「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」の検討状況について

平成20年5月

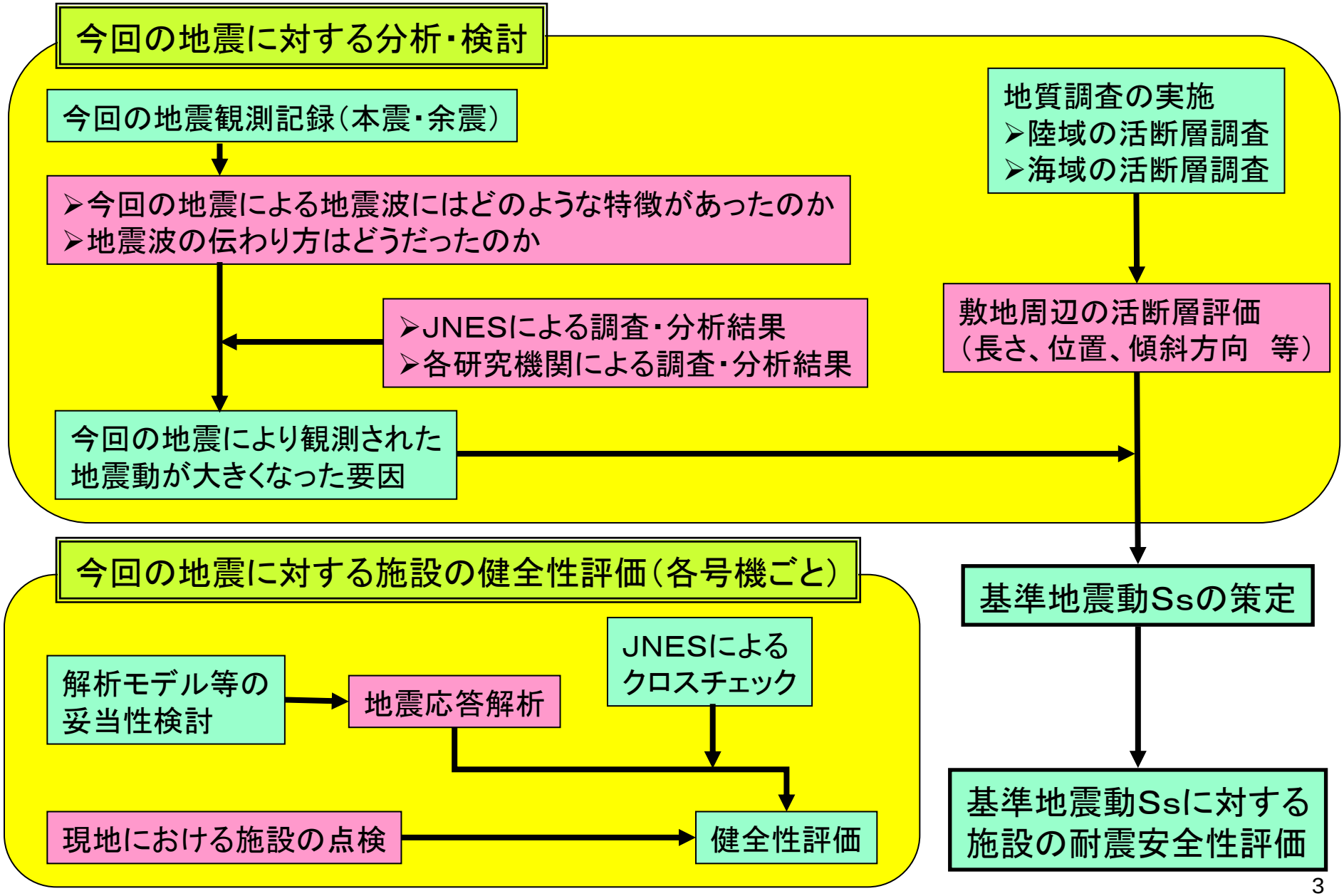
原子力安全･保安院
加藤　重治

本日の説明内容

- 発電所周辺地域の地質調査結果について
- 発電所敷地・敷地近傍の地質調査結果について
- 設備・建屋の健全性の評価について
- 設備に発生する応力の解析に関する参考資料

発電所周辺地域の地質調査結果について

新潟県中越沖地震を踏まえた柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性評価について

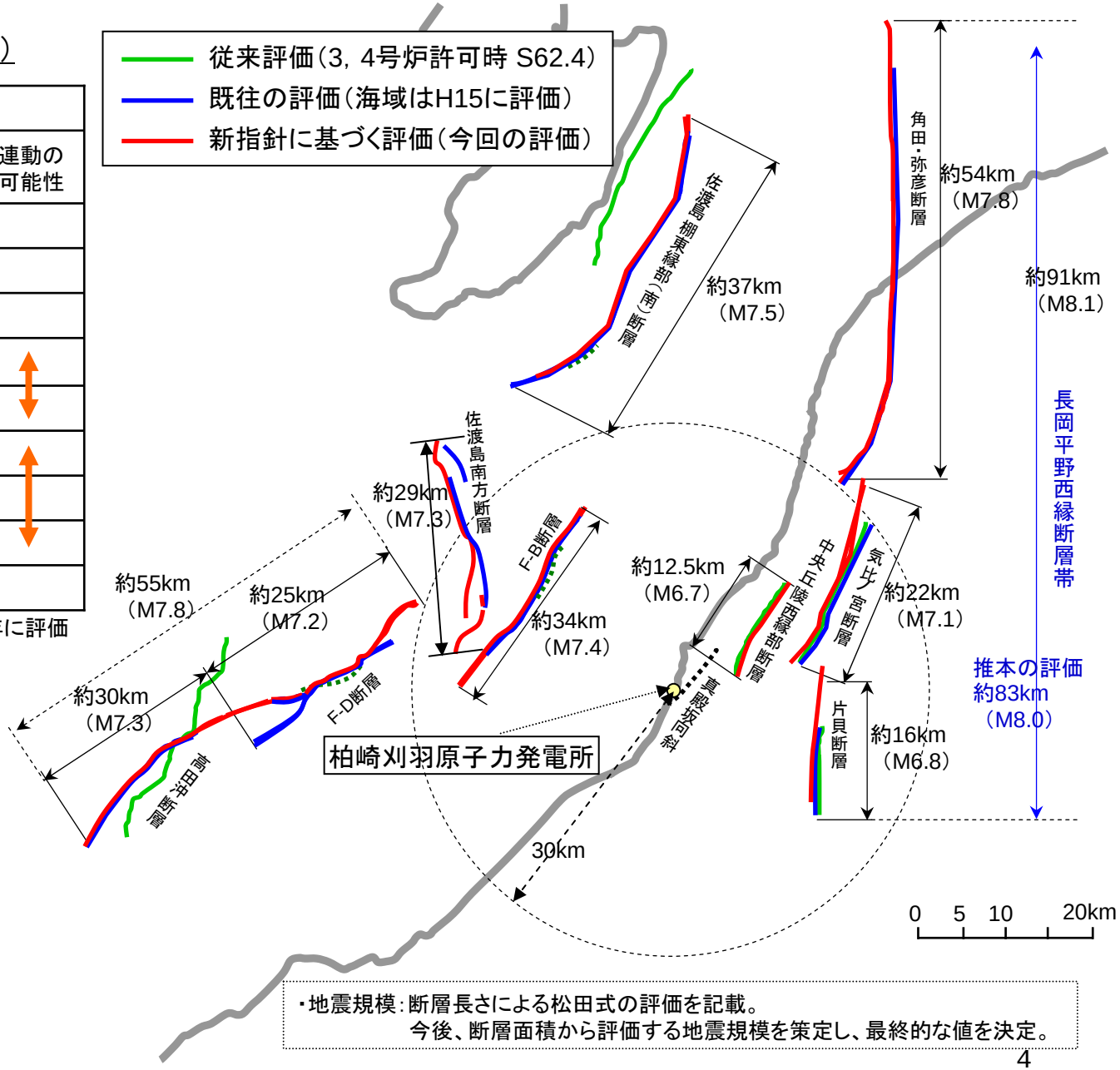


柏崎刈羽原子力発電所周辺の地質調査の状況

東京電力による活断層の評価（4月28日時点）

断層名	活断層の評価		
	既往の評価※	今回の評価	連動の可能性
佐渡島棚東縁部（南）断層	約39km	約37km	
F-B断層	約20km	約34km	
佐渡島南方断層	約21km	約29km	
F-D断層	約21.5km	約25km	↕
高田沖断層	約18.5km	約30km	↕
角田・弥彦断層	－	約54km	↕
気比ノ宮断層	約17.5km	約22km	↕
片貝断層	約10km	約16km	↕
中央丘陵西縁部断層	約12.5km	約12.5km	

※海域は平成15年に評価



・地震規模：断層長さによる松田式の評価を記載。
今後、断層面積から評価する地震規模を策定し、最終的な値を決定。

○東京電力から提出された調査結果については、原子力安全・保安院による審議会で、海上音波探査の生データを確認するなど、厳格に内容を評価。
○必要に応じ、再検討等を東京電力に指摘。

F-B断層について

【活断層に対する知見と東京電力による評価の推移】

〇活断層の評価は、活断層に対する知見が蓄積されることに伴い刻々と変化。
〇 F-B断層の評価（＝断層の長さ）もその時その時の知見や考え方によって変化している。

		東京電力の評価	評価当時の考え方
3，4号機設置許可当時（S62.4）※		・約7～8kmの活断層ではない断層として評価。	・海上音波探査等を実施し、その調査結果から断層を特定。その断層について「日本の活断層(1980)」に示された活断層の認定基準に照らして、5万年前以降の活動性の有無を確認。
平成15年の再評価結果（H15.6）		・3，4号機設置許可当時と同じデータを最新の考え方に基づいて再評価。その結果、約20kmの活断層の可能性があるとして評価。	・断層関連褶曲の考え方（岡村行信（産業技術総合研究所）の2000年の論文）に基づき、褶曲運動による変形があれば、活断層の可能性があるとした。 褶曲（しゅうきょく）： 地層が波状に屈曲している状態。
現在実施中の評価	暫定評価（ H19.12.5 ）	・中越沖地震発生後に行ったそれまでの調査結果を踏まえ、約23kmの活断層として暫定評価。	・12～13万年前以降に活動した形跡がある断層を活断層とする。 ・従来の調査に比べ、より密に海上音波探査による徹底した調査の実施。 ・活断層調査によっても、断層の特性について、必要な情報が十分得られなかった場合は、より安全側に評価。
	地質調査結果（ H20.3.27 ）	・考慮すべき褶曲構造が確認されなかった調査測線まで、南方に延長。最大約30kmと評価。	
	審議会での指摘を踏まえた評価（H20.4.28）	・褶曲群のさらに北方も考慮する必要があるとの指摘を踏まえ、約34kmと評価。	

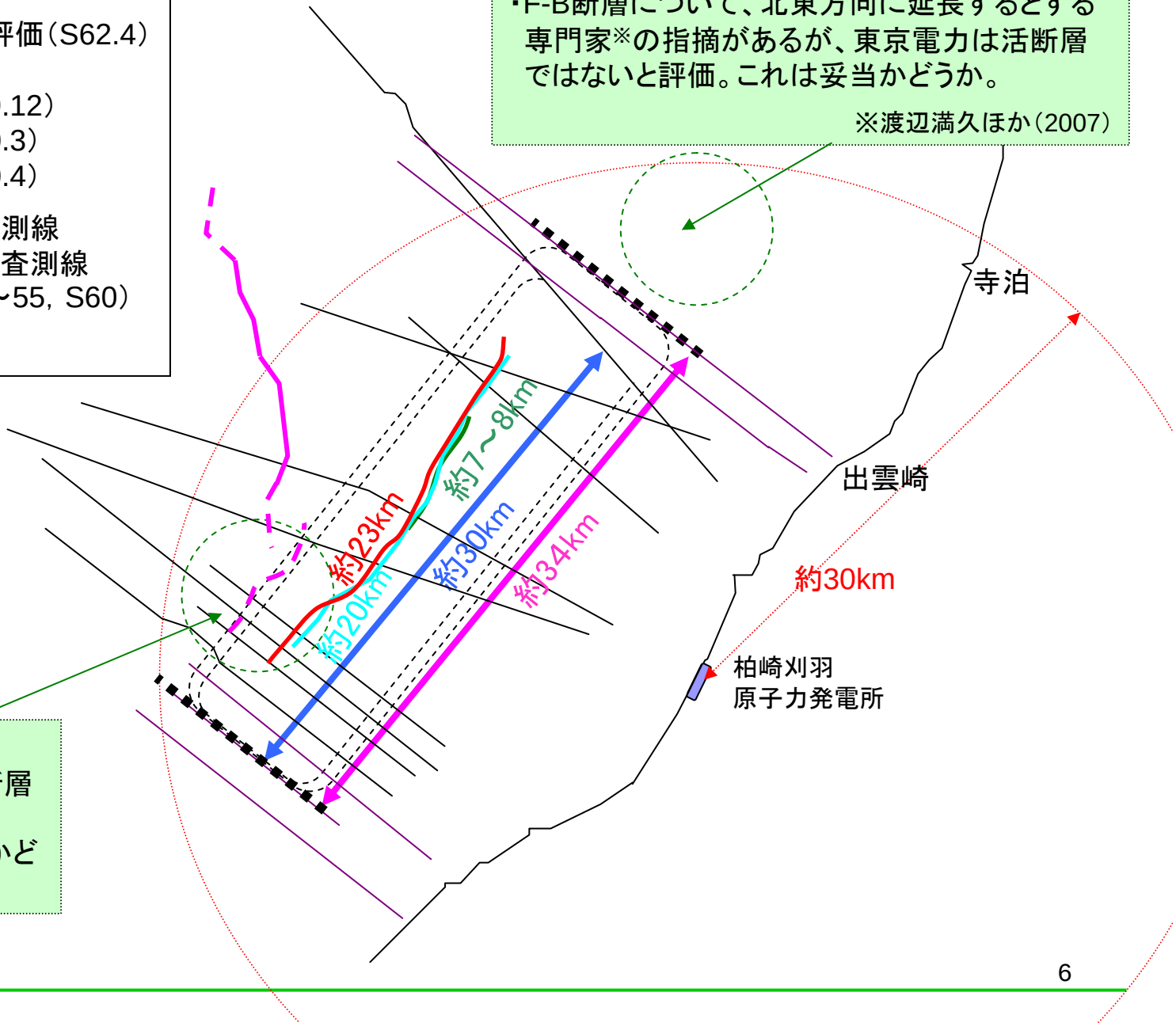
※「日本の活断層（1980）」ではほぼ同位置に約10kmの活断層があると推定（日本の活断層での定義は耐震設計審査指針で対象としている活断層とは異なり、**約200万年前以降**に動いたと見なされる断層を活断層としている。）。東京電力は、耐震設計審査指針に従い、5万年前以降に動いた断層を活断層としているため、活断層としては評価していない。

F-B断層の審議のポイント

- 3,4号機設置許可当時の評価（S62.4）
- H15の再評価（H15.6）
- F-B断層の暫定評価（H19.12）
- F-B褶曲群の評価①（H20.3）
- F-B褶曲群の評価②（H20.4）
- 中越沖地震後の主な調査測線
- 中越沖地震以前の主な調査測線（S54～55，S60）
- 佐渡島南方断層

【審議のポイント①】
・F-B断層について、北東方向に延長するとする専門家※の指摘があるが、東京電力は活断層ではないと評価。これは妥当かどうか。

※渡辺満久ほか（2007）



【審議のポイント②】
・東京電力は、佐渡島南方断層を、F-B褶曲群として評価（H20.3時点）。これは妥当かどうか。

F-B断層についての審議①

【審議のポイント①】
・F-B断層について、北東方向に延長するとする専門家※の指摘があるが、東京電力は活断層ではないと評価。これは妥当かどうか。

※渡辺満久ほか（2007）

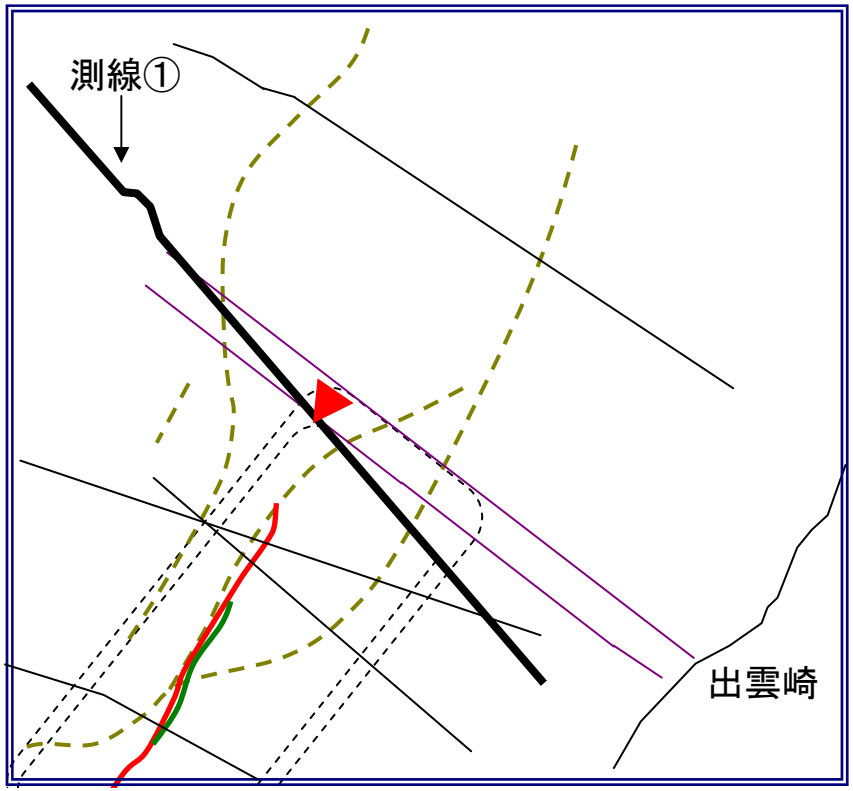
＜最新の審議の様子＞

【東京電力】
・F-B褶曲群の北端は、褶曲構造が読み取れなくなった「測線①」までとして評価。（図中 ⬚ の部分）

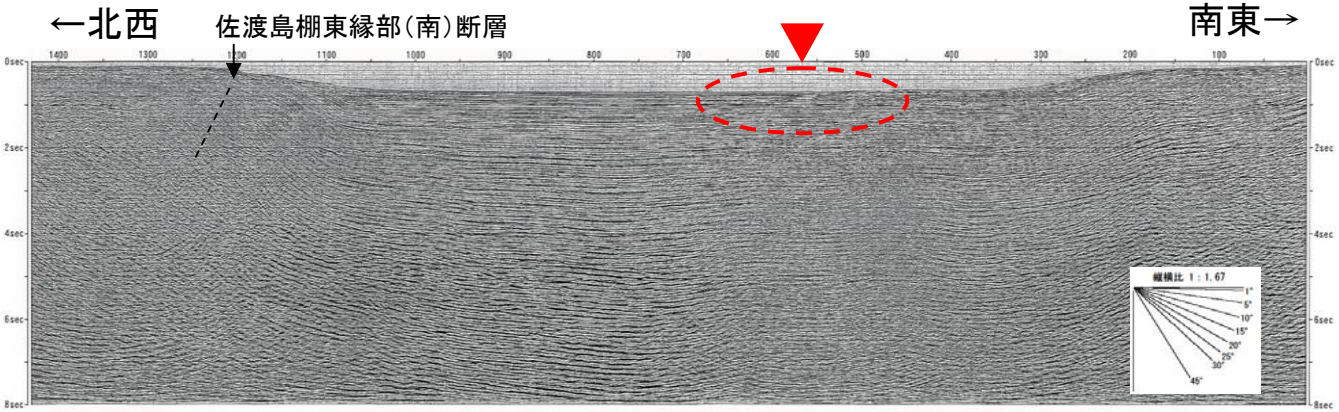
（3月27日の審議会での説明）

【委員】
・周辺の地形の形成過程を考慮すると、「測線①」にもわずかではあるが褶曲構造が読み取れると思う（図中 ◯ の部分）。示されたデータでは縦横比が小さいので、これを大きくすると見えてくるのではないか。

（4月18日の審議会でのコメント）



測線①の調査・解析結果



▼：F－B褶曲群の向斜軸（既往評価のF－B断層）の延長位置

- 3,4号機設置許可当時（S62.4）
- F-B断層の暫定評価（H19.12）
- F-B褶曲群の評価①（H20.3）
- F-B褶曲群の評価②（H20.4）
- 中越沖地震後の主な調査測線
- 中越沖地震以前の主な調査測線（S54～55，S60）
- 「渡辺満久ほか（2007）」で評価された活断層

＜最新の審議の様子（続き）＞

【委員】

・専門家による論文（「渡辺満久ほか（2007）」）を見ると、より北方まで活断層が延びるとしている（図中－－－－の部分）。この評価は活断層があるとしている地域周辺の地形を根拠としているので、周辺地形の成因について活断層を示唆するものではないという説明があれば、東京電力の評価についても納得がいくのではないか。

（4月18日の審議会でのコメント）

【東京電力】

・詳細な再検討を実施し、F-B褶曲群の北端を、より安全側に「測線②」あたりにすると再評価。F-B褶曲群の長さを約34kmとした。

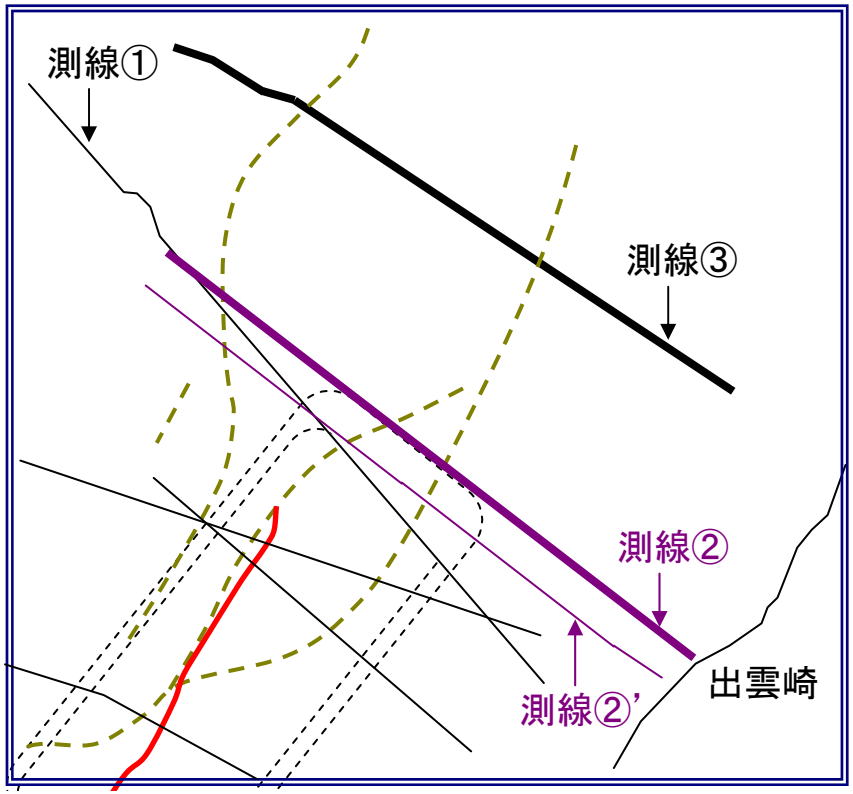
（4月28日の審議会での説明）

【委員】

・F-B褶曲群の北端は、今回示された測線②のところまでで良い。

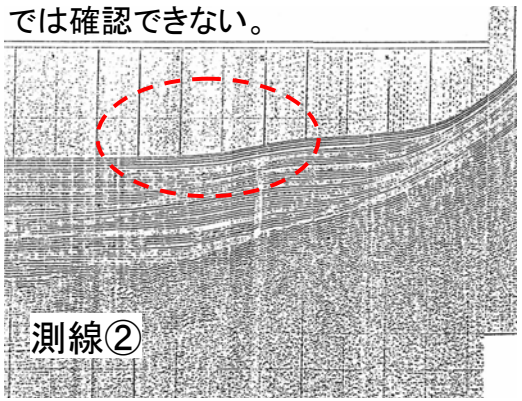
・測線③周辺の地形の成因については、F-B断層から測線①を通って東側に続いている斜面についても考慮して説明いただきたい。

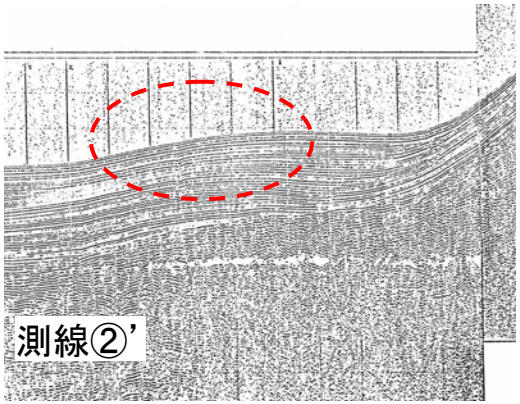
（4月28日の審議会でのコメント）



測線②と測線②’の比較※

○下図のように、一つ手前の測線②’では地表の膨らみが確認できるが、測線②では確認できない。





- F-B断層の暫定評価（H19.12）
- F-B褶曲群の評価①（H20.3）
- F-B褶曲群の評価②（H20.4）
- 中越沖地震後の主な調査測線
- 中越沖地震以前の主な調査測線（S54～55，S60）
- 「渡辺満久ほか（2007）」で評価された活断層

※測線②と測線②’は、測線①と違う方法で海上音波探査をしており、縦横比が大きい値で結果が得られている。

F-B断層についての審議②

【審議のポイント②】
・東京電力は、佐渡島南方断層を、F-B褶曲群として評価。これは妥当かどうか。

＜最新の審議の様子＞

【東京電力】
・平成15年当時の評価としては、F-B断層と佐渡島南方断層は、別の断層構造として評価。しかし、今回は二つの断層を一連の褶曲群として評価。

【主な理由】 ・南部では距離が近い（図中の の部分）。

（4月18日の審議会での説明）

【委員】
・下でつながっているとは必ずしも断言できない。2つの断層は構造的にも走向もかなり違うため、違うと考える方が妥当。

【主な理由】 ・F-B断層は、背斜と向斜が連続する構造であるのに対し、佐渡島南方断層はそのような構造にはなっていない（図中の の部分を比較）。

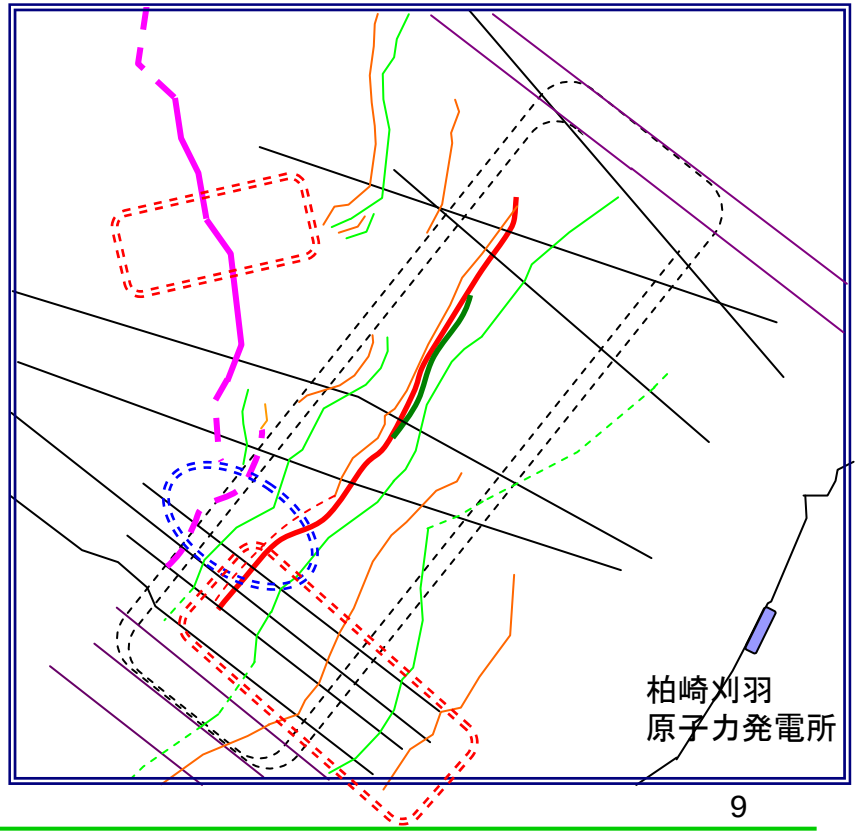
（4月18日の審議会でのコメント）

【東京電力】
・再検討の結果、別の断層として評価。佐渡島南方断層については約29kmの活断層として評価。 *（4月28日の審議会での説明）*

【委員】
・（F-B断層全体を通じて）断層関連褶曲が認められる範囲と実際の震源断層による地震規模との関連については十分な検討が必要。今回の地震のM6.8とF-B断層の長さは整合しない原因は何か検討すること。

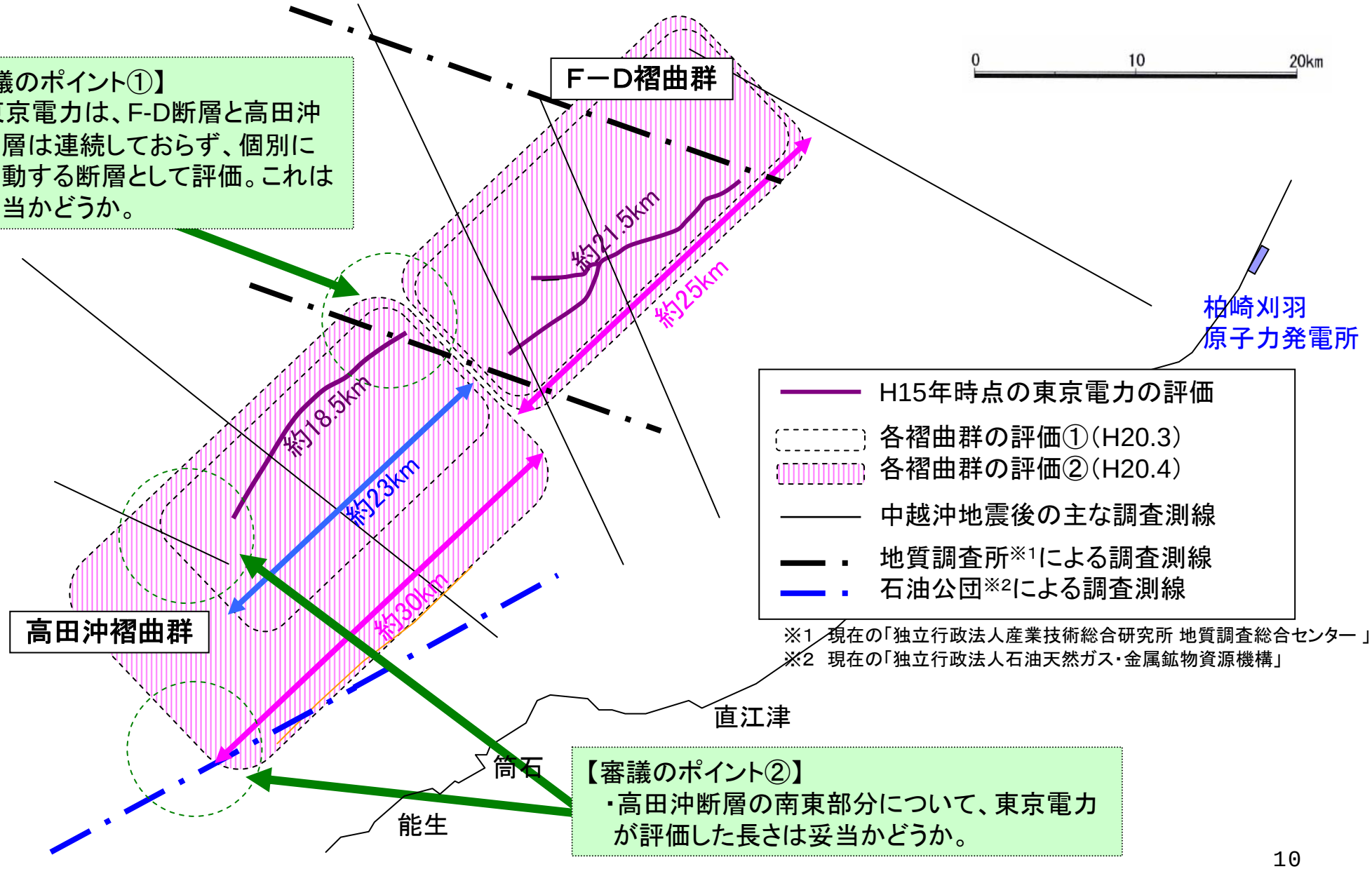
（4月28日の審議会でのコメント）

F-B断層の暫定評価（H19.12）
F-B褶曲群※の評価①（H20.3）
F-B褶曲群の評価②（H20.4）
中越沖地震後の主な調査測線
中越沖地震以前の主な調査測線（S54～55，S60）
佐渡島南方断層
背斜軸
向斜軸



F-D断層と高田沖断層の審議のポイント

【審議のポイント①】
・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評価。これは妥当かどうか。



※1　現在の「独立行政法人産業技術総合研究所 地質調査総合センター」
※2　現在の「独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構」

【審議のポイント②】
・高田沖断層の南東部分について、東京電力が評価した長さは妥当かどうか。

F-D断層と高田沖断層に関する審議①

【審議のポイント①】
・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評価。これは妥当かどうか。

＜最新の審議の様子＞

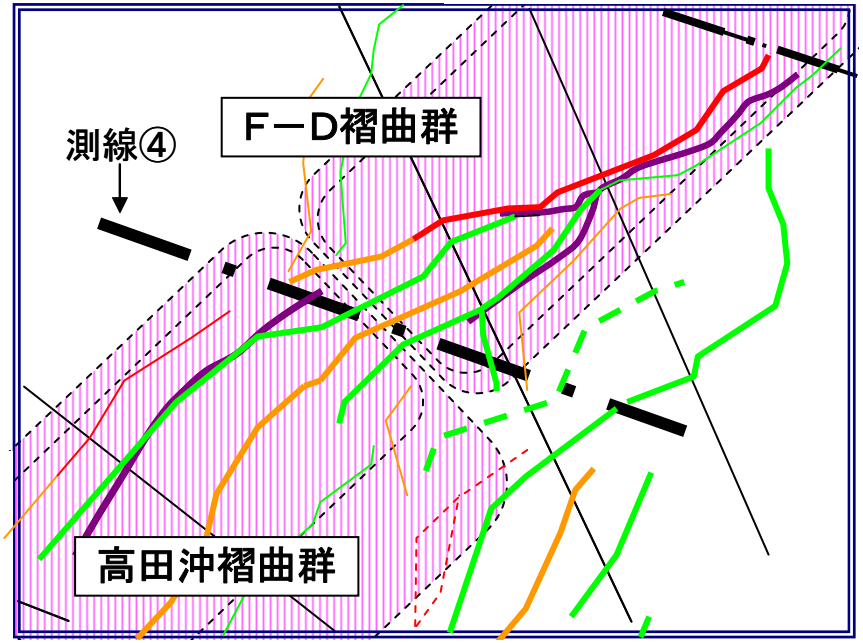
【委員】
・示された図を見ると両褶曲群の距離はかなり近い。また、両褶曲群をまたがっている褶曲構造も確認されている。再度詳細な説明をされたい。
（4月18日の審議会でのコメント）

【東京電力】
・地形構造から別々に成り立った褶曲群と考えている。ただし、安全評価上、地震動を考える際には同時活動性を考慮する。

【主な理由】 ・境界付近では比較的緩やかな褶曲構造を示す（測線④の調査結果中 の部分）。

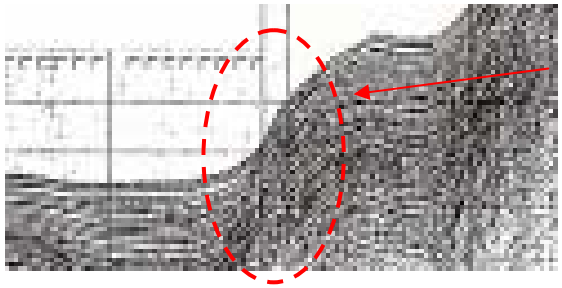
（4月28日の審議会での説明）

【委員】
・高田沖断層とF-D断層の震源断層を何処におくか良く検討すること。
（4月28日の審議会でのコメント）



H15年時点の東京電力の評価
各褶曲群の評価①（H20.3）
各褶曲群の評価②（H20.4）
中越沖地震後の主な調査測線
地質調査所による調査測線
逆断層
背斜軸
向斜軸

測線④の生データ



高田沖褶曲群と
F-D褶曲群の
境界付近

F-D断層と高田沖断層に関する審議②

【審議のポイント②】
・高田沖断層の南東部分について、東京電力が評価した長さは妥当かどうか。

＜最新の審議の様子＞

【東京電力】
・高田沖断層の長さを約23kmと評価。 *(3月27日、4月18日の審議会での説明)*

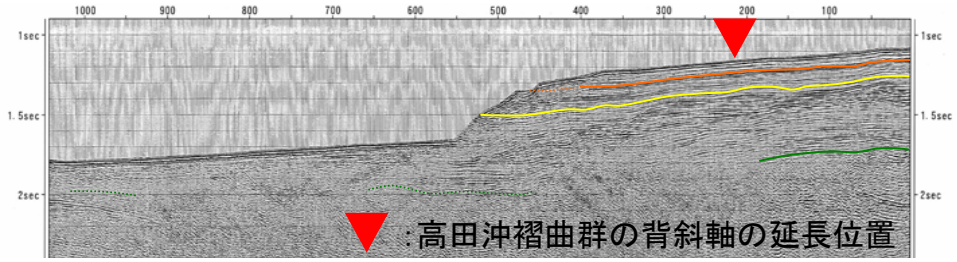
【委員】
・高田沖断層の長さについては南東にある一番長い褶曲がかなり南側までいっており、考慮する必要があるのではないか(図中の ⋯⋯ の部分)。
(4月18日の審議会でのコメント)

【東京電力】
・高田沖断層の長さを再考し、約30kmとした。 *(4月28日の審議会での説明)*

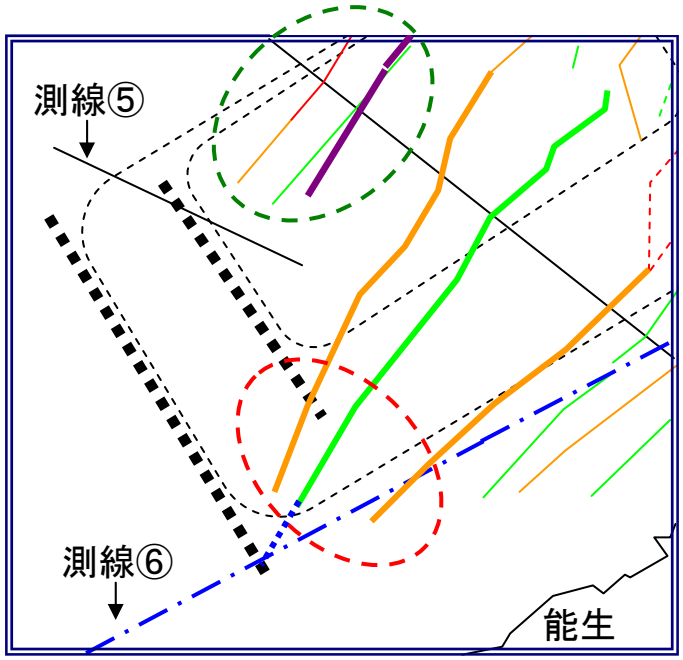
高田沖断層南端の考え方

4月18日時点
・測線⑤では、北東から続いている褶曲構造(図中の ⋯⋯ の部分)が確認されなかったため、ここを南端とした。

測線⑤の生データ



4月28日時点
・委員からの指摘を踏まえ、南東にある一番長い褶曲の延長部分(図中の ⋯⋯ の部分)と測線⑥の交点を南端とした。



- H15年時点の東京電力の評価
- 各褶曲群の評価①(H20.3)
- 各褶曲群の評価②(H20.4)
- 中越沖地震後の主な調査測線
- 石油公団による調査測線
- 逆断層
- 背斜軸
- 向斜軸

長岡平野西縁断層帯について

【審議のポイント①】
・長岡平野西縁断層は一本の長い断層なのではないか。

＜最新の審議の様子＞

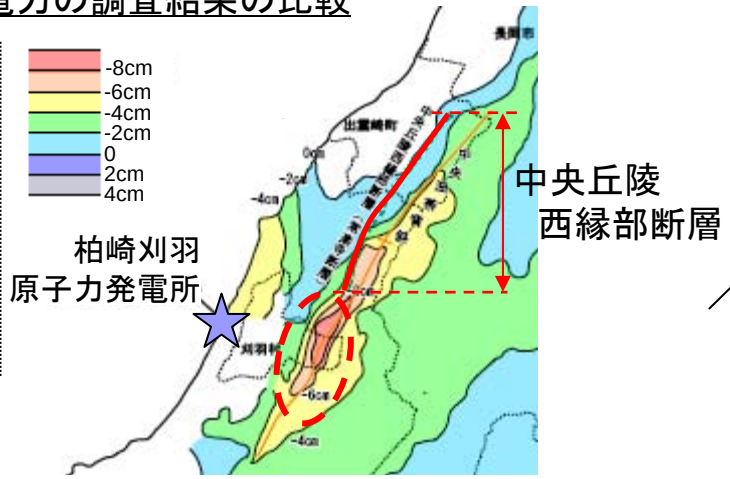
【東京電力】
・角田・弥彦断層、気比ノ宮断層及び片貝断層は、それぞれ個別の断層として評価。
・ただし、不確かさを考慮して、これらの断層の同時活動についても念のため考慮。長さは約90kmとした。
（4月28日の審議会での説明）

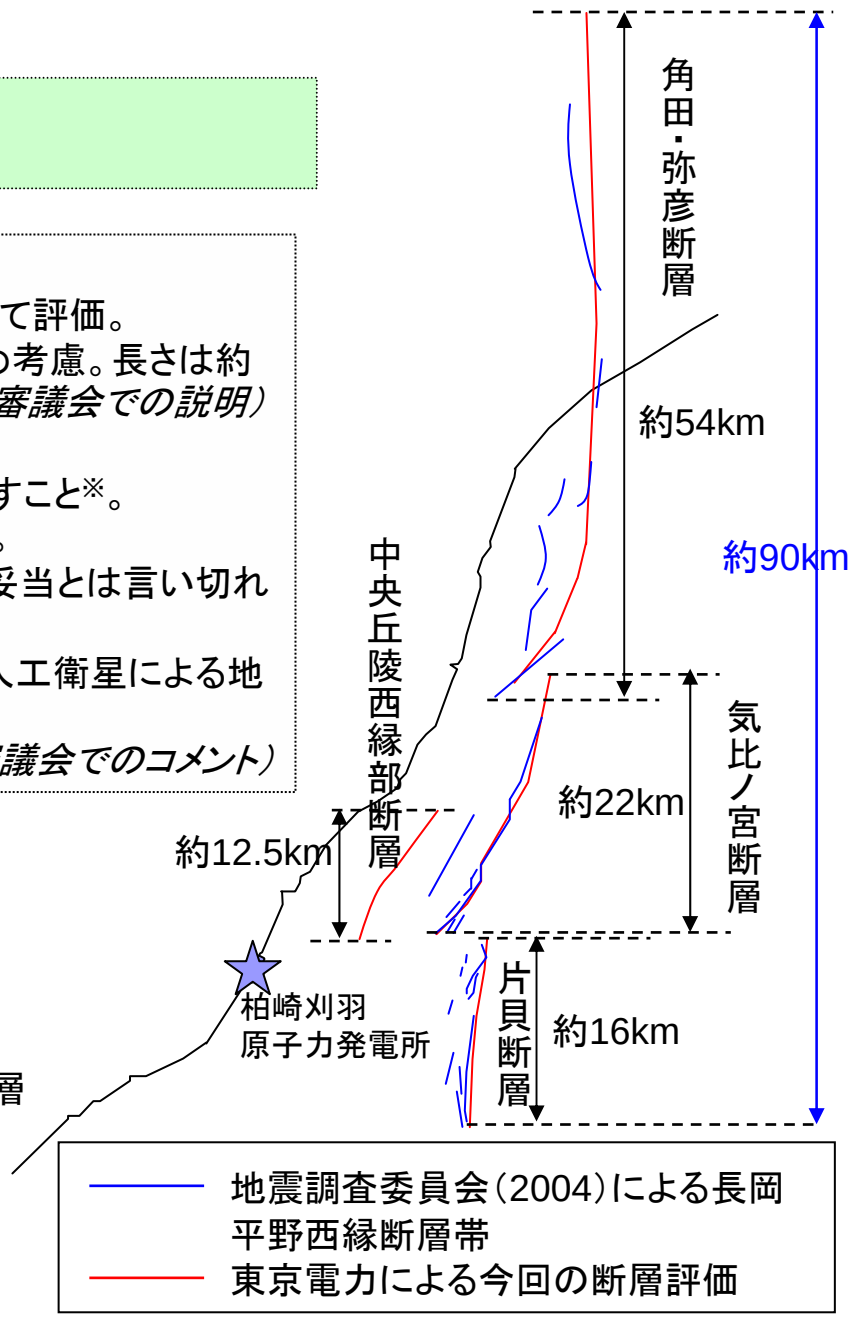
【委員】
・長岡平野西縁断層帯を個別の活動を起こす断層として区分する根拠を示すこと※。
・約90kmの断層とした場合、震源断層の位置はどうなるのかは大きな問題。
・片貝断層の南端については、すぐ隣の背斜構造の形成の説明がないと、妥当とは言い切れないのではないか。
・中央丘陵西縁部断層の南方延長における活動性評価は、国土地理院の人工衛星による地殻変動調査結果と整合していないのではないか。
（4月28日の審議会でのコメント）

※4月28日の審議会では、時間の制約により委員からのコメント提起を中心に行った。

国土地理院の調査結果と東京電力の調査結果の比較

（委員からの指摘）
・国土地理院の人工衛星による地殻変動調査結果を見ると、中央丘陵西縁部断層の南部も地殻変動が観測されている（図中 の部分）。





発電所敷地・敷地近傍の地質調査結果について

発電所敷地・敷地近傍における地盤変動の調査

調査の主な目的

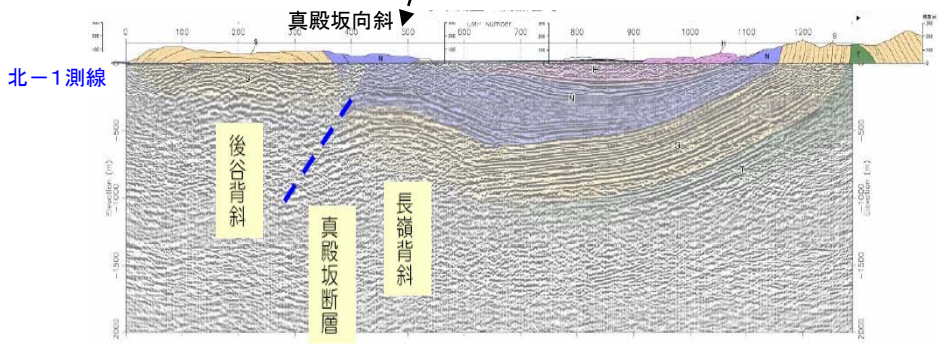
○敷地内の地盤変動、断層や亀裂の状況、西山丘陵の地盤変動の状況把握。
○西山丘陵の褶曲運動、真殿坂断層の活動の有無。
○施設の安全性に問題となるかどうかの確認。

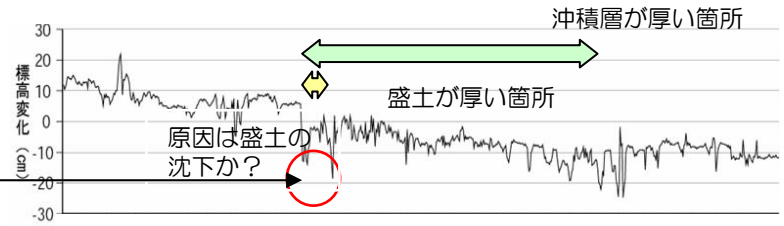
これまでの調査状況

○GPS測量（敷地及び西山丘陵）
○変動地形調査（敷地及び西山丘陵）
○地表地質調査（敷地及び西山丘陵）
○地下探査（敷地及び西山丘陵）
○航空写真測量（敷地及び西山丘陵）
○発電所内地形測量
○建屋水準測量
○水準測量（西山丘陵）
○断層（β、F-3）及び亀裂の調査　（敷地内）

今後の地盤変動の調査

○西山丘陵から柏崎平野にかけて、西山丘陵の褶曲構造とそれを覆う第四紀層との関係を調査し、褶曲の活動性を調査。
○発電所敷地においてボーリングによる真殿坂向斜付近の火山灰の分布標高を調査し、褶曲の活動性を調査。
○水準測量により認められた発電所近傍の変動箇所において、盛土・地質などを調査し、変動の原因、真殿坂断層の活動性との関係について調査。
○V系断層の掘削調査を行い、地震に伴う断層の活動の有無を調査。

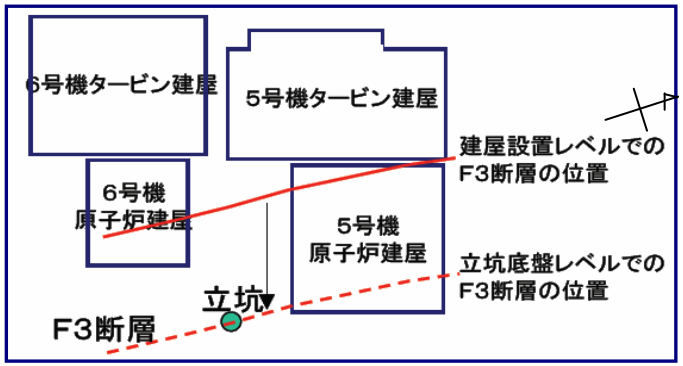




水準測量による地震前後の標高変化

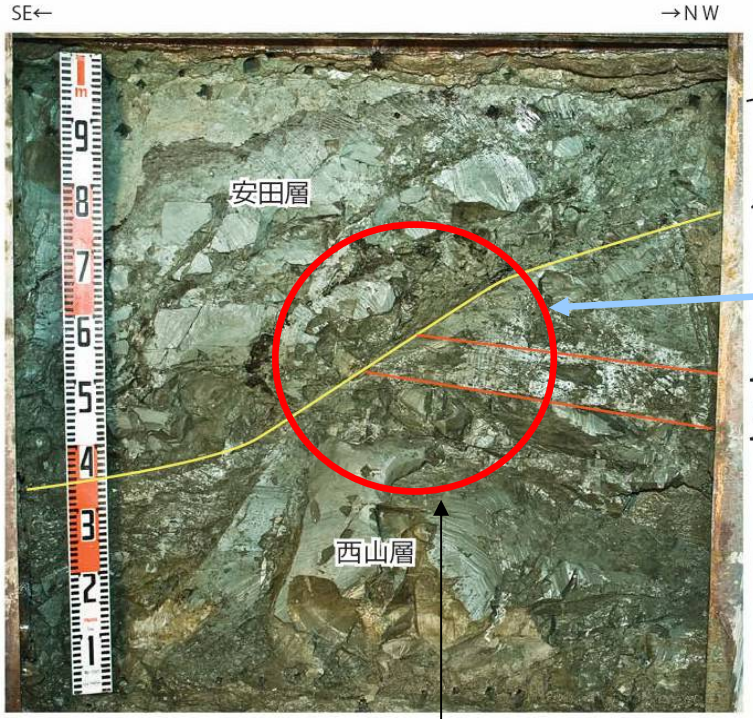
敷地内断層「F-3断層」の調査結果

- 安田層と西山層の地層境界に変位がないことから、今回の地震に伴ってF-3断層は動いていないことを確認。



[調査位置]

[調査位置]

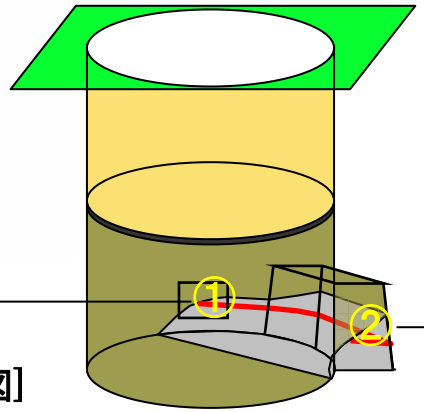


写真①

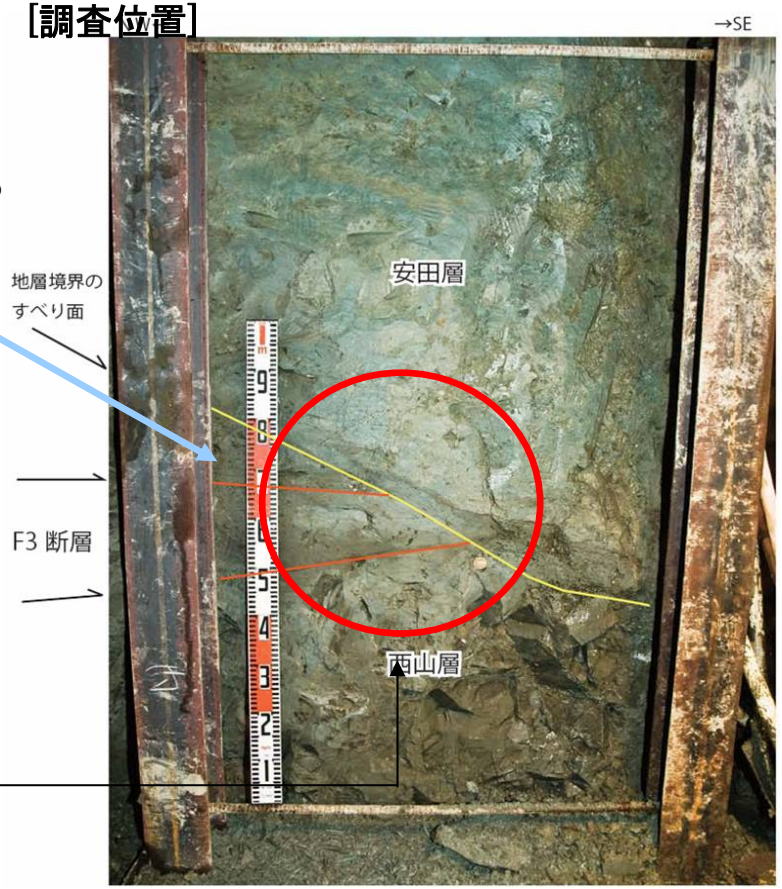
写真②

奥から手前に向
かって見たところ

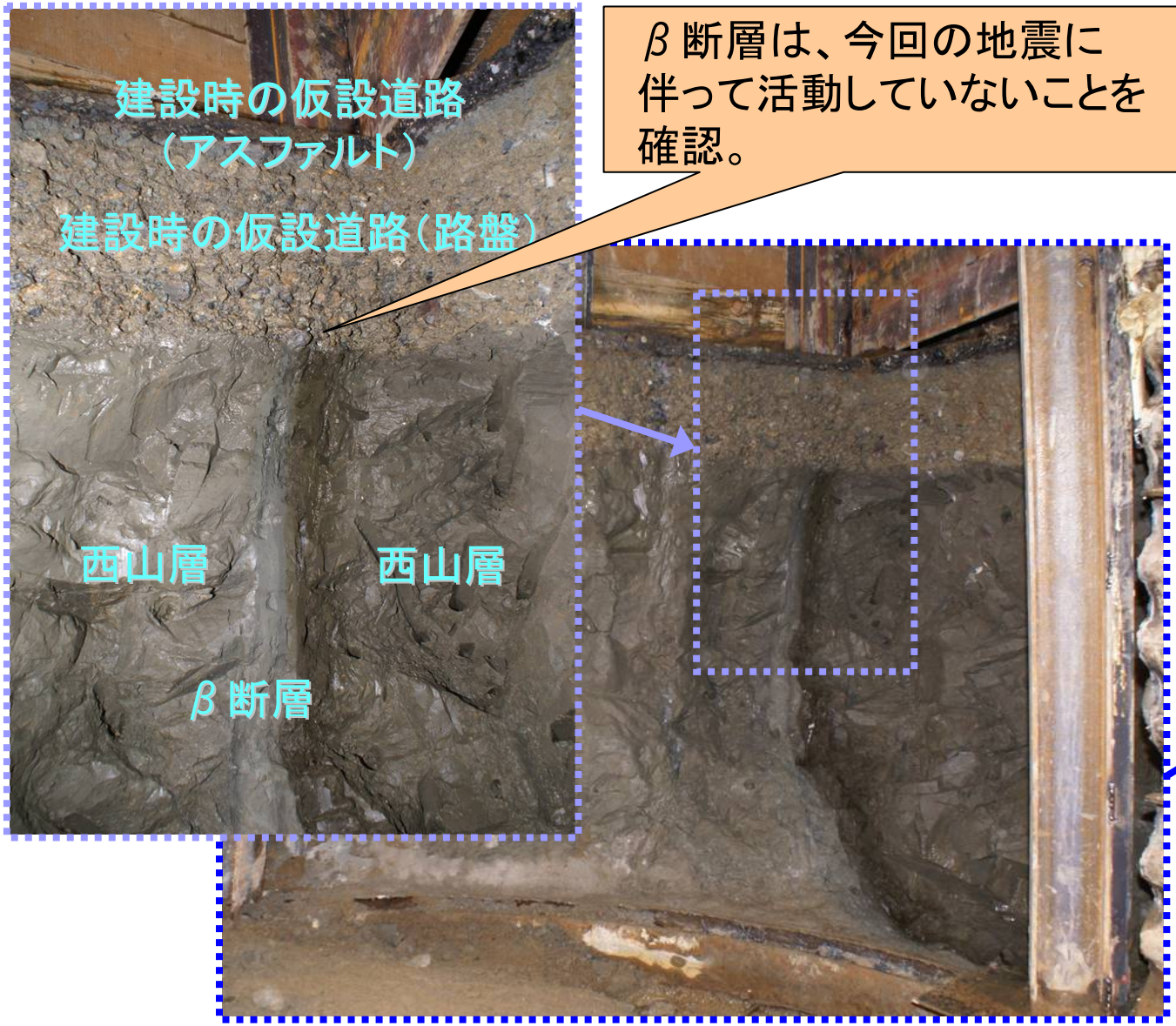
変位は見られない



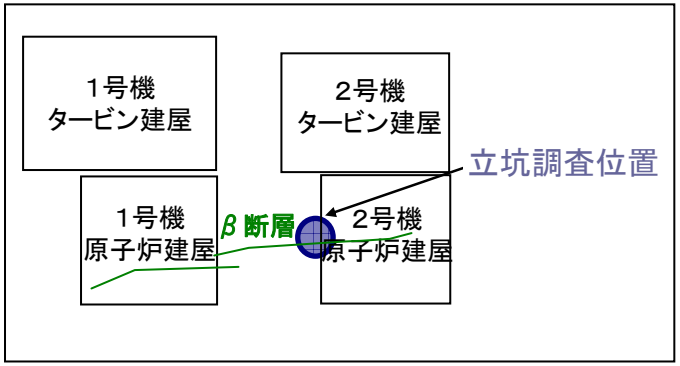
[調査の概念図]



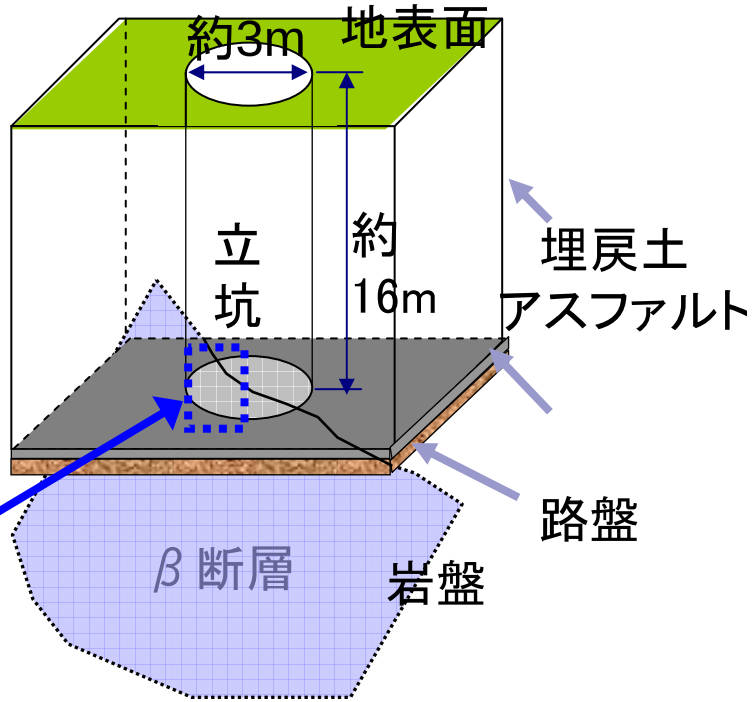
敷地内断層「β断層」の調査結果



β断層は、今回の地震に伴って活動していないことを確認。



[調査位置]



β断層立坑調査の概念図

保安院による現地調査について

実施日
平成20年1月25日（金）

実施場所
柏崎刈羽原子力発電所

参加者
耐震・構造設計小委員会WGより　5名
原子力安全・保安院より
川原　耐震安全審査室長　他2名

当日参加した地震・津波、地質・地盤合同WGの委員

氏　名	所　属
吾妻　崇	独立行政法人産業技術総合研究所活断層研究センター活断層調査研究チーム研究員
伊藤　洋	財団法人電力中央研究所研究参事
宇根　寛	国土地理院地理地殻活動研究センター地理地殻活動総括研究官
衣笠　善博	国立大学法人東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
吉中　龍之進	国立大学法人埼玉大学名誉教授

調査内容
1. 敷地内の地盤変状の状況調査
2. ボーリング調査で得た地質サンプルの状況調査
3. 敷地内の断層（β断層）が今回の地震で活動したかどうかを確認するための立坑調査

東京電力に対する主な指摘事項

1. 敷地内の地盤変状について
○断層だけでなく、広域的な全体の地殻変動の検討も重要。

2. ボーリングコアによる地質サンプルについて
○サンプルを用いて深さごとに地震波が伝わる速度等に関する試験を行うこと。

3. 立坑調査について
○β断層の表面に残っている断層のずれの方向を観察し、断層が形成された時期のずれの方向と異なる新しいずれがないかどうかを確認すること。

設備・建屋の健全性の評価について

地震後の設備健全性評価の全体的な流れ

地震発生

保安検査官による現場巡視等により確認

「止める、冷やす、閉じこめる」機能に係る緊急的な点検

冷温停止機能の確認終了（第4回WG：12/11）

保安検査官による現場巡視等により確認

外観目視等による通常の保全のための点検

炉内点検終了（2/19）

【サブWGの視点】

原子力発電所の安全確保の観点で、想定を超える**今回の地震を受けた設備が現時点で健全なのか**

号機ごとの点検・評価計画書の策定を指示（11/9）

点検・評価計画書策定

地震による影響に着目した詳細な点検

地震の影響を把握するための地震応答解析（安全上重要な設備）

健全性評価

今後策定される新しい基準地震動に対する耐震安全性は別途耐震・構造設計小委員会で検討

WG等の動き
保安院の動き
事業者の動き

7号機の設備健全性評価の経緯

平成19年11月　9日
　東京電力に号機毎の点検・評価計画の作成を指示

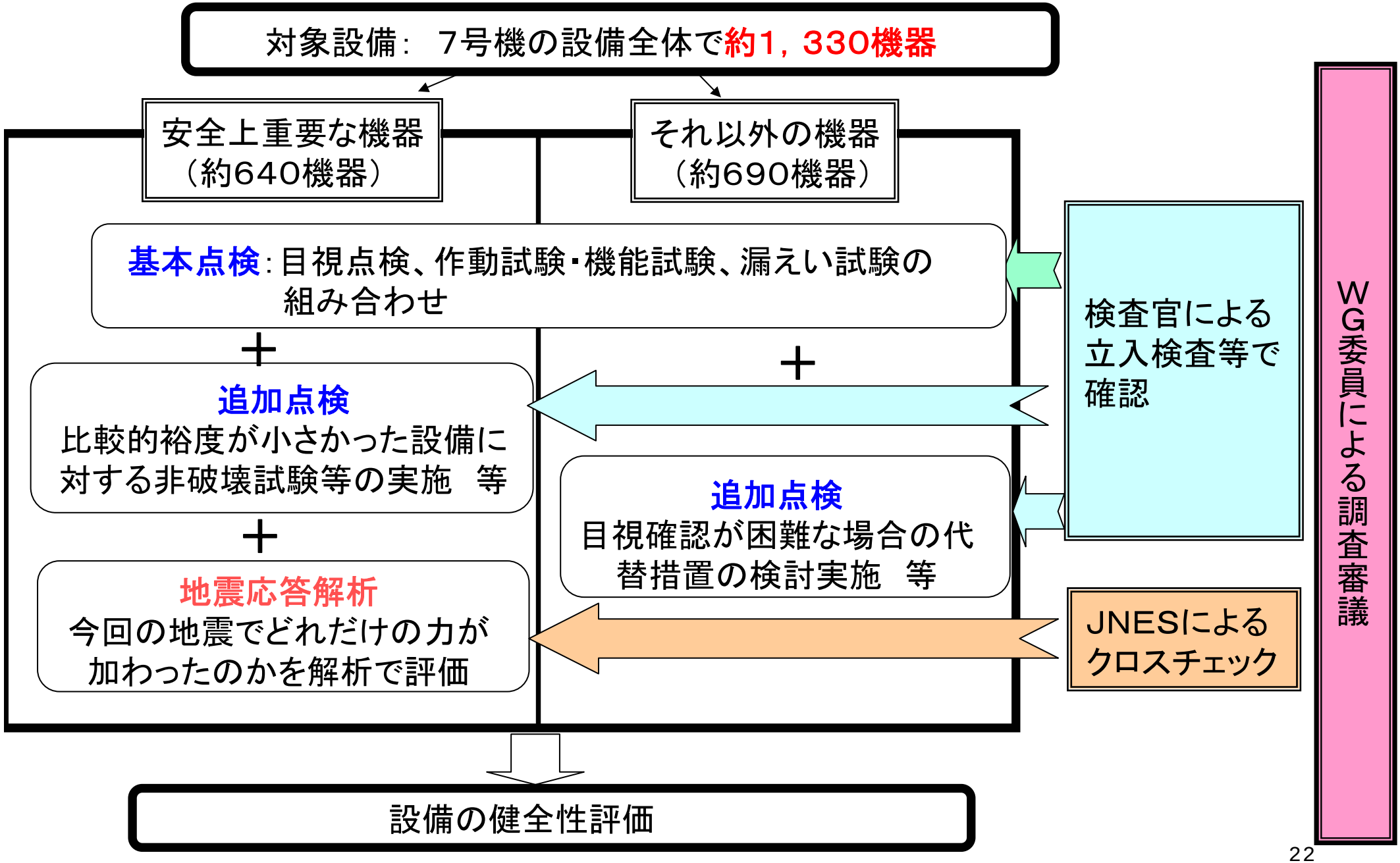
平成19年11月27日
　東京電力から7号機の点検・評価計画の提出

平成20年　1月22日
　7号機の詳細点検に対する保安院の立入検査を開始

平成20年　4月10日
　東京電力から7号機の健全性評価に係る中間報告の提出

平成20年　4月17日
　保安院として7号機の健全性評価に係る中間報告を取りまとめ、東京電力に追加作業指示

7号機の設備健全性評価の全体像



7号機における設備点検状況の確認

- 点検プロセスにおいて、東京電力における点検計画が、協力企業等への発注仕様書に適切に落とし込まれていること、東京電力が協力企業等による点検作業の実施状況を適切に監理し、点検結果を主体的に評価・取りまとめていること等を保安検査等を通じて確認した。
- 保安院は、これまでに実施した立入検査等により、協力企業等による現場での点検作業が東京電力からの要求を満たして行われていることを確認した。

（4／11現在）

	対象件数	立入検査 対象件数	立入検査 実施件数
機器数	約１，３３０	約３７０※1	約３２０ （うち４０を立会確認）
機種分類数	４０	３７※2	３１ （うち２２を立会確認）

※１ 安全重要度等に基づき選定した機器数。
※２ 冷凍機、ダンパ、空調ダクトの３機種は工事計画上の記載がないため対象外

主要機器に損傷は認められず、点検プロセスも適切に実施していることを確認

保安院による立入検査等の状況

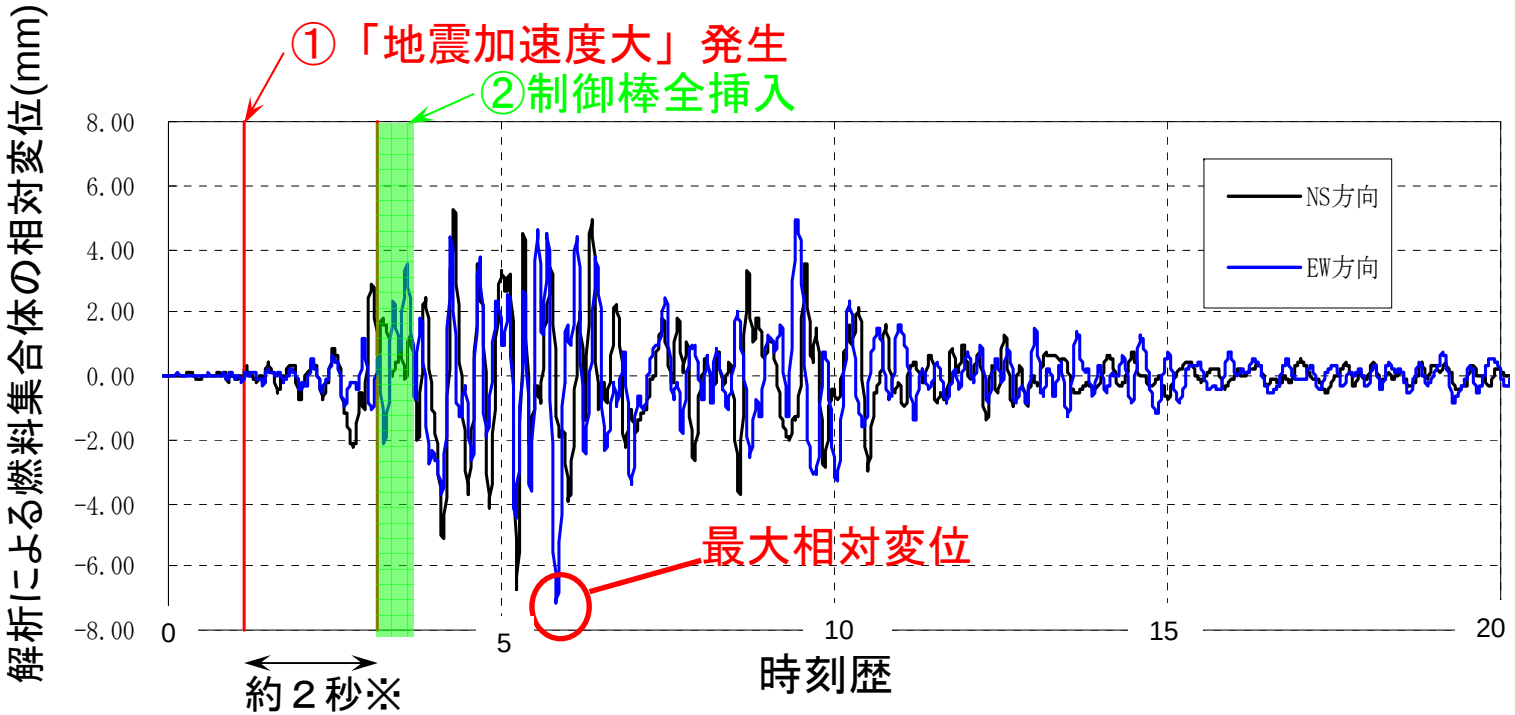
7号機における地震応答解析の確認

- 保安院は、(独)原子力安全基盤機構(JNES)において、独自に地震応答解析を実施したところ、解析結果が、許容応力(弾性状態を保つものとして規格で定められている。)を超えているものはないことを確認した。

【特に評価が厳しい部位における解析結果】

	東京電力の解析結果(MPa)	JNESの解析結果(MPa)	許容応力(MPa)
制御棒駆動機構ハウジング貫通部	68	74	98
原子炉冷却材再循環ポンプ貫通部	224	253	418
低圧注水ノズル	177	225	252
燃料取替機	204	237	241

7号機での制御棒挿入について



※中央制御室のプロセス計算機の打ち出しデータから、「地震加速度大」信号発生から制御棒全挿入までに要した時間を約2秒と推定。

解析による燃料集合体の最大相対変位	機能確認済相対変位
７．１mm	４０mm

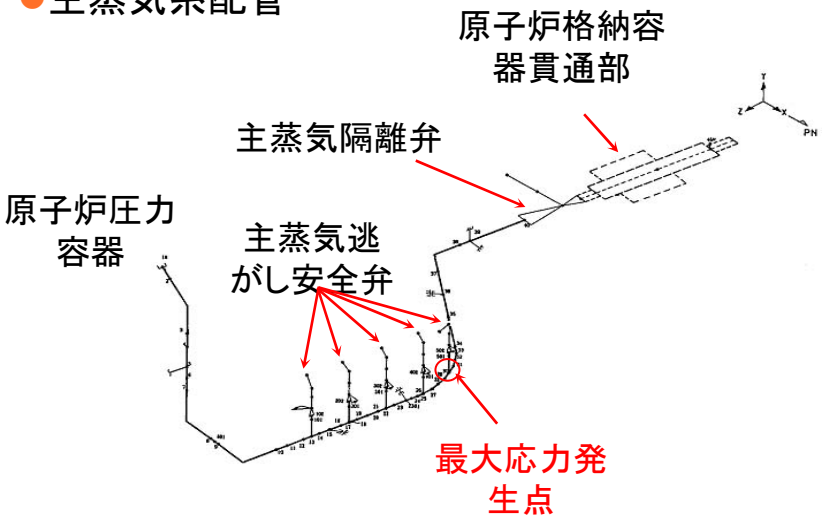
制御棒は燃料集合体が最大相対変位を生じる時刻よりも前に挿入されたと評価。また、解析により算出される最大相対変位は、機能確認済相対変位と比較し余裕があると評価。

なお、水圧制御ユニットにおける発生応力の解析値（36MPa）についても、基準値（211MPa）を下回ると評価。

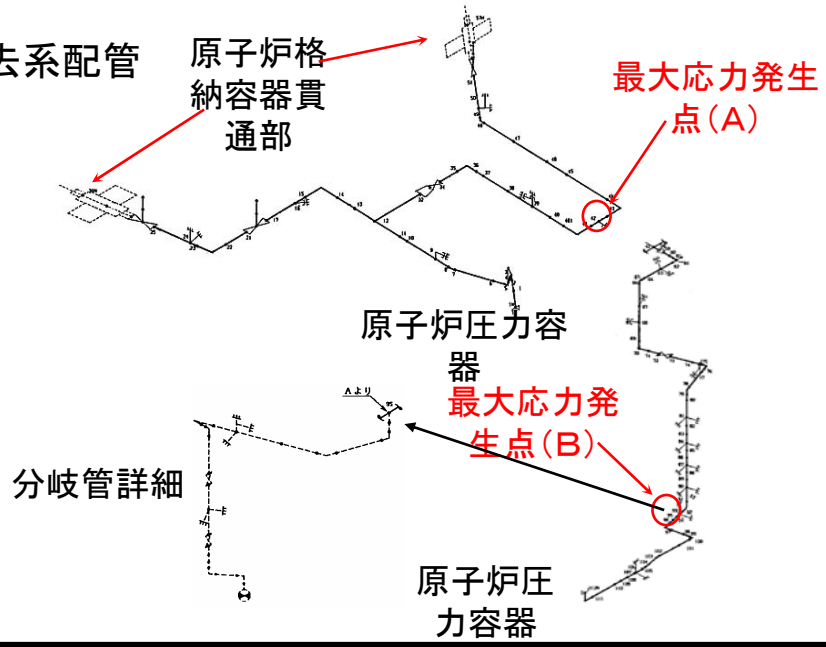
配管系算出値の修正について

- JNESが自らの解析結果と東京電力による解析結果に差異を確認。
- 調査の結果、東京電力が使用したコードの一部に誤りが見つかったため、東京電力は、関連する配管の解析を改めて実施。
- 保安院は他の電力会社も含め、当該誤りの影響の調査を指示。今後、再発防止対策や改善状況を確認していく。

●主蒸気系配管



●残留熱除去系配管

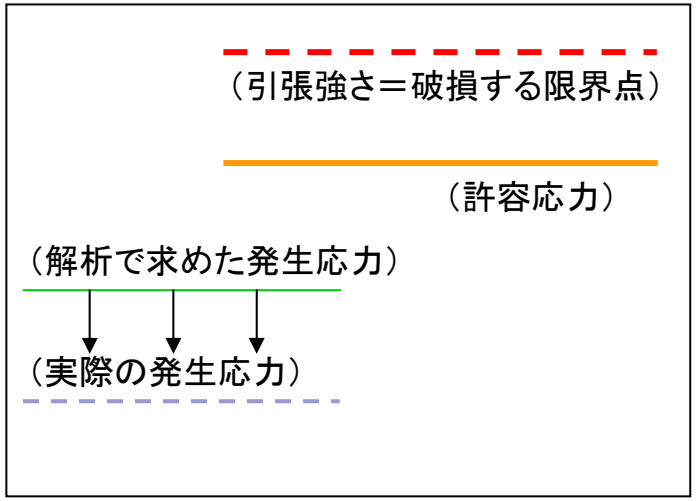


	解析値 (MPa)	許容応力 (MPa)	最大応力発生点
東電当初値	134	281	同じ
JNES解析値	159		
東電修正値	136		

	解析値 (MPa)	許容応力 (MPa)	最大応力発生点
東電当初値	199	274	A
JNES解析値	255		B
東電修正値	239		B

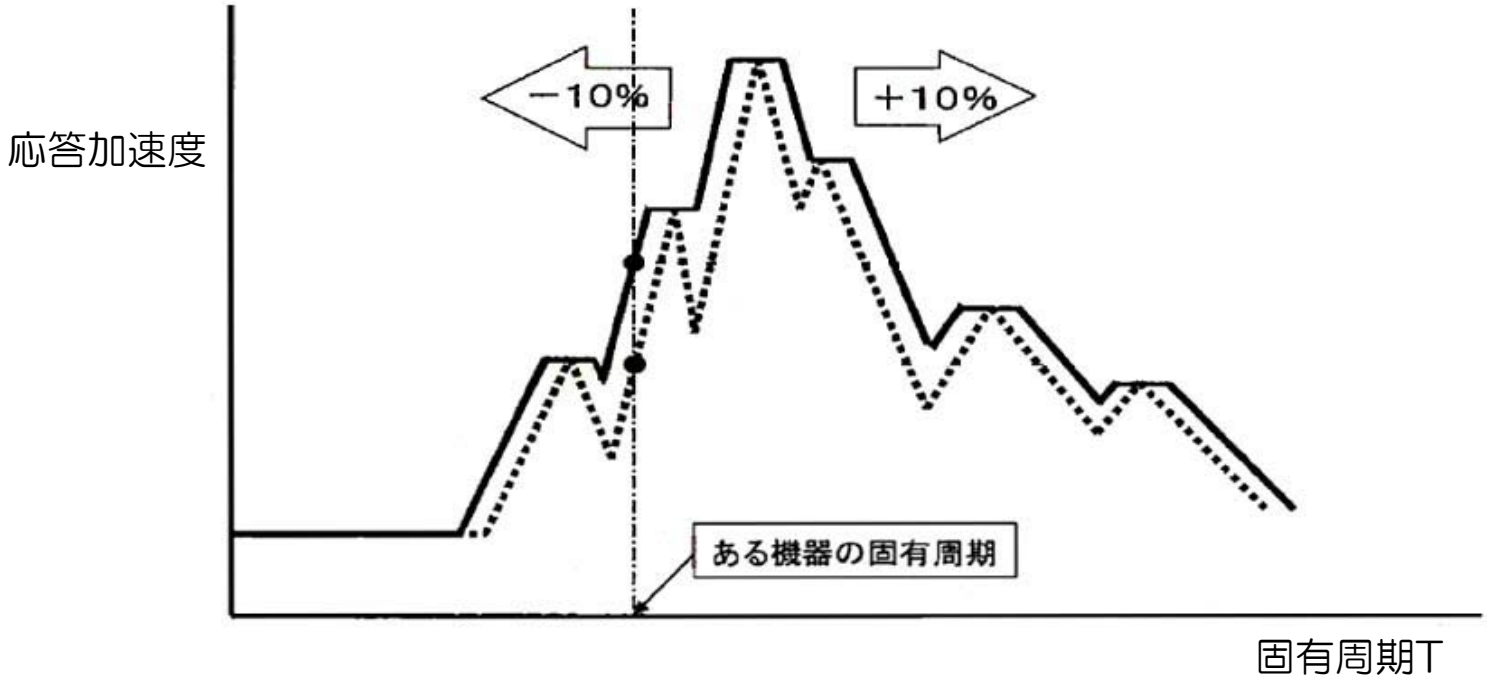
今回の解析で使用した、設計時と異なる条件について

- 設計時の解析手法は、さまざまな入力条件を保守的に設定している。
- 今回の健全性評価のための解析は、中越沖地震で実際に設備にかかった力を適切に計算で求めるものであるという趣旨に照らせば、実際の発生応力を下回ることが無い範囲で、なるべくそれに近い解析結果が得られることが望ましい。
- このため、最新の知見の反映として日本電気協会指針「原子力発電所耐震設計技術指針（JEAG4601）」の改定案に盛り込まれている内容等を採用することによって、地震による影響がより適切に把握可能となる。
- 保安院は、東京電力が解析にあたって使用した設計時と異なる条件が適切であると、専門家の意見も聞いた上で、厳格に確認した。



例：スペクトルモーダル法における床応答スペクトルの拡幅

- スペクトルモーダル法
  ⇒各モードの時間変化は考えず，設備の各固有周期の最大応答を取る
- 設計時には、建屋の解析で得られた床応答スペクトルを±10%拡幅したものから設備の各固有周期の最大応答加速度を求めている
  - 拡幅の根拠⇒床応答スペクトルに影響を与える因子の変動等をカバーできる
- 今回の解析では、観測波を用いたシミュレーションによる地震動で評価（観測波が測定された最地下階と中間階は観測波を使用）しているため、拡幅を行っていない。



例：配管系の解析における保温材による減衰の割増

- 物体の振動は徐々に小さくなっていく（減衰）ものであるが、この減衰の度合いを表す数値として、減衰定数という値がある。この値が大きくなると、早く揺れが収まる。単位は％。
- 減衰定数は、実験データに基づいて小さめの値となるように規格が定められている。これは、減衰定数を小さめに定めることは実際よりも揺れが収まりにくいと仮定することであるため、設備がより強くなるよう設計しなければならなくなるからである。
- 保温材が配管に付けられている場合、振動によるエネルギーを保温材が吸収することによって、早く揺れが収まる傾向がある。この保温材による減衰の割増分（付加減衰定数）について、振動試験によって得られたデータに基づき、原子力発電所耐震設計技術指針において、従来は０．５％と定められていたが、新しい改訂案では最新の試験データの蓄積を反映した結果、１％と定められている。
- 改定案の新しい数値を適用することによって、より実際の値に近い解析結果が得られるようになる。

保安院による評価

以上により、7号機の安全上重要な設備のうち、現時点で評価が終了している設備の健全性については維持されているとする東京電力の評価は、妥当なものであると評価

保安院は、健全性評価をより確実なものとするため、以下の追加検討を指示

- ✓地震応答解析の結果、比較的裕度が小さかった設備に対する、非破壊試験等の追加点検の実施
- ✓東京電力が当初解析対象としていなかった部位のうち、JNESによる調査の結果、比較的裕度が小さいと想定される部位に対する追加的な解析の実施
- ✓地震応答解析が行われない安全上重要な設備に該当しない設備について、外観目視による確認が困難な場合等の代替措置の検討・実施
- ✓状態監視技術による地震前後のデータ比較の実施
- ✓配管系解析の誤りに対する再発防止対策の検討・実施　等

今後、これらの追加指示に対する検討結果、残りの設備についての評価結果等を踏まえ、保安院として最終的な評価を取りまとめる予定

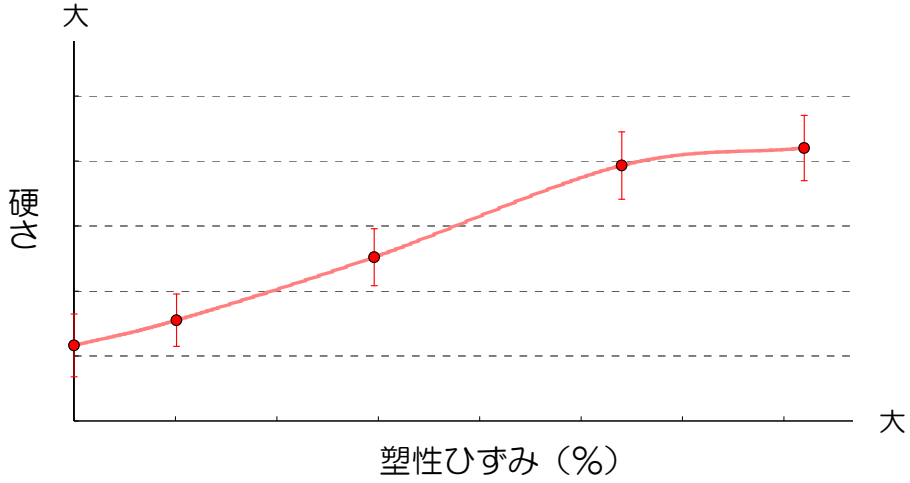
追加点検の例（硬さ測定）

- 保安院は地震応答解析の結果、比較的裕度が小さかった設備に対する、非破壊試験等の追加点検の実施を求めている。

- 東京電力は、塑性ひずみの有無を確認するため、配管の硬さ測定等を開始した。

＜硬さ測定の原理＞
- ✓ ダイヤモンドでできた硬いピラミッド状の測定器の先端部を材料表面に一定の力で押付け、材料についた圧痕の寸法から硬さを評価
- ✓ 塑性ひずみがあると材料が硬くなることから塑性変形の有無を評価

- 保安院は、東京電力による硬さ測定の実施状況について、立入検査によって確認を実施している。



塑性ひずみと硬さの相関のイメージ

硬さ測定の様子（例）

東京電力の健全性評価作業に対する保安院の指示・確認

原子力安全・保安院

保安検査等

・適切な品質保証体系の下で設備点検の進捗管理等が実施されていることを確認。

・協力企業等に対して、設備点検の方法を含めた適切な発注がなされていることを確認。また、現場で使用される施工要領書まで適切に要求事項が反映されていることを確認。

ヒアリング等

・損傷形態の分析や点検方法の設定の適切性を確認。

・損傷形態に照らして検知に不適当な点検方法の修正や既知の損傷事例を考慮した修正等を指導。（対応済）

・安全上重要な設備以外について追加措置の検討を指示。

立入検査等

・保安院による確認対象となる37機種に対して、安全上重要な設備のうち地震による影響が出やすい設備を中心として、代表的な設備を選定。（安全上重要な設備の約半数、全設備の約3割相当）

・立入検査等によって東京電力による設備点検の実施状況を確認。

（4/11現在）

	検査実績	対象数
機種分類数	31	37※
機器数	320	370

※3機種は工事計画上の記載がないため検査対象外。支持構造物等は機器本体とともに確認していることからカウントせず。

・点検状況は概ね妥当だが、要領書の内容等に一部改善すべき点があったため指導。

ヒアリング等

・代表選定の考え方は概ね妥当だが、一部追加的に解析を実施すべき設備を指摘。

・使用した設計時と異なる条件は、最新の技術的知見の適用や現実の状態の考慮によるものであるため適当。

・スペクトルの不確実性に関する追加検討を指示。

独自の解析等

・約80設備について（独）原子力安全基盤機構（JNES）において独自に解析等を行い、東京電力の解析結果を検証。

・JNESの解析結果と東京電力の解析結果に不整合があったため、東京電力に対して詳細な調査を求めた。（東京電力は解析結果を訂正。）

ヒアリング等

・7号機は配管減肉に関する測定が過去に実施されていないことから、測定を実施することを確認。

・疲労評価にあたって、本震だけでなく、余震も考慮すべきことを指摘。（反映済）

ヒアリング等

・点検結果と解析結果が適切に踏まえられていることを確認。

・不適合の評価について、耐震クラスが低い設備の不適合も評価して水平展開することを指導。（反映済）

東京電力

設備点検

管理面

・発電所長を主査とするプロジェクト推進会議の下で、設備保守担当GMが中心となって管理。

・実際の点検作業は協力企業等が実施、東京電力が監督。

点検方法等

・設備を地震によって受けると想定される影響が類似している機種に分類。（40機種）

・想定される損傷形態を検知できるように点検方法を設定。

個別の点検

・各設備について点検を実施。

（4/10現在）

	点検実績	対象数
目視点検	1,140	1,320
作動試験等	740	980
漏えい試験	210	570
基本点検全体※	780	1,330

※当該設備について実施する必要がある点検の実施項目が完了しているもの。

地震応答解析

解析方法等

・解析対象である約700設備のうち、工事計画における解析結果を元に、代表設備として約130設備を選定。

・一部に設計時と異なる解析条件を適用。

個別の解析

・原子炉建屋内の約100設備に関する解析を実施。

・上記JNES指摘に対応した調査の結果、配管の解析に誤りがあったため、一部結果を訂正。

その他

経年劣化の考慮

配管減肉、疲労等について今後調査を実施して解析等に反映予定。

総合評価

・点検結果と解析結果を踏まえた評価を実施。

・発見された不適合について、地震の影響かどうかも含めて調査・対策を実施。

原子炉建屋の健全性に関する調査・評価　－経緯と今後－

平成19年11月　保安院から各号機の点検・評価計画書の提出を指示。

平成20年2月　東京電力は7号機について点検・評価計画書案を提出。

平成20年3月　東京電力は7号機について耐震壁のひび割れ点検結果を提出。最大幅は0.3mmであり、重大な損傷としている1.5mm幅を下回っていたと報告。

審議会の様子（平成20年4月18日）

○実際の点検や評価に対しては、**専門家による審議**や**現地調査**を通じて、内容の妥当性等を確認。

【これまでの開催実績】
- 耐震・構造設計小委員会　構造ワーキンググループ（2月6日、3月11日、3月26日、4月18日）
- 原子力安全・保安院による立入検査　（2月28日）
- 委員及び保安院職員による現地調査　（3月11日）

○指摘内容については、各審議会で東京電力から回答を受けているところであり、次回審議会ですべての回答が提出される予定。

現地調査の様子（平成20年3月11日）

平成20年5月　指摘を踏まえ、実施した点検・評価結果が、東京電力から提出される予定。

引き続き現地調査を実施し、評価内容について、厳格に評価していく。

原子炉建屋の健全性に関する調査・評価　－経緯と今後－

指摘内容の例
・ひび割れをその幅に応じて細かく区分して調査結果を整理すること。 *（2月6日の審議会）*
・現在の説明では、東京電力が示した「地震によって発生したひび割れ」と「コンクリートの乾燥収縮によるひび割れ」の区別が妥当であると判断できないものもある。そのため、ひび割れを点検する際に使用した点検図と、各ひび割れの評価理由を提出すること。 *（2月28日の保安院による立入検査）*
・従来のひび割れ管理と今回のひび割れ管理についてはかなり丁寧な説明が必要。特に0.3mm、1.5mmの根拠も説明すること。（下記参照） *（3月11日の現地調査）*
・今後、新たな基準地震動による評価を行うことを考慮すると、非耐震壁のひび割れについても調査しておく必要がある。 *（3月11日の現地調査）*

東京電力によるひび割れの定義※1

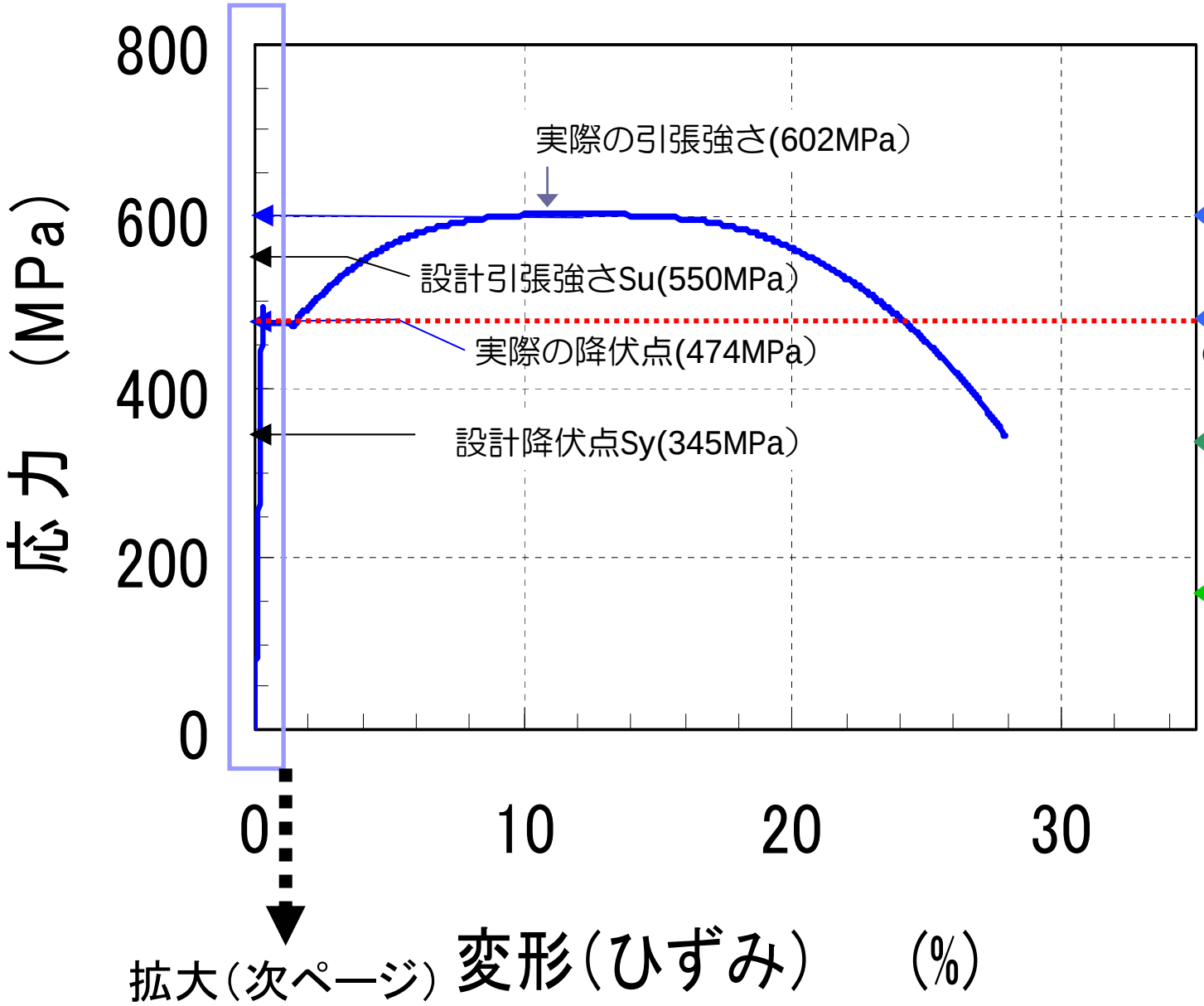
0.3mm　：　耐久性の観点から、日本建築学会や日本コンクリート工学協会の既往指針類の許容値を参考として、0.3mm以上のひび割れは「記録の対象」として定義。

1.5mm　：　EPRI※2の「地震によるコンクリート構造物への影響評価について」を参考として、1.5mmを超えて新しく地震によって生じたひび割れは「重大な損傷」として定義。

※1　この根拠については更なる詳細説明が委員から求められており、次回審議会で説明される予定。
※2　EPRI：Electric Power Research Institute　米国電力研究所。

設備に発生する応力の解析に関する参考資料

応力ー変形（ひずみ）線図と設計強さ（低合金鋼※）



※SFVQ1A、
圧力容器に使用
試験温度：室温
＊設計引張強さなども室温の値。

引張強さ
（破損する限界点）

降伏点
（ここまでは弾性状態）

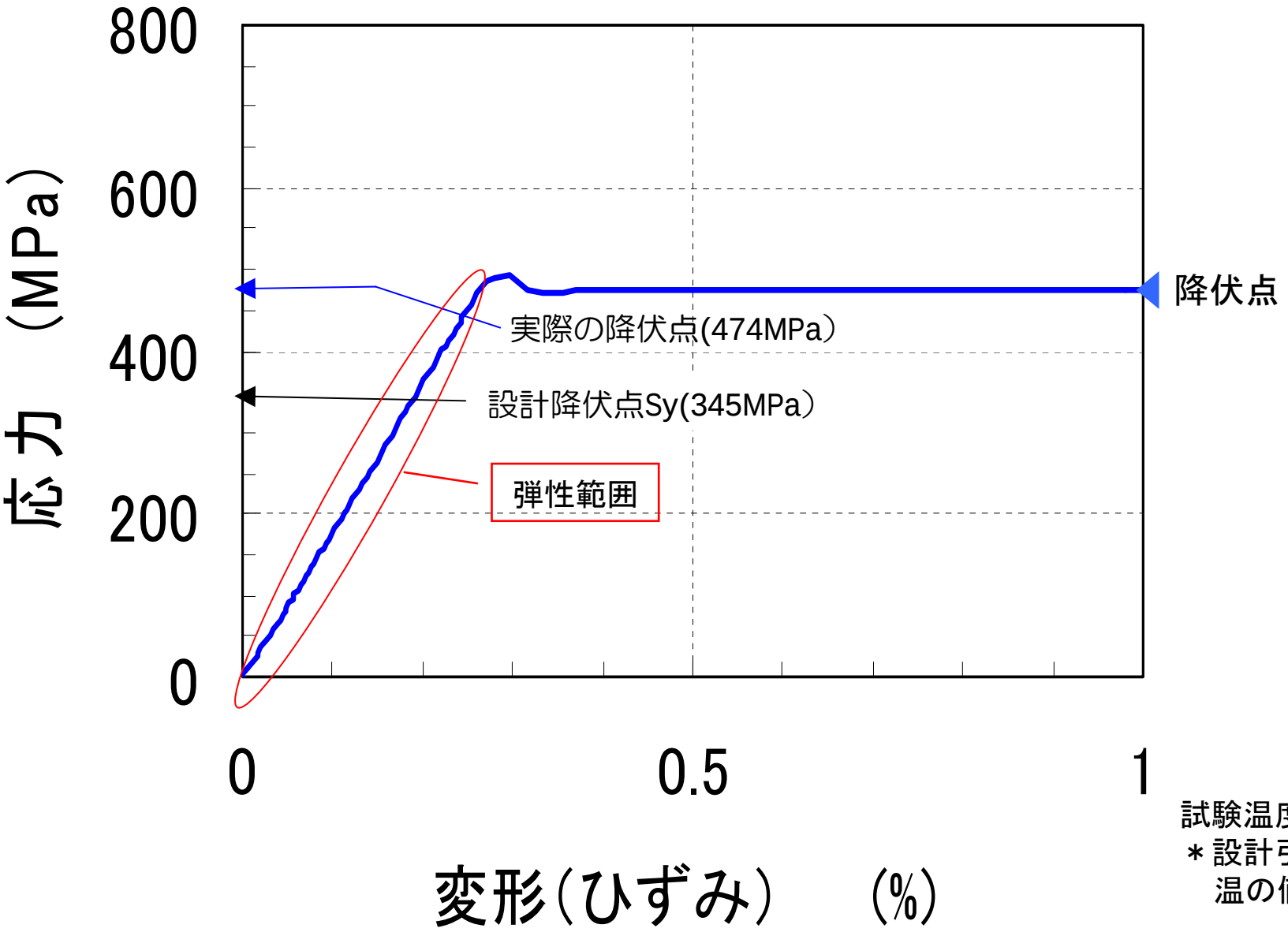
規格がもつ余裕

許容応力
（規格で決めてある。）
（弾性状態に保つなら発生応力がこれを下回るように設計）

発生応力
（設計上）

設計による余裕

応力ー変形(ひずみ)線図と設計強さ(拡大図)



試験温度:室温
＊設計引張強さなども室温の値。

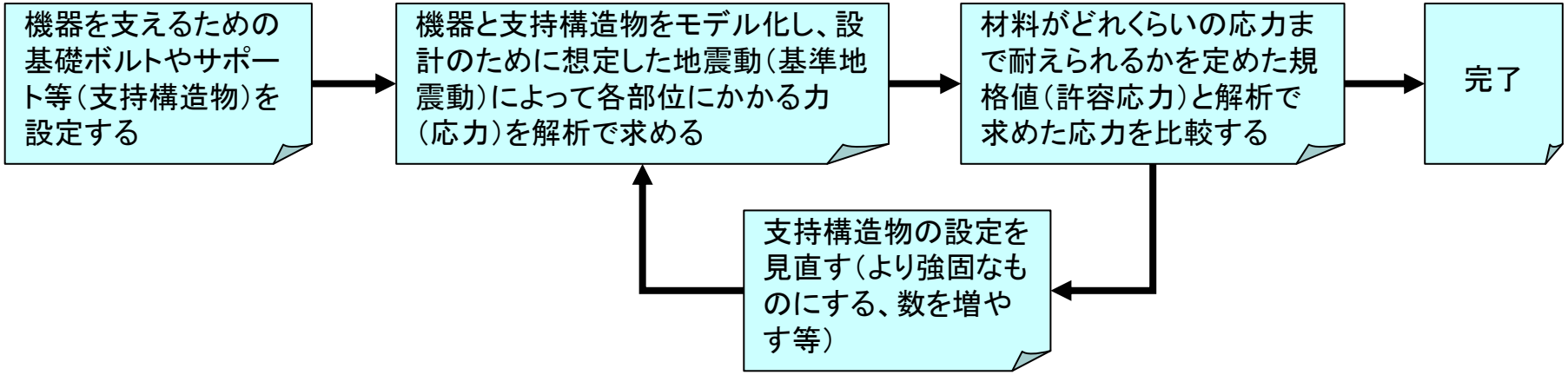
機器の構造設計・耐震設計はどのように行うのか

構造設計

- 内部の流体の圧力に耐えられなければならない
- 使用する時に想定される最高温度まで使えなければならない
- 機器が作動する時に加わる力に耐えられなければならない
- 自らの重さに耐えられなければならない
- 放射線を十分に遮へいできなければならない

➡ 機器の使用される環境等の条件から、使用する材料、部材の厚さ、構造等を決める。
原子力設備の場合、厳しい圧力、温度条件等に耐えられるように、堅牢に設計される。

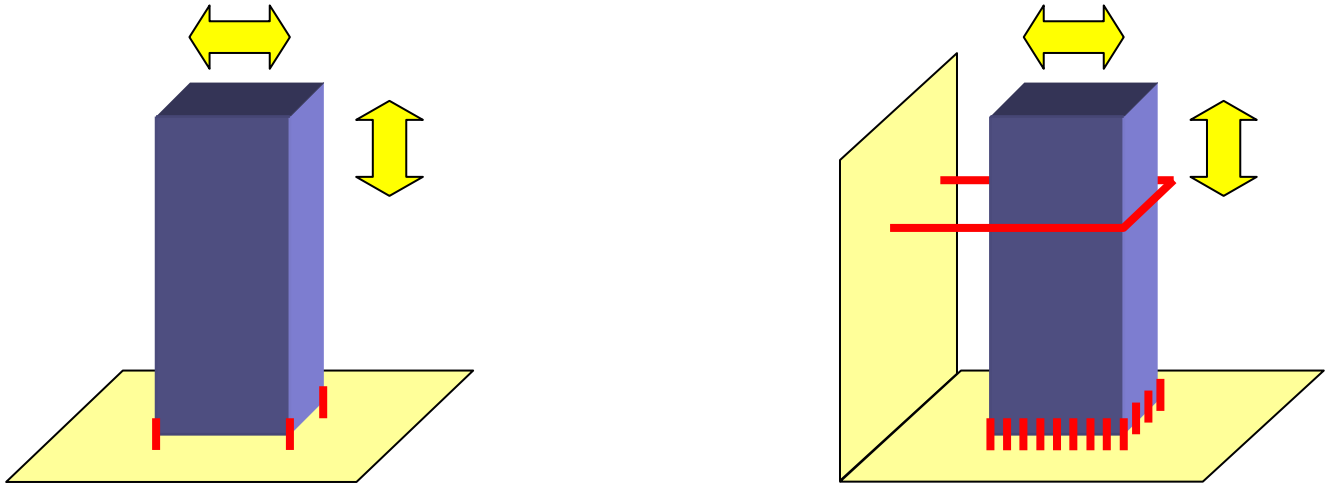
耐震設計



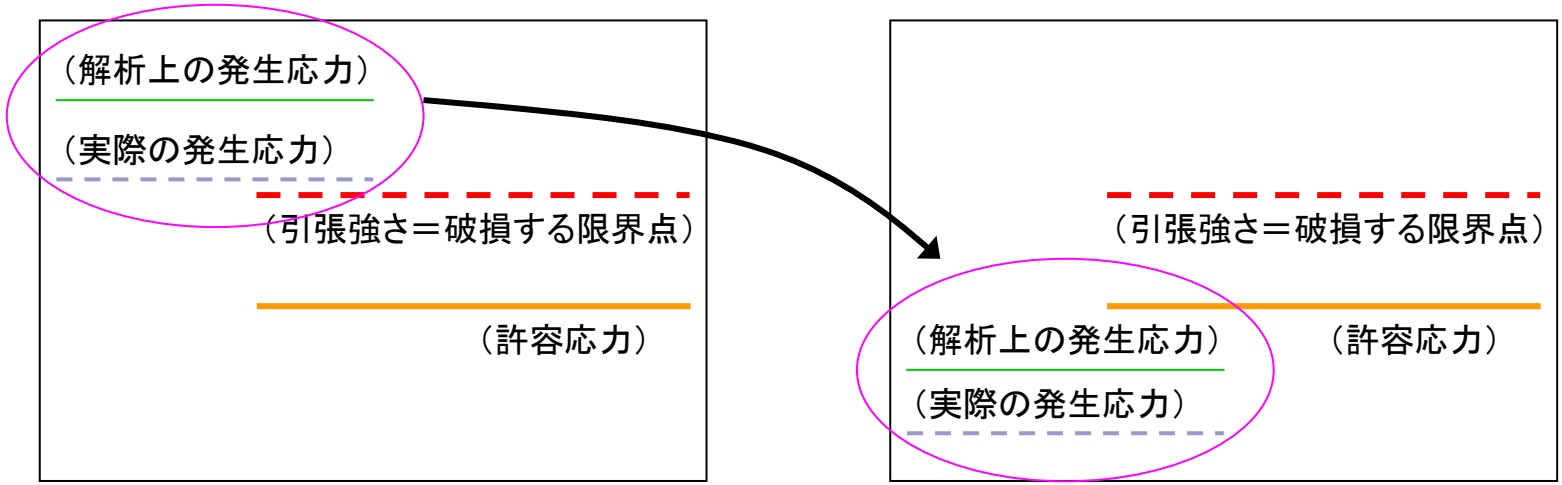
➡ モデル化の仕方、地震動の想定、解析時の変数、材料の許容応力など、各段階で保守性を確保するように設計する。

たとえば・・・

床の上に機器を設置する場合、



基礎ボルトの数を増やしたり、揺れ止めを設置すれば、同じ大きさの地震力がかかったとしても、それぞれの基礎ボルトにかかる力は小さくなる。



基礎ボルトの数が足りないため、地震に耐えられない　→　設計を変更

基礎ボルトの数を増やし、地震に耐えられるようにした　→　設計完了

- 設備には、地震による以外にも力がかかる。
  - ✓ 内圧が支配的なもの（原子炉圧力容器　円筒胴）
  - ✓ 地震力が支配的なもの（基礎ボルト）
  - ✓ 地震力・内圧が同等程度なもの（主蒸気系配管）

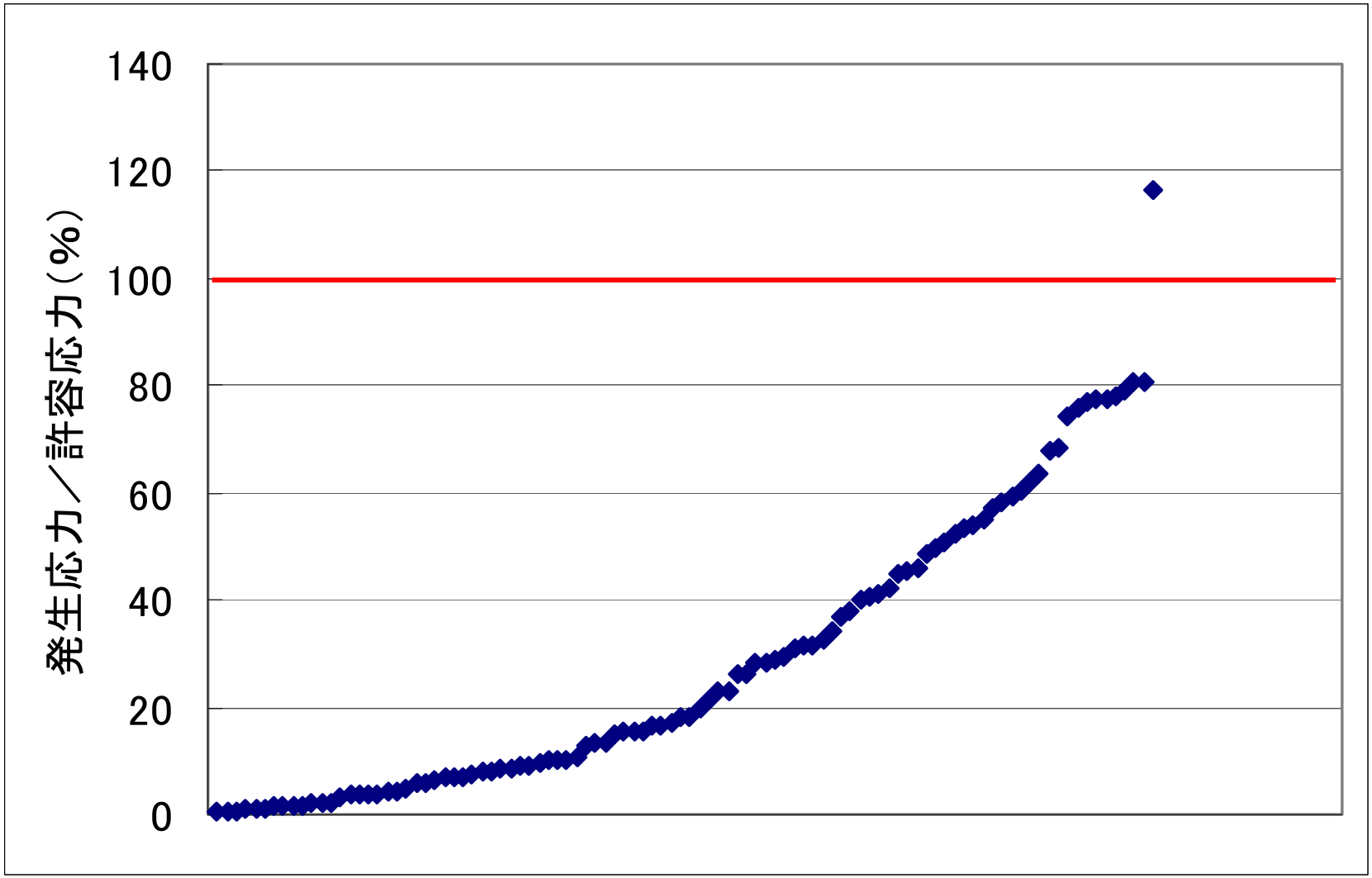
工事計画認可時の解析における発生応力（2／6サブWG資料から）

機器	部位例	部位にかかる荷重※1			発生応力※1	余裕※1
		自重等	圧力	地震力		
原子炉圧力容器	円筒胴	1	30	2	33	67
	基礎ボルト	5	－	20	25	75
主蒸気系配管		30	15	20	65	35

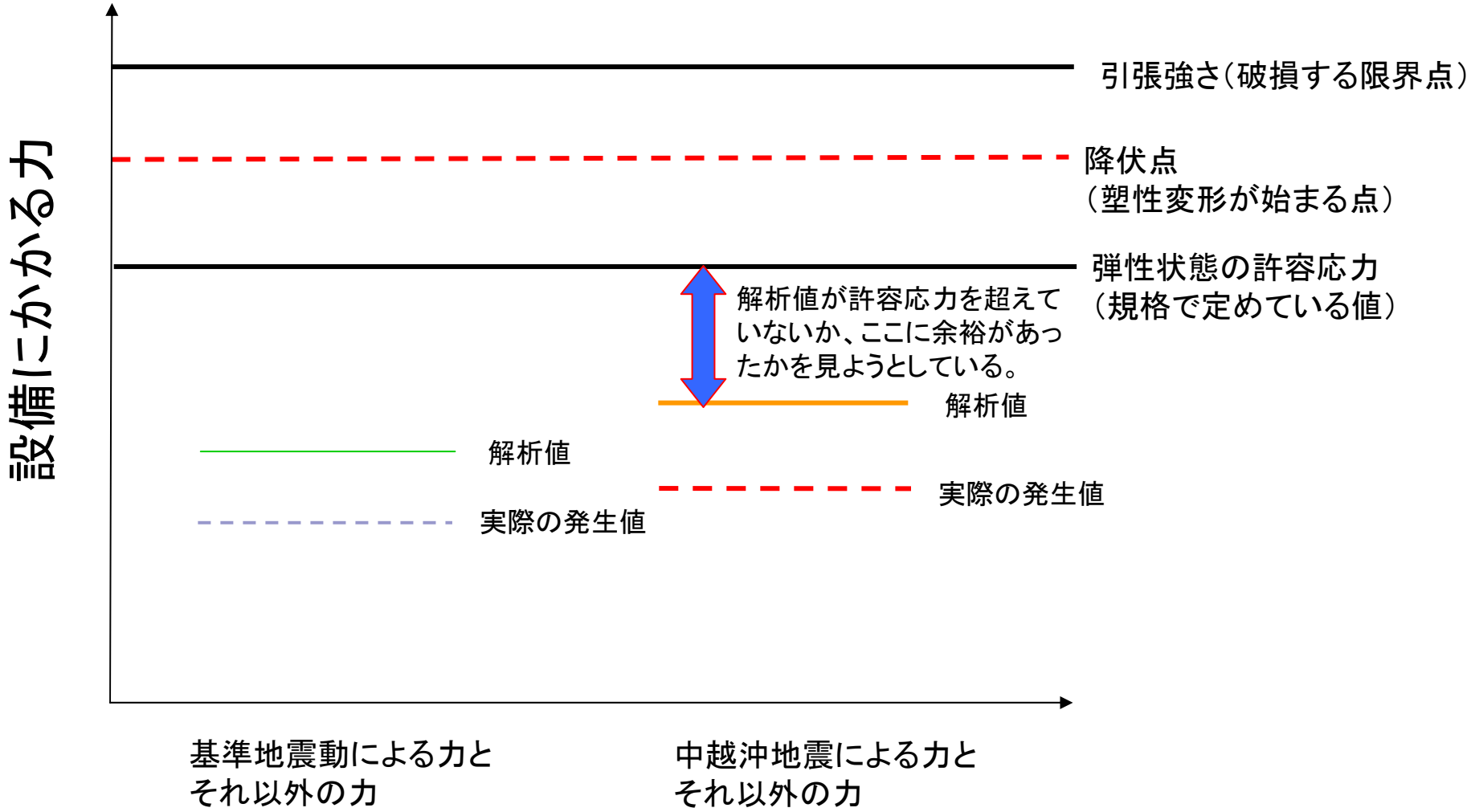
※1　許容応力を100とした場合の応力の割合（%）

設備の余裕の状況

- 工事計画認可申請時の解析による発生応力と規格による弾性状態の許容応力との比（解析が終了している100設備について）



今回、解析で見ようとしているのは、・・・・・

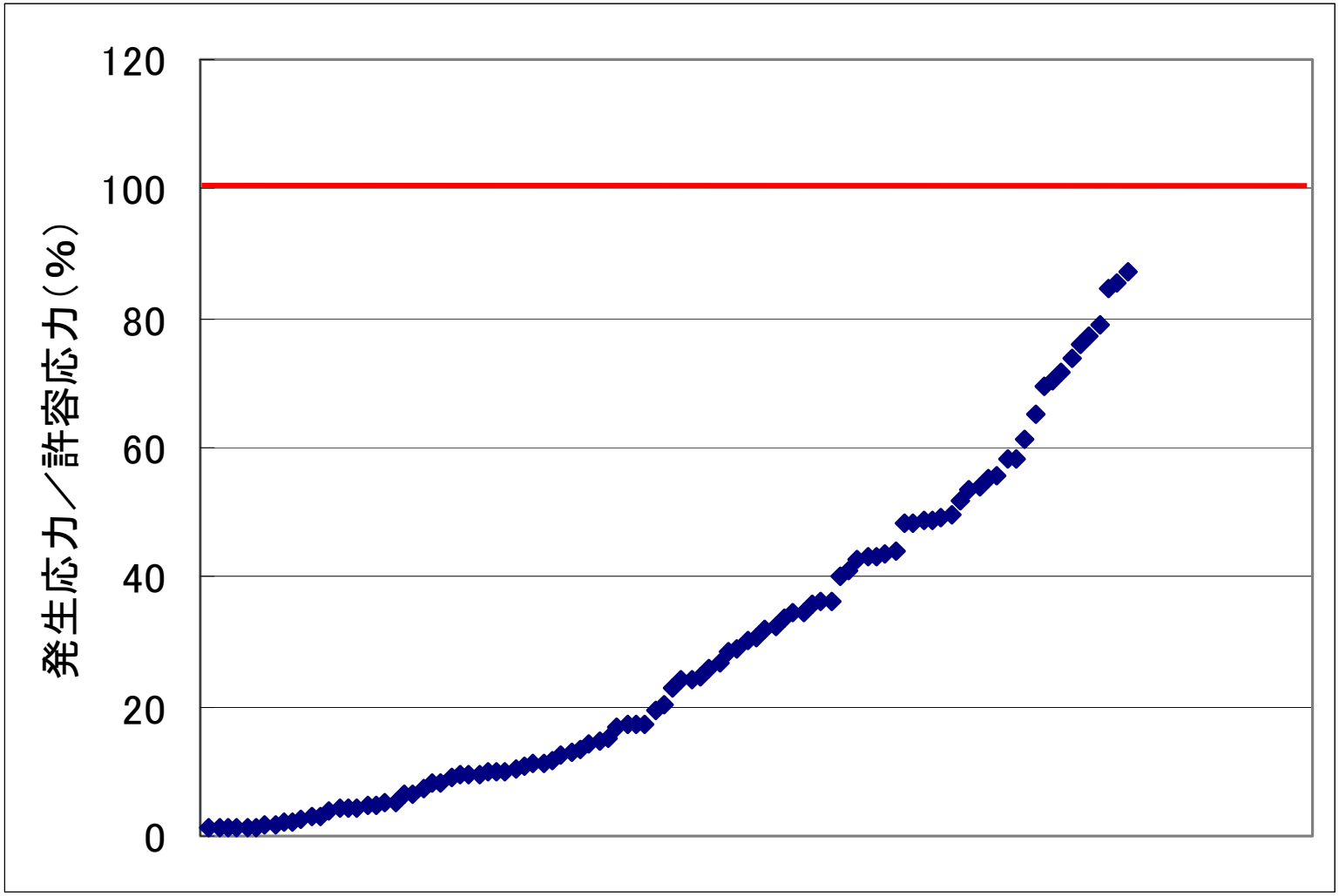


設備にかかる力の解析例

設備	部位	応力分類	工事計画認可申請書上の発生応力（N/mm²）	中越沖地震による発生応力（N/mm²）	許容応力（N/mm²）	材料
原子炉圧力容器	円筒胴	膜	154	177	303	SFVQ1A（低合金鋼）
	基礎ボルト	引張	115	115	499	SNCM439（ニッケルクロムモリブデン鋼）
主蒸気系配管		一次	219	136	281	STS480（炭素鋼）

中越沖地震時に設備に発生した応力（弾性状態の許容応力に対する比率）

- 中越沖地震の地震動を使用した解析による発生応力と規格による弾性状態の許容応力との比（解析が終了している100設備について）



まとめ

- 地質・地盤関係
  - 委員会、WGの専門家が、地質調査データを検分した上で、活断層の長さなどの読み取りが妥当か厳しく審議
  - 敷地、近傍の地盤変動についても今後審議
  - 今後、今回の地震の揺れが大きかった要因の分析、新たな基準地震動の検討に進む
- 健全性評価
  - 点検作業に対する検査、原子力安全基盤機構（JNES）によるクロスチェックを通じ、東電の行っている健全性評価作業を検証
  - JNESのクロスチェックにより、計算コードの間違いを発見
  - これまでのところ、健全性を損なう結果は出ていないが、非破壊検査などの追加作業を東電に指示
  - 引き続き、検査などで実施状況を確認。今後提出される7号機健全性の最終報告を、専門家の意見も聞きながら、厳しく検証
  - 他号機についても同様に取り組んでいく