

平成23年東北地方太平洋沖地震による福島第一及び福島第二原子力発電所の 原子炉建屋等の影響・評価について～中間取りまとめ～(概要)

平成24年2月20日
原子安全・保安院

1. 目的

- 今回の地震による福島第一及び福島第二の耐震安全上重要な施設・機器への影響について、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったのかについて調査。
- 水素爆発や火災等により、外壁等が損傷している福島第一の原子炉建屋について、今後、発生する可能性のある地震に対して、耐震性を有しているかについて調査。

2. 今回の地震による福島第一及び福島第二の影響・評価

【評価対象施設の選定】

- 福島第一(1～6号機)及び福島第二(1～4号機)については、主要7施設※を、耐震バックチェック中間報告と同様に選定し、原子炉建屋及びタービン建屋とともに評価。

※安全性の観点から原子炉を「止める」、「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」に係る安全上重要な機能を有するもので、①原子炉圧力容器、②主蒸気系配管、③原子炉格納容器、④残留熱除去系配管、⑤残留熱除去系ポンプ、⑥炉心支持構造物及び⑦制御棒(挿入性)のこと。

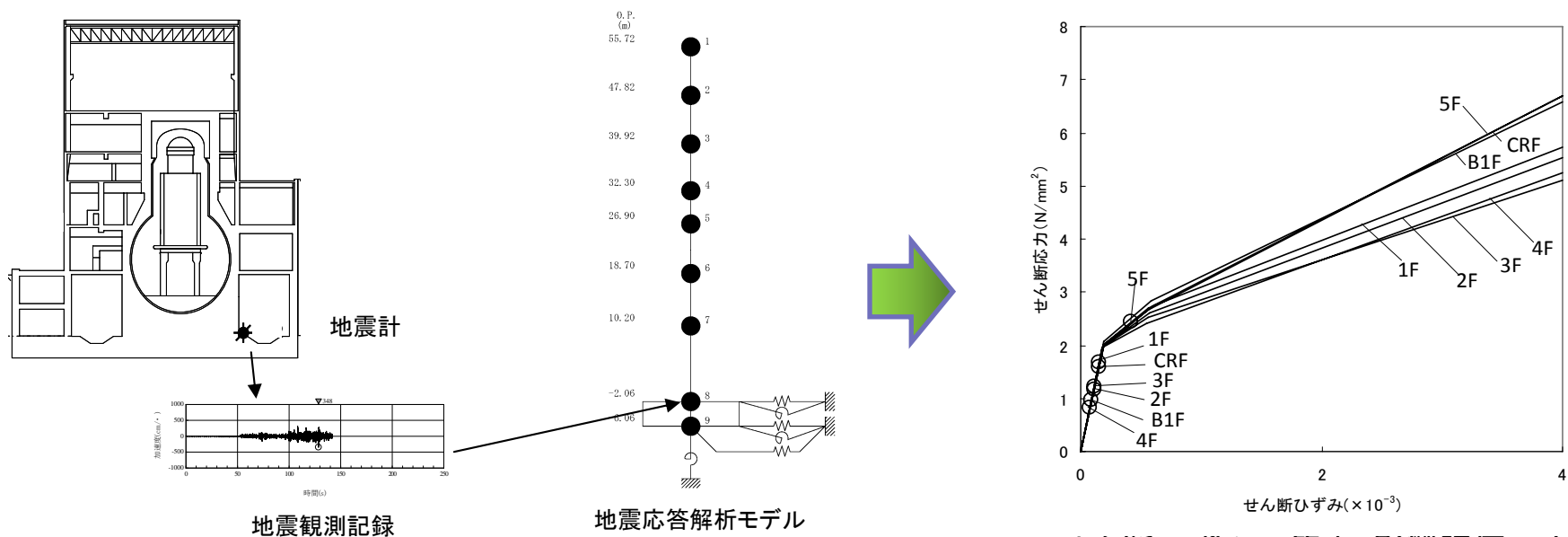
- 福島第一1号機の非常用復水器系配管や福島第一3号機の高圧注水系配管等、今回の事故発生当初から地震により被害等が生じていたのではないかとの指摘を受けた設備についても評価。
- 主要7施設等以外の耐震Sクラスの施設については、基準地震動 S_s を上回る地震動が観測された福島第一(2, 3, 5号機)の中から、水素爆発や放射能汚染等の影響がなく、地震による損傷状況を現場で確認することが可能な福島第一(5号機)を選定して評価。

【地震による原子炉建屋の影響評価】

- 原子炉建屋の影響評価にあたっては、基礎版上で取得された観測記録に基づいた地震応答解析を実施する。地震応答解析で用いるモデルは、『「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価』(以下、バックチェックという)で採用したモデルを基本とする。
- 地震応答解析の結果求まる最大応答値をせん断スケルトン曲線上にプロットし、地震時の原子炉建屋の応力・変形状態を把握する。
- 評価基準値については、耐震壁の機能維持限界値として既往評価等の実績のあるせん断ひずみ (2.0×10^{-3})を採用する。

【評価結果】

- 地震応答解析の結果、各号機の原子炉建屋耐震壁の最大せん断ひずみは、評価基準値以下であることを確認し、地震時及び地震直後の安全機能は保持できる状態にあったと推定した。



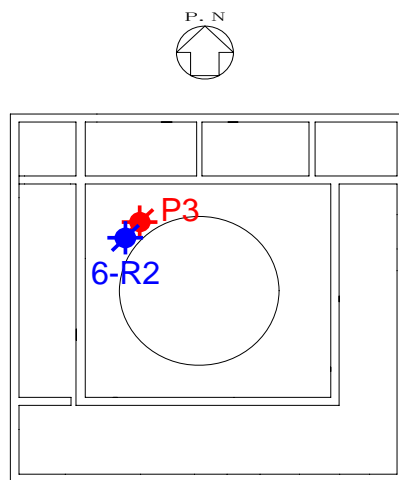
基礎版上の地震観測記録を解析モデルへ入力

せん断ひずみの算出・影響評価の実施

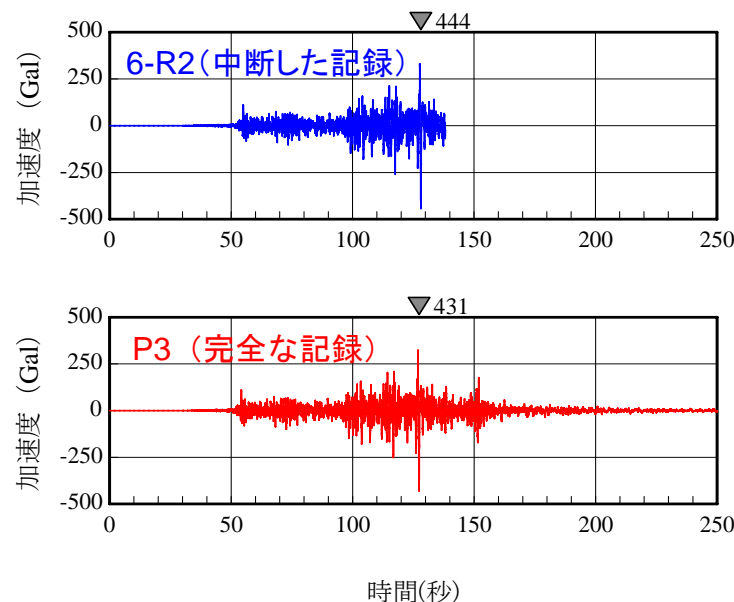
福島第一2号機

【地震観測記録の一時中断による影響】

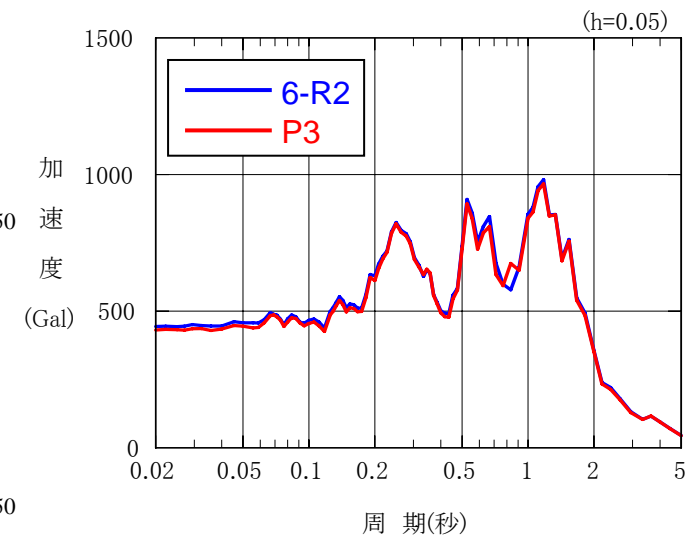
- 今回、福島第一では、53箇所の地震計のうち29箇所で、福島第二では、43箇所の地震計の全てで地震観測記録が得られているが、地震計の不具合により、福島第一では7箇所、福島第二では、11箇所の観測点において130秒～150秒程度で観測記録が中断していた。
- 中断した観測記録を地震応答解析の入力地震動とする妥当性について、中断した観測記録と完全な観測記録の床応答スペクトルの比較により影響を評価。
- 福島第一6号機原子炉建屋基礎版上では、近接する2つの観測点において、中断した記録(6R-2)と完全な記録(P3)の両方が取得されている。
- 中断した記録(6R-2)と完全な記録(P3)の最大加速度値及び床応答スペクトルを比較すると顕著な差はないことから、中断記録を入力地震動とすることは妥当であると評価。
- なお、疲労の影響も評価し、入力地震動による影響は、僅かであることを確認。



福島第一原子力発電所
6号機原子炉建屋
地下2階（基礎版上）
地震観測点配置図



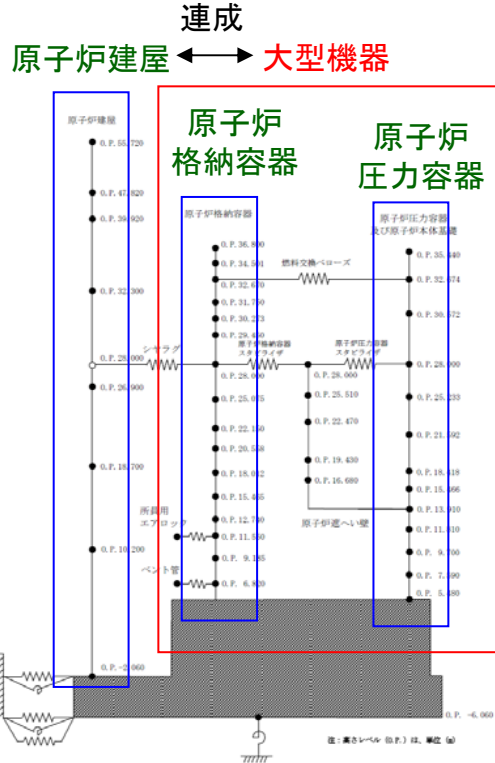
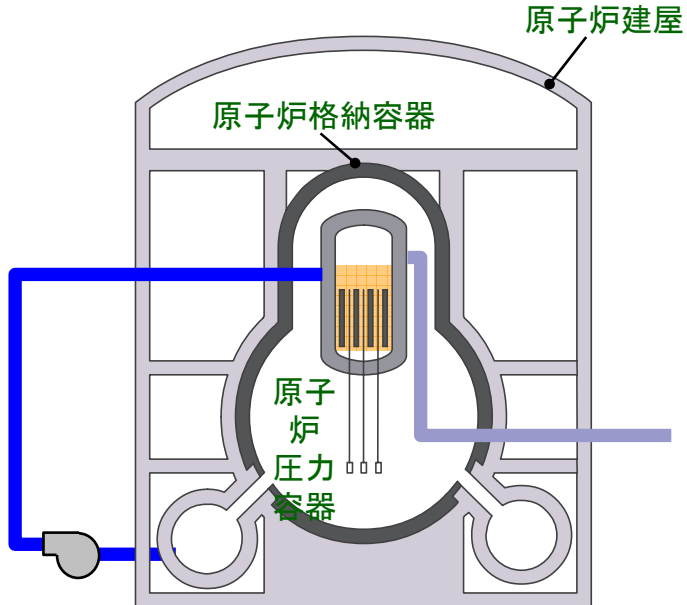
加速度時刻歴波形（EW方向）



加速度応答スペクトル（EW方向）

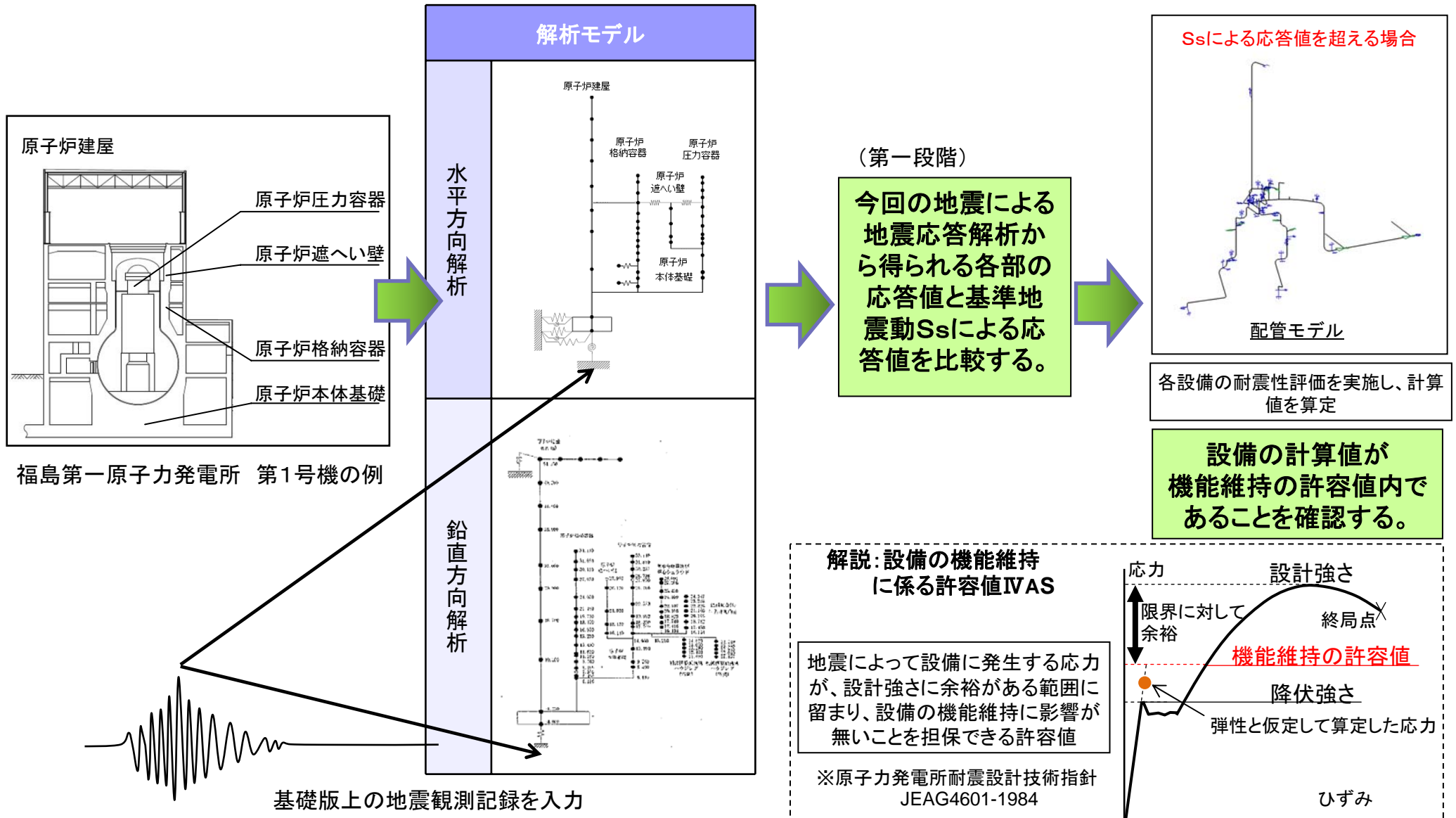
【地震による耐震安全上重要な主要施設の影響評価】

- 耐震安全上重要な主要施設の影響評価にあたっては、基礎版上で取得された観測記録に基づいた地震応答解析を実施する。
- 地震応答解析は、原子炉建屋モデルにバックチェックで採用した大型機器の解析モデルを連成させて実施し、曲げモーメントや加速度等の応答値等を求める。
- その結果から評価基準値(許容値)を上回る可能性のある設備を選定し、これらの設備について応力解析を実施し、設備の計算値(応力等)を求める。
- 評価基準値については、設備の機能維持限界値として既往評価等の実績のある許容応力状態IVASを採用する。



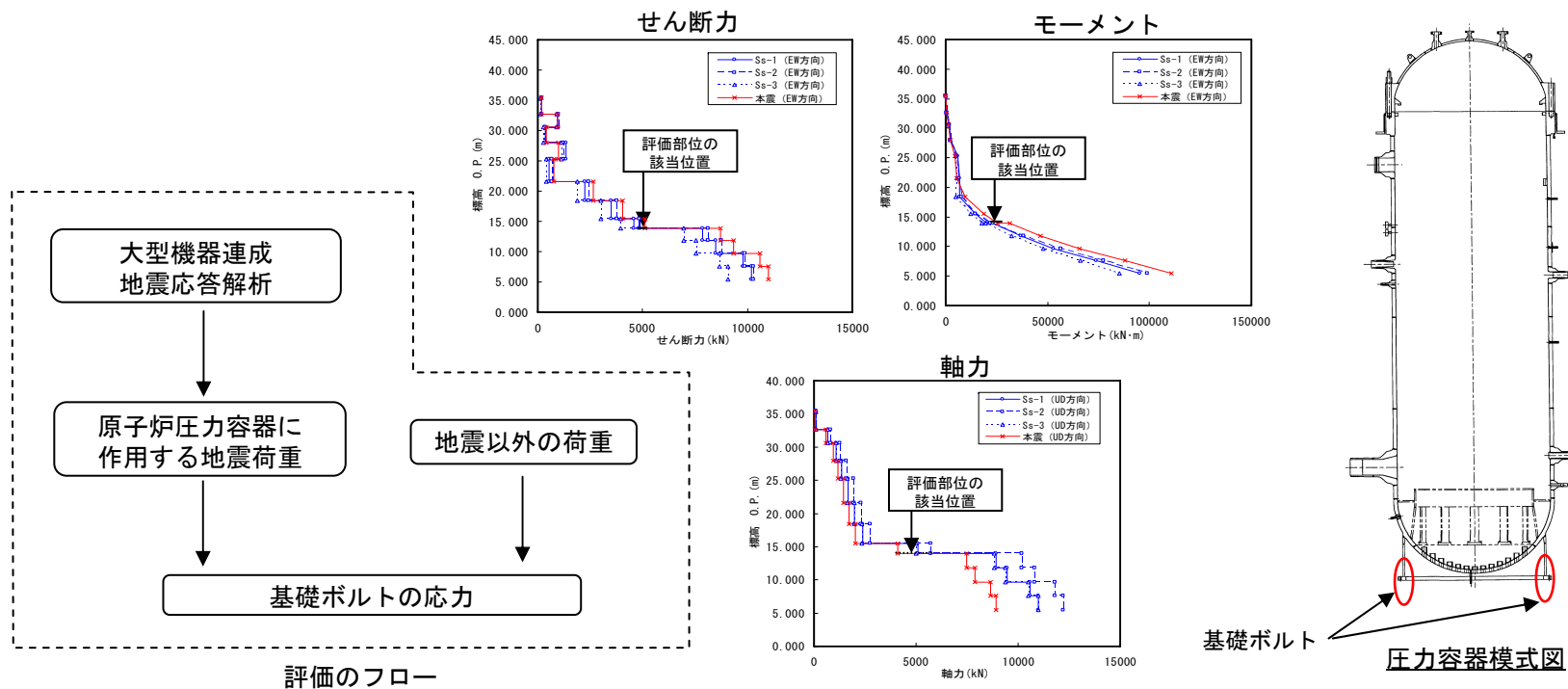
原子炉建屋—原子炉格納容器—原子炉圧力容器連成系モデル(福島第一2号機)

○ 今回の地震による耐震安全上重要な主要施設への影響について、地震応答解析を実施し、基準地震動 S_s による応答値等を超える設備について、応力解析を実施し、計算値が評価基準値を下回るかどうかを確認する。



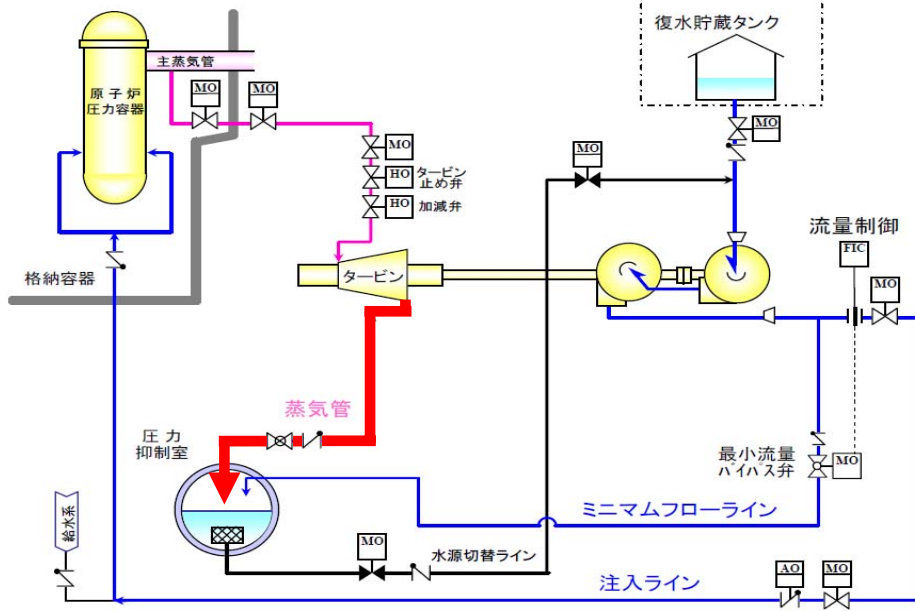
【耐震安全上重要な施設・機器の評価結果】

○ 今回の地震による地震応答解析の結果、福島第一及び福島第二各号機の耐震安全上重要な施設・機器の計算値は、評価基準値を下回ることから、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったと推定した。福島第一2号機の原子炉圧力容器の評価結果の事例を示す。

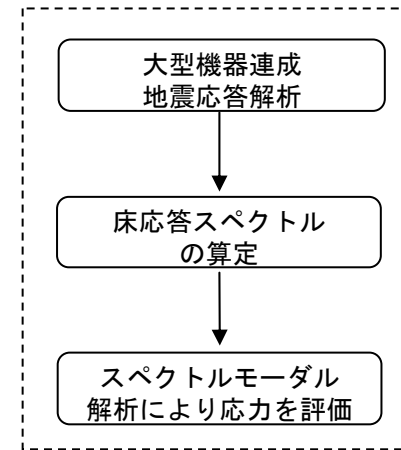


区分	評価対象設備	評価部位	応力分類	基準地震動Ss		今回地震	
				計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)
閉じ込める	原子炉圧力容器	基礎ボルト	引張応力	27	222	29	222

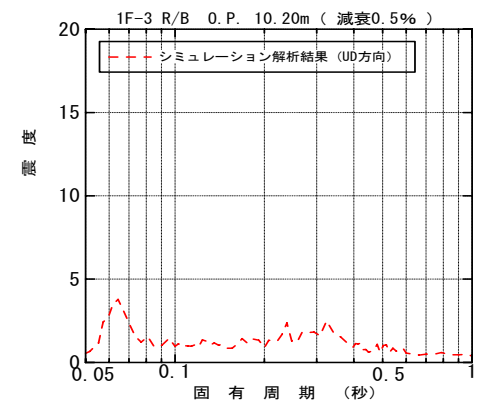
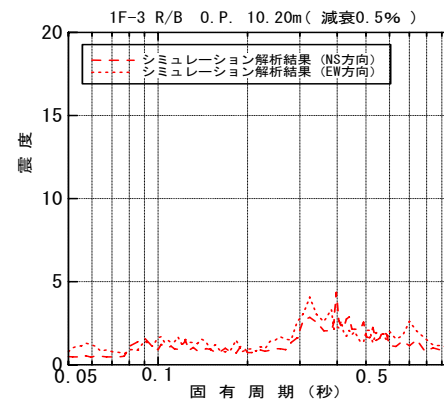
- 福島第一1号機の非常用復水器系配管や福島第一3号機の高圧注水系配管等、今回の事故発生当初から地震により被害等が生じていたのではないかと指摘を受けた設備についても、地震応答解析を実施した結果、計算値は評価基準値を下回っており、地震時及び地震直後の安全機能を保持できる状態にあったと推定。福島第一3号機の高圧注水系配管の評価結果の事例を示す。



— : 評価対象配管
高圧注水系概略系統図

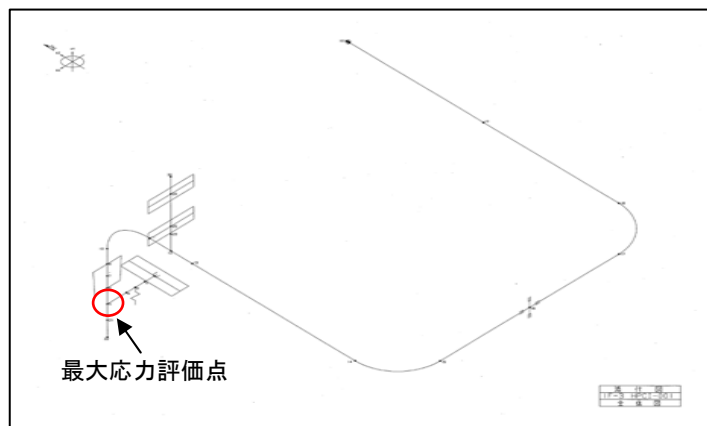


評価のフロー

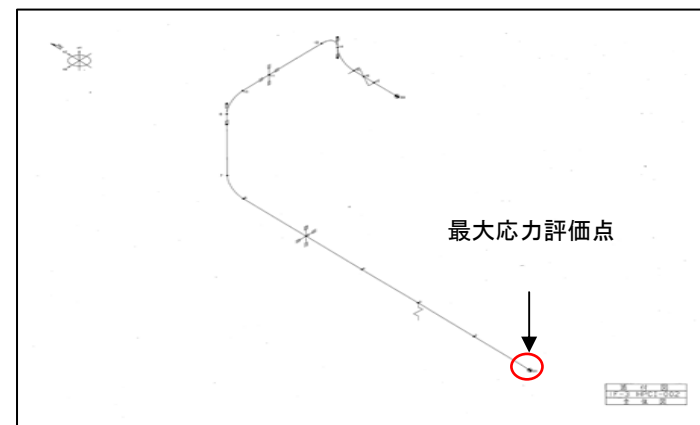


床応答スペクトル

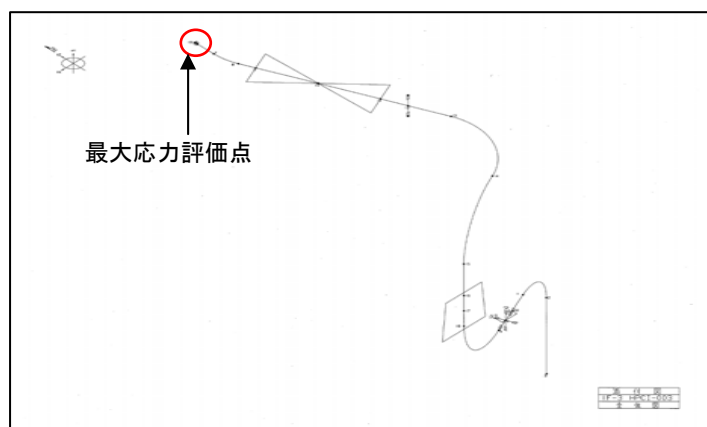
○ 今回の地震による福島第一3号機の高圧注水系配管への影響について、計算値は評価基準値を下回っており、地震時及び地震直後の安全機能が保持できる状態にあったと推定。



配管モデル (HPCI-001)



配管モデル (HPCI-002)



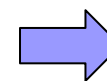
配管モデル (HPCI-003)

解析モデル	計算値 (MPa)	評価基準値 (MPa)	応力比 (計算値/評価基準値)
HPCI-001	113	335	0.34
HPCI-002	52	335	0.16
HPCI-003	75	335	0.22

○ 主要7施設等以外の耐震Sクラスの施設については、基準地震動 S_s を上回る地震動が観測された福島第一(2, 3, 5号機)の中から、水素爆発や放射能汚染等の影響がなく、地震による損傷状況を現場で確認することが可能な福島第一(5号機)を選定して評価。

→評価の結果、一部の配管本体及び配管サポートを除き、安全機能を保持できる状態にあったと推定。

一部の配管本体及び配管サポートの計算値は、評価基準値を上回ったため、当院は、当該箇所の現地調査を実施。
調査の結果、有意な損傷が無いことを確認し、安全機能を保持できる状態にあったと類推。今後、詳細な評価を実施。



地震動解析評価の結果、基準値を上回っているが、保安院による現地調査の結果、有意な損傷は無いことを確認した。(写真:配管サポート)

→現場確認が困難な福島第一(1~4号機)は、プラントパラメータ等の分析によると、基本的な安全機能を損なうような損傷等の情報は得られていないが、更にデータを補充する観点から、今後、地震応答解析により、今回の地震による影響を評価する。

○ 福島第一5号機と同様に、福島第一6号機及び福島第二(1~4号機)は、今後とも冷温停止機能を維持する必要があることから、今後、基準地震動 S_s 又は今回の地震による影響を評価し、その結果を踏まえ、必要に応じ耐震補強を求める。

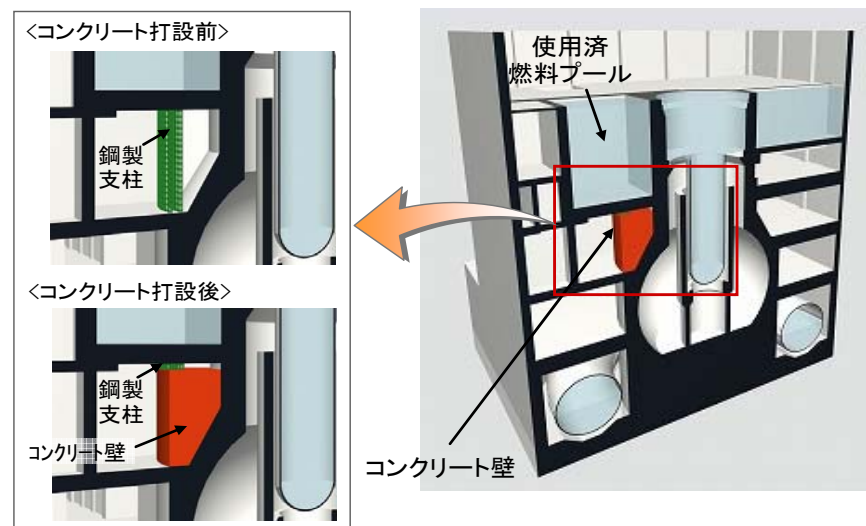
3. 今後、発生する可能性のある地震に対する原子炉建屋の耐震安全性

○ 損傷を受けた福島第一(1~6号機)の原子炉建屋について、基準地震動 S_s (今後発生する可能性のある地震)を用いた解析評価を実施。(損傷状況を安全側に考慮した解析)

→ 耐震壁のせん断ひずみは、鉄筋コンクリートの終局限界に対応するせん断ひずみに対して余裕があり、耐震安全上重要な設備に波及的影響を及ぼすおそれはないと推定。

○ 建屋上部が複雑に損傷している福島第一3、4号機は、3次元の詳細モデルにより使用済み燃料プールを中心とした局部評価を実施。解析には、爆発、火災及びプール水温の温度上昇による床や壁の剛性低下を考慮。

→ 解析の結果、計算値は評価基準値を下回る。また、4号機は、今回の地震発生時は、炉心の燃料集合体が全て使用済み燃料プールに保管されていた状態であったため、使用済み燃料プール底部の補強工事が実施され、応力が2割程度低減されることを確認。



福島第一原子力発電所 使用済み燃料プール底部の補強工事(概要)

検討対象	鋼製支柱 取り付け前 (概略値)	鋼製支柱 取り付け後 (概略値)	評価基準値
コンクリートひずみ	0.6×10^{-3}	0.3×10^{-3}	3.0×10^{-3}
鉄筋ひずみ	0.5×10^{-3}	0.4×10^{-3}	5.0×10^{-3}
面外せん断力	800 N/mm	644 N/mm	1150 N/mm