

さらに安全な原子力発電所を目指して
～ 新潟県中越沖地震を踏まえた耐震安全性と防災の強化～

平成20年2月26日

武黒 一郎

東京電力株式会社
取締役副社長 原子力・立地本部長

- 新潟県中越沖地震の概要
- 耐震安全性と防災の強化に向けた取り組み
- 今後の取り組み

新潟県中越沖地震の概要



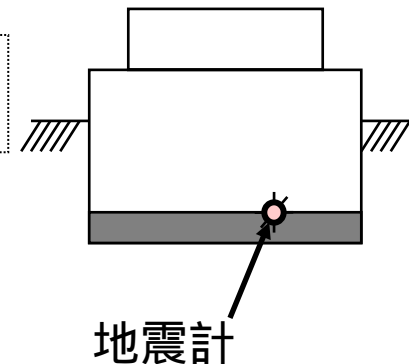
原子炉建屋基礎マット上で観測された加速度

単位:ガル (cm/s²), ()内は設計値

号機	水平- 南北方向	水平- 東西方向	垂直
1	311(274)	680(273)	408(235)
2	304(167)	606(167)	282(235)
3	308(192)	384(193)	311(235)
4	310(193)	492(194)	337(235)
5	277(249)	442(254)	205(235)
6	271(263)	322(263)	488(235)
7	267(263)	356(263)	355(235)

スクラム(自動停止)設定値:

水平: 120 ガル 垂直: 100 ガル



- 発生日時: 平成19年7月16日 10時13分(祝日)
- 規模(マグニチュード): 6.8
- 震源の深さ: 17 km
- 発電所からの距離: 震央 → 16 km, 震源 → 23 km

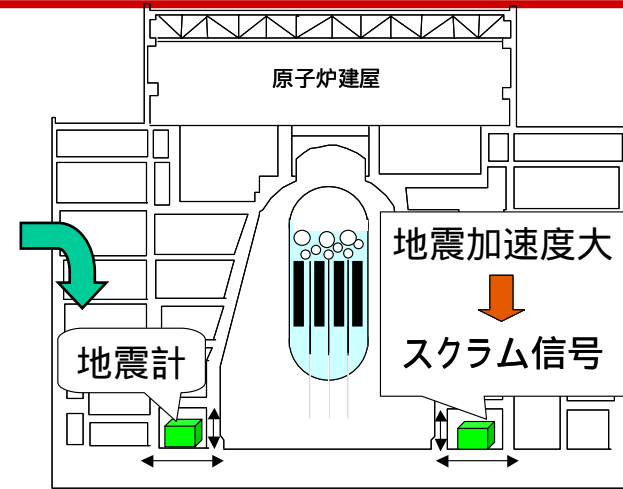
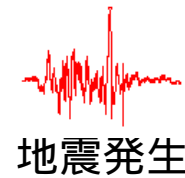
- 原子力安全にとって最も重要な機能

- 「止める」
スクラム 全制御棒全挿入

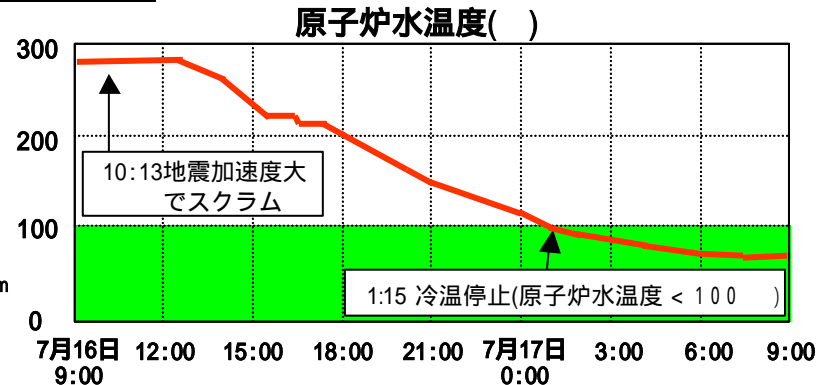
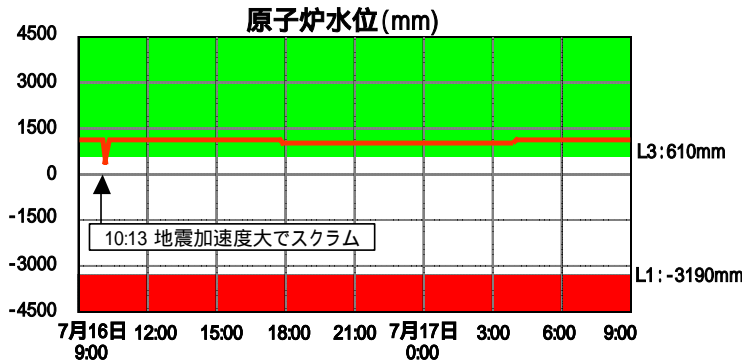
- 「冷やす」
原子炉水位を確保

原子炉水：100 未満、原子炉圧力：大気圧

冷温停止



7号機のプラント挙動



- 「閉じ込める」
燃料及び被覆管、圧力容器は健全

環境への影響無し

設計通りのプラント挙動と運転員の冷静・的確な操作により安全を確保

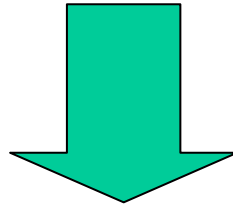
火災とごく僅かな放射性物質の漏えいが発生

- ショートによる火花に起因して、3号機所内変圧器で火災が発生。



- 6号機と7号機でごく僅かな放射性物質が漏れたが、環境への影響はなし。

- 3号機所内変圧器から火災が発生しその消火に手間取ったこと
- 放射性物質が漏えいし 関係機関への連絡が迅速になされなかったこと



- 立地地域をはじめ国民の皆さまに大変なご心配をおかけした

耐震安全性と防災の強化に向けた取り組み

● 事実の追求

- 耐震安全評価を厳密に行うため、設計の前提としていたファクトの徹底的な再調査、再吟味を重視
- 最新の学術的知見、調査・点検技術をフルに活用し評価

● 透明性のある評価プロセス

- 透明性のある点検・評価プロセスにより、国内外の見解を取り入れ、客観性、品質を確保

● 教訓の共有

- 今回の地震による教訓を国内外に発信し、世界的な原子力安全の向上に貢献
- 他産業を含めて耐震、防災の知見を拡充

● 地域とともに考え、地域とともに歩む

- 徹底した情報公開により、自らの取組みを積極的に地域の皆さまにお伝えする
- 地域の皆さまの心配、思いを受けてその取組みを一層進化

事実の追求

設備の健全性評価 (1/5)

- 設備の健全性は、点検と解析の組合せにより評価。
- <解析> 原子炉建屋基礎マット上の観測波に基づき、建屋床応答、機器応答を計算し、各設備の受けた荷重を評価。
- <点検> 過去の加振試験、評価結果等を参考に地震による影響と損傷が想定される部位、形態を整理し、最新の技術を利用した点検メニューを策定
 - ポンプ、タービン、制御棒駆動機構等の動的機器 目視点検、作動試験の他、非破壊検査、分解点検等を実施
 - 圧力容器、配管等の静的機器 目視点検、漏えい試験の他、非破壊検査、耐圧試験等を実施
 - 圧力容器基礎ボルト等の支持構造物 目視点検、打診試験の他、非破壊検査、トルク確認等を実施
- 設計値を超える地震力を受けたケースであることを踏まえ、局所的な塑性変形の可能性に対して、サンプリングにより材料試験等を通じて健全性を慎重に吟味。これにより解析結果の確証及び国際的な知見の拡充に資する。



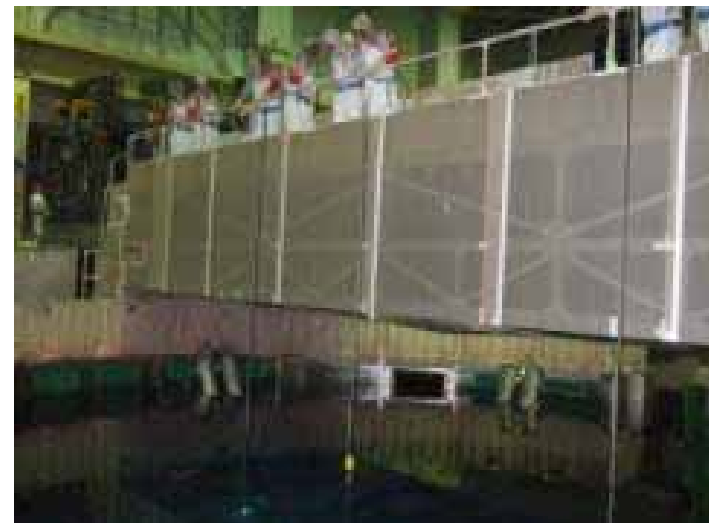
FMCRD 分解検査



圧力容器基礎ボルトのトルク確認



タービン超音波探傷検査



原子炉内点検

設備の健全性評価 (3/5)

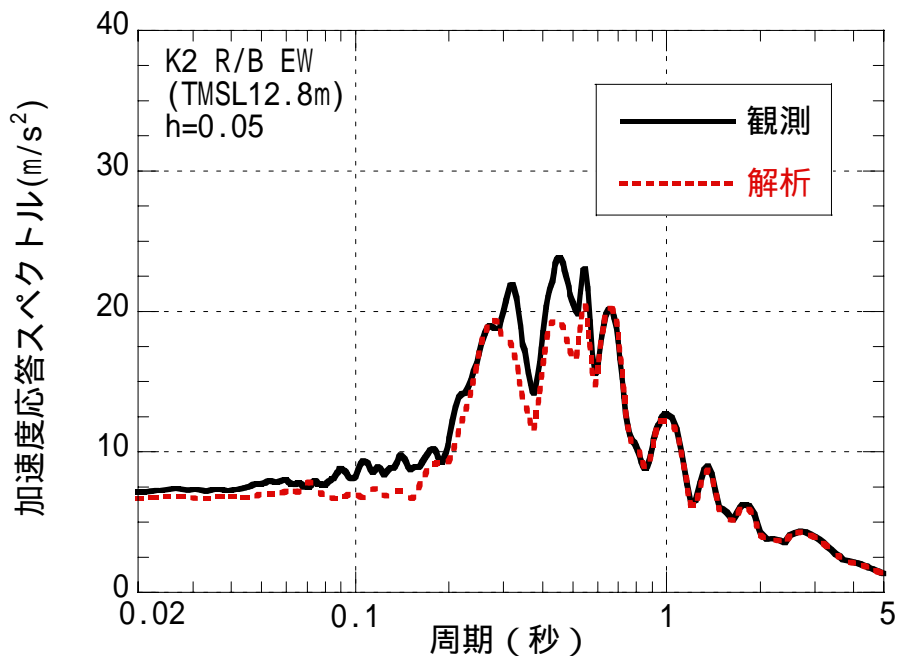
- 耐震設計は指針による安全上の重要度に基づきなされる。
- これまでの点検で、安全上重要な **As / Aクラスの設備に損傷は確認されず**。
- しかしながら、B / Cクラスの設備については損傷が確認されている。

耐震クラス	設備の例	損傷
As ^{*1}	<ul style="list-style-type: none"> ●原子炉压力容器 ●原子炉格納容器 ●制御棒 	無
A ^{*1}	<ul style="list-style-type: none"> ●非常用炉心冷却系 ●原子炉建屋 	無
B	<ul style="list-style-type: none"> ●タービン設備 ●放射性廃棄物処理系 	原子炉建屋天井クレーンジョイント部
C	<ul style="list-style-type: none"> ●主発電機 ●変圧器 ●所内ボイラー 	所内変圧器、主排気筒ダクト、消火系配管など

*1: 2006年に策定された新指針では、AsとAクラスはSクラスに統一されている。

● 原子炉建屋のひずみ評価

応答スペクトルのシミュレーション解析
(2号機原子炉建屋中間階)

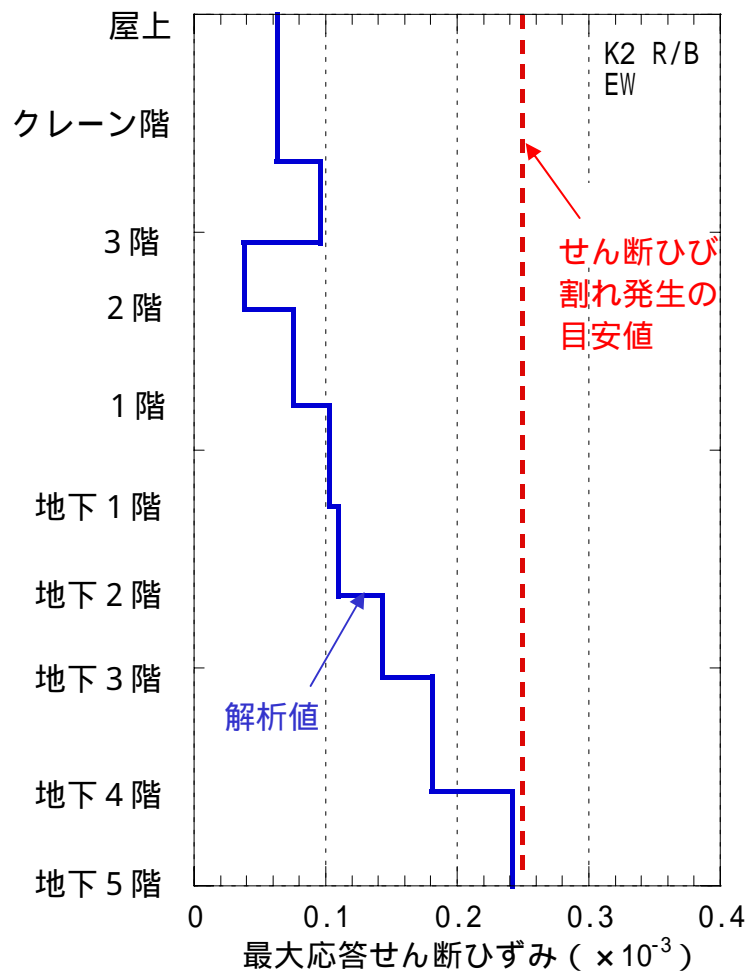


観測値と解析値は良く一致



シミュレーションモデルは妥当

2号機原子炉建屋の最大応答せん断ひずみ

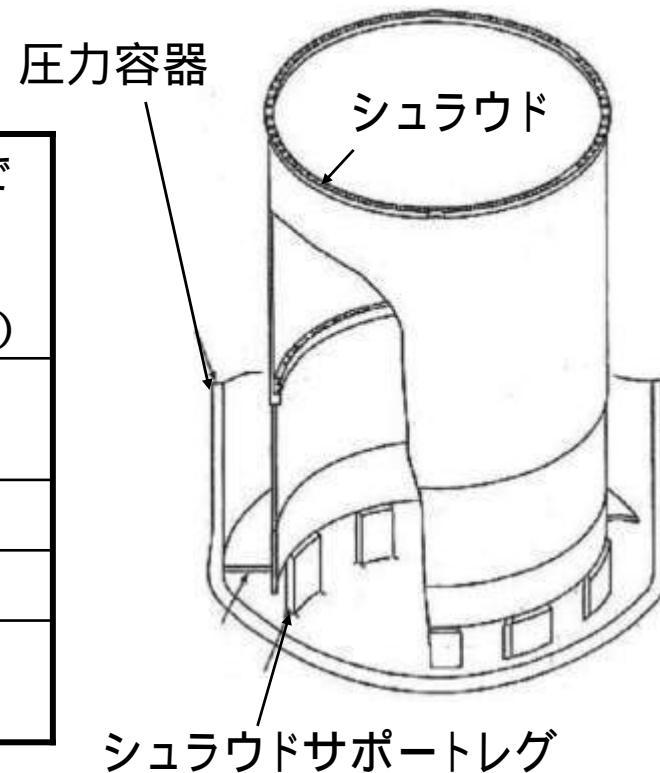


全号機について評価値 < 割れ発生日安値

解析による原子炉建屋は弾性範囲内にあることが確認された。

- 7号機の代表的設備の応力解析

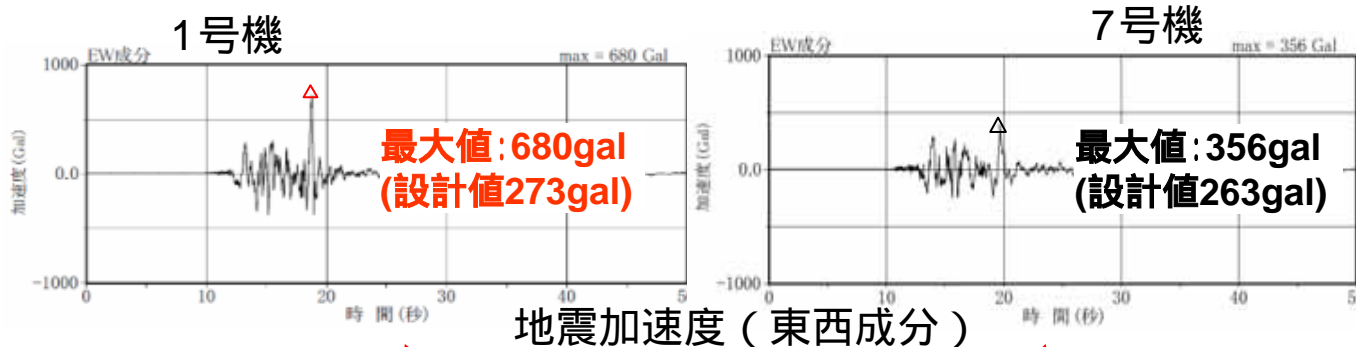
確認対象	解析による 計算値 (N/mm^2)	設計規格で 定める 許容応力 (N/mm^2)
原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	115	499
シュラウドサポートレグ	32	243
残留熱除去系配管	199	274
残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	5	350



地震による荷重の計算値は設計規格で定める許容応力を下回っている

● 新潟県中越沖地震の特性

- マグニチュード6.8で震源から発電所までの距離から計算される設計値よりも大きな地震動を発電所で観測。

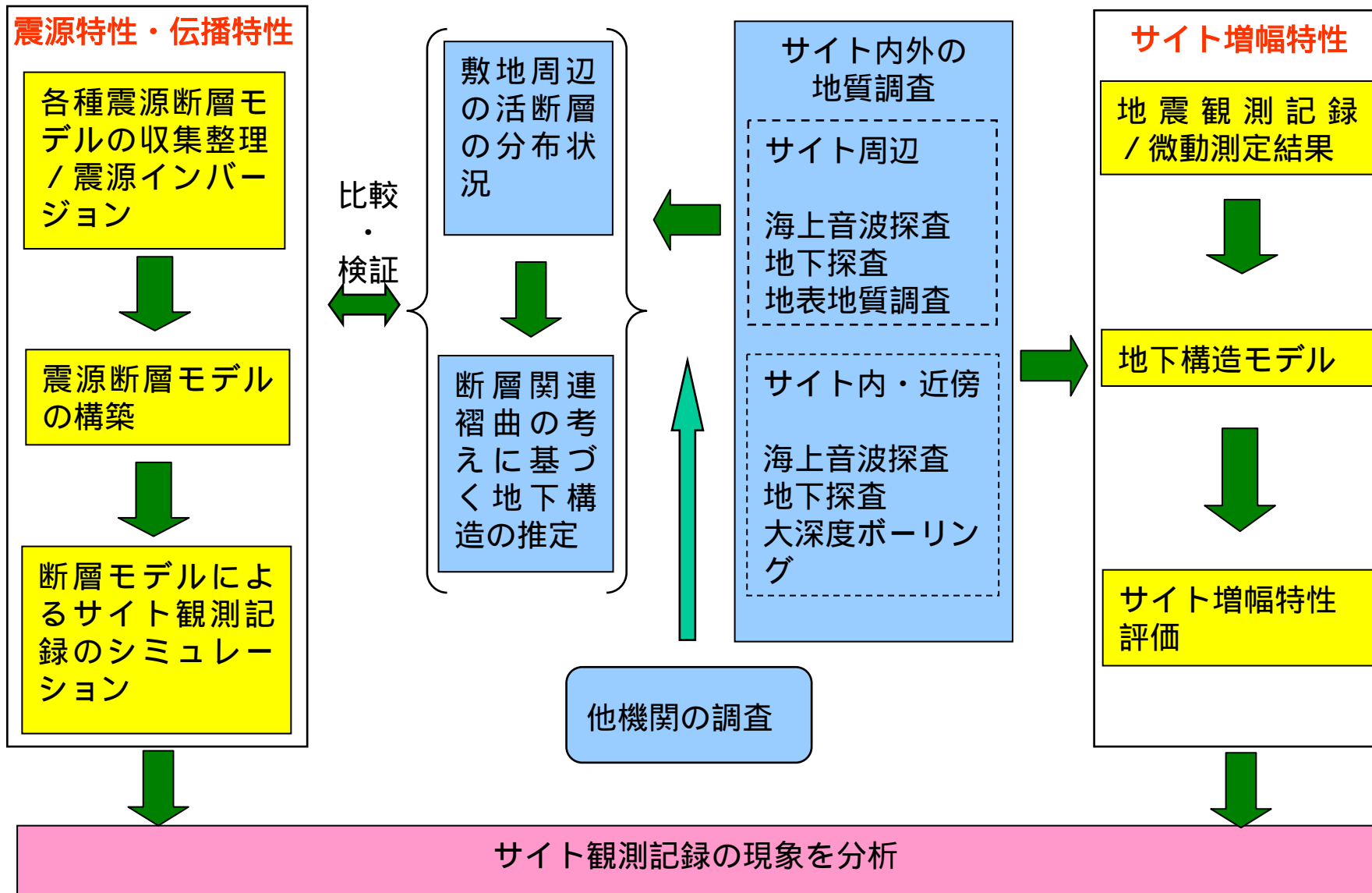


- この大きな地震観測記録は、パルス状の波によるもので、1～4号機と5～7号機の設置位置による違いあり。

- 但し、上記の1～4号側が大きいという関係は余震では必ずしも成立しない。



● 観測された地震動の評価フロー



● 海域の地質・地盤の調査

【目的】






基準地震動策定に関わる活断層評価及び敷地内の地質・速度構造の把握

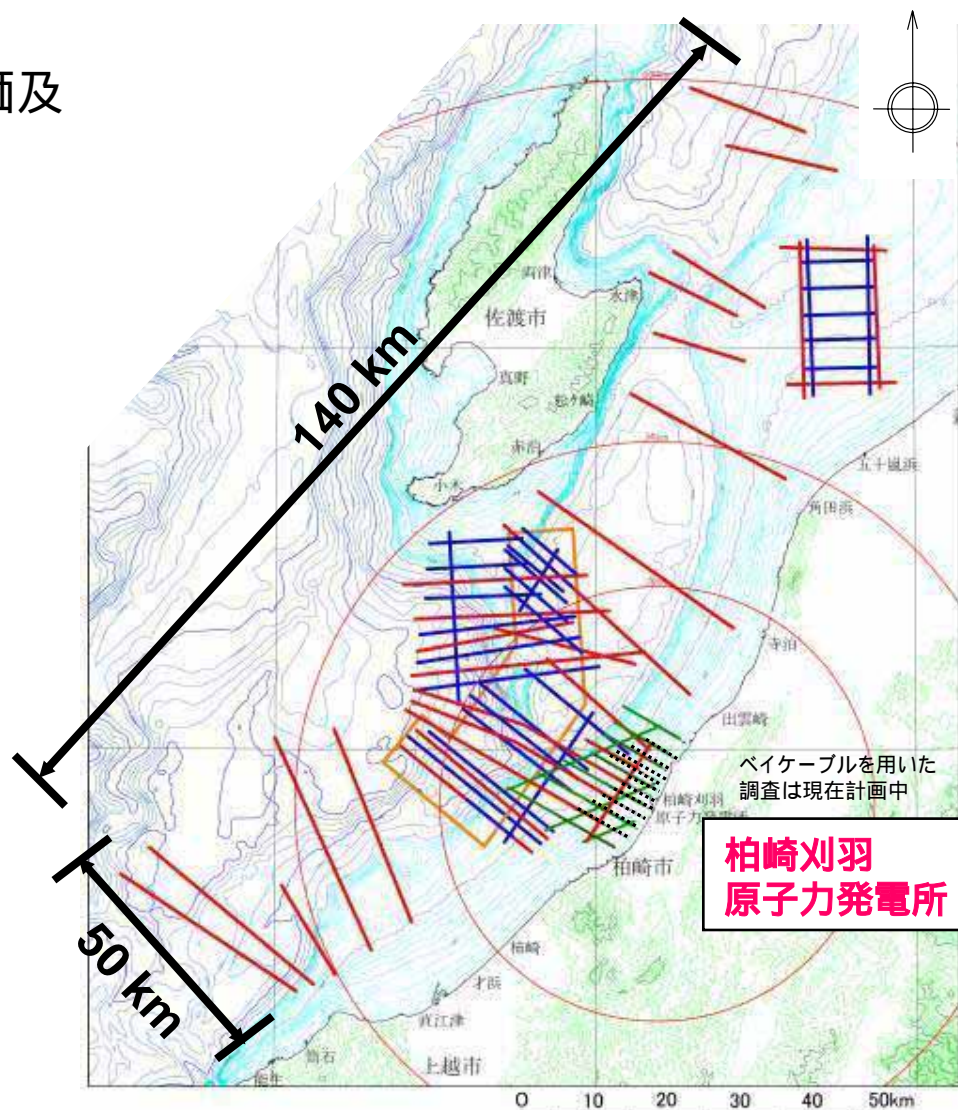
【調査項目（海域）】

海上音波探査

海底地形調査

凡 例

	マルチチャンネル音波探査 (エアガン、1500in ³ 、96ch)
	マルチチャンネル音波探査 (ウォーターガン、15in ³ 、24ch)
	シングルチャンネル音波探査 (ウォーターガン、15in ³)
	高分解能マルチ音波探査 (ブーマー、300J、12ch)
	海底地形調査範囲



● 陸域の地質・地盤の調査

【目的】

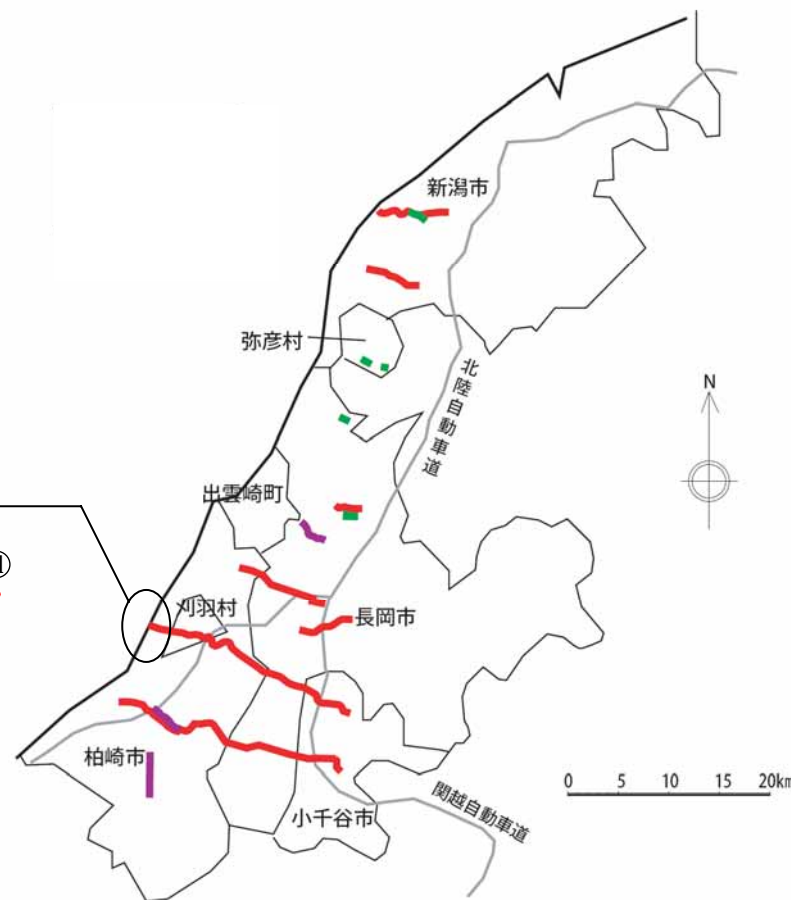
基準地震動策定に関わる活断層評価
及び敷地内の地質・速度構造の把握

【調査項目（敷地内、近傍及び周辺）】

反射法地震探査

凡例

- P波地震探査
(ハイブレタ: 1 ~ 4台)
- P波地震探査
(インパクト: 1台)
- S波地震探査
(板叩き)



● 敷地内のボーリング調査

【目的】

基準地震動策定に関わる活断層評価及び敷地内の地質・速度構造の把握

【調査項目（敷地内）】

ボーリング調査（300～1,300m）

凡 例

■ 地下探査結果と地質を対比するためのボーリング調査（深さ300m～1300m程度、4カ所）



● 敷地内の断層調査等

【目的】

敷地内を含む西山丘陵周辺における活断層の有無及び構造運動継続の把握

【調査項目（敷地内）】

建屋水準測量

発電所内地形測量

航空写真測量

立坑掘削（壁面観察）

トレンチ掘削（法面観察）

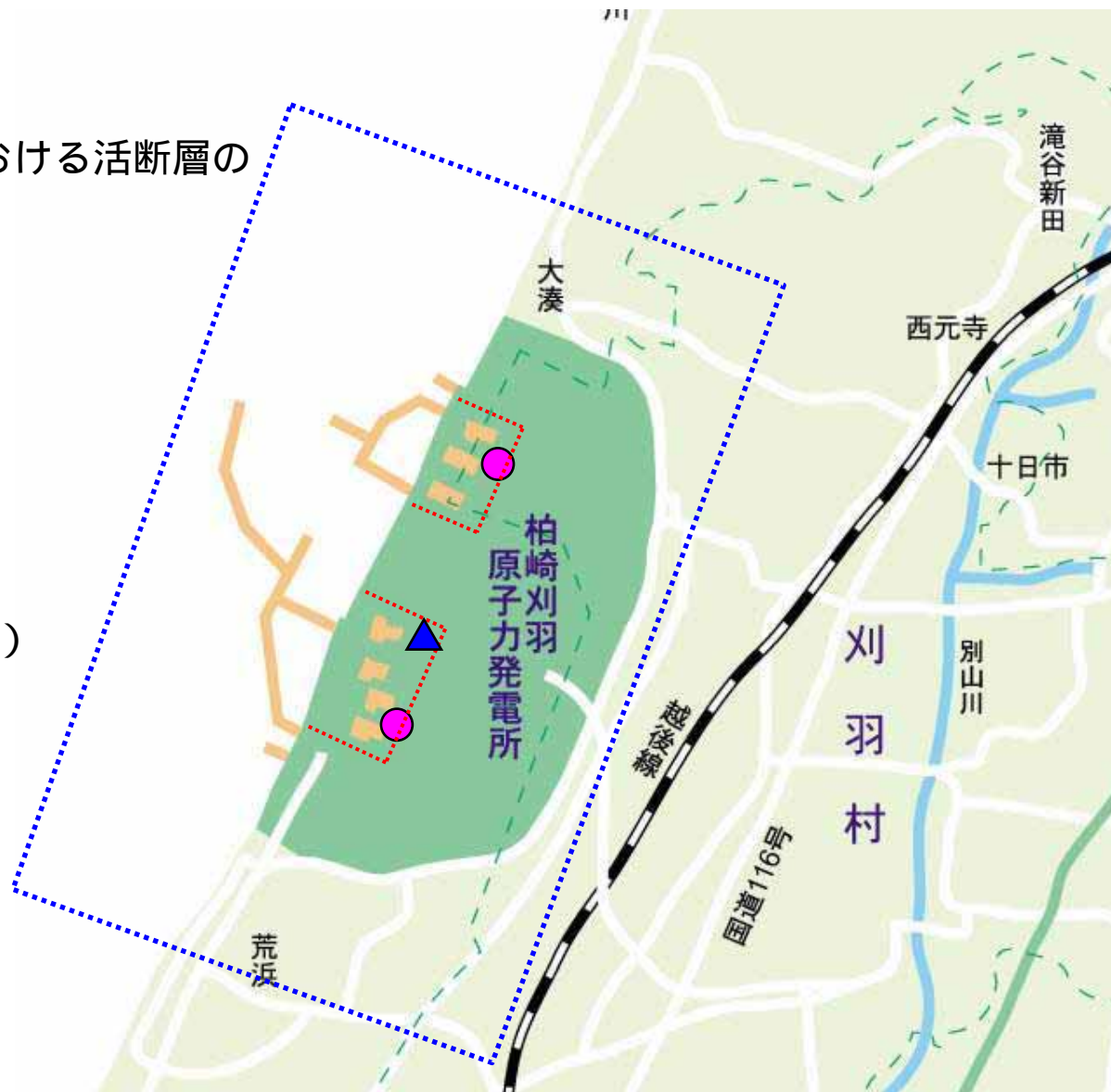
凡例

 発電所内地形測量

 航空写真測量

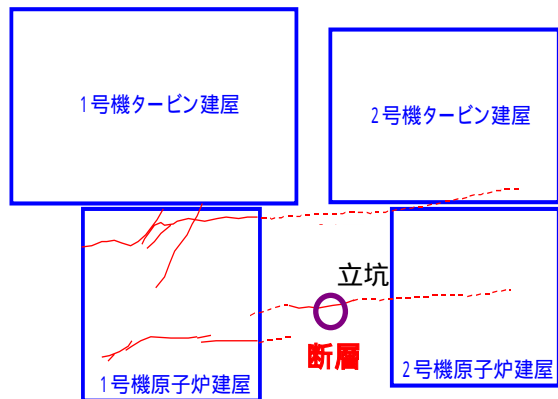
 立坑掘削（壁面観察）

 トレンチ掘削（法面観察）



敷地内の断層 (断層) の調査結果例

[調査位置]



—断層
(破線は推定線)

2/5号設置許可
申請書より作成



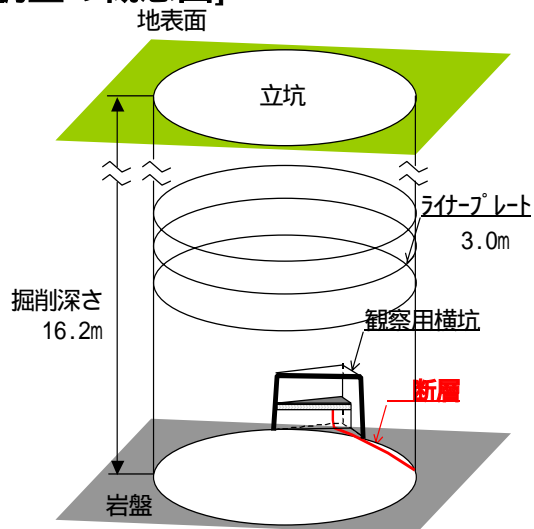
アスファルト舗装

砕石

建設時の道路

岩盤
(西山層)

[調査の概念図]



上の砕石やアスファルトに変化がないことから、今回の地震によって断層は動いていないことを確認

透明性のある評価プロセス

- プラントの健全性、耐震安全性、緊急時対応に関する評価は透明性の確保されたプロセスで実施
 - 国による評価 → 経済産業省原子力安全・保安院と原子力安全委員会によるダブルチェック
 - 自治体の技術委員会による評価
 - IAEA（国際原子力機関）、EPRI（米国電力研究所）、INPO（米国原子力発電運転協会）等の第三者機関による評価
 - シンポジウムやワークショップにおける国際的な専門家による評価

< 第三者機関によるレビュー状況 >

- I A E A（1回目）の主なコメント
 - 溢水のような波及的影響をもたらす事象は設計、運転、建設の各段階で最小化されるべき
 - 消火系配管の破損など共通原因故障は耐震設計で考慮されるべき
 - 経年劣化を加速した可能性は将来の検査プログラムで考慮されるべき
 - 地盤変状の影響を制限する対策が取られるべき

- I A E A（フォローアップ）の調査状況
 - 設備健全性、耐震安全性、火災防護を中心に議論
 - 原子炉内点検、タービン分解点検、ボーリング調査等を視察
 - 設備については、安全に関連する機器に有意な損傷は認められないことを確認
 - 敷地内断層の一つについて、今回の地震で動いていないことを確認
 - 火災防護対策の改善状況を確認

< 第三者機関によるレビュー状況 >

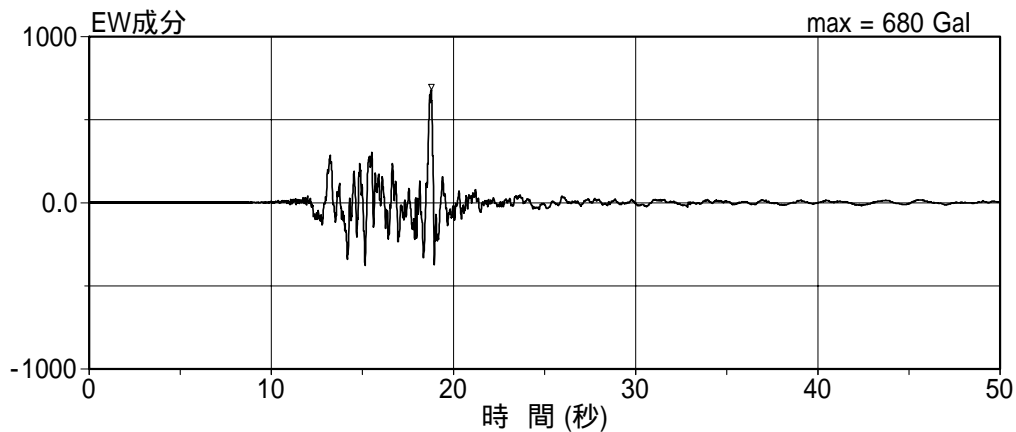
● EPRIの主なコメント

- 現在実施されている点検・評価プログラムは綿密、徹底したもので、米国の標準と照らしても適切あるいはそれ以上
- 耐震裕度分析など現実的な判断基準の使用を推奨
- 最も厳しい、あるいは代表的なケースについてサンプリングの適用を推奨

● INPOの主なコメント

- 統合された緊急時対応戦略が必要
- 公設消防が利用できない場合を考慮
- 緊急時対策室が地震直後に利用不能であったことへの対策要
- 通信手段のバックアップが必要

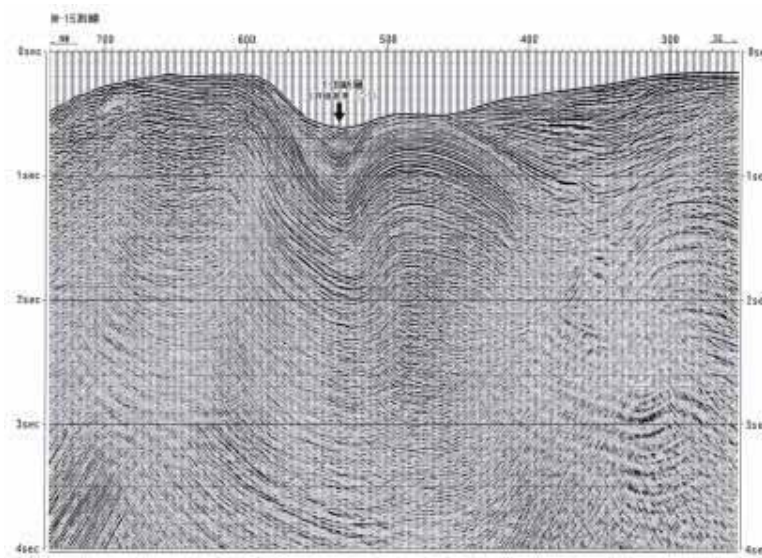
- 観測データ、その後の調査・点検で得られたデータは適宜提供



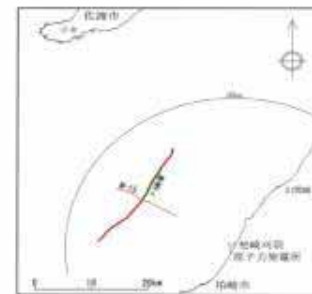
観測された地震動



タービン翼の摩耗



海上音波探査の解析例



教訓の共有

- 地震による損傷等の不適合は全てトラッキング可能なデータベースに登録
- 安全上の重要度に拘わらず全て登録、共有、公開
- これまでに登録されたデータ： 約3,000件
- 損傷の大部分は耐震Cクラス以下のものであるが、共通原因故障で広範な影響を及ぼすものについては対策要

● 共通原因故障

- 地盤変状による相対変位で壊れたもの
 - ✓ 埋設消火配管のジョイント部破損
 - ✓ 主排気筒接続ダクトの変形、亀裂
 - ✓ 3号所内変圧器二次側母線部の変形、火災



配管地上化、杭基礎等による地盤変状対策

● 潜在的課題（波及的影響）

- 波及的影響をもたらす可能性
 - ✓ 建屋貫通部から水の流入
 - ✓ 電線管シール部から水の流入
 - ✓ S L C 配管保温材の破損



バウンダリ強化、固縛の徹底

- 災害対策本部の損傷・不備
 - 緊急時対策室の免震構造化
- 初期消火体制の不備
 - 24時間体制の消火班配備
 - 化学消防車、水槽付きポンプ車の配備
- 消火設備の損傷・不備
 - 防火水槽設置など水源の多様化
 - 消火系配管の地上化、フレキシブルジョイントの採用等
- 情報連絡・提供の不備
 - 耐震性のある中央操作室に消防署との専用回線を設置
 - 現地への迅速な幹部職員などの派遣
 - 緊急時のラジオ放送契約
- 放射性物質漏えい確認体制の不備
 - 休祭日、夜間の放射能測定要員の増強



化学消防車



防災訓練

- 保守的な設備設計
 - 地震のような外部事象に対しては、保守性、深層防護の思想を取り入れたロバストな設計アプローチが重要
- 適切なメンテナンス
 - 日頃の良好なメンテナンスにより、安全上重要な機器は正常に動作
- 運転員の冷静・的確な対応
 - 日頃の訓練により、地震と火災の複合事象にも的確な冷温停止操作
- 現場の整理・整頓
 - 重量物の衝突、落下等による被害は最小限
- 信頼性の高い外部電源
 - 外部電源が健全であったことにより緊急で複雑な対応操作が不要

地域とともに考え、地域とともに歩む

- 損傷等の不適合は全て公表を徹底。
- しかしながら、海底断層については、地域の関心が高いにも拘わらず公表が遅れてしまった。

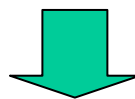
< F - B 断層のケース >

- 設置許可時には活断層でないと判断された、柏崎刈羽原子力発電所の前面海域にある F - B 断層について、当社は平成 15 年の段階で再調査し、活断層の可能性があると認識。
- しかしながら、F - B 断層が活断層であったとしても、当時の評価方法に基づく地震動による影響評価からは発電所への安全上の問題はないと判断。
- 社内でも情報共有がなされず、国には報告したが公表には至らなかった。



< F - B 断層の問題点 >

- 地域の方が何に関心をもたれ、何を心配されているかという目線・思いが不足していた。
- たとえ安全上問題がない事象でも、高い関心を呼ぶ場合があることを認識すべきであった。
- 地域とのコミュニケーションを深め、ともに考え、認識を共有する姿勢・努力が不足していた。



< 現在の取り組み >

- 自らの取組みを積極的に地域の皆さまに発信・説明
- 地域の皆さまの心配、思いに応えられるように、点検・評価、情報発信等に反映・改善

- 地元の皆さまの関心を踏まえた説明会の開催
- 地元の皆さまやマスコミの方々をはじめとするあらゆる方を対象とした発電所見学会の開催
 - 発電所で起こったこと、現在の状況の説明
 - 皆さまの心配と関心の把握



地元説明会



発電所見学会

- 引き続き設備の点検・解析を進め、健全性を評価していく。
- 現在進めている陸域及び海域における地質調査を踏まえ、地震のメカニズムを解明するとともに、新たな設計用基準地震動 S_s を策定する。
- 策定された S_s による設備の耐震安全性評価を行い、必要に応じて補強工事を実施する。
- 危機管理体制の強化は計画に沿って着実に進める。

- 国内外の知見を出し合って柏崎刈羽原子力発電所の検証を進めていきたい。これにより当社の原子力発電所の耐震安全性と防災の強化を図っていく。
- 一方、皆さんにも我々の経験・教訓を活用して頂けるようにしたい。これにより、国際的な原子力安全の向上に一緒に取り組んでいく。
- 耐震安全性向上に向けた国際協力が更に進み、耐震設計や耐震安全評価の基準の国際的なハーモニゼーションが図られること、および本シンポジウムがこれを進める契機となることを期待するとともに、その実現に向けて当社も努力していきたい。