の評価

中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所に想定を超える大きな揺れが生じたことは、原子力発電所の耐震安全性確保の観点から重大であり、地震直後からその要因の分析に取り組み原因分析が実施された。平成16年10月に発生した新潟県中越地震以降、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地質構造が分析されてきており、これまでの分析結果を基に要因分析に取り組んだ結果、今回の大きな揺れは、①中越沖地震の地震特性と、②柏崎刈羽原子力発電所周辺の地下構造特性によるものであると結論づけられた(図-4.1.1)。

①については、以下のことが明らかになった。

- ・今回の地震では、同じ規模の地震(M6.8)と比べて、約1.5倍の揺れが発生していた。
- ・今回の地震は、柏崎刈羽原子力発電所の方向に、大きな揺れが伝わる場所で発生した。

②については、以下のことが明らかになった。

- ・柏崎刈羽原子力発電所周辺の地下構造は、堆積層が厚く、褶曲した構造を持ち、この中を伝わる地震波が重なり合い、大きなパルス波になる特性を持っている。
- ・さらに、この地下構造は、地震波が1～4号機側に大きく集まるような褶曲構造である。

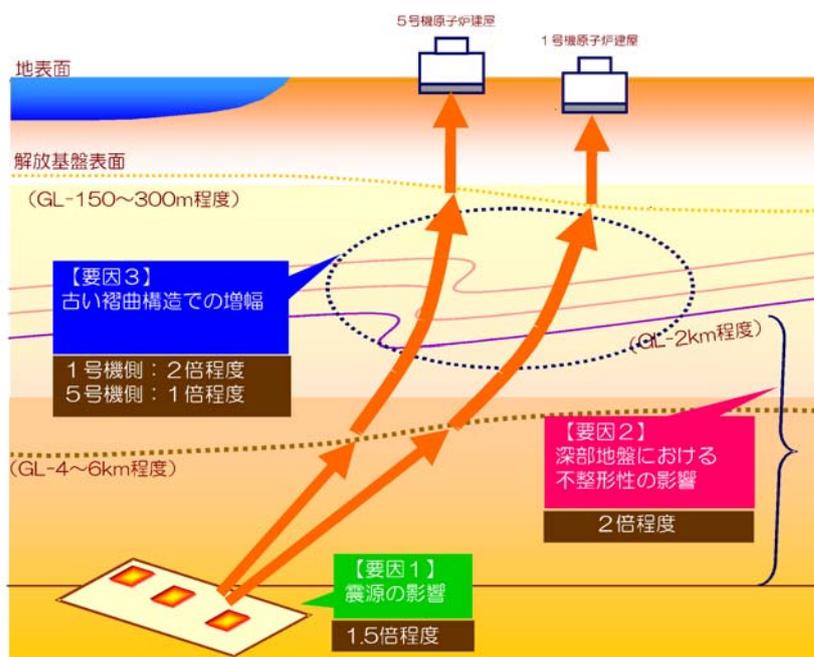


図-4.1.1 古い褶曲構造での地震動増幅メカニズム(東電提供)

こうした、分析結果を踏まえ、NISAは、中越沖地震で得られた知見を、現在実施している他の原子力発電所の耐震安全性評価にも反映するよう、各電力会社に指示した。具体的には、基準地震動は、①地震特性及び②地下構造特性を考慮した地震動に基づき策定する。

- ①については、検討用地震による敷地の地震動を応答スペクトル及び断層モデルによる手法に基づいて評価を行う際には、震源モデルのパラメータの不確かさを考慮した評価を行うことが求められた。

② については、地下構造特性による影響については、地震観測記録の分析や地下構造モデルを構築することにより考慮することが求められた。

4. 1. 4 地質・断層調査の結果、選定された活断層

陸域、海域の大規模な調査が行われ評価すべき活断層が選定された。敷地周辺陸域の活断層については、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層を対象とし地震動の評価に当たっては、三つの断層を合わせた長さ 91km の区間の同時活動を長岡平野西縁断層帯として考慮し、海域に関しては、F-B断層の影響が大きく、安全評価上の不確かさも含め 36 kmとしていることは、妥当と判断された(図-4.1.2)。

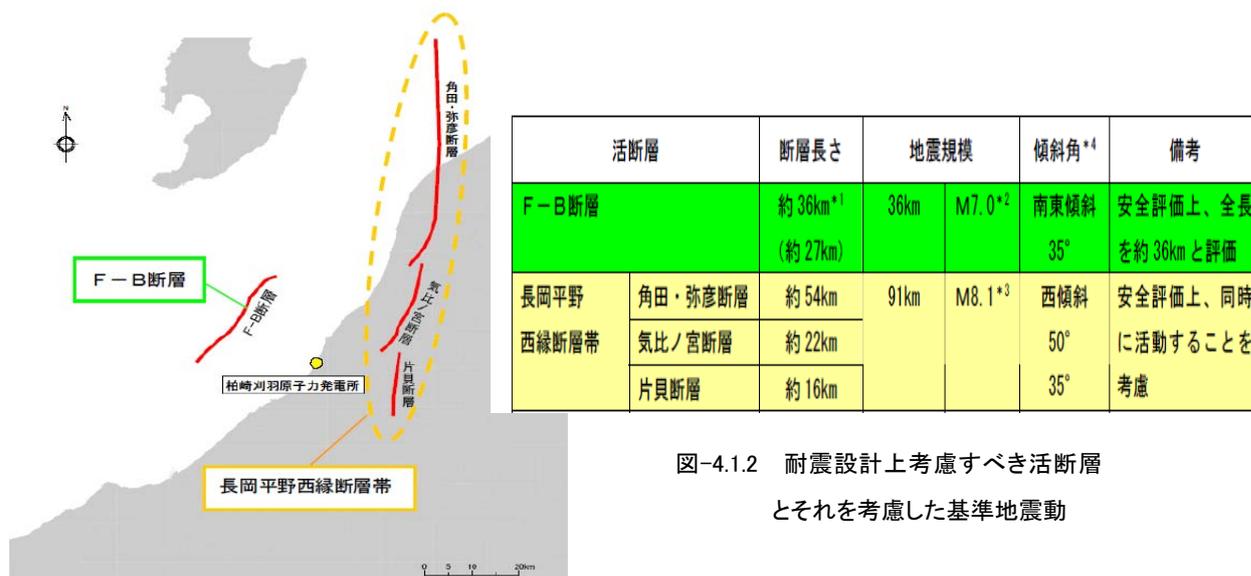


図-4.1.2 耐震設計上考慮すべき活断層とそれを考慮した基準地震動

4. 1. 5 基準地震動 Ss の策定

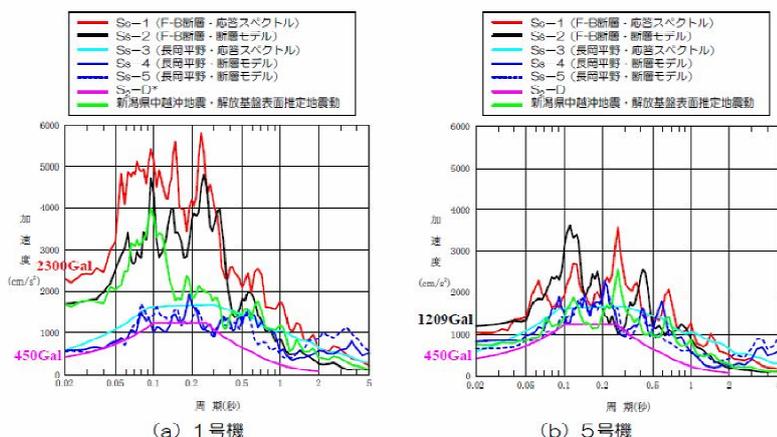
柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺の主な活断層長さ、発電所までの距離や周辺地層の影響も加味し基準地震動応答スペクトル(解放基盤表面) Ss が策定された(図-4.1.3)。

さらに、解放基盤表面から、原子炉建屋基礎版上までの地層による減衰を評価し、原子炉建屋基礎版上での Ss が策定された(図-4.1.4)。

9月22日の断層の見直し結果を反映し、1~4号機の解放基盤表面における基準地震動の最大加速度は2,300ガル、5~7号機では、最大加速度は1,209ガルと算定された。これをもとに、原子炉建屋基礎版上の地震動を評価した結果、1~4号機側の最大加速度は約700~850ガル、5~7号機側の最大加速度は約610~740ガルと算定されている(表-4.1.3)。

東京電力では更に、施設の耐震安全性の向上を図るため、1~7号機の全てに対して原子炉建屋基礎版上で上記の評価結果を上回る1,000ガルの揺れを想定し、設備の耐震クラスに応じた工事を行うこととし、順次工事が進められている。

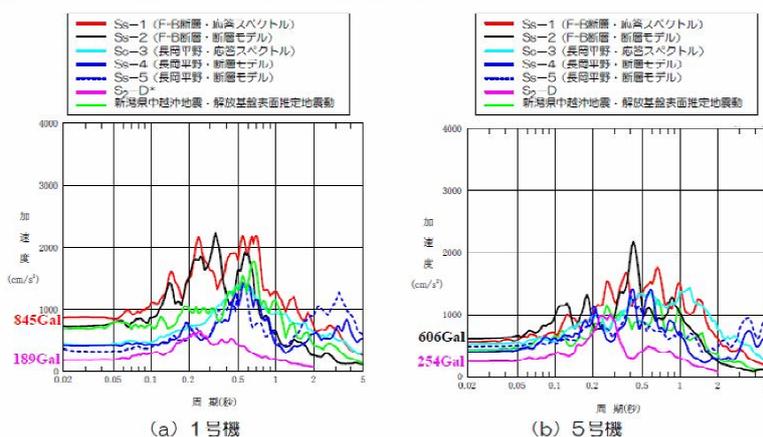
基準地震動応答スペクトル（解放基盤表面）



*耐震設計審査指針（昭和53年9月初制定、昭和56年7月改訂）に対する
バックチェック時の応答。（2～7号機と同じ地震動に対する応答）

図-4.1.3 基準地震動応答スペクトル(解放基盤表面) (東電提供)

基準地震動応答スペクトル（原子炉建屋基礎版上）



*耐震設計審査指針（昭和53年9月初制定、昭和56年7月改訂）に対する
バックチェック時の応答。（2～7号機と同じ地震動に対する応答）

図-4.1.4 基準地震動応答スペクトル(原子炉建屋基礎版上) (東電提供)

表-4.1.3 各号機における地震動評価結果

数値は東西方向の値(単位:ガル)

対象とする地震動	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
新潟県中越沖地震 (観測値)	680	606	384	492	442	322	356
基準地震動 Ss による応答 (原子炉建屋基礎版上)	845	809	761	704	606	724	738
基準地震動 Ss の最大値 (解放基盤表面)	2,300				1,209		

(出典: 平成 20 年 9 月 22 日 東京電力プレスリリース)

4. 1. 6 7号機の設備健全性評価

原子炉建屋基礎版上の基準地震動応答スペクトル S_s 及び耐震強化用地震動（原子炉建屋基礎版上で 1000 ガルになるように定めた耐震評価用の参考値）に対する耐震安全性評価を実施し、評価対象設備の安全性の評価を確認した。

評価は、建屋・構築物や機器・配管系の耐震安全性評価、原子炉建屋基礎地盤の安定性評価、屋外重要土木構造物の耐震安全性評価および地震随件事象に対して行われた。

(1) 7号機 原子炉建屋基礎地盤の安定性評価

基準地震動 S_s による地震応答解析等が実施され、想定すべり線のすべり安定率が標準基準値を上回っていることから安定性を有していると確認された(表-4.1.4)。

表-4.1.4 基礎地盤の安定性評価結果

	すべり安全率	評価基準値
原子炉建屋基礎地盤	1.6	1.5

(2) 7号機 施設等の耐震安全性評価

1) 安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

7号機建物・構築物の耐震安全評価は、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析（時刻歴応答解析法）により実施された。建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデルを設定した。原子炉建屋の評価、タービン建屋の評価に当たっては、耐震壁のせん断ひずみを評価した。

評価の結果、各建屋等の最大応答値は評価基準値を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認した(表-4.1.5)。

表-4.1.5 建物・構築物評価結果

対象施設	対象部位	最大応答値	評価基準値
原子炉建屋	耐震壁	0.44×10^{-3} (せん断ひずみ)	2×10^{-3}
タービン建屋	耐震壁	0.22×10^{-3} (せん断ひずみ)	2×10^{-3}
排気筒	鉄塔 支柱材	205.3 (圧縮応力)	339 (N/mm ²)
		95.5 (曲げ応力)	357 (N/mm ²)

2) 安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

7号機の安全上重要な機能を有する耐震Sクラスの設備について、耐震安全性評価が実

施された。評価は、基準地震動 S_s および耐震強化用地震動による地震応答解析によって構造解析評価、動的機能維持評価が実施された。

機器・配管系に発生する応力／評価基準値は、最大 0.911 で 1 を下回っている。また、制御棒の挿入性も許容変位内で安全と評価した(表-4.1.6)(表-4.1.7)。

表-4.1.6 7号機 機器・配管系の耐震安全性評価

区分	設備	評価部位	単位	発生値	評価基準値 (許容値)
止める	炉心支持 構造物	シュラウド サポート	応力 (MPa)	51	260
冷やす	残留熱除去 系ポンプ	基礎ボルト	応力 (MPa)	14	350
	残留熱除去 系配管	配管	応力 (MPa)	206	364
閉じ込める	原子炉圧力 容器	基礎ボルト	応力 (MPa)	215	499
	主蒸気配管	配管	応力 (MPa)	217	374
	原子炉格納 容器	原子炉格納 容器 配管貫通部	応力 (MPa)	245	269

表-4.1.7 7号機 制御棒の挿入性の評価

区分	設備	単位	発生値	評価基準値 (許容値)
止める	制御棒 (挿入性)	相対変位	15.9mm	40.0

3) 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価

7号機の屋外重要土木構造物(非常用取水路)について、耐震安全性評価が実施された。評価は、基準地震動 S_s による地震応答解析等で構造物に働くせん断力を評価した。

評価の結果、せん断力は評価基準を満足しており、耐震安全性が確保されていることを確認した(表-4.1.8)。

表-4.1.8 屋外重要土木構造物評価結果

設備	せん断力 (kN)	評価基準値 (kN)
非常用取水路	848	1105