

**福島第一原子力発電所
福島第二原子力発電所
新耐震指針に照らした耐震安全性評価
(中間報告の概要)**

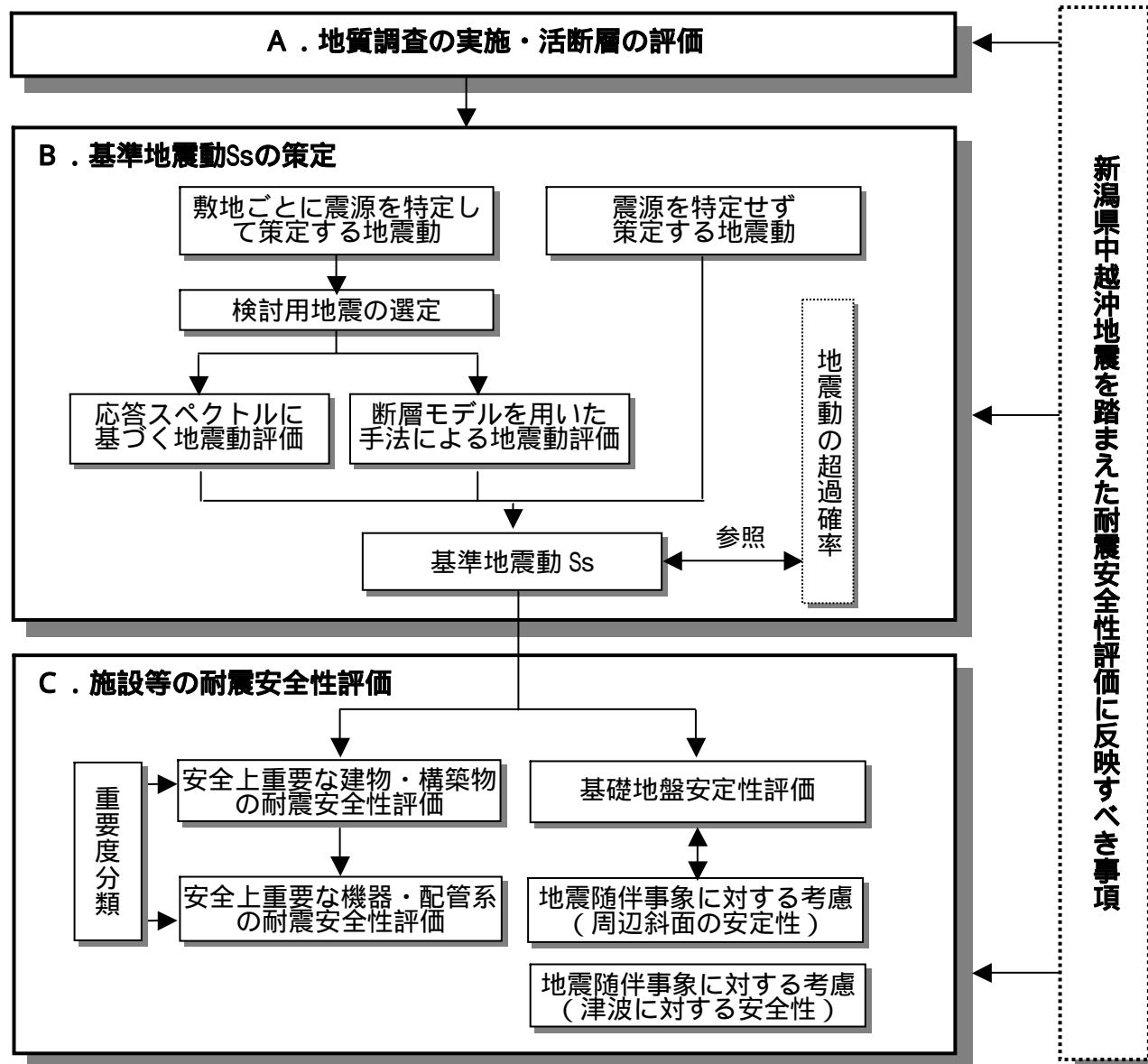
平成20年5月13日

東京電力株式会社



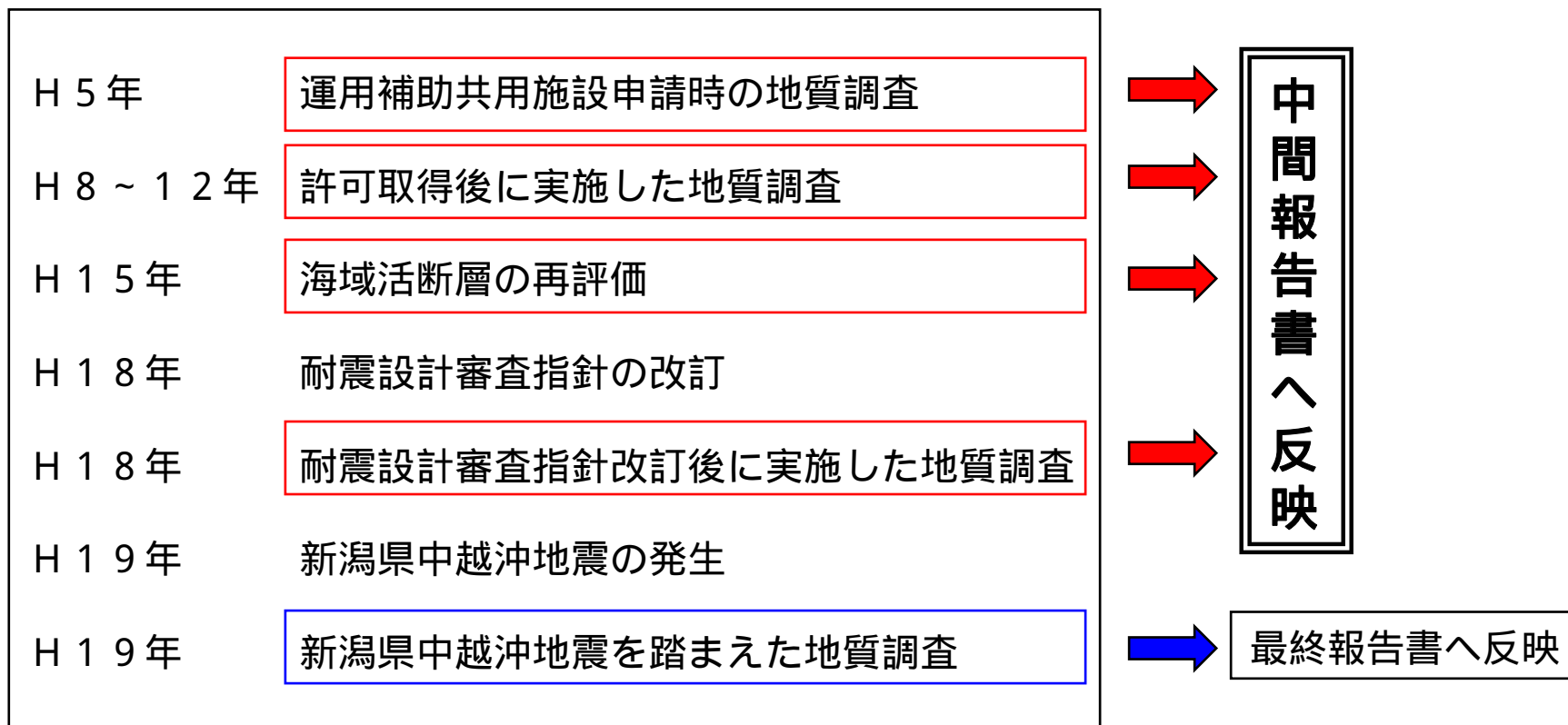
東京電力

新耐震指針に照らした耐震安全性評価の流れ



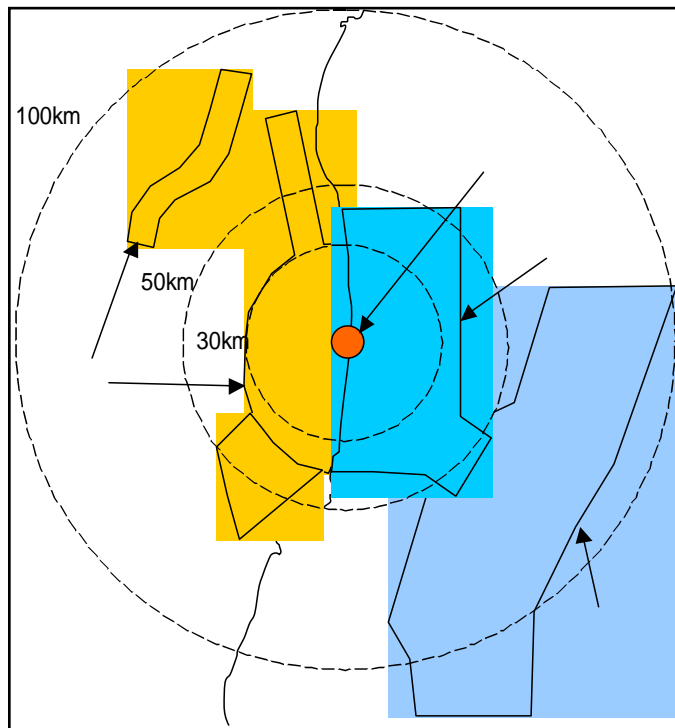
A-1 地質調査の実施

中間報告書に反映した地質調査



中間報告書へ反映した地質調査

H 5 年	運用補助共用施設申請時の地質調査
H 8 ~ 1 2 年	許可取得後に実施した地質調査
H 1 5 年	海域活断層の再評価
H 1 8 年	耐震設計審査指針の改訂
H 1 8 年	耐震設計審査指針改訂後に実施した地質調査
H 1 9 年	新潟県中越沖地震の発生
H 1 9 年	新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査



地質調査位置図

調査範囲及び敷地からの距離は
福島第一原子力発電所について例示

敷地周辺陸域(範囲)

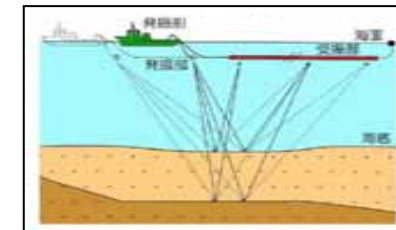
- ・文献調査
- ・変動地形学的調査
- ・地表地質調査 等



地表地質調査

敷地周辺海域(範囲 ,)

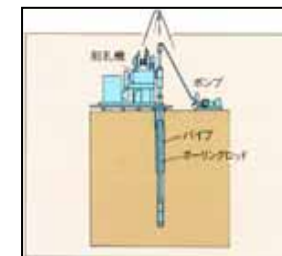
- ・文献調査
- ・海上音波探査 等



海上音波探査

敷地近傍(範囲)

- ・変動地形学的調査
- ・地表地質調査 等



ボーリング調査

敷地

- ・ボーリング調査
- ・試掘坑調査 等



中間報告書へ反映

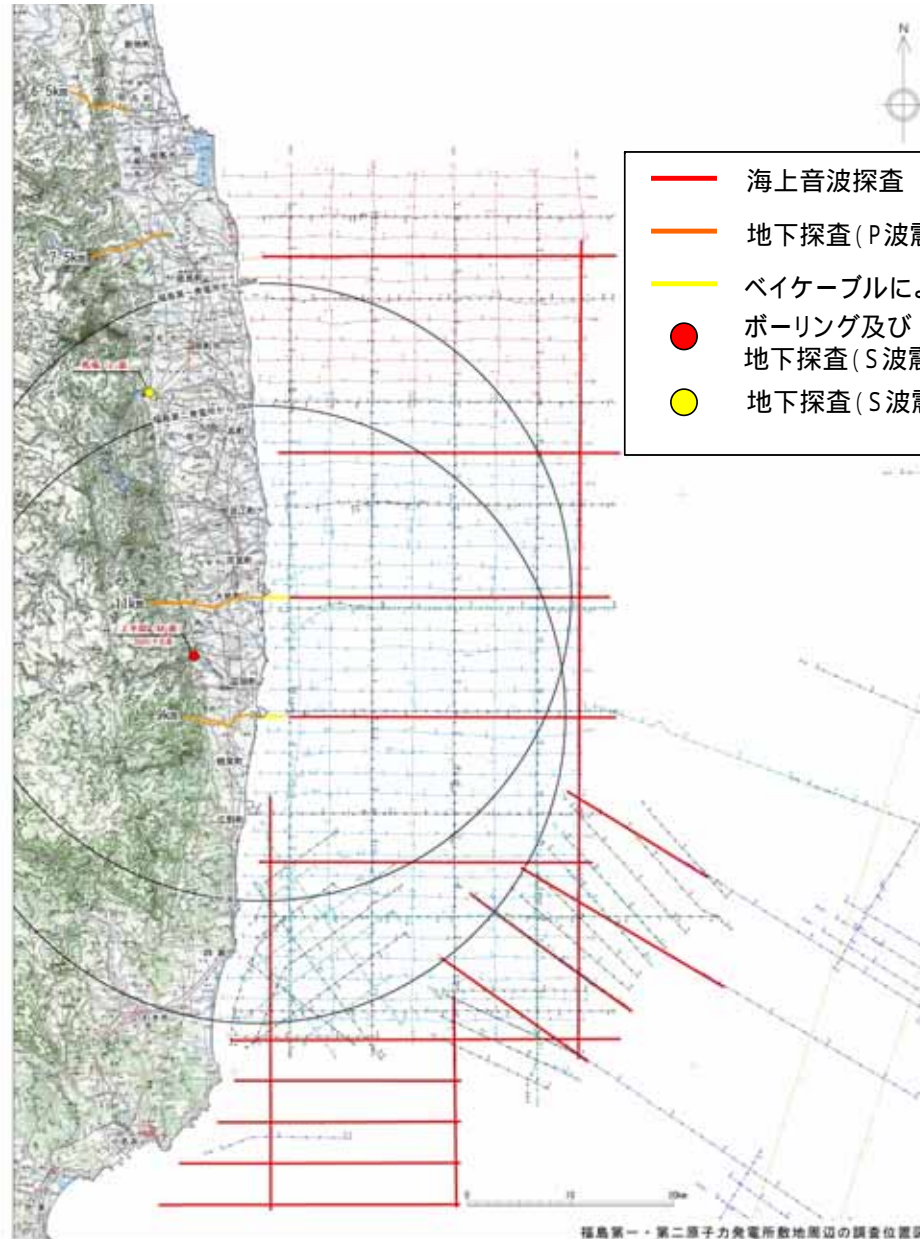
新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査

- H 5 年 運用補助共用施設申請時の地質調査
- H 8 ~ 1 2 年 許可取得後に実施した地質調査
- H 1 5 年 海域活断層の再評価
- H 1 8 年 耐震設計審査指針の改訂
- H 1 8 年 耐震設計審査指針改訂後に実施した地質調査
- H 1 9 年 新潟県中越沖地震の発生
- H 1 9 年 **新潟県中越沖地震を踏まえた地質調査**

- 敷地周辺陸域
 - ・地下探査 (P波震源)
 - ・地下探査 (S波震源)
 - ・ボーリング調査
 - ・地表地質調査
- 敷地周辺海域
 - ・海上音波探査
 - (マルチチャンネル音波探査)
 - ・ベイケーブルによる探査
- 敷地内
 - ・浅いボーリング
 - ・深いボーリング



最終報告書へ反映

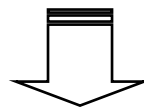


福島第一・第二原子力発電所敷地周辺の調査位置図

A-2 活断層の評価

活断層評価の変更点

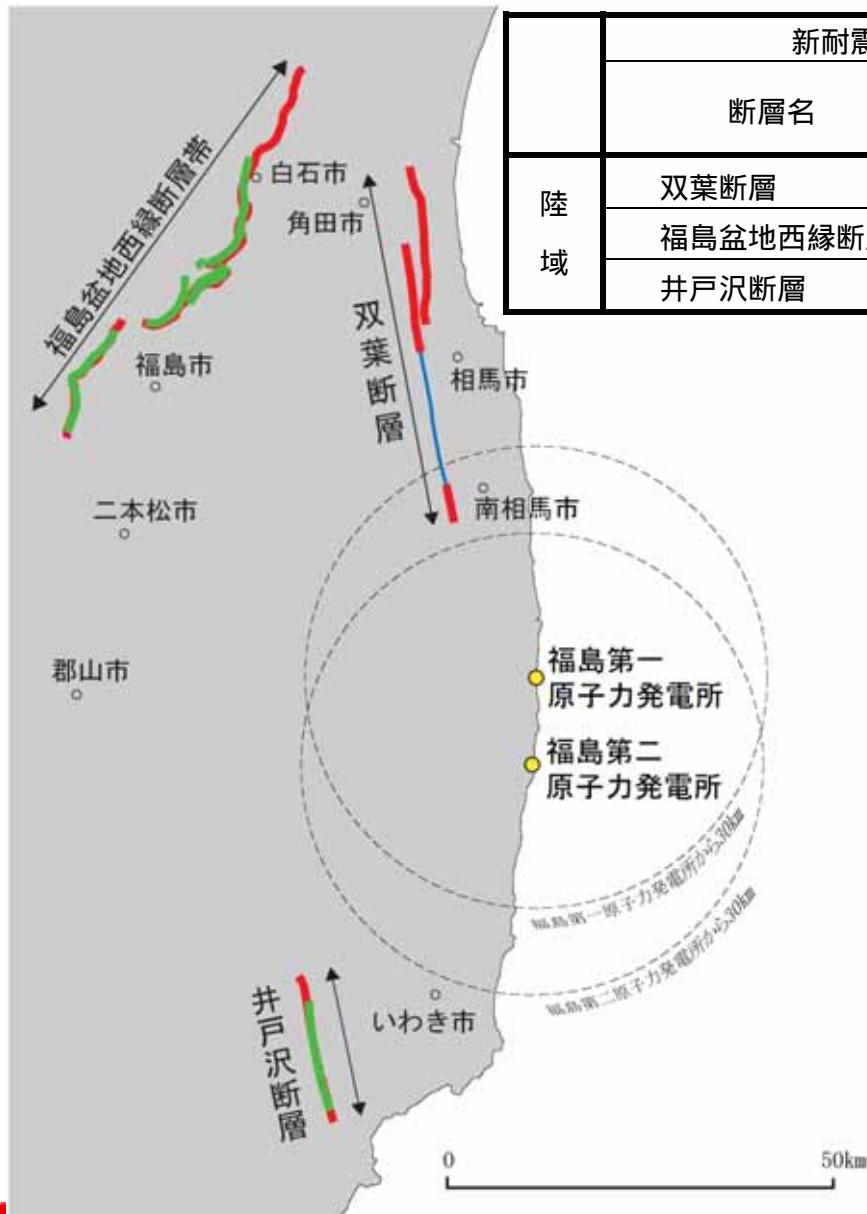
活断層評価にあたっては、「新耐震指針」や「中越沖地震を踏まえ反映すべき事項」(平成19年12月27日、原子力安全・保安院)における活断層評価の考え方や趣旨を踏まえ、変動地形学的観点からの地形判読などを行い、また、設置許可以降の文献等も考慮しながら安全側に評価を行いました。



活断層評価変更のポイント

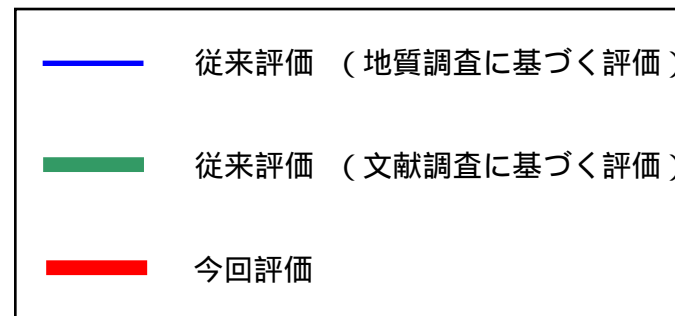
1. 活断層評価対象期間が5万年から12～13 万年前までに変更になったことによるもの
2. 文献調査に基づき地震地体構造上想定する地震として評価していたものを詳細な地質調査に基づき再評価したもの
3. 文献調査に基づき評価していたものを詳細な地質調査に基づき再評価したもの
4. 最新の文献調査等に基づく不確かさを考慮した安全側の評価によるもの

活断層評価の変更点



	新耐震指針における評価			旧耐震指針における評価		変更理由 ¹
	断層名	断層長さ	マグニチュード ² (M)	原子炉設置許可申請書に記載の断層長さ	マグニチュード ² (M)	
陸域	双葉断層	47.5km	7.6	18km	6.9	1・4
	福島盆地西縁断層帯	57 km	7.8	-	7.5 ²	2・4
	井戸沢断層	19.5 km	7.0	- ³	-	3

- 1) 「活断層評価の変更のポイント」の記号を示す。
- 2) 地震地体構造上想定する地震として、M7.5の地震を想定。
- 3) 断層の長さや敷地からの距離を考慮すると敷地に与える影響は小さいと評価。

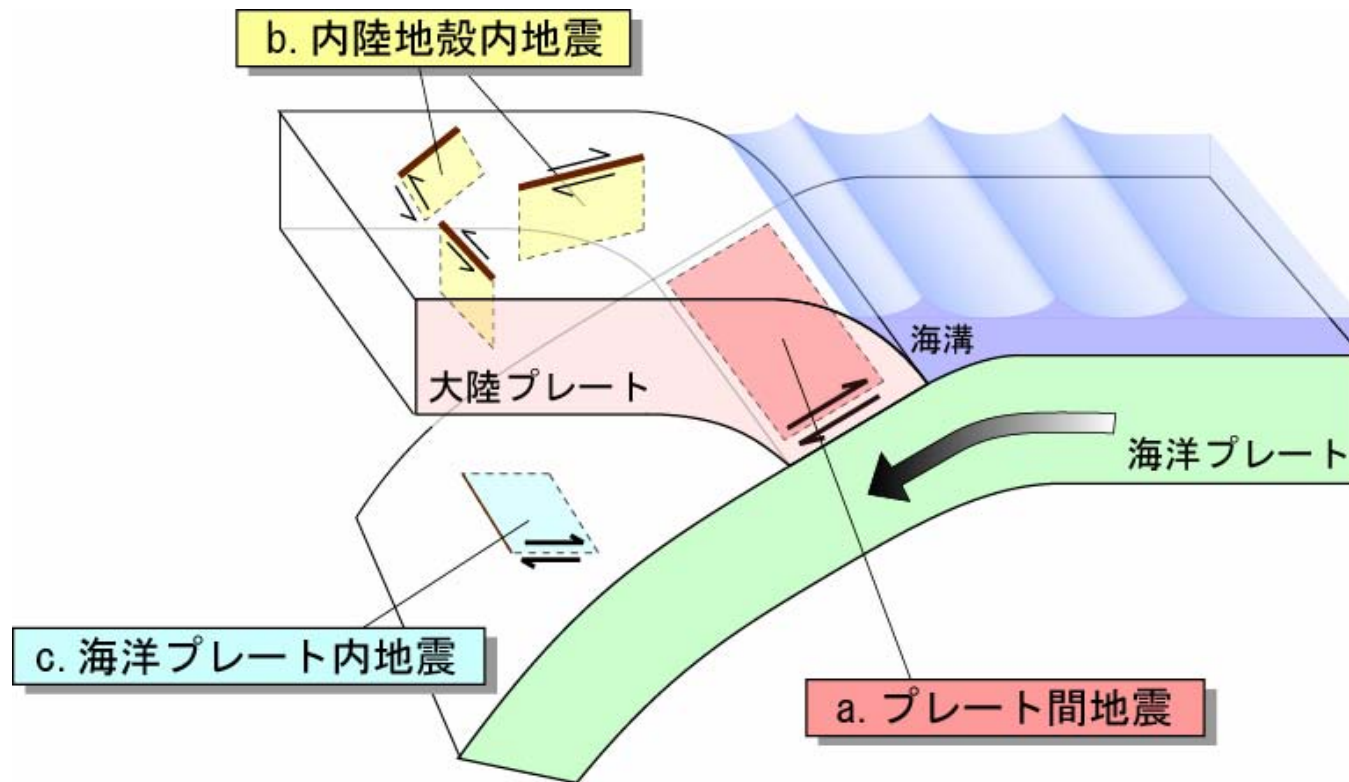


福島第一原子力発電所 1～6号炉施設変更許可時

B 基準地震動 S_s の策定

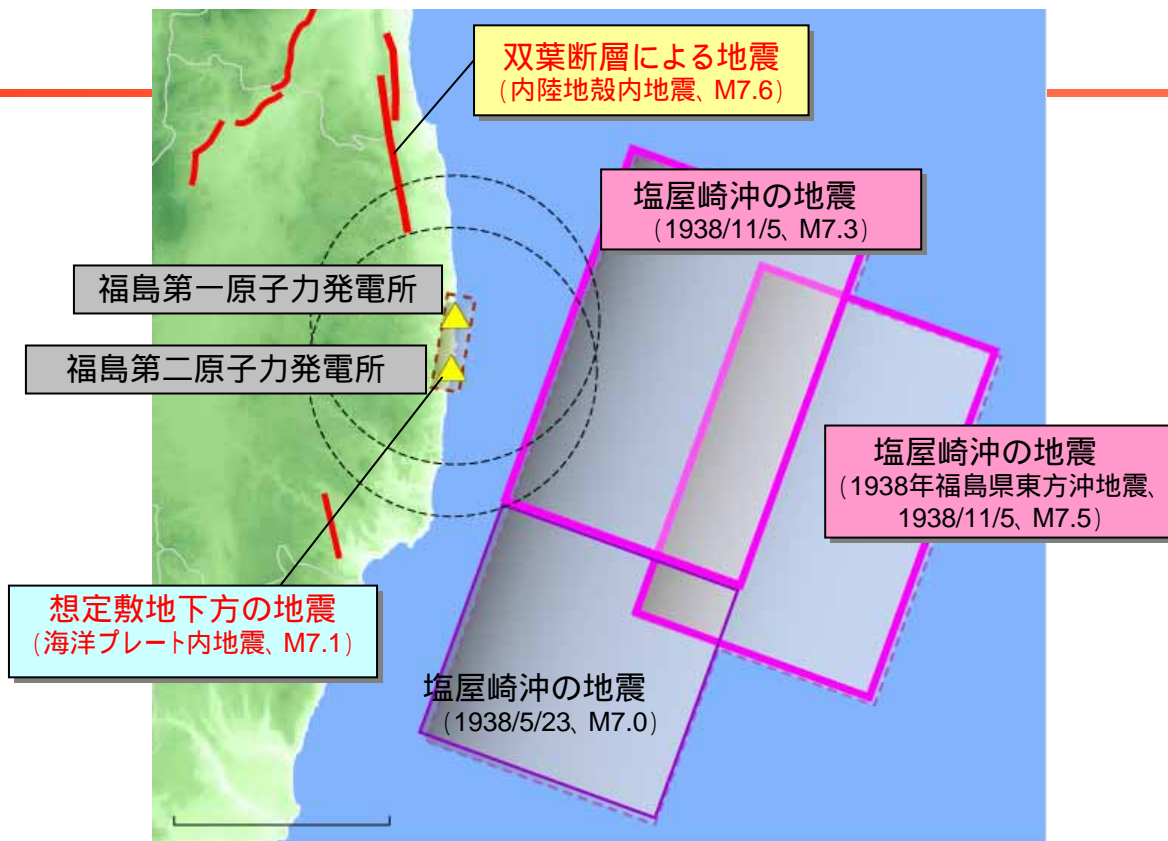
「新耐震指針」に基づく基準地震動Ssの策定

地震の発生様式ごとに、敷地への影響が大きい地震（検討用地震）を選定し、
「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」を選定。



検討用地震の選定

Noda et al. (2002) による応答スペクトルの比較により、以下の地震を検討用地震として選定。



分類	検討用地震	マグニチュード	等価震源距離 (km)	
			福島第一	福島第二
内陸地殻内地震	双葉断層による地震	7.6	43	55
プレート間地震	塩屋崎沖の地震	7.5	102	98
	塩屋崎沖の地震	7.3	73	75
海洋プレート内地震	想定敷地下方の地震	7.1	81	79

検討用地震の地震動評価

検討用地震の地震動評価にあたっては、以下の不確かさを考慮。

(1)内陸地殻内地震（双葉断層による地震）

断層傾斜角

アスペリティ位置

破壊開始点

応力降下量

(2)プレート間地震（塩屋崎沖の地震、塩屋崎沖の地震）

仮想塩屋崎沖の地震（塩屋崎沖の地震・が連動）

破壊開始点

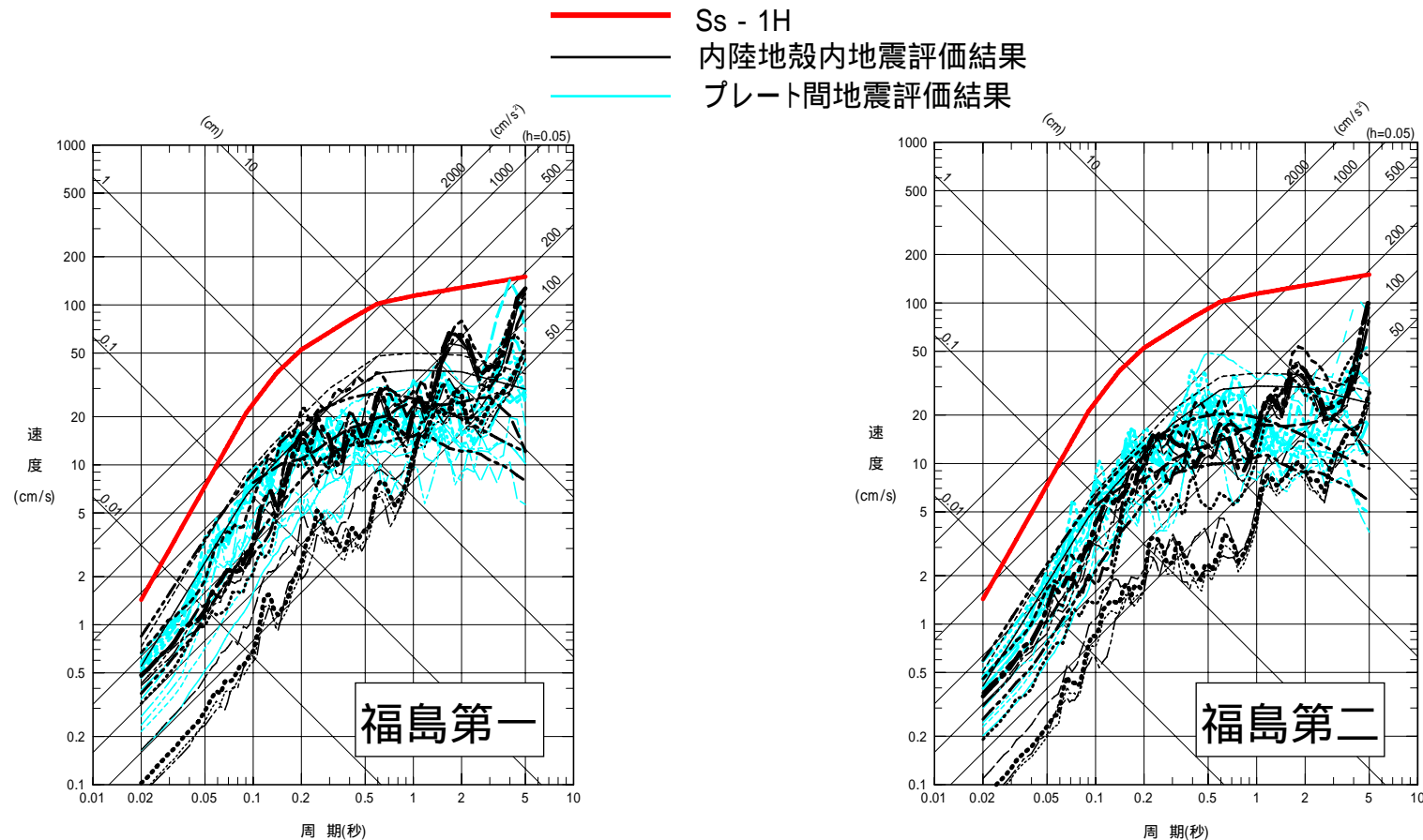
(3)海洋プレート内地震（想定敷地下方の地震）

震源位置（敷地の下方に想定）

基準地震動の策定

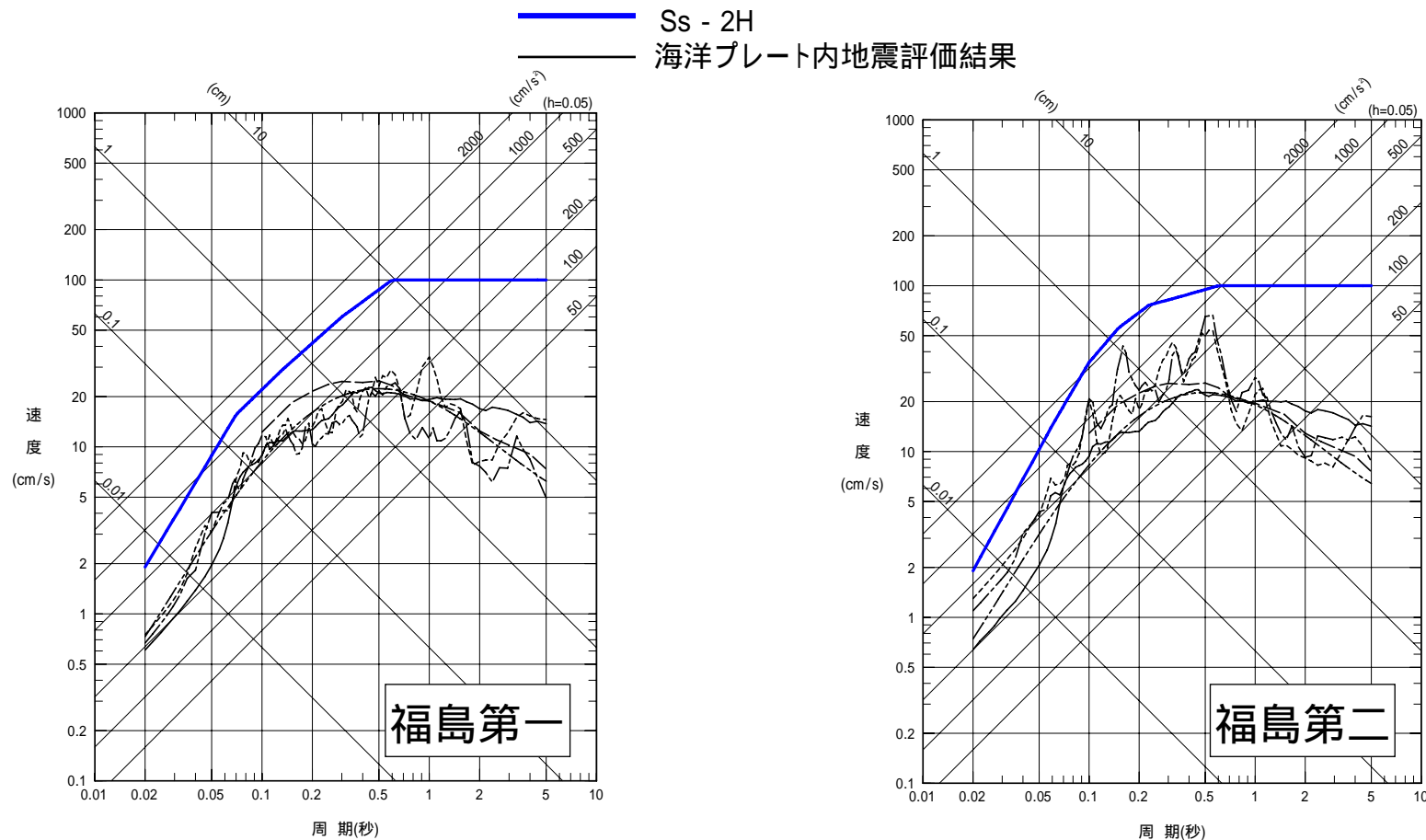
内陸地殻内地震・プレート間地震の評価結果を上回るように、基準地震動 Ss - 1H (最大加速度450ガル) を設定。

鉛直方向の応答スペクトルは水平方向の2 / 3とし、水平・鉛直とも検討用地震の評価結果を上回るように設定。



基準地震動の策定

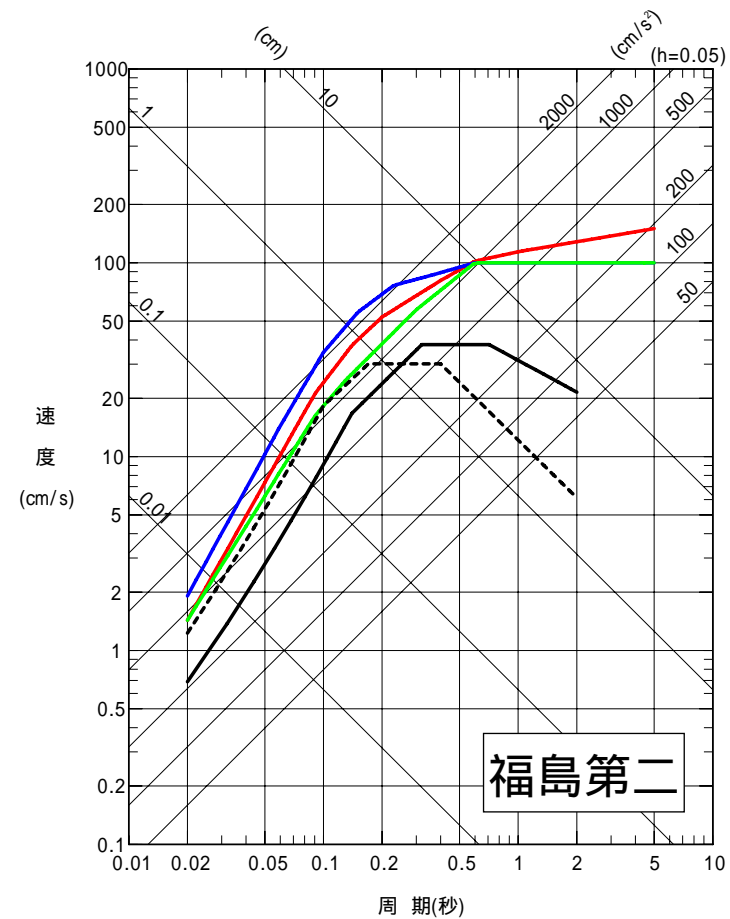
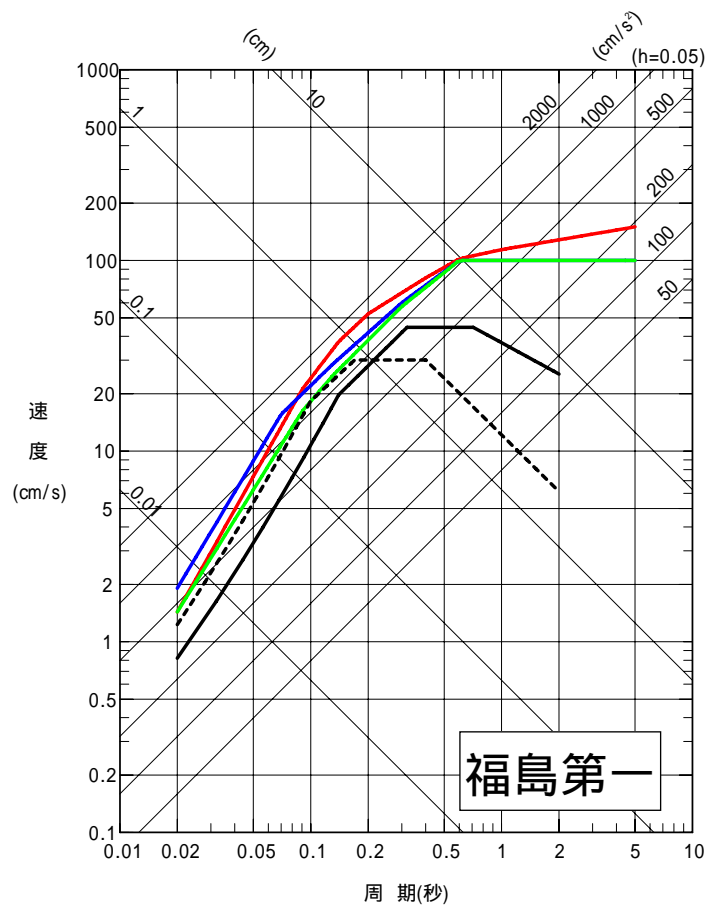
海洋プレート内地震は短周期成分を強く励起することから、Ss - 1Hとは別に、海洋プレート内地震の評価結果を上回るよう基準地震動Ss - 2H（最大加速度600ガル）を設定。



基準地震動の策定

「震源を特定せず策定する地震動」として設定したSs - 3Hと共に、基準地震動の策定結果を示す。

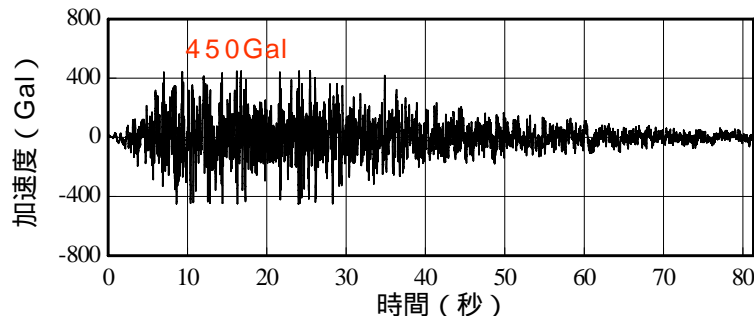
- 基準地震動Ss-1H
- 基準地震動Ss-2H
- 基準地震動Ss-3H
- 旧基準地震動S2
- - - 旧基準地震動S2(直下地震)



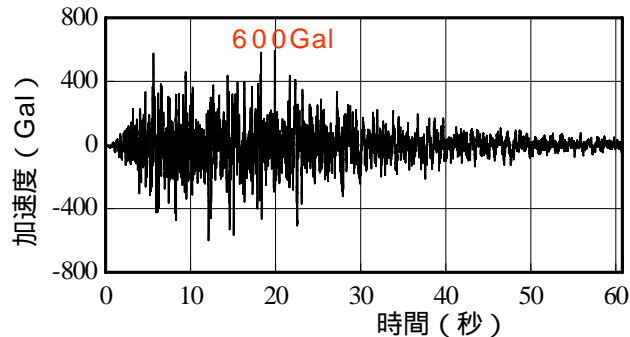
基準地震動の策定

加速度時刻歴波形 (福島第一原子力発電所)

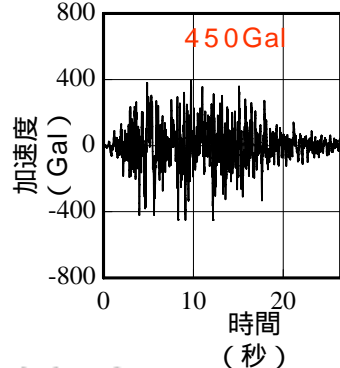
Ss - 1H



Ss - 2H

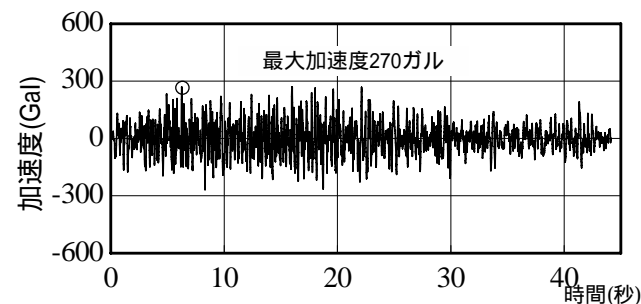


Ss - 3H

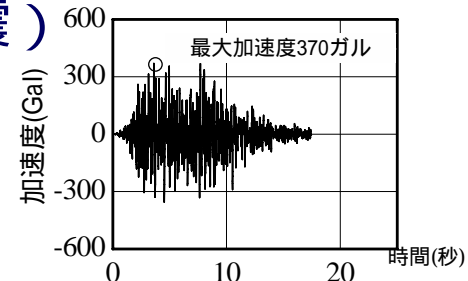


【参考】

旧基準地震動S2



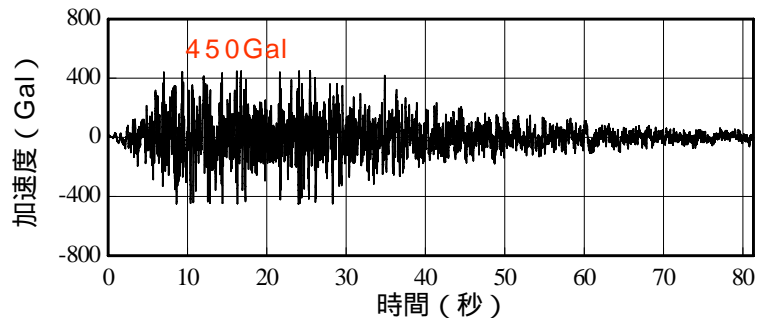
旧基準地震動S2 (直下地震)



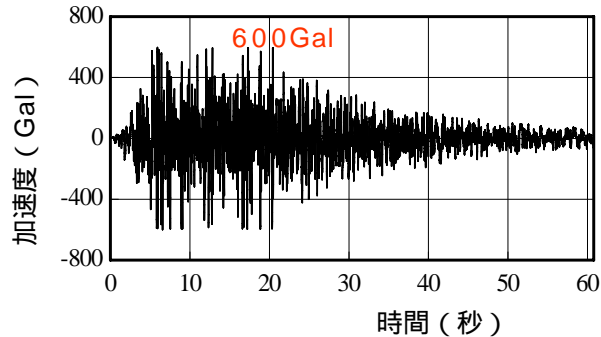
基準地震動の策定

加速度時刻歴波形 (福島第二原子力発電所)

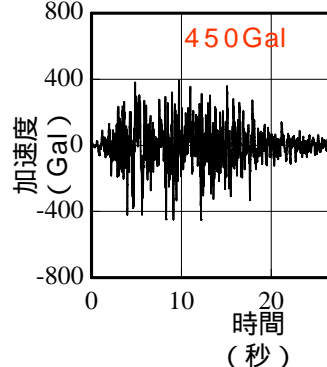
Ss - 1H



Ss - 2H

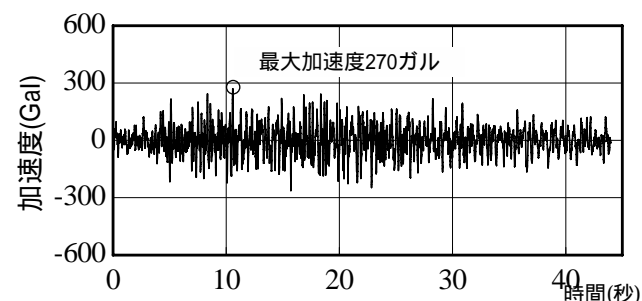


Ss - 3H

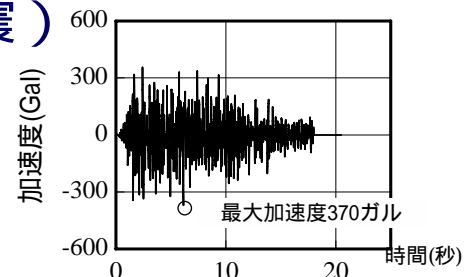


【参考】

旧基準地震動S2



旧基準地震動S2 (直下地震)



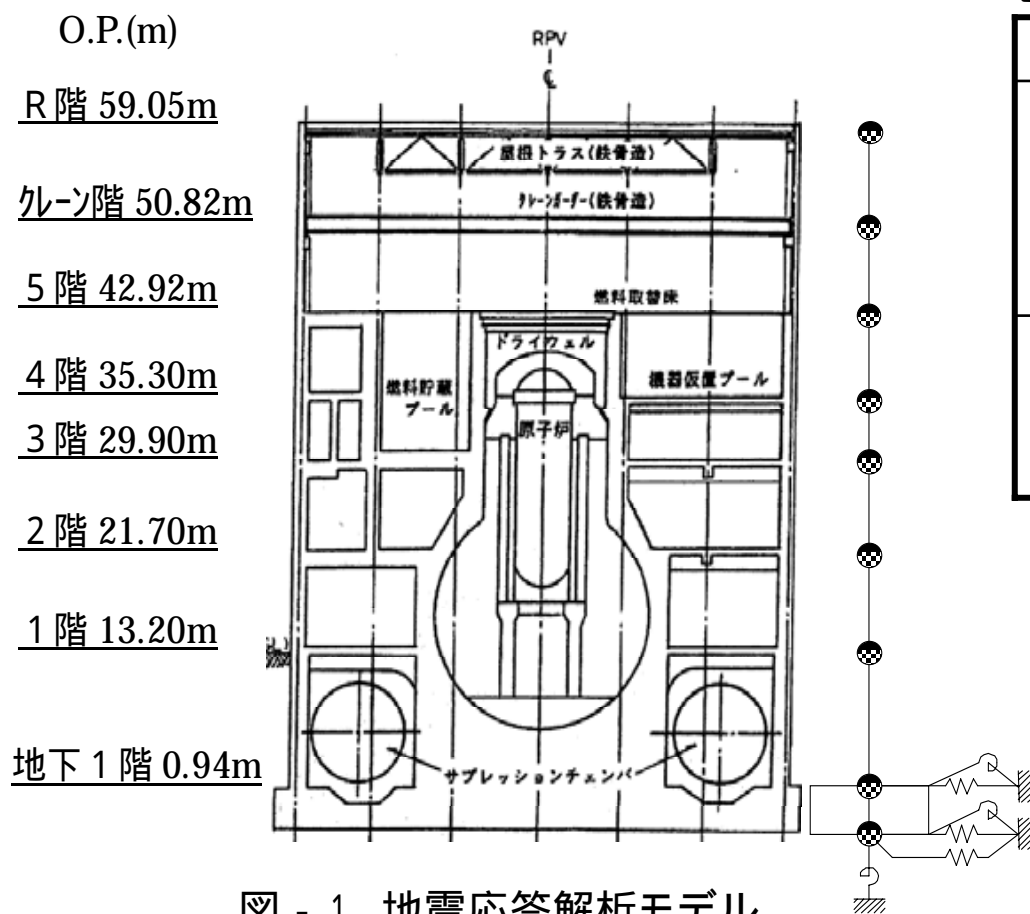
C 施設等の耐震安全性評価

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第一原子力発電所5号機)

- 建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデルを設定し、基準地震動Ssを用いた地震応答解析(時刻歴応答解析法)を実施。

地盤との相互作用を考慮した質点系モデル。



		原子炉建屋モデル
地盤	底面ばね	水平・回転 (振動アドミタンス理論に基づく)
	側面ばね	水平・回転 (NOVAKの方法に基づく)
建屋	ヤング係数	$2.57 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (実強度考慮)
	減衰定数	5%

↓
一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定した基準地震動Ssを地盤ばね位置で評価し、地盤ばねを介して入力。

図 - 1 地震応答解析モデル

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第一原子力発電所5号機)

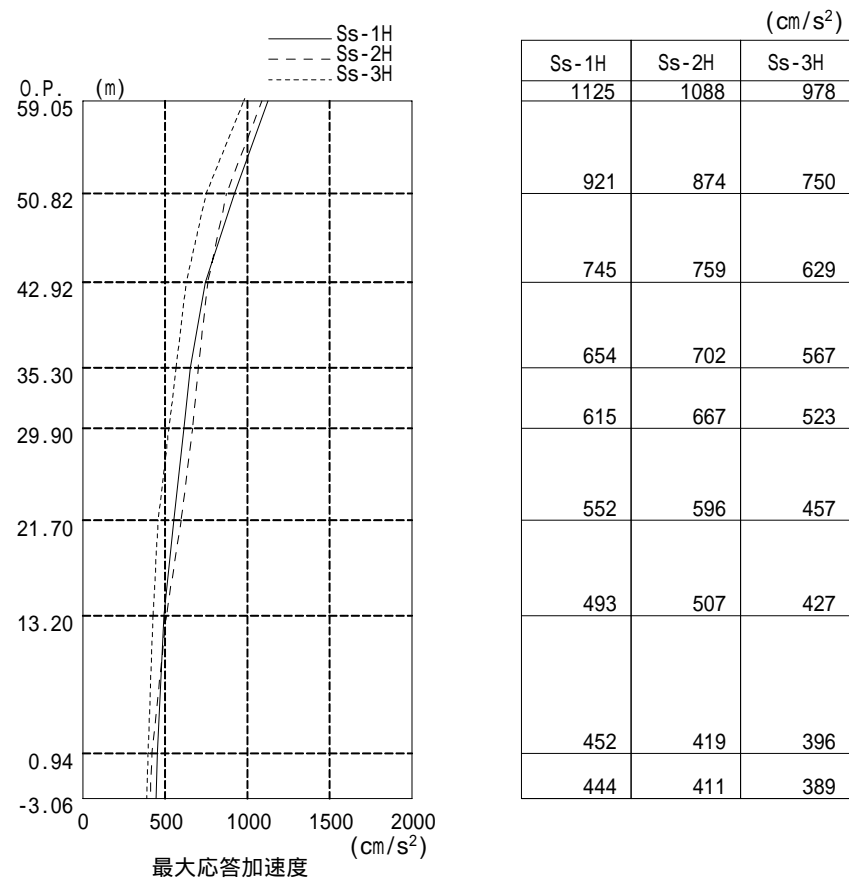
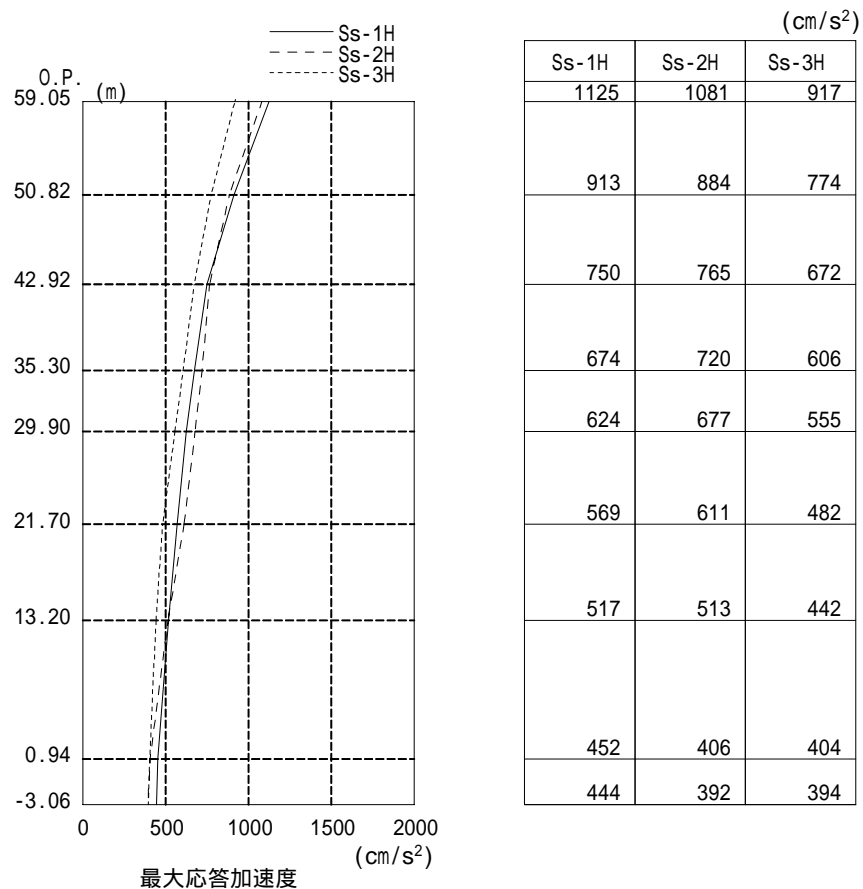


図 - 2 最大応答加速度分布(南北方向)

図 - 3 最大応答加速度分布(東西方向)

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第一原子力発電所5号機)

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.19×10^{-3} (東西方向 5階) であり、評価基準値(2.0×10^{-3}) を超えないことを確認。

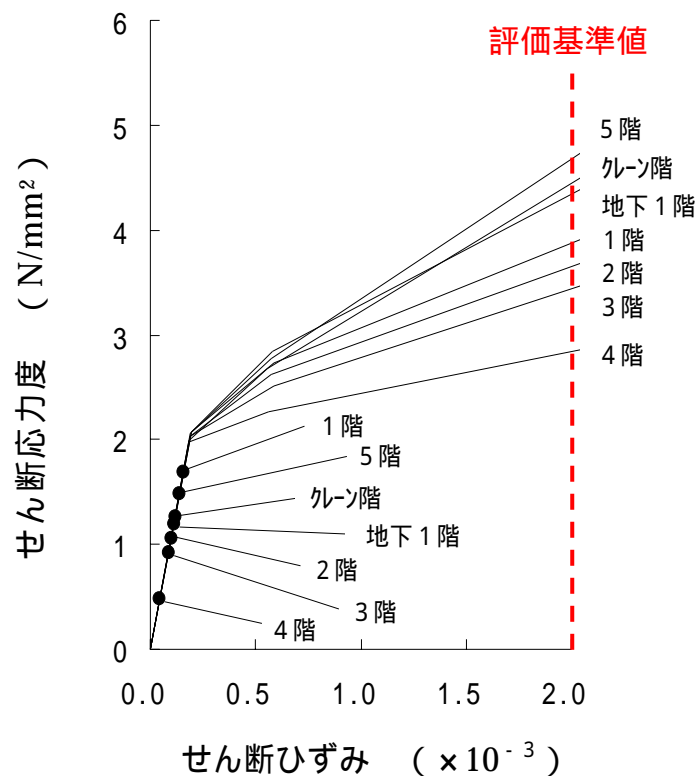


図 - 4 耐震壁のせん断ひずみ
(Ss - 2 南北方向)

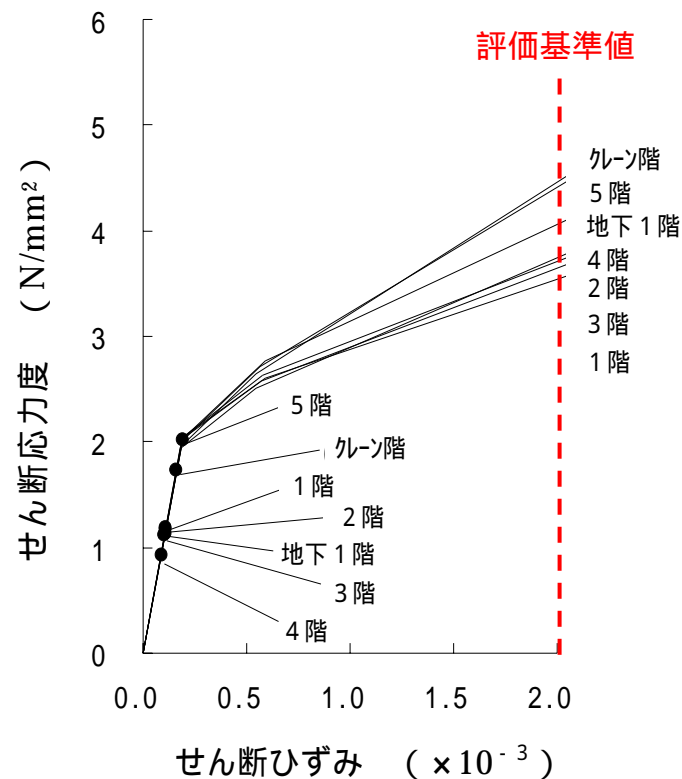


図 - 5 耐震壁のせん断ひずみ
(Ss - 1 東西方向)

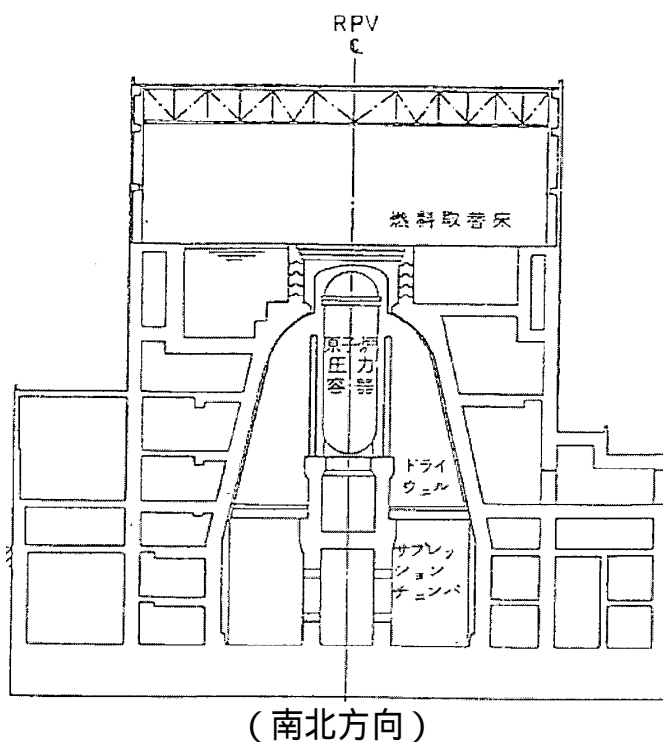
安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第二原子力発電所4号機)

- 建物・構築物や地盤の特性を適切に表現できるモデルを設定し、基準地震動Ssを用いた地震応答解析(時刻歴応答解析法)を実施。

地盤との相互作用を考慮した質点系モデル。

O.P.(m)
 R階 70.0m
 外-ン階 58.5m
 6階 50.5m
 5階 39.8m
 4階 31.8m
 3階 24.3m
 2階 18.0m
 1階 12.2m
 地下1階 6.0m
 地下2階 0.0m



		原子炉建屋モデル
地盤	底面ばね	水平・回転 (振動アドミッタンス理論に基づく)
	側面ばね	水平・回転 (NOVAKの方法に基づく)
建屋	ヤング係数	$2.81 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (実強度考慮)
	減衰定数	5%

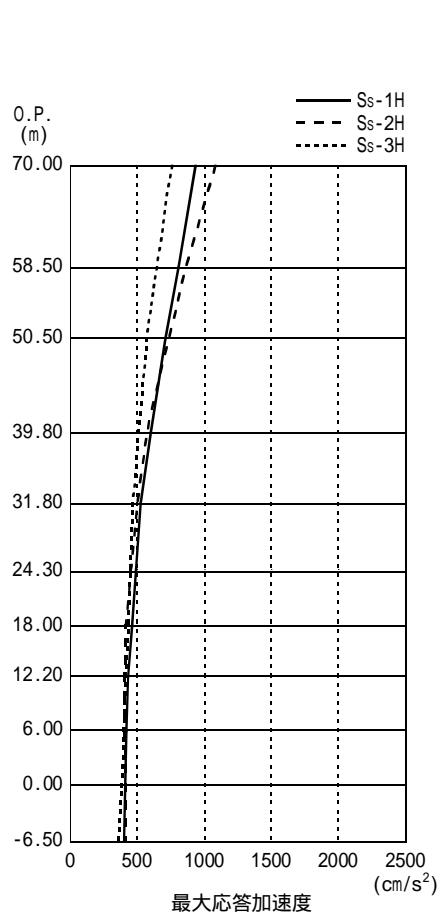


一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベルに想定した基準地震動Ssを地盤ばね位置で評価し、地盤ばねを介して入力。

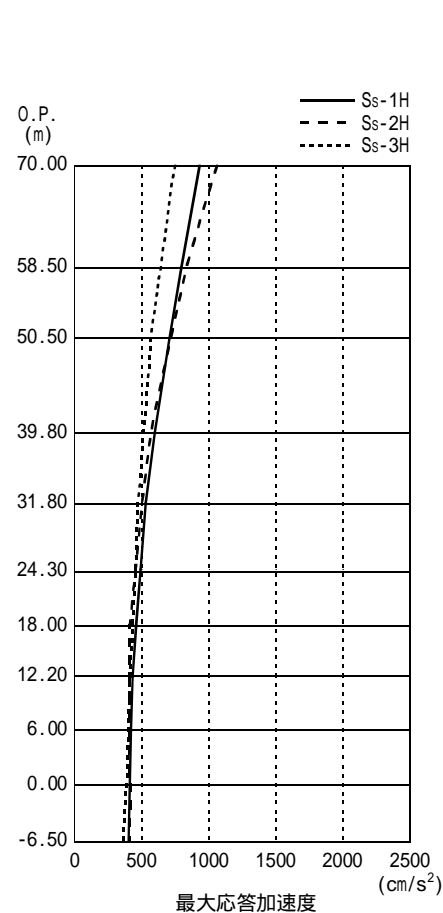
図 - 1 地震応答解析モデル

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第二原子力発電所4号機)



(cm/s ²)		
Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
936	1083	761
805	861	648
711	737	571
601	570	508
525	502	464
490	453	448
460	416	432
432	405	415
420	408	397
409	415	385
403	409	362



(cm/s ²)		
Ss-1H	Ss-2H	Ss-3H
930	1060	748
796	831	643
704	713	568
598	567	510
527	501	467
491	451	450
459	413	433
432	409	416
419	410	397
409	415	385
403	409	361

図 - 2 最大応答加速度分布(南北方向)

図 - 3 最大応答加速度分布(東西方向)

安全上重要な建物・構築物の耐震安全性評価

- 原子炉建屋の評価 - (福島第二原子力発電所 4号機)

- 耐震壁のせん断ひずみは、最大で 0.14×10^{-3} (東西方向 2階)であり、評価基準値(2.0×10^{-3})を超えないことを確認。

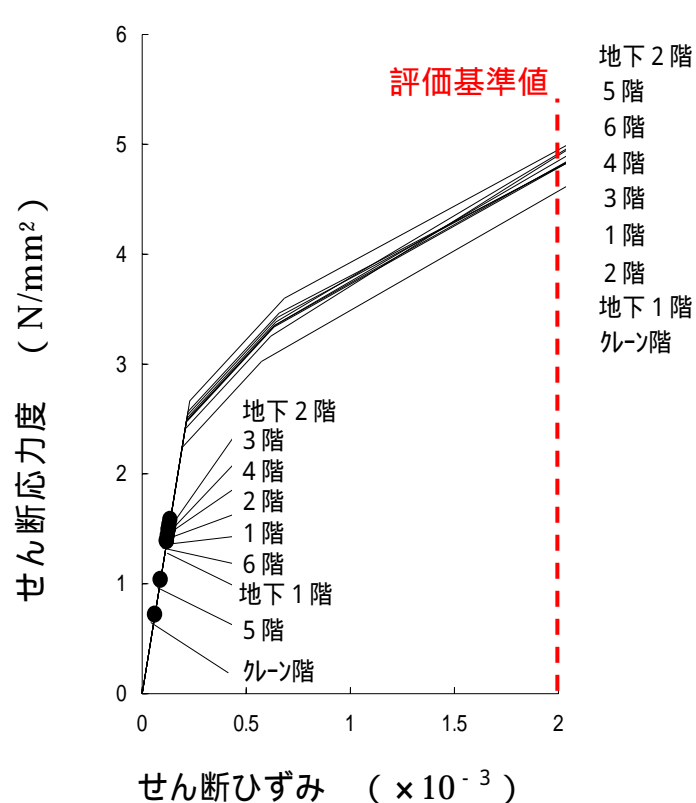


図 - 4 耐震壁のせん断ひずみ
(Ss - 1 南北方向)

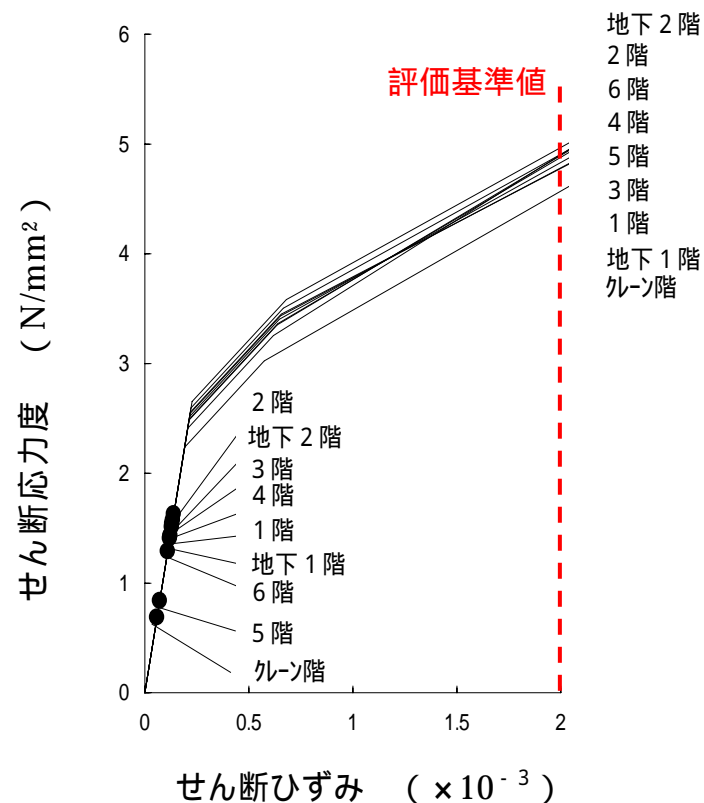


図 - 5 耐震壁のせん断ひずみ
(Ss - 1 東西方向)

耐震設計上重要な機器・配管系の評価方針

- 基準地震動Ssに対する耐震設計上重要な機器・配管系の安全機能の保持の観点から耐震安全性の評価を実施

【評価対象】

- Sクラス設備

(原子炉压力容器，原子炉格納容器，炉心支持構造物，残留熱除去系ポンプ，残留熱除去系配管，主蒸気系配管，燃料集合体)

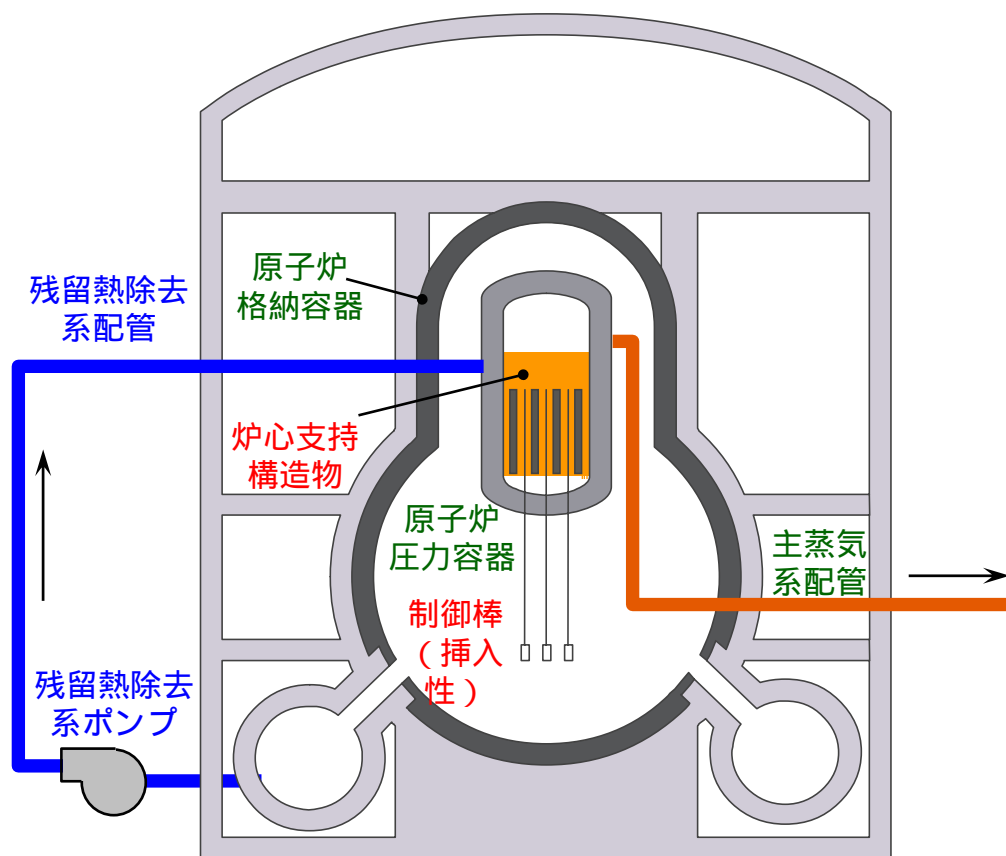
【評価項目】

- 構造強度評価
- 動的機能維持評価 (制御棒挿入性)

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

■ 評価対象（福島第一原子力発電所 5号機）

- 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次の主要な施設



「止める」

- ・ 制御棒（挿入性）
- ・ 炉心支持構造物

「冷やす」

- ・ 残留熱除去系ポンプ
- ・ 残留熱除去系配管

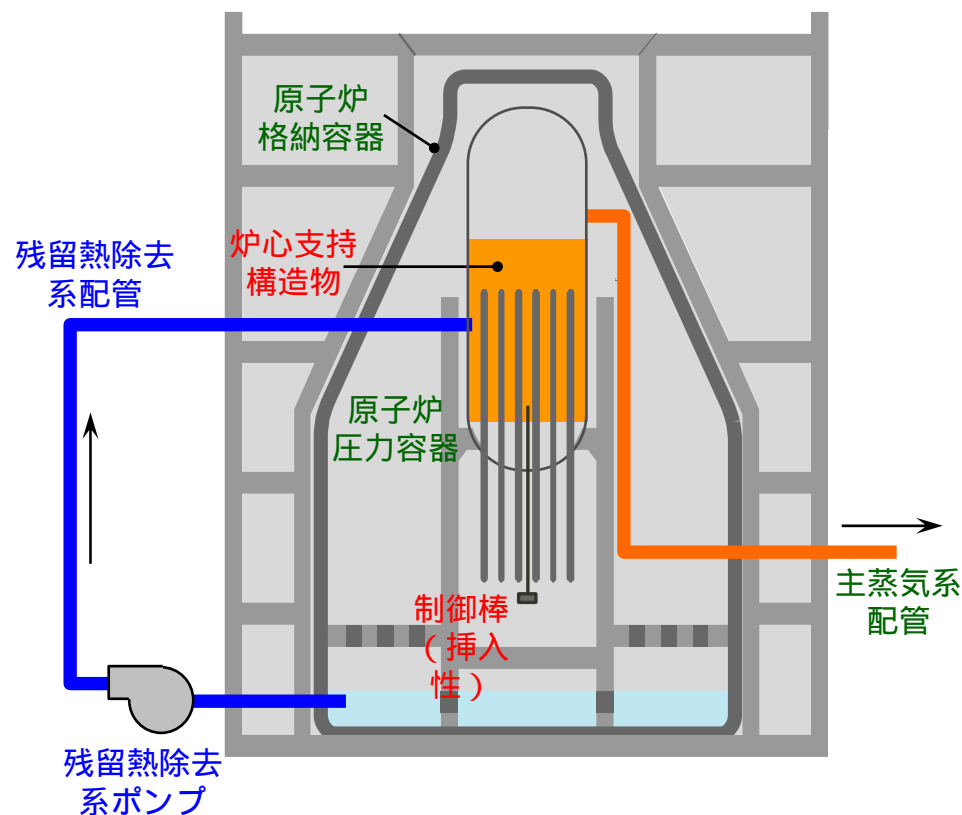
「閉じ込める」

- ・ 原子炉圧力容器
- ・ 主蒸気系配管
- ・ 原子炉格納容器

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

■ 評価対象 （福島第二原子力発電所 4号機）

- 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次の主要な施設



「止める」

- ・ 制御棒（挿入性）
- ・ 炉心支持構造物

「冷やす」

- ・ 残留熱除去系ポンプ
- ・ 残留熱除去系配管

「閉じ込める」

- ・ 原子炉圧力容器
- ・ 主蒸気系配管
- ・ 原子炉格納容器

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

■ 評価内容および評価方法

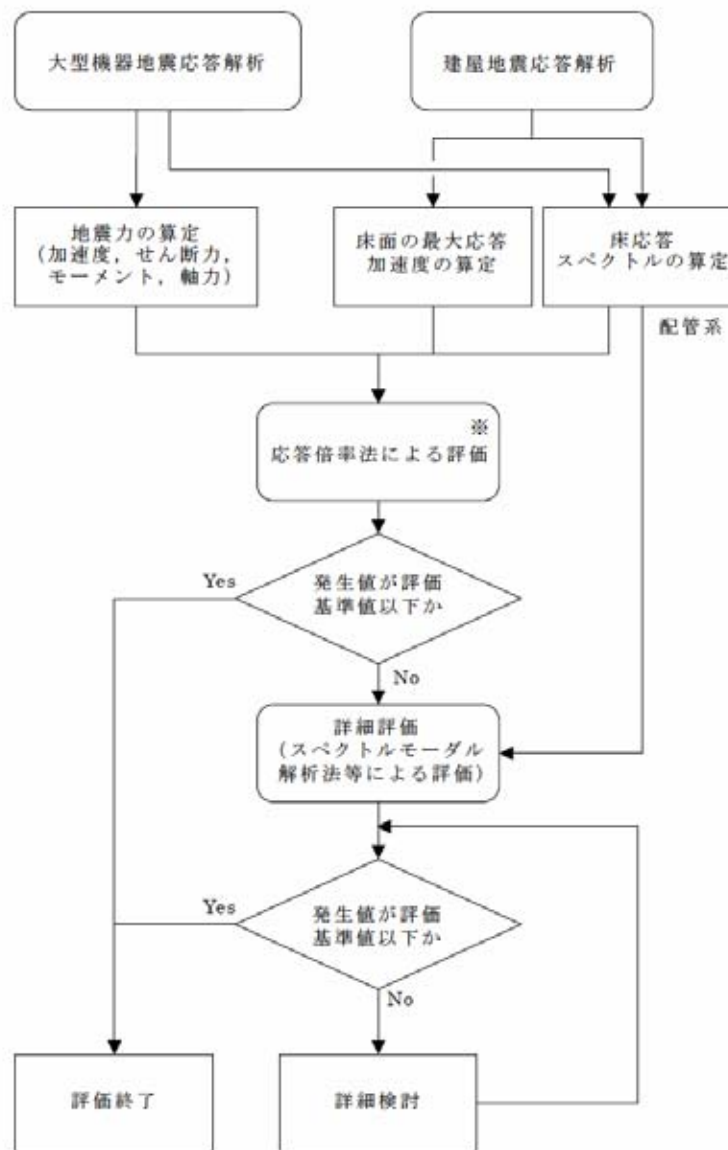
● 構造強度評価

基準地震動 S_s により設備に加わる地震力等によって部材に発生する力（発生値）が材料の許容される強度（評価基準値）以下であることを確認。

● 動的機能維持評価（制御棒挿入性）

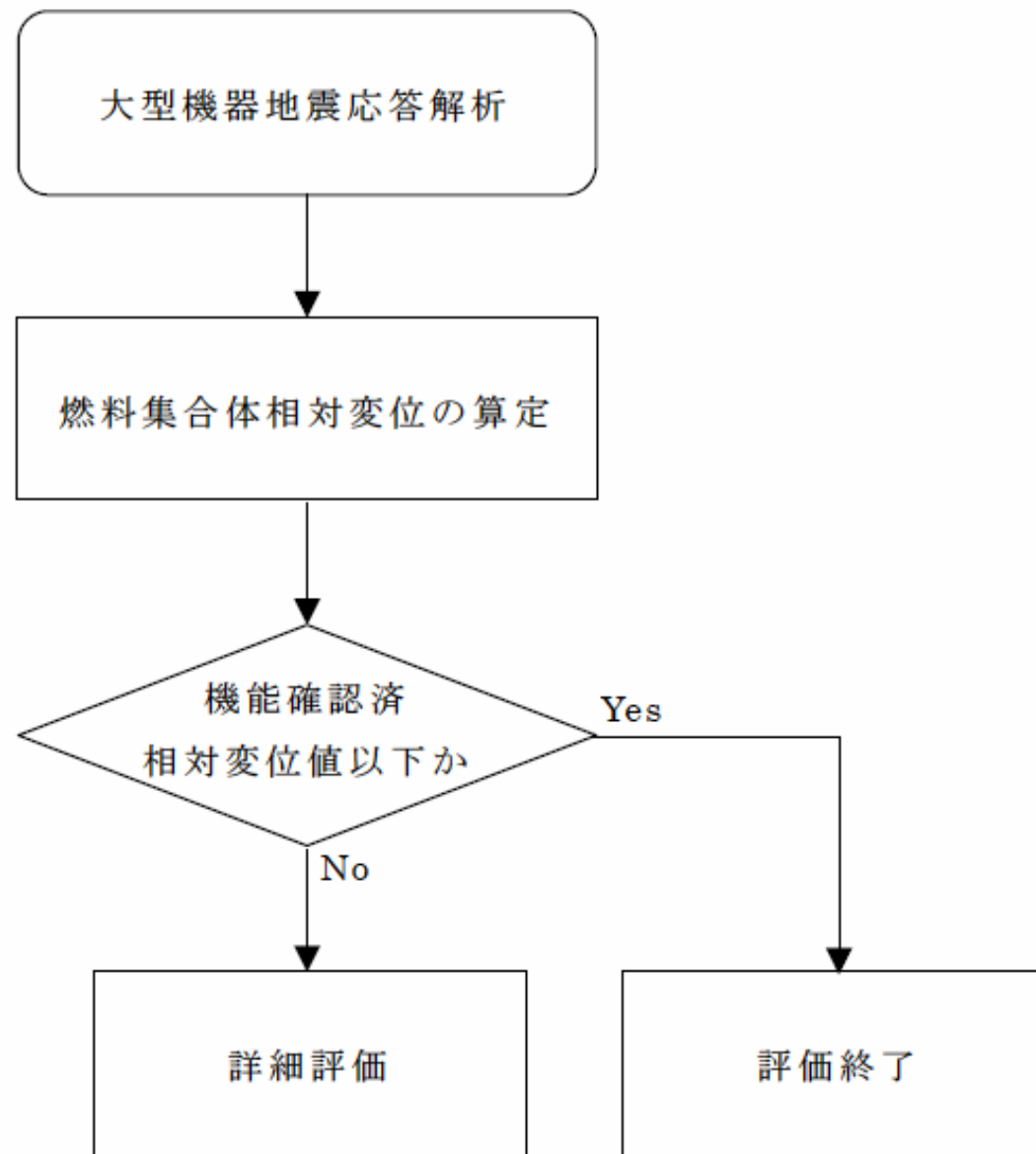
基準地震動 S_s による燃料集合体の相対変位を求め、その相対変位が試験により挿入性が確認された相対変位以下であることを確認。

構造強度評価の流れ



※応答倍率法による評価によらず、詳細評価する場合がある。

動的機能維持評価の流れ（制御棒挿入性）



応答倍率法による評価

- 既往評価での評価方法に応じて，以下の方法 または方法 で実施

方法

Ssによる発生値 = 既往評価等の応力 + 既往評価等の応力 × 応答比
(地震以外による応力) (地震による応力)

方法

Ssによる発生値 = $\left[\begin{array}{l} \text{既往評価等の応力} + \text{既往評価等の応力} \\ \text{(地震以外による応力)} \text{ (地震による応力)} \end{array} \right] \times \text{応答比}$

応答比

原子炉圧力容器や炉内構造物等，発生値を算定するにあたり，加速度，せん断力，モーメント，軸力を用いる機器

- ・ 基準地震動 S s による地震動と既往評価等の地震力との比
(加速度，せん断力，モーメント，軸力毎に応答比を算定)

ポンプの基礎ボルト等，発生値を算定するにあたり，水平加速度，鉛直加速度を用いる機器

- ・ 基準地震動 S s による床応答スペクトルからの水平加速度と鉛直加速度の二乗和平方根と既往評価等で用いた床応答スペクトルからの水平加速度と鉛直加速度の二乗和平方根との比

減衰定数

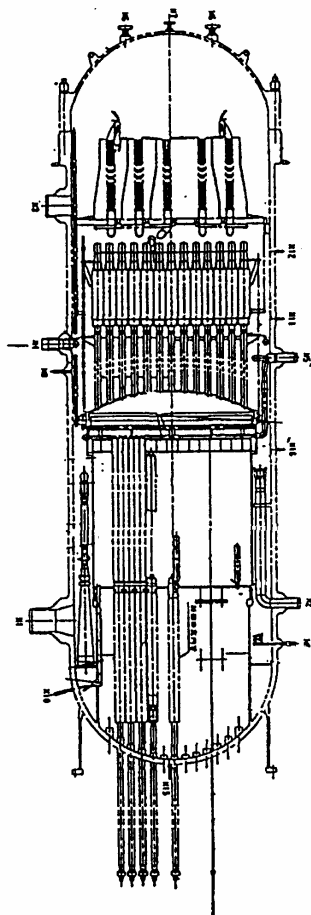
- 原則として「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1991追補版」に規定された値とし，試験等で妥当性が確認された値も用いる。

対象施設	減衰定数 (%)	
	水平方向	鉛直方向
溶接構造物	1.0	1.0
ポンプ・ファン等の 機械装置	1.0	1.0
燃料集合体	7.0	1.0
配管系	0.5～3.0	0.5～3.0

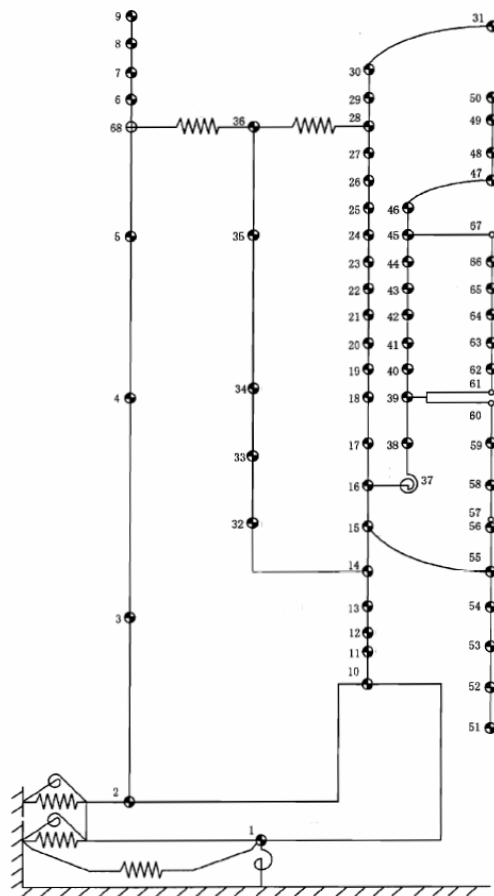
炉内構造物の解析モデル例（福島第一5号機）

- 水平方向は，多質点モデル化し，それぞれの質点間を曲げ，せん断剛性を有するはり，またはばねにより結合する。

炉内構造物の概要



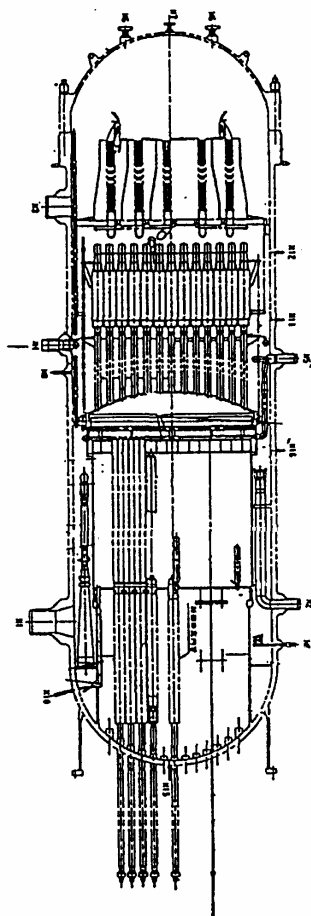
炉内構造物のモデル化（水平方向）



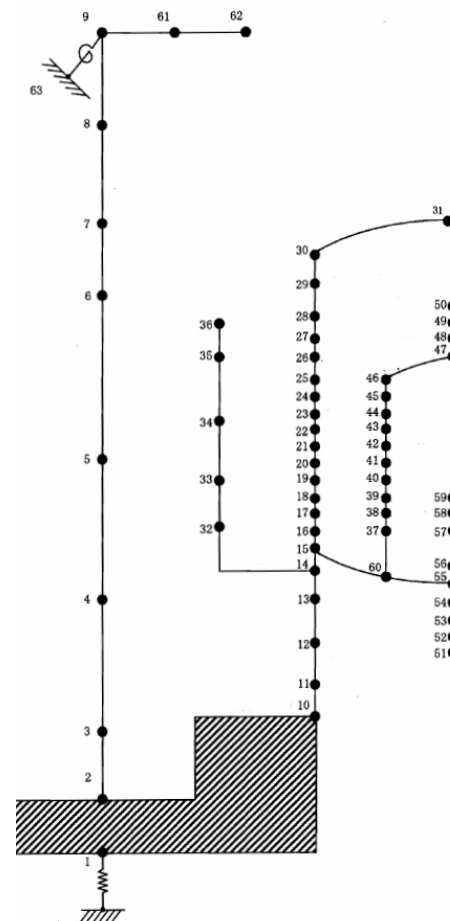
炉内構造物の解析モデル例（福島第一5号機）

- 鉛直方向は、質点間を軸剛性（圧縮，引張に対する剛性）を有するばねにより結合する。

炉内構造物の概要



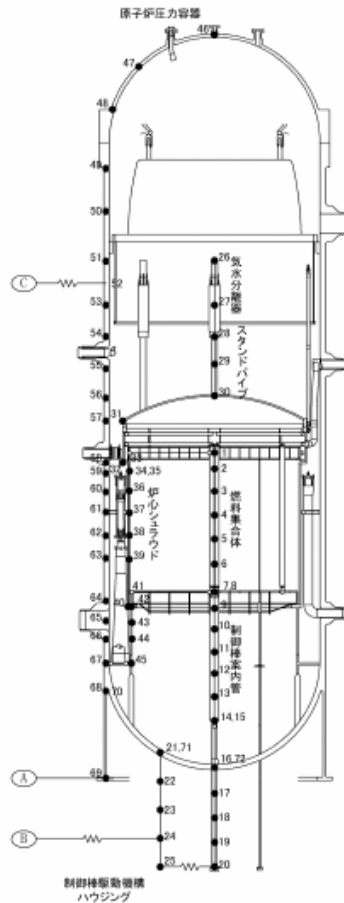
炉内構造物のモデル化（鉛直方向）



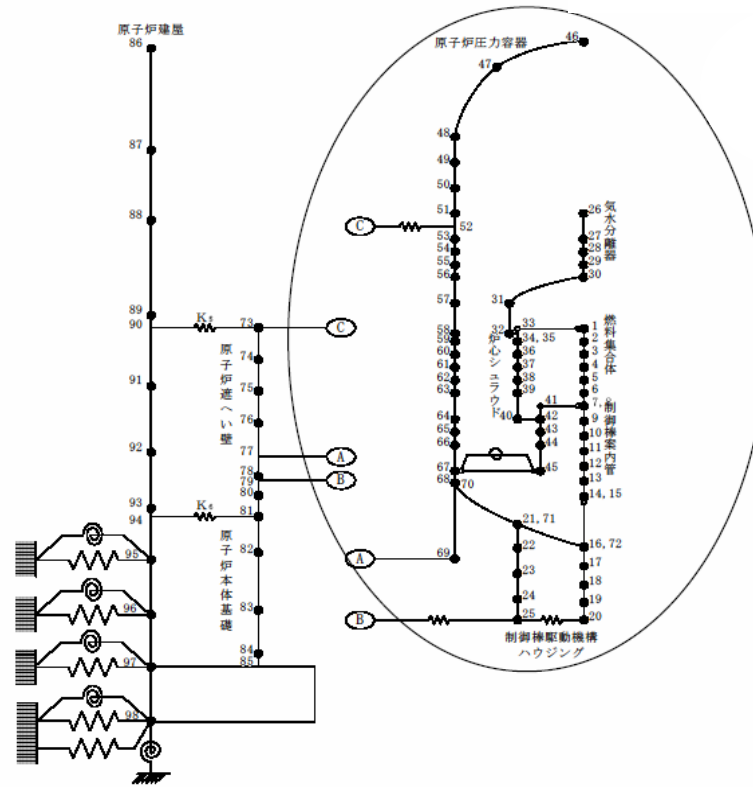
炉内構造物の解析モデル例（福島第二4号機）

- 水平方向は，多質点モデル化し，それぞれの質点間を曲げ，せん断剛性を有するはり，またはばねにより結合する。

炉内構造物の概要



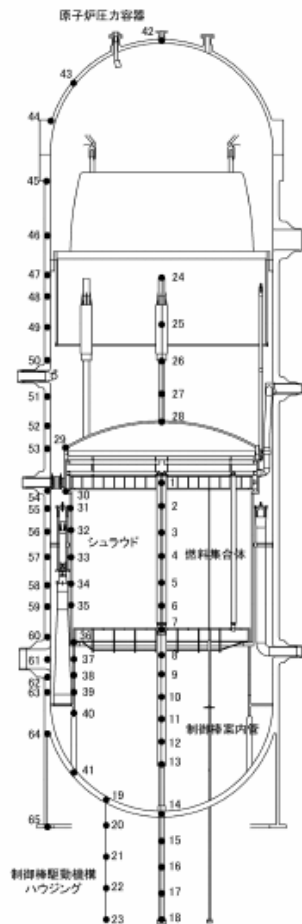
炉内構造物のモデル化（水平方向）



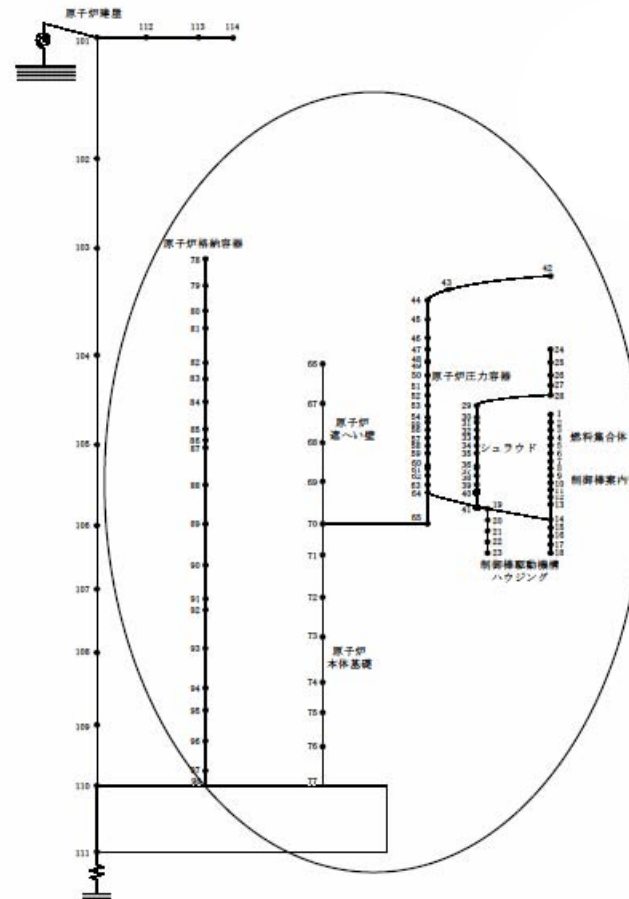
炉内構造物の解析モデル例（福島第二4号機）

- 鉛直方向は，質点間を軸剛性（圧縮，引張に対する剛性）を有するばねにより結合する。

炉内構造物の概要

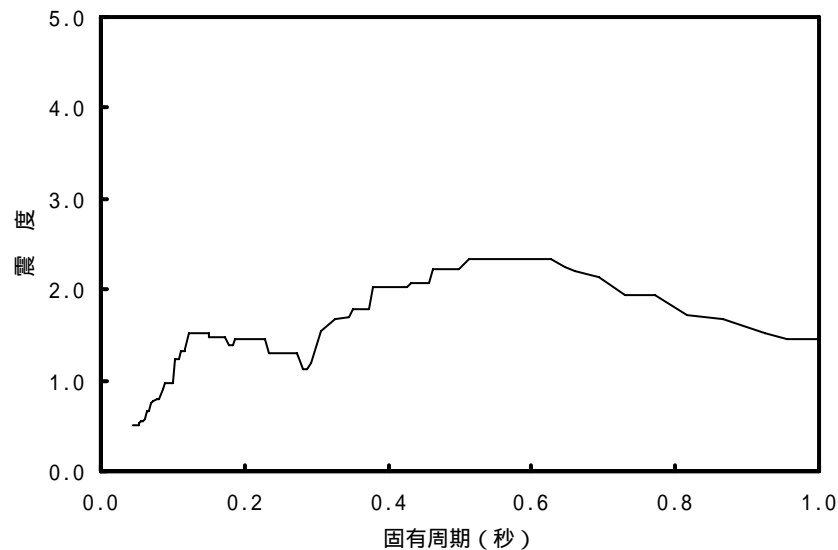


炉内構造物のモデル化（鉛直方向）

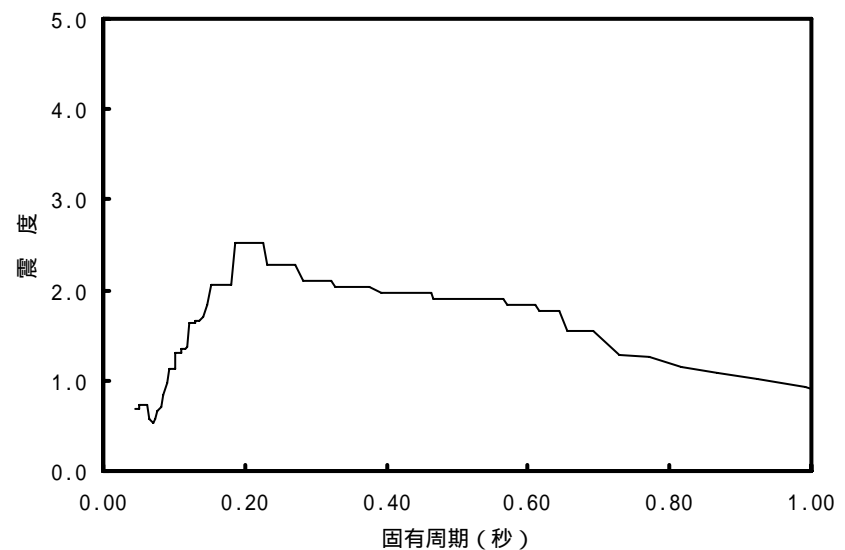


床応答スペクトル（福島第一5号機）

- 建物・構築物，大型機器の地震応答解析で得られた各位置の加速度応答時刻歴を用いて水平方向および鉛直方向について算定
- 算定にあたっては，地盤や建屋の物性等のばらつきが床応答に与える影響を考慮し，「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等を参考に周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅



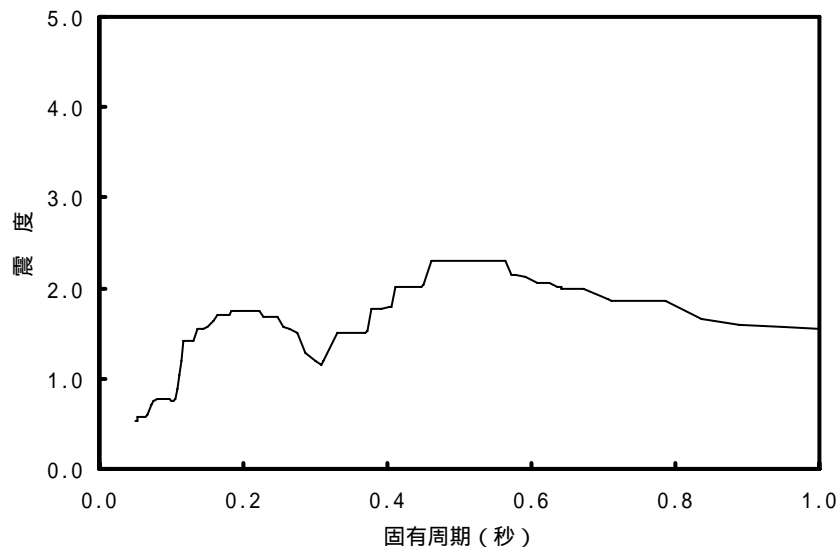
福島第一5号機 原子炉建屋水平方向
(O.P.+0.94m 減衰1.0%)



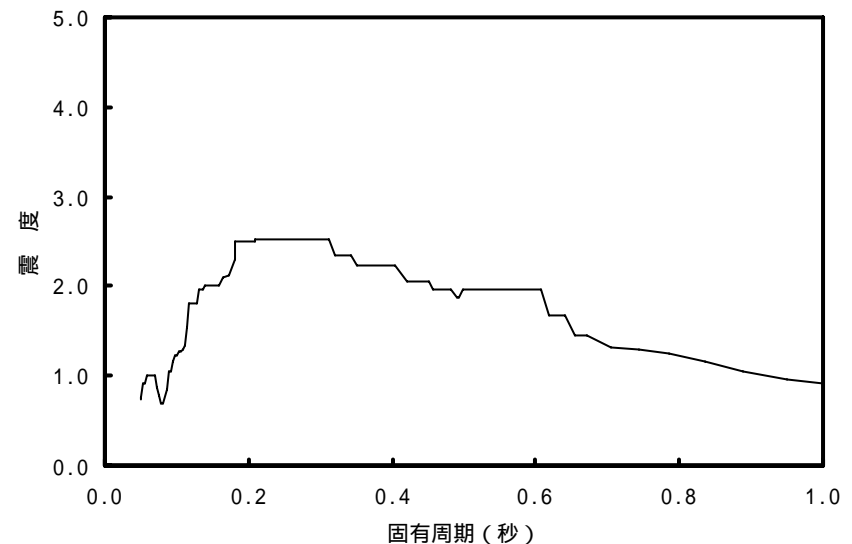
福島第一5号機 原子炉建屋鉛直方向
(O.P.+0.94m 減衰1.0%)

床応答スペクトル（福島第二4号機）

- 建物・構築物，大型機器の地震応答解析で得られた各位置の加速度応答時刻歴を用いて水平方向および鉛直方向について算定
- 算定にあたっては，地盤や建屋の物性等のばらつきが床応答に与える影響を考慮し，「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987」等を参考に周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅



福島第二4号機 原子炉建屋水平方向
(O.P.+0.0m 減衰1.0%)



福島第二4号機 原子炉建屋鉛直方向
(O.P.+0.0m 減衰1.0%)

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価結果（福島第一原子力発電所 5 号機）
基準地震動Ssによる応答値，相対変位が評価基準値以下であることを確認した。

- 構造強度評価

評価対象設備	評価部位	応答値 (MPa)	基準値 (MPa)
原子炉圧力容器	基礎ボルト	39	222
原子炉格納容器	ドライウェル	90	255
炉心支持構造物	シュラウドサポート	86	300
残留熱除去系ポンプ	基礎ボルト	29	202
残留熱除去系配管	配管本体	197	364
主蒸気系配管	配管本体	356	417

- 動的機能維持評価

評価対象設備	地震時の相対変位 (mm)	基準値 (mm)
制御棒 (挿入性)	13.8	40.0

安全上重要な機器・配管系の耐震安全性評価

- 評価結果（福島第二原子力発電所 4号機）
基準地震動Ssによる応答値，相対変位が評価基準値以下であることを確認した。

- 構造強度評価

評価対象設備	評価部位	応答値 (MPa)	基準値 (MPa)
原子炉圧力容器	基礎ボルト	11	492
原子炉格納容器	ドライウェル	38	380
炉心支持構造物	シュラウドサポート	89	247
残留熱除去系ポンプ	基礎ボルト	4	342
残留熱除去系配管	配管本体	165	321
主蒸気系配管	配管本体	157	309

- 動的機能維持評価

評価対象設備	地震時の相対変位 (mm)	基準値 (mm)
制御棒 (挿入性)	14.1	40.0