

東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所

敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 S_s 及び地震随件事象の評価

並びに基準地震動 S_s に対する 7 号機の耐震安全性の評価に係る報告書

平成 21 年 1 月

原子力安全・保安院

(平成 21 年 4 月修正)

目 次

I. はじめに	1
II. 主な経緯	3
III. 保安院の評価結果	6
1. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において 算定された最大加速度を上回った要因	6
2. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造	7
3. 基準地震動Ss	7
4. 地震随件事象	8
5. 基準地震動Ssに対する7号機の耐震安全上重要な建物・構築物 の基礎地盤の支持性能	9
6. 基準地震動Ssに対する7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、 機器・配管系の耐震安全性	9
IV. 保安院の評価の進め方	11
V. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において 算定された最大加速度を上回った要因	12
1. 中越沖地震について	12
2. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において 算定された最大加速度を上回った要因	13
1) 解放基盤表面における中越沖地震の観測地震動と 距離減衰式による地震動との比較	14
2) 中越沖地震の震源特性	17
3) 敷地周辺の地下構造特性による増幅	18
3. 要因のまとめ	21
4. 基準地震動Ssの策定に当たって反映すべき事項	22
VI. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造についての保安院の評価	23
1. 東京電力による地質・地質構造調査について	23
2. 活断層等の評価	25
1) 敷地周辺陸域の活断層	25
(1) 角田・弥彦断層	26
(2) 気比ノ宮断層	27
(3) 片貝断層	27
(4) 中央丘陵西縁部断層	28
(5) 長岡平野西縁断層帯	29
(6) 米山海岸周辺の海成段丘の高度分布について	29
2) 敷地周辺海域の活断層	30
(1) F-B断層	31
(2) F-B断層の北方延長について	32

(3) F-D 断層及び高田沖断層	34
3) 敷地・敷地近傍の地質・地質構造	35
(1) 敷地及び敷地北側において安田層に認められたテフラの 同定について	37
(2) 北-1 測線付近の地形・地盤状況について	38
(3) 建屋水準測量による上下変動量について	38
(4) 長嶺背斜東側に見られる伏在断層の活動性について	40
3. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造の評価のまとめ	40
VII. 基準地震動Ssについての保安院の評価	42
1. 震源を特定して策定する地震動	42
1) 基準地震動Ssの策定に考慮する地震	42
(1) 海域の活断層による地震	42
(2) 陸域の活断層による地震	43
2) F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯の震源モデル	45
(1) F-B 断層の震源モデル	45
(2) 長岡平野西縁断層帯の震源モデル	46
3) 応答スペクトル手法に基づく地震動評価	47
(1) F-B 断層による地震動評価	47
(2) 長岡平野西縁断層帯による地震動評価	48
(3) 基準地震動Ssの模擬地震波	49
4) 断層モデルによる地震動評価	49
(1) F-B 断層による地震動評価	49
(2) 長岡平野西縁断層による地震動評価	50
5) 震源を特定して策定された基準地震動Ss	51
2. 震源を特定せず策定する地震動	51
3. 基準地震動Ssの超過確率の参照	52
4. 基準地震動Ssの評価のまとめ	52
VIII. 地震随件事象についての保安院の評価	54
1. 地震随件事象について	54
2. 津波に対する安全性	54
1) 津波の解析モデル及び解析手法	54
2) 津波の想定	55
3) 日本海東縁部の津波の波源の想定及び敷地における津波の 水位	55
4) 敷地周辺の活断層による津波の波源の想定及び敷地における 津波の水位	56
5) 津波に対する安全性	57
3. 敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動に対する安全性	59
1) 敷地の地盤変動の解析手法	59

2)	敷地周辺の活断層による地盤変動	60
3)	地盤変動に対する7号機の安全性	61
4)	地震随件事象の評価のまとめ	61
IX.	耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能についての保安院の評価	63
1.	耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能の評価方法	63
2.	耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能	63
1)	原子炉建屋の基礎地盤の支持性能	63
2)	タービン建屋の基礎地盤の支持性能	65
3)	コントロール建屋の基礎地盤の支持性能	66
4)	非常用取水路の基礎地盤の支持性能	67
3.	耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能についての評価のまとめ	68
X.	基準地震動 S_s に対する7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性についての保安院の評価	69
1.	耐震安全性の評価対象	69
2.	基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物の耐震安全性	71
1)	原子炉建屋の耐震安全性	71
(1)	地震応答解析モデル	71
(2)	地震応答解析結果	73
2)	タービン建屋の耐震安全性	74
(1)	地震応答解析モデル	74
(2)	地震応答解析結果	76
3)	コントロール建屋の耐震安全性	76
(1)	地震応答解析モデル	76
(2)	地震応答解析結果	77
4)	非常用ガス処理系用排気筒の耐震安全性	78
(1)	地震応答解析モデル	78
(2)	地震応答解析結果	78
5)	非常用取水路の耐震安全性	79
(1)	地震応答解析モデル	79
(2)	地震応答解析結果	79
3.	耐震安全上重要な機器・配管系の耐震安全性	80
1)	機器・配管系の耐震安全性評価の基本的な考え方	80
2)	原子炉本体等の耐震安全性	84
3)	原子炉格納施設の耐震安全性	85

(1) RCCV 上部及びRCCV底部の鉄筋コンクリート部の耐震安全性	85
(2) ライナプレート、配管貫通部等の耐震安全性	86
4) 使用済燃料プールの耐震安全性	88
5) その他の設備の機器の耐震安全性	89
6) 配管系の耐震安全性	90
7) 制御棒の挿入性	91
8) 動的機器の耐震安全性	91
4. 耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性の評価のまとめ	92
XI. まとめ	95

(別添資料等)

別添 1 :	柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s の最大加速度 及び応答スペクトル	100
別添 2 :	保安院による海上音波探査の結果概要	107
別添 3 :	中越沖地震に対する 7 号機コントロール建屋の健全性評価に 係る保安院の見解	108
別添 4 :	東京電力による柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の 耐震強化工事について	113
別添 5 :	確認用地震動について	129
別添 6 :	7 号機の原子炉建屋底面における新耐震設計審査 指針及び旧耐震設計審査指針に基づく入力地震動 について	136
別添 7 :	基準地震動 S_s に対する 7 号機の原子炉建屋、タービン 建屋及びコントロール建屋の耐震安全性評価において、 地震応答解析モデルを設計時のモデルから修正した事項 が評価結果に与える影響について	138
別添 8 :	7 号機の主要設備に係る弾性設計用地震動 S_d 及び静的 地震力に対する評価について	157
別添 9 :	7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の 耐震強化の考え方及び強化箇所の選定について	170
別添 10 :	B・C クラス施設の地盤の支持力について	172
参 考 :	地元団体からの指摘事項について	174

I. はじめに

平成 19 年 7 月 16 日、「平成 19 年（2007 年）新潟県中越沖地震」（以下「中越沖地震」という。）が発生した。当時、東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所（以下「柏崎刈羽原子力発電所」という。）では、3号機、4号機及び7号機が運転中、2号機が起動中であつたが、運転中及び起動中の原子炉は、地震発生直後に設計どおり自動的に停止した。1号機、5号機及び6号機は定期検査のため停止中であつた。

一方、各原子炉建屋基礎版上において観測された最大加速度は、設計時において基準地震動等に基づき原子炉建屋の地震応答解析から算定された基礎版上の最大加速度を上回っていた。

このため、原子力安全・保安院（以下「保安院」という。）は、①中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、②中越沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の設備（建物・構築物）の健全性への影響、③①を踏まえ今後柏崎刈羽原子力発電所において考慮すべき活断層の評価や地震動の想定、④それに基づく耐震安全上重要な設備の耐震安全性評価等の項目について、総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会（以下「小委員会」という。）において検討を行うこととした。

小委員会での検討に当たっては、①中越沖地震発生時の事業者による自衛消防体制、情報連絡体制等の在り方、②中越沖地震から得られる知見を踏まえた耐震安全性評価及び③中越沖地震発生時における柏崎刈羽原子力発電所の原子炉の運営管理の状況と設備の健全性及び今後の対応について審議をするために設けられた総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会「中越沖地震における原子力設備に関する調査・対策委員会」との連携の下、小委員会の下に設置されている「地震・津波ワーキンググループ」及び「地質・地盤ワーキンググループ」による「合同ワーキンググループ」（以下「合同 WG」という。）並びに「構造ワーキンググループ」（以下「構造 WG」という。）において検討を行うこととした。

このうち、合同 WG においては、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、これらを踏まえた地震動（以下「基準地震動 Ss」という。）、津波などの地震随件事象に対する柏崎刈羽原子力発電所の安全性及び耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の基準地震動 Ss に対する支持性能についての検討を行ってきた。

また、構造 WG においては、耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系について基準地震動 Ss に対する耐震安全性の検討を行ってきた。なお、中越

沖地震による柏崎刈羽原子力発電所の7号機の建物・構築物の健全性への影響については既に構造WGにおける検討を終え、保安院ではその検討結果を踏まえ「新潟県中越沖地震に対する東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所7号機の建物・構築物の健全性評価に係る報告書」(平成20年10月23日)をとりまとめた。中越沖地震による7号機の機器・配管系の健全性への影響については、「中越沖地震における原子力施設に関する調査・対策委員会運営管理・設備健全性評価ワーキンググループ」における検討を終え、保安院ではその検討結果を踏まえ、「東京電力柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設備健全性評価に係る報告(機器単位の設備健全性)」(平成20年10月3日)をとりまとめた。

本報告書は、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 S_s 、地震随件事象、7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の支持性能に係るこれまでの合同WG及び構造WGの検討結果を踏まえて保安院の評価結果をとりまとめたものである。また、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s や設備の耐震安全性に関して原子力安全委員会から保安院に求められた事項についての検討結果もとりまとめた。

なお、保安院では、7号機以外の各号機の基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性、建物・構築物の基礎地盤の支持性能、地震随件事象に対する安全性について引き続き合同WG及び構造WGにおいて厳格に検討を進める。

Ⅱ. 主な経緯

中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 Ss、地震随件事象、7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の支持性能の評価に関する主な経緯については、以下のとおりである。

- 1) 平成 19 年 7 月 16 日、中越沖地震が発生した。
- 2) 同日、保安院は東京電力に対して①今回の地震時に取得された地震観測データの分析及び②今回の地震に対する安全上重要な設備の耐震安全性の確認について報告するよう指示を行った。
- 3) 東京電力は平成 19 年 7 月 30 日に中越沖地震時に取得された地震観測データを、同 8 月 22 日に中越沖地震時の余震に係る地震観測データを保安院に提出した。
- 4) 保安院は、平成 19 年 8 月 24 日、耐震・構造設計小委員会を開催し、中越沖地震に対する検討については合同 WG 及び構造 WG において検討を実施することを決定した。
- 5) 平成 19 年 10 月 12 日、第 1 回合同 WG を開催し、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 Ss、地震随件事象、耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の基準地震動 Ss に対する支持性能についての検討を開始。現在まで、27 回の合同 WG を開催し検討を行ってきた。また、合同 WG では、平成 19 年 10 月 29、30 日、11 月 15 日、20 日、柏崎刈羽原子力発電所周辺の地質調査並びに設備及び設備周辺の状況について専門家 (33 名) による現地調査を実施した。現地調査は、平成 20 年 1 月 (5 名)、8 月 (14 名) 及び 12 月 (3 名) にも実施した。
- 6) 平成 19 年 9 月 13 日、第 5 回構造 WG を開催し、中越沖地震後の建物・構築物の健全性及び基準地震動 Ss に対する建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性についての検討を開始。現在まで、24 回の構造 WG を開催し検討を行ってきた。また、構造 WG では、平成 20 年 3 月 11 日、柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の建物・構築物の状況について専門家 (7 名) による現地調査を実施した。現地調査は 5 月 (6 名)、8 月 (1 名) 及び 12 月 (2 名) にも実施した。
- 7) 平成 20 年 2 月 16 日～3 月 3 日に保安院は、新潟県中越沖において海上音波探査を実施した。(調査結果概要は別紙 2 参照。)
- 8) 東京電力は平成 20 年 5 月 12 日に敷地周辺の地質・地質構造に係る中間報告書を保安院に提出した。

- 9) 東京電力は平成 20 年 5 月 22 日に中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動 Ss に係る報告書を保安院に提出した。また、同日、JNES は「2007 年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所で発生した地震動の分析」を保安院に報告した。
- 10) 平成 20 年 8 月 9 日～31 日に保安院は、新潟県中越沖の海上音波探査を追加実施した。
- 11) 平成 20 年 9 月 4 日、保安院は、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因の検討結果を踏まえ、基準地震動 Ss の策定等に当たって反映すべき事項として「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」をとりまとめ、全ての原子力事業者に通知した。
- 12) 東京電力は平成 20 年 9 月 22 日に中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動 Ss に係る報告書（補正）を保安院に提出した。
- 13) 東京電力は平成 20 年 10 月 22 日に敷地及び敷地周辺の地質・地質構造に係る報告書（補正）及び中越沖地震時に取得された地震観測データの分析及び基準地震動 Ss に係る報告書（追補版）を保安院に提出した。
- 14) 保安院は平成 20 年 10 月 3 日に「東京電力柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機の設備健全性評価に係る報告（機器単位の設備健全性）」をとりまとめた。
- 15) 保安院は平成 20 年 10 月 23 日に「新潟県中越沖地震に対する東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の建物・構築物の健全性評価に係る報告書」をとりまとめた。
- 16) 平成 20 年 11 月 6 日、JNES は柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 Ss に関するクロスチェック解析結果について保安院に報告した。
- 17) 平成 20 年 11 月 18 日、保安院はこれまでの合同 WG の検討状況を踏まえ、「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所敷地・敷地周辺の地質・地質構造及び基準地震動の評価に係る報告書（中間報告）」をとりまとめた。
- 18) 東京電力は、平成 20 年 11 月 4 日、11 月 28 日及び 12 月 3 日に 7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の基準地震動 Ss に対する耐震安全性、耐震強化用地震動による評価、地震随件事象に対する安全性、耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能に係る報告書を保安院に提出した。
- 19) 平成 20 年 12 月 25 日、平成 21 年 1 月 13 日及び平成 21 年 1 月 22 日、JNES は基準地震動 Ss に対する 7 号機の原子炉建屋、機器・配管系の耐震安全性評価等に関するクロスチェック解析結果について保安院に報告した。
- 20) 東京電力は平成 21 年 1 月 9 日に 7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の基準地震動 Ss に対する耐震安全性、地震随件事象に対する安全性、耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能に係る報告書（追補）を保安院に提出した。

- 21) 平成 21 年 1 月 30 日、保安院は、合同 WG 及び構造 WG の検討結果を踏まえて、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 S_s 、地震随件事象、7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の基準地震動 S_s に対する耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の基準地震動 S_s に対する支持性能についての保安院の評価結果等を取りまとめた。

Ⅲ. 保安院の評価結果

中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 S_s 、地震随件事象、7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の支持性能に係る合同WG及び構造WGにおける検討結果を踏まえた保安院の評価結果は以下のとおりである。

1. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因

中越沖地震の震源断層面の浅部延長部において、柏崎刈羽原子力発電所6・7号機等の設計時にはF-B断層の一部に当たる長さ最大約8kmの断層を確認していたが、活断層とは評価していなかった。その後、断層関連褶曲の知見を踏まえ、平成15年にF-B断層について長さ約20km、地震規模がマグニチュード7.0（以下「M7.0」という。）の活断層と再評価した。また、断層の長さの中央を震央としその鉛直下方をエネルギーの放出の中心として、マグニチュード及び震央距離をもとに大崎の手法「Guideline for evaluation of Basic Design Earthquake Ground Motions」大崎順彦(1979)により敷地への影響を検討したが、敷地の地震動は基準地震動 S_2 を上回るものではないと評価していた。しかしながら、M6.8の中越沖地震により原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度は、設計時において算定された基礎版上の最大加速度を上回った。

このような経緯をふまえ、中越沖地震の震源断層の拡がりや傾斜等をもとに、中越沖地震により観測された地震動が同規模の地震から想定される平均的な地震動と比較し、顕著に大きかったことについて震源特性や敷地周辺の地下構造特性に着目して検討を行い、その要因を推定した。

- ① 中越沖地震による1号機から4号機までの荒浜側の各号機の解放基盤表面の応答スペクトルは、Noda et al. (2002)による距離減衰式（以下「耐専式」という。）による内陸補正を考慮して求めた応答スペクトルの6倍に概ね相当する。5号機から7号機までの大湊側の各号機の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの3倍に概ね相当する。
- ② この要因として、中越沖地震の震源特性の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ1.5倍程度大きかったことが考えられる。さらに、広域的な地下構造の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ2倍程度大きかったこと、加えて荒浜側では、敷地直下の浅部の褶曲構造の影響により2倍程度の増幅があったことが考えられる。

2. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造

- ① 敷地周辺陸域の活断層については、東京電力が角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層を地震動の検討対象の活断層としていることは妥当なものと判断した。また、地震動の評価に当たっては、3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すべきである。
- ② 敷地周辺海域の活断層については、東京電力がF-B褶曲群（以下「F-B断層」という。）、佐渡島南方断層、F-D褶曲群（以下「F-D断層」という。）、高田沖褶曲群（以下「高田沖断層」という。）等を地震動の検討対象の活断層としていることは妥当なものと判断した。また、地震動の評価に当たっては、F-B断層については長さを36kmとし、F-D断層及び高田沖断層については同時活動を考慮すべきである。なお、F-B断層北方延長部においては、海上音波探査結果等から、耐震設計上考慮すべき活断層は認められないと判断した。
- ③ 真殿坂断層については、阿多鳥浜テフラ（約24万年前）が真殿坂向斜を横断してほぼ水平に分布し、西山層以下の地層に見られる褶曲構造に対応する地形は認められないことなどから、後期更新世以降の活動は認められないと判断した。

3. 基準地震動 Ss

中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因及び敷地・敷地周辺の地質・地質構造の検討結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性を確認するために東京電力が策定した基準地震動 Ss について検討を行った。

- ① 「震源を特定して策定する地震動」として、F-B断層による地震及び長岡平野西縁断層帯による地震を考慮して基準地震動 Ss を評価していることは妥当なものと判断した。
- ② F-B断層の震源モデル並びに長岡平野西縁断層帯の不確かさとして応力降下量及び断層傾斜角のそれぞれを考慮した震源モデルは、中越沖地震の観測記録、地震調査研究推進本部の知見等と照らし合わせて妥当なものと判断した。
- ③ F-B断層及び長岡平野西縁断層帯の不確かさを考慮した震源モデルをもとに、応答スペクトルによる手法（以下「応答スペクトル手法」という。）に基づき策定された基準地震動 Ss の策定内容は、中越沖地震等の観測記録の分析等により、震源特性及び敷地の地下構造特性を考慮して

策定されており、妥当なものと判断した。

- ④ F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯の不確かさを考慮した震源モデルをもとに、断層モデルにより策定された基準地震動 Ss の策定内容は、震源特性を考慮し、敷地の地下構造による増幅特性が反映された要素地震波を用いた経験的グリーン関数法に基づいて策定されており、妥当なものと判断した。
- ⑤ 東京電力が、「震源を特定せず策定する地震動」は「震源を特定して策定する地震動」を下回ることから、基準地震動 Ss として「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 Ss で代表させるとしていることは支障ないものと判断した。
- ⑥ 以上のことから、F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯による地震について、応答スペクトル手法及び断層モデルに基づき策定された基準地震動 Ss-1 から Ss-5 は妥当なものと判断した。

4. 地震随件事象

- ① 地震随件事象に対する柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の安全性の評価として、東京電力が、敷地には安全上重要な施設の近傍において地震時に想定しうる崩壊等により施設の安全機能に重大な影響を及ぼすような斜面はないと考えられることから、地震随件事象として津波及び敷地周辺の活断層による地震に伴う敷地の地盤変動に対する 7 号機の安全性の評価を行っていることは妥当なものと判断した。
- ② 津波に対する 7 号機の安全性については、日本海東縁部の新潟～山形沖を波源とする津波、敷地周辺の活断層による津波を考慮して敷地の津波の評価を行った結果、津波による敷地の最高水位については、7 号機の取水口前面において東京湾平均海面（以下「T.M.S.L. という。」+3.0m 程度となることに対して 7 号機の原子炉建屋等の安全上重要な施設の設置レベルは T.M.S.L.+12.0m であること、津波による最低水位については、7 号機の取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプ室において T.M.S.L.-3.3m 程度となることに対して原子炉補機冷却海水ポンプが海水を支障なく吸い込むことができる最低水位は T.M.S.L.-4.92m であることなどから、7 号機は津波に対して安全性を損なうことはないと判断した。
- ③ 敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動として F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯による地盤変動を想定した結果、7 号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の最大の傾斜は、それぞれ 1/1600、1/2000 及び 1/1400 程度であるが、傾斜を 1/1000 とした場合においても、建屋や機器・配管に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形量は加振試験により制御棒が規定時間内に挿

入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることなどから、耐震安全上重要な建屋や機器・配管の機能は保持されるものと判断した。

5. 基準地震動 S_s に対する 7号機の耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能

- ① 原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋のそれぞれの基礎地盤には建屋からの荷重や地震動が作用するが、地震応答解析の結果、基礎地盤には建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないこと、建屋底面沿いのすべり及び断層沿いのすべりに対するすべり安全率は「新耐震指針に照らした既設発電用原子炉設備等の耐震安全性の評価及び確認に当たっての基本的な考え方並びに評価手法及び確認基準について（平成 18 年 9 月 20 日原子力安全・保安院）」（以下、「バックチェックルール」という。）の評価基準値の 1.5 以上の安全率を有していることなどから、原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の基礎地盤の支持性能は建屋の安全性を損なうものではないと判断した。
- ② 非常用取水路の基礎地盤の地震応答解析の結果、基礎地盤には構造物からの荷重、地震動等が作用するが、基礎地盤は非常用取水路を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないことなどから、非常用取水路の基礎地盤の支持性能は非常用取水路の通水機能を損なうものではないと判断した。

6. 基準地震動 S_s に対する 7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性

1) 建物・構築物

- ① 耐震安全上重要な建物・構築物として、東京電力が原子炉建屋、タービン建屋において機能維持が要求される部位、コントロール建屋、非常用ガス処理系用排気筒及び非常用取水路を選定して、基準地震動 S_s に対する耐震安全性の評価を行っていることは妥当なものと判断した。
- ② 原子炉建屋、タービン建屋の機能維持部位及びコントロール建屋については、基準地震動 S_s による耐震壁のせん断ひずみが、耐震壁の機能が保持される限界的なせん断ひずみに余裕をみて設定されたせん断ひずみの評価基準値内であることから、耐震安全性を確保しているものと判断した。
- ③ 非常用ガス処理系用排気筒については、これを支持する換気空調系排気

筒及び鉄塔部を含め、基準地震動 S_s により各部の部材に発生する応力が、関係規準による部材の許容応力に基づき設定された評価基準値内であることから、耐震安全性を確保しているものと判断した。

- ④ 非常用取水路については、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果、構造物の層間変形角及び構造物に作用するせん断力は、構造物の崩壊に対して十分に余裕を持って設定されている限界層間変形角及びせん断耐力の評価基準値内であることから、通水機能を保持するものと判断した。

2) 機器・配管系

- ① 耐震安全上重要な機器・配管系として、東京電力はSクラス設備及びB、Cクラス設備のうちSクラス設備に波及的破損を生じさせるおそれのある設備を選定し、基準地震動 S_s に対して構造強度の保持が要求される機器・配管系と、制御棒の挿入性や動的機能の保持が要求される機器について耐震安全性の評価を行っており、妥当なものと判断した。
 - ② 原子炉本体、原子炉格納施設、使用済燃料プール及びその他の設備の機器、配管系については、その評価部位において、地震力及び地震力と組み合わせる運転状態に応じた荷重により発生する応力が、関連規準に基づき設定された許容応力等の評価基準値内であることから、構造強度を有し耐震安全性は確保されるものと判断した。
 - ③ 制御棒挿入性については、基準地震動 S_s による地震応答解析から得られた燃料集合体の中央部の相対変位が、制御棒の挿入性に係る振動試験結果により規定時間内に制御棒が挿入されることが確認されている燃料集合体の中央部の相対変位内であることから、制御棒の挿入性が確保されるものと判断した。
 - ④ 動的機器については、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果、当該機器に作用する加速度が試験等により動的機能維持が確認されている加速度内にあることから、動的機能が維持されるものと判断した。
- 3) 以上のことから、耐震安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系は、耐震安全性が確保されるものと判断した。

IV. 保安院の評価の進め方

保安院は、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地・敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 Ss、地震随件事象、7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の支持性能の評価に当たり、合同 WG 及び構造 WG を開催するとともに、保安院自らも海上音波探査を実施し、必要に応じ JNES に観測地震動の分析やクロスチェック解析を行わせた。合同 WG 及び構造 WG においては、現地調査の実施、東京電力の調査・評価内容の検討、JNES による分析や解析結果の聴取、海上音波探査記録の分析など以下による検討を行った。保安院は合同 WG 及び構造 WG の検討結果を踏まえて評価結果をとりまとめた。

- ① 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因について、合同 WG では、柏崎刈羽原子力発電所の設計時における活断層や地震動の評価内容、観測地震動に係る JNES による分析結果等を踏まえて検討を行った。
- ② 敷地・敷地周辺の地質・地質構造について、合同 WG では、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（平成 18 年 9 月 19 日原子力安全委員会決定）」（以下、「新耐震指針」という。）、「活断層等に関する安全審査の手引き（平成 20 年 6 月 20 日原子力安全委員会了承）」（以下、「手引き」という。）、バックチェックルール、保安院による海上音波探査結果等を踏まえて検討を行った。
- ③ 基準地震動 Ss について、合同 WG では、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因や地質・地質構造に係る検討結果、新耐震指針、バックチェックルール、JNES によるクロスチェック結果等を踏まえて検討を行った。
- ④ 津波などの地震随件事象について、合同 WG では、敷地周辺の津波の発生状況、地質・地質構造に係る検討結果、新耐震指針、バックチェックルール等を踏まえて検討を行った。
- ⑤ 基準地震動 Ss に対する 7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性について、構造 WG では、新耐震指針、バックチェックルール、関連する規格・規準、JNES によるクロスチェック結果等を踏まえて検討を行った。
- ⑥ 基準地震動 Ss に対する 7号機の耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能について、合同 WG では、新耐震指針、バックチェックルール等を踏まえて検討を行った。

V. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因

1. 中越沖地震について

平成19年7月16日に発生した中越沖地震は柏崎刈羽原子力発電所の北方を震源とするM6.8の地震であった。中越沖地震の諸元を以下に示す。

発生日時 平成19年7月16日10時13分
規 模 M6.8
震央位置 北緯37度33.4分、東経138度36.5分
震央距離 約16km
震源深さ 約17km

東京電力の報告によると、中越沖地震の際、柏崎刈羽原子力発電所では、1号機から7号機の各号機の原子炉建屋等において建屋系の地震観測が行われており、地盤系については、1号機、5号機、6号機、サービスホール等において地震観測が行われていた。中越沖地震時に観測された各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録の最大加速度と設計時において算定された最大加速度を比較して表-1に示す。なお、各号機の原子炉建屋、サービスホールの地盤系等では中越沖地震の本震の波形記録が得られたが、その他の観測位置では本震後の余震により本震記録が上書きされ消失したとしている。

中越沖地震時に各原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度をみると、原子炉建屋の南北軸（以下、「NS」という。）に比較して東西軸（以下「EW」という。）の方向が大きく、各号機とも中越沖地震による最大加速度が、設計時において算定された最大加速度を上回っていた。特に、1号機の原子炉建屋基礎版上のEWの最大加速度が最も大きく680ガルが観測された。

表—1 中越沖地震時に原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度
(単位：ガル (cm/s²))

	NS		EW		UD	
	中越沖地震	設計時* ¹	中越沖地震	設計時* ¹	中越沖地震	設計時* ²
1号機	311	274	680	273	408	235
2号機	304	167	606	167	282	235
3号機	308	192	384	193	311	235
4号機	310	193	492	194	337	235
5号機	277	249	442	254	205	235
6号機	271	263	322	263	488	235
7号機	267	263	356	263	355	235

* 1 設計時において算定された最大加速度。

* 2 上下方向の設計震度を加速度に換算したものの。

2. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因

中越沖地震について、地震調査研究推進本部は、強震動波形データなどの解析から、大局的には南東傾斜面が震源断層面であると推定し、余震分布から推定される南東傾斜の断層面の浅部延長は、既知の活断層に連続している可能性があるとしている。

柏崎刈羽原子力発電所6・7号機等の設置変更許可申請における安全審査では、中越沖地震の震源断層面の浅部延長部の海域において、海上音波探査データに基づき、F-B断層の一部に当たる長さ最大約8kmの断層を認めていた。しかし、その当時の海域の活断層の活動時期の認定は、「日本の活断層—分布図と資料」(活断層研究会編, 1980)等における海底活断層の認定基準等を踏まえ、断層による変位を受けた地層の年代をもとに行っており、F-B断層については、5万年前以降の地層に変位を与えていないことから、柏崎刈羽原子力発電所の耐震設計においてF-B断層は耐震設計上考慮すべき活断層ではないとしていた。

また、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動S₂は、主に直下地震(M6.5、震源距離10km)、中央丘陵西縁部断層による地震(M6.7、震央距離12km)、地震地体構造上の地震(M7.0、震央距離19km)などから距離減衰式である大崎の手法により応答スペクトルを算定し、これらを包絡した応答スペクトルをもとに最大加速度450ガルの模擬地震波として策定していた。なお、大崎の手法は、平均的な地震による地震動の応答スペクトルを算定する手法として用いられ

てきたものであり、その適用に当たっては、断層長さの中央を震央としその鉛直下方をエネルギーの放出の中心として、マグニチュード及び震央距離から応答スペクトルを算定していた。

その後、東京電力は、断層関連褶曲の知見を踏まえ、平成 15 年 6 月に海域の活断層の再評価を行った。その結果、F-B 断層については、5 万年前以降の地層に地下深部の断層活動に伴う変形が見られることから長さ約 20km の活断層の可能性があると評価した。また、F-B 断層の長さ約 20km に相当する地震規模 M7.0 を考慮して大崎の手法により敷地への影響を検討したが、敷地の地震動は基準地震動 S_2 を上回るものではないと評価していた。しかしながら、中越沖地震による原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度は、設計時において算定された基礎版上の最大加速度を上回った。

このような経緯を踏まえ、合同 WG では、中越沖地震による敷地の地震動が同規模の地震による平均的な地震動に比べて大きかった要因について重点的に検討することとした。検討に当たっては、中越沖地震の震源断層の拡がりや傾斜などの 3 次元形状を踏まえ、同地震による敷地の地震動が平均的な地震によるものと比較してどの程度大きいのか把握し、中越沖地震の震源特性や敷地・敷地周辺の地下構造が褶曲構造を呈することなどに伴う地震動の増幅特性による影響について、中越沖地震に係る関係研究機関による調査研究成果、JNES による要因分析及び東京電力による要因分析等をもとに、次の観点から検討を行うこととした。

- ① 中越沖地震の解放基盤表面の地震動と距離減衰式による地震動との比較
- ② 中越沖地震の震源特性
- ③ 敷地、敷地周辺の地下構造特性による増幅
 - ・広域的な地下構造による増幅
 - ・敷地直下の褶曲構造による増幅

以下に、合同 WG の検討の結果を示す。

1) 解放基盤表面における中越沖地震の観測地震動と距離減衰式による地震動との比較

合同 WG では、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因の検討にあたって、まず、中越沖地震の観測記録から求められた各号機の解放基盤表面の地震動の応答スペクトルと、耐専式から中越沖地震のマグニチュードと震源断層面の拡がりや傾斜等を考慮した等価震源距離を用いて内陸補正を考慮し求められた内陸地殻

内地震の平均的な地震動の応答スペクトルを比較した。

中越沖地震による各号機の解放基盤表面の地震動については、東京電力が解放基盤表面から上部の地盤モデルと原子炉建屋の地震応答解析モデルを用いて原子炉建屋基礎版上の観測記録と整合するよう解放基盤表面の地震動を推定したものであり、その推定方法については合同WGにおいて概ね妥当なものであることが確認された。

耐専式から求められる応答スペクトルは、平均的な地震による応答スペクトルとして算定されるものであり、内陸補正とは内陸地殻内地震の平均的な応答スペクトルとして、耐専式から求められた応答スペクトルに、内陸補正係数として周期0.02秒から0.6秒にかけては係数0.6、周期0.6秒から5秒にかけては周期に応じて0.6から1.0に漸増させた係数を乗じるものである。

各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録から推定された解放基盤表面の地震動を表-2に示す。また、観測記録から推定された各号機の解放基盤表面の応答スペクトルと耐専式による応答スペクトルを、1号機から4号機までの荒浜側、5号機から7号機までの大湊側に分けて図-1及び図-2に示す。

合同WGにおいて検討した結果、以下のことを確認した。

- ① 荒浜側の各号機の観測記録から推定された解放基盤表面の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの6倍に概ね相当すること。
- ② 大湊側の各号機の観測記録から推定された解放基盤表面上の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの3倍に概ね相当すること。

表-2 各号機の解放基盤表面位置及び解放基盤表面の地震動

	解放基盤表面位置 (T. M. S. L : m)	解放基盤表面上の推定地震動 (ガル)		
		NS	EW	UD
1号機	-284	842	1699	591
2号機	-250	812	1011	545
3号機	-285	994	1113	618
4号機	-285	974	1478	749
5号機	-134	515	766	262
6号機	-155	580	539	422
7号機	-155	667	613	460

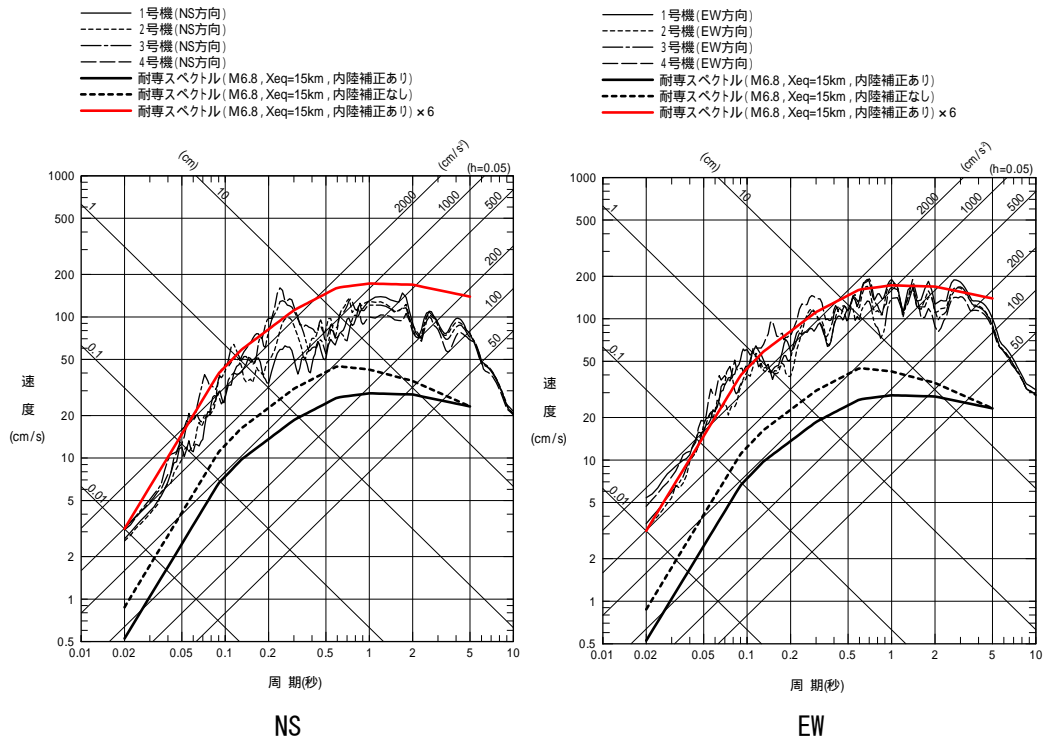
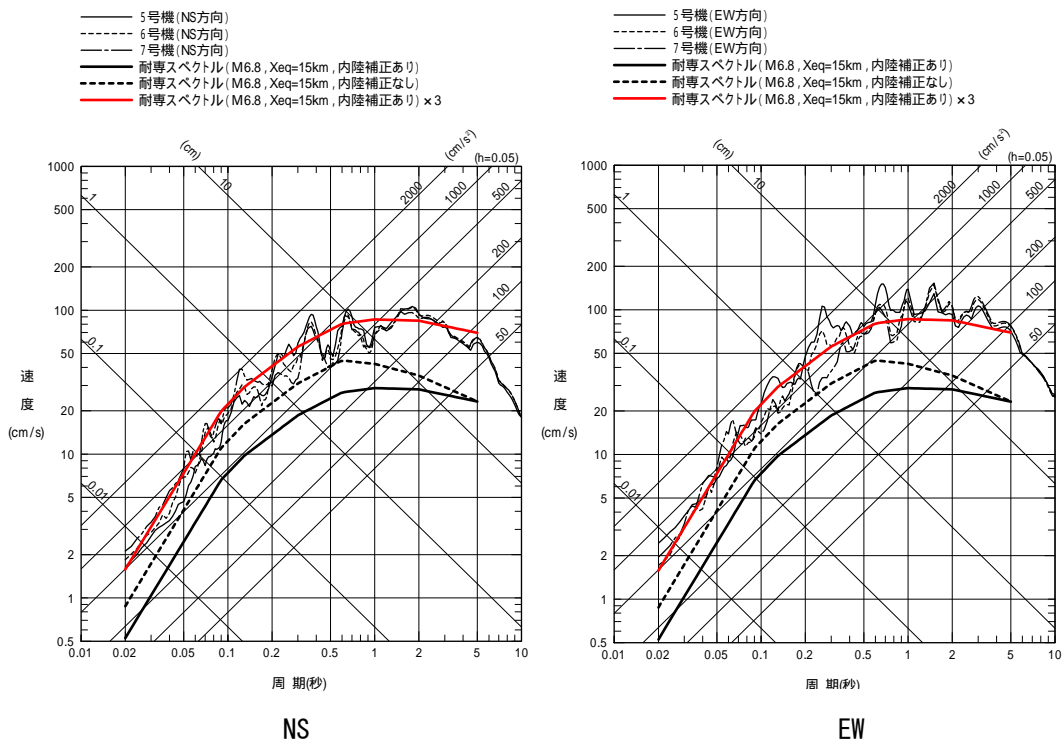


図-1 荒浜側の解放基盤波と耐専式による応答スペクトルとの比較



図－２ 大湊側の解放基盤波と耐専式による応答スペクトルとの比較

2) 中越沖地震の震源特性

合同WGでは、中越沖地震の観測記録と整合するように求めた断層モデルの震源パラメータに係るJNES及び東京電力の分析結果等をもとに中越沖地震の震源特性について検討を行った。

JNESでは、中越沖地震に係る震源断層の傾きや断層モデルによるシミュレーションに係る関係機関の研究成果、余震分布、地震観測記録等から、主たる震源断層を南東傾斜とし、3個のアスペリティからなる断層モデルを構築している。

東京電力では、余震分布を参考に南東傾斜の震源断層を想定し、1号機及び5号機の原子炉建屋基礎版の観測記録や断層面の中心から半径50kmのK-NET、KiK-net等の観測点の記録から求められる震源断層の地震モーメントの密度分布をもとに、3個のアスペリティからなる断層モデルを構築している。

合同WGにおいては、JNES及び東京電力の解析結果が観測記録と概ね整合していることを確認の上、震源特性について検討を行った。その結果、アスペリティからの地震波の短周期レベルを既往の平均的な地震の短周期レベ

ルの1.5倍程度とすることにより、解析結果と観測記録が概ね整合することを確認した。

3) 敷地周辺の地下構造特性による増幅

敷地周辺の広域的な地下構造は、地震基盤が深く、地震基盤から上部の堆積層は厚く、地震基盤及び堆積層は不整形な構造を呈し、敷地側が盛り上がっている。また、敷地直下においては浅部の堆積層が褶曲構造を呈している。

合同WGでは、このような地下構造による中越沖地震の地震動の増幅特性について検討を行った。検討に当たっては、①広域的な地下構造として堆積層が厚く、地震基盤及び堆積層は不整形な構造を呈していることによる敷地の地震動の増幅の程度、②敷地直下において浅部の堆積層が褶曲構造を呈していることによる敷地の地震動の増幅の程度について、JNES及び東京電力の分析結果等をもとに検討を行った。

JNESでは、東西方向約28km、南北方向約38km、深さ約15kmの広域における敷地周辺の地下構造の不整形性及び厚い堆積層の分布を3次元の地下構造モデルとして構築し、中越沖地震の断層モデルを用いて、敷地の地震動の増幅特性について分析を行っている。

東京電力では、東西方向約50km、南北方向約45km、深さ約18.5kmの広域における敷地周辺の地下構造の不整形性及び厚い堆積層の分布を3次元の速度構造モデルとして構築し、中越沖地震の断層モデルを用いて、敷地における地震動の増幅特性について分析を行っている。また、敷地を中心に水平方向約7.6km、鉛直方向約4.8kmの範囲における敷地直下の浅部の堆積層の褶曲構造を反映した2次元の地盤モデルを構築し、敷地の増幅特性について分析を行っている。また、東京電力は、佐渡島付近から能登半島付近の海域で発生した中越沖地震以外の地震（以下、「海域の地震」という。）と中越地方及び長野地方で発生した陸域の地震（以下、「陸域の地震」という。）とでは敷地にもたらず地震動に差があるかどうかについても分析を行っている。

合同WGにおいて地下構造による増幅特性について検討した結果、以下のことを確認した。

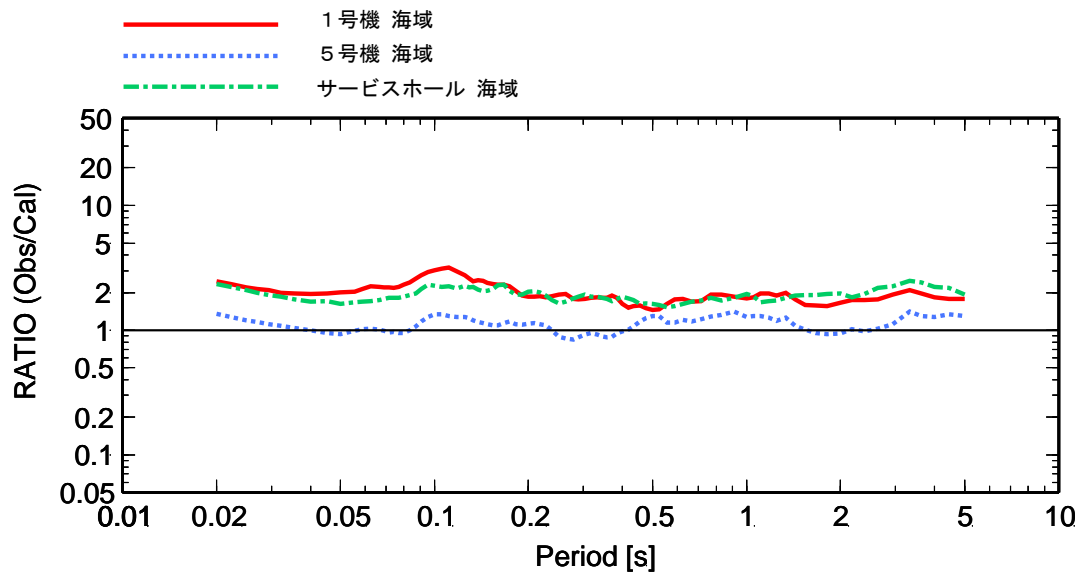
- ① JNES及び東京電力の分析結果において、広域的な地下構造としては堆積層が厚く、地震基盤及び堆積層は不整形な構造を呈することに起

因した中越沖地震による敷地の地震動の増幅については、1号機から4号機までの荒浜側及び5号機から7号機までの大湊側の解放基盤表面の地震動が平均的な地震動に対して2倍程度の増幅がみられること。

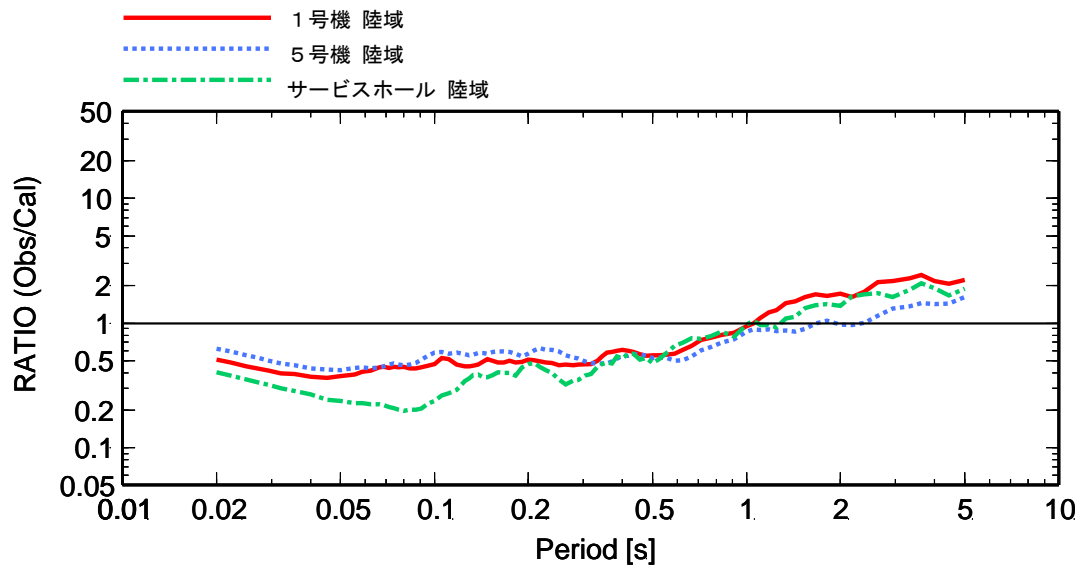
- ② 東京電力の分析結果において、敷地直下の浅部の堆積層が褶曲構造を呈することによる敷地の増幅特性は、褶曲のない水平成層の場合と比較して、荒浜側では2倍の増幅がみられること。大湊側では、水平成層の場合と大差がないこと。
- ③ これらのことから、広域的な地下構造により荒浜側及び大湊側とも2倍程度の増幅があり、さらに荒浜側では浅部の褶曲構造により2倍程度の増幅があると考えられること。

また、合同WGでは、海域で発生した地震と陸域で発生した地震による敷地での地震動について検討した結果、海域で発生した地震による解放基盤表面の応答スペクトルの平均は、耐専式による応答スペクトル(内陸補正なし)に対して大きくなるが、陸域で発生した地震の場合には1秒以下の周期において耐専式による応答スペクトル(内陸補正なし)を下回ることを確認した。

図-3に海域を震源とする地震の応答スペクトルの比率の平均及び陸域を震源とする地震の応答スペクトルの比率の平均を示す。



海域の地震のスペクトル比の平均



陸域の地震のスペクトル比の平均

図—3 海域及び陸域を震源とする地震の応答スペクトルと耐専式
(内陸補正なし)による応答スペクトルの比率の平均

3. 要因のまとめ

合同 WG においては、前述のとおり設計時における活断層や地震動の評価内容も確認した上で、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因として、中越沖地震による敷地の地震動が同規模の地震による平均的な地震動に比べ顕著に大きかった要因について検討を行った。

合同 WG における検討を踏まえ、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因についての保安院の評価は、以下のとおりである。

柏崎刈羽原子力発電所 6・7号機等の設計時に F-B 断層の一部に当たる長さ最大約 8km の断層を確認していたが、活断層とは評価していなかった。その後、断層関連褶曲の知見を踏まえ、平成 15 年に F-B 断層について長さ約 20km、地震規模が M7.0 の活断層と再評価した。また、活断層の長さの中央を震央としその鉛直下方をエネルギーの放出の中心として、マグニチュード及び震央距離をもとに敷地への影響を検討したが、敷地の地震動は基準地震動 S_2 を上回るものではないと評価していた。しかしながら、M6.8 の中越沖地震により原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度は設計時において算定された基礎版上の最大加速度を上回った。

合同WGでは、このような経緯もふまえ、中越沖地震により観測された地震動が同規模の地震から想定される平均的な地震動と比較し、顕著に大きかったことについて震源特性や敷地周辺の地下構造特性に着目して検討を行い、その要因を推定した。

中越沖地震による各号機の解放基盤表面の地震動の応答スペクトルと、耐専式から中越沖地震のマグニチュードと震源断層の拡がりや傾斜等から求めた等価震源距離を用いて内陸補正を考慮して求められた内陸地殻内地震の平均的な地震動の応答スペクトルを比較した結果

- ① 荒浜側の各号機の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの 6 倍に概ね相当する。
- ② 大湊側の各号機の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの 3 倍に概ね相当する。

中越沖地震により観測された地震動が同規模の地震から想定される平均的な地震動より大きかった要因としては、中越沖地震の震源特性や敷地周辺の地

下構造特性から以下のように推定される。

- ① 中越沖地震の震源特性の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ 1.5 倍程度大きかった。
- ② 広域的な地下構造の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ 2 倍程度大きかった。
- ③ さらに、荒浜側では、敷地直下の浅部の褶曲構造の影響により 2 倍程度の増幅があった。

4. 基準地震動 Ss の策定に当たって反映すべき事項

保安院は、合同 WG における中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因の検討結果を踏まえ、基準地震動 Ss の策定に当たって反映すべき事項として、平成 20 年 9 月 4 日、「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」をとりまとめ、地震及び地震動の評価における震源特性及び地下構造特性の考え方を示した。

保安院は、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 Ss の策定内容について、上記の考え方に照らし、その妥当性を確認することとした。

VI 敷地・敷地周辺の地質・地質構造についての保安院の評価

1. 東京電力による地質・地質構造調査について

保安院は、東京電力が実施した地質・地質構造調査が十分に行われているかどうかについて、新耐震指針、手引き及びバックチェックルールに照らして確認した。

新耐震指針においては、「活断層の位置・形状・活動性等を明らかにするため、敷地からの距離に応じて、地形学・地質学・地球物理学的手法等を総合した十分な活断層調査を行うこと。」としている。

新耐震指針（解説）においては、「敷地からの距離に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学調査等を適切に組み合わせて十分な調査を実施することとする。」「地震活動に関連した活褶曲、活撓曲等については、活断層と同様に上記の調査の対象とし、その性状に応じて震源として想定する断層の評価に考慮する。」「断層の性状については、それぞれの地域に応じ、地下構造等を把握して適切に評価すべきである。」等としている。

さらに、手引きにおいては、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学調査について、以下の各事項の内容を満足することを規定している。

- 1) 既存文献の調査については、敷地中心から概ね 100km 以内を対象に、地震活動、測地資料、歴史地震、活断層、変動地形、津波、地質構造、地球物理学調査研究等に関する文献・地図等を調査地域の地形・地質等の特性、敷地からの距離に応じて収集・整理し、当該地域で発生した、あるいは発生する可能性のある地震について、活断層の性質や地震発生様式等を把握すること。なお、100km 以遠であっても遠方の長大活断層等による敷地への影響が考えられる場合には、これを含め調査すること。
- 2) 敷地中心から少なくとも半径 30 km の範囲（以下、「半径 30km 範囲」という。）については、既存文献の調査を踏まえ、調査地域の地形・地質等の特性、敷地からの距離や敷地に与える影響に応じ、以下の調査を適切に組み合わせた十分な調査を実施すること。なお、半径 30km 以遠であっても敷地への影響が大きいと考えられる活断層の存在が想定される場合は、これを含め調査すること。
 - (1) 変動地形学的調査においては、地形発達過程（地形の成因を含む。以下同じ。）を重視し、耐震設計上考慮する活断層を認定するための根拠等を明らかにすること。

また、断層通過地点の変動だけでなく、段丘面等に現れている傾動等の広域的な変位・変形も検討対象とすること。

(2) 地表地質調査においては、既存文献の調査及び変動地形学的調査の結果を踏まえ、調査地域の広域的な地質・地質構造を把握するための調査を実施するとともに、断層近傍と推定される地域を精査すること。

特に断層露頭や地層が変形している露頭の発見と、その露頭観察による断層活動時期の特定が重要である。こうした露頭と変位地形との位置関係、断層や破碎帯の性状、地層・岩石の変位・変形構造を詳細に把握するとともに、地層及び地形面の詳細な編年を行うことにより断層活動の時期を検討すること。

断層活動の証拠が明確に確認されない地域においては、これをもって直ちに活断層の存在を否定するのではなく、活断層の存否及び活動性の確認について追加調査の実施等、特段の注意を払った検討を行うこと。

また、段丘面等に現れた広域的な変位・変形も調査対象として、これらの地形面の編年に関する詳細な調査を行うこと。

(3) 地球物理学的調査においては、調査地域の地形・地質等の特性に応じた適切な探査手法及び解析手法を用い、断層の地下構造及び褶曲等の広域的な地下構造の解明に努めること。

3) 調査地域の地形・地質条件に応じ、既存文献の調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査等の特性を活かし適切に組み合わせた調査計画に基づき得られた結果を総合的に評価すること。

また、バックチェックルールにおいては、評価手法として「敷地周辺で発生する地震に関し、各種文献、観測データ及び活断層等の調査結果を収集・検討し、過去の地震、活断層等の性質やプレートの性質、地震発生様式等を評価する。」、確認基準として「「検討用地震動」の選定に当たっては、種々の調査を実施し、地震発生様式等に着目して、「内陸地殻内地震」、「プレート間地震」、「海洋プレート内地震」等に分類していること。」としている。

ここでは、手引きに従って東京電力による調査内容を確認する。

1) について、東京電力は、敷地から概ね 100km 以内を対象に活断層に関する文献・地図等を調査し、また、概ね 200km を目安に地震に関する文献・カタログ等を調査し、敷地に大きな影響を与える可能性のある活断層を抽出し、これらについて詳細な調査を実施している。

2) について、東京電力は、陸域については、敷地を中心とする半径約 30km 範囲及び同範囲以遠に連続する主要断層沿いについて、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査を実施している。海域については、敷地を中心

として、沿岸方向約 140km、沖合方向約 50km の範囲について、地球物理学的調査（海上音波探査）、海底地形調査を実施している。

- ① 変動地形学的調査においては、地形発達過程を考慮しており、段丘面等の地形要素を抽出し、分類している。また、活断層、活褶曲等の地殻変動に起因する地形である変動地形に注目して、その可能性がある地形を抽出し、その認定根拠を示している。さらに、広域的な海成段丘等の高度分布についても調査・整理し、検討している。
- ② 地表地質調査においては、変動地形及びその可能性のある地形が認定された付近において詳細な調査を実施している。段丘面及び段丘堆積物については、後期更新世の広域火山灰を確認し、それと段丘堆積物との関係に基づき段丘面の形成時期を判断している。これら段丘面及び段丘堆積物に認められる変位・変形の有無に基づき褶曲の活動時期を評価し、耐震設計上考慮すべきか否かを評価している。また、断層の活動性を把握するため、必要に応じてボーリング調査を実施している。詳細な調査によって、後期更新世以降の活動が否定できないものについては、耐震設計上考慮している。広域的な海成段丘等の高度分布についても調査・整理し、検討している。
- ③ 地球物理学的調査としては、敷地周辺の地質構造を考慮し、陸域では反射法地震探査を、海域では海上音波探査を、それぞれ探査深度及び分解能を考慮した仕様を組み合わせて実施している。また、重力異常（ブーゲ異常）に基づく検討を実施している。

3) について、東京電力は、文献により活断層・活褶曲と指摘されているもの、変動地形学的調査により変動地形及びその可能性のある地形として抽出したもの、海上音波探査により認識した褶曲、断層等について、文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査（反射法地震探査、海上音波探査、重力異常（ブーゲ異常））等の調査結果を総合的に考慮し、地域の特性を考慮した上で、後期更新世以降の活動が否定できないものについて、耐震設計上考慮している。

以上のことから、保安院は、東京電力による地質・地質構造調査については、基本的に必要な調査は実施されていると判断した。

2. 活断層等の評価

1) 敷地周辺陸域の活断層

合同 WG では、陸域において、活断層に係る既往の調査研究や東京電力に

よる活断層調査結果を踏まえ、敷地に大きな影響をもたらすと考えられる活断層として、長岡市を含む平野部の西縁に位置する断層に重点を置いて検討した。(各断層の位置は、図-4参照。)

同平野部西縁には、北から、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層等が南北に連なり、地震調査研究推進本部地震調査委員会は、これらを総称して長岡平野西縁断層帯と呼んでいる。

(1) 角田・弥彦断層

合同WGにおいて検討した結果、角田・弥彦断層については、反射法地震探査によって地下に西側隆起の逆断層が認められ、空中写真判読においても角田山東麓の断層上盤側において後期更新世に形成された M_1 面に西方への逆傾斜が認められた。さらに地表地質調査においても断層上盤側に位置する矢作丘陵において M_1 面堆積物の基底面に変位を与える東上がりの逆断層が認められ、後期更新世以降における活動が示唆されることから活断層と評価された。また、角田・弥彦断層の北方海域延長部において前期更新世のC層の中部以下の地層に西側隆起の逆断層が認められ、完新世のA層には変形が確認された。

角田・弥彦断層の南方への連続性については、反射法地震探査によって気比ノ宮断層が想定される与板背斜東翼の信濃川左岸には連続せず、寺泊背斜東翼の島崎川流域に連続していることが確認された。燕市真木山付近以南の島崎川流域には M_1 面が分布し、それらの M_1 面のうち角田・弥彦断層の西側(隆起側)に位置する M_1 面と同断層の東側(低下側)に位置する M_1 面はほぼ同一高度を示すことから、角田・弥彦断層の南端を燕市真木山付近とした東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

角田・弥彦断層の北方への連続性については、海上音波探査においてM-26測線では前期更新世のC層の中部以下の地層に西側隆起の逆断層が認められ、その上部層についても断層上盤の背斜後翼部において後期更新世のBu層に断層関連褶曲が認められ、完新世のA層には変形が認められる。一方、その北方のM-25測線では鮮新世のD層の中部以下の地層に西側隆起の逆断層が認められ、D層上部及びC層にも撓曲変形及び断層関連褶曲が認められるものの、中期更新世のB層上部層以上の地層に変位・変形は認められないことから、角田・弥彦断層の北端をM-25測線とした東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

以上のことから、合同WGでは、角田・弥彦断層については、後期更新世以降に活動した可能性があり、その長さを中期更新世のB層上部以上の地層に変位変形が認められないM-25測線を北端とし、断層を挟んで東西に位置する M_1 面がほぼ同一高度を示す燕市真木山付近を南端とする長さ約54kmの

区間の活動性を考慮している東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

(2) 気比ノ宮断層

合同 WG において検討した結果、気比ノ宮断層に沿っては、変動地形及びその可能性のある地形が認められ、地表地質調査においても西山層、灰爪層及び魚沼層に過褶曲を示す撓曲構造が認められる。また、その東側の背斜構造を覆って分布する H 面、M_I 面、M_{II} 面及びその堆積物は背斜構造に調和して変形している。さらに、反射法地震探査及びボーリング調査において阿多鳥浜テフラの層準に変位が認められる。これらのことから、本断層の過去約 20 数万年間の平均的な変位速度は約 1m/千年と算出され、同断層は約 8,000 年前～約 7,000 年前に断層活動があった可能性があることから、同断層は活断層と評価された。

気比ノ宮断層の北端については、反射法地震探査において大河津測線では明瞭な断層は認められないものの、標高-2,000m 付近以浅に西側隆起の撓曲構造が認められる。一方、その北方に位置する燕市高木付近では標高-1,000m 付近以深に緩い撓曲変形が認められるものの、標高-1,000m 付近以浅の灰爪層（前期更新世）より上位の地層には明瞭な変位・変形は認められないこと、周辺に分布する M_I 面には高度差は認められないことから、気比ノ宮断層の北端を燕市高木付近とした東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

気比ノ宮断層の南端については、長岡市宮本町三丁目以南において変動地形及びその可能性のある地形は認められず、魚沼層は緩やかな褶曲構造を示し、過褶曲構造や断層は認められないことから、同断層の南端を長岡市宮本町三丁目とした東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

以上のことから、合同 WG では、気比ノ宮断層については、後期更新世以降に活動した活断層であり、その長さを標高-1,000m 付近以浅には明瞭な変位・変形は認められない燕市高木付近を北端とし、変動地形及びその可能性のある地形が認められない長岡市宮本町三丁目を南端とする長さ約 22km の区間の活動性を考慮している東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

(3) 片貝断層

合同 WG において検討した結果、片貝断層については、地表地質調査において片貝・真人背斜の東翼部に魚沼層の撓曲構造が連続し、変動地形学的調査及び地表地質調査において M_I 面、M_{II} 面、L_I 面、L_{II} 面及びその段丘

堆積物に魚沼層の地質構造に調和した変形が認められ、後期更新世以降における活動があったものと考えられることから活断層と評価された。

片貝断層の北端については、反射法地震探査において長岡市来迎寺北側において撓曲構造の連続が認められ、さらに北方の関原台地東側においても緩やかな撓曲構造が認められることから、同断層の北端を関原台地における段丘面に波状変形が認められる範囲の北端部の長岡市宝地町付近とした東京電力の評価結果は妥当なものと確認された。

片貝断層の南端については、東京電力は地表地質調査及び反射法地震探査において魚沼層の撓曲構造が長岡市来迎寺から小千谷市山谷付近まで認められ、その南の小千谷市桜町付近以南においては、撓曲構造の連続は認められず、変動地形及びその可能性のある地形も認められないことから、同断層の南端を小千谷市桜町付近としている。

なお、合同 WG では、東京電力が片貝断層の活動性を考慮する区間の南端を小千谷市桜町としていることについて、同断層の西側には片貝・真人背斜が並行しており、同背斜は南部に連続すること、また、一部の文献において小千谷市桜町以南に分布する L_{II} 面に傾動が示されていることから、片貝・真人背斜を含む片貝断層南端以南の変動地形の有無について東京電力に対して説明を求めた。これを受け、東京電力は、片貝・真人背斜の構造及び褶曲の成長の最盛期は小千谷市桜町付近を境に異なり、片貝断層の活動は同市桜町付近でほぼ終息していると考えられること、また、一部の文献に示されている L_{II} 面の傾動は土石流性の堆積物の堆積斜面と考えられること、また、小千谷市桜町以南の片貝・真人背斜の西翼にあたる渋海川沿いに分布する扇状地性の段丘面には基盤の魚沼層の褶曲構造と調和的な撓みや傾斜は認められず、変動地形の可能性を示唆する地形も認められないことなどを地表地質調査、DEM（デジタル標高モデル）及び空中写真判読に基づき報告し、合同 WG においても確認された。

以上のことから、合同 WG では、片貝断層については、後期更新世以降における活動があり、関原台地における段丘面に波状変形が認められる範囲の北端部の長岡市宝地町付近を北端とし、魚沼層の撓曲構造の連続が認められない小千谷市桜町付近を南端とする長さ約 16km の区間の活動性を考慮した東京電力の評価は妥当なものと確認された。

(4) 中央丘陵西縁部断層

東京電力は、中央丘陵西縁部断層については、地表地質調査において出雲崎町柿木から西山町坂田に至る間に灰爪層あるいは魚沼層以下の地層に撓曲構造が認められ、変動地形学的調査においても同区間に変動地形及びその可能性のある地形が認められるが、反射法地震探査結果から、当該地

形は、中央丘陵を形成した長岡平野西縁断層帯の活動または中越沖地震に伴って見られたような広域的な変動に伴う副次的なものと考えられるとしている。

なお、中越沖地震時に国土地理院が陸域観測技術衛星「だいち」の合成開口レーダーにより検出した隆起については、中央油帯背斜の南部の位置とよく一致することから、地震時の広域的な変動に伴い背斜の南部が成長したと考えられるが、隆起の幅が狭く背斜の西翼側に限られること、その付近に余震分布は認められないことから、東京電力は、その変動について地震を伴わない地下浅部に限られた動きと考えられるとしている。

合同 WG において検討した結果、以上の東京電力の説明は妥当なものとして確認された。

(5) 長岡平野西縁断層帯

地震調査委員会が評価した長岡平野西縁断層帯は、主として、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層からなる。

東京電力は、角田・弥彦断層と気比ノ宮断層については、連続せず別々の断層として存在することが反射法地震探査等により確認されたこと、気比ノ宮断層と片貝断層については、段丘面の変形から、活動開始時期、累積変位量、平均的な変位速度等に大きな差が見られること等から、これらの断層は、それぞれ個別の断層として評価することを基本とするが、これらの断層が長さ約 91km にわたって同時活動することについても不確かさの検討として考慮することとしている。

合同 WG で検討した結果、地震動を評価するに当たって、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すべきであることが確認された。

(6) 米山海岸周辺の海成段丘の高度分布について

合同 WG では、米山海岸周辺の海成段丘の高度分布と活構造との関係について整理すべきとの意見があり、東京電力に説明を求めた。

東京電力からは次のような説明がなされた。

① 米山海岸付近においては、高位段丘及び離水ベンチが比較的発達することから、隆起量が他の地域と比較して大きく、段丘面高度は、周辺よりやや高く、南西方にかけて高くなる。しかし、高位段丘面の傾斜は、中位段丘面の傾斜と顕著な差異は見られず、段丘の傾動には累積が認められない。

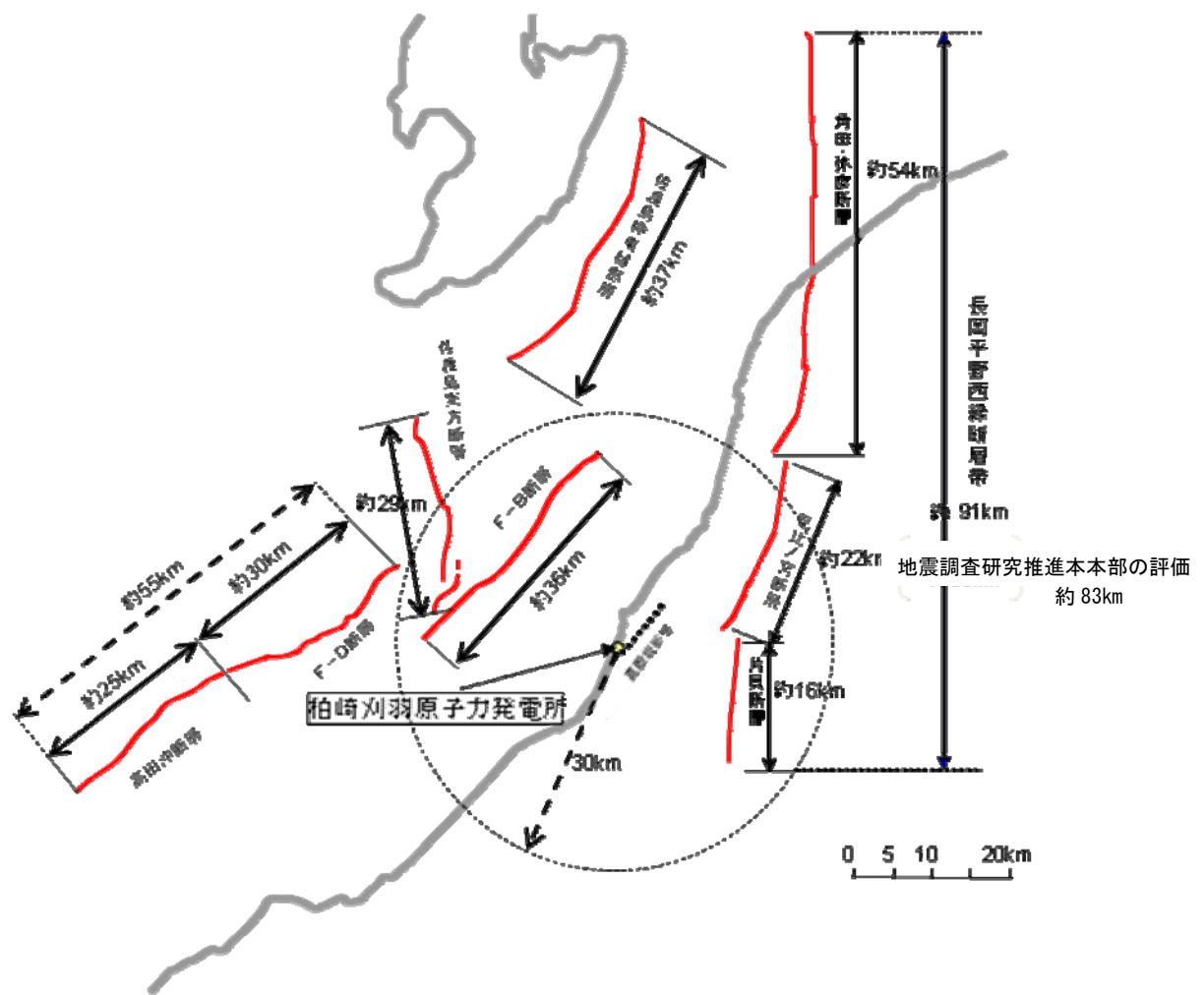
② 断層モデル（地殻変動モデル）による地殻変動の試算によると、主

としてF-B断層の活動が米山海岸付近の段丘面の隆起に寄与する。また、F-D断層及び高田沖断層の断層モデルによる地殻変動の試算結果や、高田平野東縁断層についてその北端を海岸付近の傾動が見られない段丘面付近まで延長した断層モデルによる地殻変動の試算結果によると、これらの断層の活動によっても米山海岸付近の段丘面は隆起し、その場合には海岸の南西部において隆起が大きくなる傾向がある。これらの結果から、米山海岸付近の海成段丘の高度が周辺よりも高く、南西方にかけて高くなっているのは、F-B断層、F-D断層、高田沖断層、高田平野東縁断層などの活動による地殻変動が複合的に寄与しているものと考えられる。

合同WGにおいて検討した結果、以上の東京電力の説明は概ね妥当であることが確認された。

2) 敷地周辺海域の活断層

合同WGでは、海域において、新潟県中越沖地震に関する関係機関による調査研究や東京電力による活断層調査結果等を踏まえ、敷地に大きな影響をもたらすと考えられる活断層として、F-B断層並びにF-D断層及び高田沖断層を選出し、これらの断層に重点をおいて検討した。(各断層の位置は、図-4参照。)



図—4 主な活断層位置図

(1) F-B 断層

合同 WG の検討の結果、佐渡海盆南端付近から直江津沖大陸棚にかけて分布する F-B 断層には、音波探査記録解析結果によると、Bu 層に断層関連褶曲が認められ、最終氷期の浸食面にも変形が認められることから、この断層は耐震設計上考慮すべき活断層であると評価された。

F-B 断層の長さについて、東京電力は、平成 19 年 12 月 5 日の海域地質調査の中間報告において、中越沖地震後に行ったそれまでの調査結果を踏まえ、長さ約 23 km の活断層として暫定評価し、平成 20 年 3 月 27 日の陸域及び海域の地質調査結果報告においては、褶曲構造が確認されなかった測線まで南方に延長し、長さ最大約 30 km の活断層として評価した。

この F-B 断層の北端についての東京電力の評価については、合同 WG における審議のポイントとなった。東京電力は、その北端を褶曲構造が読み取れなくなる M-8 測線までとして評価していたが、合同 WG では M-8 測線以北の測線にもわずかに褶曲構造が読み取れるという指摘が出された。東京電力は、検討した結果、指摘を踏まえ北端を No. 11 測線まで延長し、長さ約 34km と再評価した。さらに、No. 11 測線についても、合同 WG において、①No. 11 測線では本来なら反射面が下に凸になってもいいところであるが、後期更新世の Bu 層に僅かながら盛り上がりが見え、南からの構造の連続性を合わせて考えると No. 11 測線までは変動が及んでいることから、北端は No. 12 測線と評価すべき、②No. 11 測線までは変動が及んでいるとしても、震源断層があるのは M-8 測線までであり、それから北の区間は震源断層が活動したことによる周辺の変形と考えるべきで、これらを区別して評価すべき、という 2 つの意見があった。

保安院では、F-B 断層の長さについては、地震動を評価するに当たって No. 12 測線までの 36km とすることとした。

また、佐渡島南方断層について、平成 20 年 3 月 27 日の陸域及び海域の地質調査結果報告において、東京電力は F-B 断層と一連の断層として評価していることが合同 WG における審議のポイントとなった。

東京電力は、F-B 断層と佐渡島南方断層は南部において距離が近いことから、一連のものとして評価している。

合同 WG では、2 つの断層は構造及び走向に違いがあるため、別の断層として評価する方が妥当であるとの意見があり、東京電力は再検討した結果、別の断層として評価することとした。佐渡島南方断層については、海底面下の極浅部まで及ぶ東側隆起の逆断層であり、上盤側の島棚に東方への傾動が認められることから、活断層と評価し、その長さは、断層が認められず、島棚の海底地形にも東方への傾動が認められない M-9 測線を北端とし、断層関連褶曲が B 層まで及んでいない M-19 測線を南端とする約 29km であるとする東京電力の評価は妥当であることが確認された。

(2) F-B 断層の北方延長について

一部の論文において、F-B 断層がさらに北方の佐渡海盆東縁まで伸びるとされていることに関して、合同 WG において検討が行われた。

論文では海底地形や角田山・弥彦山付近の M_1 面が標高 40m~50m 分布することに基づき、大陸棚斜面の基部に沿って活断層を示している。

海上音波探査の結果、佐渡海盆東縁部における大陸棚斜面部の海底面は相対的にやや急な傾斜を示すが、この海底面は、海底下の Bu 層及びその下

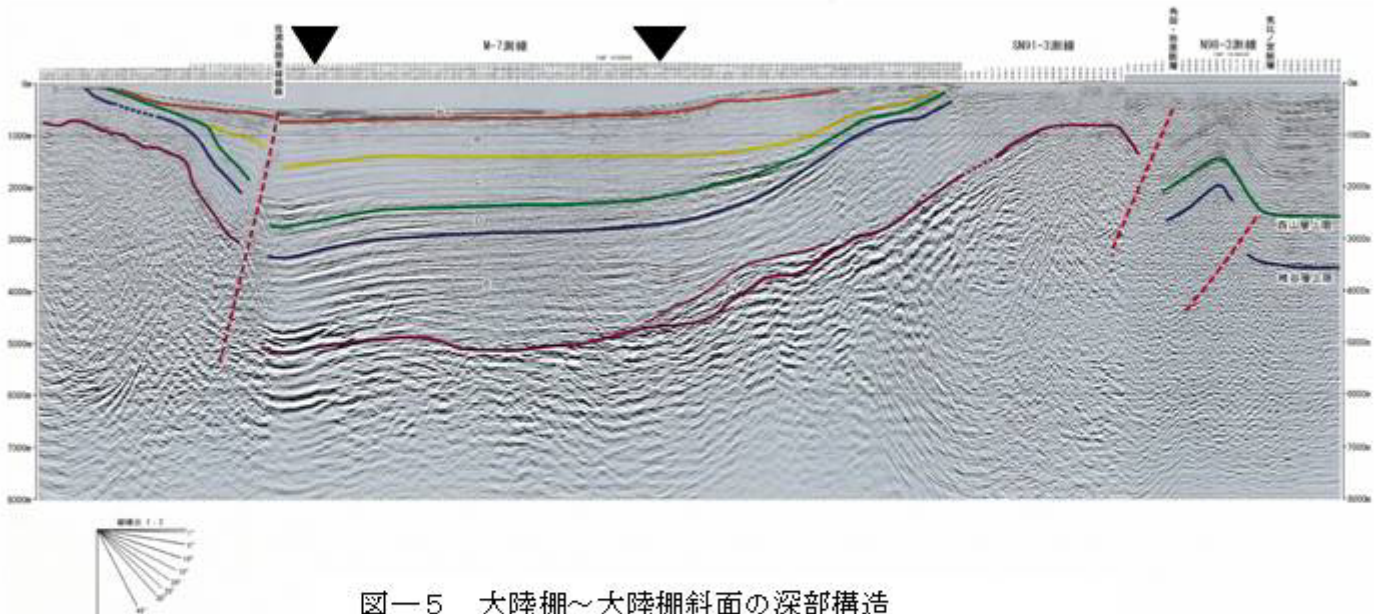
位のB層中の前置層の形態を反映してやや急な傾斜になったものと考えられるとともに、直下のB層基底面、C層基底面等の形状とは調和しておらず、大陸棚斜面下方には断層の存在を示唆する構造は認められないことが確認された。

また、地表地質調査において角田山付近に分布するM₁面は、大陸棚斜面下方に指摘される断層の活動から推定されるM₁面の東傾斜とは逆の西方に傾斜していること、前述のとおり大陸棚斜面の下方には断層を示唆する構造は認められないこと、佐渡海盆～佐渡海盆東縁～陸域にかけての反射法地震探査において角田山・弥彦断層の上盤側には非対称の褶曲構造が形成されており、同断層の活動が大陸棚斜面～大陸棚～角田山・弥彦山地域の隆起に寄与していると考えられること、断層モデル（地殻変動モデル）による地殻変動の試算において角田山・弥彦山付近の段丘面高度は、角田・弥彦断層（長岡平野西縁断層帯）の活動に起因すると考えることが合理的であるとの見解が東京電力より示され、合同WGでもそれが妥当であることが確認された。（図－5参照）

また、保安院が平成20年2月から3月にかけて中越沖地震の震源域において実施した海上音波探査結果では、更新世の地層には変位・変形を与えていない古い伏在逆断層と背斜構造が確認できた。この古い伏在逆断層（東京電力の調査において古い逆断層として存在が推定されていたものだが、今回深部までのデータを得たことによってその存在を確認することができた）は、調査範囲の南西から大陸棚外縁に斜交し東北東方向へ曲がり、調査海域の北東部で止まっていた。また、本調査範囲において渡辺ほか（2007）が推定する位置の海底下には活断層は認められなかった。さらに、保安院が同年8月に実施したF-B断層北方延長における海上音波探査においても大陸棚斜面下方には断層の存在を示唆する構造は認められなかった。

以上のことから、合同WGでは、F-B断層北方延長部において、耐震設計上考慮すべき活断層は認められないと判断した。

渡辺ほか（2007）が示す活断層の位置



図一5 大陸棚～大陸棚斜面の深部構造

(注)

本図は、東京電力資料 合同W19-2-1 P.40を使用。

本図のうち SN91-3 及び SN98-3 測線は、石油公団（現 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構）が実施した反射法地震探査記録を、東京電力（株）が独自に再処理・解析し、作成したもの。

(3) F-D 断層及び高田沖断層

合同 WG の検討の結果、上越海盆南東縁から南東の大陸棚にかけて分布する F-D 断層及び高田沖断層は、音波探査記録の解析結果によると、Bu 層に断層関連褶曲が認められることから、活断層と評価された。

F-D 断層及び高田沖断層の長さについて、東京電力は、平成 20 年 3 月 27 日の陸域及び海域地質の調査結果報告において、F-D 断層を約 25km、高田沖断層を約 23km と評価していた。合同 WG では、F-D 断層及び高田沖断層の端部の位置と F-D 断層・高田沖断層の同時活動の可能性について指摘があり、東京電力において再検討した。その結果、F-D 断層については、その北方延長の測線において背斜構造が認められない M-17 測線を北端とし、南端は緩やかな褶曲構造を示す GS-7 測線を南端とする約 30km の区間の活動性を考慮することとした。高田沖断層については、GS-7 測線を北端とし、南端は高田沖断層に関連する背斜軸のうち最も南方へ延びている

背斜軸の延長部分と J0-25 測線との交点を南端とする約 25km の区間の活動性を考慮することとした。なお、東京電力は F-D 断層と高田沖断層は連続しておらず個別に活動する断層としているが、安全評価上、その同時活動を考慮するとしている。

合同 WG で検討した結果、地震動を評価するに当たって、F-D 断層及び高田沖断層は同時活動を考慮すべきであることが確認された。

3) 敷地・敷地近傍の地質・地質構造

合同 WG では、敷地・敷地近傍の地質・地質構造について、真殿坂断層の活動性に重点をおいて検討した。

東京電力は、文献調査、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査、ボーリング調査等を実施して、敷地・敷地近傍の地質・地質構造について、以下のように評価している。

敷地は寺泊・西山丘陵の南西部に位置し、空中写真判読によると、西山丘陵及び寺泊・西山丘陵並びに敷地から 5km 以内の範囲には、変動地形の可能性のある地形は判読されないとしている。

敷地近傍の寺泊・西山丘陵では、新第三紀の地層に後谷背斜、長嶺背斜、椎谷向斜、真殿坂向斜等の褶曲構造が見られ、敷地には後谷背斜、真殿坂向斜が認められるが、敷地近傍では、これらの褶曲構造は第四紀の灰爪層に不整合に覆われており、また、高位段丘面や中位段丘面のそれぞれの高度分布に高度差は認められないとしている。また、敷地においては、西山層、椎谷層等の新第三紀の地層に認められる褶曲構造を第四紀の安田層が不整合に覆い、この安田層はほぼ水平に分布するとしている。

敷地北側においては、ボーリング調査等において真殿坂向斜を横断して、大湊砂層、安田層等の各地層の境界面、安田層下部層に挟在する阿多鳥浜テフラ等のいずれにも、西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲構造に対応する変形は認められずほぼ水平に分布するとしている（図-6 参照）。さらに、敷地前面海域から陸域にかけて行った海上音波探査及び反射法地震探査において敷地付近の浅部に見られる比較的翼部が急傾斜を示す褶曲構造は、標高-2,000m~-3,000m 以深への連続は認められず、寺泊層下部及びそれ以深の地層は西方への緩やかな同斜構造を示すとしている。

また、東京電力は、変動地形学的調査、GPS 測量、水準測量、航空写真測量等の結果から、中越沖地震に伴う敷地・敷地近傍の地殻変動について、以下のように評価している。

GPS 基準点の動きは、敷地周辺の全体的な動きと調和的であり、敷地付近

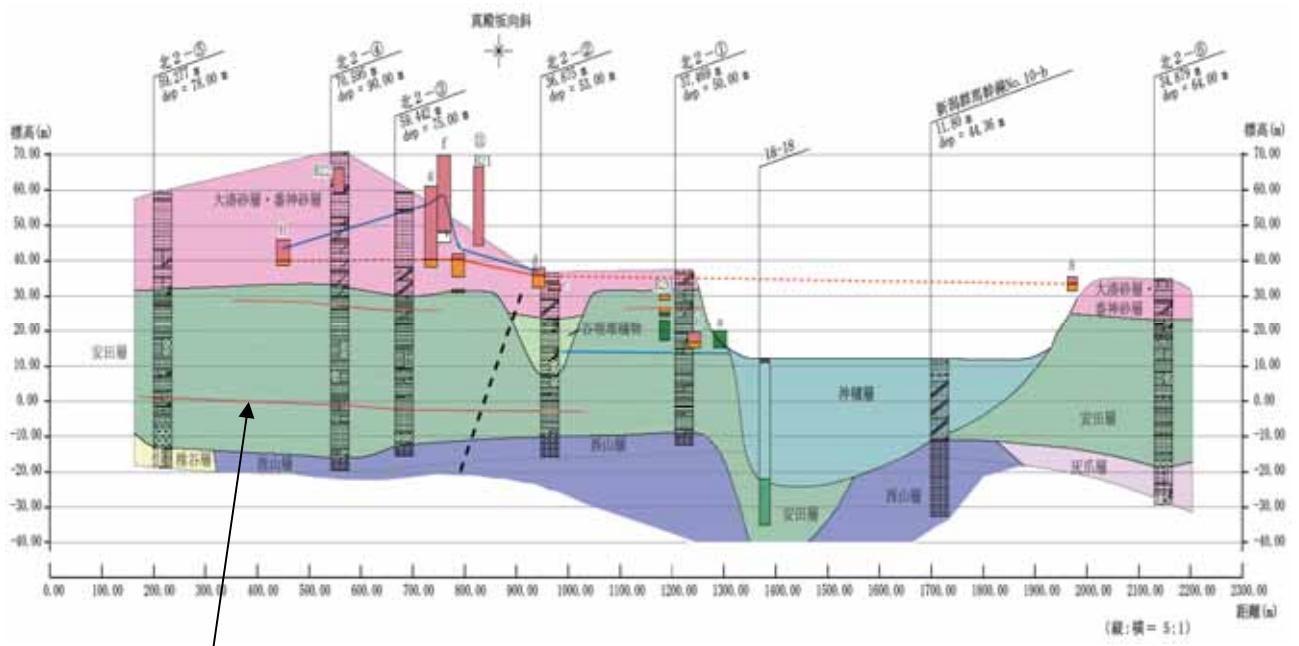
では、北西側への移動と隆起が認められたとしている。敷地北側の水準測量においては、海側(西側)が隆起し、陸側(東側)が沈降していることが認められ、敷地周辺の全体的な変動と概ね調和的であるとし、航空写真測量では、敷地は南側において全体的に北西方向に移動し、建屋近傍では隆起が認められたとしている。しかし、敷地・敷地近傍においては断層活動による変動地形や地表地震断層は認められないとしている。

建屋水準測量の結果、1～5号機側では6～9cm程度の隆起、5～7号機側では8～12cm程度の隆起が認められたが、変動量が各号機で異なること及び各建屋の四隅の変動量が異なることは、西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲、真殿坂断層及び敷地内の断層の今回の地震に伴う活動を示唆するものではなく、発電所の安全性に問題となるものではないと評価するとしている。

敷地において確認されている断層のうち、 β 断層(褶曲軸と斜交する高角系断層)、F-3断層(低角系断層)及び3V-5断層(褶曲軸と直交する高角系断層)については、立坑調査により中越沖地震に伴う活動はないことを確認したとしている。

東京電力は、以上の調査・測量結果等から、真殿坂断層については、後期更新世以降の活動は認められず、また、中越沖地震により敷地内で観測された地盤の動きは広域的な地殻変動に調和的であり、敷地において確認されている断層の中越沖地震に伴う活動は認められないとしている。

敷地・敷地近傍の地質・地質構造、特に真殿坂断層の活動性については、合同WGにおいて、以下のような意見があり、これらについて東京電力に対して説明を求め、合同WGにおいて検討した。



阿多鳥浜テフラ

図－6 敷地北側におけるボーリング調査結果
(第27回合同WG資料から引用)

(1) 敷地及び敷地北側において安田層に認められたテフラの同定について

合同WGの現地調査において、西山丘陵の安田層が概ね水平であるという東京電力の説明に対して、概ね水平ではあるが東側に若干傾動しているのではないかとの意見があった。

これを踏まえて東京電力は、敷地及び敷地北側でボーリング調査を実施し、安田層下部に挟在される火山灰などの分布を把握し、その分布標高から西山丘陵の褶曲の活動性の確認を行った。その結果、敷地及び敷地北側において安田層下部に挟在される阿多鳥浜テフラ等が、真殿坂向斜を横断しほぼ水平に分布していることが示された。

合同WGでは、安田層下部に挟在されるテフラを阿多鳥浜テフラと同定した根拠について説明を求めた。

東京電力は、敷地及び敷地北側のボーリング調査において安田層下部に認められたテフラについては、火山ガラスのタイプ及び屈折率等から、鬼界葛原テフラ、阿多鳥浜テフラ及び加久藤テフラを候補として選定した。さらに、鬼界葛原テフラに多く含まれる高温型石英が認められないこと、火山ガラスの主成分の比率構成が加久藤テフラよりも阿多鳥浜テフラと調和的であることから、このテフラを阿多鳥浜テフラと同定していることが示された。

合同 WG では、安田層下部に認められたテフラを阿多鳥浜テフラと同定した東京電力の調査結果は、実績のある火山灰の同定方法を採用しており妥当であることが確認された。

(2) 北-1 測線付近の地形・地盤状況について

合同 WG の現地調査の結果、北-1 測線の水準測量により認められた局所的な変動箇所の変動要因について地形図・空中写真判読から沖積層等の分布を把握し検討することとの意見があった。

東京電力は、北-1 測線付近の地形から推定される沖積層の分布と水準測量結果との対応を踏まえて、水準測量における局所的な変動（沈下）は、盛土、沖積層等の軟らかい層の沈下等の変形によるものと考えられているとしている。

合同 WG では、北-1 測線の水準測量において認められた局所的な変動については、盛土、沖積層等の軟らかい地層の沈下等の変形によるものと考えられるとする東京電力の評価結果は妥当であることが確認された。

(3) 建屋水準測量による上下変動量について

東京電力は、建屋水準測量により得られた建屋の上下変動量の分布は、後谷背斜及び真殿坂向斜の褶曲構造との対応は認められないこと、隆起量の大きい3号機建屋付近について、3V-5 断層の立坑調査を行い、同断層が地震により動いていないことを確認したとしている。また、建屋の上下変動量の分布は、敷地周辺の一等水準点の地震前後の変動量の分布から推定される地殻変動量の局所的な変動幅の範囲内に概ね入ることを確認したとしている。

合同 WG では、東京電力の説明に対して、敷地内の建屋水準と岩盤や沖積層の上など様々な箇所に設置している一等水準点とは、比較・検討するような条件下にないため、一緒に議論できるものではないとの意見があり、東京電力に再検討を求めた。

再検討の結果、東京電力は、平成 20 年 2 月と 8 月の測量結果を比較し、地震後、原子炉建屋、タービン建屋などいずれも地震に伴う隆起傾向は継続していないこと、建屋傾斜変化量は地震前に比べて大きな変化は認められず、日本建築学会の傾斜限界値の目安 1/2000 よりも小さいことが確認されたとしている。また、地震により生じた建屋の傾斜により、建屋の健全性、回転機器や制御棒挿入性等への影響を検討した結果、その影響は小さ

く、発電所の安全性に問題となるものではないことが確認されたとしている。さらに、岩盤に設置されている建屋レベルの隆起量は国土地理院の一等水準点から評価される地震前後の地盤鉛直変位量と調和的であり、この変動は GPS 測量結果から推定された敷地付近の動きとも調和的であること、敷地の地盤物性値にもばらつきがあること、地震に伴う建屋レベルの変動量の分布は背斜軸部で大きくなる傾向はなく、褶曲構造との対応は認められないことが確認されたとしている。その他、真殿坂断層が想定されている西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲の後期更新世以降の活動は認められないこと、敷地内に認められる断層は活断層ではなく、今回の地震により活動はないことを合わせると、建屋レベルの変動量が各号機で異なること、各建屋の四隅の変動量が異なることが、西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲、真殿坂断層、敷地内の断層の地震に伴う活動を示すものではないと考えるとしている。また、建屋水準測量による建屋の上下変動量の分布は、敷地周辺の測量結果から評価される地殻変動量の局所的なばらつきの範囲内に概ね収まっていることを確認したとしている。なお、建屋の上下変動量の局所的なばらつきは、真殿坂断層等の活動によるものではないが、ばらつきの原因については、地盤の物性、地盤の揺れや発生する応力が場所ごとに異なること等が要因として考えられるが、各要因の場所ごとのばらつきを定量的に評価すること、各要因が建屋の上下変動量の局所的なばらつきに及ぼす影響を定量的に分析することは困難であること等から、原因を明らかにすることはできないとしている。

合同 WG では、地震活動に伴う地盤の隆起量等の局所的なばらつきについては、真殿坂断層が想定されている西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲の後期更新世以降の活動は認められないこと等から、建屋レベルの変動量が各号機で異なり、各建屋の四隅の変動量が異なることが、西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲、真殿坂断層、敷地内の断層の中越沖地震に伴う活動を示すものではないとしている東京電力の評価は、妥当なものであることが確認された。

また、局所的な上下変動量のバラツキについては、地盤の物性、地盤の揺れや発生する応力が場所ごとに異なること等が要因として考えられるが、その原因を明らかにすることは困難であると判断された。また、各号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の傾斜は最大でも約 1/4000 あるが、傾斜を 1/1000 としても、建屋や機器・配管系に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形は加振試験により制御棒が規定時間内に挿入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることが確認された。

(4) 長嶺背斜東側に見られる伏在断層の活動性について

合同 WG では、東京電力が実施した敷地の南側及び北側の反射法地震探査の結果、それぞれ高町背斜の東側及び長嶺背斜の東側に伏在断層が認められることから、これらの断層の活動性について検討することを東京電力に求めた。

東京電力において検討した結果、高町背斜及び長嶺背斜の東側に認められる伏在断層については、深部まで連続するものでなく、それぞれ西山層上部及び灰爪層上部に変位を与えていない。また、高町背斜の東側では西山層を灰爪層が不整合に覆い、長嶺背斜の東側の伏在断層を挟んで MI 面に高度不連続が認められないことから、これら伏在断層及び長嶺背斜等の褶曲構造の後期更新世以降の活動は認められないとしている。

合同 WG で検討した結果、高町背斜及び長嶺背斜の東側に認められる伏在断層の活動性は認められないとしている東京電力の評価は、妥当なものであることが確認された。

以上のとおり、合同 WG では、真殿坂断層は、変動地形学的調査、地表地質調査、反射法地震探査等の結果に加え、敷地及び敷地近傍のボーリング調査により、阿多鳥浜テフラが真殿坂向斜を横断してほぼ水平に分布していること、地震後の調査・測量において、中越沖地震に伴う真殿坂断層の活動を示唆する結果は得られていないことなどから、東京電力が真殿坂断層の後期更新世以降の活動は認められないとしていることは妥当なものであると確認された。

3. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造の評価のまとめ

合同 WG においては、上述のとおり柏崎刈羽原子力発電所の敷地・敷地周辺の地質・地質構造の調査及び活断層等の評価の妥当性について、新耐震指針、手引き及びバックチェックルールを踏まえ検討を行った。

合同 WG における検討を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の敷地・敷地周辺の地質・地質構造に対する保安院の評価は、以下のとおりである。

- ① 地質・地質構造調査については、基本的に必要な調査は実施されており妥当なものと判断した。
- ② 敷地周辺陸域の活断層については、東京電力が角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層を地震動の検討対象の活断層としていることは妥当なものと判断した。また、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すべきである。

- ③ 敷地周辺海域の活断層については、東京電力が F-B 断層、佐渡島南方断層、F-D 断層、高田沖断層等を地震動の検討対象の活断層としていることは妥当なものと判断した。また、地震動の評価に当たっては、F-B 断層については長さ 36km とし、F-D 断層及び高田沖断層については同時活動を考慮すべきである。また、F-B 断層北方延長部においては、海上音波探査結果等から、耐震設計上考慮すべき活断層は認められないと判断した。
- ④ 真殿坂断層については、変動地形学的調査、地表地質調査、反射法地震探査等の結果に加え、敷地及び敷地近傍のボーリング調査により、阿多鳥浜テフラが真殿坂向斜を横断してほぼ水平に分布していること、地震後の調査・測量において、中越沖地震に伴う真殿坂断層の活動を示唆する結果は得られていないことなどから、真殿坂断層の後期更新世以降の活動は認められないと判断した。

Ⅶ. 基準地震動 Ss についての保安院の評価

合同 WG では、東京電力による基準地震動 Ss の策定内容及び策定結果の妥当性について、合同 WG における中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因及び敷地・敷地周辺の地質・地質構造に係る検討結果、新耐震指針、バックチェックルール並びに「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」を踏まえ検討を行った。

1. 震源を特定して策定する地震動

耐震設計審査指針では、基準地震動 Ss の策定方針として、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について、敷地の解放基盤表面における水平方向及び鉛直方向の地震動として策定することを要求している。

「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として策定された基準地震動 Ss についての合同 WG の検討結果は以下のとおりである。

1) 基準地震動 Ss の策定に考慮する地震

東京電力は、敷地周辺の活断層の分布状況、地震の発生状況から、海域の活断層による地震と陸域の活断層による地震を基準地震動 Ss の策定に考慮している。

(1) 海域の活断層による地震

東京電力は、海域の活断層のうち最も敷地に大きな影響を与えると想定される活断層による地震を考慮して基準地震動 Ss を策定している。

海域の活断層としては、佐渡島棚東縁断層、F-B 断層、佐渡島南方断層、F-D 断層、高田沖断層があるとしている。

表—3 に、これらの活断層の諸元を示す。

F-B 断層の長さについては 36km とし、その地震規模を中越沖地震の地震規模と震源断層面積からスケーリング則に従って求めた M7.0 としている。その他の断層の地震規模は、断層長さとの関係式に基づいて設定している。断層の傾斜角は、F-B 断層による地震は、中越沖地震の余震分布に基づき設定し、その他の海域の活断層による地震は、地質調査結果並びに地震調査研究推進本部(2004)及び同(2005)による長期評価を参考に設定されている。断層幅については、敷地周辺で発生した微小地震分布や新

潟県中越沖地震の余震分布等の検討により地震発生層の厚さを 11km とし、断層の傾斜角に基づき、地震発生層を飽和するように設定されている。等価震源距離について、F-B 断層による地震は、中越沖地震の震源モデルに基づき設定し、その他の活断層は、地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づき設定している。

東京電力はこれらの活断層の諸元をもとに、耐専式により求めた敷地の荒浜側及び大湊側における地震動の応答スペクトルの比較を行っている。F-D 断層と高田沖断層については同時活動を考慮して M7.7 として求めた荒浜側及び大湊側における応答スペクトルの比較を行っている。

表－3 海域の活断層の諸元

活断層名	断層長 (km)	地震規模 (M)	傾斜角 (度)	断層幅 (km)	等価震源距離 (km)	
					荒浜側	大湊側
佐渡島棚東縁断層	37	7.4	西 55	15	55	53
F-B 断層	36	7.0	東 35	20	13	13
佐渡島南方断層	29	7.3	東 45	16	26	25
F-D 断層	30	7.3	東 45	16	38	39
高田沖断層	25	7.2	東 30	22	59	60

合同 WG で検討した結果、これらの活断層の諸元は、VI. 2. 1) で述べた敷地周辺の活断層の評価結果、敷地周辺の微小地震等の発生状況、地震調査研究推進本部の知見等を反映したものであり妥当なものと認められた。また、各活断層の諸元をもとに応答スペクトルを比較した結果、F-B 断層の長さを 36km とした応答スペクトルは、F-D 断層と高田沖断層の同時活動による応答スペクトル、佐渡島南方断層及び佐渡島棚東縁断層の応答スペクトルのいずれをも上回っていることが認められた。

これらのことから、合同 WG では、F-B 断層の長さについて 36km とした地震を考慮して基準地震動 S_s を評価していることは妥当なものと認められた。

(2) 陸域の活断層による地震

東京電力は、陸域の活断層のうち最も敷地に大きな影響を与えると想定される活断層による地震を考慮して基準地震動 S_s を策定している。

陸域の活断層としては、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層等で

あるとしている。

表—4に、これらの活断層の諸元を示す。

断層の地震規模は、断層長さとは地震規模の関係式に基づいて設定している。断層の傾斜角は、地質調査結果並びに地震調査研究推進本部(2004)及び同(2005)による長期評価を参考に設定している。断層幅については、敷地周辺で発生した微小地震分布や新潟県中越沖地震の余震分布等の検討により地震発生層の厚さを11kmとし、断層の傾斜角に基づき、地震発生層を飽和するように設定している。等価震源距離について、陸域の活断層は、地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づき設定している。

東京電力は、陸域の活断層の諸元をもとに、耐専式により求めた敷地の荒浜側及び大湊側における地震動の応答スペクトルの比較を行っている。また、角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層の連動を考慮し長岡平野西縁断層帯として長さ91km、地震規模M8.1とした場合の荒浜側及び大湊側の応答スペクトルについての比較も行っている。

表—4 陸域の活断層の諸元

活断層名	断層長 (km)	地震規模 (M)	傾斜角 (度)	断層幅 (km)	等価震源距離 (km)	
					荒浜側	大湊側
角田・弥彦断層	54	7.7	西 50	15	51	49
気比ノ宮断層	22	7.1	西 50	15	21	20
片貝断層	16* ¹	6.8* ²	西 50	15	14	14
十日町盆地西縁断層	33	7.4	西 60	13	32	33

* 1 : 地質調査の結果による16km。

* 2 : M6.8は地震発生層を飽和する地震規模。

合同WGで検討した結果、これらの活断層の諸元は、VI.2.1)で述べた敷地周辺の活断層の評価結果、敷地周辺の微小地震等の発生状況、地震調査研究推進本部の知見等を反映したものであり妥当なものと認められた。また、各活断層の諸元をもとに応答スペクトルを比較した結果、周期約0.5秒以下では片貝断層単独による応答スペクトルが気比ノ宮断層単独による応答スペクトルをやや上回っているが、0.5秒以上では気比ノ宮断層が大きくなっている。しかし、長岡平野西縁断層帯による応答スペクトルは片貝断層及び気比ノ宮断層の応答スペクトルを大きく上回ることが認められた。

これらのことから、合同 WG では、長岡平野西縁断層帯による地震を考慮して基準地震動 Ss を評価していることは妥当なものと認められた。

2) F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯の震源モデル

基準地震動 Ss の策定に当たっては、その策定に考慮すべき地震について震源パラメータの不確かさを考慮した震源モデルを設定する必要がある。

合同 WG では、基準地震動 Ss の策定に考慮した地震について不確かさを考慮した震源モデルに関して検討を行った。

(1) F-B 断層の震源モデル

東京電力は、基準地震動 Ss の策定に当たって、海域の活断層による地震として、長さ 36km とした F-B 断層による地震の震源モデルにより敷地の地震動の評価を行っている。震源モデルのパラメータは、まず、F-B 断層を長さ 27km とした中越沖地震による観測記録に基づき各パラメータを設定したうえで、断層長さを 36km とし、これに関連するパラメータを設定し直している。

F-B 断層による地震の震源モデルの主なパラメータを表-5に示す。

表-5 F-B 断層の震源モデルの主なパラメータ

震源モデルの主なパラメータ	
断層長さ	36km
地震規模	M7.0 (断層長さ 36km に伴い考慮)
地震モーメント	$1.7 \times 10^{19} \text{N} \cdot \text{m}$ (断層長さの不確かさに伴い考慮)
断層傾斜角	35°
断層幅	20km
アスペリティの位置、応力降下量	*1
破壊開始点	*2
破壊伝播様式	*3

*1) 中越沖地震の震源特性の分析結果を参考に設定されている。

*2) 地震調査研究推進本部の震源位置及び中越沖地震の情報を参考に設定されている。

*3) 中越沖地震の震源特性の分析結果をもとにマルチハイポセンター破壊が設定されている。

合同 WG の検討の結果、基準地震動 Ss を評価するための震源モデルとして F-B 断層の長さを 36km とし、断層長さに従属するパラメータとして地震規模、地震モーメント等が断層長さに応じて変更されていることが確認された。また、断層長さに従属しない断層傾斜角、アスペリティの応力降下量、破壊伝播様式等のパラメータについては、中越沖地震の震源特性の分析結果、地震調査研究推進本部の知見等を反映したパラメータが考慮されていることから、不確かさが考慮されていないことは差し支えないものと判断した。

なお、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因の検討の結果、震源特性として短周期レベルが平均的な地震の短周期レベルより 1.5 倍大きかったことが確認されたが、これについては、アスペリティの応力降下量として反映されていることが確認された。

(2) 長岡平野西縁断層帯の震源モデル

東京電力は、基準地震動 Ss の策定に当たって、陸域の活断層による地震として、長岡平野西縁断層帯による地震の不確かさを考慮した震源モデルにより敷地の地震動の評価を行っている。

長岡平野西縁断層帯による地震の不確かさを考慮した震源モデルの主なパラメータを表-6に示す。

表-6 長岡平野西縁断層帯の震源モデルの主なパラメータ

長岡平野西縁断層帯の震源モデル			
	長岡平野西縁断層帯	長岡平野西縁断層帯 (応力降下量の不確かさ)	長岡平野西縁断層帯 (傾斜角の不確かさ)
断層長さ	91 km	91 km	91 km
地震規模	M 8.1	M 8.1	M 8.1
地震モーメント	$M_0=1.0 \times 10^{20} \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_0=1.0 \times 10^{20} \text{ N} \cdot \text{m}$	$M_0=1.8 \times 10^{20} \text{ N} \cdot \text{m}$
断層傾斜角	50°	50°	35°
断層幅	15 km	15 km	20 km
アスペリティの位置、	断層中央上端 *1	断層中央上端 *1	断層中央上端 *1
アスペリティの応力降下量	16 MPa *1	24 MPa (16×1.5) *1	17 MPa *1
破壊開始点	断層面端部	断層面端部	断層面端部
破壊伝播様式	*2	*2	*2

*1) 地震調査研究推進本部の強震動予測レシピに基づき設定されたアスペリティ位置、応力降下量。

*2) 地震調査研究推進本部の強震動予測レシピによる放射状の伝播が考慮されている。

合同 WG において、長岡平野西縁断層帯及び不確かさを考慮した各震源モデルのパラメータについて検討を行った。その結果、各震源モデルのパラメータは、地質調査の結果を踏まえて断層長さを地震調査研究推進本部による断層長さ約 83km よりも長い 91km までを考慮していること、傾斜角については、地質調査の結果及び地震調査研究推進本部の知見を踏まえ 50 度とし、さらに不確かさとして地下深部の構造が正確に把握できないことから中越沖地震の余震分布を参考に 35 度を考慮していること、アスペリティの応力降下量については、地震調査研究推進本部の強震動予測レシピに従って設定し、さらに中越沖地震の知見を踏まえ、その 1.5 倍を応力降下量の不確かさとして考慮していることから、妥当なものと認められた。

なお、合同 WG では、長岡平野西縁断層帯は断層長さが 91km と長大な断層であり、地震調査研究推進本部の強震動予測レシピでは長大な断層の震源パラメータの設定には注意が必要であるとされていることから、東京電力に対して設定した長岡平野西縁断層帯の主要なパラメータの妥当性について検討を求めた。東京電力では、長岡平野西縁断層帯の震源モデルのパラメータの設定に用いた方法以外の方法として地震調査研究推進本部の強震動レシピに示されている方法によりパラメータを算定し比較を行った。その結果について検討した結果、東京電力が設定した長岡平野西縁断層帯の震源モデルのパラメータは別の方法で算定したパラメータと比較して過小に評価されているものではないことが認められた。

3) 応答スペクトル手法に基づく地震動評価

基準地震動 S_s の策定に当たっては、応答スペクトル手法に基づいて基準地震動 S_s の評価を行う必要がある。

(1) F-B 断層による地震動評価

東京電力は、F-B 断層の震源モデルをもとに応答スペクトル手法に基づき敷地の荒浜側及び大湊側に分けて地震動を評価し、基準地震動 S_s として S_{s-1} を策定し、その水平方向の設計用応答スペクトルを S_{s-1H} 、鉛直方向の設計用応答スペクトルを S_{s-1V} としている。

合同 WG では、東京電力が行った F-B 断層の震源モデルによる地震動の評価内容について検討を行った。

F-B 断層による荒浜側及び大湊側の解放基盤表面の地震動については、震源モデルをもとに耐専式を用いた評価が行われている。震源モデルにつ

いては、Ⅶ. 1. 2)においてその妥当性を確認したものである。また、地震動の評価に当たっては、中越沖地震の震源特性及び敷地の地下構造特性による影響を考慮するため、荒浜側及び大湊側のそれぞれの各原子炉建屋基礎版上の中越沖地震の観測記録に基づき推定した解放基盤表面の地震動の応答スペクトルと中越沖地震をもとにした耐専式による応答スペクトルの比をそれぞれ包絡して水平方向及び鉛直方向のサイト補正係数を設定し、このサイト補正係数を用いて F-B 断層の地震による耐専式の応答スペクトルを補正して地震動を評価している。

これらのことから、合同 WG では、F-B 断層の震源モデルに基づき荒浜側及び大湊側のそれぞれにおいて策定された基準地震動 Ss-1 の水平方向の設計用応答スペクトル Ss-1H、鉛直方向の設計用応答スペクトル Ss-1V の策定内容は妥当なものと認められた。

(2) 長岡平野西縁断層帯による地震動評価

東京電力は、長岡平野西縁断層帯及び不確かさを考慮した各震源モデルをもとに応答スペクトル手法に基づき敷地の荒浜側及び大湊側における共通の地震動を評価し、基準地震動 Ss として Ss-3 を策定し、その水平方向の設計用応答スペクトルを Ss-3H、鉛直方向の設計用応答スペクトルを Ss-3V としている。

合同 WG では、東京電力が行った長岡平野西縁断層帯の震源モデルによる地震動の評価内容について検討を行った。

敷地の荒浜側及び大湊側において共通の地震動としていることについては、長岡平野西縁断層帯に対して敷地の荒浜側及び大湊側の等価震源距離がほぼ等しくその応答スペクトルは同一となること、観測地震動の分析結果によれば陸域で発生した地震の場合は敷地の荒浜側及び大湊側の解放基盤表面の地震動は同程度であることから妥当なものと認められた。

また、長岡平野西縁断層帯による地震動については、各震源モデルをもとに耐専式を用いて評価が行われている。震源モデルについては、Ⅶ. 1. 2)においてその妥当性を確認したものである。長岡平野西縁断層帯及びその断層傾斜角の不確かさを考慮した地震動については、敷地の地下構造特性による影響を考慮するため、陸域の地震の観測記録と耐専式による応答スペクトルの比率をサイト補正係数として、耐専式の応答スペクトルを補正し地震動を評価している。また、応力降下量の不確かさとして、地震調査研究推進本部の強震動予測レシピによる応力降下量の 1.5 倍とした地震動については、陸域の地震の観測記録と耐専式による応答スペクトルの比率が周期 1 秒以下では 0.5 程度になることを考慮し、サイト補正係数の下限

を1として、耐専式の応答スペクトルを補正し地震動を評価している。

応答スペクトル手法による評価の結果、長岡平野西縁断層帯に応力降下量の不確かさ又は断層傾斜角の不確かさを考慮した震源モデルによるそれぞれの応答スペクトルは、そのいずれかが周期帯に応じて大きくなることから、これらの上限を包絡するように基準地震動 S_s の応答スペクトルを設定している。

これらのことから、長岡平野西縁断層帯の各震源モデルに基づいて策定された基準地震動 S_s -3 の水平方向の設計用応答スペクトル S_s -3H、鉛直方向の設計用応答スペクトル S_s -3V の策定内容は妥当なものと認められた。

(3) 基準地震動 S_s の模擬地震波

東京電力は、F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯による基準地震動 S_s の模擬地震波として、設計用応答スペクトルをもとに振幅包絡線の経時的变化を Noda et al (2002) の文献に基づく形状とし、乱数位相をもつ正弦波の重ね合わせにより作成している。

その結果、模擬地震波の設計用応答スペクトルに対する適合性は、応答スペクトル比が0.85以上、応答スペクトル強さが1以上であるとしている。

合同 WG で検討した結果、作成された模擬地震波は妥当なものと認められた。

4) 断層モデルによる評価

基準地震動 S_s の策定に当たっては、断層モデルに基づいて基準地震動 S_s の評価を行う必要がある。

(1) F-B 断層による地震動評価

東京電力は、F-B 断層の震源モデルをもとに断層モデルに基づき敷地の荒浜側及び大湊側の解放基盤表面における地震動を評価し、基準地震動 S_s として S_s -2 を策定している。

合同 WG では、東京電力が行った F-B 断層の震源モデルによる地震動の評価内容について検討を行った。

震源モデルについては、VII. 1. 2) においてその妥当性を確認したものである。また、断層モデルによる地震動は、中越沖地震の余震を要素地震波として経験的グリーン関数法を用いて評価しているが、この要素地震

波は、中越沖地震の地震動の分析において中越沖地震の観測記録を断層モデルによりシミュレーションする際に用いられた要素地震波であり、シミュレーション結果は観測記録と概ね整合しているものであることから、敷地の地下構造による地震動の増幅特性が反映されているものと認められる。

また、JNES が実施した F-B 断層による敷地の荒浜側及び大湊側の解放基盤表面における地震動についてのクロスチェックの結果、東京電力の地震動の評価結果と同程度であることを確認した。

これらのことから、合同 WG では、F-B 断層の震源モデルに基づき荒浜側及び大湊側のそれぞれにおいて策定された基準地震動 Ss-2 の策定内容は妥当なものとして認められた。

(2) 長岡平野西縁断層帯による地震動評価

東京電力は、長岡平野西縁断層帯及び不確かさを考慮した各震源モデルをもとに地下構造特性の影響を考慮して断層モデルに基づき敷地の荒浜側及び大湊側の解放基盤表面における地震動を評価し、基準地震動 Ss として Ss-4 及び Ss-5 を策定している。

合同 WG では、東京電力が行った長岡平野西縁断層帯及び不確かさを考慮した各震源モデルによる地震動の評価内容について検討を行った。

震源モデルについては、VII. 1. 2) においてその妥当性を確認したものである。断層モデルによる地震動評価は、長岡平野西縁断層帯と同じ方向の中越地域で発生した 2004 年新潟県中越地震の二つの余震を要素地震波とした経験的グリーン関数法を用いている。この二つの要素地震波は、震源深さ 5km 及び震源深さ 11km の余震によるものであり、断層モデルの浅部と深部の要素地震波としているが、これらの要素地震波を用いて東京電力が 2004 年新潟県中越地震本震時の敷地の観測記録のシミュレーションを実施した結果によれば、敷地の観測記録が概ね再現されていることから、要素地震波として敷地の地下構造特性による影響が反映されているものと認められる。

断層モデルによる評価の結果、応力降下量の不確かさを考慮した震源モデルと断層傾斜角の不確かさを考慮した震源モデルによる地震動の応答スペクトルのいずれかが周期帯に応じて大きくなることから、それぞれの震源モデルを用いた断層モデルによる荒浜側及び大湊側の地震動をそれぞれ基準地震動 Ss-4 及び基準地震動 Ss-5 としている。

また、JNES が実施した長岡平野西縁断層帯による敷地の荒浜側及び大

湊側の解放基盤表面における地震動についてのクロスチェックの結果、東京電力の地震動の評価結果と同程度であることを確認した。

これらのことから、合同 WG では、長岡平野西縁断層帯の各震源モデルに基づいて策定された基準地震動 Ss-4 及び基準地震動 Ss-5 の策定内容は妥当のものと認められた。

5) 震源を特定して策定された基準地震動 Ss

合同 WG では、震源を特定して策定された基準地震動 Ss-1 から Ss-5 について検討した結果、そのいずれかが、いずれかの周期帯において大きくなっていることから、Ss-1 から Ss-5 を基準地震動 Ss としていることは妥当なものと認められた。

2. 震源を特定せず策定する地震動

「震源を特定せず策定する地震動」については、震源と活断層を関連付けることが困難な過去の内陸地殻内地震について得られた震源近傍における観測記録を収集し、これらをもとに策定することが要求される。

「震源を特定せず策定する地震動」についての合同 WG の検討結果は以下のとおりである。

東京電力は、敷地周辺の地震発生層から震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は、地震発生層を飽和する震源断層による地震であると考え、地震発生層の上端から下端まで広がる断層幅及びそれに等しい断層長さをもつ震源断層を仮定し、断層面積と地震モーメントの関係式及び地震モーメントとマグニチュードの関係式を介して、M6.7 に相当するとしている。また、地震調査研究推進本部による確率論的地震動予測地図の作成においては「震源断層を予め特定しにくい地震」を領域震源として考慮し、敷地が位置する領域震源における地震の最大規模は、1751 年越後の地震の M7.2 とされているが、東京電力は、敷地から半径 30 km 以内については、詳細な地質調査を行っていることから、この地質調査の範囲内で過去に繰り返し活動があればその痕跡が認められ、「震源を特定して策定する地震動」として評価することが可能としている。

これらのことから、東京電力では、敷地周辺において震源と活断層とを関連付けることが困難な地震の最大規模は M6.7 程度と考えられ、それを上回るような規模の震源と活断層とを関連付けることが困難な地震が発生する可能性は低いと考えられるとしている。また、加藤ほか(2004)による内陸地震を対象

として詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模を予め特定できない地震の解放基盤表面上の応答スペクトルは、「震源を特定して策定する地震動」において策定した基準地震動 S_s の設計用応答スペクトルを全ての周期帯において下回るとしている。

合同 WG で検討した結果、東京電力による評価を踏まえると、東京電力が「震源を特定せず策定する地震動」による基準地震動 S_s は、「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 S_s を下回ることから、基準地震動 S_s として「震源を特定して策定する地震動」による基準地震動 S_s で代表させるとしていることは支障ないものと認められた。

3. 基準地震動 S_s の超過確率の参照

新耐震指針においては、策定された基準地震動 S_s の応答スペクトルがどの程度の超過確率に相当するかを把握しておくことが望ましいとの観点から、安全審査においても超過確率を参照することを求めている。また、保安院が平成 20 年 9 月 4 日にとりまとめた「新潟県中越沖地震を踏まえた原子力発電所等の耐震安全性評価に反映すべき事項について」においても、不確かさを考慮して策定された基準地震動 S_s の超過確率を参照することとしている。

合同 WG では、基準地震動 S_s を超えるような地震動の発生確率（以下「超過確率」という）についての報告を東京電力及び JNES に求めた。

東京電力及び JNES は、解放基盤表面での地震動の最大加速度とそれを超える地震動が発生する確率の関係を日本原子力学会標準に基づき算定し、保安院に報告した。

東京電力から報告された基準地震動 S_s の年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度となっている。また、JNES が検討した基準地震動 S_s の年超過確率も東京電力と同程度となっている。

4. 基準地震動 S_s の評価のまとめ

合同 WG における検討結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s の策定内容及び策定結果についての保安院の評価は以下のとおりである。

- ① 「震源を特定して策定する地震動」として、F-B 断層による地震及び長岡平野西縁断層帯による地震を考慮して基準地震動 S_s を評価するとして

いることは妥当なものと判断した。

- ② F-B 断層の震源モデルのパラメータについては妥当なものと判断した。
また、長岡平野西縁断層帯及びその不確かさとして応力降下量及び断層傾斜角のそれぞれを考慮した震源モデルのパラメータについては妥当なものと判断した。
- ③ F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯の不確かさを考慮した震源モデルをもとに、応答スペクトル手法により策定された基準地震動 S_s の策定内容は、震源特性、敷地の地下構造特性を考慮して策定されており、妥当なものと判断した。
- ④ F-B 断層及び長岡平野西縁断層の不確かさを考慮した震源モデルをもとに、断層モデルにより策定された基準地震動 S_s の策定内容は、震源特性を考慮し、敷地の地下構造特性が反映された要素地震波を用いた経験的グリーン関数法に基づいて策定されており、妥当なものと判断した。
- ⑤ 「震源を特定して策定する地震動」として策定された基準地震動 S_s として、 S_s-1 から S_s-5 を基準地震動 S_s とすることは妥当なものと判断した。また、東京電力が「震源を特定せず策定する地震動」は「震源を特定して策定する地震動」を下回ることから、基準地震動 S_s として「震源を特定して策定する地震動」で代表させるとしていることは支障ないものと判断した。
- ⑥ 東京電力及び JNES から報告された基準地震動 S_s の超過確率を参照したところ、年超過確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ 程度であった。
- ⑦ 以上のことから、基準地震動 S_s は妥当なものと判断した。

VIII. 地震随件事象についての保安院の評価

1. 地震随件事象について

東京電力は、柏崎刈羽原子力発電所の地震随件事象に対する考慮として津波に対する安全性及び敷地周辺の活断層による地震に伴う敷地の地盤変動に対する安全性の評価を行っている。

新耐震指針では、地震随件事象に対する考慮として、施設の周辺斜面で地震時に想定しうる崩壊等や施設の供用期間中に極めてまれではあるが発生する可能性があるとして想定することが適切な津波によっても施設の安全機能が重大な影響を受けるおそれがないことが要求されている。

合同 WG では、東京電力が地震随件事象として評価を行っている内容について検討を行った。その結果、敷地の状況を踏まえると安全上重要な施設の近傍には地震時に想定しうる斜面の崩壊等により施設の安全機能に重大な影響を及ぼすような斜面はないと考えられることから、東京電力が地震随件事象に対する考慮として、津波に対する安全性の評価に加えて敷地周辺の活断層による地震に伴う敷地の地盤変動に対する安全性の評価を行っていることは支障ないものと認められた。

2. 津波に対する安全性

合同 WG では、東京電力による津波の解析モデル及び解析手法、津波の波源の想定に用いる断層モデル、波源位置の想定、敷地における津波の水位変動に対する柏崎刈羽原子力発電所の安全性評価及び二次的な影響評価の妥当性について、新耐震指針及びバックチェックルールを踏まえ検討を行った。合同 WG における検討結果は以下のとおりである。

1) 津波の解析モデル及び解析手法

東京電力は、柏崎刈羽原子力発電所の津波に対する安全性評価を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 平成 14 年 2 月」に基づいて実施している。具体的には、津波の評価を目的としてすべりが一様な断層モデルを用いてくいちがいの弾性論により敷地に大きな影響を与える津波の波源を想定し、解析モデルにより地盤変動も考慮して津波の伝播解析を行い、津波による水位の上昇及び下降に対する安全性の評価を行っている。津波による上昇水位及び下降水位の解析に当た

っては、海底地形及び海岸地形を反映した解析モデルを作成している。解析モデル及び解析手法の妥当性の確認にあたっては、1983年日本海中部地震などをもとに、解析値と痕跡高を比較している。

合同WGにおいては、東京電力の解析モデル及び解析手法の妥当性について検討を行った。その結果、解析モデル及び解析手法は、海岸地形及び海底地形をもとに、敷地からの距離及び水深に応じて計算格子や計算条件が設定されていることが確認された。また、1983年日本海中部地震などをもとに解析モデル及び解析手法を用いて求められた津波の解析結果と痕跡高を検討した結果、津波の解析結果は痕跡高を概ね再現しているものと認められた。また、合同WGでは中越沖地震で観測された津波水位の再現性を東京電力の解析モデル及び解析手法を用いて評価するよう東京電力に求めた。これを受け、東京電力は国土地理院、気象庁及び防災科学技術研究所の断層モデルを用いて中越沖地震の津波の解析を行った。合同WGで検討を行ったところ、解析結果は、国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網による中越沖地震の「直江津」、「酒田」、「秋田」における波形及び発電所港外で観測された波形と概ね整合していることが確認された。

以上のことから、合同WGでは、東京電力の解析モデル及び解析手法は妥当なものと認められた。

2) 津波の想定

東京電力は、津波に対する柏崎刈羽原子力発電所の安全性を評価するため、日本海東縁部を波源とする津波及び敷地周辺海域の活断層による津波を想定している。

合同WGにおいて東京電力が想定した津波について検討を行った。その結果、日本海東縁部では新潟沖から北海道沖にかけて津波を伴う地震が発生していることから、日本海東縁部を波源とする津波を想定して安全性を評価していることは妥当なものと認められた。また、敷地周辺海域においては、地質調査により活動性が確認された佐渡島棚東縁断層、佐渡島南方断層、F-D断層と高田沖断層、F-B断層及び一部が海域に及んでいる長岡平野西縁断層による津波を想定して安全性を評価していることは妥当なものと認められた。

3) 日本海東縁部の津波の波源の想定及び敷地における津波の水位

東京電力は日本海東縁部の津波について、新潟～山形沖の領域にすべりが

一様な断層モデルを用いて波源を想定し、解析モデルに基づき敷地における津波の水位変動の解析を行っている。

合同 WG では、東京電力が日本海東縁部の新潟～山形沖の領域に断層モデルを用いて波源を想定した内容及び津波の解析内容について検討を行った。その結果、合同 WG では、東京電力が、文献調査により新潟県本州沿岸において津波の痕跡高が示されている地震のうち敷地周辺の痕跡高が高いのは 1833 年山形沖地震 $M7\frac{1}{2}\pm\frac{1}{4}$ とされていること及び日本海東縁部で発生した既往津波の断層モデルのうちモーメントマグニチュード（以下「 M_w 」という。）が最大クラスのもの 1993 年北海道南西沖地震の $M_w7.84$ とされていることを考慮して、 $M_w7.85$ の規模の断層モデルによる波源を日本海東縁部の新潟～山形沖、山形～秋田沖、秋田沖～青森沖、青森～北海道沖、北海道南部沖及び北海道北部沖の各領域に設定し、これらを波源として敷地の津波水位について計算した結果、各領域のうち敷地に近い新潟～山形沖を波源とする津波による水位の上昇及び下降が大きくなることから、日本海東縁部の津波による敷地の安全性評価として、 $M_w7.85$ の規模の断層モデルを新潟～山形沖の領域に設定して津波の波源を想定し、津波の伝播解析を地盤変動も考慮して実施していることが確認された。

また、断層モデルのケーススタディーとして土木学会(2002)による新潟～山形沖の領域に地震調査研究推進本部(2003)による日本海東縁部の長期評価に示される地震活動域を加えた領域において、断層モデルの位置、走向、傾斜角及び傾斜方向をパラメータとした 60 ケースの断層モデルから得られる各波源をもとに敷地における津波の水位変動の解析を行い、敷地において最大水位上昇量及び最大水位下降量を与える断層モデルを抽出し、この断層モデルについてさらに断層上端深さや傾斜角をパラメータとした 14 ケースの断層モデルから想定される波源をもとに追加解析を行い、日本海東縁部の津波による敷地の最大水位上昇量及び最大水位下降量を算定していることが確認された。

以上のことから、合同 WG では、東京電力による波源の想定内容及び津波による敷地の水位変動の解析内容は妥当なものと認められた。

4) 敷地周辺の活断層による津波の波源の想定及び敷地における津波の水位

東京電力は、敷地周辺海域の佐渡島棚東縁断層、F-B 断層、佐渡島南方断層、F-D 断層及び高田沖断層、長岡平野西縁断層帯による津波について、すべりが一様な断層モデルを用いて波源を想定し、解析モデルに基づき敷地における津波の水位変動の解析を行っている。

合同 WG では、敷地周辺の活断層から想定された断層モデル及び津波の解析内容について検討を行った結果、東京電力が敷地周辺海域の活断層の長さなどをもとにすべりが一様な断層モデルを想定していること、特に F-B 断層の長さは 36km とし、F-D 断層及び高田沖断層については同時活動を、長岡平野西縁断層帯については傾斜角として 50 度及び 35 度とした場合を考慮していることが確認された。また、合同 WG では、F-B 断層、F-D 断層及び高田沖断層、長岡平野西縁断層帯については、地震動評価においてアスペリティやそのすべり量などを考慮した断層モデルが用いられていることから、地震動評価に用いた断層モデルによる津波の解析も追加するよう東京電力に求めた。

これを受け、東京電力では地震動評価に用いた断層モデルによる津波の解析を行い、この解析結果とすべりが一様な断層モデルによる津波の解析結果を合わせて、津波の評価を行った。

合同 WG では、東京電力がすべりを一様とした断層モデル及び地震動評価に用いた断層モデルにより想定される波源をもとに敷地における津波の水位変動の解析結果について検討を行った。その結果、水位上昇量は 1 号機から 4 号機では佐渡島棚東縁断層（すべりが一様な断層モデル）、5 号機から 7 号機では F-D 断層及び高田沖断層の同時活動（すべりが一様な断層モデル）による津波が最大になること、水位下降量は 1 号機から 7 号機とも傾斜角が 35 度の場合の長岡平野西縁断層帯（すべりが一様な断層モデル）による津波が最大になることが確認された。

以上のことから、東京電力による敷地周辺海域の活断層による津波の解析内容及び解析結果は妥当なものと認められた。

5) 津波に対する安全性

東京電力は津波に対する柏崎刈羽原子力発電所の安全性評価として、津波の水位上昇に対する安全性及び津波による水位低下や砂移動などによる取水への影響について評価を行っている。

合同 WG においては、東京電力の津波に対する柏崎刈羽原子力発電所の安全性の評価内容について検討を行った。その結果、津波による敷地の最高水位については、日本海東縁部の津波による水位上昇量が最も大きくなることから、この津波による各号機の最大水位上昇量に朔望平均満潮位 (T. M. S. L. +0.48m) を考慮すると、各号機の取水口前面における最高水位は T. M. S. L. +3.3m~+3.0m (7 号機では T. M. S. L. +3.0m) 程度とされていることが確認された。また、最高水位に対して、原子炉建屋等の安全上重要な施設の設置レ

ベルは1号機から4号機の場合は T. M. S. L. +5.0m であること、5号機から7号機の場合は T. M. S. L. +12.0m であることから、柏崎刈羽原子力発電所の各号機は津波による最高水位に対して問題となるものではないことが確認された。

津波による敷地の最低水位については、長岡平野西縁断層帯（傾斜角 35 度）の津波による水位下降量が最も大きくなることから、この津波による各号機の最大水位下降量に朔望平均干潮位（T. M. S. L. -0.02m）を考慮すると、各号機の取水口前面において T. M. S. L. -3.5m ~ -3.3m（7号機では T. M. S. L. -3.3m）程度としていることが確認された。各号機の原子炉補機冷却海水ポンプの吸い込み可能な最低水位については T. M. S. L. -5.24m ~ -4.22m（7号機では、T. M. S. L. -4.92m）程度であることが確認された。さらに、合同 WG では、7号機の非常用取水路の水理特性による原子炉補機冷却海水ポンプの取水への影響について、東京電力が取水口前面の水位の時刻歴をもとに非常用取水路の水理特性を考慮した原子炉補機冷却海水ポンプ位置の水位の応答解析結果について検討を行った。その結果、非常用取水路による水位変動の顕著な増幅はなく、7号機の原子炉補機冷却海水ポンプ室の最低水位は T. M. S. L. -3.3m 程度となるが、原子炉補機冷却海水ポンプが海水を支障なく吸い込むことができる最低水位は T. M. S. L. -4.92m 程度であることから、原子炉補機冷却海水ポンプの取水に支障はないことが確認された。

また、合同 WG では、東京電力が実施した津波による砂移動の数値解析について検討を行った。その結果、合同 WG では、日本海東縁部の津波及び長岡平野西縁断層帯（傾斜角 35 度）による津波を対象に、取水口前面の海底の砂移動について藤井ほか（1998）及び高橋ほか（1999）の二つの手法により浮遊砂の濃度を考慮して解析が行われていることが確認された。また、解析の結果、津波により一部の取水口の前面においては砂の堆積が認められるが、いずれの取水口においても原子炉補機冷却系の海水の取水には支障ないことが確認された。

以上のことから、合同 WG では、柏崎刈羽原子力発電所の7号機は津波の水位上昇及び水位低下に対して安全性が損なわれることはないと認められた。

表—7に取水口前面における日本海東縁部の津波による最大水位変動量並びに敷地周辺の活断層のうち佐渡島棚東縁断層、F-D断層と高田沖断層の同時活動及び長岡平野西縁断層帯（傾斜角 35 度）による津波の最大水位変動量を示す。

表一 7 津波による取水口前面の最大水位変動量

(単位 : m)

波源 号機	日本海東縁部		敷地周辺の活断層									
			佐渡島棚 東縁断層		佐渡島南方断層		F-D・高田沖 断層		F-B 断層		長岡平野西縁 断層帯 (35 度)	
	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量	最大水 位上昇 量	最大水 位下降 量
1号機	+2.76	-3.05	+1.57	-1.39	+1.17	-1.05	+1.41	-1.69	+1.33	-2.35	+0.60	-3.48
2号機	+2.73	-2.95	+1.47	-1.34	+1.07	-1.03	+1.36	-1.63	+1.24	-2.26	+0.57	-3.45
3号機	+2.70	-2.85	+1.44	-1.31	+0.99	-0.97	+1.32	-1.51	+1.18	-2.15	+0.55	-3.42
4号機	+2.68	-2.81	+1.45	-1.28	+0.94	-0.98	+1.29	-1.44	+1.15	-2.09	+0.53	-3.39
5号機	+2.57	-2.60	+1.11	-1.15	+0.82	-0.88	+1.42	-1.11	+1.08	-2.10	+0.47	-3.31
6号機	+2.54	-2.60	+1.06	-1.15	+0.79	-0.88	+1.39	-1.12	+1.05	-2.10	+0.47	-3.27
7号機	+2.46	-2.54	+1.07	-1.09	+0.74	-0.84	+1.35	-1.10	+1.01	-2.05	+0.45	-3.21

注 1) すべりが一様な断層モデルによる最大水位変動量。

注 2) 最大水位上昇量及び最大水位下降量とは、敷地地盤の隆起または沈降を考慮した平均潮位からの最大水位上昇量及び最大水位下降量。

3. 敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動に対する安全性

合同 WG では、敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動に対する柏崎刈羽原子力発電所の 7 号機の安全性に係る東京電力の評価内容の妥当性について、敷地周辺の活断層、中越沖地震に伴う建屋の傾斜に対する検討結果等を踏まえて検討を行った。合同 WG における検討結果は以下のとおりである。

1) 敷地の地盤変動の解析手法

東京電力は、敷地周辺の活断層をもとに、すべりが一様な断層モデル等を想定し、くいちがいの弾性論に基づき敷地の地盤変動の解析を行っている。

合同 WG では、東京電力が行った敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動の解析手法について検討を行った。その結果、国土地理院が中越沖地震の地盤変動の評価に用いた断層モデル及び東京電力の解析手法を用いて東京電力が実施した中越沖地震の地盤変動の解析結果が、国土地理院の解析結果と一致することから、東京電力の解析手法は妥当なもの認められた。

2) 敷地周辺の活断層による地盤変動

東京電力は、敷地周辺の活断層による地盤変動の解析を行い、7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋における地盤変動量及び各建屋の傾斜を算定している。

合同WGでは、東京電力の地盤変動の解析内容について検討を行った。その結果、東京電力が敷地周辺の活断層のうち、敷地に近いF-B断層（長さ36km）及び長岡平野西縁断層帯（長さ91km、傾斜角50度及び35度）を選定し、地盤変動の解析を行っていることが確認された。また、合同WGでは、F-B断層及び長岡平野西縁断層帯については地震動評価においてアスペリティやそのすべり量などを考慮した断層モデルが用いられていることから、地震動評価に用いた断層モデルによる地盤変動の解析も追加するよう東京電力に求めた。

これを受け、東京電力では地震動評価に用いた断層モデルによる地盤変動の解析を行い、この解析結果とすべりが一様な断層モデルによる地盤変動の解析結果を合わせて、建屋の地盤変動に対する評価を行っている。

合同WGでは、東京電力がF-B断層及び長岡平野西縁断層帯についてすべりが一様な断層モデル及び地震動評価に用いた断層モデルによる地盤変動の解析を行い、7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の四隅の地盤変動量を算定した内容について検討を行った。その結果、東京電力が、すべりを一様とした断層モデルによる地盤変動量の算定に当たっては、それぞれの断層の震源断層の長さ及び傾斜角をもとに断層面を地表付近まで延長していくいちがいの弾性論に基づき、まず断層のすべり量を1mと仮定した場合の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の四隅の地盤変動量を求め、これを地震動評価に用いた地震モーメントで補正していることが確認された。地震動評価に用いた断層モデルによる建屋の地盤変動量の算定に当たっては、当該断層モデルのパラメータを用いていくいちがいの弾性論に基づき各建屋の地盤変動量を求めていることが確認された。さらに、中越沖地震による地盤変動量の解析値と実測値に差があることから、その差分のばらつきの標準偏差を用いて傾斜が厳しくなるように変動量を補正し、その結果得られる傾斜に、中越沖地震後の現在の傾斜を加えて評価していることが確認された。また、F-B断層による地盤変動については、地震動評価に用いた南東傾斜の単一の矩形断層によるモデルに加えて、中越沖地震について国土地理院が推定した南東傾斜と北西傾斜の2枚の断層を組み合わせたモデルの長さ及びすべり量を地震動評価に用いたF-B断層の長さ36kmに合わせて36/27倍に拡張した断層モデルによる場合についても地盤変動量を解析

し評価していることが確認された。

また、合同WGでは、断層が断層面の全面に渡って破壊しない場合のほうが、傾斜が大きくなる場合があることから、東京電力に検討を求めた結果、東京電力では、破壊する断層の長さ及び破壊する断層の幅をパラメータとして解析を実施し、この解析結果を含めて建屋の傾斜を評価していることが確認された。

以上のことから、合同WGでは、敷地周辺の活断層による地盤変動の解析内容及び建屋の地盤変動量の算定内容は妥当なもの認められた。

3) 地盤変動に対する7号機の安全性

東京電力は敷地周辺の活断層による地盤変動に伴う7号機の建屋の地盤変動量に対する安全性の評価を行っている。

合同WGでは東京電力による7号機の建屋の地盤変動量に対する安全性の評価内容について検討を行った。その結果、7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の最大の傾斜は、それぞれ1/1600、1/2000及び1/1400程度であるが、傾斜を1/1000とした場合においても、建屋や機器・配管に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形量は加振試験により制御棒が規定時間内に挿入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることが確認された。また、東京電力による建屋の傾斜による安全性への評価内容については構造WGにおいても確認された。

以上のことから、合同WGでは、東京電力が地盤変動に対して耐震安全上重要な建屋や機器・配管の安全機能は保持されるとしていることは支障ないものと認められた。

4. 地震随件事象の評価のまとめ

合同WGにおける検討結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の地震随件事象に対する保安院の評価は以下のとおりである。

- ① 柏崎刈羽原子力発電所の地震随件事象として、敷地の状況から、安全上重要な施設の近傍には地震時に想定しうる斜面の崩壊等により施設の安全機能に重大な影響を及ぼすような斜面はないと考えられることから、東京電力が地震随件事象として津波に対する7号機の安全性の評価及び敷地周辺の活断層の活動に伴う敷地の地盤変動に対する7号機の安全性の評価を行っていることは妥当なもの判断した。

- ② 津波に対する7号機の安全性については、日本海東縁部の新潟～山形沖の地震による津波、敷地周辺の活断層による津波を考慮して敷地の津波の評価を行った結果、津波による敷地の最高水位については、7号機の取水口前面において T. M. S. L. +3.0m 程度となることに対して7号機の原子炉建屋等の安全上重要な施設の設置レベルは T. M. S. L. +12.0m であること、津波による敷地の最低水位については、7号機の取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプ室において T. M. S. L. -3.3m 程度となることに対して原子炉補機冷却海水ポンプが海水を支障なく吸い込むことができる最低水位は T. M. S. L. -4.92m であることなどから、7号機は津波に対して安全であると判断した。
- ③ 敷地周辺の活断層による地震に伴う地盤変動として F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯による地盤変動を想定した結果、7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の最大の傾斜については、それぞれ 1/1600、1/2000 及び 1/1400 程度であるが、傾斜を 1/1000 とした場合においても、建屋や機器・配管に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形量は加振試験により制御棒が規定時間内に挿入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることなどから、耐震安全上重要な建屋や機器・配管の機能は保持されるものと判断した。

IX. 耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能についての保安院の評価

東京電力は、基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能について評価を行っている。

合同 WG では、東京電力による基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能の評価の妥当性について、新耐震指針及びバックチェックルールを踏まえ検討を行った。合同 WG における検討結果は以下のとおりである。

1. 耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能の評価方法

東京電力は、原子炉建屋、タービン建屋、コントロール建屋及び非常用取水路の基礎地盤について、基準地震動 S_s を用いて地震応答解析を行い、基礎地盤の支持性能の評価を行っている。

合同 WG では、東京電力の基礎地盤の支持性能の評価方法について検討を行った。検討の結果、基礎地盤の支持性能の評価に当たっては、建物・構築物及び基礎地盤の地質状況を考慮して有限要素にモデル化し、地盤及び建屋の自重による常時の応力に、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果得られる地震時の増分応力を重ね合わせるにより、地盤の各要素に発生する応力を求め、これと岩石試験結果等に基づく地盤の強度を比較し、支持性能の評価を行っていることが確認された。

また、合同 WG では、基礎地盤である西山層及び椎谷層の地盤物性に対して、中越沖地震による影響があったかを確認するため、東京電力が中越沖地震後に実施した強度特性や変形特性などの試験結果と既往の試験結果を比較した。その結果、中越沖地震による地盤物性に特段の変化はみられないことが確認された。

以上のことから、合同 WG では、東京電力の基礎地盤の支持性能の評価方法は妥当なものと認められた。

2. 耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能

1) 原子炉建屋の基礎地盤の支持性能

東京電力は 7 号機の原子炉建屋の基礎地盤の支持性能について、原子炉建屋、基礎地盤及びマンメイドロックを有限要素にモデル化し、マンメイドロックの打ち継ぎ目における応力の伝達はないものとして、地震応答解

析を行うことにより評価を実施している。なお、東京電力によると、原子炉建屋の地震応答解析から得られる鉛直力及び転倒モーメントから求まる最大接地圧は $2,019\text{kN/m}^2$ であり、地盤の支持力試験の最大荷重は $6,178\text{kN/m}^2$ であるとしている。

合同 WG では、東京電力が、原子炉建屋、基礎地盤及びマンメイドロックを有限要素にモデル化して地震応答解析を行い、原子炉建屋の基礎地盤の支持性能を評価した内容について検討を行った。その結果、解析モデルは原子炉建屋を通る汀線平行方向及び汀線直交方向の鉛直 2 次元断面を基本に、地盤の状況、断層の分布状況を考慮し、汀線平行方向約 $1,000\text{m}$ 、汀線直交方向に約 730m 、深さ約 170m の解放基盤表面位置までモデル化し、基準地震動 S_s を用いて地震応答解析を行っていることが確認された。

地震応答解析の結果、原子炉建屋の基礎地盤及びマンメイドロックには、原子炉建屋からの荷重や地震動によって、局所的にせん断破壊、引張破壊及びそれらの複合破壊が発生している要素が認められるが、ほとんどの要素は破壊を生じておらず、原子炉建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されることはないことが確認された。なお、マンメイドロックの打ち継ぎ目を考慮せず応力が伝達されるとした場合の地震応答解析結果についても検討した結果、打ち継ぎ目を考慮した場合と比較して、局所的にせん断破壊等が発生する要素の分布は異なるが、ほとんどの要素は破壊を生じておらず、連続した破壊面が形成されることはないことが確認された。

原子炉建屋底面沿い及び建屋直下の断層沿いのすべりに対しては、地震応答解析の結果、建屋底面沿いのすべりに対する最小安全率は 2.7、断層沿いのすべりに対する最小安全率は 1.6 であり、バックチェックルールによる評価基準値 1.5 以上のすべり安全率を有していることが確認された。なお、東京電力では、断層沿いの最小すべり安全率 1.6 については、原子炉建屋を通る二次元の解析断面の結果であることから、奥行き方向の側面抵抗を考慮した解析を行っているが、その解析結果からすべり安全率は 3 程度になることが確認された。

また、原子炉建屋はロッキング振動により最大約 $1/1700$ の傾斜が生じるが、原子炉建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果に基づく評価結果から耐震安全性が確保されることが構造 WG において確認されている。

以上のことから、合同 WG では、原子炉建屋の基礎地盤の支持性能は原子炉建屋の安全性を損なうものではないと認められた。

2) タービン建屋の基礎地盤の支持性能

東京電力は、7号機のタービン建屋の基礎版上に安全上重要な非常用補機冷却系が設置されていることを考慮して、地震時にタービン建屋の基礎地盤がすべることなどにより非常用補機冷却系に波及的影響が生じないことを確認するため、タービン建屋の基礎地盤の支持性能について、タービン建屋及び基礎地盤を有限要素にモデル化し地震応答解析を行うことにより評価を実施している。なお、東京電力によると、タービン建屋の地震応答解析から得られる鉛直力及び転倒モーメントから求まる最大接地圧は 690kN/m^2 であり、地盤の支持力試験の最大荷重は $6,178\text{kN/m}^2$ であるとしている。

合同 WG では、東京電力が、タービン建屋及び基礎地盤を有限要素にモデル化して地震応答解析を行い、タービン建屋の基礎地盤の支持性能を評価した内容について検討を行った。その結果、解析モデルはタービン建屋を通る汀線平行方向及び汀線直交方向の鉛直 2 次元断面を基本に、地盤の状況、断層の分布状況を考慮し、汀線平行方向約 $1,000\text{m}$ 、汀線直交方向に約 730m 、深さ約 170m の解放基盤表面位置までモデル化し、基準地震動 S_s を用いて地震応答解析を行っていることが確認された。

地震応答解析の結果、タービン建屋の基礎地盤には、タービン建屋からの荷重や地震動によって、局所的にせん断破壊、引張破壊及びそれらの複合破壊が発生している要素が認められるが、ほとんどの要素は破壊を生じておらず、タービン建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されることはないことが確認された。

また、タービン建屋底面沿い及び建屋直下の断層沿いのすべりに対しては、地震応答解析の結果、建屋底面沿いのすべりに対する最小安全率は 2.2、断層沿いのすべりに対する最小安全率は 1.5 であり、バックチェックルールによる評価基準値 1.5 以上のすべり安全率を有していることが確認された。なお、東京電力では、断層沿いの最小すべり安全率 1.5 については、奥行き方向の側面抵抗を考慮した解析を行っているが、その解析結果から最小すべり安全率は 3 程度になることが確認された。

なお、タービン建屋はロッキング振動により最大約 $1/6300$ の傾斜が生じるが、タービン建屋及び耐震安全上重要な機器・配管系は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果に基づく評価結果から耐震安全性が確保されることが構造 WG において確認されている。また、タービン建屋の傾斜による相対変位は、原子炉建屋の傾斜による相対変位を含めて考慮しても、原子炉補機冷却系の機能を損なわせるようなことはないことが確認された。

以上のことから、合同 WG では、タービン建屋の基礎地盤の支持性能はタービン建屋の安全性を損なうものではないと認められた。

3) コントロール建屋の基礎地盤の支持性能

東京電力は、7号機のコントロール建屋の基礎地盤の支持性能について評価を行っている。

東京電力は7号機のコントロール建屋の基礎地盤の支持性能について、コントロール建屋、基礎地盤及びマンメイドロックを有限要素にモデル化し、地震応答解析を行うことにより評価を実施している。なお、東京電力によると、コントロール建屋の地震応答解析から得られる鉛直力及び転倒モーメントから求まる最大接地圧は $1,313\text{kN/m}^2$ であり、地盤の支持力試験の最大荷重は $5,982\text{kN/m}^2$ であるとしている。

合同WGでは、東京電力が、コントロール建屋、基礎地盤及びマンメイドロックを有限要素にモデル化して地震応答解析を行い、コントロール建屋の基礎地盤の支持性能を評価した内容について検討を行った。その結果、解析モデルはコントロール建屋を通る汀線平行方向及び汀線直交方向の鉛直2次元断面を基本に、地盤の状況、断層の分布状況を考慮し、汀線平行方向約1,000m、汀線直交方向に約650m、深さ約170mの解放基盤表面位置までモデル化し、基準地震動 S_s を用いて地震応答解析を行っていることが確認された。

地震応答解析の結果、コントロール建屋の基礎地盤には、コントロール建屋からの荷重や地震動によって、局所的にせん断破壊、引張破壊及びそれらの複合破壊が発生している要素が認められるが、ほとんどの要素は破壊を生じておらず、コントロール建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されることはないことが確認された。

また、コントロール建屋底面沿い及び建屋直下の断層沿いのすべりに対しては、地震応答解析の結果、建屋底面沿いのすべりに対する最小安全率は2.6、断層沿いのすべりに対する最小安全率は1.6であり、バックチェックルールによる評価基準値1.5以上のすべり安全率を有していることが確認された。なお、東京電力では、断層沿いの最小すべり安全率1.6については、奥行き方向の側面抵抗を考慮した解析を行っているが、その解析結果から最小すべり安全率は3程度になることが確認された。

なお、コントロール建屋はロッキング振動によって最大 $1/2400$ の傾斜が生じるが、コントロール建屋及び耐震安全上重要な機器等は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析結果に基づく評価結果から耐震安全性が確保されることが構造WGにおいて確認されている。

以上のことから、合同WGでは、コントロール建屋の基礎地盤の支持性能は

コントロール建屋の安全性を損なうものではないと認められた。

4) 非常用取水路の基礎地盤の支持性能

東京電力は、取水設備のうち非常用取水路については地震時に原子炉を冷却するために必要な水量の通水機能を保持する必要があることから、非常用取水路の通水機能の保持の観点から非常用取水路の基礎地盤の支持性能の評価を行っている。非常用取水路のうちスクリーン室及び取水路は洪積層に設置され、補機冷却用海水取水路（南側及び北側）はマンメイドロックに設置されているとしている。非常用取水路の基礎地盤の支持性能の評価は、非常用取水路、周辺地盤及びマンメイドロックをモデル化し、地震応答解析を行うことにより実施している。なお、東京電力によれば、基準地震動 S_s により構造物から地盤に作用する鉛直方向の合力は約 11,900kN~8,150kN であり、地盤の極限支持力は約 23,900kN~約 54,200kN であるとしている。

合同 WG においては、東京電力が、非常用取水路、周辺地盤及びマンメイドロックをモデル化し、地震応答解析を行うことにより実施した非常用取水路の基礎地盤の支持性能の評価内容について検討を行った。その結果、解析モデルは非常用取水路のスクリーン室は軸直交方向に約 300m、取水路及び補機冷却用海水取水路は軸直交方向に約 200m、深さ方向についてはいずれも約 70m の範囲について、地盤及びマンメイドロックを有限要素に、スクリーン室、取水路及び非常用取水路を線材要素にモデル化し、解放基盤表面の基準地震動 S_s から 1次元波動論によりモデル下端の入力地震動を求め、地震応答解析を行っていることが確認された。

地震応答解析の結果、非常用取水路の基礎地盤には構造物からの荷重、地震動等が作用することにより、スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の基礎地盤には局所的にせん断破壊や引張破壊が発生している要素があるが、ほとんどの要素は破壊しておらず、スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないことが確認された。

また、地震応答解析の結果から得られたスクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の水平方向及び鉛直方向の相対変位を考慮しても非常用取水路の通水機能は保持されることが確認された。

以上のことから、合同WGでは、非常用取水路の基礎地盤の支持性能は非常用取水路の通水機能を損なわせるようなことはないと認められた。

3. 耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能についての評価のまとめ

合同WGにおける検討結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能に対する保安院の評価は以下のとおりである。

- ① 原子炉建屋の基礎地盤の地震応答解析の結果、基礎地盤には原子炉建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないこと、原子炉建屋底面沿いのすべり及び断層沿いのすべりに対するすべり安全率は評価基準値の1.5以上の安全率を有していることなどから、原子炉建屋の基礎地盤の支持性能は原子炉建屋の安全性を損なうものではないと判断した。
- ② タービン建屋の基礎地盤の地震応答解析の結果、基礎地盤にはタービン建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないこと、タービン建屋底面沿いのすべり及び断層沿いのすべりに対するすべり安全率は評価基準値の1.5以上の安全率を有していることなどから、タービン建屋の基礎地盤の支持性能はタービン建屋の安全性を損なうものではないと判断した。
- ③ コントロール建屋
コントロール建屋の基礎地盤の地震応答解析の結果、基礎地盤にはコントロール建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないこと、コントロール建屋底面沿いのすべり及び断層沿いのすべりに対するすべり安全率は評価基準値の1.5以上の安全率を有していることなどから、コントロール建屋の基礎地盤の支持性能はコントロール建屋の安全性を損なうものではないと判断した。
- ④ 非常用取水路の基礎地盤の地震応答解析の結果、基礎地盤には構造物からの荷重、地震動等が作用するが、基礎地盤は非常用取水路を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないことなどから、非常用取水路の基礎地盤の支持性能は非常用取水路の通水機能を損なわせるようなことはないと判断した。

X. 基準地震動 Ss に対する 7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性についての保安院の評価

1. 耐震安全性の評価対象

東京電力は、基準地震動 Ss に対する 7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性について、建物・構築物については、原子炉建屋、タービン建屋、排気筒、コントロール建屋及び非常用取水路を選定し、機器・配管系については、S クラス設備及び B、C クラス設備のうち S クラス設備に波及的影響を生じさせるおそれのある設備を選定し評価を行ったとしている。また、地震時における制御棒の挿入性及び動的機能が要求される機器を選定し評価を行ったとしている。

基準地震動 Ss に対する耐震安全性の評価対象として選定された建物・構築物、機器・配管系を表-8 に示す。

構造 WG においては、新耐震指針、バックチェックルール等に基づき、基準地震動 Ss に対する耐震安全性の評価対象として選定された建物・構築物、機器・配管系の各設備について検討を行った。検討の結果、基準地震動 Ss による地震力に対してその安全機能の保持が要求される設備及びその設備に波及的影響を生じさせるおそれのある設備を選定し耐震安全性の評価が行われていること、制御棒の挿入性及び動的機能が要求される機器を対象として評価が行われていることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、基準地震動 Ss に対する耐震安全性の評価対象として選定された建物・構築物、機器・配管系は妥当なものと認められた。また、制御棒の挿入性及び機器の動的機能を評価対象として選定していることは妥当なものと認められた。

表－8 耐震安全性の評価対象設備

評価対象設備			備考 (耐震強化工事概要)
種別	クラス	設備名称	
建物・構築物	S	原子炉建屋	屋根トラスの下弦材の一部ブレースの増強
	S	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器	－
	S	排気筒のうち非常用ガス処理系用排気筒	オイルダンパー（制震装置）の設置
	B	タービン建屋（原子炉補機冷却水・海水系の支持機能）	－
	S	コントロール建屋	－
	C	取水路（非常用取水路の通水機能）	－
機器	S	原子炉圧力容器	－
	S	原子炉圧力容器支持構造物	－
	S	原子炉圧力容器付属構造物	－
	S	炉内構造物	－
	S	炉心支持構造物	－
	S	原子炉本体の基礎	－
	S	制御棒駆動系	－
	S	ほう酸水注入系	－
	S	核計測装置	－
	S	放射線管理用計測装置	－
	S	制御盤等	－
	S	主蒸気系	－
	S	残留熱除去系	－
	S	原子炉隔離時冷却系	－
	S	高圧炉心注水系	－
	S	原子炉補機冷却水系	熱交換器の脚部のサポートの設置
	S	原子炉補機冷却海水系	－
	S	原子炉格納容器	－
	B	原子炉遮へい壁	－
	S	非常用ガス処理系	－
S	換気設備（中央制御室）	－	
S	使用済燃料プール	－	

	B	燃料取替機	脱線防止金具の強化 フレーム補強材の追加
	B	原子炉建屋クレーン* ¹	脱線防止ラグの形状変更 トロリストッパの形状変更
	S	使用済燃料貯蔵設備	—
	S	非常用ディーゼル発電設備	—
	S	蓄電池及び充電器	—
	S	バイタル交流電源設備	—
配管	S	主蒸気系	サポート追設、強化
	S	原子炉冷却材浄化系	サポート追設、強化
	S	残留熱除去系	サポート追設、強化
	S	原子炉隔離時冷却系	サポート追設、強化
	S	高圧炉心注水系	サポート追設、強化
	S	給水系	サポート追設、強化
	S	放射性ドレン移送系	—
	S	原子炉補機冷却水系	サポート追設、強化
	S	原子炉補機冷却海水系	サポート追設、強化
	S	制御棒駆動系	—
	S	ほう酸水注入系	—
	S	非常用ガス処理系	—
	S	可燃性ガス濃度制御系	—
S	不活性ガス系	サポート追設、強化	

* 1 : 弾性設計用地震動S_dによる原子炉建屋クレーンの落下に対する評価

2. 基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物の耐震安全性

東京電力は、建物・構築物の耐震安全性の評価に当たって、地震応答解析モデルを構築し、基準地震動 S_s に基づく地震応答解析を行い、その結果得られる耐震壁等のせん断ひずみに基づき耐震安全性の評価を行っている。

以下に、構造 WG において東京電力の建物・構築物の耐震安全性の評価の内容について検討した結果を示す。

1) 原子炉建屋の耐震安全性

(1) 地震応答解析モデル

東京電力は、原子炉建屋について水平方向の地震応答解析モデル及び鉛直

方向の地震応答解析モデルを構築し、基準地震動 S_s に基づく弾塑性時刻歴応答解析を実施し、耐震安全性の評価を行っている。

原子炉建屋の水平方向の解析モデルは、設計時において耐震壁として考慮していた外壁及び鉄筋コンクリート製格納容器（以下「RCCV」という。）に新たに補助壁を耐震壁として加えて、これらを曲げ及びせん断ばね、床を剛体とした集中質点系とし、さらに外壁及び RCCV の弾塑性応答を把握するための復元力特性等を考慮し、建屋と地盤を連成させたスウェイ・ロッキングモデル（以下「SR モデル」という。）としている。なお、同解析モデルについては、設計時の解析モデルを中越沖地震におけるシミュレーションモデルと同様に修正した解析モデルを用いたとしている。

東京電力が設計時の解析モデルから修正した内容は以下のとおりである。

- ① 設計時にはコンクリートの設計基準強度をもとに算定していた鉄筋コンクリート部の剛性をコンクリートの実際の平均的な強度をもとに見直した剛性（以下「実剛性」という。）を用いたこと。
- ② 設計時には耐震壁として考慮していない補助壁についても、その壁厚や配置を踏まえ耐震壁として考慮したこと。
- ③ 設計時には建物と地盤の相互作用を反映するため Novak の水平ばねを考慮していたが、新たに回転ばねも考慮したこと。
- ④ ただし、設計時に地盤ばねとして考慮していた地盤表層部については、中越沖地震時の表層地盤の変状を踏まえ考慮しないこと。

鉛直方向の解析モデルについては、水平方向の解析モデルの解析諸元をもとに外壁及び RCCV を軸ばねであらわした集中質点系とし、建屋と地盤を連成させて構築したとしている。

建物と地盤を連成させた水平方向及び鉛直方向の解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で設定された基準地震動 S_s 及び解放基盤表面から上部の地盤モデルをもとに 1 次元波動論により建屋の解析モデルの側面ばね及び底面ばねの位置における地震動を算定し、これを解析モデルへの入力地震動としている。

構造 WG では、原子炉建屋の解析モデルについて検討を行った。その結果、解析モデルは、原子炉建屋の構造や周辺地盤の状況などを反映してモデル化がなされていることから妥当なものと認められた。水平方向の解析モデルによる耐震安全性評価への床の柔性の影響については、東京電力の「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る点検・評価報告書（建物・構築物編）（改訂 1）」（平成 20 年 9 月 25 日）における中越沖地震の原子炉建屋の基礎版上の観測記録をもとに床の柔性を考慮した解析結果と床を剛体とした解析結果の比較から、原子炉建屋の応答及び床応答スペクトルに大差がないこと、基準地震動 S_s に対する機器の耐震安

全性の評価に当たっては基準地震動 Ss-1 から Ss-5 による地震応答解析結果から得られる床応答スペクトルを包絡し周期軸方向に±10%の拡幅した床応答スペクトルにより評価を行うとしていることから、東京電力が床を剛体とした地震応答解析モデルにより耐震安全性を評価するとしていることは妥当なものと認められた。

また、構造 WG では、東京電力による解析モデルへの入力地震動の算定方法について検討を行った。その結果、東京電力は 1 次元波動論に基づき入力地震動を算定しているが、1 次元波動論に用いた地盤モデルは、中越沖地震による解放基盤表面上の地震動から同地盤モデルを用いて算定された原子炉建屋基礎版上の応答が観測記録と整合するものであることから、東京電力による解析モデルへの入力地震動の算定内容は妥当なものと認められた。

なお、構造 WG では、基準地震動 Ss の地震応答解析においてコンクリートの実剛性を用いていること及びコンクリート強度に経年的な変化が推測されることを踏まえ、東京電力に建屋のコンクリート強度の変化に対する考慮について示すことを求めた結果、東京電力では、将来におけるコンクリート強度については、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、高経年化技術評価（以下「PLM 評価」という。）を行い、その評価時点以降における使用可能年数の評価を行うとした。また、設計時には耐震壁として扱っていなかった補助壁を耐震壁として考慮していることを踏まえ、東京電力に補助壁の今後の管理のあり方について示すことを求めた。その結果、構造 WG では、東京電力が補助壁については耐震壁と同時期に施工し、同様の品質管理を実施しており、今後についても耐震壁と同様に継続的に保守管理を行うとしたことを確認した。また、保安院では、東京電力に対し 7 号機原子炉建屋について、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その時点で使用年数の再評価を行うこと、補助壁については耐震壁と同様に取り扱うことを求めることとした。

以上のことから、構造 WG では原子炉建屋の解析モデルは妥当なものと認められた。

(2) 地震応答解析結果

東京電力は、原子炉建屋の地震応答解析の結果、各階の外壁及び RCCV のせん断ひずみは、最大で 0.44×10^{-3} であり評価基準値 (2.0×10^{-3}) 内であることから、原子炉建屋の耐震安全性は確保されるとしている。

屋根トラスについては、燃料取扱床より上部の鉄筋コンクリート造の柱、鉄骨造の屋根トラスを耐震強化工事による一部ブレースの増強を含めて立

体的にモデル化した立体架構モデルを用い、原子炉建屋の水平方向および鉛直方向の地震応答解析結果から得られる燃料取扱床の応答波形をもとに屋根トラスの地震応答解析を行い、その結果、各部材の発生応力は評価基準値内であることから、耐震安全性は確保されているとしている。

構造 WG では、東京電力の原子炉建屋の耐震安全性の評価について検討を行った。その結果、せん断ひずみに対する評価基準値 (2.0×10^{-3}) は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」において耐震壁の機能が保持される限界的なせん断ひずみ (4.0×10^{-3}) に余裕をみて設定された目安値を用いていること、地震応答解析から得られた各階の外壁及び RCCV のせん断ひずみは評価基準値内であることが確認された。また、東京電力の屋根トラスの耐震安全性の評価内容について検討した結果、トラスの各部材の発生応力に対する評価基準値は、建築学会の「鋼構造設計規準」による部材の座屈を考慮した短期許容応力度を部材材料の F 値（降伏点強度又は引張強さの 70%のいずれか小さい方）を 1.1 倍して設定していること、地震応答解析から得られた屋根トラスの発生応力は評価基準値内であり、座屈のおそれもないことが確認された。

なお、SR モデルによる原子炉建屋の地震応答解析結果に関して、建屋の基礎浮き上がりによる回転ばねの非線形化によって生じる誘発上下動の影響を考慮する必要性の有無を幾何学的な接地率から検討した結果、接地率は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」において示される接地率 65%の目安値以上であり、誘発上下動の影響を考慮する必要はないことが確認された。

また、構造 WG では、JNES が原子炉建屋について東京電力とは異なる解析コード及び床の柔性を考慮した解析モデルによりクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、東京電力による原子炉建屋の地震応答解析結果は JNES の解析結果とほぼ同様であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では 7 号機の原子炉建屋の耐震安全性は確保されるものと認められた。

2) タービン建屋の耐震安全性

(1) 地震応答解析モデル

タービン建屋は耐震重要度分類では B クラスに属する設備であるが、建屋の基礎版上に S クラスの原子炉補機冷却系の機器・配管が設置されていることから、東京電力では、タービン建屋の基礎版と 2 階床 (T. M. S. L20. 4m) との間の耐震壁（以下「機能維持部位」という。）がその破損により原子炉補

機冷却系に対して波及的影響を及ぼさないことを確認するため、タービン建屋について水平方向及び鉛直方向の地震応答解析モデルを構築し、基準地震動 S_s に対する弾塑性地震応答解析を実施し、機能維持部位の耐震安全性の評価を行っている。

タービン建屋の水平方向の解析モデルは、耐震壁を曲げ及びせん断ばねであらわした集中質点系とし、復元力特性を考慮して、建屋と地盤を連成させた SR モデルとしている。なお、同解析モデルについては、設計時の解析モデルを原子炉建屋の解析モデルと同様な修正を行ったモデルを用いたとしている。鉛直方向の解析モデルについては、水平方向の解析モデルの解析諸元をもとに耐震壁を軸ばねであらわした集中質点系とし、建屋と地盤を連成させて構築したとしている。

建物と地盤を連成させた水平方向及び鉛直方向の解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で設定された基準地震動 S_s 及び解放基盤表面から上部の地盤モデルをもとに 1 次元波動論により建屋の解析モデルの側面ばね及び底面ばねの位置における地震動を算定し、これを解析モデルへの入力地震動としている。

構造 WG では、タービン建屋の解析モデルについて検討を行った。その結果、解析モデルは、タービン建屋の構造や周辺地盤の状況などを反映したモデル化がなされていることから妥当なものと認められた。また、解析モデルへの入力地震動については、原子炉建屋の解析モデルへの入力地震動の算定と同様な手法により算定していることが確認された。

なお、構造 WG では、タービン建屋についてもコンクリートの実剛性を用いていること、設計時には耐震壁として扱っていなかった補助壁を耐震壁として考慮していることを踏まえ、東京電力が、原子炉建屋の場合と同様に、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その評価時点以降における使用可能年数の評価を行うとしたこと、補助壁については今後とも耐震壁と同様に継続的に保守管理を行うとしたことを確認した。また、保安院では、東京電力に対し 7 号機タービン建屋について、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その時点で使用年数の再評価を行うこと、補助壁については耐震壁と同様に取り扱うことを求めることとした。

以上のことから、構造 WG ではタービン建屋の解析モデルは妥当なものと認められた。

(2) 地震応答解析結果

東京電力は、タービン建屋の地震応答解析の結果、機能維持部位における各階の耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.19×10^{-3} であり評価基準値 (2.0×10^{-3}) 内であることから、タービン建屋の耐震安全性は確保されたとしている。

構造 WG では、東京電力のタービン建屋の耐震安全性の評価について検討を行った。その結果、原子炉建屋の耐震壁と同様の評価基準値を用いていること、地震応答解析から得られた機能維持部位における各階の耐震壁のせん断ひずみは評価基準値内であることが確認された。

また、SR モデルによるタービン建屋の地震応答解析結果に関して、建屋の基礎浮き上がりによる回転ばねの非線形化によって生じる誘発上下動の影響を考慮する必要性の有無を幾何学的な接地率から検討した結果、接地率は 100% であり、誘発上下動の影響を考慮する必要はないことが確認された。

以上のことから、構造 WG では 7 号機のタービン建屋の機能維持部位の耐震安全性は確保されるものと認められた。

3) コントロール建屋の耐震安全性

(1) 地震応答解析モデル

東京電力は、コントロール建屋について基準地震動 S_s に対する弾塑性時刻歴応答解析を実施、耐震安全性の評価を行っている。

コントロール建屋の水平方向の地震応答解析モデルは、建屋を曲げ及びせん断ばねの集中質点系とし、復元力特性を考慮して、建屋と地盤を連成させた SR モデルとしている。なお、同解析モデルについては、設計時の解析モデルを原子炉建屋の解析モデルと同様な修正を行ったとしている。

鉛直方向の解析モデルについては、水平方向の解析モデルの解析諸元をもとに耐震壁を軸ばねであらわした集中質点系とし、建屋と地盤を連成させて構築したとしている。

建屋と地盤を連成させた水平方向及び鉛直方向の解析モデルへの入力地震動は、解放基盤表面で設定された基準地震動 S_s 及び解放基盤表面から上部の地盤モデルをもとに 1 次元波動論により建屋の解析モデルの側面ばね及び底面ばねの位置における地震動を算定し、これを解析モデルへの入力地震動としている。

構造 WG では、コントロール建屋の解析モデルについて検討を行った。その結果、解析モデルは、コントロール建屋の構造や周辺地盤の状況などを反映してモデル化がなされていることから妥当なものと認められた。また、解析モデルへの入力地震動については、原子炉建屋の解析モデルへの入力地震動の算定と同様な手法により算定していることが確認された。

なお、構造 WG では、コントロール建屋についてもコンクリートの実剛性を用いていること、設計時には耐震壁として扱っていなかった補助壁を耐震壁として考慮していることを踏まえて、東京電力が、原子炉建屋の場合と同様に、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その評価時点以降における使用可能年数の評価を行うとしたこと、補助壁については今後とも耐震壁と同様に継続的に保守管理を行うとしたことを確認した。また、保安院では、東京電力に対し 7 号機コントロール建屋について、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その時点で使用年数の再評価を行うこと、補助壁については耐震壁と同様に取り扱うことを求めることとした。

以上のことから、構造 WG ではコントロール建屋の解析モデルは妥当なものと認められた。

(2) 地震応答解析結果

東京電力は、コントロール建屋の地震応答解析の結果、各階の耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.46×10^{-3} であり評価基準値 (2.0×10^{-3}) 内であることから、コントロール建屋の耐震安全性は確保されるとしている。

構造 WG では、東京電力のコントロール建屋の耐震安全性の評価について検討を行った。その結果、原子炉建屋の耐震壁と同様の評価基準値を用いていること、地震応答解析から得られた各階の耐震壁のせん断ひずみは評価基準値内であることが確認された。

また、SR モデルによるコントロール建屋の地震応答解析結果に関して、建屋の基礎浮き上がりによる回転ばねの非線形化によって生じる誘発上下動の影響を考慮する必要性の有無を幾何学的な接地率から検討した。その結果、接地率は基準地震動 S_s-1H の NS 方向を除いて目安値の 65% 以上であるが、基準地震動 S_s-1H の NS 方向の場合の接地率は約 58% と目安値を下回ることから、構造 WG では、基準地震動 S_s-1H の NS 方向の地震応答解析結果について、東京電力が行った誘発上下動の影響を考慮した地震応答解析結果と比較して検討を行った。その結果、誘発上下動を考慮していない場合の地震応答解析結果において耐震壁の最大せん断ひずみが発生する地下

2階のせん断ひずみ (0.46×10^{-3}) と、誘発上下動を考慮した場合の地震応答解析による地下2階のせん断ひずみ (0.47×10^{-3}) が同程度であることから、誘発上下動による特段の影響はないものと認められた。

以上のことから、構造WGでは7号機のコントロール建屋の耐震安全性は確保されるものと認められた。

4) 非常用ガス処理系用排気筒の耐震安全性

(1) 地震応答解析モデル

東京電力は、7号機の排気筒についてはCクラスの換気空調系用排気筒とSクラスの非常用ガス処理系用排気筒で構成され、換気空調系用排気筒を鉄塔が支持するとしている。非常用ガス処理系用排気筒は換気空調系用排気筒によりその内部で支持されているとしている。また、鉄塔上部には、中越沖地震後、耐震強化工事としてオイルダンパーが設置されている。排気筒の地震応答解析モデルは、原子炉建屋屋上より上部を立体的にモデル化した立体架構モデルとし、解析モデルへの入力は、原子炉建屋の地震応答解析結果から得られる屋上の応答結果を用いているとしている。

構造WGでは、排気筒の解析モデルについて検討を行った。その結果、鉄塔部、換気空調系用排気筒の筒身部、非常用ガス処理系用排気筒の筒身部及び屋上より上部のコンクリート基礎部のそれぞれを線材要素として適切な立体架構モデルとしていることなどから妥当なものとして認められた。

(2) 地震応答解析結果

東京電力は、地震応答解析の結果、換気空調系用排気筒の筒身部及び鉄塔部の支柱材、斜材、水平材に発生する応力は評価基準値内であるとしている。非常用ガス処理系用排気筒の筒身部に発生する応力については、筒身部の剛性が小さく、換気空調系用排気筒の変位に追随することから、地震応答解析による換気空調系用排気筒の変位を強制変位として与えることにより応力を算定した結果、評価基準値内にあるとしている。また、地震応答解析の結果から得られる曲げモーメント及びせん断力から算定される鉄塔及び筒身の基礎のコンクリート部、アンカボルト部及び鋼管部に発生する応力は、評価基準値内であるとしている。これらのことから、非常用ガス処理系用排気筒の耐震安全性は確保されるとしている。

構造WGでは、東京電力の非常用ガス処理系用排気筒の耐震安全性の評価について検討を行った。その結果、排気筒の筒身部、鉄塔部の支柱材等の部

材及びコンクリート基礎部の評価基準値は、日本建築学会の「煙突構造設計指針」、「鋼構造設計規準」及び「鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説」に基づく部材の許容値を用いていることが確認された。また、地震応答解析の結果、非常用ガス処理系用排気筒の筒身部及びそれを支持する換気空調系用排気筒の筒身部、鉄塔部の支柱材等の部材、換気空調系用排気筒の筒身部並びにコンクリート基礎部の部材に発生する応力は評価基準値内であること、排気筒に設置されたオイルダンパーの最大応答速度及び変位は許容値内にあることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、7号機の非常用ガス処理系用排気筒の耐震安全性は確保されるものと認められた。

5) 非常用取水路の耐震安全性

(1) 地震応答解析モデル

東京電力は、取水路に関してはCクラスであるが、非常用補機冷却海水を通水させる非常用取水路については、基準地震動 S_s に対する通水機能の保持について評価を行うとしている。評価に当たっては、非常用取水路のスクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路ごとに構造物と地盤を連成させた地震応答解析モデルを構築し、解放基盤表面の基準地震動 S_s から1次元波動論により解析モデル下端の入力地震動を求め、地震応答解析を行っている。

構造 WG では、非常用取水路の解析モデルについて検討を行った。その結果、解析モデルはスクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路（南側及び北側）ごとに構造物を線材要素、周辺地盤を有限要素として適切にモデル化していることなどから、妥当なものと認められた。

(2) 地震応答解析結果

東京電力は、地震応答解析の結果、スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の各構造物の層間変形角及び各構造物に作用するせん断力は評価基準値内にあることから、非常用取水路は基準地震動 S_s に対して通水機能を保持しているとしている。

構造 WG では、東京電力による非常用取水路の評価について検討を行った。その結果、構造物の層間変形角及び構造物に作用するせん断力に対する評価基準値は、土木学会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能

照査指針・マニュアル」(2005)において構造物の崩壊に対して十分に余裕を持って設定されている限界層間変形角及び構造物のせん断耐力を評価基準値としていることを確認した。また、地震応答解析の結果、スクリーン室、取水路及び補機冷却用海水取水路の各構造物の層間変形角及び各構造物に作用するせん断力は評価基準値内にあることを確認した。さらに、構造 WG では、非常用取水路の各構造物のブロック間の軸直交方向の相対的な水平及び鉛直変位による通水機能への影響について検討した結果、通水機能が損なわれるような変位は生じないこと、取水路の軸方向の水平及び鉛直変位により発生するブロックの軸方向の応力及びせん断力はコンクリートの引張強度及びせん断耐力に対して十分に小さいことが確認された。

以上のことから、構造 WG では、非常用取水路の通水機能は保持されるものと認められた。

3. 耐震安全上重要な機器・配管系の耐震安全性

1) 機器・配管系の耐震安全性評価の基本的な考え方

東京電力は機器・配管系の耐震安全性の評価に当たって、基準地震動 S_s に対する機器・配管系の機能の保持を、構造強度の観点から評価を行うものと、制御棒の挿入性や動的機能の保持が要求される機器系に分けて評価を行っている。また、評価に当たっては耐震強化工事による機器の補強、配管サポートの追加などを考慮した評価を行っている。

構造強度の評価を行う機器のうち、大型の機器から構成される原子炉本体、原子炉格納施設及び使用済燃料プールについては、原子炉本体、原子炉格納施設等をモデル化し原子炉建屋と連成させた地震応答解析を行い、その結果得られる地震力を考慮して、原子炉本体の応力解析並びに原子炉格納施設及び使用済燃料プールの応力解析を実施し、その結果により評価を行っている。(図7、8参照。) 原子炉本体、原子炉格納施設及び使用済燃料プール以外の設備は、比較的小型の機器及び配管系から構成されおり、その機器・配管系については原子炉建屋等の地震応答解析結果による建屋の応答加速度や床応答スペクトルを用いて評価を行っている。

機器・配管系の構造強度の評価に当たっては、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601・補-1984」に基づき、「通常運転時」、「運転時の異常な過渡変化時」及び「事故時」のそれぞれの運転状態に応じた荷重と基準地震動 S_s による地震力を組み合わせ、その結果発生する応力に対して評価を行うとしている。「事故時」に生じる荷重と組合せる地震力については、事故事象として冷却材喪失事故を考慮するものとし、その発生確率が 10^{-4} /年以下と

想定されること、基準地震動 S_s のそれぞれの応答スペクトルを包絡したスペクトルの周期ごとの加速度を超過する確率（以下「年超過確率」という。）が 10^{-4} /年から 10^{-5} /年であると算定されることを踏まえ、両者が同時に発生する確率は 10^{-7} /年以下とその可能性が極めて小さいことから、冷却材喪失事故の際に生じる荷重と基準地震動 S_s とは組み合わせないとしているが、基準地震動 S_s を包絡した応答スペクトルの周期ごとの加速度を 0.5 倍とした加速度の年超過確率がほぼ 10^{-3} /年から 10^{-4} /年であることを踏まえ、基準地震動 S_s に係数 0.5 を考慮した弾性設計用地震動 S_d と冷却材喪失事故により長時間作用する荷重として事故発生後 10^{-1} 年後（約 30 日後）の圧力及び温度荷重を「事故時」の荷重として組み合わせるとしている。なお、弾性設計用地震動 S_d と事故時の荷重の組合せによる評価が必要な設備は RCCV であるとしている。

地震力の算定に当たっては、大型機器の地震応答解析、原子炉建屋等の床応答スペクトル等を用いて算定するとしている。機器・配管の地震応答解析及び床応答スペクトルの算定に用いる水平方向の減衰定数については、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」に規定される値を基本とし、保温材が取り付けられている配管や U ボルトにより支持された配管、燃料取替機及び原子炉建屋クレーンについては試験等により確認された減衰定数を用いることとしている。鉛直方向の減衰定数については基本的には水平方向と同様とするが、電気盤や燃料集合体など鉛直地震動に対して剛体挙動をするものは 1%としている。

また、水平方向の地震力と鉛直方向の地震力による応力の組合せ方法については、機器系については主として水平方向及び鉛直方向の地震力により発生する応力の絶対値和とし、RCCV 及び燃料プールについては組合せ係数法を用いるとしている。配管系については水平方向及び鉛直方向の地震力により発生する応力の二乗和平方根を応力とする SRSS 法を用いるとしている。

制御棒の挿入性については基準地震動 S_s による燃料集合体の中央部の相対変位をもとに評価を行っている。動的機能の維持が要求される機器系については基準地震動 S_s による当該機器の応答最大加速度をもとに動的機能の評価を行っている。

構造 WG において、上記の東京電力の機器・配管系の耐震安全性の評価の基本的な考え方について検討した。その結果、機器・配管系の耐震安全性の評価手法の基本的な考え方及び構造強度の評価における荷重の組合せの考え方はバックチェックルールに沿っており妥当なものと認められた。また、減衰定数については、東京電力が用いた日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版」による値は、これまでの原子力発電所の耐震設計に用いられてきたものであること、また、東京電力が試験等をもとに配管系、燃料取替機及び原子炉建屋クレーンの減衰定数として用いた値については、その根拠となった試験方法及び試験データについて検討した結果、支障ないものと

認められた。床応答スペクトルについては、基準地震動 Ss-1 から Ss-5 による NS 方向及び EW 方向の水平方向並びに鉛直方向の床応答スペクトルを水平方向及び鉛直方向ごとに包絡させるか、あるいは、NS 方向又は EW 方向ごと包絡させ、周期軸方向に 10%の拡幅したものをを用いていることが確認された。水平方向及び鉛直方向に地震力の組合せ方法については、これまでの原子力発電所や一般の建造物の耐震設計に用いられてきた手法であることが確認された。

以下に、構造 WG において東京電力による機器・配管系の耐震安全性の具体的な評価の内容について検討した結果を示す。

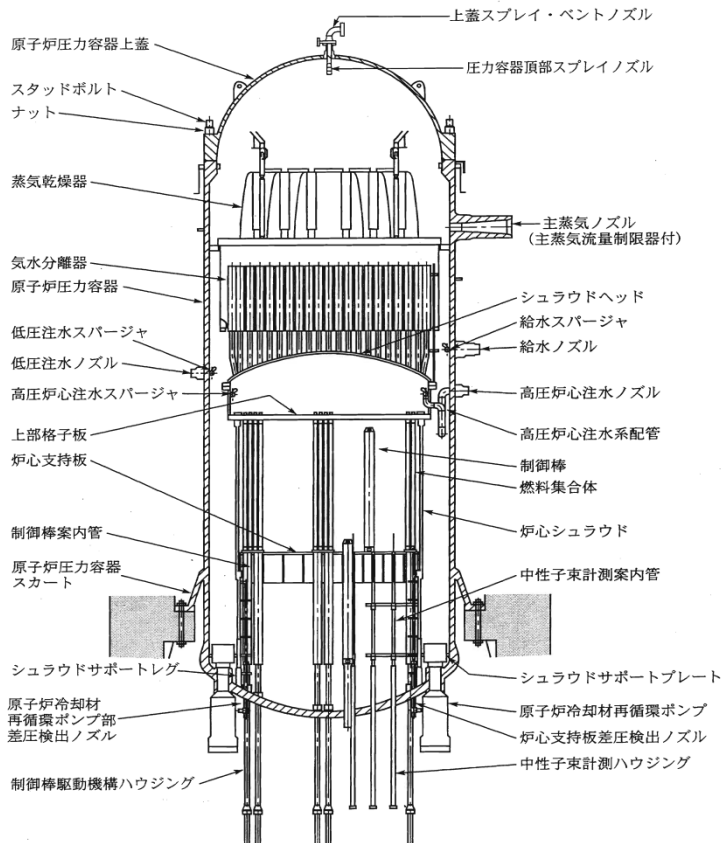


図-7 原子炉本体の模式図

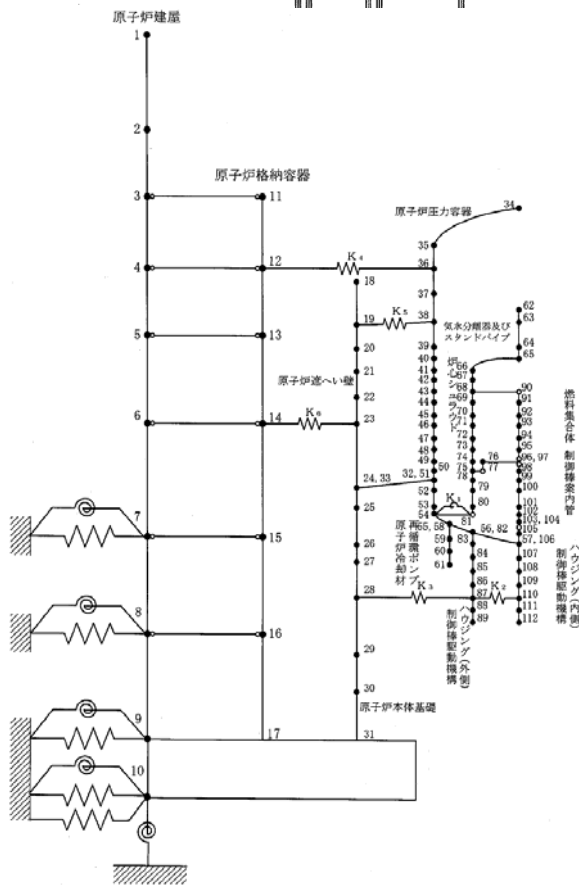


図-8 大型構造物と原子炉建屋を連成した解析モデル

2) 原子炉本体等の耐震安全性

東京電力は、原子炉圧力容器及び炉内構造物からなる原子炉本体、原子炉本体の基礎及び原子炉遮へい壁の大型機器の耐震安全性評価に当たっては、大型機器を水平方向には曲げ・せん断剛性を考慮してモデル化し、鉛直方向については軸剛性を考慮してモデル化している。これらを水平方向及び鉛直方向のそれぞれの原子炉建屋の地震応答解析モデルに連成させて基準地震動 S_s による地震応答解析を行っている。

また、東京電力は、地震応答解析の結果から、原子炉圧力容器、炉内構造物、原子炉本体の基礎、原子炉遮へい壁のそれぞれに作用する基準地震動 S_s による地震力と「通常運転時」又は「運転時の異常な過渡変化時」に生じる荷重を考慮し、その結果発生する応力と評価基準値の許容応力を比較した結果、評価基準値内であることから、原子炉圧力容器等の大型機器は構造強度を有し耐震安全性が確保されるとしている。

構造 WG では、東京電力による原子炉圧力容器等の大型機器の地震応答解析モデルについて検討を行った。その結果、大型機器の地震応答解析モデルは、各機器の構造を反映してモデル化が行われていること、大型機器は原子炉建屋の基礎版に支持されており、その支持部から建屋の振動が大型機器に入力されることを考慮して機器と原子炉建屋を連成させていることから、妥当なものと認められた。

また、大型機器の地震力の評価及び構造強度の評価内容について検討を行った。その結果、東京電力は、既往の構造強度の評価を参考に、原子炉圧力容器、炉内構造物、原子炉本体の基礎及び原子炉遮へい壁において、耐震構造上重要な部位を複数選定し、構造強度の評価を行っていることを確認した。構造強度の評価に当たっては、評価部位の構造に応じて、地震応答解析により算出された地震力による各荷重（水平力、鉛直力、モーメント）をもとに有限要素法などの詳細な応力解析により発生応力を算出するか、地震応答解析から得られた地震力による各荷重と設計時の地震力による各荷重との比率を求めそのうちの最も大きい比率、または地震応答解析から得られた評価部位の各方向の加速度（水平、鉛直方向の加速度）の値と設計時の各方向の加速度の値との比率を求めそのうち最も大きい比率に設計時の応力を乗じる応答倍率法により発生応力を算出していることが確認された。

また、各評価部位の発生応力について検討した結果、各評価部位に発生する応力は評価基準値を下回ることで、評価基準値は材料の過度な変形や破損に対して余裕をもった値として社団法人日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-補・1984、JEAG4601-1987、JEAG4601-1991 追補版」（以下「JEAG」という。）及び日本機械学会「発電用原子力設備規格設計・建設

規格 JSME S NC1-2005（以下「設計・建設規格」という。）による値を用いていることが確認された。

また、構造 WG では、JNES が原子炉本体の機器についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、発生応力は評価基準値内であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、原子炉圧力容器、炉内構造物、原子炉本体の基礎、原子炉遮へい壁の大型機器は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

3) 原子炉格納施設の耐震安全性

東京電力は、原子炉格納施設のうち RCCV はコンクリート部が耐圧及び遮へい機能を有し、コンクリート部に内張りした鋼板であるライナプレートが漏洩防止の機能を有するとしている。コンクリート部は、シェル部及びトップスラブ部からなる RCCV 上部と RCCV 底部から構成され、シェル部は、原子炉建屋の床と接合され、底部は原子炉建屋基礎版にあたるとしている。

東京電力は、原子炉格納施設の耐震安全性の評価に当たっては、RCCV 上部及び RCCV 底部のコンクリート部、ライナプレート及び原子炉格納施設を構成するその他の機器に分けて、基準地震動 S_s による地震力と「通常運転時」又は「運転時の異常な過渡変化時」に生じるそれぞれの荷重、弾性設計用地震動 S_d による地震力と「事故時」に生じる荷重を考慮し、その結果発生する応力に対して構造強度の評価を行っている。

(1) RCCV 上部及び RCCV 底部の鉄筋コンクリート部の耐震安全性

東京電力は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による原子炉建屋の地震応答解析の結果から得られる RCCV の鉄筋コンクリート部に作用する地震力、大型機器や配管から鉄筋コンクリート部に作用する地震力及び地震力以外の荷重を考慮して RCCV 上部及び RCCV 底部の応力解析を行っている。

基準地震動 S_s により作用する地震力などを用いた RCCV 上部の弾塑性応力解析にあたっては、シェル部及びトップスラブ部のコンクリート及び鉄筋をそれぞれの層にモデル化した積層シェル要素の集合体とし、弾性設計用地震動 S_d により作用する地震力などを用いた弾性応力解析ではシェル部及びトップスラブ部を板要素からなる集合体として、RCCV 上部を拘束する使用済燃料プール、蒸気乾燥機・気水分離器ピット及びダイヤフラムフロアを有限要素、床スラブを線材要素とした有限要素モデルにより応力解析を行っている。

基準地震動 S_s による RCCV 底部の弾塑性応力解析にあたっては原子炉建屋基礎版のコンクリート及び鉄筋をそれぞれの層にモデル化した積層シェル要素の集合体とし、弾性設計用地震動 S_d による地震力を考慮した弾性応力解析では、原子炉建屋基礎版を板要素からなる集合体とし、外壁及び RCCV 上部についてはこれらからの地震力等の荷重の伝達や拘束効果を考慮して線材要素に置換し、基礎底面の地盤をばねであらわした解析モデルにより応力解析を行っている。

また、東京電力は、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果得られる RCCV の鉄筋コンクリート部に作用する地震力と「通常運転時」又は「運転時の異常な過渡変化時」に生じる荷重による応力解析の結果、RCCV 上部のシェル部及びトップスラブ部並びに RCCV 底部に発生するひずみや応力等は評価基準内であること、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析の結果得られる RCCV の鉄筋コンクリート部に作用する地震力と「事故時」に生じる荷重による応力解析の結果、RCCV 上部のシェル部及びトップスラブ部並びに RCCV 底部に発生する応力等は評価基準内であることから、RCCV 上部及び底部は構造強度を有し耐震安全性が確保されるとしている。

構造 WG では、東京電力による RCCV 上部及び底部の応力解析モデルについて検討した。その結果、RCCV の構造及び RCCV 周りの構造が反映されたモデルになっていることから、妥当なものと認められた。

また、RCCV 上部のシェル部及びトップスラブ部並びに RCCV 底部の構造強度の評価内容について検討を行った。その結果、基準地震動 S_s による地震力と「通常運転時」又は「運転時の異常な過渡変化時」に生じる荷重により発生する各部のコンクリート及び鉄筋のひずみ、せん断応力等は評価基準値内であること、弾性設計用地震動 S_d による地震力と「事故時」の荷重により発生する各部のコンクリート及び鉄筋の応力等は評価基準値内であること、評価基準値は（社）日本機械学会「発電用原子力設備規格コンクリート製原子炉格納容器規格 JSME S NE1-2003」（以下「格納容器規格」という。）による各荷重状態における許容応力度、許容ひずみ等を評価基準値として用いていることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、RCCV の鉄筋コンクリート部は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

(2) ライナプレート、配管貫通部等の耐震安全性

東京電力は、基準地震動 S_s と「通常運転時」又は「運転時の異常な過渡変化時」に生じる荷重の組合せ、弾性設計用地震動 S_d による地震力と

「事故時」の荷重の組合せによる RCCV の応力解析結果から得られるライナプレートに生じる最大ひずみは評価基準値内であるとしている。

原子炉格納施設を構成する配管貫通部、原子炉格納容器スプレイ管等の構造強度の評価については、基準地震動 S_s 又は弾性設計用地震動 S_d による RCCV の地震応答解析の結果から得られる各評価部位に作用する地震力に運転状態に応じた荷重を考慮した応力解析を行い、その結果発生する応力は評価基準値内であるとしている。

以上のことから、東京電力は、RCCV のライナプレート及び原子炉格納施設を構成する配管貫通部、原子炉格納容器スプレイ管等は構造強度を有し耐震安全性が確保されるとしている。

構造 WG においては、東京電力が既往の構造強度の評価を参考にライナプレートのトップスラブ部、シェル部及び底部に発生するひずみの評価結果について検討を行った。その結果、ライナプレートに生じる最大のひずみは評価基準値内であること、評価基準値は格納容器規格による許容ひずみを用いていることが確認された。さらに、構造 WG では、RCCV のトップヘッド部の構造強度の評価結果について東京電力に求めた結果、トップヘッド部に発生する応力は、格納容器規格による評価基準値内であることが確認された。

原子炉格納施設を構成する配管貫通部、原子炉格納容器スプレイ管等の評価部位の構造強度の評価については、その構造に応じて、RCCV の地震応答解析により算出された応答値（水平力、鉛直力、モーメント、加速度）をもとに算出した各機器の評価部位の発生応力は、JEAG または設計・建設規格による許容応力を用いた評価基準値内であることが確認された。

また、構造 WG では、JNES が原子炉格納施設を構成する配管貫通部等についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、発生応力は評価基準値内であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、ライナプレート及び原子炉格納施設を構成する配管貫通部、原子炉格納容器スプレイ管等は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

これらのことから、構造 WG では原子炉格納施設は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

4) 使用済燃料プールの耐震安全性

東京電力は、使用済燃料貯蔵設備のうち使用済燃料プールの構造強度の評価にあたっては、RCCV の応力解析モデルに使用済燃料プールも含まれていることから、RCCV の応力解析の結果をもとに評価を行っている。その結果、使用済燃料プールの鉄筋コンクリート部に生じるひずみや応力は評価基準値内であること、使用済燃料プールに内張りされた鋼製ライナーは鉄筋コンクリート部に定着され、その鉄筋コンクリート部のひずみは鋼製ライナーの漏洩防止機能が損なわれるような程度でないことから、使用済み燃料プールは構造強度を有し耐震安全性が確保されるとしている。

構造 WG において、東京電力による使用済燃料プールの構造強度の評価内容について検討を行った。その結果、基準地震動 S_s による地震力と運転時の荷重により発生するコンクリート及び鉄筋のひずみ、せん断応力は評価基準値内であることが確認された。評価基準値としては、格納容器規格における許容応力度、許容ひずみ等が用いられており支障ないものと認められた。鋼製ライナーについては、鉄筋コンクリート部のひずみの程度から、鋼製ライナーの漏洩防止機能に支障が生じることはないものと認められた。

以上のことから、構造 WG では、使用済燃料プールは構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

なお、構造 WG では、中越沖地震時に使用済燃料プールのスロッシングにより溢水が生じたことを踏まえ、スロッシングに対する東京電力の影響評価について示すことを求めた。東京電力ではスロッシング周期が 3 秒から 5 秒であることから、その周期帯に着目して基準地震動 S_s-5 を用いて推定される溢水量をもとに影響評価の検討を行っている。その結果、NS 方向の地震動により約 739m^3 、EW 方向の地震動により約 237m^3 の溢水が生じることが推定され、この溢水によりプール水位は約 3m 低下し水深が約 8.5m となるが、使用済燃料貯蔵ラックの高さが約 4.5m であり、使用済燃料が露出するようなことはないとしていること、プール水の補給はサプレッションプールから残留熱除去系を通じて補給可能であるとしていることが確認された。また、東京電力は、溢水した水については最下階のサンプルピットに流入し、サンプルポンプにより収集タンクに送水されるが、仮にサンプルポンプが機能せず水が留まるとしても、安全上重要な設備は水密扉で隔離されていることから、溢水により安全機能を喪失するようなことはなく、また、中越沖地震の際には使用済み燃料プールからの溢水が漏洩し非管理区域に至ったことにより系外に放出されたことを踏まえ、原子炉建屋 4 階の貫通部のうち高さ 20cm 以下に存在する貫通部について必要に応じ止水処理の実施等を行っている

としている。また、構造 WG では、プール水の補給はサプレッションプールから残留熱除去系を通じて補給可能であるとしているが、サプレッションプール内のプール水がスロッシングすることを踏まえた評価を行うよう東京電力に求めた結果、サプレッションプール水のスロッシングによる水位の低下レベルは、残留熱除去系のポンプの吸い込み高さを下回らないことを確認した。

5) その他の設備の機器の耐震安全性

東京電力は、原子炉本体、原子炉格納施設及び使用済燃料プール以外の設備を構成するポンプ、熱交換機等の機器（以下「その他の設備の機器」という。）の構造強度の評価にあたっては、対象機器の既往の構造強度の評価を参考に各設備の機器において耐震構造上重要となる部位を選定し、原子炉建屋等の地震応答解析の結果から得られる当該機器の設置床の最大加速度または床応答スペクトルを用いた応答倍率法等により構造強度の評価を行っている。構造強度の評価の結果、その他の設備の機器に作用する応力は評価基準値内であることから、その他の設備の機器は構造強度を有し耐震安全性は確保されるとしている。

構造 WG では、東京電力によるその他の設備の機器の構造強度の評価内容について検討を行った。その結果、その他の設備の機器のうち、その固有周期が 0.05 秒以下の機器は剛構造の機器として、原子炉建屋等において当該機器が設置されている床の基準地震動 S_s による各方向の最大加速度と設計時の各方向の最大加速度との比率を求めそのうち最も大きい比率に設計時の応力を乗じる応答倍率法により発生応力を算出していることなどが確認された。固有周期が 0.05 秒より長周期の機器については、当該機器が設置されている原子炉建屋等の基準地震動 S_s による各方向の床応答スペクトルにおける当該機器の固有周期に対応する加速度値と設計時の各方向の床応答スペクトルの加速度値との比率を求め、そのうち最も大きい比率に設計時の応力を乗じる応答倍率法により発生応力を算出していることが確認された。また、その他の設備の機器の構造強度の評価部位における発生応力について検討した結果、各部位の発生応力は評価基準値内であること、評価基準値は材料の過度な変形や破損に対して余裕をもった値として JEAG 及び設計・建設規格による値を用いていることが確認された。

また、原子炉建屋クレーン及びトロリの浮き上がりによる落下について、東京電力は弾性設計用地震動 S_d による地震力を用いた評価を行っているが、構造 WG では、基準地震動 S_s を用いて検討するよう東京電力に求めた。これを受け、東京電力は基準地震動 S_s のうちクレーンの浮き上がりに影響する

上下動が大きい基準地震動 S_s-1 の原子炉建屋クレーン階の応答をもとに、クレーンの脱線防止ラグ及びトロリのトロリストッパによる落下防止について、クレーン及びトロリの浮き上がりを考慮した地震応答解析によるクレーン及びトロリの浮き上がり量から評価するとともに、脱線防止ラグ及びトロリストッパに作用する地震力に対する構造強度から評価を実施している。構造 WG において東京電力の評価結果を検討した結果、クレーン及びトロリの浮き上がりの発生量に対して、クレーンの脱線防止ラグ及びトロリストッパによる浮き上がり許容量が大きいこと、クレーンの脱線防止ラグ及びトロリストッパは、これらに作用する地震力に対して構造強度が上回り破損を起こさないことから、原子炉建屋クレーン及びトロリは落下しないことが確認された。

さらに構造 WG では JNES がその他の設備の機器についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、発生応力は評価基準値内であることが確認された。なお、原子炉建屋クレーン及びトロリの浮き上がりによる落下について、JNES では基準地震動 S_s を用いてクロスチェック解析を実施しているが、その結果を検討したところ、原子炉建屋クレーン及びトロリは落下しないことが確認された。

以上のことから、構造 WG では、その他の設備の機器は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

6) 配管系の耐震安全性

東京電力は、配管系の構造強度の評価にあたっては、原子炉建屋等の地震応答解析の結果から得られる当該配管系の設置位置の床応答スペクトルを用いて地震力を求め、これに地震力以外の荷重を考慮して構造強度の評価を行っている。構造強度の評価の結果、配管系に作用する応力は評価基準値内であることから、配管系は構造強度を有し、耐震安全性は確保されるとしている。

構造 WG では、東京電力による配管系の構造強度の評価内容について検討を行った。その結果、配管に作用する地震力については原子炉建屋や大型機器などにおいて当該配管系が設置されている位置の基準地震動 S_s による床応答スペクトル等をもとにスペクトルモーダル法¹により求めていることが確認された。また、東京電力は地震力及び地震力以外の荷重を考慮して当該

¹ スペクトルモーダル法とは、配管など1次から数次までの固有周期ごとの揺れ方が合わさって複雑に振動するものについて、配管などの揺れの最大応答加速度を求める方法。具体的には、床応答スペクトルを用いて求められる各固有周期に相当する加速度と各固有周期の揺れ方が配管の揺れに占める程度を考慮して重ね合わせるにより求める。求められた最大加速度から機器・配管系に作用する地震力を算出する。

配管系の発生応力を求め、そのうち応力状態が厳しい箇所の発生応力と評価基準値を比較しているが、これについて検討した結果、各配管系の発生応力は評価基準値内であること、評価基準値は材料の過度な変形や破損に対して余裕をもった値として JEAG 及び設計・建設規格が定めている値を用いていることが確認された。

また、構造 WG では JNES が配管系についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、発生応力は評価基準値内であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、各配管系は構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと認められた。

7) 制御棒の挿入性

東京電力は、基準地震動 S_s に対する制御棒の挿入性について地震応答解析の結果及び制御棒の挿入性に係る振動試験結果に基づき評価を行った結果、制御棒は規定の時間内に挿入されるとしている。

構造 WG の検討の結果、制御棒の挿入性については、燃料集合体を含む大型機器と原子炉建屋を連成させて基準地震動 S_s による地震応答解析から得られた燃料集合体の中央部の相対変位約 16mm に対して、制御棒の挿入性に係る振動試験により燃料集合体の中央部の相対変位が 40mm の場合でも規定時間内に制御棒が挿入される結果が得られていることから、基準地震動 S_s に対して制御棒の挿入性が確保されることが確認された。

また、構造 WG では JNES が制御棒の挿入性についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、地震時の燃料集合体の相対変位は東京電力の解析結果とほぼ同程度であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、制御棒の挿入性は確保されるものと認められた。

8) 動的機器の耐震安全性

東京電力は、非常用ディーゼル発電設備、ポンプ、弁等の動的機能が要求される機器について、基準地震動 S_s による評価対象機器の応答加速度を求めて評価を行った結果、その応答加速度が当該機器の機能確認済加速度以下であることから動的機能が維持されるとしている。

構造 WG においては、地震時に動的機能が要求される機器についての東京電力の評価内容について検討を行った。検討の結果、非常用ディーゼル発電設備などの動的機能が要求される機器については、原子炉建屋等の地震応答

解析結果または対象機器の地震応答解析結果から求められた当該機器の最大応答加速度が、JEAG において規定されている当該機器の機能確認済み加速度または個別の試験等による値の範囲内にあることが確認された。

また、構造 WG では JNES が非常用ディーゼル発電設備、ポンプ、弁等の動的機能についてクロスチェック解析を実施した結果を検討したところ、地震時の最大応答加速度は評価基準値内であることが確認された。

以上のことから、構造 WG では、非常用ディーゼル発電設備、ポンプ、弁等は動的機能が維持されるものと認められた。

4. 耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性の評価のまとめ

構造 WG における検討結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の 7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性に係る保安院の評価は以下のとおりである。

1) 建物・構築物

- ① 耐震安全上重要な建物・構築物として、東京電力が原子炉建屋、タービン建屋の機能維持部位及びコントロール建屋、非常用ガス処理系用排気筒及び非常用取水路を選定して、基準地震動 S_s に対する耐震安全性の評価を行っていることは妥当なものと判断した。
- ② 各建屋及び構築物は、建屋や構築物の構造及び地盤状況等を反映した地震応答解析モデルを用いて基準地震動 S_s による地震応答解析を実施し耐震安全性の評価が行われており、妥当なものと判断した。
- ③ 原子炉建屋、タービン建屋の機能維持部位及びコントロール建屋については、基準地震動 S_s による耐震壁のせん断ひずみが、耐震壁の機能が保持される限界的なせん断ひずみに余裕をみて設定されたせん断ひずみの評価基準値内であることなどから、基準地震動 S_s に対して耐震安全性が確保されるものと判断した。
- ④ 非常用ガス処理系用排気筒については、これを支持する換気空調系排気筒及び鉄塔部を含め、基準地震動 S_s により各部の部材に発生する応力が、関係規準に基づく部材の許容値にもとづき設定された評価基準値内であることから、基準地震動 S_s に対して耐震安全性が確保されるものと判断した。
- ⑤ 非常用取水路については、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果、構築物の層間変形角及び構築物に作用するせん断力は、構築物の崩壊に対して十分に余裕を持って設定されている限界層間変形角及び構築物

のせん断耐力の評価基準値内であることから、基準地震動 S_s に対して通水機能が保持されるものと判断した。

- ⑥ なお、原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の地震応答解析において、東京電力が、コンクリートの実剛性を用いていること及び設計時には耐震壁として扱っていなかった補助壁を耐震壁として考慮していることを踏まえ、保安院では、東京電力に対し7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋について、原子炉の運転を開始した日以後30年を経過する日までに、コンクリート強度に係るPLM評価を行い、その時点で使用年数の再評価を行うこと、補助壁については耐震壁と同様に取り扱うことを求めることとした。

2) 機器・配管系

- ① 耐震安全上重要な機器・配管系として、東京電力はSクラス設備及びB、Cクラス設備のうちSクラス設備に波及的影響を生じさせるおそれのある設備を選定し、基準地震動 S_s に対して構造強度の保持が要求される機器・配管系と制御棒の挿入性や動的機能が要求される機器系について耐震安全性の評価を行っており、妥当なものと判断した。
- ② 原子炉本体、原子炉格納施設及び使用済燃料プールについては、これら大型機器の構造を反映してモデル化し原子炉建屋と連成した地震応答解析の結果に基づき各評価部位の構造強度の評価が行われており、妥当なものと判断した。その他の設備の機器及び配管系については、原子炉建屋等の地震応答解析、原子炉建屋と連成した大型機器の地震応答解析の結果得られた床応答スペクトル等に基づき構造強度の評価が行われており、妥当なものと判断した。
- ③ 制御棒挿入性については、燃料集合体をモデル化し原子炉本体及び原子炉建屋と連成させた地震応答解析結果に基づき評価がおこなわれており妥当なものと判断した。動的機能が要求される機器については、原子炉建屋等の地震応答解析結果または対象機器の地震応答解析結果に基づき動的機能の評価が行われており妥当なものと判断した。
- ④ 原子炉本体、原子炉格納施設、燃料プール及びその他の設備の機器・配管系については、その評価部位において、地震力及び地震力と組み合わせる運転状態に応じた荷重により発生する応力が、関連規準に基づき設定された許容応力等の評価基準値内であることから、構造強度を有し耐震安全性が確保されるものと判断した。
- ⑤ 制御棒挿入性については、基準地震動 S_s による地震応答解析から得られた燃料集合体の中央部の相対変位が、制御棒の挿入性に係る振動試験結果により規定時間内に制御棒が挿入されることが確認されてい

る燃料集合体の中央部の相対変位内であることから、制御棒の挿入性が確保されるものと判断した。

- ⑥ 動的機器については、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果、当該機器に作用する加速度が試験等により動的機能維持が確認された加速度内にあることから、動的機能が維持されるものと判断した。

3) 以上のことから、耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性は確保されるものと判断した。

XI. まとめ

合同 WG 及び構造 WG の検討結果を踏まえ、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地周辺の地質・地質構造、基準地震動 S_s 、地震随件事象、7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性及び建物・構築物の基礎地盤の支持性能についての保安院の評価結果は以下のとおりである。

1. 中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因

中越沖地震の震源断層面の浅部延長部において、柏崎刈羽原子力発電所 6・7号機等の設計時に F-B 断層の一部に当たる長さ最大約 8km の断層を確認していたが、活断層とは評価していなかった。その後、断層関連褶曲の知見を踏まえ、平成 15 年に F-B 断層について長さ約 20km、地震規模が M 7.0 の活断層と再評価した。また、断層の長さの中央を震央としその鉛直下方がエネルギーの放出の中心として、マグニチュード及び震央距離をもとに大崎の手法により敷地への影響を検討したが、敷地の地震動は基準地震動 S_2 を上回るものではないと評価していた。しかしながら、M6.8 の中越沖地震により原子炉建屋基礎版上で観測された最大加速度は設計時において算定された基礎版上の最大加速度を上回った。

このような経緯も踏まえ、中越沖地震の震源断層の拡がりや傾斜等をもとに、中越沖地震により観測された地震動が同規模の地震から想定される平均的な地震動と比較し、顕著に大きかったことについて震源特性や敷地周辺の地下構造特性の分析・検討を行い、その要因を推定した。

- ① 1号機から4号機までの荒浜側の各号機の応答スペクトルは、耐専式により内陸補正を考慮した応答スペクトルの6倍に概ね相当する。5号機から7号機までの大湊側の各号機の応答スペクトルは、耐専式による内陸補正を考慮した応答スペクトルの3倍に概ね相当する。
- ②この要因として、中越沖地震の震源特性の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ1.5倍程度大きかったことが考えられる。さらに、広域的な地下構造の影響により、敷地の地震動は平均的な地震動に比べ2倍程度大きかったこと、加えて荒浜側では、敷地直下の浅部の褶曲構造の影響により2倍程度の増幅があったことが考えられる。

2. 敷地・敷地周辺の地質・地質構造

敷地周辺の活断層について検討した結果、敷地周辺海域の活断層について

は、F-B 断層について長さ 36km として基準地震動 S_s を策定すること、陸域の活断層については、長岡平野西縁断層帯として角田・弥彦断層、気比ノ宮断層、片貝断層を合わせた長さ 91km で基準地震動 S_s を策定することとした。なお、F-B 断層北方延長部においては、海上音波探査結果等から、耐震設計上考慮すべき活断層は認められないと判断した。

また、真殿坂断層については、阿多鳥浜テフラが真殿坂向斜を横断してほぼ水平に分布し、西山層以下の地層に見られる褶曲構造に対応する地形は認められないことなどから、後期更新世以降の活動は認められないと判断した。

3. 基準地震動 S_s

中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因及び敷地・敷地周辺の地質・地質構造の検討結果を踏まえ、F-B 断層及び長岡平野西縁断層帯による地震動の策定内容及び策定結果について検討した。これらの断層の震源モデルとしては、中越沖地震の震源特性や地震調査研究推進本部の知見等を踏まえ、不確かさも考慮して震源モデルが設定されていることを確認した。また、震源特性及び敷地の地下構造特性を考慮して、応答スペクトル手法及び断層モデルを用いて地震動が評価されていることを確認した。これらのことから、基準地震動 S_s の策定内容及び策定結果は妥当なものと判断した。

4. 地震随件事象

地震随件事象として、敷地の状況から、安全上重要な施設の近傍には地震時に想定しうる斜面の崩壊等により施設の安全機能に重大な影響を及ぼすような斜面はないと判断されることから、津波に対する 7 号機の安全性及び敷地周辺の活断層の活動に伴う敷地の地盤変動に対する 7 号機の安全性について検討した。

津波に対する 7 号機の安全性については、日本海東縁部の新潟～山形沖を波源とする津波、敷地周辺の活断層による津波を考慮して敷地の津波の評価を行った結果、津波による敷地の最高水位については、7 号機の取水口前面において T. M. S. L. +3.0m 程度となることに対して、7 号機の原子炉建屋等の安全上重要な設備の設置レベルは T. M. S. L. +12.0m であること、津波による最低水位については、7 号機の取水設備の原子炉補機冷却海水ポンプ室において T. M. S. L. -3.3m 程度となることに対して原子炉補機冷却海水ポンプが海水を支障なく吸い込むことができる最低水位は T. M. S. L. -4.92m であることなどから、7 号機は津波に対して安全であると判断した。

敷地周辺の活断層の活動に伴う地盤変動については、F-B 断層及び長岡平

野西縁断層帯による地盤変動を想定した結果、7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の最大の傾斜は、それぞれ1/1600、1/2000及び1/1400程度であるが、傾斜を1/1000とした場合においても、建屋や機器・配管に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形量は加振試験により制御棒が規定時間内に挿入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることなどから、耐震安全上重要な建屋や機器・配管の機能は確保されるものと判断した。

5. 耐震安全上重要な建物・構築物の基礎地盤の支持性能

原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋のそれぞれの基礎地盤には建屋からの荷重や地震動が作用するが、地震応答解析の結果、基礎地盤には建屋を支持するうえで支障となる連続した破壊面が形成されないこと、建屋底面沿いのすべり及び断層沿いのすべりに対するすべり安全率は評価基準値の1.5以上の安全率を有していることなどから、原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の基礎地盤の支持性能は各建屋の安全性を損なうものではないと判断した。

非常用取水路の基礎地盤については、地震応答解析の結果、基礎地盤には構造物からの荷重、地震動等が作用するが、基礎地盤には非常用取水路を支持するうえで支障となる連続する破壊面が形成されないことから、基礎地盤の支持性能は非常用取水路の通水機能を損なわせるようなことはないとは判断した。

6. 基準地震動 S_s に対する建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性

1) 建物・構築物

- ① 原子炉建屋、タービン建屋の機能維持部位及びコントロール建屋については、建屋の構造及び地盤状況等を反映した地震応答解析モデルを用いて基準地震動 S_s による地震応答解析を実施し、その結果、基準地震動 S_s による各建屋の耐震壁のせん断ひずみが、耐震壁の機能が保持される限界的なせん断ひずみに余裕をみて設定されたせん断ひずみの評価基準値内であることから、耐震安全性が確保されるものと判断した。
- ② 非常用ガス処理系用排気筒については、これを支持する換気空調系排気筒及び鉄塔部を含め、基準地震動 S_s により各部の部材に発生する応力が、関係規準による部材の許容値をもとに設定された評価基準値内であることから、耐震安全性が確保されるものと判断した。

- ③非常用取水路については、基準地震動 S_s による地震力や土圧等による構造物の層間変形角及び構造物に作用するせん断力は、構造物の崩壊に対して十分に余裕を持って設定されている限界層間変形角及び構造物のせん断耐力の評価基準値内であることから、通水機能を保持するものと判断した。

2) 機器・配管系

- ① 原子炉本体、原子炉格納施設、使用済燃料プールについては、これらの大型機器の構造を反映してモデル化し原子炉建屋と連成した地震応答解析の結果から得られる荷重に基づき各評価部位の構造強度の評価が行われていること、その他の設備の機器及び配管系については、原子炉建屋等の地震応答解析、原子炉建屋と連成した大型機器の地震応答解析等の結果に基づき構造強度の評価が行われていること、構造強度の評価の結果、原子炉本体、原子炉格納施設、使用済燃料プール及びその他の設備の機器については、その評価部位において、地震力及び地震力と組み合わせる運転状態に応じた荷重により発生する応力等が、関連規準に基づき設定された評価基準値内であることから、構造強度を有し耐震安全性が確保されものと判断した。
- ② 制御棒挿入性については、基準地震動 S_s による地震応答解析から得られた燃料集合体の中央部の相対変位が、制御棒の挿入性に係る振動試験結果により規定時間内に制御棒が挿入されることが確認されている燃料集合体の中央部の相対変位内であることから、制御棒の挿入性が確保されるものと判断した。
- ③ 動的機器については、基準地震動 S_s による地震応答解析の結果、当該機器に作用する加速度が試験等により動的機能維持が確認された加速度内にあることから、動的機能が維持されるものと判断した。

以上のことから、耐震安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系の耐震安全性は確保されるものと判断した。

以上のように、保安院では、合同 WG 及び構造 WG の検討結果並びに JNES のクロスチェック結果を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s は、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回った要因、敷地周辺の活断層等を考慮して策定されたものと判断した。津波や活断層の活動に伴う地盤変動といった地震随伴事象等に対して7号機の安全性は損なわれないものと判断した。また、7号機の耐震安全上重要な建物・

構築物、機器・配管系については基準地震動 S_s に対して耐震安全性が確保されるものと判断した。

なお、原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の地震応答解析において、東京電力がコンクリートの実剛性を用いていること及び設計時には耐震壁として扱っていなかった補助壁を耐震壁として考慮していることを踏まえ、保安院では、東京電力に対し次のことを求める。

- ① 7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋について、原子炉の運転を開始した日以後 30 年を経過する日までに、コンクリート強度に係る PLM 評価を行い、その時点で使用年数の再評価を行うこと。
- ② 7号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の地震応答解析において耐震壁として考慮した補助壁については耐震壁と同様に取り扱うこと。

今後、保安院では、7号機以外の各号機の地震随件事象に対する安全性、基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震安全性、建物・構築物の基礎地盤の支持性能については引き続き合同 WG 及び構造 WG において厳格に検討を進めることとする。

(別添1)

平成20年11月18日

(平成21年1月30日(一部修正))

原子力安全・保安院

柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 Ss の最大加速度及び応答スペクトル

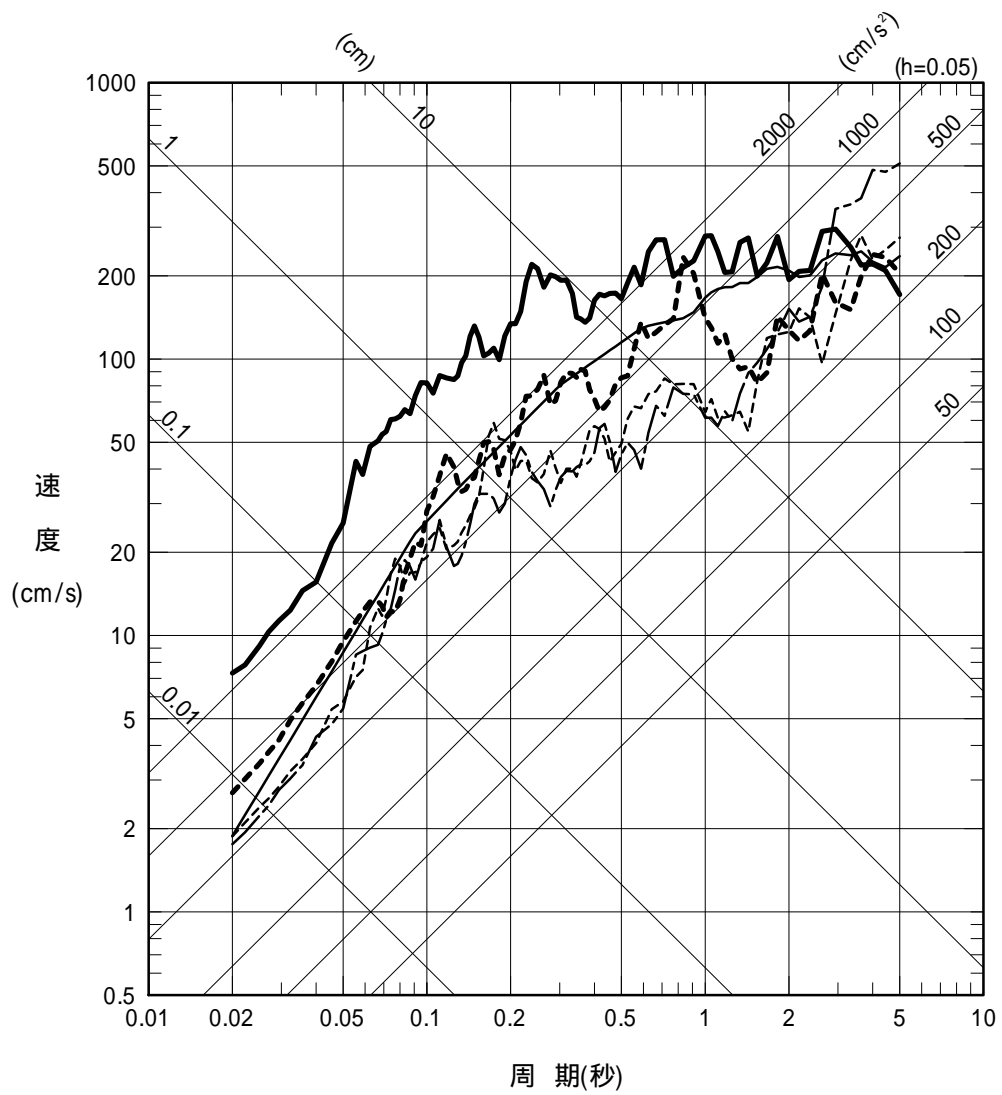
基準地震動 Ss の最大加速度

(単位：ガル (cm/s²))

	基準地震動 Ss	NS方向		EW方向		UD方向	
		荒浜側	大湊側	荒浜側	大湊側	荒浜側	大湊側
F-B 断層	Ss-1	2,300	1,050	2,300	1,050	1,050	650
	Ss-2	847	848	1,703	1,209	510	466
長岡平野西縁 断層帯	Ss-3	600		600		400	
	Ss-4	589	428	574	826	314	332
	Ss-5	553	426	554	664	266	346

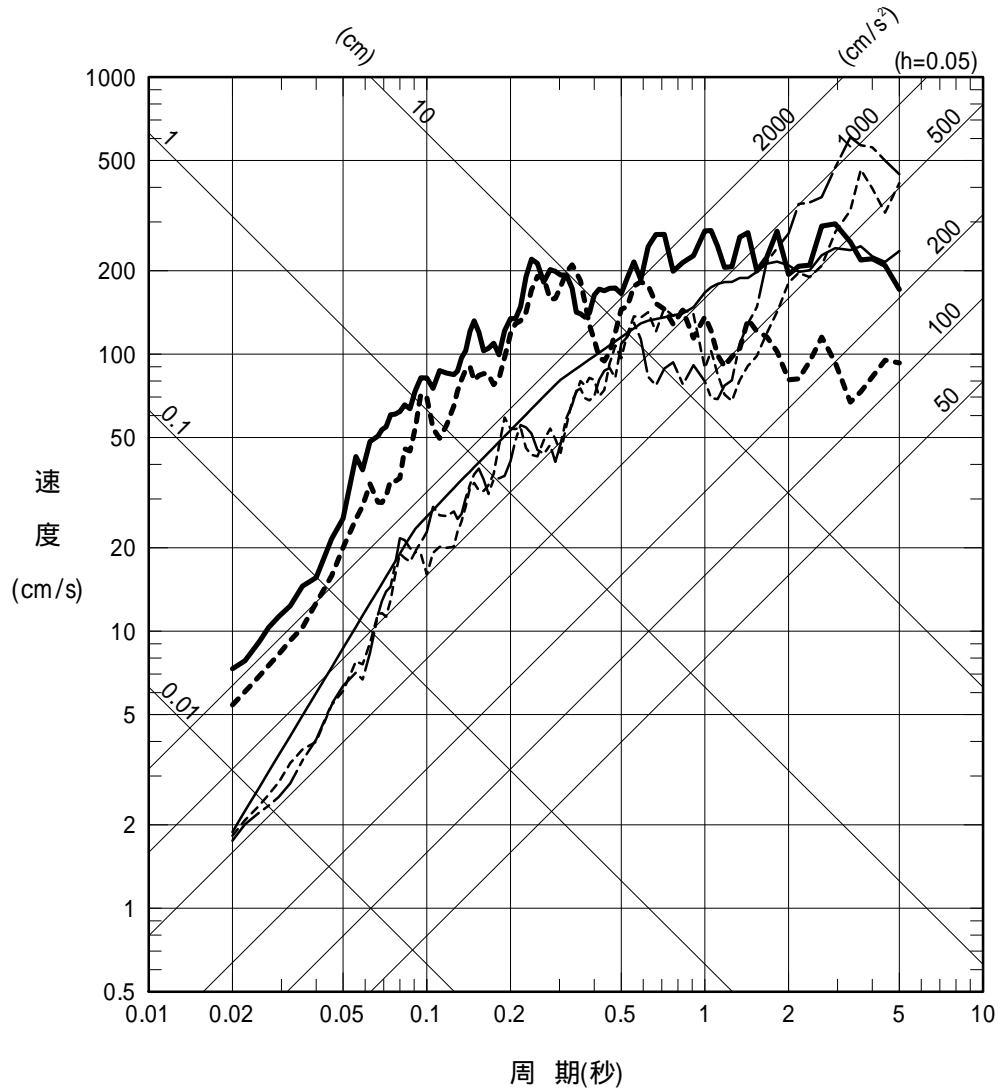
基準地震動 Ss (荒浜側 NS 成分)

- 基準地震動 Ss-1H (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2NS (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3H (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4NS (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-5NS (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



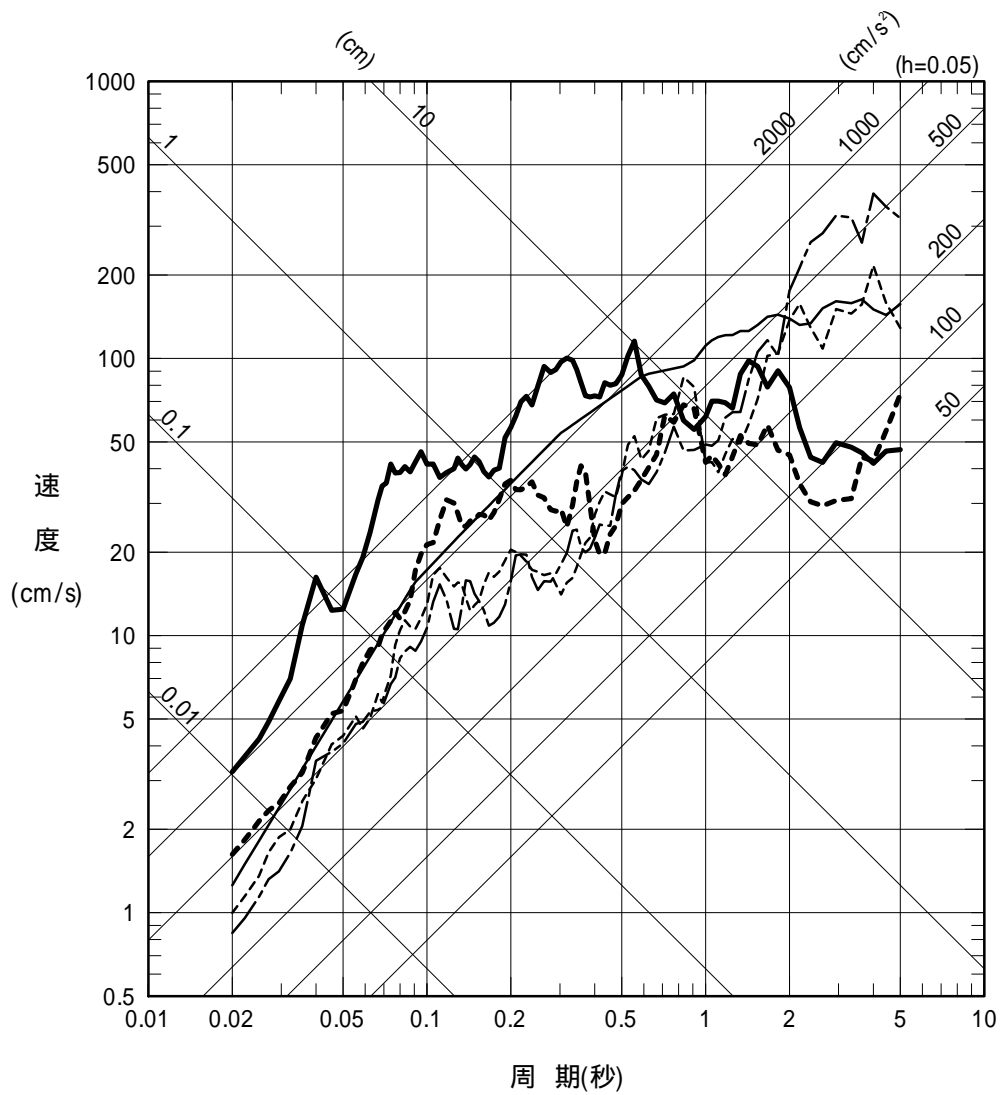
基準地震動 Ss (荒浜側 EW 成分)

- 基準地震動 Ss-1H (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2EW (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3H (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4EW (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-5EW (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



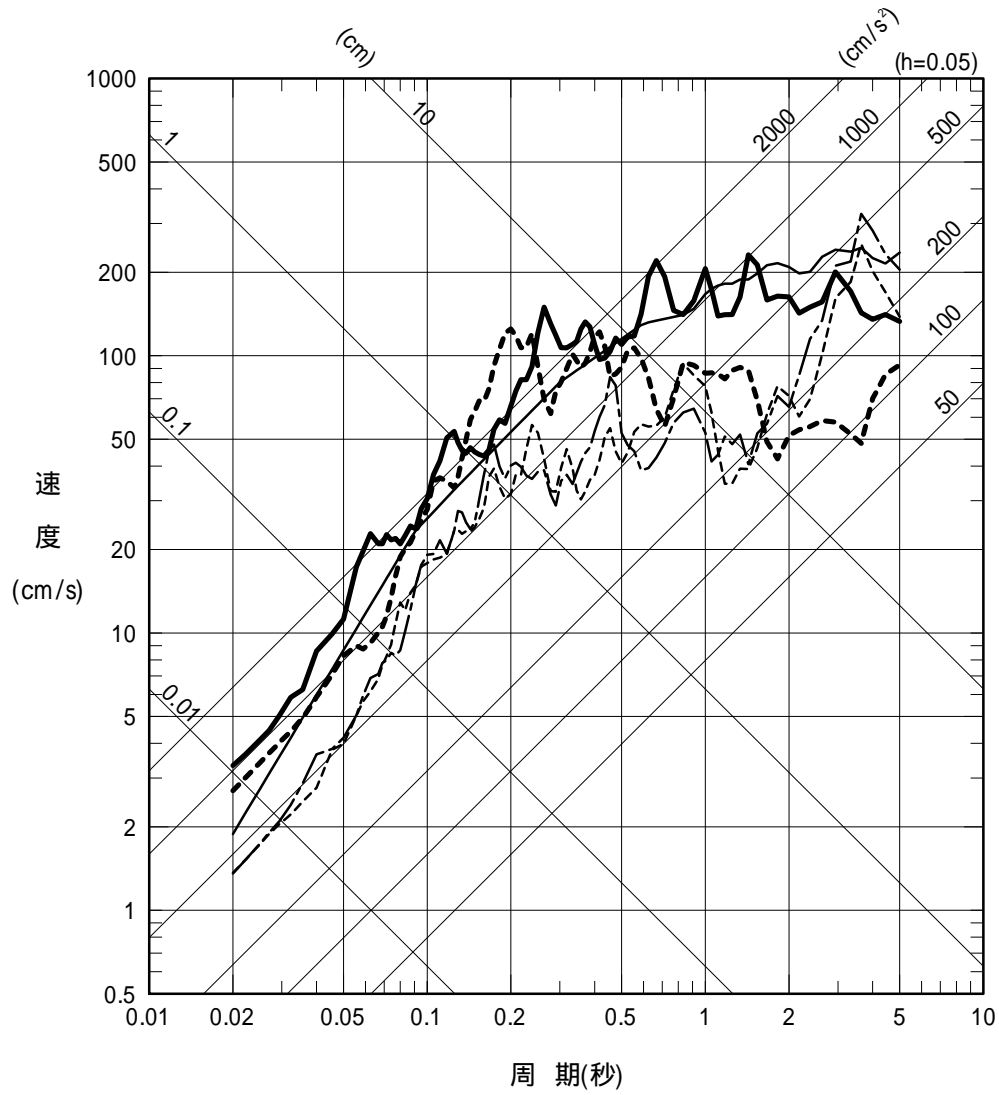
基準地震動 Ss (荒浜側 UD 成分)

- 基準地震動 Ss-1V (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2UD (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3V (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4UD (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-5UD (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



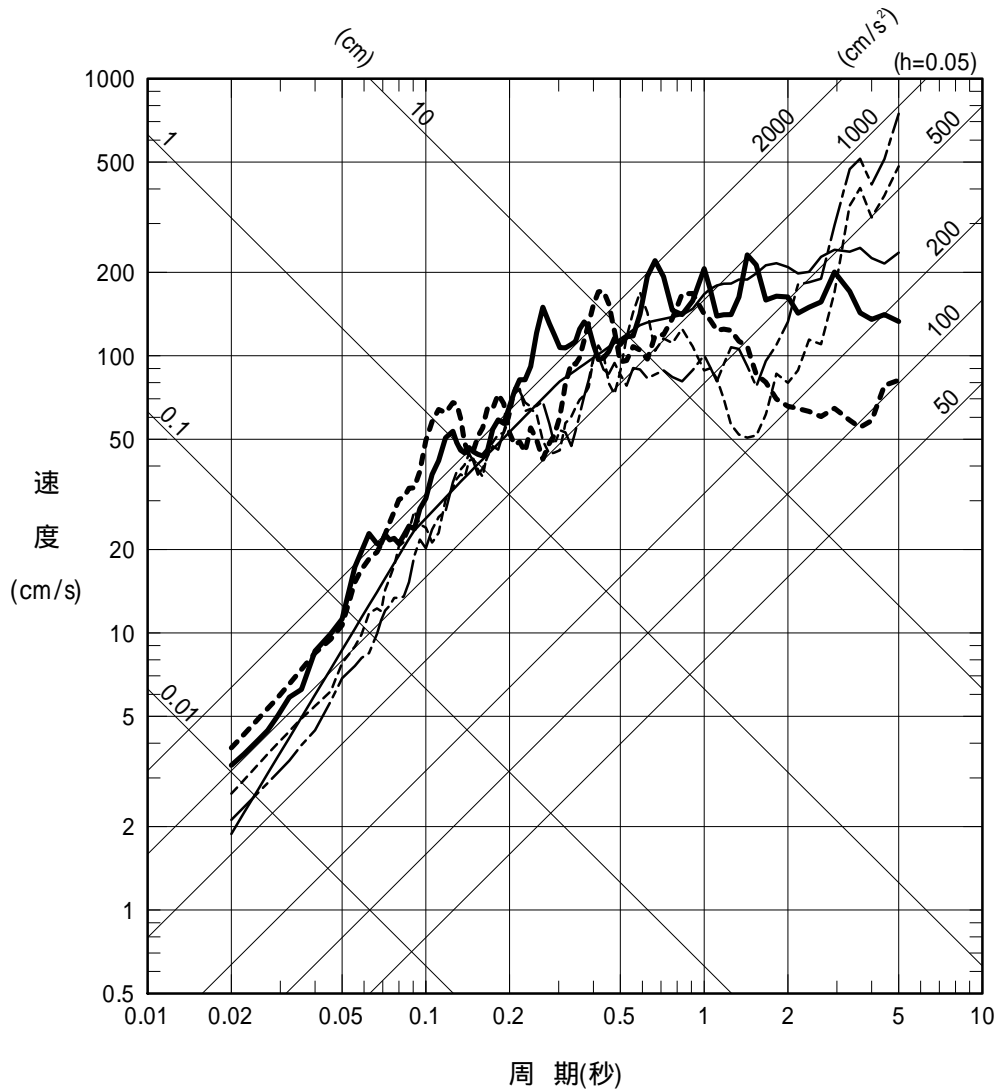
基準地震動 Ss (大湊側 NS 成分)

- 基準地震動 Ss-1H (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2NS (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3H (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4NS (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- · - · 基準地震動 Ss-5NS (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



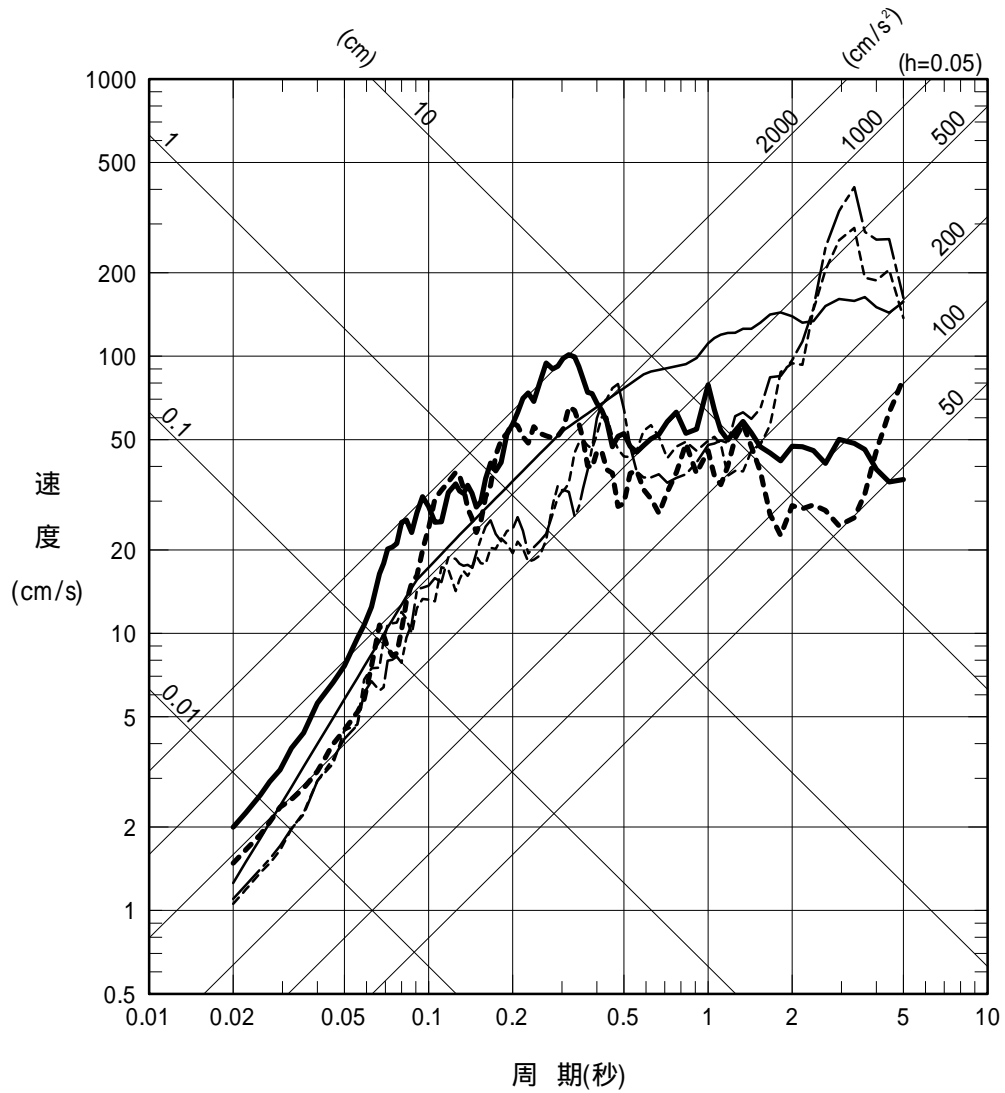
基準地震動 Ss (大湊側 EW 成分)

- 基準地震動 Ss-1H (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2EW (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3H (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4EW (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- · - · 基準地震動 Ss-5EW (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



基準地震動 Ss (大湊側 UD 成分)

- 基準地震動 Ss-1V (F-B 断層、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-2UD (F-B 断層、断層モデル)
- 基準地震動 Ss-3V (長岡平野西縁断層帯、応答スペクトル)
- - - - 基準地震動 Ss-4UD (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)
- · - · 基準地震動 Ss-5UD (長岡平野西縁断層帯、断層モデル)



(別添 2)

平成 20 年 11 月 18 日
原子力安全・保安院

保安院による海上音波探査の結果概要

保安院においては、新潟県中越沖で実施された他の関係機関の調査データに加えて、柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性評価に資するデータを拡充するため、経済産業省が所有する三次元物理探査船「資源」により、震源域の地質構造を空間的に、より詳細に把握することを目的とし、平成 20 年 2 月から 3 月初めにかけて海上音波探査を実施した。

この調査は、例年がない荒天のため、結果的に三次元ではなく二次元による調査となった。しかしながら、測線間隔を通常の二次元の調査に比べて密にして実施したことにより各測線間の対比が容易となり、地質構造を立体的に把握することができた。さらに、既往調査においては深さ 2～3 km 程度までしか確認できていなかった沿岸域の地下構造について深さ 5～6 km 程度まで把握することができた。

本調査の結果、更新世の地層には変位・変形を与えていない古い伏在逆断層と背斜構造が確認できた。この古い伏在逆断層（東京電力の調査において古い逆断層として存在が推定されていたものだが、今回、より深部のデータを得たことによってその存在を確認することができた）は、調査範囲の南西から大陸棚外縁に斜交し東北東方向へ曲がり、調査海域の北東部で止まっていた。また、本調査範囲において渡辺ほか(2007)が推定する位置の海底下には活断層は認められなかった。

また、保安院は、平成 20 年 8 月、F-B 断層が認められる範囲を含めその北方延長部において、念のために二次元の海上音波探査を実施した。その結果、F-B 断層の北端とした東京電力の No12 測線から北の探査測線における大陸棚斜面の下方には断層の存在を示唆する構造は認められなかった。

これらのことから、東京電力による調査結果は本調査範囲において本調査結果と整合的であったと評価される。

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

中越沖地震に対する 7 号機コントロール建屋の健全性評価に係る保安院の見解

原子力安全・保安院（以下「当院」という。）では、7 号機のコントロール建屋の耐震安全性の評価とともに、同建屋の中越沖地震後の健全性についても検討を行うこととした。なお、7 号機のコントロール建屋は 6 号機との共用設備になっている。

検討に当たっては、東京電力が平成 20 年 5 月 20 日及び平成 20 年 12 月 25 日にそれぞれ当院に提出した「柏崎刈羽原子力発電所 6 号機の点検・評価計画書（建物・構築物編）」及び「柏崎刈羽原子力発電所 6 号機の点検・評価報告書」をもとに、コントロール建屋に対する保安院の立入検査や構造 WG の現地調査（以下「立入検査等」という。）の結果、中越沖地震による同建屋の地震応答解析についての構造 WG の検討結果を踏まえて、点検結果と地震応答解析の結果を照合し、中越沖地震後のコントロール建屋の健全性についての総合評価を行い保安院の見解をとりまとめた。

以下に、保安院及び構造 WG の立入検査等の結果、地震応答解析に対する構造 WG の検討結果及び保安院の評価を示す。

1. コントロール建屋の点検結果

東京電力は、コントロール建屋について、耐震性能及び遮へい性能の観点から点検を実施している。東京電力による点検結果並びに構造 WG 及び保安院による立入検査等の結果は次のとおりである。

東京電力は、コントロール建屋の耐震壁及び耐震壁以外の壁で地震応答解析に耐震壁として考慮した補助壁について、剥離・剥落及びひび割れの点検を行ったとしている。ひび割れのうち中越沖地震によって発生したことが否定できないひび割れについては、a. 地震時水平力により生じる斜めひび割れ、b. 地震時の繰返し荷重により X 型に生じるひび割れ、c. 乾燥収縮、柱・梁等による拘束、コンクリートの打継等の地震以外の要因によると分類できないひび割れ、d. 中越沖地震前の調査で記録されているひび割れのうち地震後進展のあったひび割れを、地震によって発生したことが否定できないひび割れとして認定して

いる。

東京電力の目視による点検の結果、耐震壁に剥離・剥落は生じていないが、中越沖地震によって発生したことが否定できないひび割れを確認したとしている。補助壁においては剥離・剥落は生じていないが、中越沖地震によって発生したことが否定できないひび割れを確認したとしている。これらの地震によって発生したことが否定できないひび割れの幅については、詳細検討を必要とするひび割れ幅の評価基準値（1.0mm）を下回っているとしている。中越沖地震によって発生したことが否定できないひび割れについては、補修を行うとしている。柱、梁などのその他の構造部位については、点検の結果、地震による影響がないことを確認したとしている。

また、東京電力は、遮へい壁について点検を行った結果、遮へい壁においては剥離・剥落及び地震によって発生したことが否定できないひび割れが生じていないことを確認したとしている。

コントロール建屋の耐震壁及び補助壁において東京電力が確認した中越沖地震で発生したことが否定できないひび割れの状況を表－1及び表-2に示す。

表－1 コントロール建屋の耐震壁のひび割れ

階	壁厚 (mm)	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	ひび割れ幅 の評価基準 値(mm)
B2F	1200	0.35	2.4	1.0
	1200	0.3	2.5	
	500	0.1	2.5	
	1200	0.1	2.3	
	1300	0.1	2.4	
B1F	500	0.1	2.4	
	500	0.1	1.7	
1F	900	0.1	0.5	
	900	0.1	0.9	

表-2 コントロール建屋の補助壁のひび割れ

階	壁厚 (mm)	ひび割れ幅 (mm)	長さ (m)	ひび割れ幅 の評価基準 値 (mm)
B2F	300	0.15	1.7	1.0
B1F	300	0.25	1.2	
1F	300	0.35	1.7	

構造WG及び保安院による立入検査等の結果、東京電力によるコントロール建屋の耐震壁、補助壁、遮へい壁等の点検は、点検・評価計画書の点検方法に従って行われていること、点検結果の記録についても、点検・評価計画書に従い、地震により発生したことが否定できないひび割れについてはひび割れ幅に関係なくひび割れの状況が記録されていること、乾燥収縮など地震以外の要因によるひび割れについてはひび割れ幅0.3mm以上のひび割れの状況が記録されていること、ひび割れの状況についてはひび割れの発生部位、位置、方向、ひび割れ幅、長さが記録されていることを管理図面などの記録等から確認するとともに、立入検査等により現場でみられたひび割れの状況は記録の内容と整合していることが確認された。

また、立入検査等の際、現場確認において耐震壁及び補助壁には地震により発生したことが否定できないひび割れが認められたが、いずれのひび割れも詳細検討を要するひび割れ幅の評価基準値(1.0mm)を下回っていること、ひび割れについては補修を行うとしていることから、耐震性能上問題となるものではないことが確認された。遮へい壁には、現場確認において地震により発生したことが否定できないひび割れは認められなかった。

以上のことから、保安院は、耐震壁、補助壁、遮へい壁等には中越沖地震により耐震性能及び遮へい性能を損なうような損傷はないものと判断した。

2. コントロール建屋の地震応答解析結果

東京電力は、中越沖地震に対するコントロール建屋の健全性評価を行うため、地震応答解析による評価を行っている。

コントロール建屋の水平方向の地震応答解析モデルは、設計時において建屋

を曲げ変形とせん断変形をする質点系とし、地盤を等価な水平及び回転ばねで評価した建屋－地盤連成系のスウェイ・ロッキングモデルとした解析モデルから次の事項をもとに修正し構築したとしている。具体的には、(a)設計時にはコンクリートの設計基準強度をもとに算定していた鉄筋コンクリートの剛性をコンクリートの実際の平均的な強度をもとに見直すこと、(b)設計時には耐震要素として考慮しない補助壁についても耐震要素として考慮すること、(c)設計時には建物と地盤の相互作用を反映するため水平ばねを考慮していたが、新たに回転ばねも考慮すること、(d)ただし、設計時に地盤ばねとして考慮していた地盤表層部については、中越沖地震時の表層地盤の変状を踏まえ地盤ばねの考慮はしないことの修正を行ったとしている。鉛直方向の解析モデルは、水平方向の解析モデルの解析諸元から、建屋を軸変形する質点系とし、地盤を等価なばねで評価した建屋－地盤連成モデルとしている。

入力地震動については、コントロール建屋においては中越沖地震時の観測記録が得られていないことから、6号機原子炉建屋の基礎版上の水平方向及び鉛直方向の観測記録から原子炉建屋基礎底面位置の地震動を算出し、これからコントロール建屋基礎底面位置における地震動を算出し、これを入力地震動としている。

地震応答解析の結果、コントロール建屋の各階の耐震壁等に生じるせん断応力は、設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して余裕があるとし、また、実際の平均的な強度をもとにしたコンクリートのみで負担できる短期せん断応力度を下回るとしている。各階のせん断ひずみは、ひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 (0.25×10^{-3}) を下回るとしている。

これらのことから、コントロール建屋は概ね弾性範囲にあり健全性を確保しているとしている。

構造WGでは、東京電力による地震応答解析の内容について検討を行った。その結果、地震応答解析モデルは、コントロール建屋の構造及び地盤状況などを反映していること、設計時の解析モデルからの修正内容は、7号機の原子炉建屋の修正内容と同じであり、これによる7号機原子炉建屋の地震応答解析の結果は中越沖地震時の原子炉建屋の応答とほぼ整合することから、妥当なものと認められた。

入力地震動については、6号機原子炉建屋の基礎版上の水平方向及び鉛直方向の観測記録から算定される原子炉建屋基礎底面位置の地震動をもとに、原子炉建屋底面位置から上部の地盤をモデル化し、1次元波動論によりコントロール建屋基礎底面位置等における地震動を算出し、これを入力地震動としていることから、支障ないものと認められた。なお、東京電力では、6号機の解放基盤表面において算定された中越沖地震の地震動を用いた地震応答解析も行っていることを確認した。

これらの地震応答解析の結果、コントロール建屋の耐震壁等に生じるせん断応力度は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度に対して余裕があること、せん断応力はコンクリートのみで負担できる短期せん断応力度を下回ること、各階のせん断ひずみはひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 (0.25×10^{-3}) を下回ることから、コントロール建屋は中越沖地震に対して概ね弾性範囲であったことが確認された。また、地震応答解析結果の評価に用いられた設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度及びコンクリートのみで負担できる短期せん断応力度については、日本建築学会の「鉄筋コンクリート構造設計規準・同解説」において建物の弾性設計に用いる許容応力度の考え方をもとにしていること、ひび割れが発生するせん断ひずみの目安値による健全性の評価手法については原子炉建屋等の耐震設計において弾性範囲の目安として用いられてきた実績のある手法であり妥当なものと認められた。

なお、SR モデルによるコントロール建屋の地震応答解析結果について、建屋の基礎浮き上がりによる回転ばねの非線形化によって生じる誘発上下動の影響を考慮する必要性の有無を幾何学的な接地率から検討した。その結果、接地率は65%の目安値以上であり、誘発上下動の影響を考慮する必要はないことが確認された。

保安院は、これらの地震応答解析の検討結果から、コントロール建屋は中越沖地震に対して概ね弾性範囲にあったと判断した。

3) コントロール建屋の健全性の総合評価

東京電力は点検結果及び地震応答解析結果を踏まえてコントロール建屋の健全性の総合評価を行った結果、中越沖地震後においても健全性が確保されているとしている。

構造WGでは、コントロール建屋の健全性について立入検査等の結果、地震応答解析結果等から総合的に検討を行った。立入検査等の結果、コントロール建屋には構造上問題となるひび割れは認められず、耐震性能等の要求性能を損なう損傷部位は認められなかった。地震応答解析の結果、耐震壁等の各階のせん断ひずみはひび割れが発生するせん断ひずみの目安値 (0.25×10^{-3}) を下回るとともに、せん断応力度は設計配筋量のみで負担できる短期せん断応力度及びコンクリートのみで負担できる短期せん断応力度のいずれに対しても下回ることから、コントロール建屋は中越沖地震に対して概ね弾性範囲であったことを確認した。また、構造WGにおける検討の結果、点検方法や地震応答解析手法についても問題ないことを確認した。

保安院は、立入検査等の結果と地震応答解析の検討結果を照合し、総合的に検討した結果、コントロール建屋は健全性を確保していると判断した。

(別添 4)

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

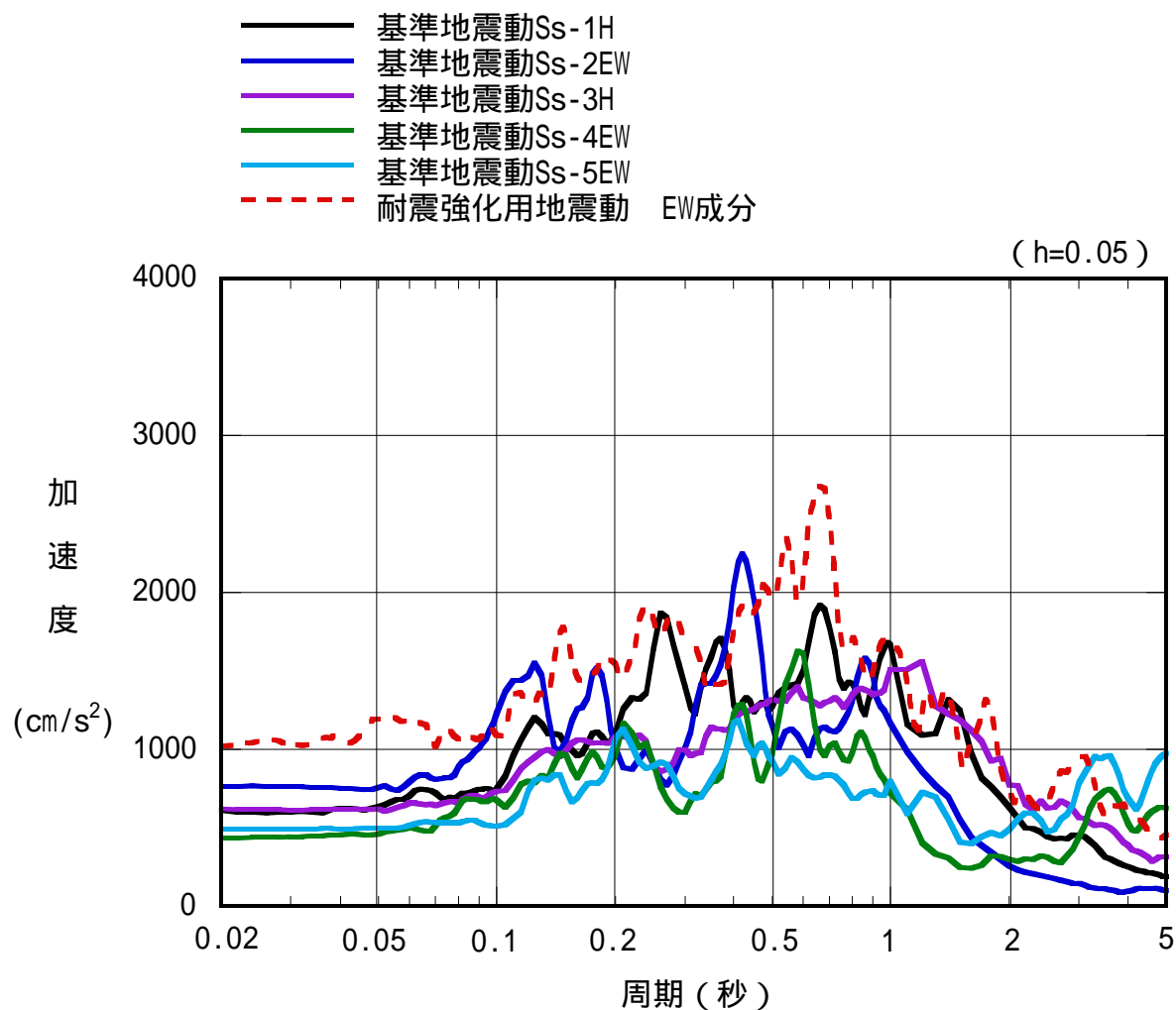
東京電力による柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の耐震強化工事について

東京電力は、中越沖地震により観測された最大加速度が設計時において算定された最大加速度を上回ったことを踏まえ、基準地震動 S_s に対する耐震安全上重要な施設の安全機能の保持をより確かにするため、耐震強化用地震動を設定し、これに対して余裕の少ない部位を抽出して耐震強化工事を実施している。

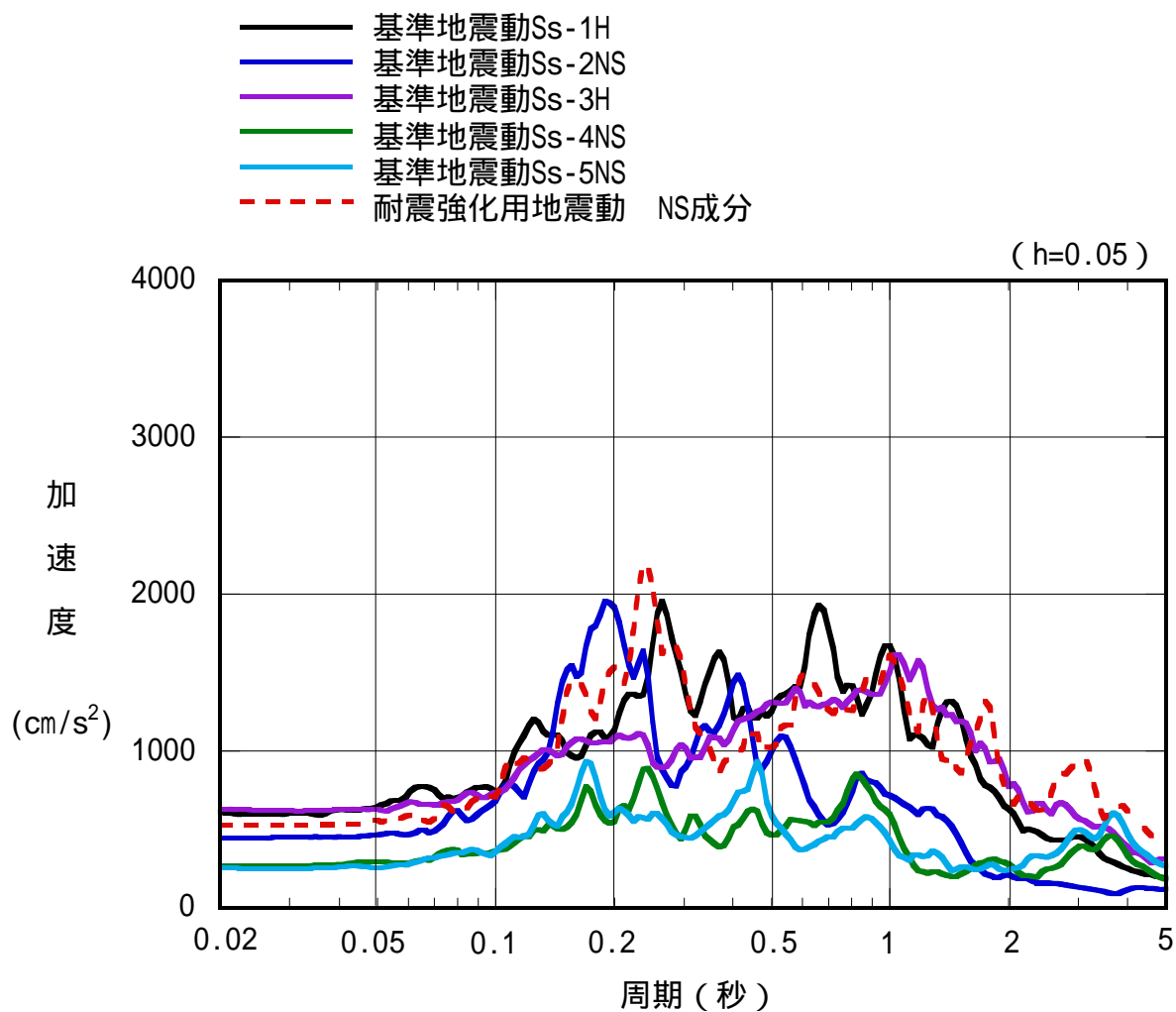
耐震強化用地震動は、中越沖地震において各号機の原子炉建屋基礎版上で観測された揺れの応答スペクトルの形状及び各号機の原子炉建屋基礎版上での観測記録のうち最大の加速度である 680 ガルが 1 号機の EW 方向で観測されたことを参考に、耐震強化用地震動の EW 方向の揺れが 1000 ガルとなるように 680 ガルを係数倍(1.5 倍)して設定している。NS 方向及び UD 方向についても各号機の原子炉建屋基礎版上の観測記録のうち最大加速度値を 1.5 倍したものを設定している。このように設定された耐震強化用地震動に対して余裕の少ない部位を抽出し、7 号機の耐震強化工事が実施されている。なお、機器・配管系についてはその固有周期に対する EW 方向及び NS 方向の応答スペクトルの加速度値のうち大きい加速度値を用いて評価を行っている。

以下に、耐震強化用地震動による 7 号機の原子炉建屋基礎版上の揺れの応答スペクトル及び耐震強化用地震動による 7 号機の耐震安全上重要な原子炉建屋、機器・配管系の評価結果を図及び表に示す。

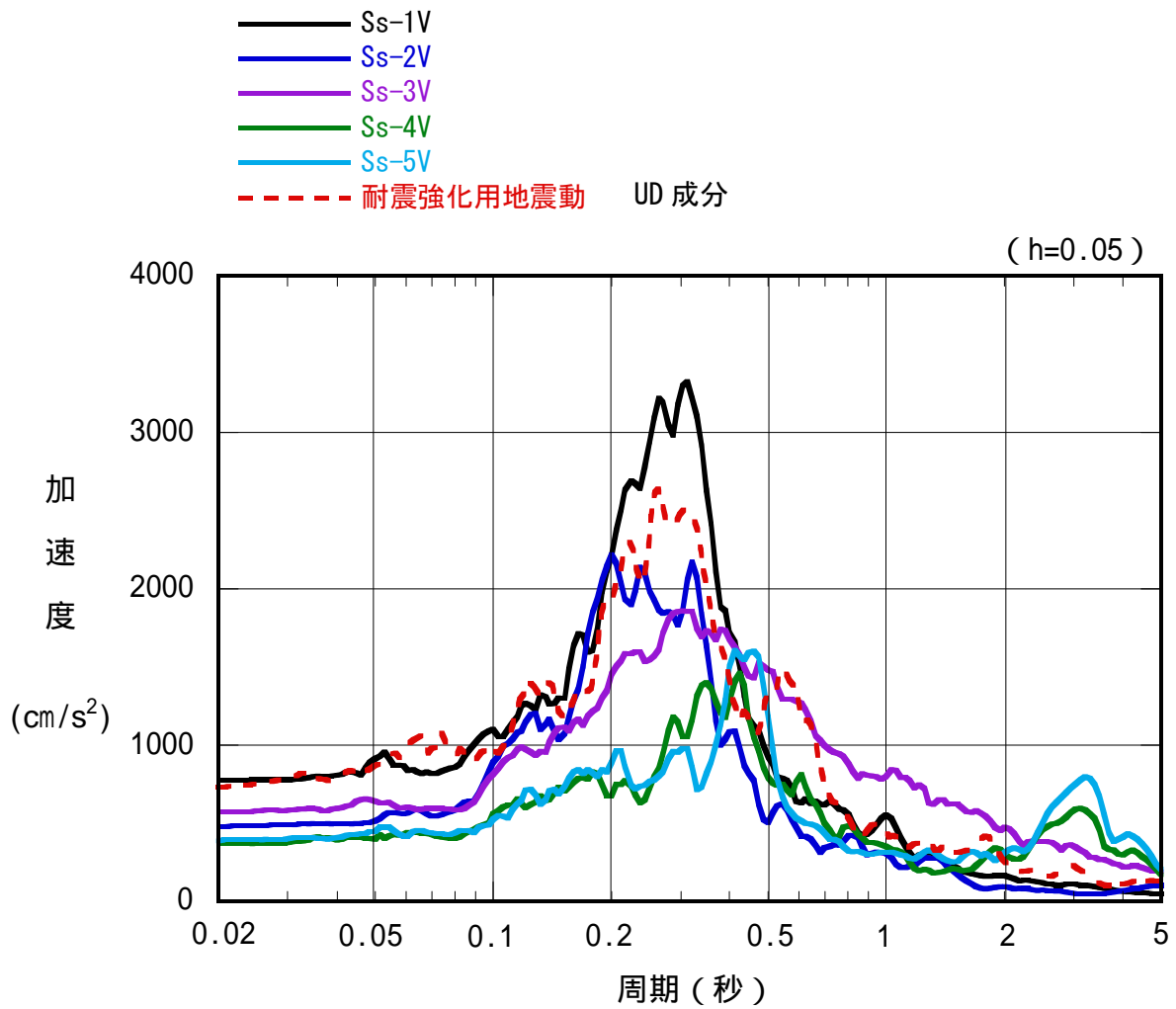
耐震強化用地震動による建屋の耐震壁のせん断ひずみや機器・配管に発生する応力は、いずれも評価基準値内であることが認められた。



基準地震動 Ss 及び耐震強化用地震動の 7 号機原子炉建屋
基礎版上での応答スペクトルの比較 (EW 方向)



基準地震動 Ss 及び耐震強化用地震動の 7 号機原子炉建屋
基礎版上での応答スペクトルの比較 (NS 方向)



基準地震動 Ss および耐震強化用地震動の 7 号機原子炉建屋
基礎版上での応答スペクトルの比較 (UD 方向)

建物・構築物

1. 1 原子炉建屋（耐震壁、RCCV）

耐震壁のせん断ひずみ（NS方向）

外壁

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
CRF	0.13	0.08	0.08	0.06	0.05	0.13	2.0以下
4F	0.15	0.10	0.10	0.07	0.06	0.15	
3F	0.16	0.09	0.09	0.06	0.05	0.13	
2F	0.33	0.16	0.17	0.11	0.10	0.21	
1F	0.36	0.17	0.18	0.12	0.11	0.23	
B1F	0.37	0.19	0.19	0.12	0.12	0.24	
B2F	0.44	0.20	0.21	0.12	0.13	0.29	
B3F	0.21	0.15	0.18	0.09	0.11	0.20	

CRF:クレーン階

RCCV

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
3F	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	2.0以下
2F	0.10	0.08	0.09	0.05	0.05	0.10	
1F	0.12	0.09	0.09	0.06	0.06	0.10	
B1F	0.16	0.11	0.12	0.07	0.07	0.12	
B2F	0.31	0.15	0.17	0.09	0.10	0.19	
B3F	0.17	0.14	0.16	0.08	0.10	0.17	

耐震壁のせん断ひずみ (EW方向)

外壁

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
CRF	0.10	0.08	0.06	0.05	0.06	0.12	2.0以下
4F	0.11	0.09	0.07	0.06	0.07	0.13	
3F	0.14	0.14	0.08	0.07	0.08	0.17	
2F	0.19	0.21	0.12	0.10	0.12	0.26	
1F	0.21	0.25	0.14	0.11	0.14	0.32	
B1F	0.30	0.35	0.18	0.15	0.18	0.61	
B2F	0.28	0.35	0.18	0.17	0.18	0.86	
B3F	0.21	0.28	0.17	0.17	0.16	0.89	

RCCV

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
3F	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	2.0以下
2F	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.10	
1F	0.09	0.09	0.07	0.06	0.07	0.12	
B1F	0.16	0.18	0.12	0.11	0.12	0.38	
B2F	0.17	0.19	0.13	0.13	0.13	0.64	
B3F	0.18	0.20	0.15	0.15	0.14	0.78	

1. 2 原子炉建屋屋根トラス

屋根トラスの鉄骨部における評価結果

部 材		基準地震動 Ss			耐震強化用 地震動
		発生応力	評価基準値	発生応力／ 評価基準値	発生応力／ 評価基準値
		(N/mm ²)	(N/mm ²)		
上弦材	(引張)	129.7	357	0.59	0.49
	(曲げ)	77.4	357		
下弦材	(圧縮)	146.3	313	0.66	0.51
	(曲げ)	67.6	357		
斜材	(圧縮)	195.8	316	0.62	0.52
束材	(圧縮)	84.8	206	0.42	0.31

注：評価基準値は、建築基準法に基づく鋼材の材料強度（F 値の 1.1 倍）による許容値を示す。

1. 3 タービン建屋

機能維持部位における耐震壁のせん断ひずみ

(NS方向)

a軸 ($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5		
B2F	0.19	0.16	0.15	0.09	0.09	0.16	2.0以下

b軸 ($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5		
1F	0.11	0.08	0.09	0.05	0.05	0.10	2.0以下
B1F	0.11	0.09	0.09	0.05	0.05	0.10	
MB2F	0.12	0.10	0.09	0.05	0.05	0.10	
B2F	0.15	0.13	0.12	0.06	0.07	0.13	

機能維持部位における耐震壁のせん断ひずみ

(EW方向)

a軸 (×10⁻³)

階	基準地震動S _s					耐震強化用 地震動	評価基準値
	S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5		
B1F	0.13	0.12	0.11	0.10	0.11	0.76	2.0以下
MB2F	0.16	0.16	0.12	0.13	0.14	0.81	
B2F	0.17	0.17	0.12	0.14	0.14	0.62	

e軸 (×10⁻³)

階	基準地震動S _s					耐震強化用 地震動	評価基準値
	S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5		
B1F	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.13	2.0以下
MB2F	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10	0.30	
B2F	0.14	0.14	0.11	0.11	0.12	1.03	

h軸 (×10⁻³)

階	基準地震動S _s					耐震強化用 地震動	評価基準値
	S _s -1	S _s -2	S _s -3	S _s -4	S _s -5		
1F	0.14	0.14	0.11	0.12	0.12	0.57	2.0以下
B1F	0.17	0.17	0.13	0.14	0.15	1.15	

1. 4 排気筒

鉄塔部および筒身部における評価結果

基準地震動 Ss											耐震 強化用 地震動
箇所	部材	N (kN)	M (kN・m)	A (cm ²)	Z (cm ³)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
鉄塔	主柱材	2546	146	124.1	1530	205.2	95.5	339	357	0.88	0.97
	斜材	644	-	29.94	-	215.1	-	255	-	0.85	0.83
	水平材	296	-	58.91	-	50.3	-	216	-	0.24	0.23
筒身	-	305	4196	454	27200	6.8	154.3	198	211	0.77	0.87

記号の説明

- N : 軸力 (圧縮を正とする。)
M : 曲げモーメント
A : 断面積
Z : 断面係数
 σ_c : 圧縮応力 (N/A)
 σ_b : 曲げ応力 (M/Z)
f_c : 圧縮応力に対する許容値
f_b : 曲げ応力に対する許容値

SGTS 用排気筒筒身部における評価結果

基準地震動 Ss										耐震 強化用 地震動
部材間	部材長 (m)	A (cm ²)	Z (cm ³)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	
A-B	3.20	80.9	611	1.0	2.8	255	269	0.02	0.03	
B-C	5.00			1.9	10.5	234		0.05	0.06	
C-D	5.00			2.9	8.7	234		0.05	0.06	
D-E	5.67			4.0	15.8	225		0.08	0.06	
E-F	5.67			5.0	15.8	225		0.09	0.07	
F-G	5.60			6.4	10.7	226		0.07	0.10	

1. 5 コントロール建屋（耐震壁）

耐震壁のせん断ひずみ（NS方向）

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
2F	0.10	0.10	0.07	0.04	0.04	0.12	2.0以下
1F	0.15	0.14	0.11	0.07	0.06	0.16	
B1F	0.16	0.16	0.12	0.08	0.07	0.18	
MB2F	0.24	0.20	0.17	0.10	0.09	0.38	
B2F	0.46	0.20	0.19	0.13	0.11	0.62	

耐震壁のせん断ひずみ（EW方向）

($\times 10^{-3}$)

階	基準地震動Ss					耐震強化用 地震動	評価基準値
	Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H	Ss-4H	Ss-5H		
2F	0.10	0.08	0.08	0.06	0.07	0.11	2.0以下
1F	0.12	0.10	0.09	0.07	0.08	0.13	
B1F	0.16	0.12	0.12	0.09	0.11	0.18	
MB2F	0.16	0.12	0.13	0.09	0.11	0.19	
B2F	0.21	0.17	0.15	0.12	0.15	0.32	

2. 機器・配管系

構造強度評価結果 (1/4)

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)	評価手法 ※1	備考
			基準地震動 Ss	耐震強化用地震動			
原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張応力	215	254	499	B	
原子炉格納容器	サブプレッションチェンバ出入口	せん断応力	24	29	164	B	
炉心支持構造物	シュラウドサポート	軸圧縮応力	51	63	260	B	
シュラウドヘッド	鏡板	一次一般膜＋一次曲げ応力	95	158	222	B	
主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	胴板	一次一般膜応力	83	104	248	A2	
主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	胴板	一次一般膜応力	105	131	248	A2	
残留熱除去系熱交換器	胴板	一次応力	288	326	408	A2	
残留熱除去系ポンプ	基礎ボルト	せん断応力	14	15	350	A2	
原子炉隔離時冷却系ポンプ	基礎ボルト	引張応力	87	97	455	A2	
原子炉隔離時冷却系蒸気駆動用タービン	タービン取付ボルト	引張応力	57	64	444	A2	
高圧炉心注水系ポンプ	基礎ボルト	せん断応力	20	23	350	A2	
原子炉補機冷却水系熱交換器	サポートアンカボルト	せん断応力	77	105	159	B	
原子炉補機冷却水系ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	13	16	146	A2	
原子炉補機冷却海水系ポンプ	原動機取付ボルト	せん断応力	70	80	118	A2	

構造強度評価結果 (2/4)

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)	評価手法 ※1	備考
			基準地震動 Ss	耐震強化用地震動			
原子炉補機冷却海水系ストレーナ	基礎ボルト	せん断応力	7	8	366	A2	
水圧制御ユニット	フレーム	組合せ応力	107	119	253	A2	
ほう酸水注入系ポンプ	ポンプ取付ボルト	せん断応力	47	61	146	A2	
ほう酸水注入系貯蔵タンク	基礎ボルト	せん断応力	126 (52)	59	159	右記参照	基準地震動 Ss の評価は A2, 耐震強化用地震動の評価は B。() は B により評価した値。
局部出力領域モニタ検出器集合体	LPRM 検出器集合体 カバーチューブ	一次一般膜+一次曲げ応力	162	223	226	B	
起動領域モニタドライチューブ	パイプ	一次一般膜+一次曲げ応力	182	253	391	B	
ベンチ形制御盤 (運転監視補助盤 I)	取付ボルト	せん断応力	12	14	159	A2	
垂直自立型制御盤 (安全保護系盤区分 1)	取付ボルト	引張応力	23	28	207	A2	
原子炉系 (I 系) 計装ラック	取付ボルト	せん断応力	4	4	159	A2	
燃料取替機	ブリッジ脱線防止ラグ取付ボルト	せん断応力	142	150	158	B	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	基礎ボルト	引張応力	150	175	184	B	
燃料取替エリア排気放射線モニタ	検出器取付ボルト	せん断応力	4	6	159	A2	
非常用ガス処理系排風機	排風機取付ボルト	引張応力	169 (67)	77	177	右記参照	基準地震動 Ss の評価は A2, 耐震強化用地震動の評価は B。() は B により評価した値。
非常用ガス処理系乾燥装置	取付ボルト	せん断応力	108	140	341	A2	

構造強度評価結果 (3/4)

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)	評価手法 ※1	備考
			基準地震動 Ss	耐震強化用地震動			
非常用ガス処理系フィルタ装置	取付ボルト	せん断応力	141	164	341	B	
中央制御室送風機	送風機取付ボルト	引張応力	48	59	189	A2	
中央制御室再循環送風機	基礎ボルト	引張応力	29	34	206	A2	
中央制御室排風機	原動機取付ボルト	引張応力	11	14	206	A2	
中央制御室再循環フィルタ装置	基礎ボルト	せん断応力	47	55	159	A2	
ディーゼル機関	基礎ボルト	せん断応力	58	67	225	A2	
空気だめ	胴板	一次応力	92	92	262	B	
燃料ディタンク	スカート	座屈	0.23	0.29	1.0	A2	座屈に対する評価式により、発生値は評価基準地に対する比率で示す。
発電機	機関側軸受台下部ベース取付ボルト	引張応力	86	101	205	A2	
蓄電池	取付ボルト	せん断応力	18	20	159	A2	
充電器	取付ボルト	せん断応力	11	12	159	A2	
バイタル交流電源設備	取付ボルト	せん断応力	15	16	159	A2	

構造強度評価結果 (4/4)

評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (MPa)		評価基準値 (MPa)	評価手法 ※1	備考
			基準地震動 Ss	耐震強化用地震動			
主蒸気系 配管本体	配管本体	一次応力	217	279	374	B	
原子炉冷却材浄化系 配管本体	配管本体	一次応力	87	100	363	B	
残留熱除去系 配管本体	配管本体	一次応力	206	339	364	B	
原子炉隔離時冷却系 配管本体	配管本体	一次応力	131	180	363	B	
高圧炉心注水系 配管本体	配管本体	一次応力	126	178	431	B	
給水系 配管本体	配管本体	一次応力	-	308	363	B	材料 : STPT410
			201	-	380	B	材料 STS480
放射性ドレン移送系 配管本体	配管本体	一次応力	92	151	366	B	
原子炉補機冷却水系 配管本体	配管本体	一次応力	161	207	344	B	
原子炉補機冷却海水系 配管本体	配管本体	一次応力	66	91	354	B	
制御棒駆動系 配管本体	配管本体	一次応力	120	134	318	B	
ほう酸水注入系 配管本体	配管本体	一次応力	76	124	208	B	
非常用ガス処理系 配管本体	配管本体	一次応力	63	83	363	B	
可燃性ガス濃度制御系 配管本体	配管本体	一次応力	117	176	309	B	
不活性ガス系 配管本体	配管本体	一次応力	-	243	309	B	材料 : STPT410
			128	-	300	B	材料 : SM400C

※1 「評価方法」の欄に記載されている[A1], [A2], [B]の凡例は、以下のとおり。

A1：応答倍率法において、耐震強化用地震動または基準地震動 S_s による地震力と既往評価の地震力との応答比を用いた評価方法

A2：応答倍率法において、耐震強化用地震動または基準地震動 S_s による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を用いた評価方法

B：詳細評価（スペクトルモーダル解析法等による評価）

(別添5)

平成20年11月18日
原子力安全・保安院

確認用地震動について

保安院は、本年9月25日、原子力安全委員会耐震安全性評価特別委員会から、「柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動 S_s 策定に係る原子力安全・保安院における検討に際しての意見」において、「新潟県中越沖地震を踏まえ、基準地震動 S_s とは別に、以下の考え方に沿った断層モデルによる確認用地震動を策定し、基準地震動 S_s の妥当性を確認すること」が求められた。

確認用地震動の策定に当たっては、F-B断層のモデル化について「巨視的パラメータや微視的パラメータは、地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づき設定すること。ただし、アスペリティの個数や位置、応力降下量の設定については、新潟県中越沖地震で得られたデータを最大限に活用すること。また破壊開始点は、その不確かさから、敷地への影響を考慮して設定すること。」としている。

これを踏まえ、保安院では、F-B断層について、巨視的パラメータや微視的パラメータを地震調査研究推進本部(2008)による強震動予測レシピに基づき設定し、断層モデルによる策定した確認用地震動について、東京電力の報告書をもとに検討を行った。その結果、確認用地震動を策定したF-B断層の断層モデルは、新潟県中越沖地震のシミュレーション解析で得られたアスペリティの個数や位置、応力降下量、破壊伝播様式をもとに、F-B断層の断層長さを約36kmとして強震動予測レシピに基づくアスペリティの総面積と一致するように4つ目のアスペリティを新たに設定した断層モデルであること、確認用地震動の評価は、中越沖地震のシミュレーション解析で用いた余震の観測記録を要素地震波として経験的グリーン関数法により行われていることを確認した。また、確認用地震動の応答スペクトルは、概ね基準地震動 S_s-2 と同レベルの地震動であることを確認した。

確認用地震動と基準地震動 S_s を比較して図に示す。なお、確認用地震動①はマルチハイポセンター破壊、確認用地震動②は同心円状の破壊を考慮したものである。

基準地震動 Ss-2 と確認用地震動の比較（解放基盤表面）

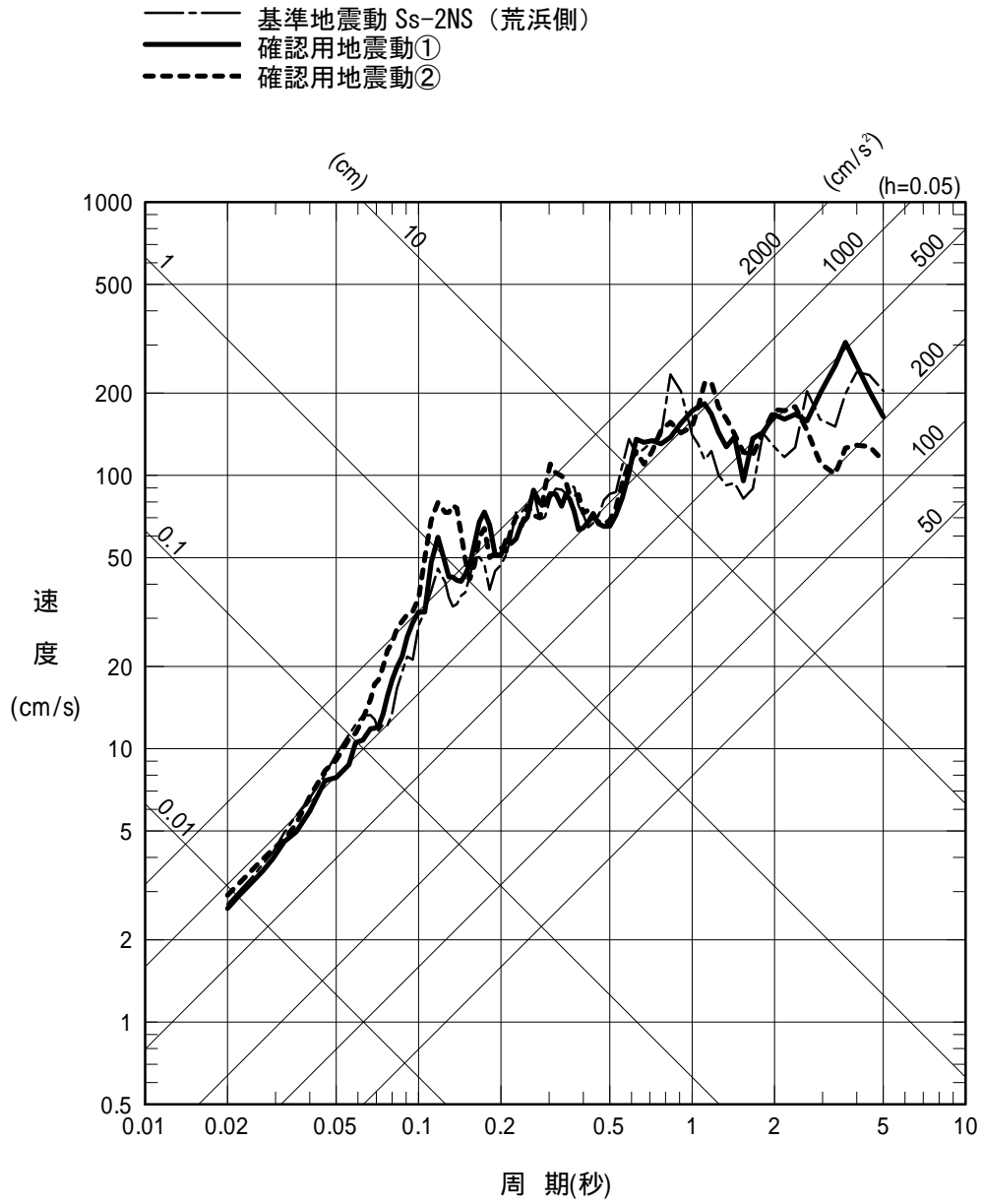


図1 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
（荒浜側 NS 成分 解放基盤表面）

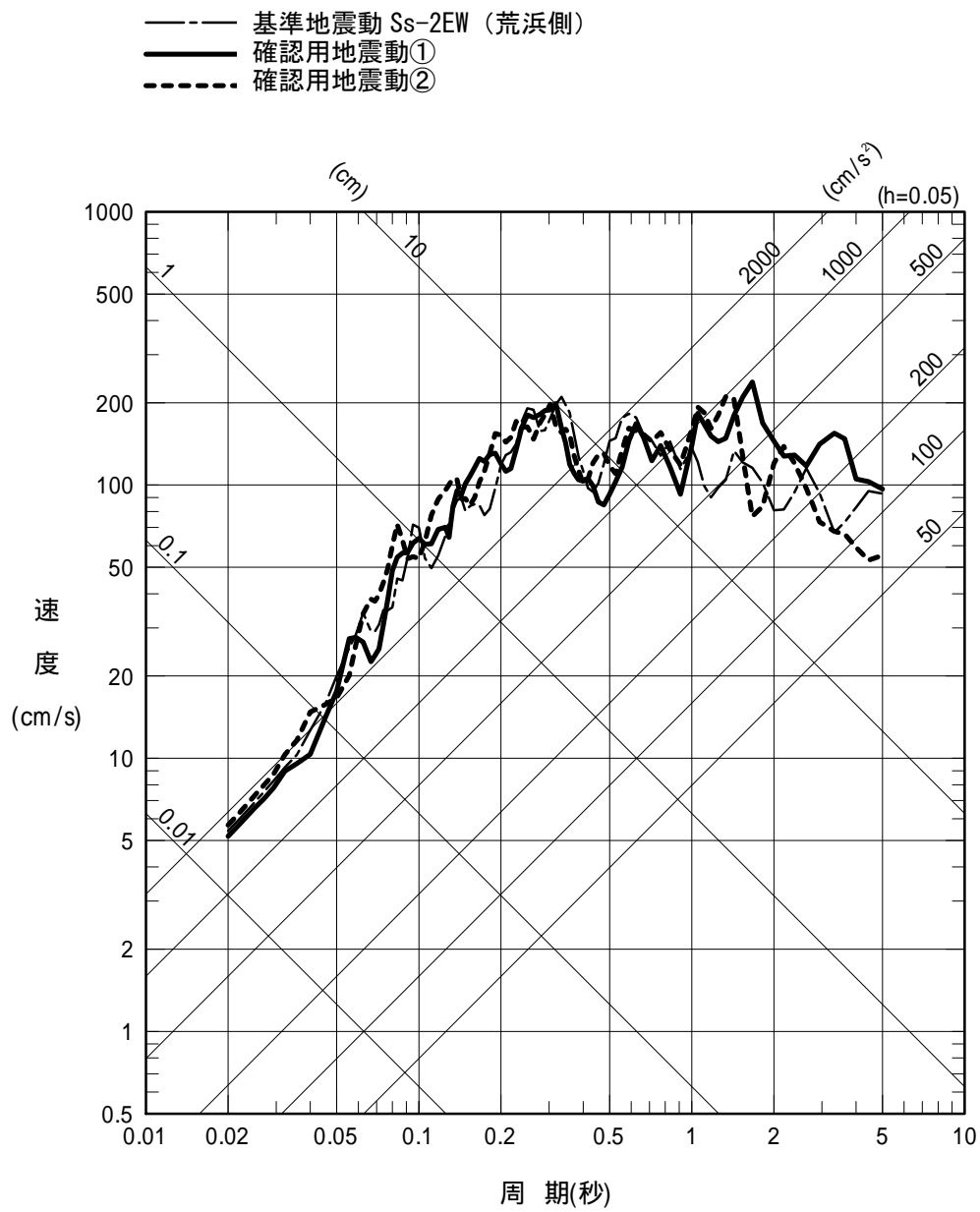


図2 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
 (荒浜側 EW成分 解放基盤表面)

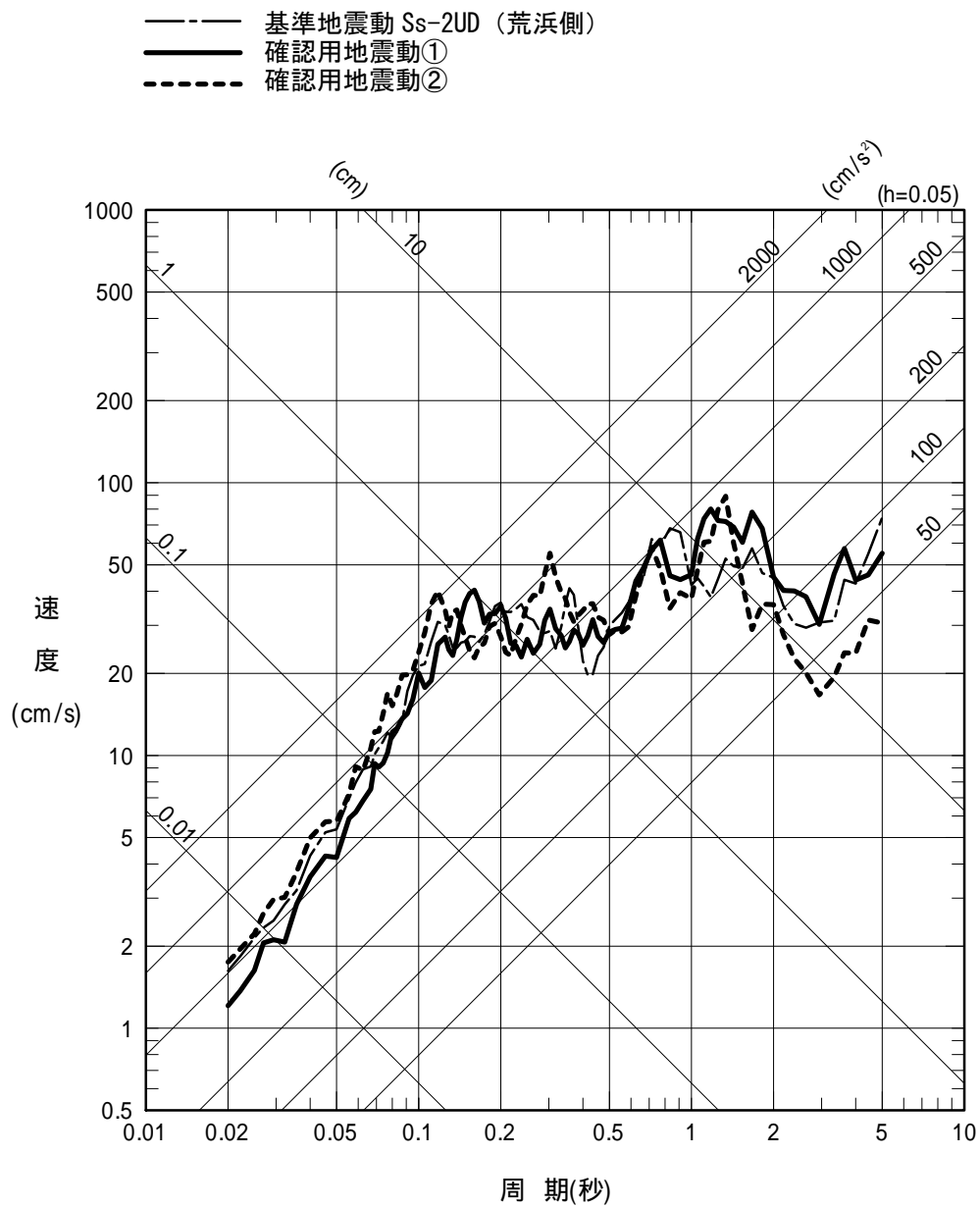


図3 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
 (荒浜側 UD 成分 解放基盤表面)

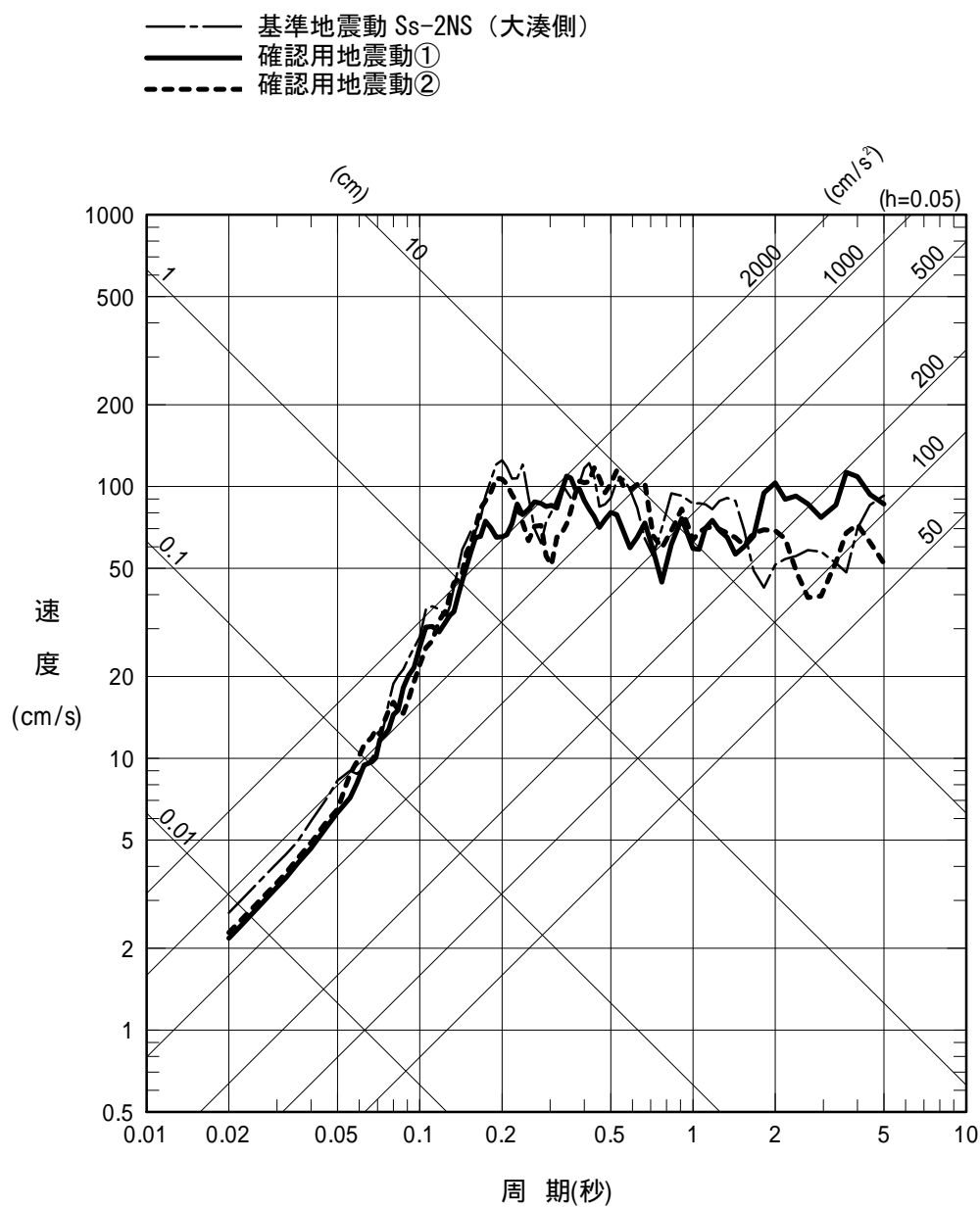


図4 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
 (大湊側 NS 成分 解放基盤表面)

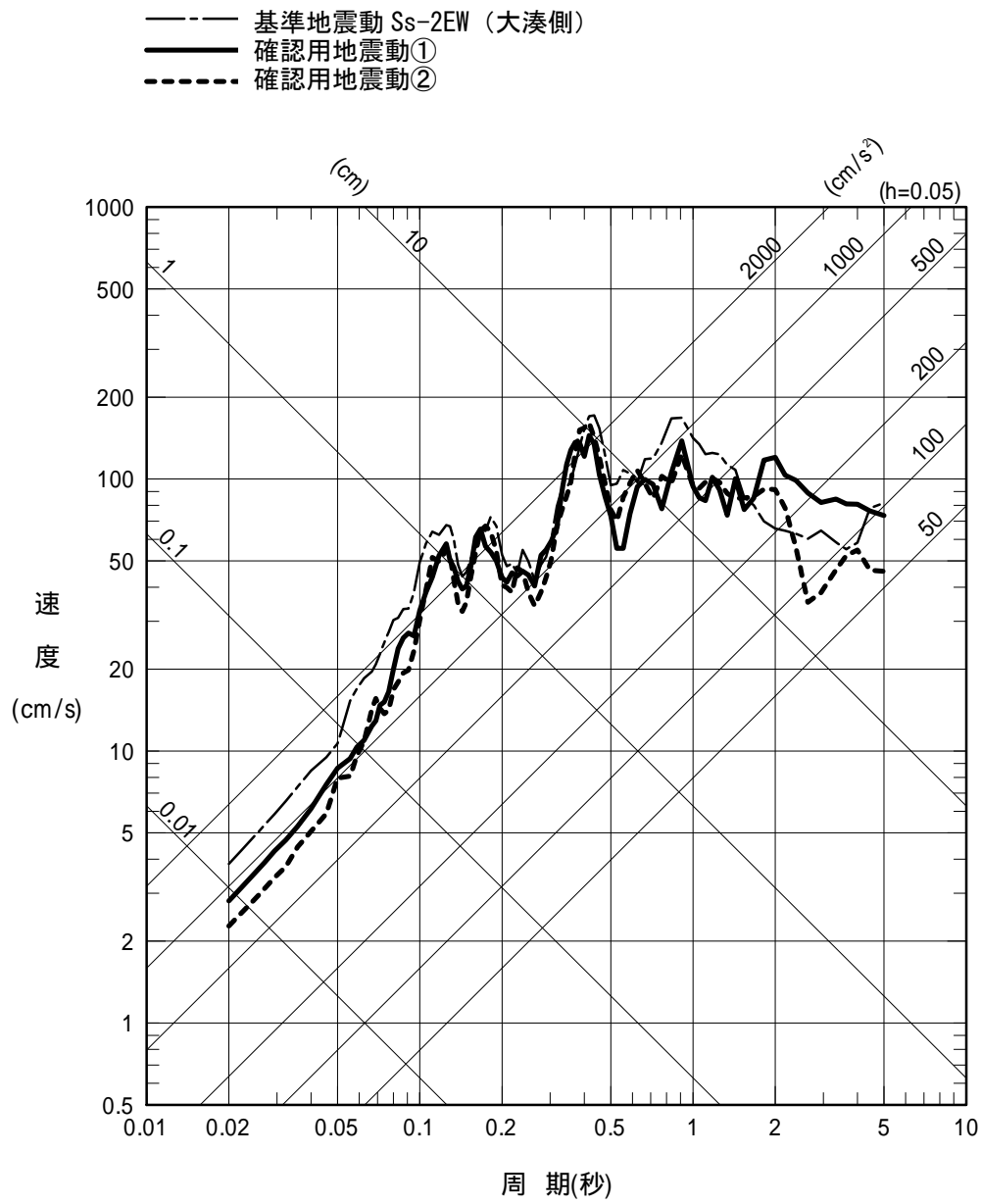


図5 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
 (大湊側 EW 成分 解放基盤表面)

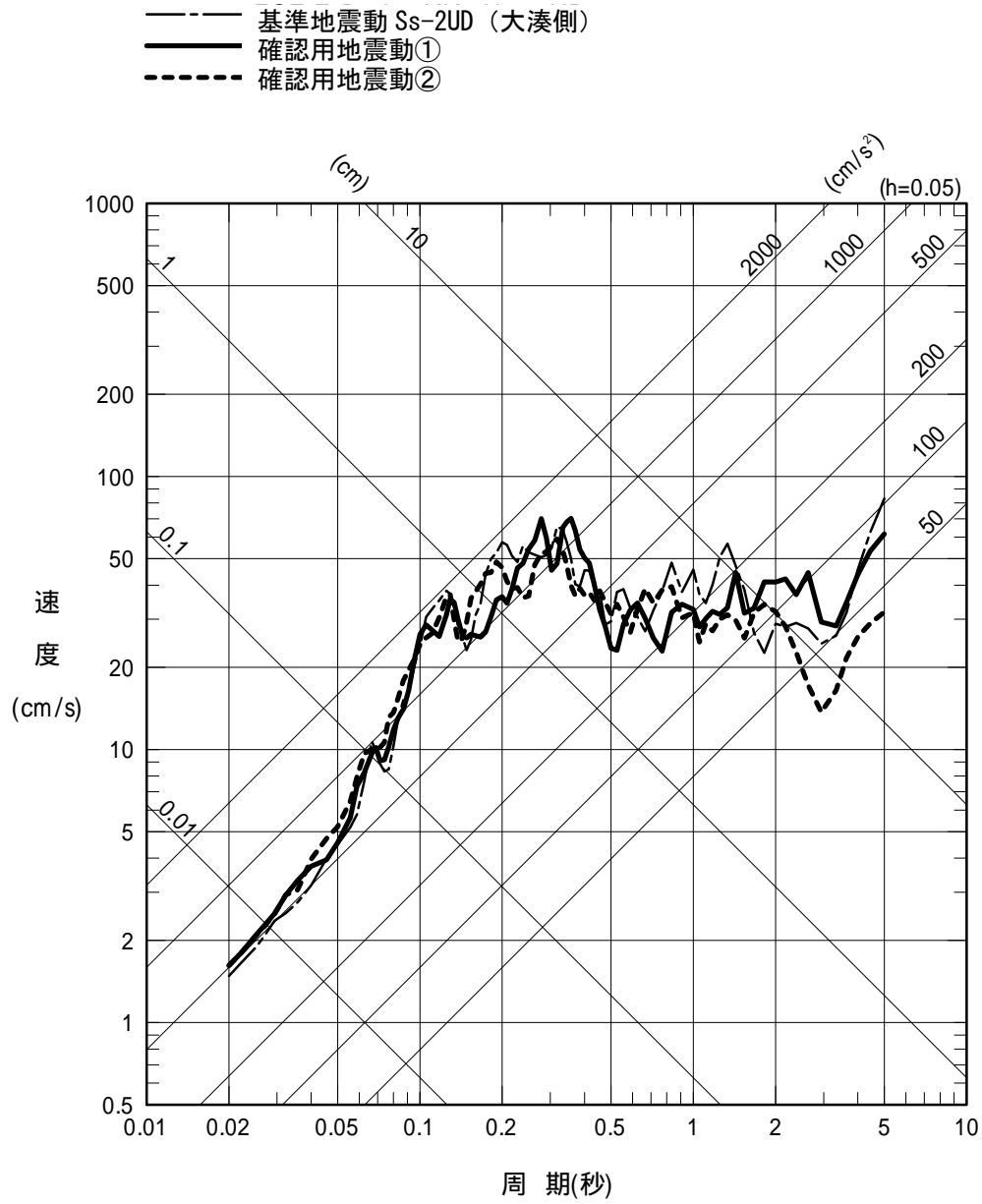


図6 基準地震動 Ss-2 と確認用地震動①・②の比較
 (大湊側 UD 成分 解放基盤表面)

(別添6)

平成21年1月30日
原子力安全・保安院

7号機の原子炉建屋底面における新耐震設計審査指針 及び旧耐震設計審査指針に基づく入力地震動について

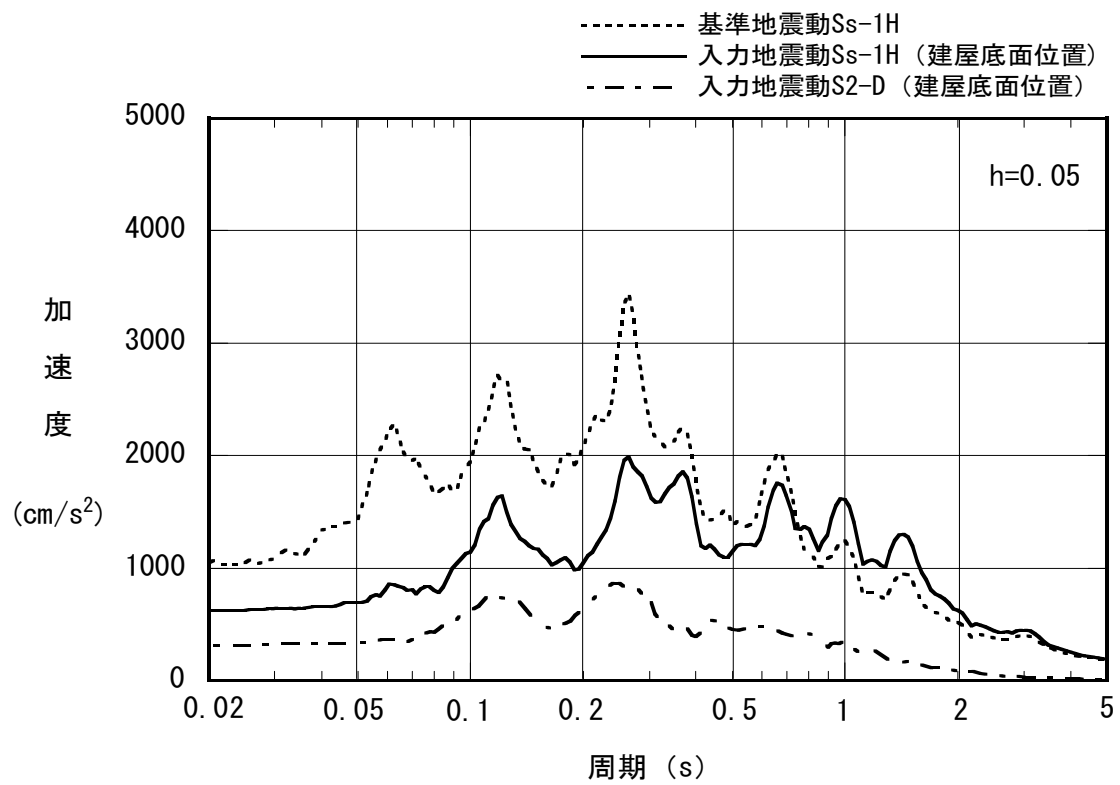
保安院は、平成20年12月11日、原子力安全委員会決定「柏崎刈羽原子力発電所7号機の耐震安全性評価等について」の1.により、旧耐震設計審査指針による入力地震動と新耐震設計審査指針に基づく入力地震動との違いについて、当初設計において工学的判断から見込まれていた安全余裕との関連も含めて明示するよう東京電力に指示し、その結果を原子力安全委員会に報告することを求められた。

これを受け、保安院では、7号機の原子炉建屋底面における新耐震設計審査指針及び旧耐震設計審査指針に基づく基準地震動による原子炉建屋基礎版への入力地震動について比較するよう東京電力に求めた。

東京電力では、7号機の原子炉建屋の底面位置における新耐震設計審査指針に基づく基準地震動 S_s-1 から S_s-5 による入力地震動及び旧耐震設計審査指針に基づく基準地震動 S_2-D による入力地震動を算出した。

保安院では、東京電力による評価結果について検討を行った。その結果、7号機の原子炉建屋の底面位置において、基準地震動 S_s-1 から S_s-3 による水平方向の入力地震動は基準地震動 S_2-D による入力地震動を上回っており、基準地震動 S_s-4 及び S_s-5 による水平方向の入力地震動は基準地震動 S_2-D による入力地震動とほぼ同程度であることが確認された。

以下に、基準地震動 S_s-1 による水平方向の入力地震動及び基準地震動 S_2-D による入力地震動の比較を示す。なお、当初設計において見込まれていた安全余裕との関連については別添8に示す。



基準地震動 S_{s-1} による水平方向の入力地震動
 及び基準地震動 S_{2-D} による入力地震動の比較

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

基準地震動 S_s に対する 7 号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の耐震安全性評価において、地震応答解析モデルを設計時のモデルから修正した事項が評価結果に与える影響について

保安院は、平成 20 年 12 月 11 日、原子力安全委員会決定「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の耐震安全性評価等について」の 2. により、原子炉建屋及びタービン建屋の基準地震動 S_s による地震応答解析モデルとして、設計時のモデルに鉄筋コンクリートの剛性評価におけるコンクリート強度の値、耐震要素としての補助壁の扱い、建物と地盤の相互作用を反映させる地盤ばねの扱いについて修正を行っていることについて、それが基準地震動 S_s に対する施設の耐震安全性に関する評価結果に結果的にどの程度影響するか、定量的に示すよう東京電力に指示し、その結果を原子力安全委員会に報告することを求められた。

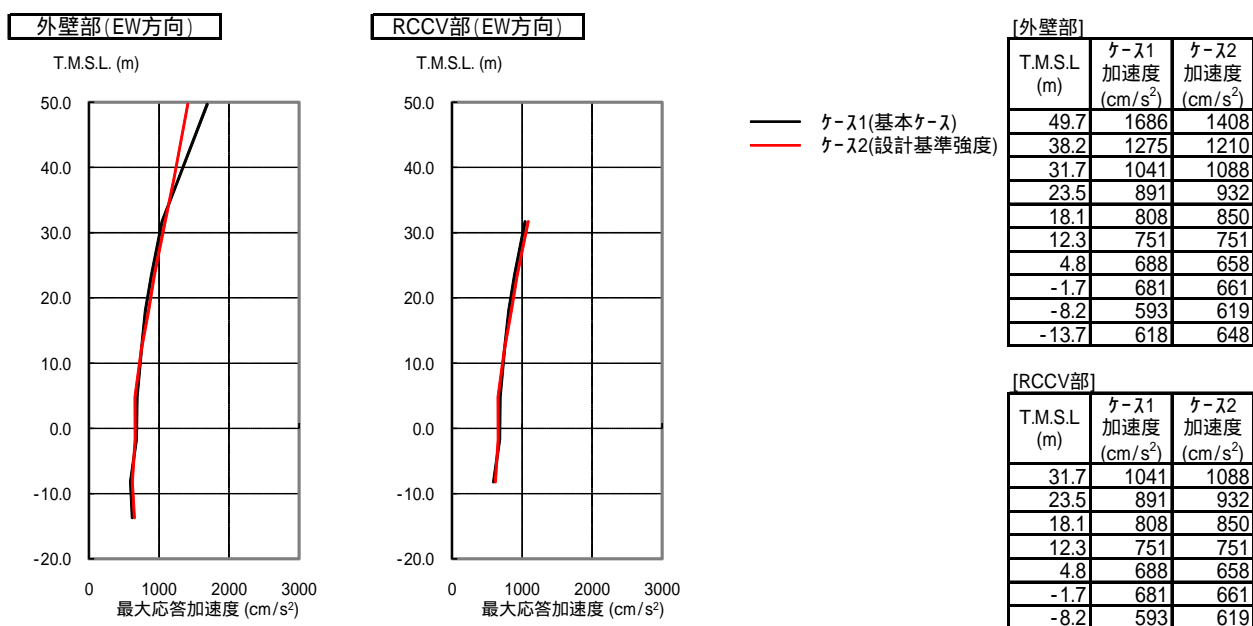
これを受け、保安院では、基準地震動 S_s に対する 7 号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の耐震安全性評価において、地震応答解析モデルを設計時のモデルから修正した事項が評価結果に与える影響について、定量的に示すよう東京電力に求めた。

東京電力では、7 号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋について、①コンクリートの剛性をコンクリートの実際の平均的な強度をもとに見直した剛性を用いて設計時のモデルを修正した地震応答解析結果と、設計時のコンクリートの設計基準強度から求めた剛性を用いた地震応答解析結果を比較した場合、②耐震要素として補助壁を考慮して設計時のモデルを修正した地震応答解析結果と、補助壁を考慮しない場合の地震応答解析結果を比較した場合、③中越沖地震を踏まえ表層地盤の回転ばねを考慮しないように解析モデルを修正した地震応答解析結果と、表層の回転ばねを考慮した地震応答解析結果を比較した場合について解析を実施している。また、地震応答解析結果の比較は、各建屋の最大応答加速度分布、耐震壁のせん断スケルトン曲線上の最大応答値及び床応答スペクトルについて実施している。

保安院では、東京電力による評価結果について検討を行った。その結果、いずれの場合においても顕著な差異はみられず、基準地震動 S_s に対する施設の耐震安全性に関する評価結果に支障を与えるような影響は認められなかった。

以下に、基準地震動 S_s -1 (EW 方向) を用いた原子炉建屋のそれぞれの場合の地震応答解析結果を示す。

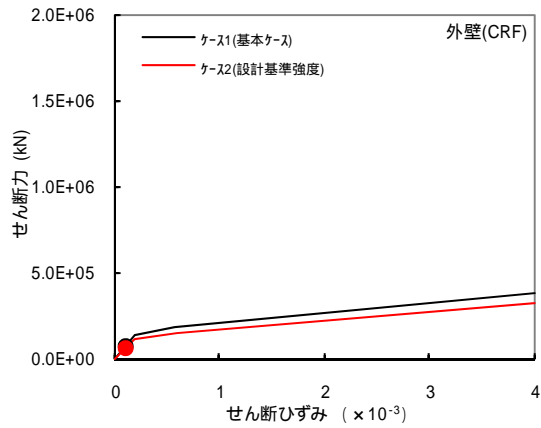
1. 原子炉建屋のコンクリート強度の影響



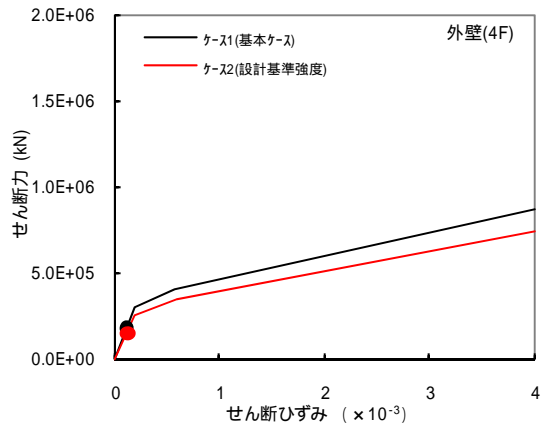
最大応答加速度の比較 (Ss-1 : EW 方向)

注)

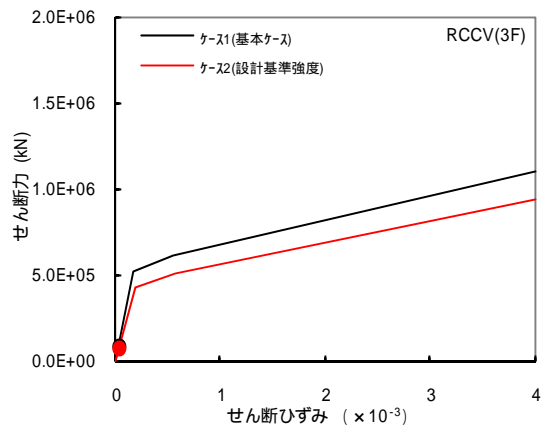
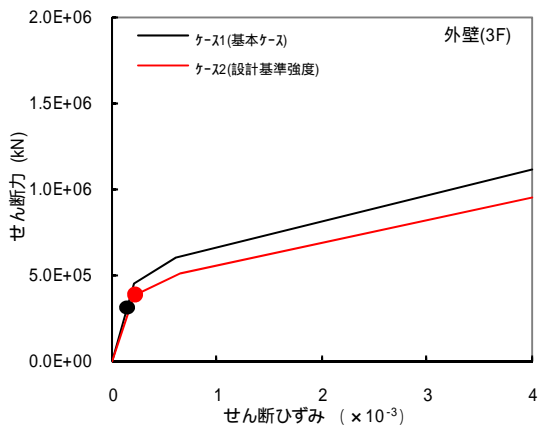
	ケース1 (基本ケース) —	ケース2 (設計基準強度) —
コンクリートの剛性	実際の平均的な強度から算定	設計基準強度から算定
補助壁	耐震壁として考慮	同左
表層地盤の水平・回転ばね	考慮しない	同左



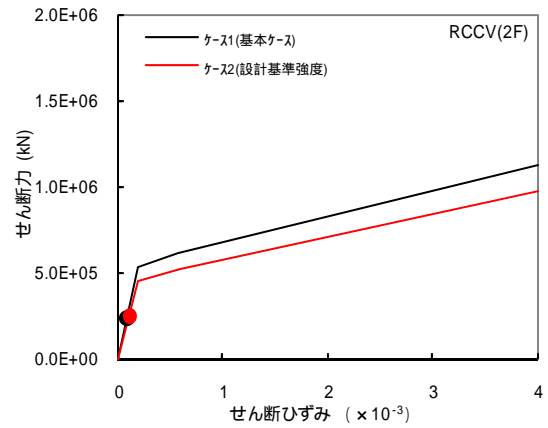
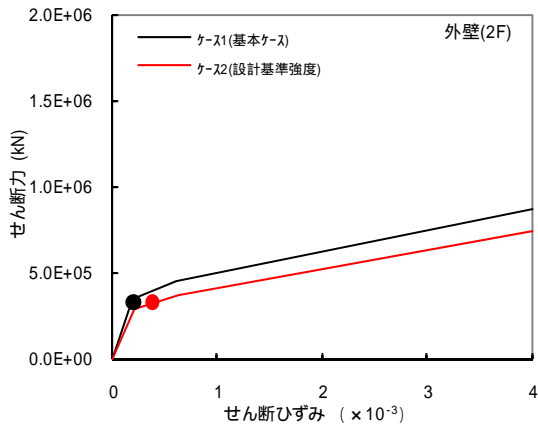
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, CRF (クレーン階))



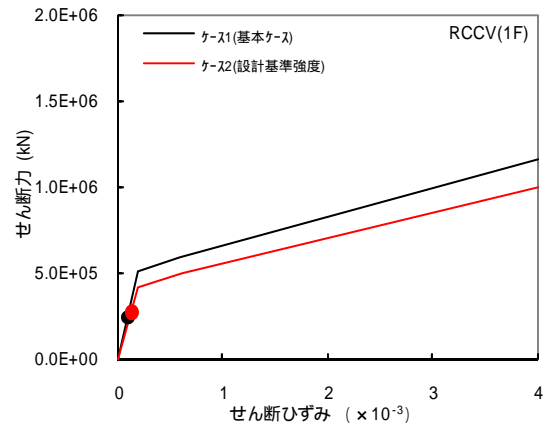
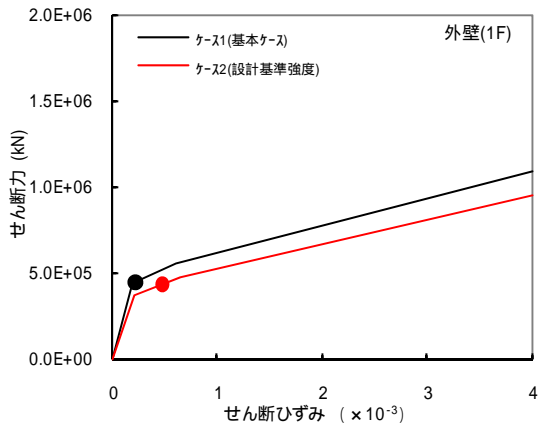
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 4F)



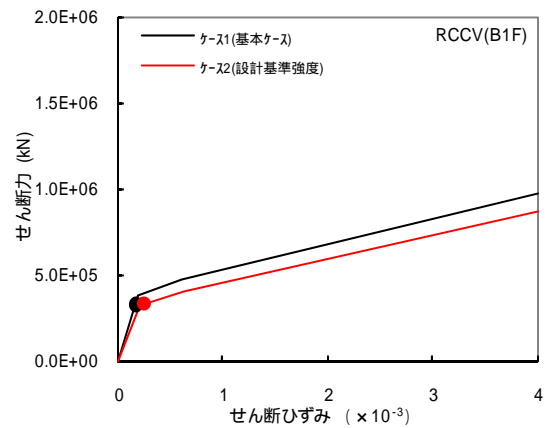
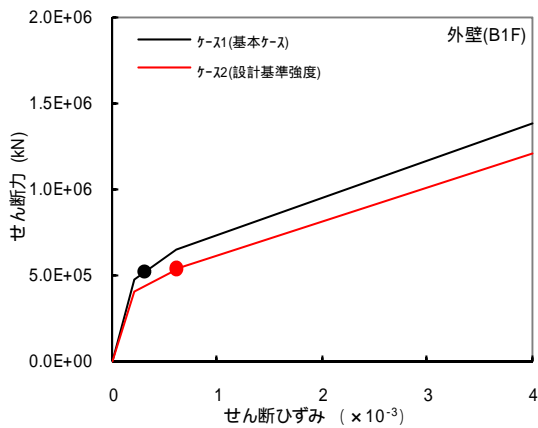
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 3F)



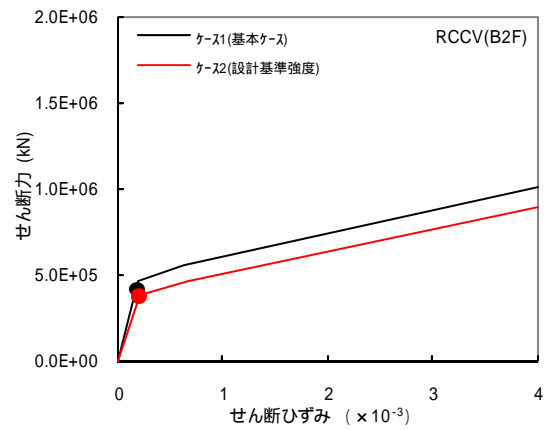
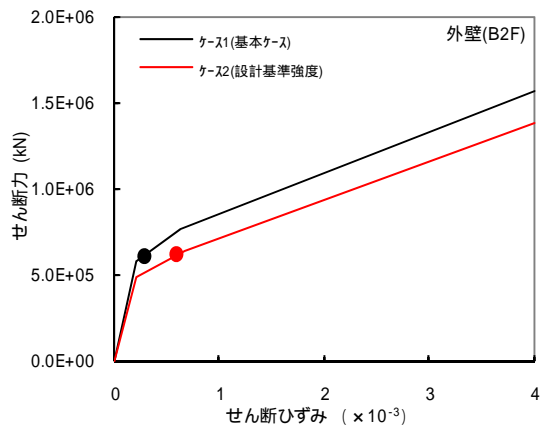
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 2F)



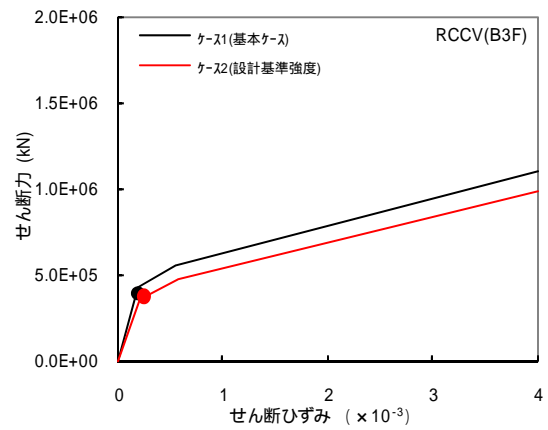
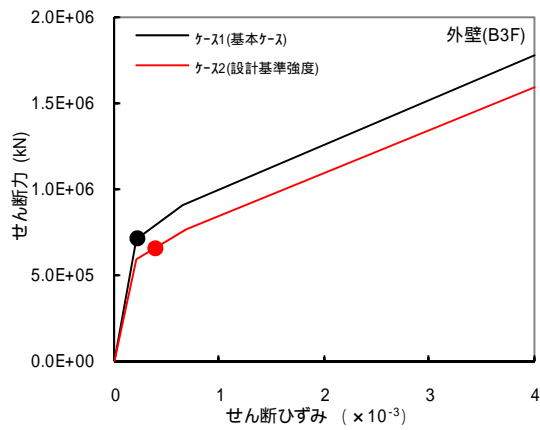
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 1F)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B1F)

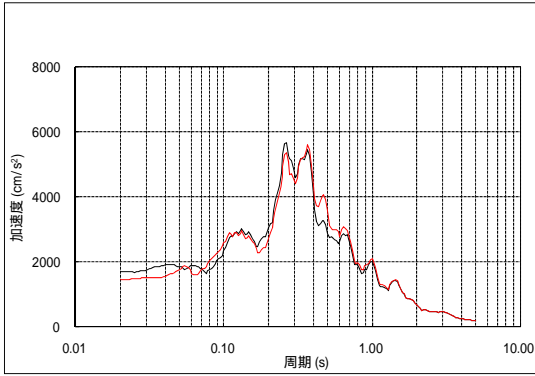


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B2F)

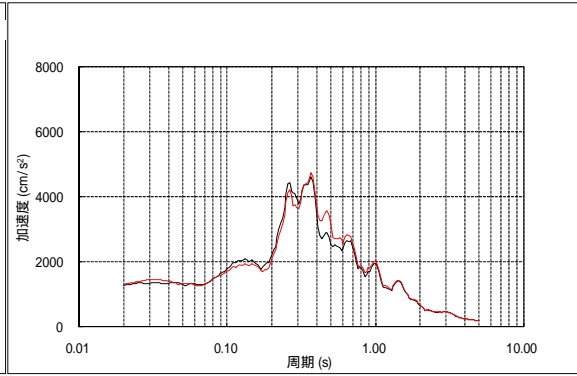


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B3F)

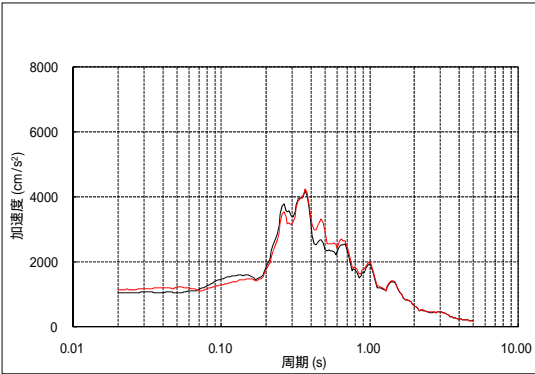
— (基本ケース)
 — (設計基準強度)



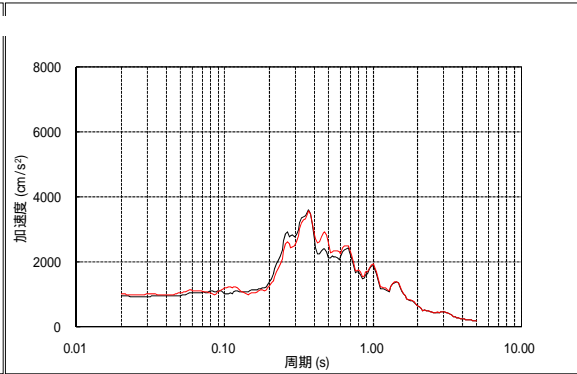
RF (屋上階)
 (T. M. S. L. 49. 7m)



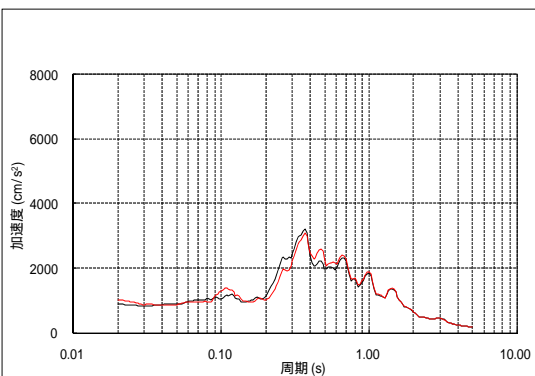
CRF (クレーン階)
 (T. M. S. L. 38. 2m)



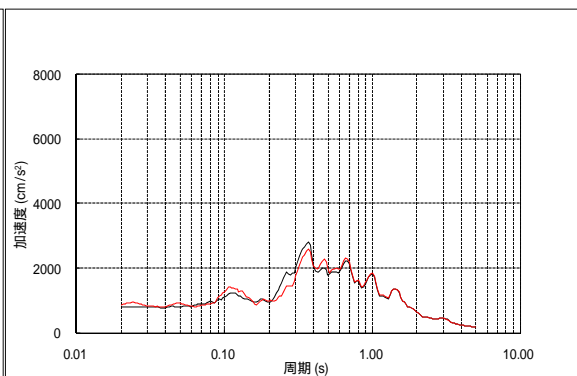
4F (T. M. S. L. 31. 7m)



3F (T. M. S. L. 23. 5m)

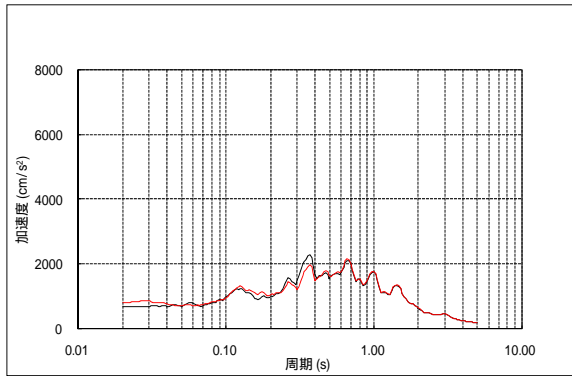


2F (T. M. S. L. 18. 1m)

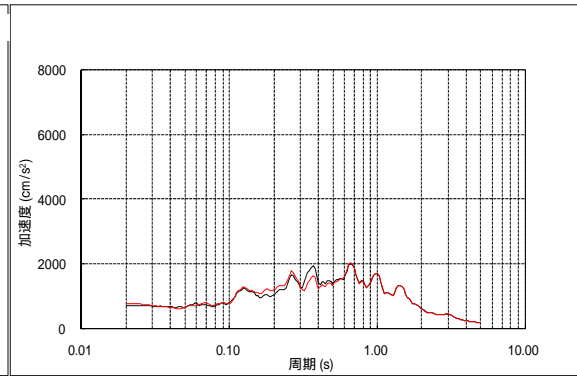


1F (T. M. S. L. 12. 3m)

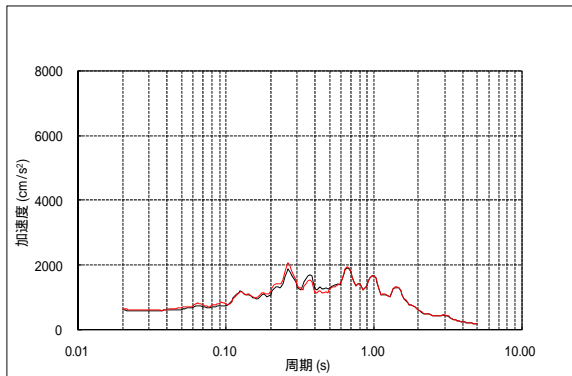
床応答スペクトルの比較 (Ss-1:EW 方向:h=5%)



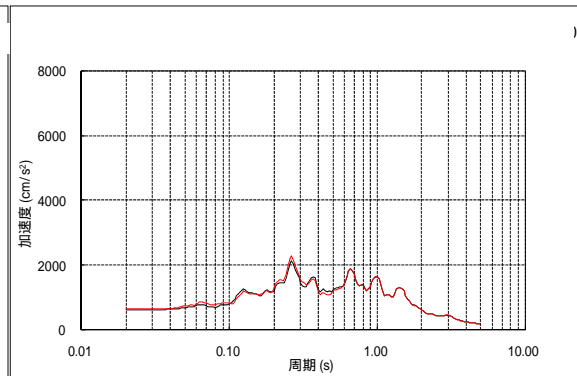
B1F (T. M. S. L. 4.8m)



B2F (T. M. S. L. -1.7m)



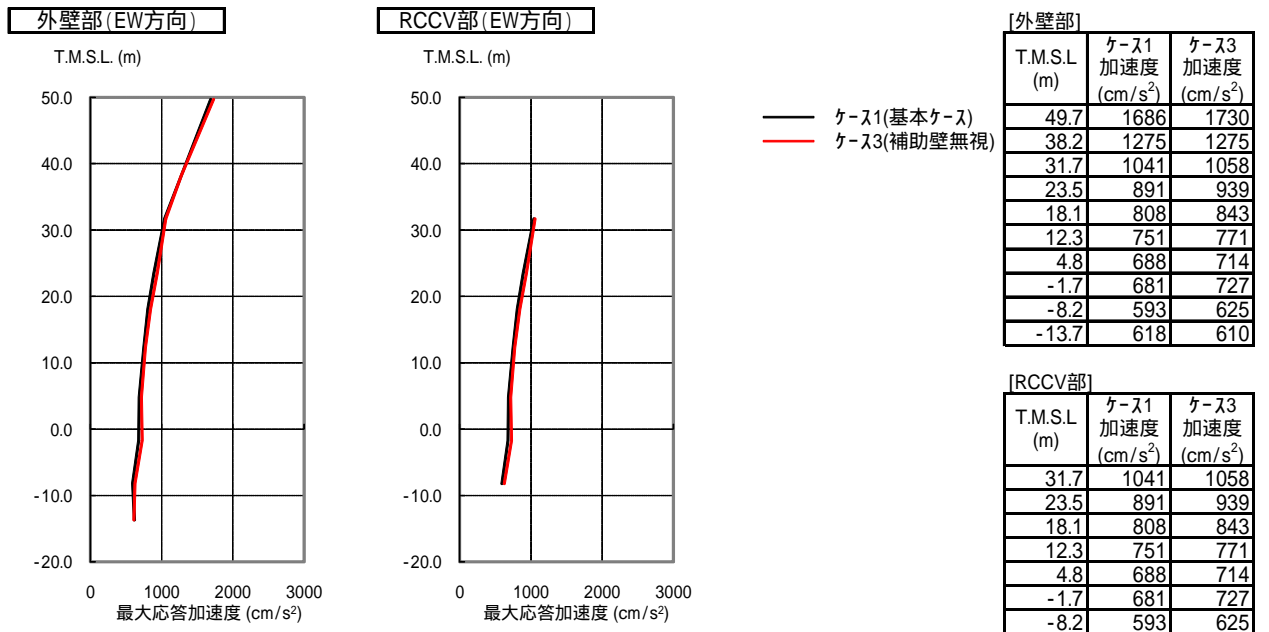
B3F (T. M. S. L. -8.2m)



基礎版下端 (T. M. S. L. -13.7m)

床応答スペクトルの比較(Ss-1:EW 方向:h=5%)

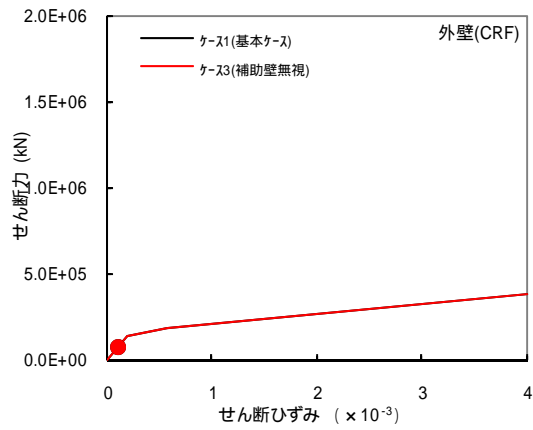
2) 補助壁の有無による影響



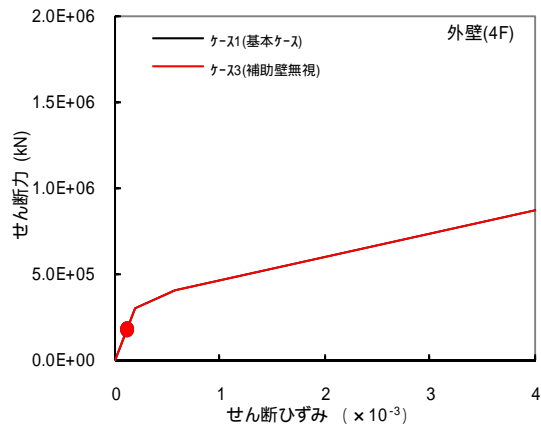
最大応答加速度の比較 (Ss-1 : EW 方向)

注)

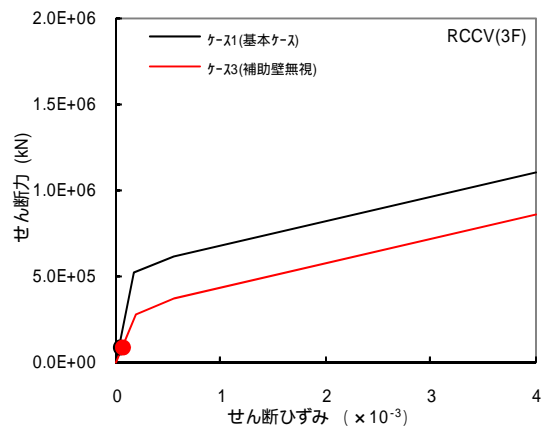
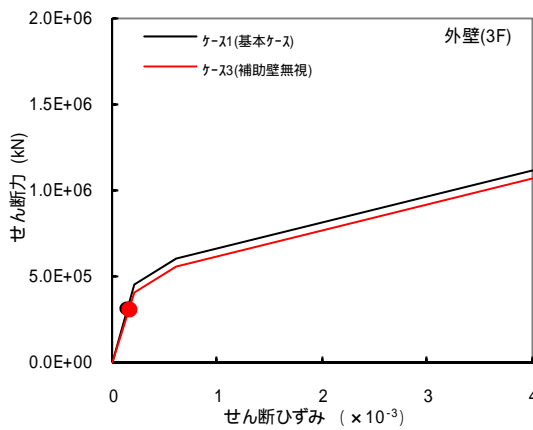
	ケース1 (基本ケース) —	ケース3 (補助壁無視) —
コンクリートの剛性	実際の平均的な強度から算定	同左
補助壁	耐震壁として考慮	耐震壁として考慮しない
表層地盤の水平・回転ばね	考慮しない	同左



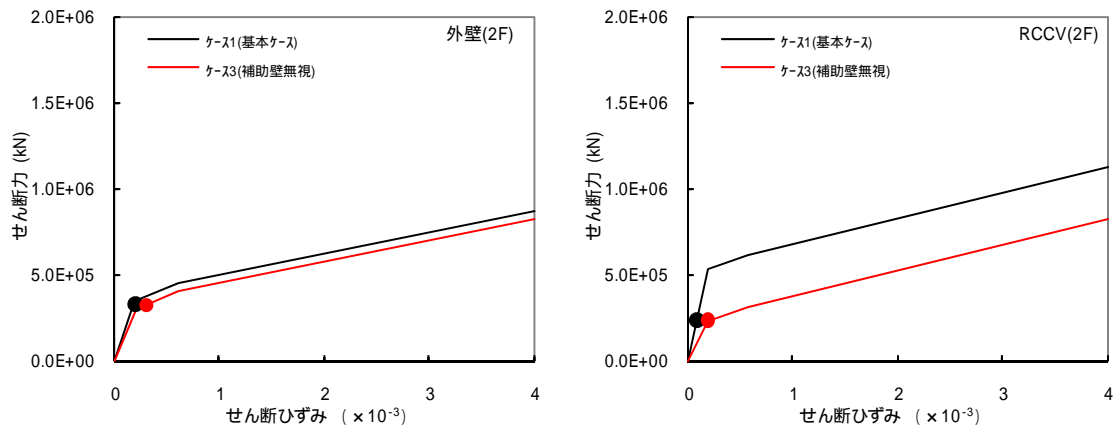
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, CRF (クレーン階))



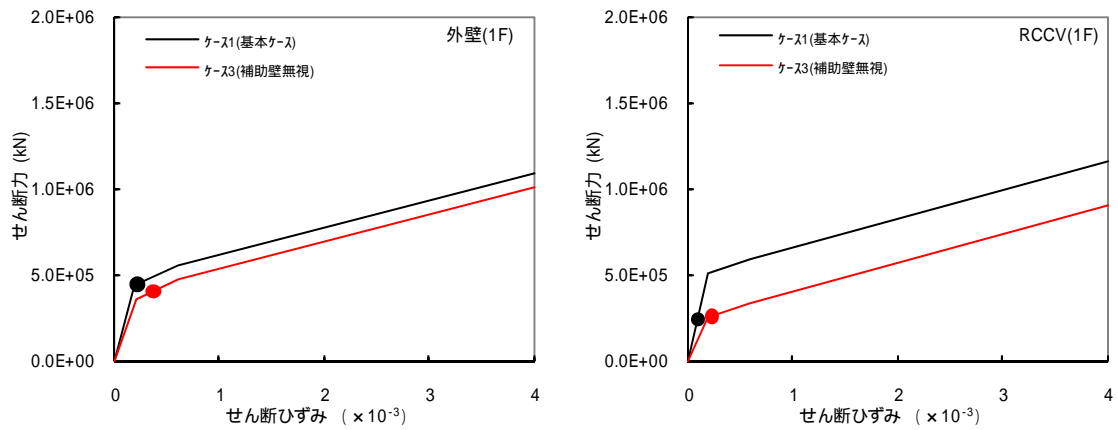
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 4F)



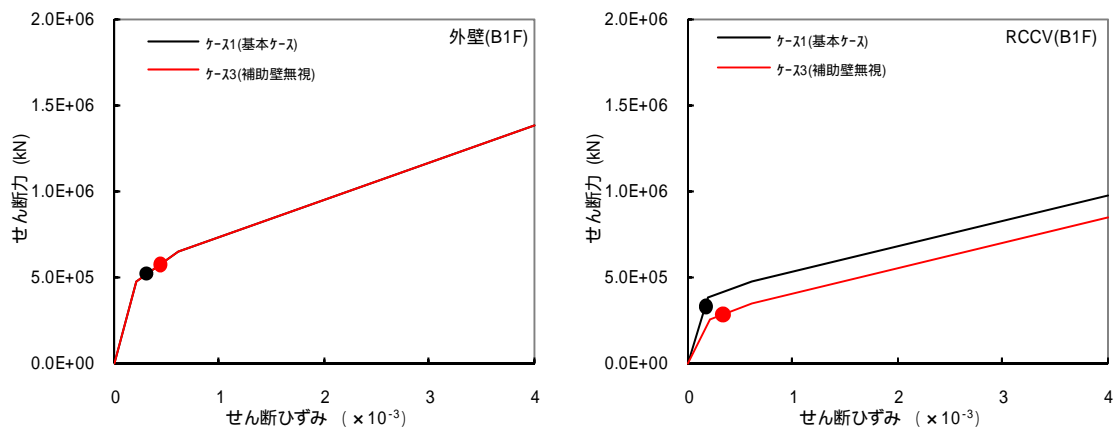
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 3F)



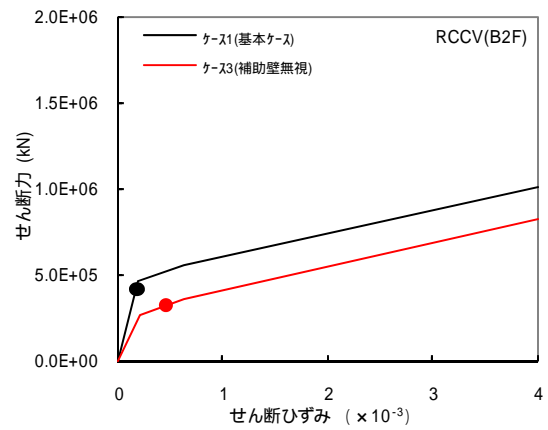
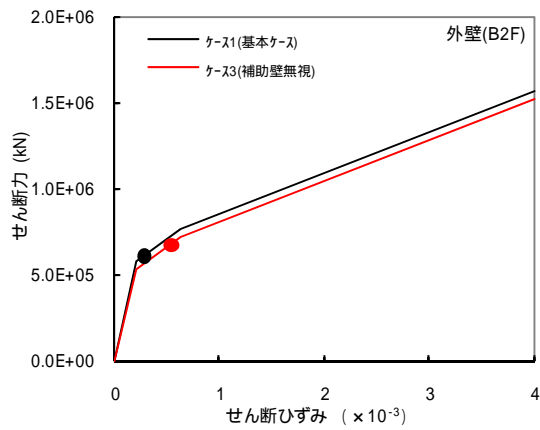
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 2F)



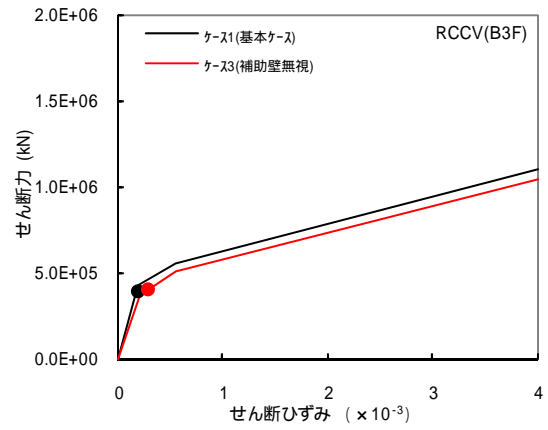
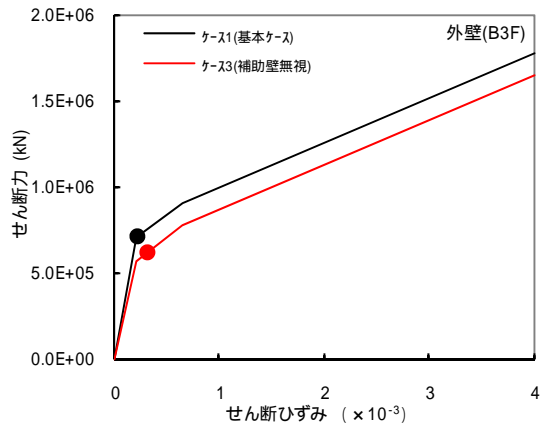
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 1F)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B1F)

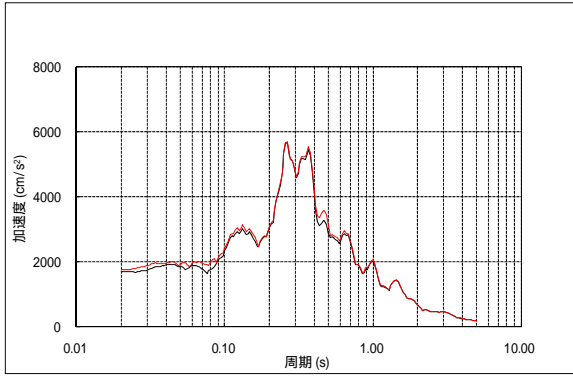


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B2F)

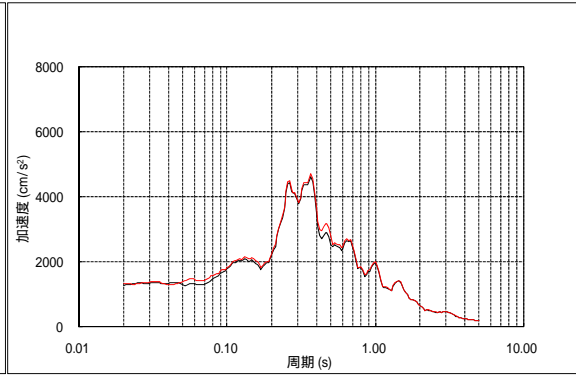


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B3F)

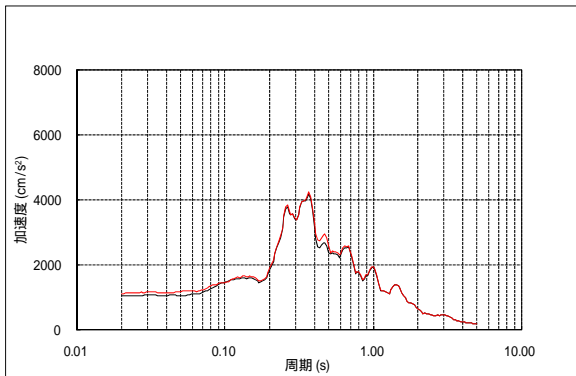
— (基本ケース)
 — (補助壁無視)



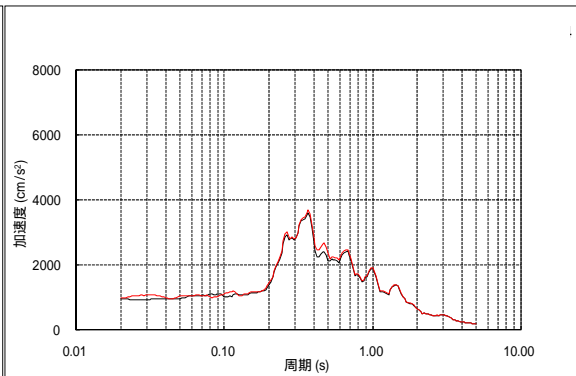
RF (屋上階)
 (T. M. S. L. 49. 7m)



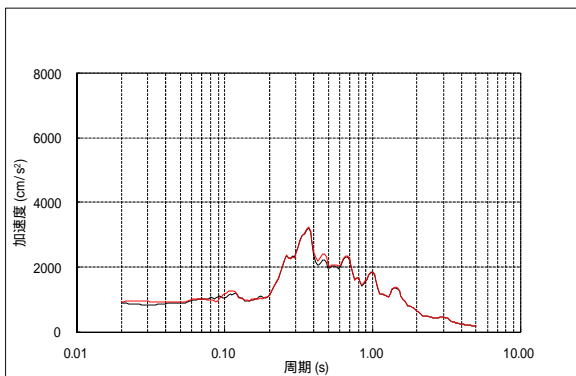
クレーン階 (CRF)
 CRF (T. M. S. L. 38. 2m)



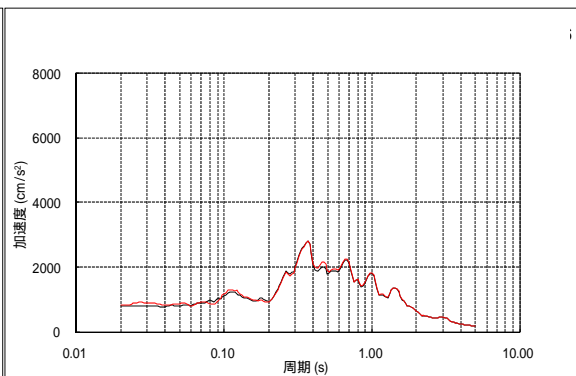
4F (T. M. S. L. 31. 7m)



3F (T. M. S. L. 23. 5m)

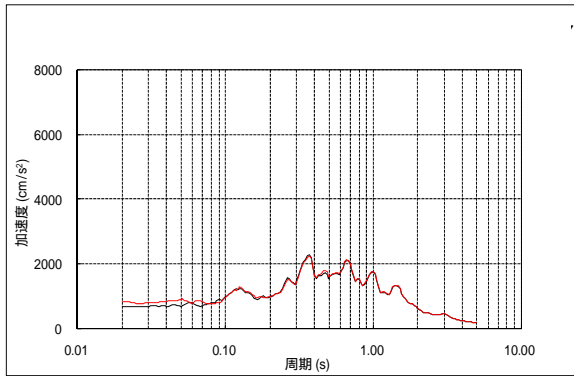


2F (T. M. S. L. 18. 1m)

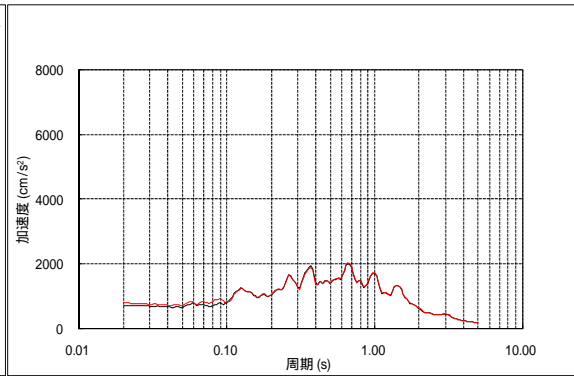


1F (T. M. S. L. 12. 3m)

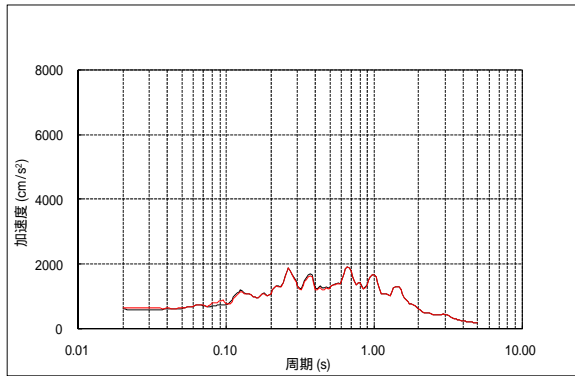
床応答スペクトルの比較 (Ss-1:EW 方向:h=5%)



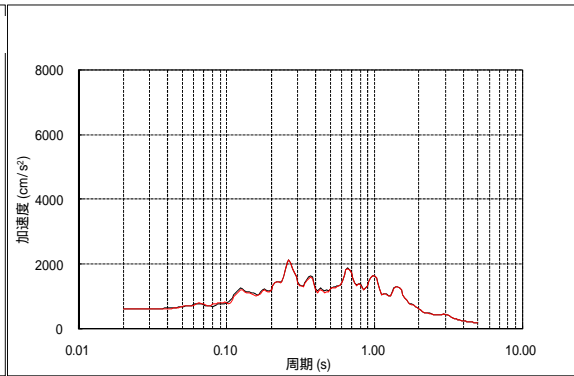
B1F (T. M. S. L. 4. 8m)



B2F (T. M. S. L. -1. 7m)



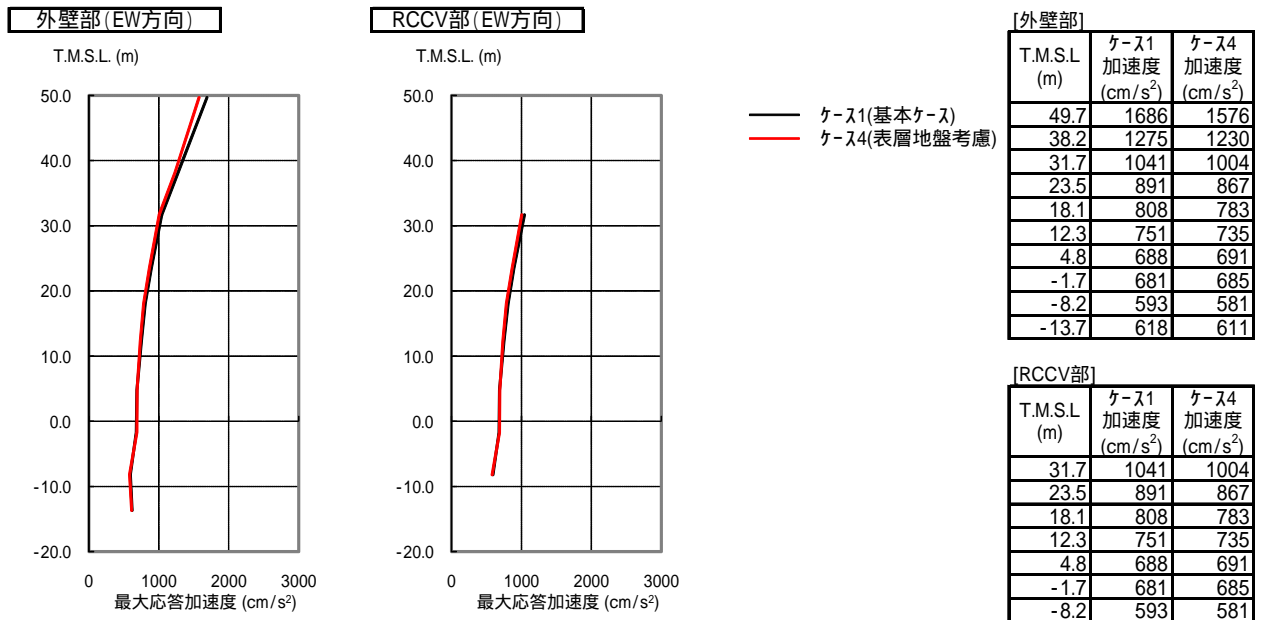
B3F (T. M. S. L. -8. 2m)



基礎版下端 (T. M. S. L. -13. 7m)

床応答スペクトルの比較 (Ss-1 : EW 方向 : h=5%)

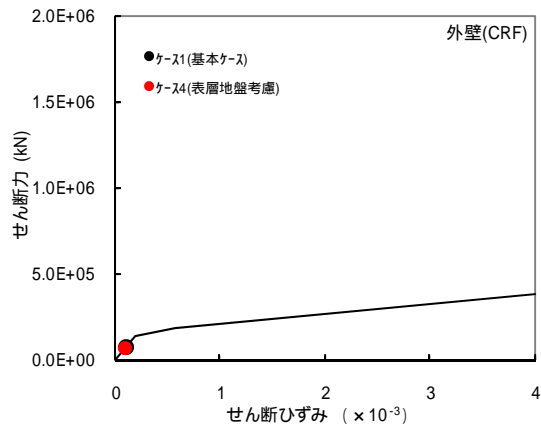
3) 表層地盤の有無による影響



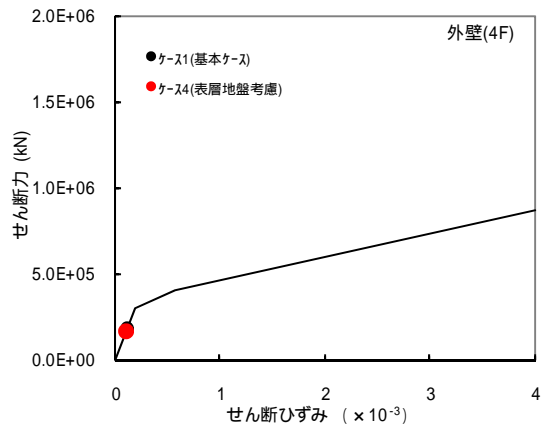
最大応答加速度の比較 (Ss-1 : EW 方向)

注)

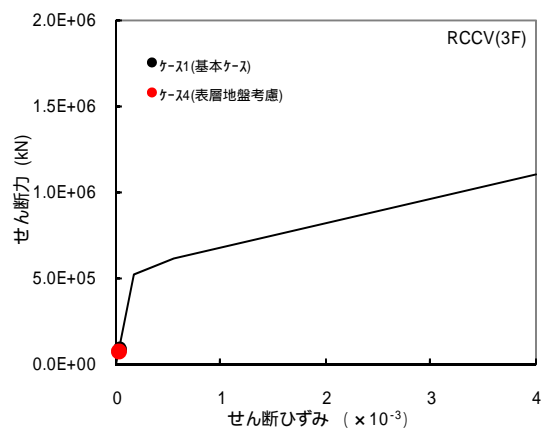
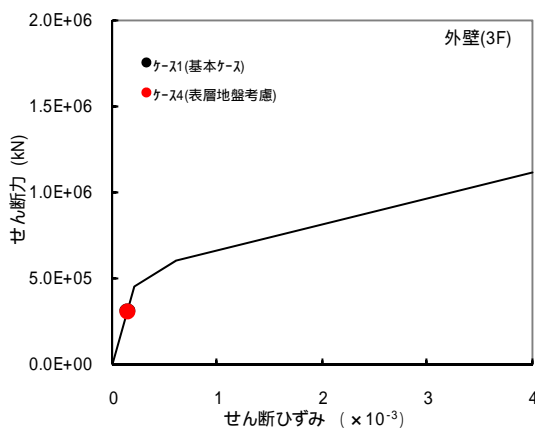
	ケース1 (基本ケース) —	ケース4 (表層地盤考慮) —
コンクリートの剛性	実際の平均的な強度から算定	同左
補助壁	耐震壁として考慮	同左
表層地盤の水平・回転ばね	考慮しない	考慮



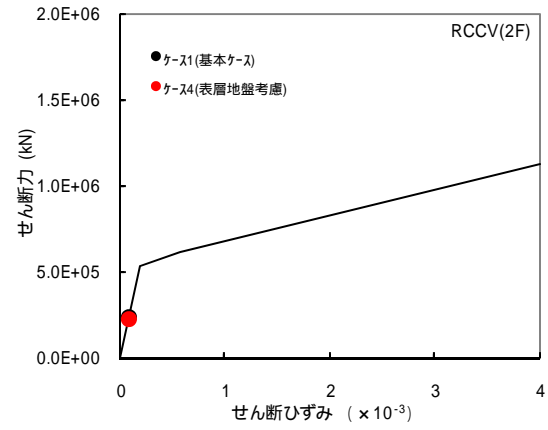
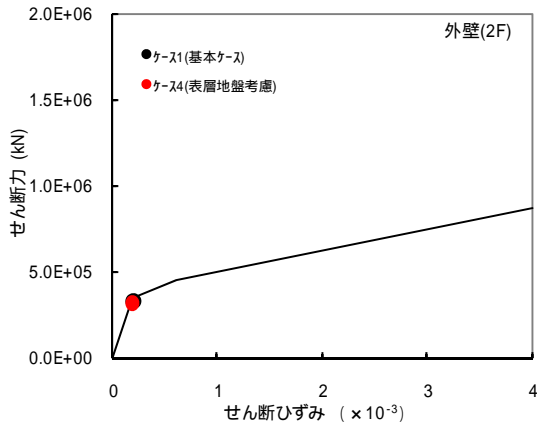
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, CRF (クレーン階))



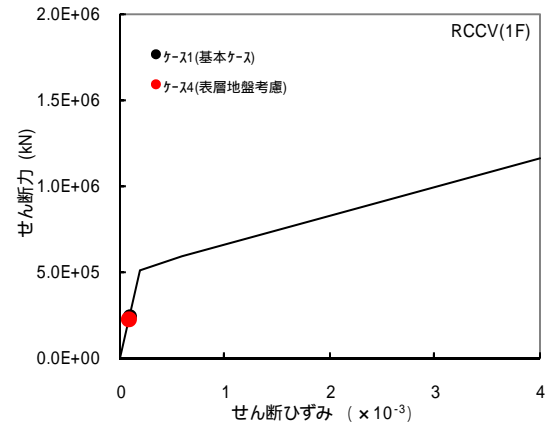
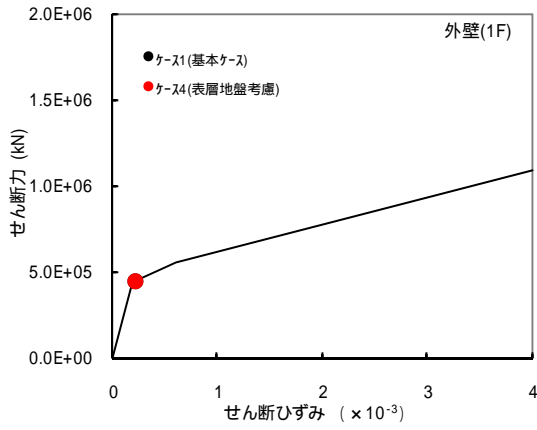
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 4F)



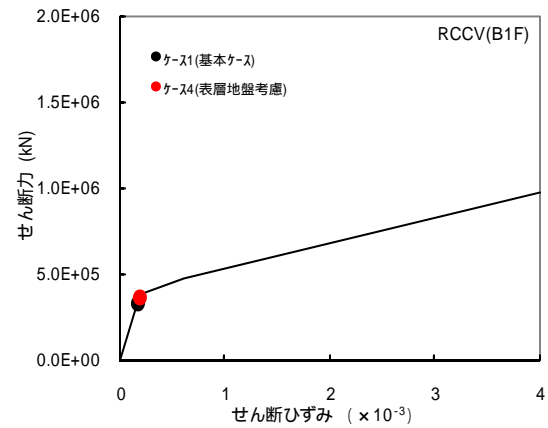
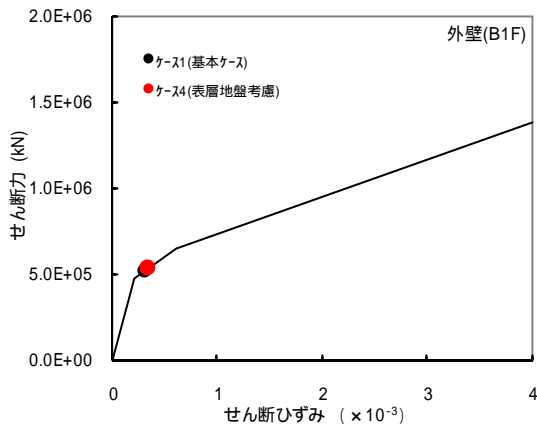
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 3F)



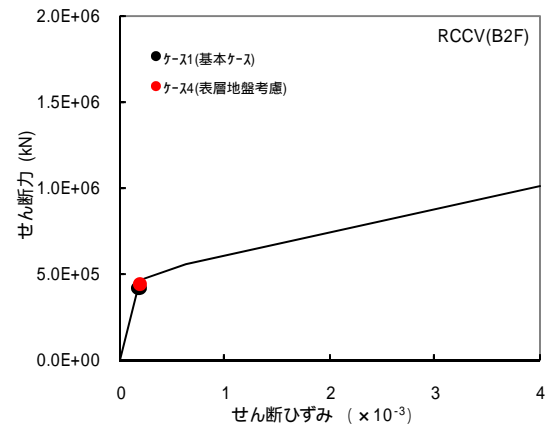
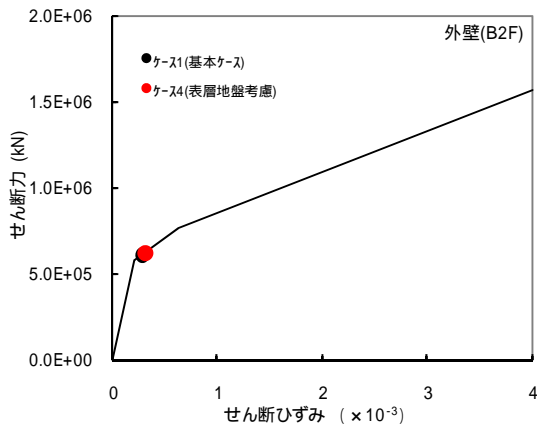
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 2F)



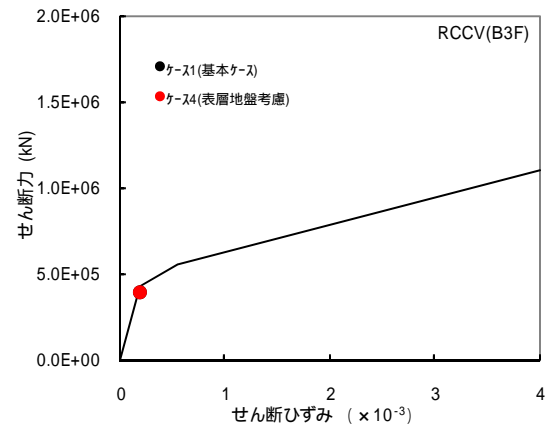
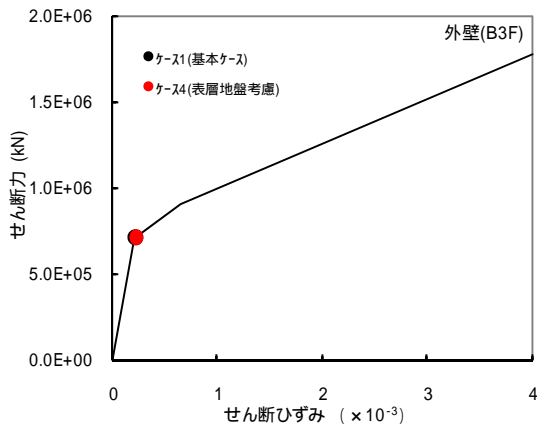
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, 1F)



せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B1F)

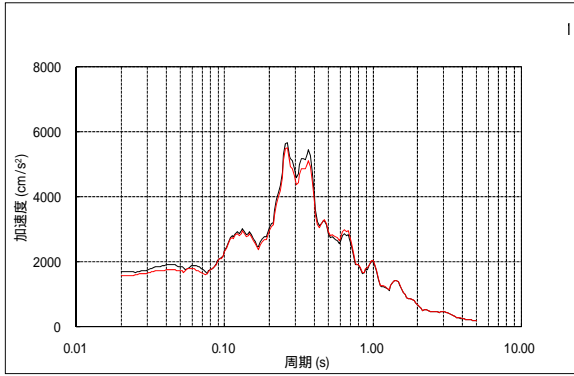


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B2F)

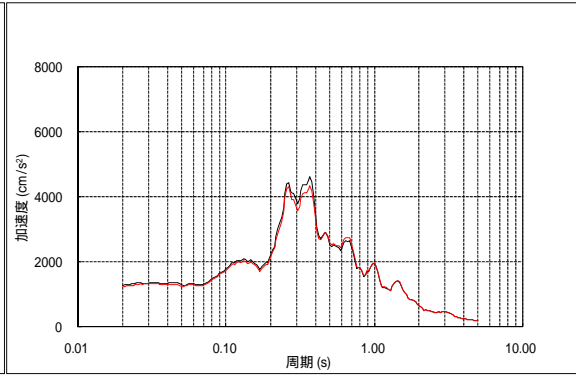


せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (Ss-1 : EW 方向, B3F)

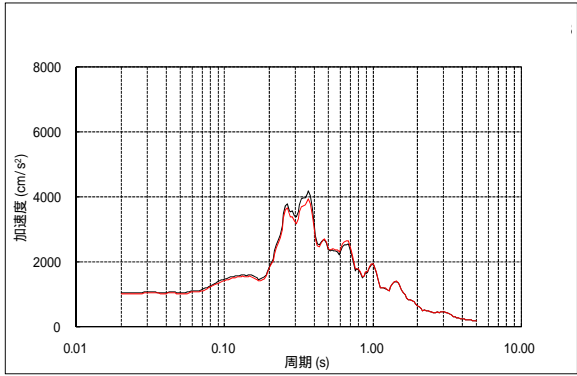
— (基本ケース)
 — (表層地盤考慮)



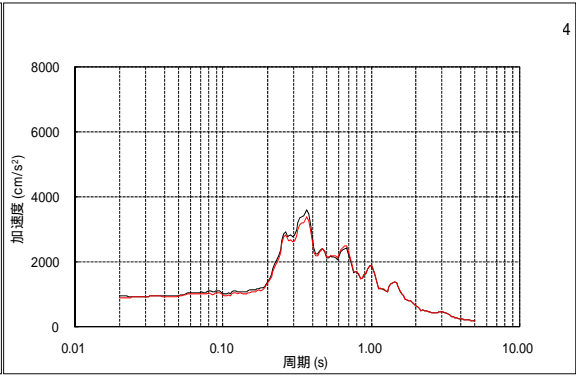
RF (屋上階)
 (T. M. S. L. 49. 7m)



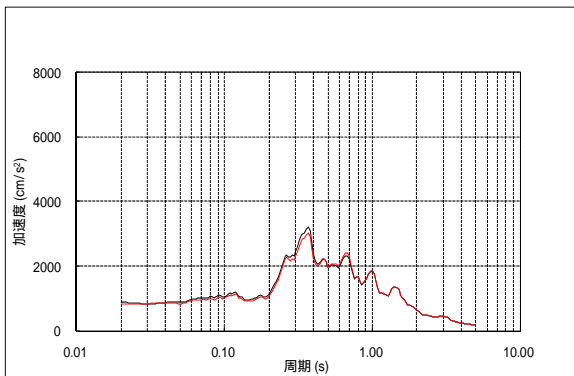
CRF (クレーン階)
 CRF (T. M. S. L. 38. 2m)



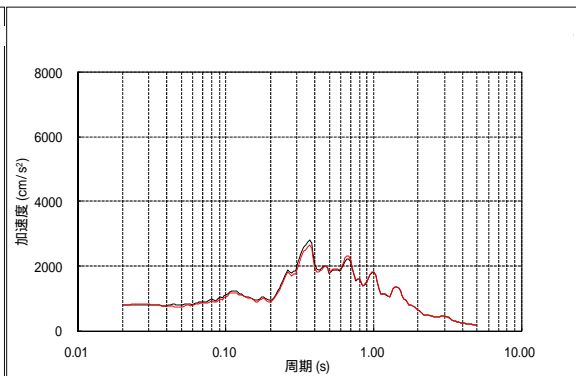
4F (T. M. S. L. 31. 7m)



3F (T. M. S. L. 23. 5m)

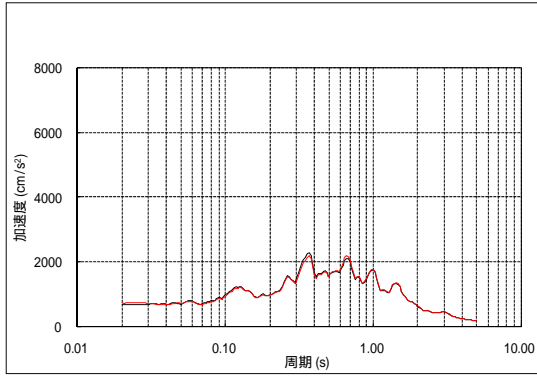


2F (T. M. S. L. 18. 1m)

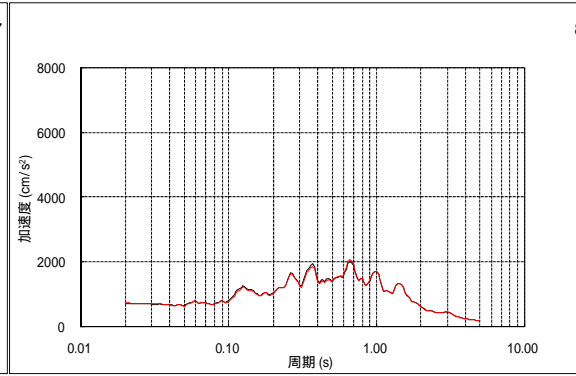


1F (T. M. S. L. 12. 3m)

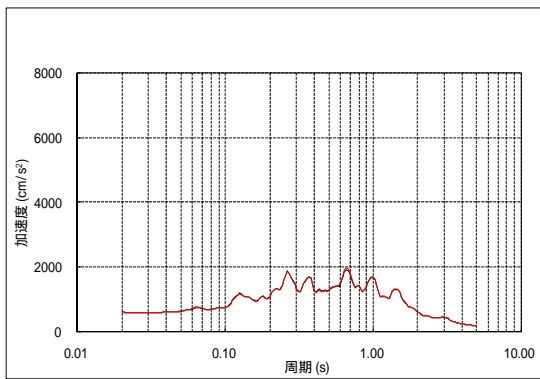
床応答スペクトルの比較 (Ss-1 : EW 方向 : h=5%)



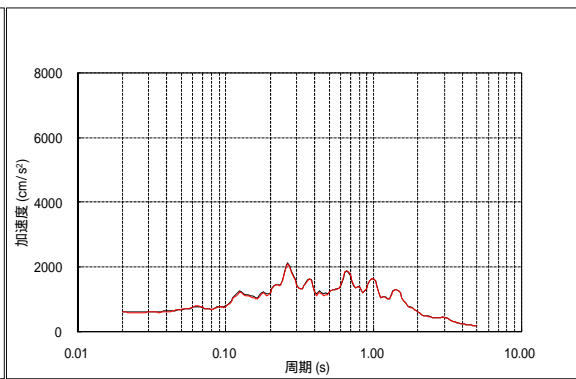
B1F (T. M. S. L. 4. 8m)



B2F (T. M. S. L. -1. 7m)



B3F (T. M. S. L. -8. 2m)



基礎版下端 (T. M. S. L. -13. 7m)

床応答スペクトルの比較 (Ss-1:EW 方向:h=5%)

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

7号機の主要設備に係る弾性設計用地震動 Sd 及び静的地震力に対する評価について

保安院は、平成 20 年 12 月 11 日、原子力安全委員会決定「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の耐震安全性評価等について」の 3. により、主要かつ代表的な施設について新耐震設計審査指針に即した Sd 及び静的地震力による評価を実施したうえで報告するよう東京電力に指示し、その結果を、原子力安全委員会に報告することを求められた。

これを受け、保安院では、7 号機の主要かつ代表的な施設について、新耐震設計審査指針に即した Sd 及び静的地震力による評価を実施するよう東京電力に求めた。

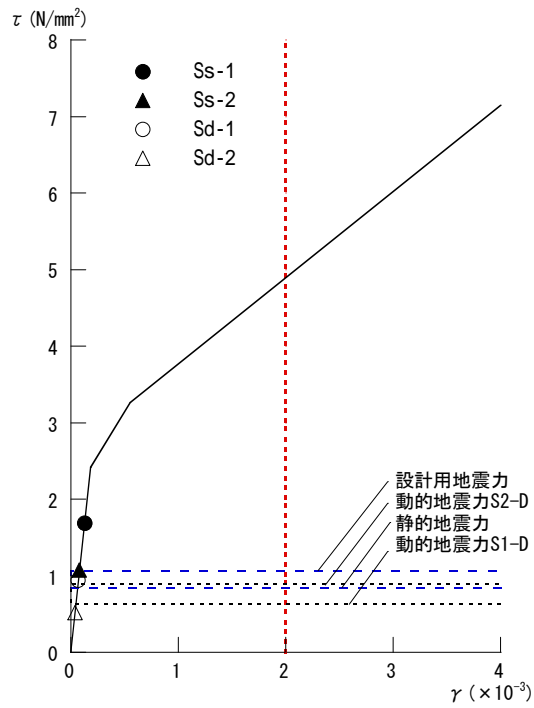
東京電力では、原子炉建屋について、弾性設計用地震動 Sd-1 及び Sd-2 を基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に係数 0.5 を乗じたものとし、静的地震力も含めて、これらによる外壁及び RCCV（鉄筋コンクリート製格納容器）のせん断スケルトン曲線上の応答結果をもとに評価を行っている。また、機器・配管系については、基準地震動 Ss-1 から Ss-5 に係数 0.5 を乗じたもの弾性設計用地震動 Sd とし、弾性設計用地震動 Sd 及び静的地震力による①原子炉圧力容器スカート、遮へい壁及び原子炉本体基礎の大型機器に作用する曲げモーメント及びせん断力の最大値、②原子炉建屋に設置される機器に適用する評価用震度の最大値、③炉心支持構造物、残留熱除去系ポンプ基礎ボルト、残留熱除去系配管、原子炉圧力容器基礎ボルト、主蒸気系配管、原子炉格納容器のサプレッションチェンバ出入口における応力値を求めて評価を行っている。

保安院では、東京電力による評価結果について検討を行った。その結果、原子炉建屋の外壁及び RCCV のせん断スケルトン曲線上の弾性設計用地震動 Sd-1、Sd-2 及び静的地震力の応答は弾性範囲であることが確認された。機器・配管系については、①原子炉圧力容器スカート、遮へい壁及び原子炉本体基礎に作用する弾性設計用地震動 Sd によるせん断力及びモーメントの最大値及び②原子炉建屋に設置される機器に適用する弾性設計用地震動 Sd による評価用震度の最大値は、基準地震動 S_1 又は静的震度による荷重の最大値または評価用震度の最大値と同程度となっていることが確認された。また、炉心支持構造物、残留熱除去系ポンプ基礎ボルト、残留熱除去系配管、原子炉圧力容器基礎ボルト、主蒸気系配管、原子炉格納容器のサプレッションチェンバ出入口については弾性設計用地震動 Sd による地震力及び

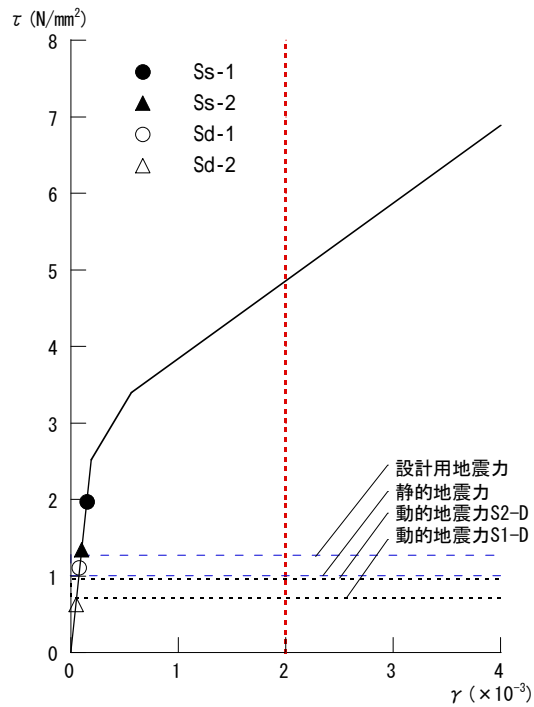
地震力以外の荷重を考慮して応力評価を行った結果、弾性範囲にあることが確認された。

以下に、原子炉建屋の評価、原子炉压力容器スカート等の大型機器の評価及び炉心支持構造物等の応力評価の結果を示す。

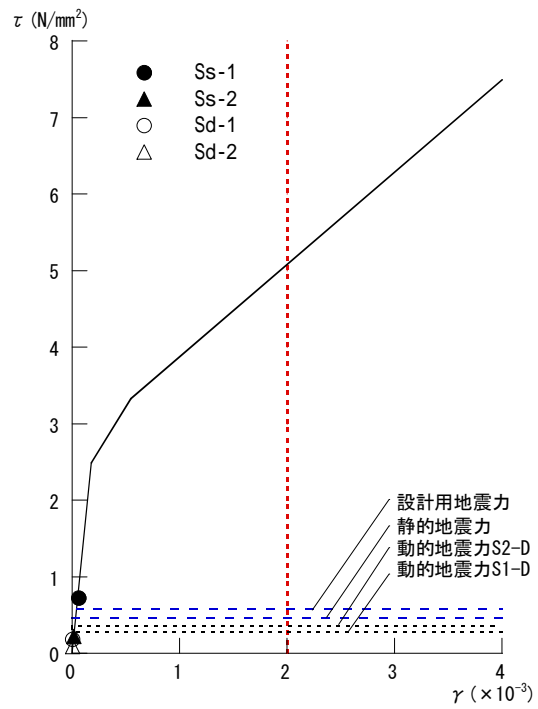
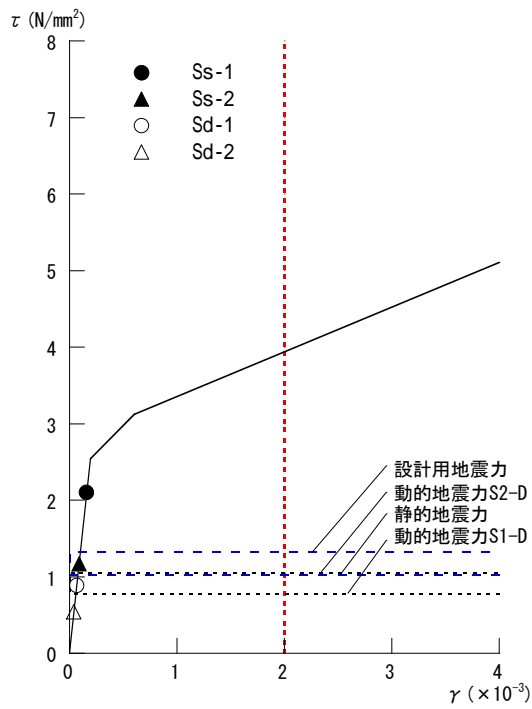
(原子炉建屋の評価)



外壁のせん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, クレーン階)



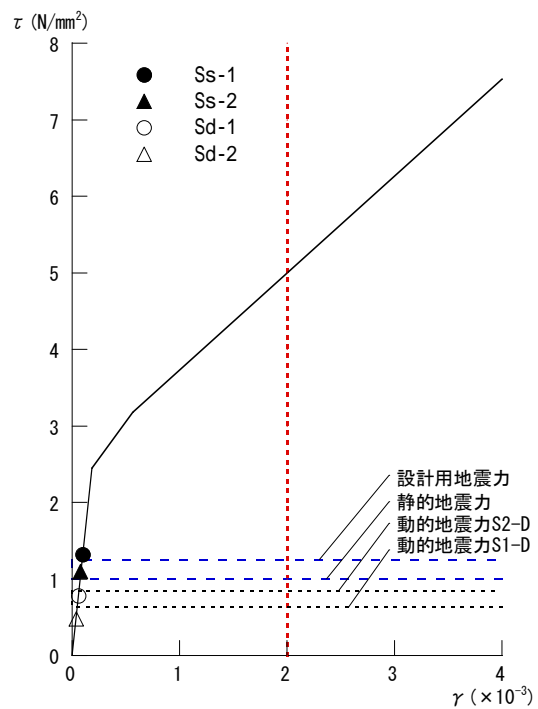
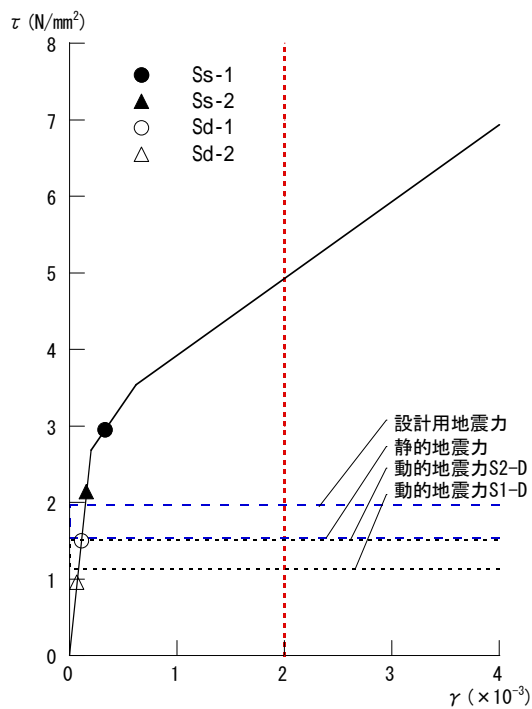
外壁のせん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 4F)



[外壁]

[RCCV]

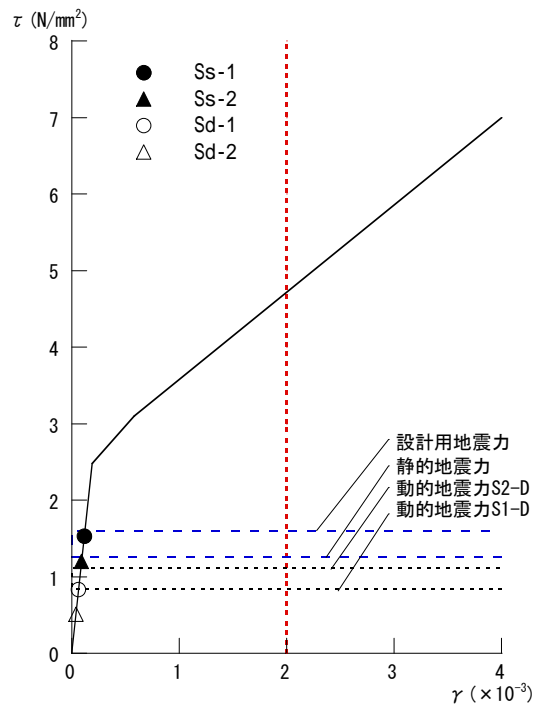
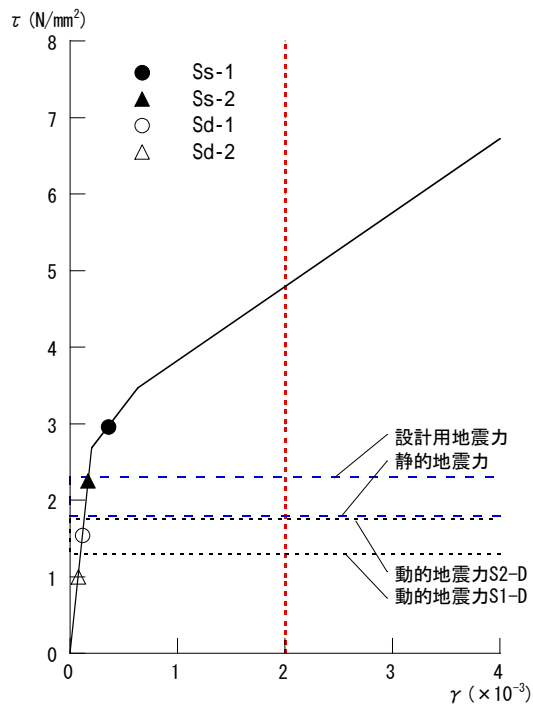
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 3F)



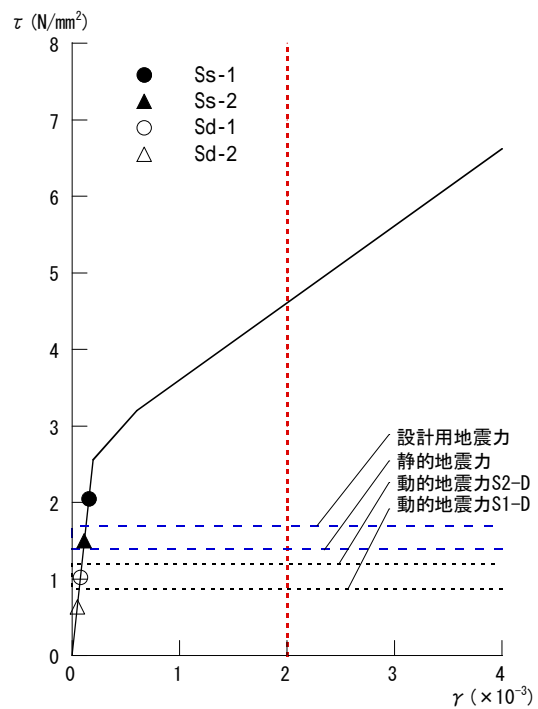
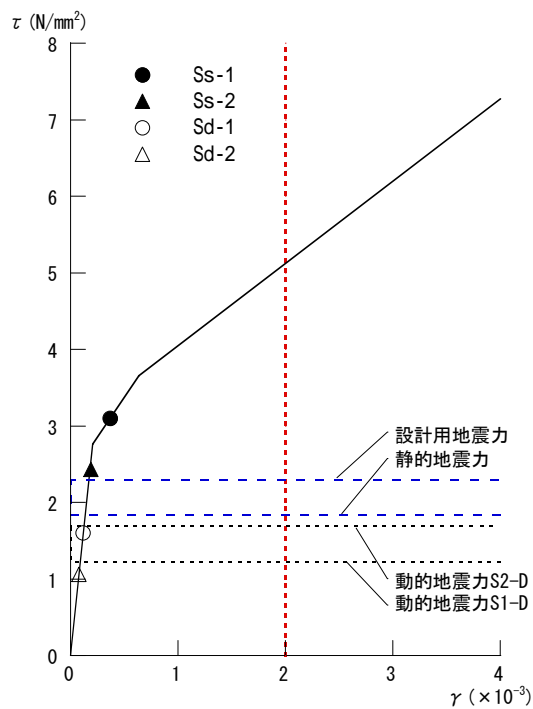
[外壁]

[RCCV]

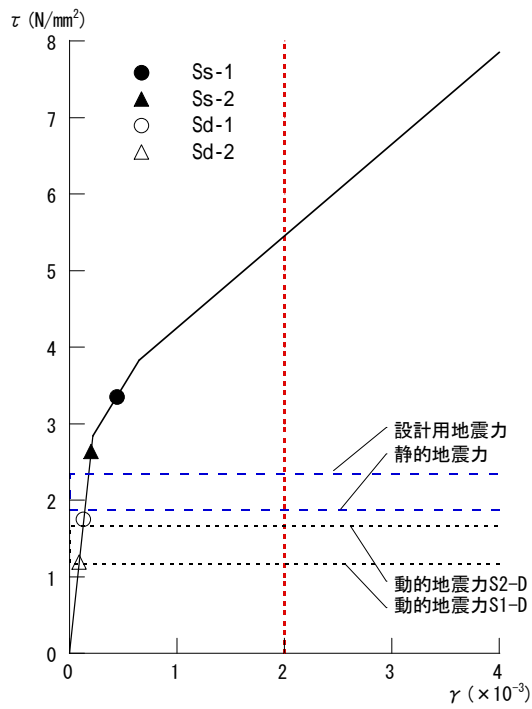
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 2F)



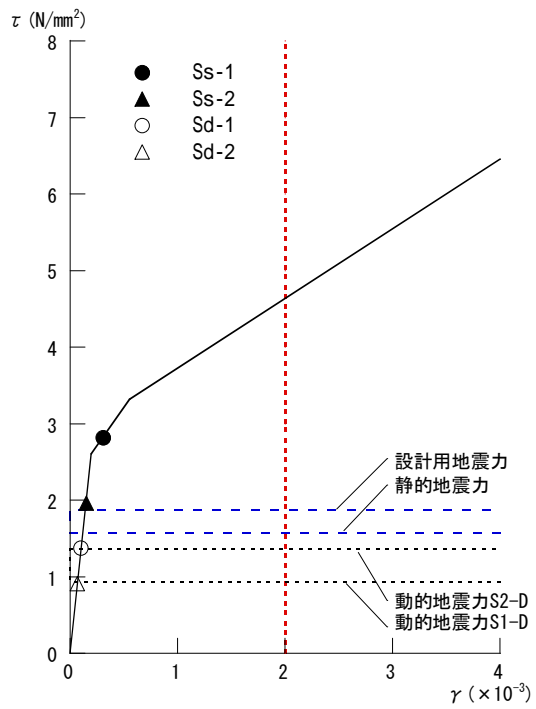
[外壁] [RCCV]
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, 1F)



[外壁] [RCCV]
せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, B1F)

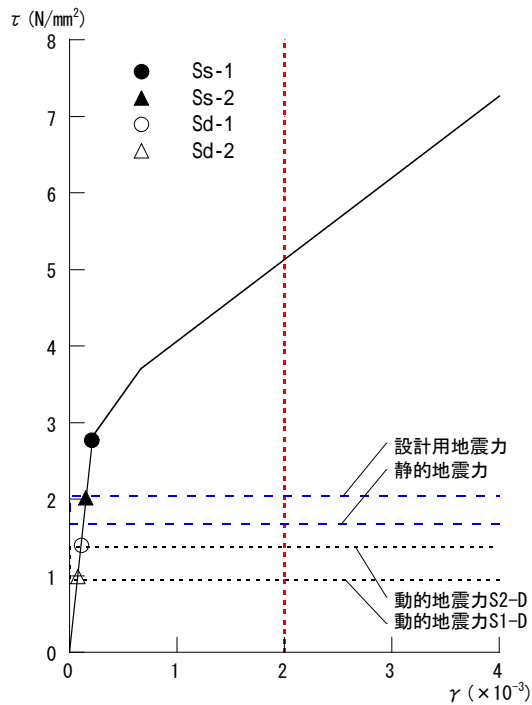


[外壁]

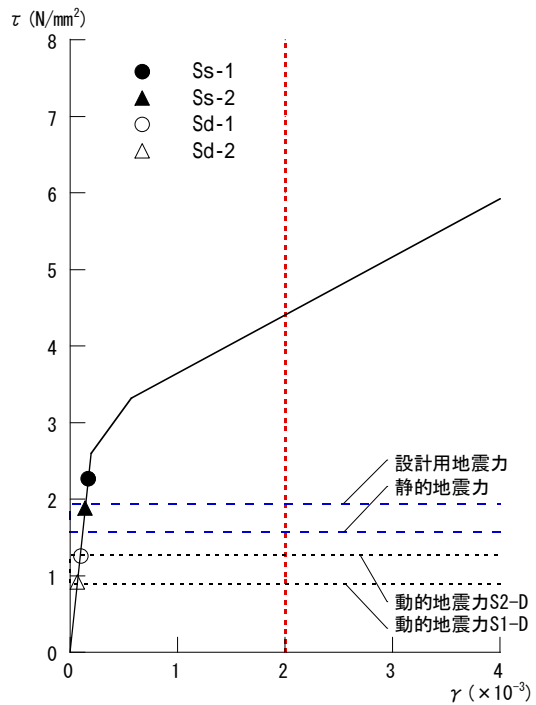


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, B2F)



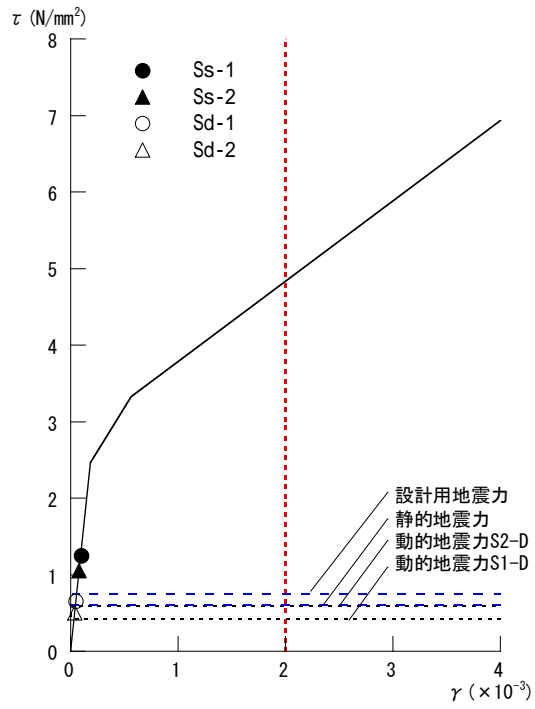
壁]



[RCCV]

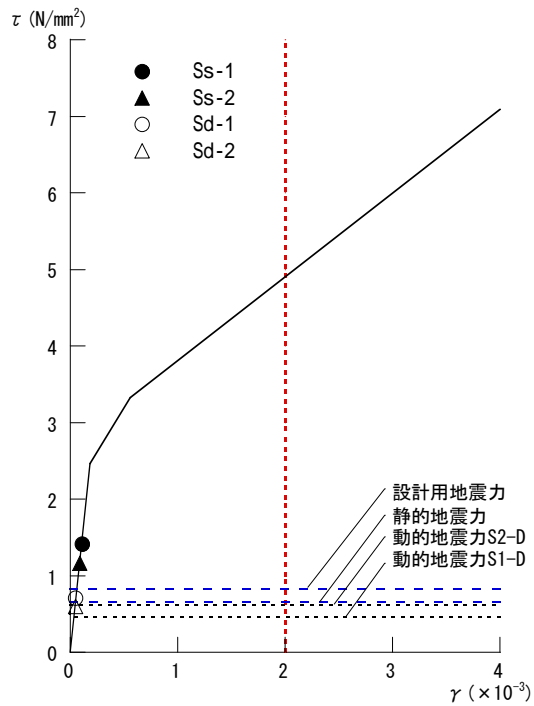
[外

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向, B3F)



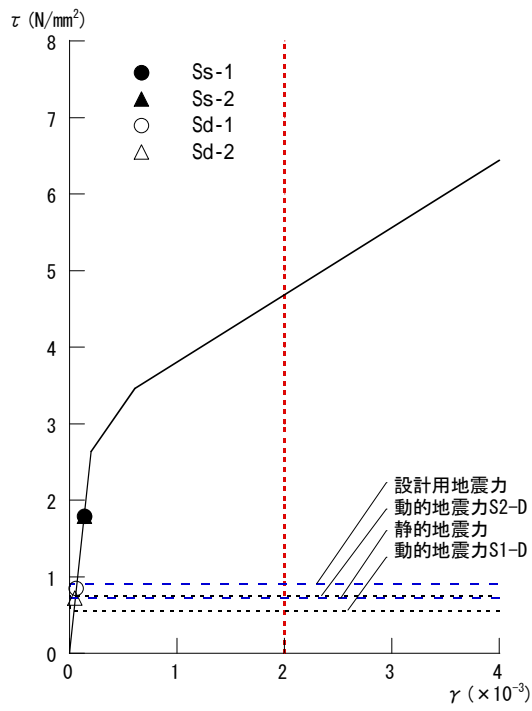
[外壁]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, クレーン階)

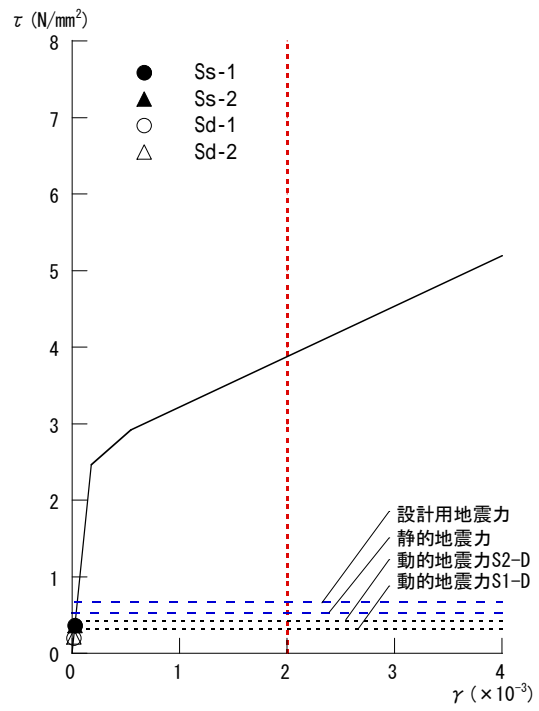


[外壁]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 4F)

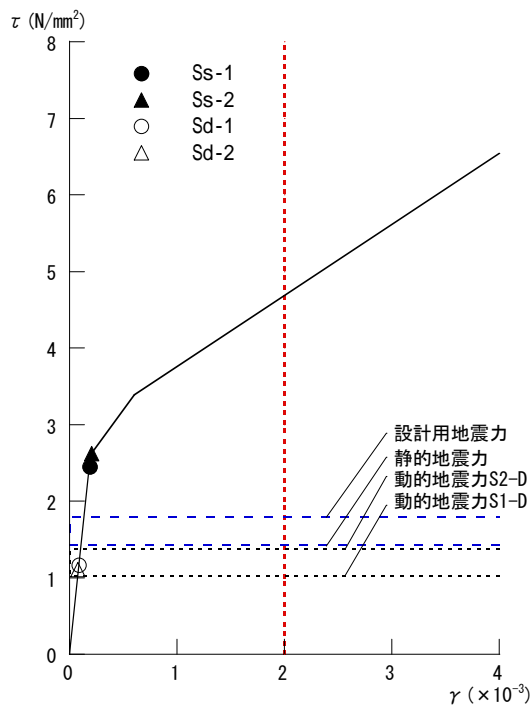


[外壁]

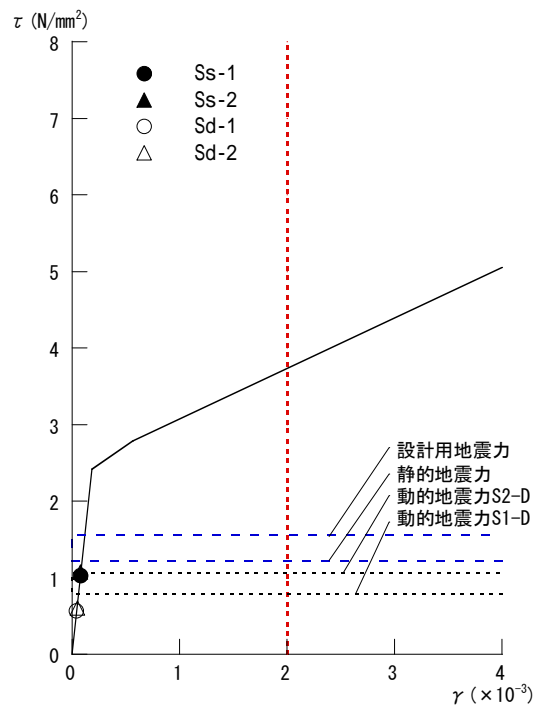


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 3F)

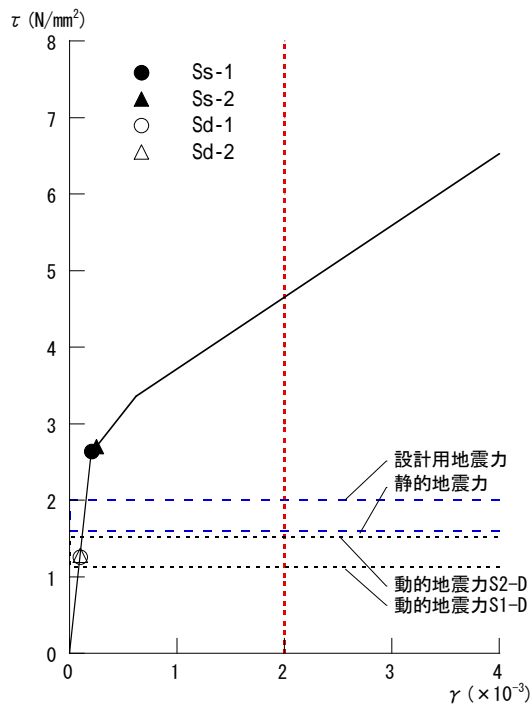


[外壁]

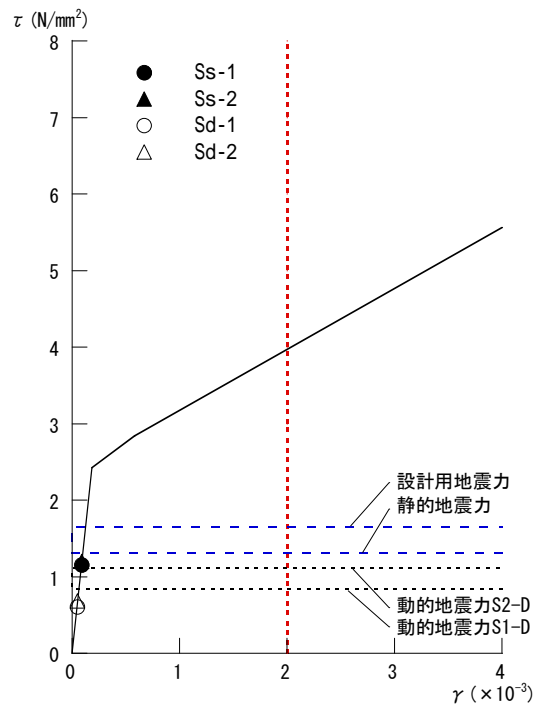


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 2F)

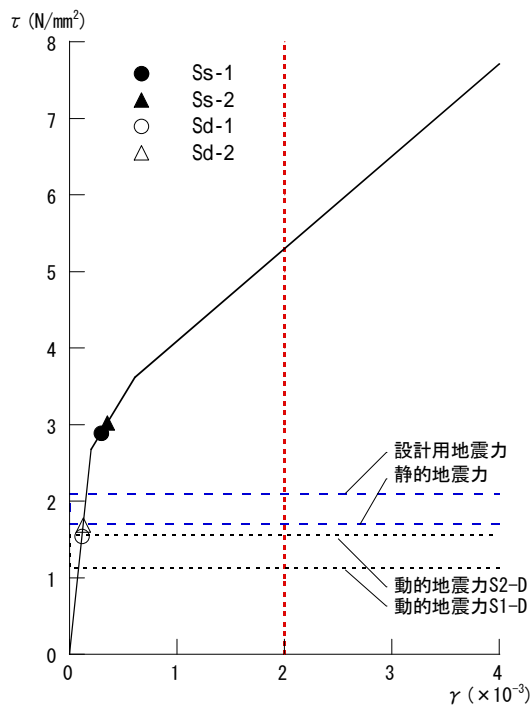


[外壁]

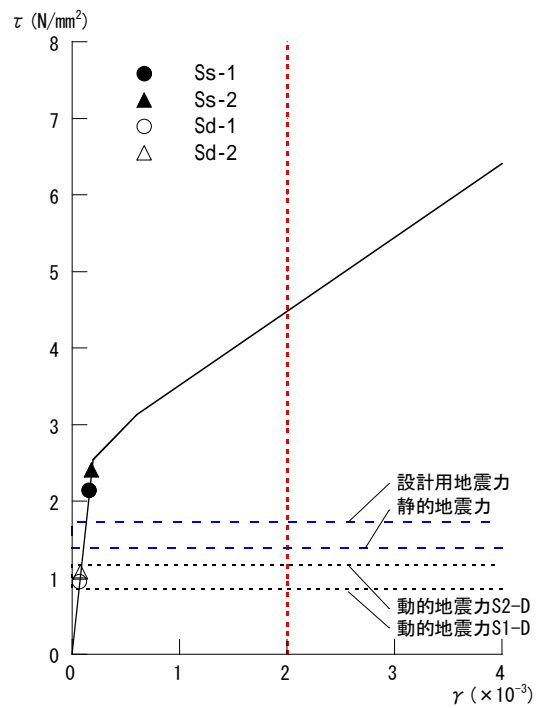


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, 1F)

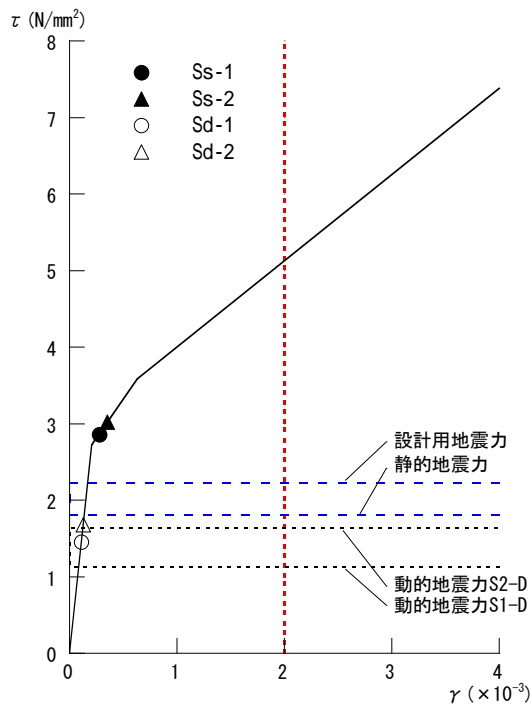


[外壁]

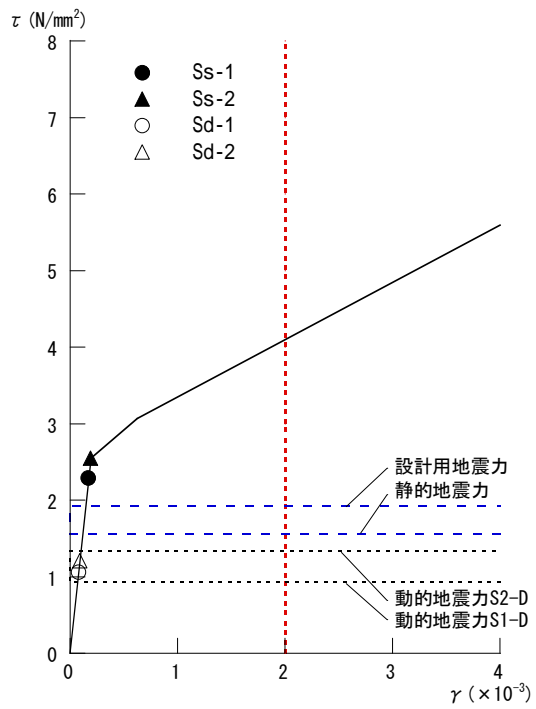


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B1F)

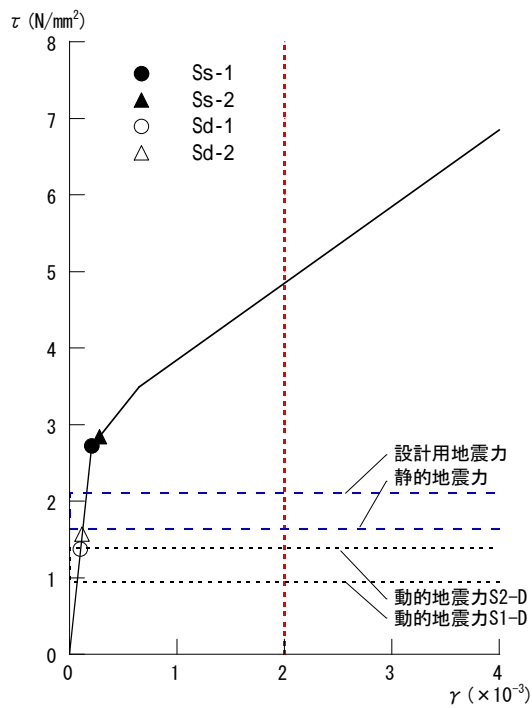


[外壁]

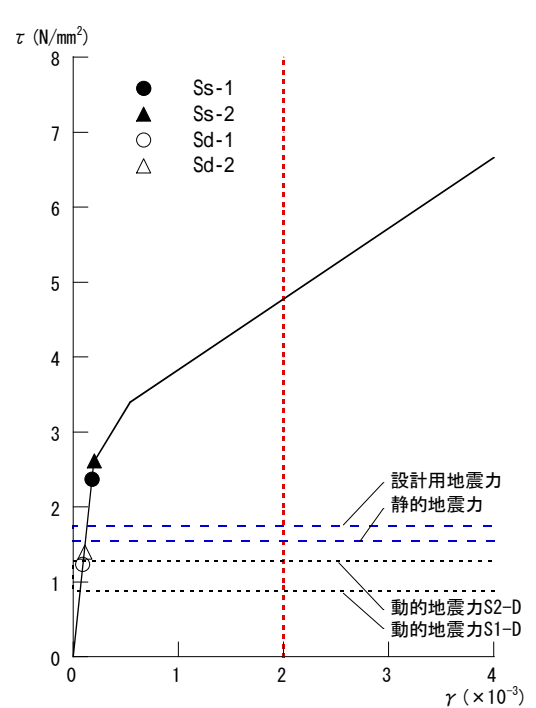


[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B2F)



[外壁]



[RCCV]

せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向, B3F)

(大型機器の地震応答荷重)

大型機器の地震応答荷重

水平方向評価用地震荷重		S_1^*	S_2	S_d	S_s
原子炉圧力容器スカート	モーメント (kN・m)	50,112	44,130	52,800	98,800
	せん断力 (kN)	9,248	7,188	10,100	19,200
遮へい壁	モーメント (kN・m)	27,262	27,753	36,000	67,800
	せん断力 (kN)	5,580	5,502	7,160	13,500
原子炉本体基礎	モーメント (kN・m)	583,496	518,772	463,000	1,070,000
	せん断力 (kN)	30,106	26,380	25,600	57,300

- ・ 基準地震動 S_1 又は静的震度による荷重の最大値 (以下、 S_1^* という)
- ・ 基準地震動 S_2 (以下、 S_2 という)
- ・ 弾性設計用地震動 S_d (以下、 S_d という)
- ・ 基準地震動 S_s (以下、 S_s という)

(原子炉建屋に設置される機器に適用する評価用震度)

原子炉建屋設置機器の評価用震度

標高 T. M. S. L. (m)	震 度			
	S ₁ *	S ₂	S _d	S _s
49.7	0.91	0.97	1.18	2.10
38.2	0.78	0.67	0.81	1.56
31.7	0.69	0.58	0.65	1.31
23.5	0.62	0.51	0.59	1.16
18.1	0.58	0.47	0.55	1.11
12.3	0.44	0.42	0.54	1.07
4.8	0.36	0.34	0.50	0.97
-1.7	0.29	0.33	0.45	1.00
-8.2	0.25	0.33	0.38	0.91

(主要設備の耐震性評価)

弾性設計用地震動 S_d による主要設備の耐震性評価結果*

機能	評価対象設備	評価部位	応力分類	発生値 (S_d)	評価基準値 (ⅢAS)	評価条件 (※)	評価方法 (注)
止める	炉心支持構造物	シュラウドサポート	一次一般膜	50	246	荷重	B
冷やす	残留熱除去ポンプ	基礎ボルト	せん断	10	350	震度	A2
	残留熱除去系配管	配管	一次	135	274	FRS	B
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張	140	499	荷重	B
	主蒸気系配管	配管	一次	158	281	FRS	B
	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ出入口	せん断	14	137	震度	B

※評価条件における「荷重」は、大型機器地震応答解析結果から得られる荷重に基づき評価したものを示す。
 ※評価条件における「震度」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる震度に基づき評価したものを示す。

※評価条件における「FRS」は、原子炉建屋や大型機器の地震応答解析結果から得られる床応答スペクトルに基づき評価したものを示す。

注：評価方法

A1：応答倍率法において、基準地震動 S_s による地震力と既往評価の地震力との応答比を用いた評価法

A2：応答倍率法において、基準地震動 S_s による床応答スペクトル等と、既往評価で用いた床応答スペクトル等から水平加速度と鉛直加速度の比をそれぞれ求め、大きい方の値を用いた評価方法

B：詳細評価（スペクトルモーダル解析法等による評価）

*弾性設計用地震動 S_d によるものと静的地震力によるものの包絡条件による評価。

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

7号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系 の耐震強化の考え方及び強化箇所の選定について

保安院は、平成 20 年 12 月 11 日、原子力安全委員会決定「柏崎刈羽原子力発電所 7 号機の耐震安全性評価等について」の 4. により、安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系の耐震強化工事としてどのような方策が実際になされたかに関し、特に耐震強化の考え方や強化箇所の選定の考え方について報告するよう東京電力に指示し、その結果を原子力安全委員会に報告することを求められた。

これを受け、保安院では、7 号機の耐震安全上重要な建物・構築物、機器・配管系の耐震強化の考え方及び強化箇所の選定について報告するよう東京電力に求めた。

耐震強化の考え方及び強化箇所の選定に係る東京電力からの報告の概要は以下のとおりである。

1. 耐震強化の基本方針

基準地震動 S_s に対して耐震設計上重要な施設の安全機能をより確かにする目的で耐震強化工事を実施する。

2. 耐震強化箇所の選定の基本的な考え方

- ① 原子炉建屋基礎版上で 1000 ガルの揺れになるように定めた耐震強化用地震動を用いて耐震安全上重要な建物・構築物及び機器・配管系の動的解析を実施して余裕の少ない部位を抽出する。
- ② 余裕の少ない部位の補強設計用荷重については、耐震強化用地震動による動的解析の結果を参考にして工学的判断により定める。
- ③ 耐震強化工事を実施中に策定された基準地震動 S_s に対して、暫定的な動的解析を行い追加補強が必要とならないかチェックを行う。

3. 耐震補強の具体例

① 原子炉建屋の屋根トラス

耐震強化用地震動による動的解析の結果、主トラスは余裕があることが確認されたが、それと直交するサブトラスの一部や下面水平ブレースなどの二次部材は余裕が少ないことが確認されたため、耐震補強を実施した。

② 排気筒（鉄骨構造）

耐震強化用地震動による動的解析の結果、支持鉄塔の部材の一部で余裕が少ないことが確認され、部材の取り替えまたは制震装置の設置について工事内容、工事期間を比較検討した結果、制震装置を設置することとした。

③ 燃料取替機

新潟県中越沖地震によるシミュレーション解析の結果、燃料取替機の構造フレームの発生応力がⅢAS 及びⅣAS による許容応力に対して、その余裕（許容応力/発生応力）が1.18 及び1.35 と少ないことから耐震補強を実施した。

④ 配管系

新潟県中越沖地震によるシミュレーション解析の結果、残留熱除去系の配管の発生応力がⅢAS 及びⅣAS による許容応力に対して、その余裕（許容応力/発生応力）が1.15 及び1.52 と余裕が少ないことから残留熱除去系などの系統の主配管の耐震補強を実施した。

(別添 10)

平成 21 年 1 月 30 日
原子力安全・保安院

B・C クラス施設の地盤の支持性能について

保安院では、東京電力に対して、7号機のB・Cクラスの施設の地盤の支持性能について、新耐震指針によるB・Cクラスの施設の耐震設計に用いる地震力を考慮してB・Cクラスの施設の地盤の支持性能について検討するよう求めた。

東京電力によるB・Cクラス施設の地盤の支持性能の評価結果を以下に示す。

保安院では、東京電力による評価結果を検討した結果、各施設から地震時に地盤に作用する荷重は建築基準法等に準拠した許容限界を下回ることから、B・Cクラス施設の地盤の支持は問題ないことを確認した。

B・Cクラス施設の地盤支持性能

耐震重要度分類 ¹	設備	基礎の構造	支持地盤	支持地盤性能確認結果		
				地震時荷重	許容限界 ²	準拠基準 ³
B	タービン建屋	直接基礎	岩盤 一部マンメイドロック	760 (kN/m ²)	4,110 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	廃棄物処理建屋	直接基礎	岩盤	1,140 (kN/m ²)	4,110 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	焼却炉建屋	杭基礎	岩盤	2,050 (kN/本)	2,740 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
C	サービス建屋	直接基礎	洪積層	363 (kN/m ²)	686 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	固体廃棄物貯蔵庫 (第1棟)	杭基礎	沖積層	1,020 (kN/本)	1,100 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	固体廃棄物貯蔵庫 (第2棟)	杭基礎	沖積層	1,100 (kN/本)	1,960 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	66kV開閉所 (GIS基礎)	直接基礎	洪積層	143 (kN/m ²)	392 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	500kV開閉所 (GIS基礎)	直接基礎	洪積層	121 (kN/m ²)	392 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	水処理建屋	直接基礎	沖積層	77 (kN/m ²)	147 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	事務建屋	杭基礎	洪積層	3,510 (kN/本)	4,700 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	補助ボイラ建屋	直接基礎	沖積層	97 (kN/m ²)	196 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	補助建屋	杭基礎	岩盤	1,600 (kN/本)	2,740 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	ランドリ建屋	直接基礎	改良地盤	93 (kN/m ²)	1,540 (kN/m ²)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	使用済燃料輸送容器 保管建屋	杭基礎	岩盤	2,270 (kN/本)	5,880 (kN/本)	JEAG4601 建築基準法 建築基礎指針
	放水路	直接基礎	洪積層	290 (kN/m ²)	700 (kN/m ²)	JEAG4601 道路橋示方書
	ろ過水タンク	直接基礎	沖積層	173 (kN/m ²)	798 (kN/m ²)	JEAG4601 消防法
	変圧器	杭基礎と直接基礎	岩盤とマンメイドロック	杭:2,250 (kN/本) マンメイドロック:128 (kN/m ²)	杭:2,680 (kN/本) マンメイドロック:745 (kN/m ²)	JEAG4601 道路橋示方書
	OFケーブルダクト	直接基礎	沖積層	156 (kN/m ²)	754 (kN/m ²)	JEAG4601 道路橋示方書
	純水タンク	直接基礎	沖積層	143 (kN/m ²)	1,120 (kN/m ²)	JEAG4601 消防法
	軽油タンク	杭基礎	岩盤	482 (kN/本)	2,750 (kN/本)	JEAG4601 道路橋示方書
軽油配管ダクト	杭基礎	岩盤	709 (kN/本)	2,100 (kN/本)	JEAG4601 道路橋示方書	

1 静的地震力算定にあたって考慮する耐震重要度分類。

2 各種試験結果および準拠法令、指針に基づき設定。

3 建築基準法：建築基準法・同施行令・告示

建築基礎指針：建築基礎構造設計指針((社)日本建築学会,2001改定)

消防法：消防法・「危険物の規制に関する規則」・「危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示」

道路橋示方書：道路橋示方書・同解説((社)日本道路協会,平成14年3月)

(参 考)

平成 20 年 11 月 18 日
平成 21 年 1 月 30 日 (改)
原子力安全・保安院

地元団体からの指摘事項について

保安院は、地元団体から真殿坂断層の活動性等についての地質・地質構造に関する申し入れを受けた。申し入れの内容について、合同 WG の審議等を踏まえた保安院における主な検討結果は以下のとおりである。

1. 真殿坂断層沿いの地すべり等の変状について

真殿坂断層沿いに、地すべり等の変状が集中していることは、真殿坂断層の活動を示唆するという指摘があった。

東京電力は、空中写真判読により、敷地及び敷地近傍の西山丘陵を中心に、崩壊、亀裂、段差等を対象に比較的明瞭な変状を抽出した結果、敷地及び西山丘陵において、崩壊・亀裂等の変状が真殿坂向斜沿いに集中、線状配列していないことを確認したとしている。また、国土地理院の中越沖地震における地すべり分布状況報告と敷地近傍の背斜・向斜軸を重ね合わせても、地すべり分布と真殿坂向斜との関連性は認められないとしている。

合同 WG では、真殿坂断層沿いに、地すべり等の変状の集中は見られず、これらの地形は真殿坂断層の活動を示唆するものではないと評価された。なお、広域的な地すべり等の分布との比較を行うべきとの委員からの指摘があり、東京電力は追加調査を行ったが、真殿坂断層の活動を示唆する変状の分布は認められなかった。

2. 番神砂層下部水成層の標高が真殿坂向斜の東西で違うことについて

北-2 測線沿いで番神砂層下部水成層の標高が真殿坂向斜の西側で高く、東側で低いこと等は、真殿坂断層の活動を示すという指摘があった。

東京電力は、指摘される露頭で確認された大湊砂層（番神砂層下部水成層）と番神砂層（番神砂層上部風成層）との境界の標高は、地すべり箇所と想定される地点（Loc. b と Loc. c）及び Loc. f を除き、概ね 35~40m に分布し、真殿坂向斜を挟んで顕著な高度差は認められないとしている。また、Loc. f で確認された大湊砂層の標高は約 48m であるが、断面上で両側となる Loc. e と Loc. g の大湊

砂層の標高は約 40m であること、阿多鳥浜テフラが安田層の下部に真殿坂向斜を横断してほぼ水平に堆積し、西山層以下の地層に見られる褶曲構造に対応した地形が認められないことから、真殿坂断層の活動を示唆するものではないと考えるとしている。

番神砂層下部水成層の上限面の標高については、保安院が現地調査を行い、東京電力と地元団体との主張が異なっていることを確認した。真殿坂断層は、平成 20 年 11 月 6 日付け保安院報告書「東京電力株式会社柏崎刈羽原子力発電所敷地周辺の地質・地質構造及び基準地震動 Ss の評価に係る報告書（中間報告）」（以下「保安院中間報告書」という。）VI. 2.3) で述べたとおり、後期更新世以降の活動性はないと判断された。

なお、地元団体の理解を得るため、保安院が、再度、専門家、地元自治体、東京電力及び地元団体とともに現地調査を行い、当該調査地点において、「真殿坂向斜を挟んで顕著な高度差は認められない」等の東京電力の見解の妥当性について確認を行った。専門家の見解は、Loc. f の大塚山露頭で見られる番神砂層水成層と風成層の境界は離水後のものであり、海成層の上面は、東京電力の評価よりさらに下方にあるとも考えられると指摘したが、他の露頭については、東京電力の評価は妥当であるとした。また、専門家から、東京電力は地元の疑問に対して、わかりやすく、丁寧な説明をする必要があるとの指摘がなされた。

3. 観音岬・椎谷付近の海底亀裂及び遺構について

中越沖地震で椎谷海底に亀裂が出現したとの指摘があった。また、原子炉建屋、タービン建屋が傾いた事実を設備直下や設備近傍の断層活動として判断すべき、また、江戸時代の遺構が海底に沈んでいる事実は、敷地近傍において後期更新世以降の地殻構造運動がないとする主張は誤りであるという指摘があった。

東京電力は、観音岬・椎谷海岸付近の海底亀裂については、①地震前に撮影された空中写真においても確認される、②海底亀裂は椎谷向斜軸に斜交して分布しており、椎谷向斜軸等の褶曲の成長に伴い生じたものと推定される、③椎谷海岸付近の海底亀裂の延長部の陸域の地形や道路等において今回の地震により亀裂が動いたことを示す形跡が認められない、④海底亀裂は癒着しており軟質なガウジも認められないとしている。また、椎谷観音岬沖の歴史時代の遺構と指摘される箇所については、地元資料に記されている本地域の大規模な地震の存在が疑わしいこと、歴史時代の遺構と指摘されるものは甌穴や浸食地形と推定されること、中越沖地震により観音岬を中心に隆起が認められており、観音岬付近の海成段丘面の標高も周辺よりも低くなく、指摘されている地域が沈降することは推定されないことから、歴史時代の遺構と指摘されるものについては後期更新世以降の構造運動を示すものではないと考えられるとしている。なお、椎谷への北前船の寄港を裏付ける文献は存在するものの、北前船の石柱

とされるものの目的は不明であるとともに、椎谷付近には後期更新世以降の構造運動を示す痕跡はないとしている。

合同 WG では、遺構とされるものなどについて得られる情報が必ずしも十分ではない面はあるが、椎谷海岸の亀裂については中越沖地震により動いたものではないこと、歴史時代の遺構と指摘されるものについては後期更新世以降の構造運動を示すものではないと考えられること、敷地近傍における変動地形学的調査、地表地質調査、反射法地震探査、地層に挟在される火山灰の分析等から、敷地近傍において耐震設計上考慮すべき活断層や活褶曲は認められないことなどから、観音岬・椎谷付近の海底亀裂及び遺構とされているものが後期更新世以降の敷地近傍における断層活動を示唆するものではないと判断された。なお、保安院は、椎谷海岸の亀裂について、中越沖地震発生前に撮影された空中写真を入手し、中越沖地震発生前の写真にも亀裂があることを確認した。

4. 柏崎平野の構造運動について

柏崎平野の安田層基底（基盤上限面）が海底音波探査結果より深い事実は、平野の沈降を示す等の指摘があった。

東京電力は、柏崎平野を横切る断面で実施した反射法地震探査によると、柏崎平野において、西山層、椎谷層は緩やかな同斜構造を示し断層は認められないことから、その平野の下に活発な構造運動を示唆させるものはないと考えているとしている。さらに、海上音波探査及び反射法地震探査によると、敷地付近の陸域において、浅部から2,000～3,000m以深まで連続する断層構造は認められないとしている。

合同 WG では、柏崎平野の安田層基底（基盤上限面）の深さは、少なくとも後期更新世以降の構造運動を示すものではないと考えられるとする東京電力の評価は、妥当なものであることが確認された。

5. 北-1 測線の沖積層基底標高及び滝谷の農道付近の冠水について

北-1 測線の真殿坂向斜付近の探査結果において、上流側の沖積層基底が下流側よりも深い事実は、真殿坂断層の沖積層堆積以降の活動を示す、また、真殿坂向斜軸付近に位置する滝谷の農道が地震後に冠水した事実は、真殿坂断層が地震により活動したことを示唆するという指摘があった。

東京電力は、北-1 測線付近の地形より推定される沖積層の分布と水準測量結果との対応を踏まえて、水準測量における局所的な変動（沈下）は、盛土、沖積層等の軟らかい層の沈下等の変形によるものと考えられること、柏崎平野においては沖積層の下に安田層等の更新世の地層が分布しており、反射法地震

探査において 2500～2600m 付近の反射記録は明瞭でなく、沖積層下面推定線は沖積層よりも古い地層の下面を示している可能性があること、刈羽村のボーリング調査では滝谷の農道付近は、「極軟」と記載されており、北-1 測線の沖積層が分布する範囲で認められた沈下傾向と同様に、滝谷の農道付近の沖積地が地震に伴い沈下した可能性があること、また、敷地及び敷地北側のボーリング調査結果等により、真殿坂断層の後期更新世以降の活動がないことが確認されていること、地表踏査、DEM を用いた検討等により、付近の沖積面には地表付近での断層の活動を示す変状は認められないことから、「沖積層下面推定線の一部で谷の上流側が下流側より深いこと」や「滝谷の農道が冠水したこと」は真殿坂断層の活動を示すものではないと考えられるとしている。

合同 WG では、北-1 測線の真殿坂向斜付近の探査結果において、上流側の沖積層基底が下流側よりも深いことについては、反射法地震探査から推定した沖積層下面推定線は沖積層よりも古い地層の下面を示している可能性があり、また、真殿坂向斜軸付近に位置する滝谷の農道が地震後に冠水したことについては、滝谷の農道付近の沖積地が地震に伴い沈下した可能性があることが確認された。

6. 建屋の傾動と敷地内断層の活動について

建屋の傾動は直下断層等の運動を示唆し、敷地内直下断層の全数調査、3～5号間の線状変位の調査、原子炉・タービン等建屋の傾動原因調査が必要である。また、原子炉建屋、タービン建屋、発電所基準点は西山層に直接設置、これらが中越沖地震で不規則に動いて建屋が傾いた事実は、中越沖地震で直下の断層や真殿坂断層が動いたことを示すという指摘があった。

合同 WG では、地震活動に伴う地盤の隆起量等の局所的なばらつきについては、真殿坂断層が想定されている西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲の後期更新世以降の活動は認められないこと等から、建屋レベルの変動量が各号機で異なり、各建屋の四隅の変動量が異なることが、西山層及びそれ以下の地層に見られる褶曲、真殿坂断層、敷地内の断層の中越沖地震に伴う活動を示すものではないとしている東京電力の評価は、妥当なものであることが確認された。また、局所的な上下変動量のバラツキについては、地盤の物性、地盤の揺れや発生する応力が場所ごとに異なること等が要因として考えられるが、その原因を明らかにすることは困難であると判断された。また、各号機の原子炉建屋、タービン建屋及びコントロール建屋の傾斜は最大でも約 1/4000 であるが、傾斜を 1/1000 とした場合においても、建屋や機器に作用する荷重の増加及びその影響は極めて小さく、また、傾斜による燃料集合体の変形量は加振試験により制御棒が規定時間内に挿入されることが確認されている燃料集合体の変形量に比べ僅かであることが確認された。

7. 相場川の流路について

島崎川に合流していた相場川が途中で流れを変えて日本海に注いでいることは、相場川と島崎川との間に存在する谷中分水嶺付近を通る背斜構造が隆起したためであるという指摘があった。

東京電力は、相場川近傍には既往文献において背斜構造は示されておらず、DEMによっても対応する地形は認められないこと、相場川近傍の露頭において西山層にみられる褶曲構造を灰爪層が不整合に覆っていること、谷中分水嶺付近の沢の縦断勾配に地形的な高まりが認められないことを確認したとしている。相場川の流路変更の原因を示唆するデータは認められないが、相場川の河口付近の海食崖には、現海岸線と直交する方向で日本海に流下するガリー状の沢が数条認められることから、現在の相場川河口付近に上記のガリー状の沢が形成され、その沢が東方に向かって延びて、旧相場川がその流路を変えて日本海に注ぐことになったとも考えられるとしている。

合同WGでは、相場川の流路変更について、これは河川争奪という地形発達上の現象であり、現時点でその直接的な原因を明らかにすることは困難であるが、相場川近傍に背斜構造を示す地形は文献やDEMでも認められないこと、相場川近傍の露頭において、灰爪層堆積以降、褶曲構造の活発な成長が認められないこと、谷中分水界付近の沢の縦断勾配に地形的な高まりが認められないことから、谷中分水界付近を通る背斜構造が隆起した痕跡が認められないとする東京電力の評価は妥当なものであることが確認された。

