

京都大学原子炉実験所研究用原子炉(KUR)
新耐震指針に照らした耐震安全性評価(中間報告)
(原子炉建屋の耐震安全性評価)

平成21年11月27日
京都大学原子炉実験所

1. 原子炉建屋地震応答解析用 入力地震動の選定

基準地震動Ss (地盤・地質SWGにおいて審議済み)

1. 応答スペクトルに基づいた地震動評価

中央構造線断層帯 (M7.8) → 基準地震動Ss-1

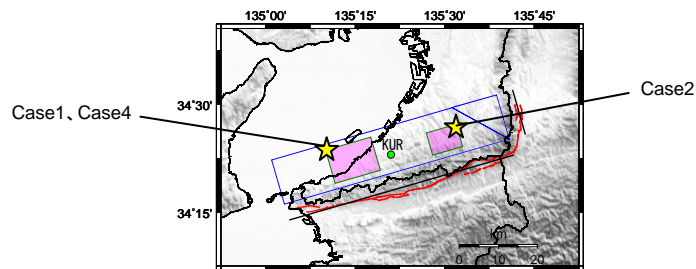
2. 断層モデルを用いた地震動評価

中央構造線断層帯の震源モデル (震源の不確かさの考え方)

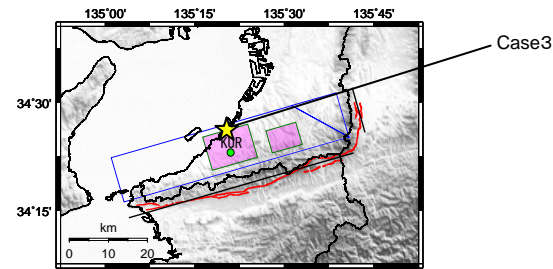
モデル名	傾斜角	アスペリティ	破壊開始点	応力降下量
Case1 (基本モデル1)	43°	推本モデル※2と同様のアスペリティ配置	西側アスペリティ西側下端 (推本モデル※1ケース1と同じ)	レシピア※3
Case2 (基本モデル2)	43°	推本モデル※2と同様のアスペリティ配置	東側アスペリティ東側下端 (推本モデル※1ケース2と同じ)	レシピア※3
Case3※1 (アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル)	43°	敷地の近くに大きいアスペリティを配置	西側アスペリティ中央下端	レシピア※3 → 基準地震動Ss-2
Case4 (応力降下量1.5倍モデル)	43°	推本モデル※2と同様のアスペリティ配置	西側アスペリティ西側下端 (推本モデル※1ケース1と同じ)	レシピア※3 × 1.5倍 → 基準地震動Ss-3

※1 前回のSWGで報告した基準地震動Ss-2の震源モデルと同じモデル、 ※2 地震調査研究推進本部の強震動評価時のモデル

※3 強震動予測レシピア、 不確かさを考慮したパラメータ



基本モデル及び応力降下量1.5倍モデル



アスペリティ位置の不確かさを考慮したモデル

入力地震動の選定2

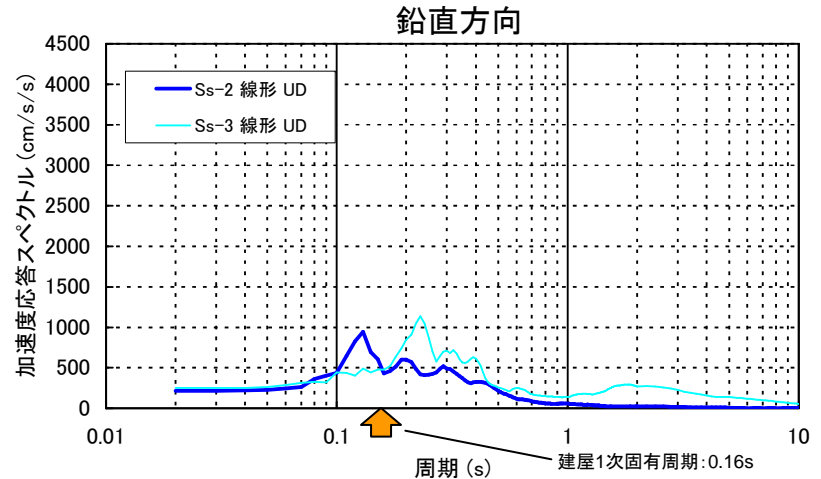
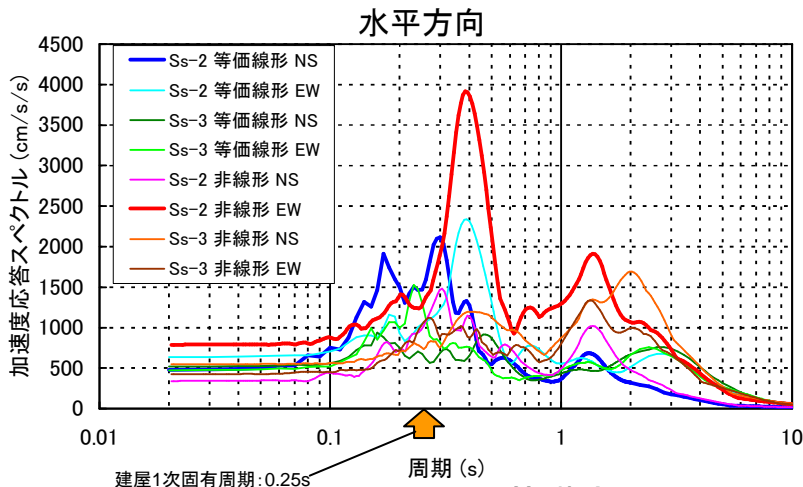
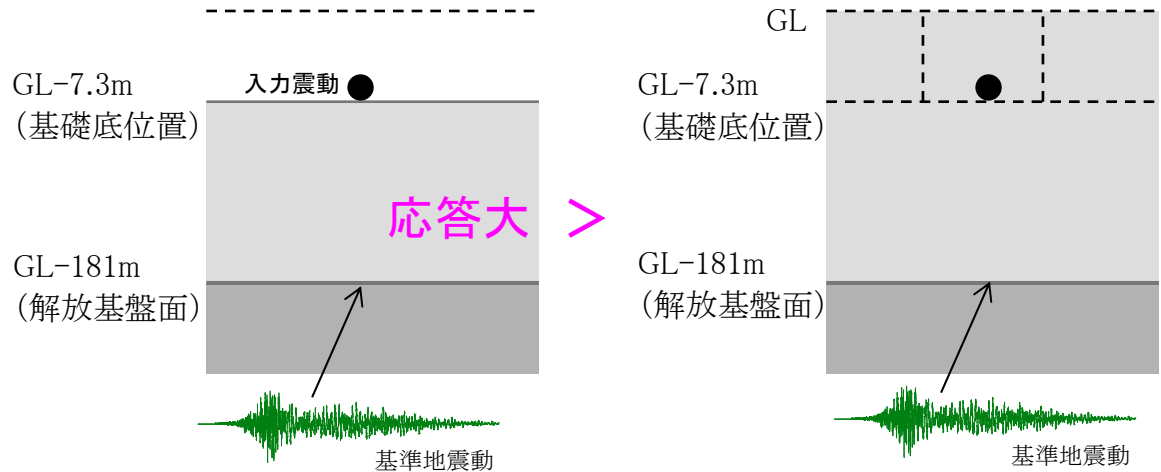
基準地震動と原子炉建屋入力地震動の選定

条件1

基礎底位置の入力用地震動において、同レベル以浅の地盤をはぎ取った地盤モデルの地表面応答波形を用いた。

条件2

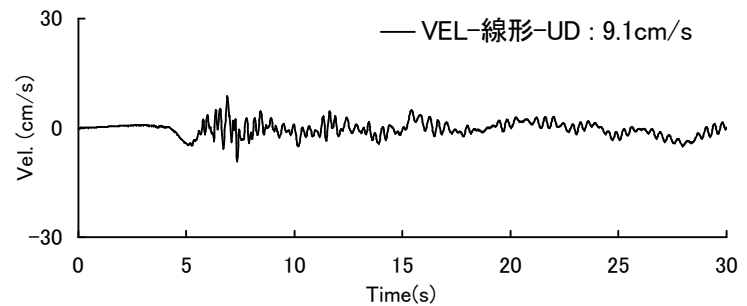
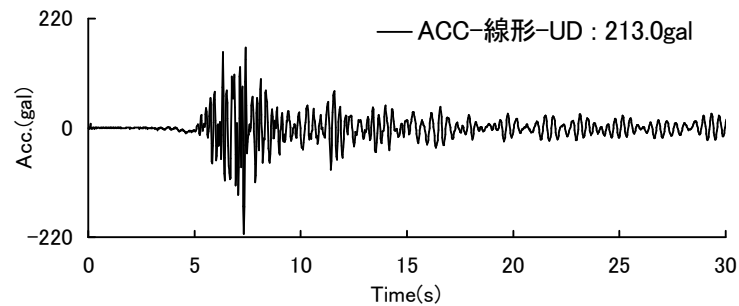
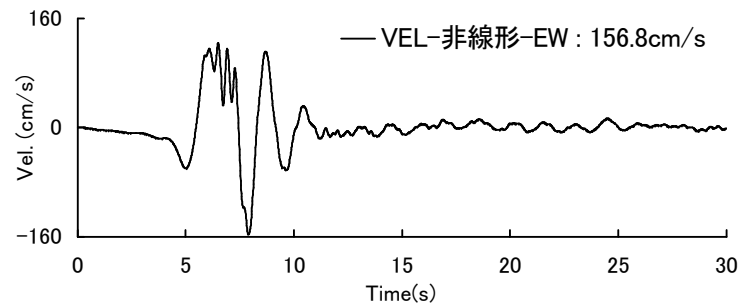
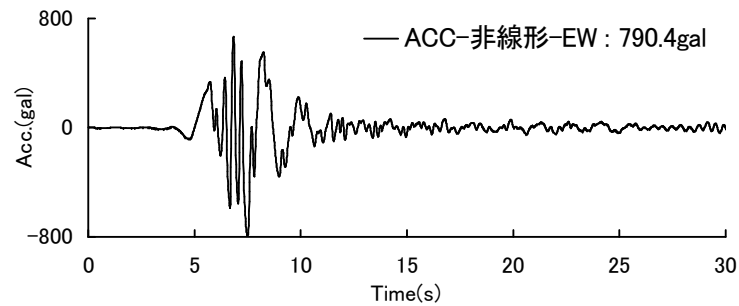
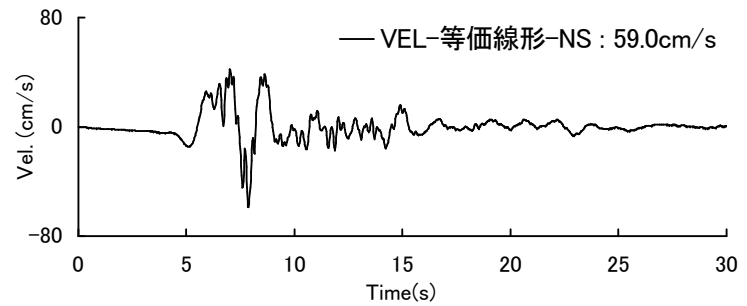
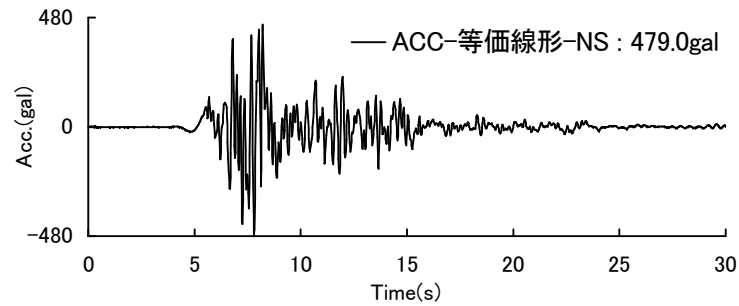
基礎底位置の地震動の評価には、地盤の等価線形応答解析及び非線形応答解析の両方の結果を考慮した。



基礎底位置での加速度応答スペクトルの比較

「Ss-2 等価線形NS」、「Ss-2 非線形EW」、「Ss-2 線形 UD」の3成分を入力地震動として用いることとする

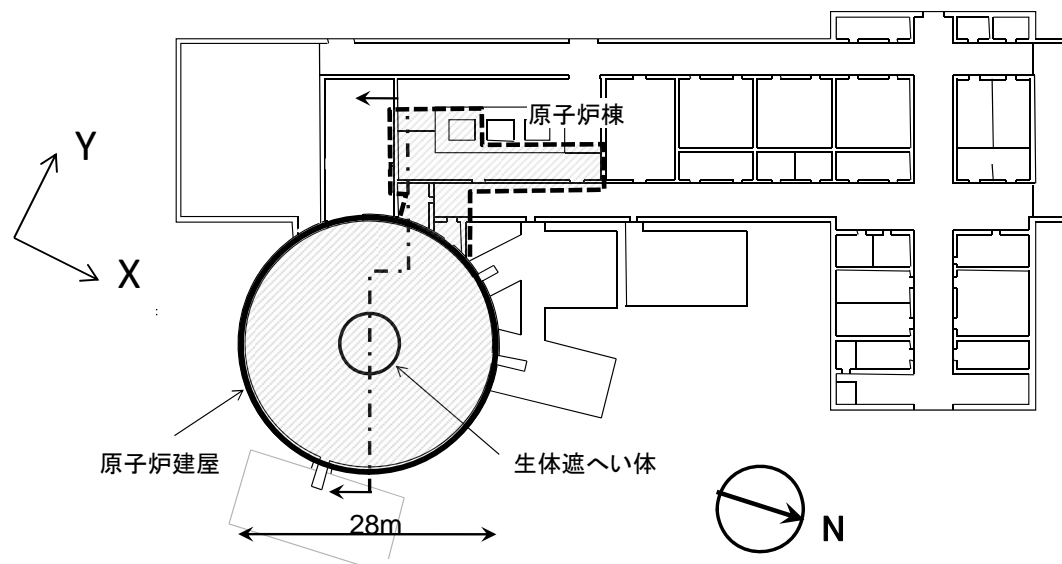
入力地震動



建屋基礎底位置の時刻歴波形 (入力: 基準地震動Ss-2)

2. 地震応答解析用原子炉建屋のモデル化

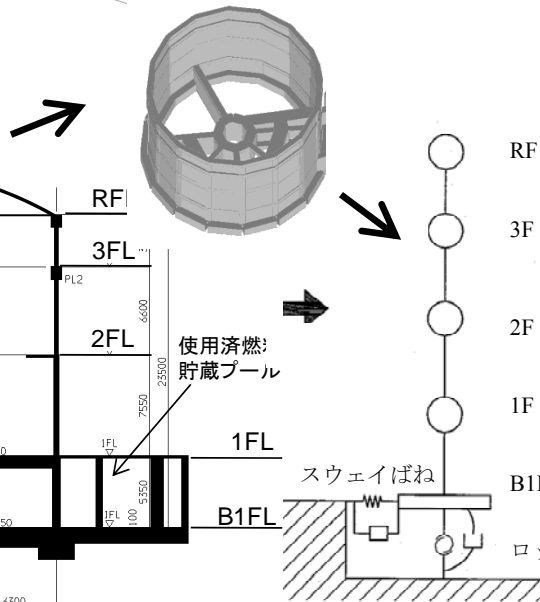
原子炉建屋の水平地震応答解析モデル



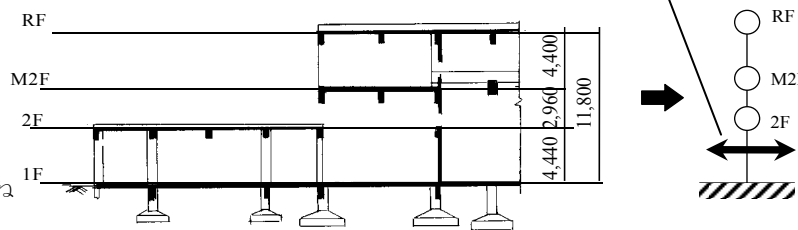
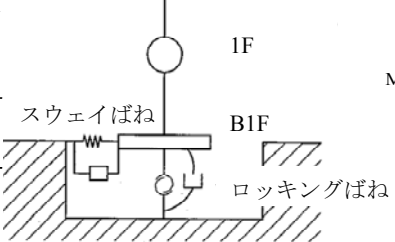
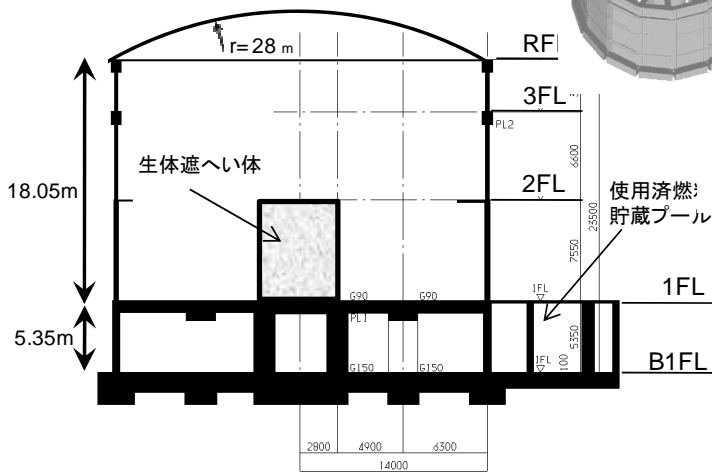
原子炉建屋と原子炉棟の一部が基礎部分で一体化しているが、1階床より上では切り離されている。

原子炉建屋は5質点系SRモデルとして地震応答解析を行う。応答解析の方向X,Yは入力地震動の方向NS,EWにそれぞれ対応している。

原子炉棟は地下プールのみが評価対象であるため、基礎固定モデルとして地震応答解析を行い、原子炉建屋地下部分に作用するせん断力を算出。



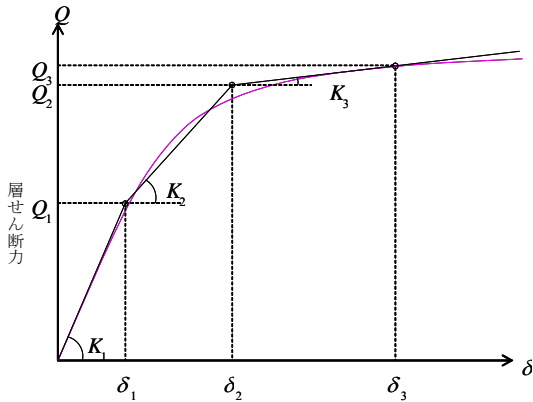
1階の最大せん断力を原子炉建屋基礎・地盤の検討用荷重に加算



原子炉建屋静的解析用有限要素モデルと振動解析用SRモデル

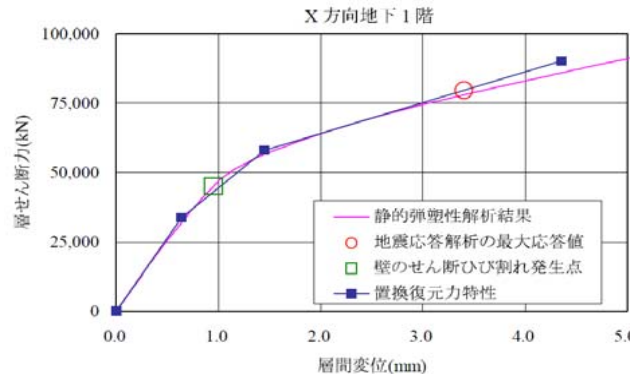
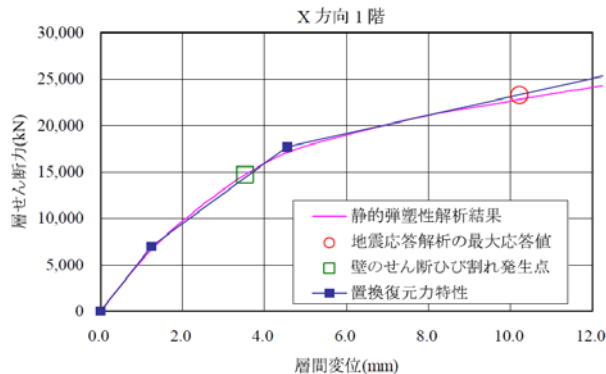
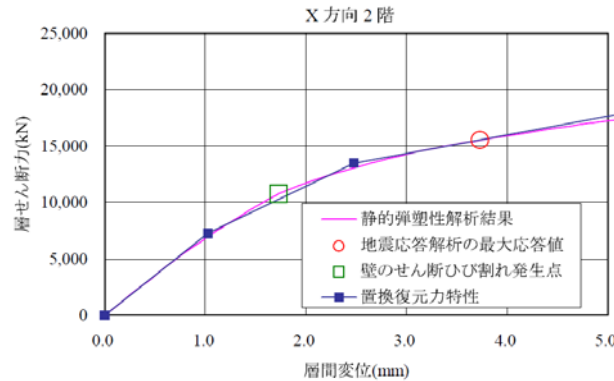
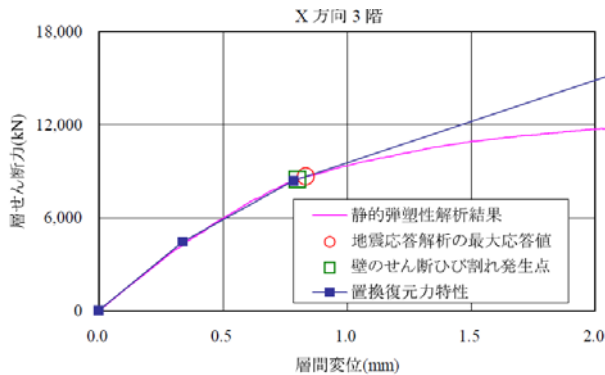
原子炉棟と基礎固定モデル

原子炉建屋の復元力特性のモデル化



復元力特性設定手順

- ① 荷重増分解析の第1ステップにおける剛性(初期剛性)を第1分枝剛性 K_1 とする。
- ② $Q-\delta$ 曲線の接線剛性が第1分枝剛性 K_1 の85%に到るとき、そのステップにおける層間変位を、第1折点の層間変位(δ_1)と定める。
- ③ 予備地震応答解析により想定した最大応答の層間変形角に至るときの(Q, δ)を(Q_3, δ_3)として、そのステップにおける接線剛性を第3勾配 K_3 とする。
- ④ 荷重増分解析により得られた $Q-\delta$ 曲線とTri-Linear型のカーブが、(Q_3, d_3)に達する点でエネルギー等価となるように第2折れ点(Q_2, d_2)を求め、第2勾配 K_2 を定める。
- ⑤ 履歴則は最大点指向型とする。



各層の静的弾塑性解析結果と置換復元力特性による層せん断力と層間変位の比較

壁のせん断ひび割れ発生点は、壁の一部がせん断応力度 $F_c/15$ に達した時とする。

原子炉建屋の水平地震応答解析モデル諸パラメーター

階	重量 (kN)	階高 (m)	X方向					Y方向				
			K_1 (kN/cm)	Q_1 (kN)	K_2 (kN/cm)	Q_2 (kN)	K_3 (kN/cm)	K_1 (kN/cm)	Q_1 (kN)	K_2 (kN/cm)	Q_2 (kN)	K_3 (kN/cm)
R	5,840	3.900	132,060	4,462	87,933	8,388	53,338	137,460	5,730	87,098	9,113	72,591
3	5,046	6.600	70,889	7,282	42,772	13,492	16,431	81,843	8,679	48,468	13,321	47,869
2	6,239	7.550	56,126	6,973	32,296	17,666	9,899	87,352	8,017	35,954	17,882	26,451
1	57,043	5.350	528,770	33,694	298,115	57,967	111,042	838,420	63,204	301,029	87,857	212,100
B1	99,335											
回転慣性(kN・m ²)			8,033,930					8,033,930				

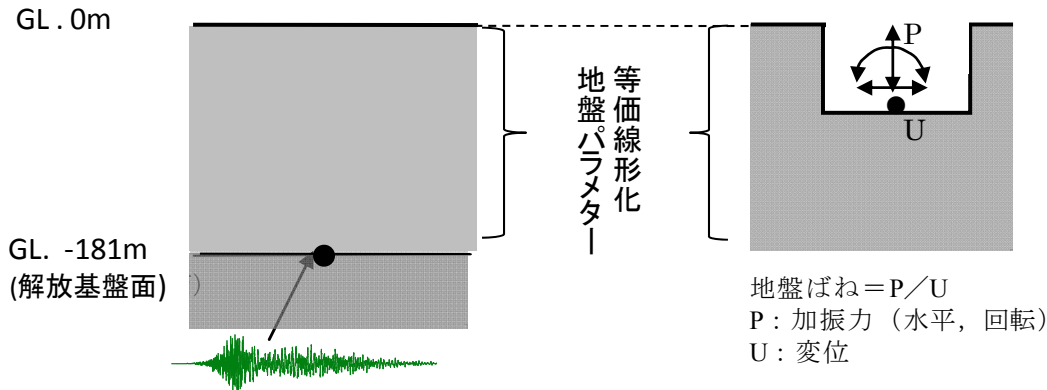
※上部構造の減衰定数は歪みエネルギー比例型、3%とする。

原子炉建屋の使用コンクリートと鉄筋の許容値

評価施設・設備	使用材料名等	規格	評価基準値(N/mm ²) (短期荷重時或いはそれに準ずる耐震計算用許容値)	
			圧縮	引張
建屋	普通コンクリート	FC180	圧縮	12
			引張	1.2
			せん断	0.9
	鉄筋(高張力鋼)	SSD49	圧縮	295
			引張	295

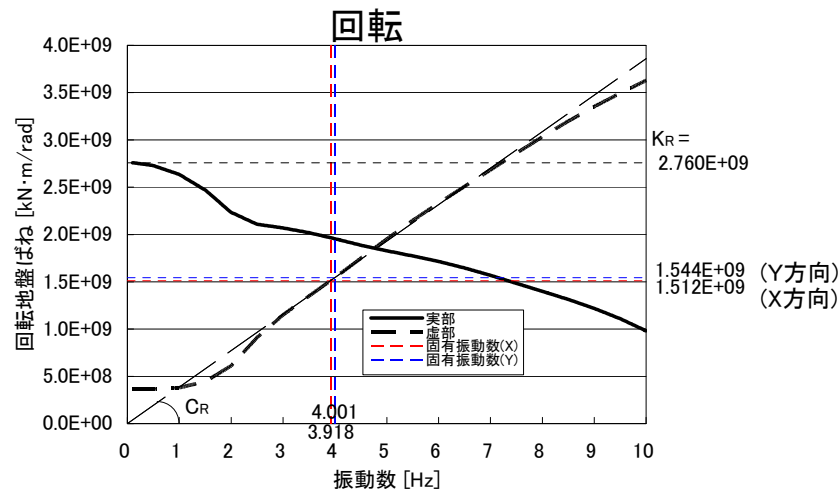
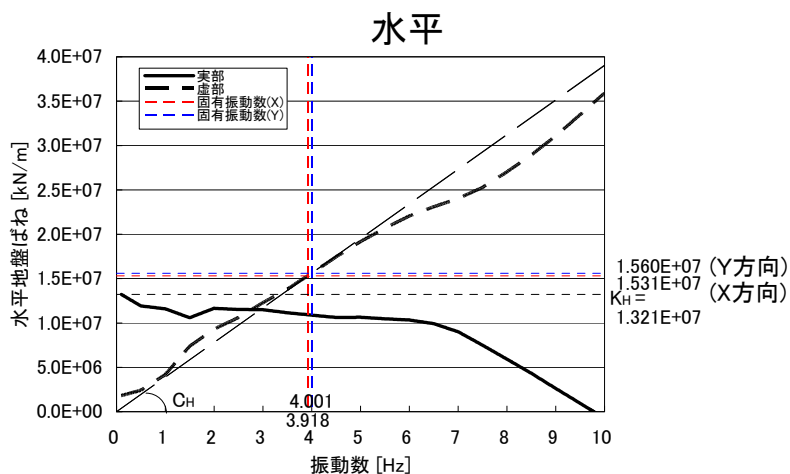
コンクリートの健全性について、昭和55年以降に行ったコアサンプリング圧縮試験の結果、設計基準値を満足している。またコンクリートの中性化深さの検査においても鉄筋かぶり厚さに比べて十分小さいことを確認している。

原子炉建屋SR地盤バネのパラメータ設定手順



基礎の動的インピーダンスは容積法を用いた動的サブストラクチャー法に基づく手法(文・福和,2006)により算出する。

地盤ばね算出用の地盤モデルは、基準地震動による地盤地震応答解析時の最大せん断ひずみから求めた等価S波速度および減衰を用いる。



動的地盤ばねと地盤ばね定数、地盤減衰係数の関係(S_s-2 , EW成分入力、地盤非線形解析用)

地盤ばね定数と減衰係数の算出は原子力発電所耐震設計技術指針(JEAG4601-1991)に基づき求める。指針によれば、地盤ばねの剛性は振動数ゼロの静的状態における実数部の値となり、減衰係数はSRモデルの1次固有振動数に対する虚数部の値と原点を結んだ直線の勾配となる。等価減衰定数は複素地盤ばねの実部と虚部の比から求まる。