

研究用原子炉（KUR）の標準応答スペクトルに基づく基準地震動(Ss-10)に対する耐震安全性の評価方法について

1. はじめに

試験炉規則の解釈の一部改正(令和3年4月21日)を受け、研究用原子炉(KUR)の基準地震動に関し、標準応答スペクトルによる評価を行う方針及び方針に基づいた評価結果を記載した設置変更承認申請書を令和3年12月14日に原子力規制委員会に申請した。その後、3回の審査会合における審査の結果、令和4年7月22日の審査会合において、評価結果は概ね妥当との判断が下された。結果として基準地震動 Ss-10(図1)が新たに追記された。研究所としては、速やかに補正申請を行い、原子力規制委員会による承認を得た後、Sクラスの施設・設備の Ss-10 に対する耐震安全性を新規制基準対応時におけるそれぞれの施設・設備の評価手法等を参照しつつ確認し、報告する予定である。

今般、規制庁から現時点で（補正申請前）Ss-10 に対する当該施設・設備の耐震安全性評価(簡易評価でも可)が可能かとの打診があった。本資料は新規制基準対応時の S クラスに対する設工認申請書（耐震評価）に基づき、簡易評価の考え方等を記載したものである。

2. 簡易的な評価方法

Sクラスの施設・設備は設置変更承認申請書の耐震重要度分類表（表-1）に示すように、生体遮蔽、燃料要素、炉心支持構造物、炉心直下1次冷却系配管、放射孔・照射孔・計測孔、使用済燃料プール室プール、粗調整用制御棒吸収体、粗調整用制御棒案内管、粗調整用制御棒取付金物の以上9施設・設備である。なお、これらはすべて原子炉建屋内（使用済燃料プール室プールは原子炉建屋内ではないが、原子炉建屋と一体となった基礎盤上に設置されている）に設置されているため、Bクラスである原子炉建屋も波及的影響の観点等から、Ss-10による耐震評価を行う必要がある。

また、Sクラスの施設・設備については原子炉建屋を介して地震力が作用するため、まず原子炉建屋については、新規制基準対応時に行った多質点系の弾塑性地震応答解析を行う必要がある(図2)。その後、Sクラスの施設・設備の応答特性に基づき、原子炉建屋の床応答加速度からそれぞれの地震力が評価（剛体か否かを考慮した上で）できる。ただし、原子炉建屋の屋根については、鉛直方向地震力に対して別途立体格子梁モデル(図3)を用いた方法により耐震安全性を確認する。

Sクラスの施設・設備に対しての簡易的な方法としては、それぞれが支持される位置での原子炉建屋床応答加速度から地震力を評価し、新規制基準対応時における他の基準地震動

(Ss-1～Ss-9) による地震力と比較することで耐震安全性を確認することとする。結果的には、Ss-10 による地震力が Ss-1～Ss-9 による地震力を下回っていれば安全性が確認できたこととなる。以下に S クラスの施設・設備に対するそれぞれの地震力の比較方法を示す。

3. S クラスの施設・設備の簡易的な耐震評価方法

1) 生体遮蔽、放射孔・照射孔・計測孔

生体遮蔽体は鉄筋コンクリート構造（一部重コンクリート）で、その固有周期は 0.025 秒と短く非常に剛な構造物であり、基準地震動による動的地震力は原子炉建屋の 1 階床応答加速度波形の最大加速度から評価できる。ちなみに、放射孔・照射孔・計測孔は生体遮蔽を貫通して設置されていることから、その耐震安全性は、生体遮蔽の耐震安全性をもって確保されると考えている。具体的には、Ss-10 に対する原子炉建屋の 1 階床応答最大加速度を Ss-1～Ss-9 による結果と比較することで行う。（参考までに暫定的な結果を図 4～図 6 に示す。）

2) 炉心直下 1 次冷却水配管

原子炉建屋地階に設置された 1 次冷却水配管は耐震 S クラスである炉心直下部（評価上は炉心直下のサポートまでの区間としている）に加え、耐震 B クラスのその他の配管等（ポンプや弁など）から構成される。新規制基準対応時における耐震評価は、全体系では固有周期が 20 Hz 以上の剛とはならないため、地震応答解析（スペクトルモーダルアナリシス）による評価を行った。スペクトルモーダルアナリシスの適用に際してのスペクトルとしては、Ss-1～Ss-9 のすべての原子炉建屋地階と 1 階の床応答加速度スペクトル最大値から評価した。以上から、簡易評価としては、スペクトルモーダルアナリシスに用いたスペクトルと今回の Ss-10 によるスペクトルを比較することで行う（今後結果を示す）。

3) 燃料要素、炉心支持構造物、粗調整用制御棒吸収体、粗調整用制御棒取付金物

燃料要素、炉心支持構造物及び粗調整用制御棒吸収体の固有周期は 20 Hz 以上であり、剛体と考えられ、生体遮蔽同様、動的地震力は原子炉建屋の 1 階床応答加速度波形の最大加速度から評価できる。具体的には、Ss-10 に対する原子炉建屋の 1 階床応答最大加速度を Ss-1～Ss-9 による結果と比較することで行う。（参考までに暫定的な結果を図 4～図 6 に示す。）

4) 粗調整用制御棒案内管

粗調整用制御棒の案内管は、固有値解析の結果、剛構造と見なすことができないため、1 次冷却水配管と同様の地震応答解析（スペクトルモーダルアナリシス）によって動的地震力を求めている。鉛直方向はほぼ剛体と考えられるため、地震応答解析の適用は水平方向のみとしている。スペクトルモーダルアナリシスの適用に際してのスペクトルとしては、Ss-1～Ss-9 のすべての原子炉建屋 1 階の床応答加速度スペクトルの水平 2 成分（NS と EW）のベクトル合成値を包絡するスペクトルとしている。以上から、簡易評価としては、スペクトル

モーダルアナリシスに用いたスペクトルと今回の Ss-10 によるスペクトルを比較することで行う（今後結果を示す）。一方、鉛直方向の動的地震力については Ss-1～Ss-9 と Ss-10 の原子炉建屋の 1 階床応答加速度波形の最大加速度を比較することで行う（図 6）。

表1 KUR)耐震重要度分類

耐震クラス	クラス別施設	施設名	当該構造物等を支持する建物・建築物等	支持機能を確認する地震動
S	炉心及び冠水維持設備を構成する機器・配管系	<ul style="list-style-type: none"> ・生体遮蔽(炉心タンクと一体) ・燃料要素 ・炉心支持構造物 ・炉心直下1次冷却系配管 ・放射孔、照射孔、計測孔(冠水維持に係る部分) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・当該施設の支持構造物 ・生体遮蔽 	Ss
	炉心から取り出した直後の使用済燃料を貯蔵するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・使用済燃料プール室プール 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の基礎 	Ss
	原子炉の緊急停止のために急激に負の反応度を添加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・粗調整用制御棒吸収体 ・粗調整用制御棒案内管 ・粗調整用制御棒取付金物 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 ・生体遮蔽 	Ss
B	原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	<ul style="list-style-type: none"> ・1次循環ポンプ(無停電駆動電源含む) ・サブバイルルーム漏えい水汲み上げ設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 	注1
	1次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	<ul style="list-style-type: none"> ・1次冷却系配管(炉心直下部以外) ・1次浄化設備(イオン交換塔) 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 	注1
	重水を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	<ul style="list-style-type: none"> ・重水タンク 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 	注1
	1次冷却水に接している施設	<ul style="list-style-type: none"> ・熱交換器 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 	注1
	燃料を貯蔵する施設	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料貯蔵用ラック(炉心タンク内) ・燃料貯蔵用ラック(使用済燃料プール室) ・燃料貯蔵用ラック(使用済燃料室) ・燃料貯蔵用ラック(新燃料貯蔵室) ・使用済燃料室プール 	<ul style="list-style-type: none"> ・生体遮蔽 ・使用済燃料プール室プール ・使用済燃料室プール ・新燃料貯蔵室 ・当該施設の基礎 	注1
	放射性廃棄物を内蔵している施設	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性廃液貯留槽 ・第2固形廃棄物倉庫 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の支持構造物 ・当該施設の基礎 	注1
	放射性物質の放出を伴うような場合、その外部放散を抑制するための設備	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋(注3) ・非常用排気設備 ・スタック、煙道 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の基礎 ・原子炉棟 	注1
	放射線の監視をするための設備	<ul style="list-style-type: none"> ・放射線監視盤(原子炉制御室) 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 	注1
	プラント状態の監視をするための設備	<ul style="list-style-type: none"> ・核計装盤 ・プロセス計装盤 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 	注1
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用電源設備 	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建屋 ・原子炉棟 ・臨界集合体棟電機室 	注1	
C	その他	<ul style="list-style-type: none"> ・冷却塔 ・2次冷却系配管 ・2次循環ポンプ ・主排気設備 ・放射性廃水排水管 ・廃棄物処理棟 ・第1固形廃棄物倉庫 ・使用済燃料プール水汲み上げ設備 ・高架水槽給水設備 ・主要な実験設備 ・新燃料貯蔵室(注3) ・非常警報装置(中央管理室) ・使用済燃料プール室 	<ul style="list-style-type: none"> ・当該施設の基礎 ・当該施設の支持構造物 ・原子炉棟 ・原子炉建屋 	注2

表 2 基準地震動の最大加速度

基準地震動		NS方向	EW方向	UD方向	
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトル法	944	358	358	
	断層モデルを用いた手法				
	Ss-1	模擬地震波	729	520	215
	Ss-2	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース1)			
	Ss-3	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース4)	1053	672	252
	Ss-4	中央構造線断層帯 (モデル1、ケース5)	673	1644	133
	Ss-5	上町断層帯 (モデル1、ケース1)	767	756	194
	Ss-6	上町断層帯 (モデル1、ケース4)	709	1184	213
	Ss-7	上町断層帯 (モデル1、ケース5)	649	674	170
	Ss-8	上町断層帯 (モデル1、ケース6)	566	683	196
Ss-9	上町断層帯 (モデル2、ケース4)	699	1260	293	
震源を特定せず策定する地震動(標準応答スペクトルによる)	応答スペクトル法	586	391	391	

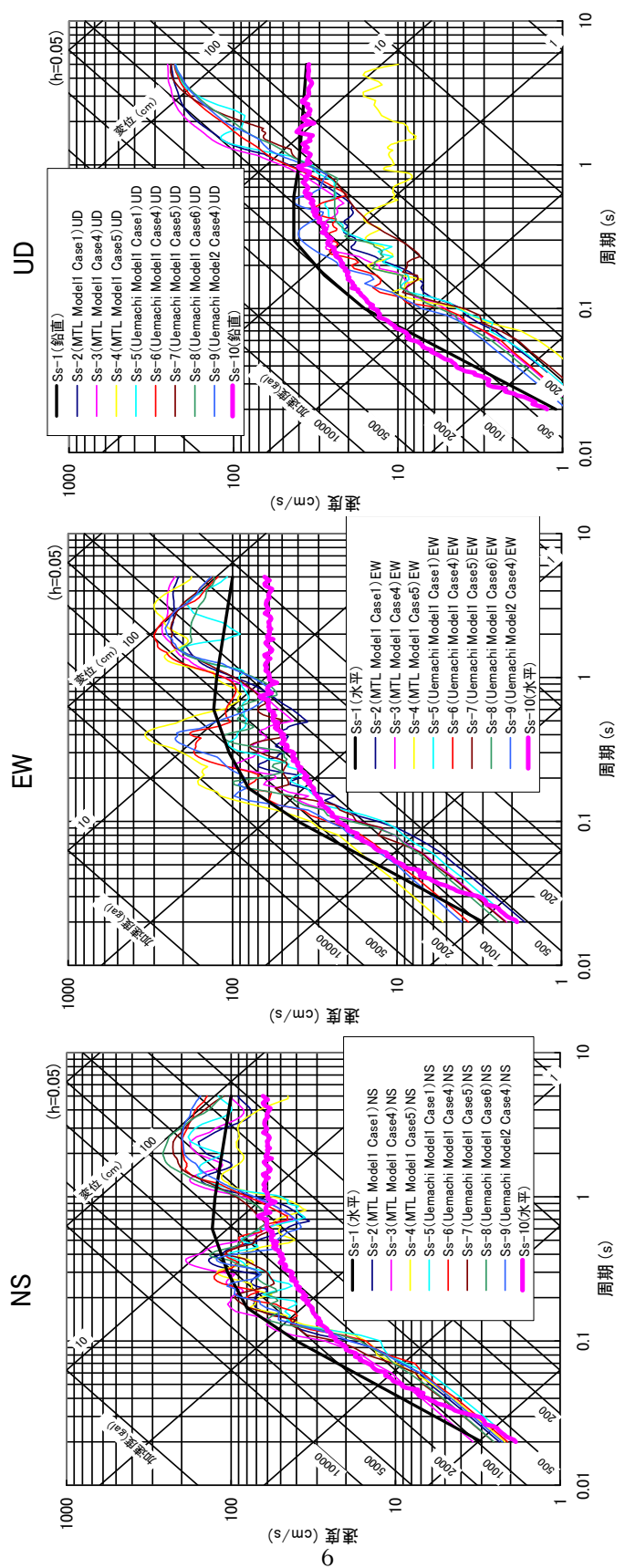


図1 基準地震動

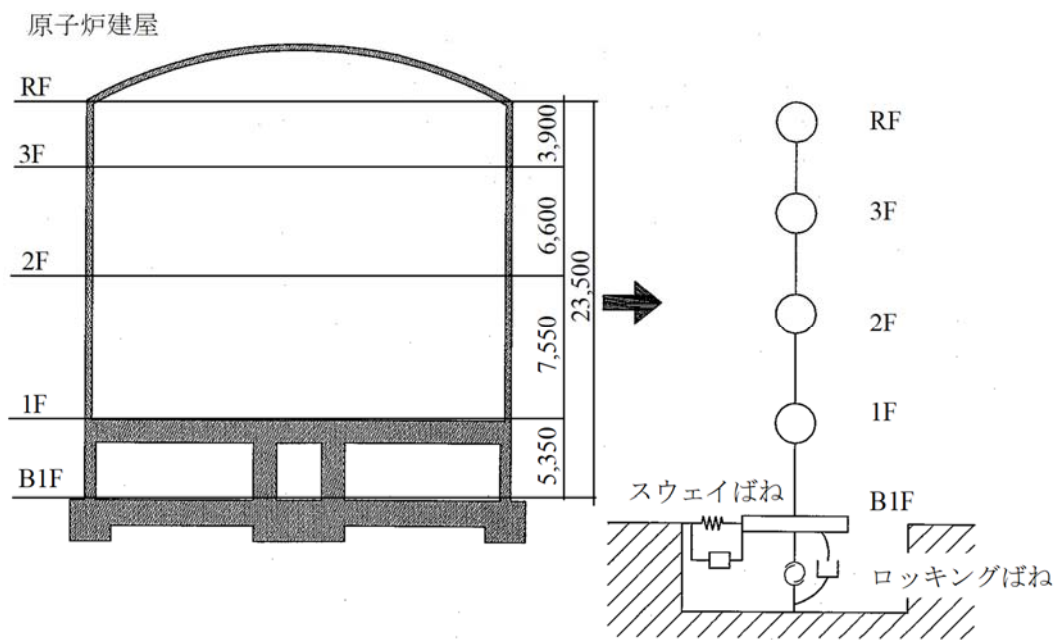


図2 原子炉建屋の地震応答解析のための質点系モデル

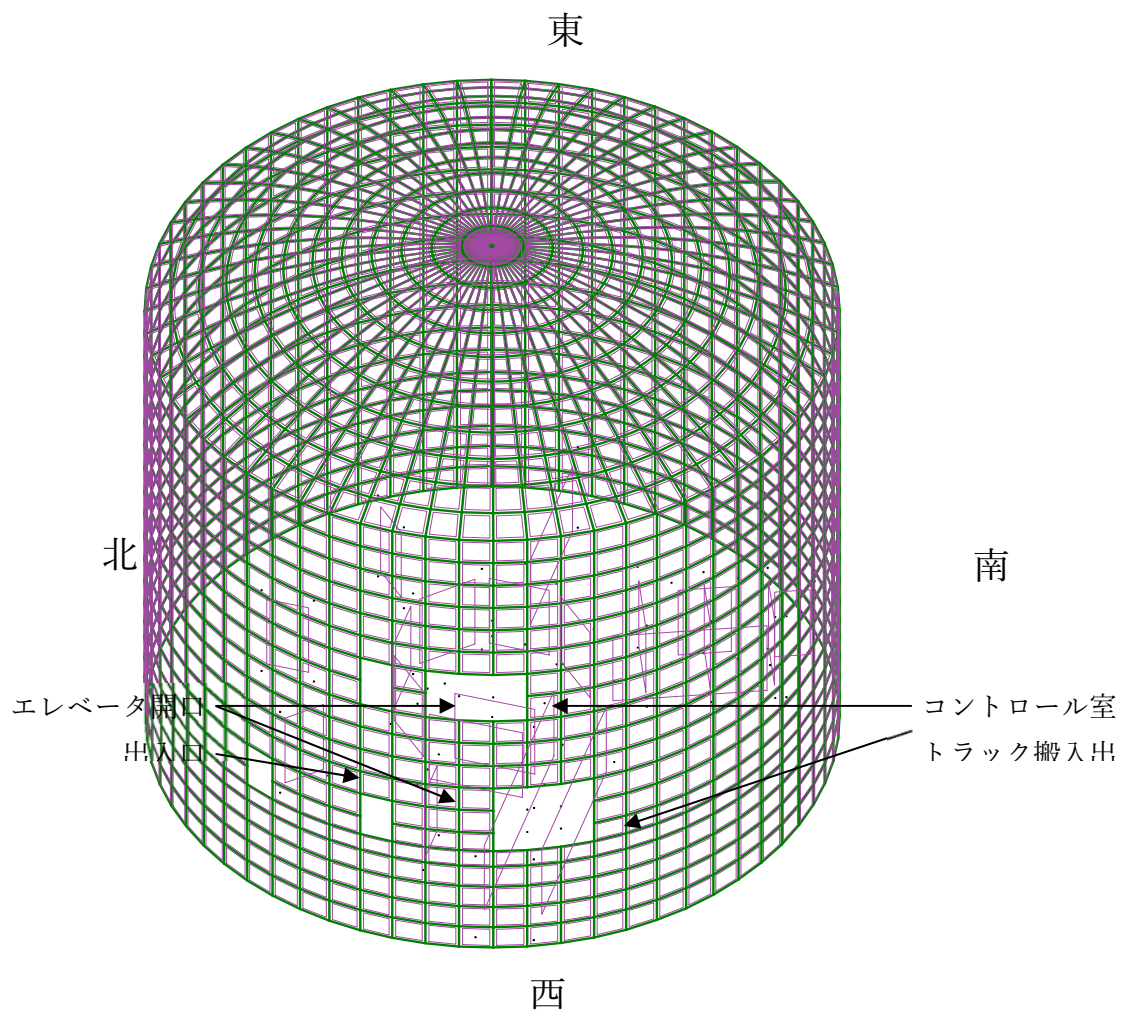


図3 原子炉建屋の屋根の耐震安全性評価のための立体格子梁モデルの要

素分割

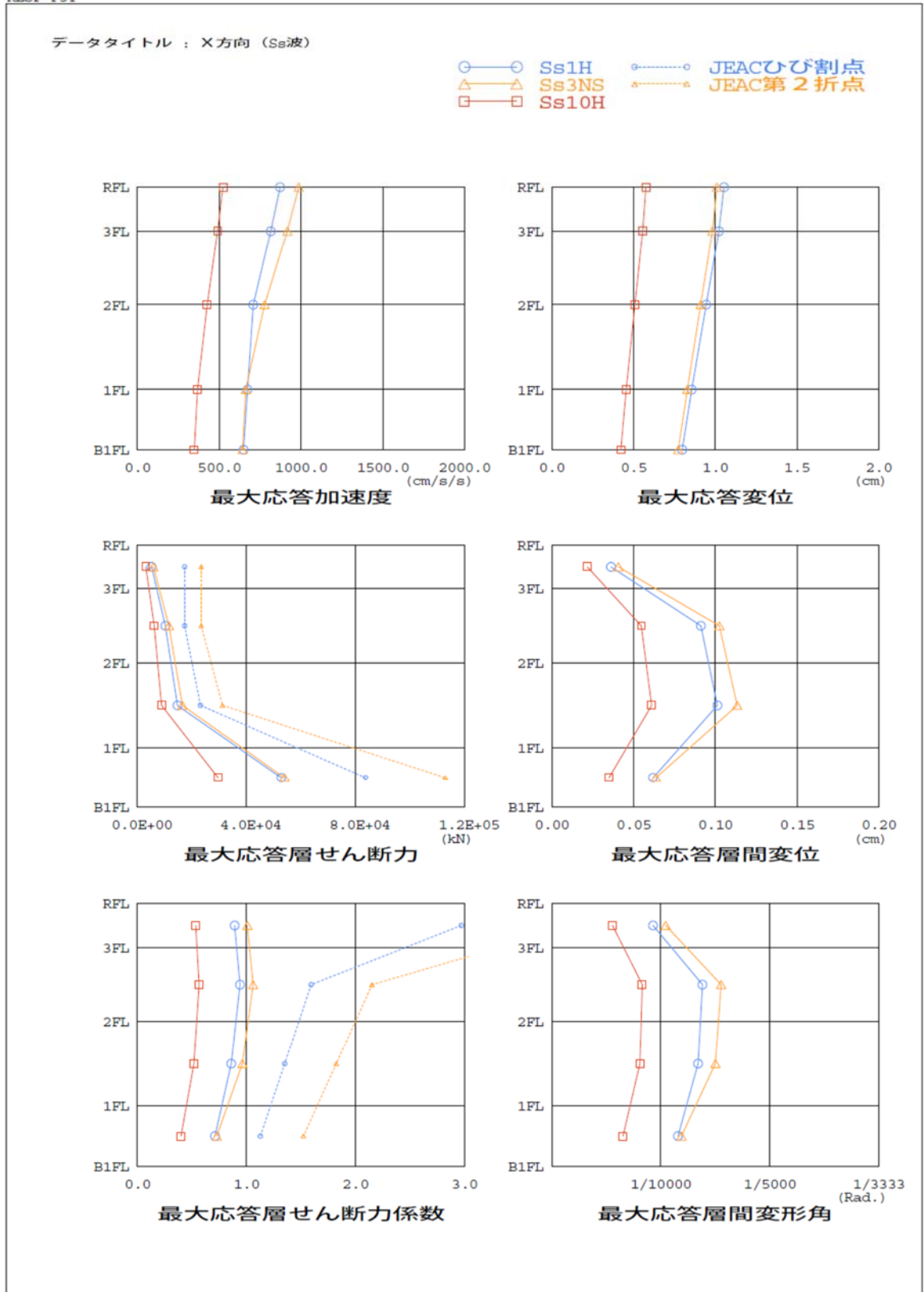


図4 原子炉建屋の地震応答解析結果 (NS方向)

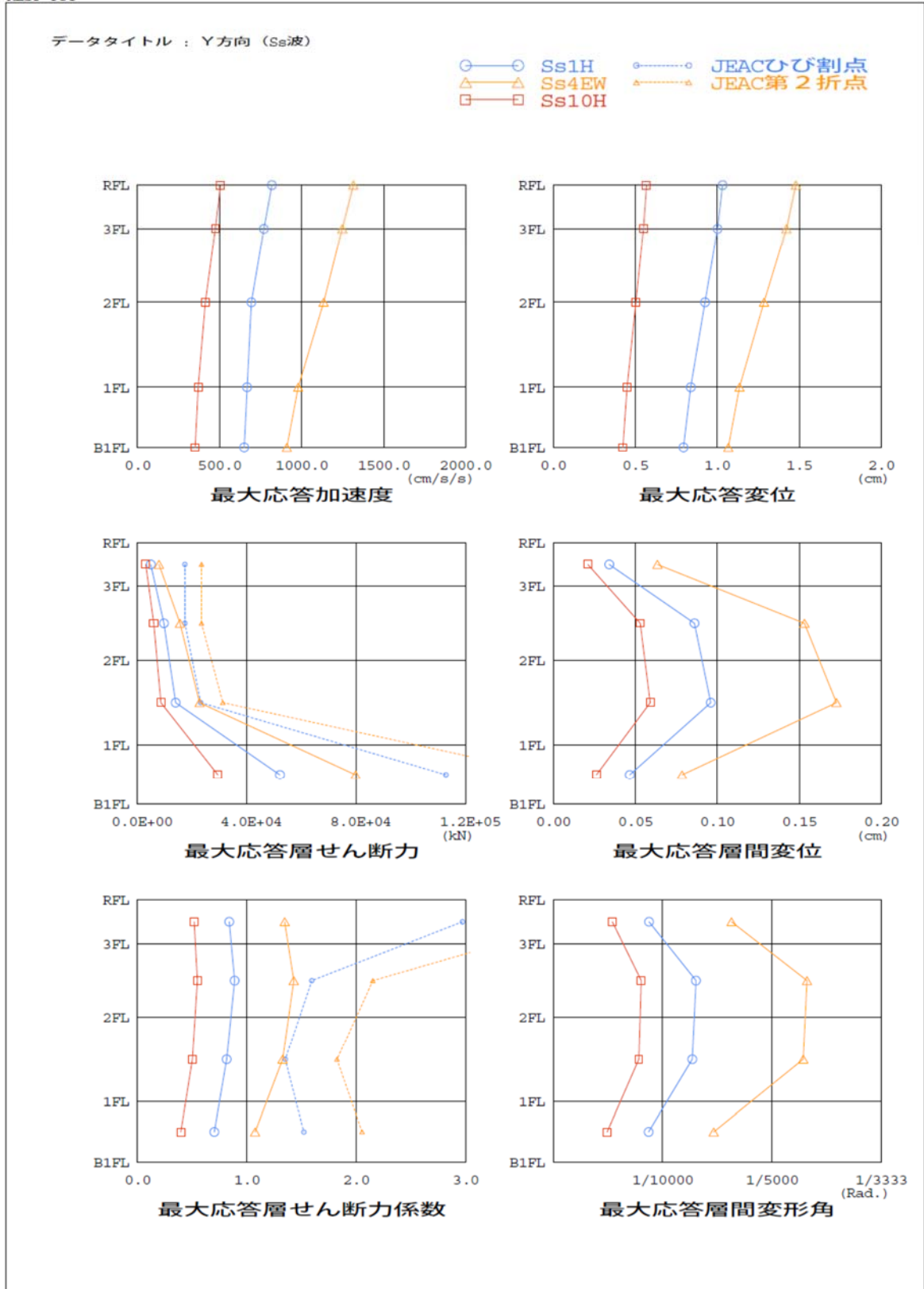


図5 原子炉建屋の地震応答解析結果 (EW 方向)

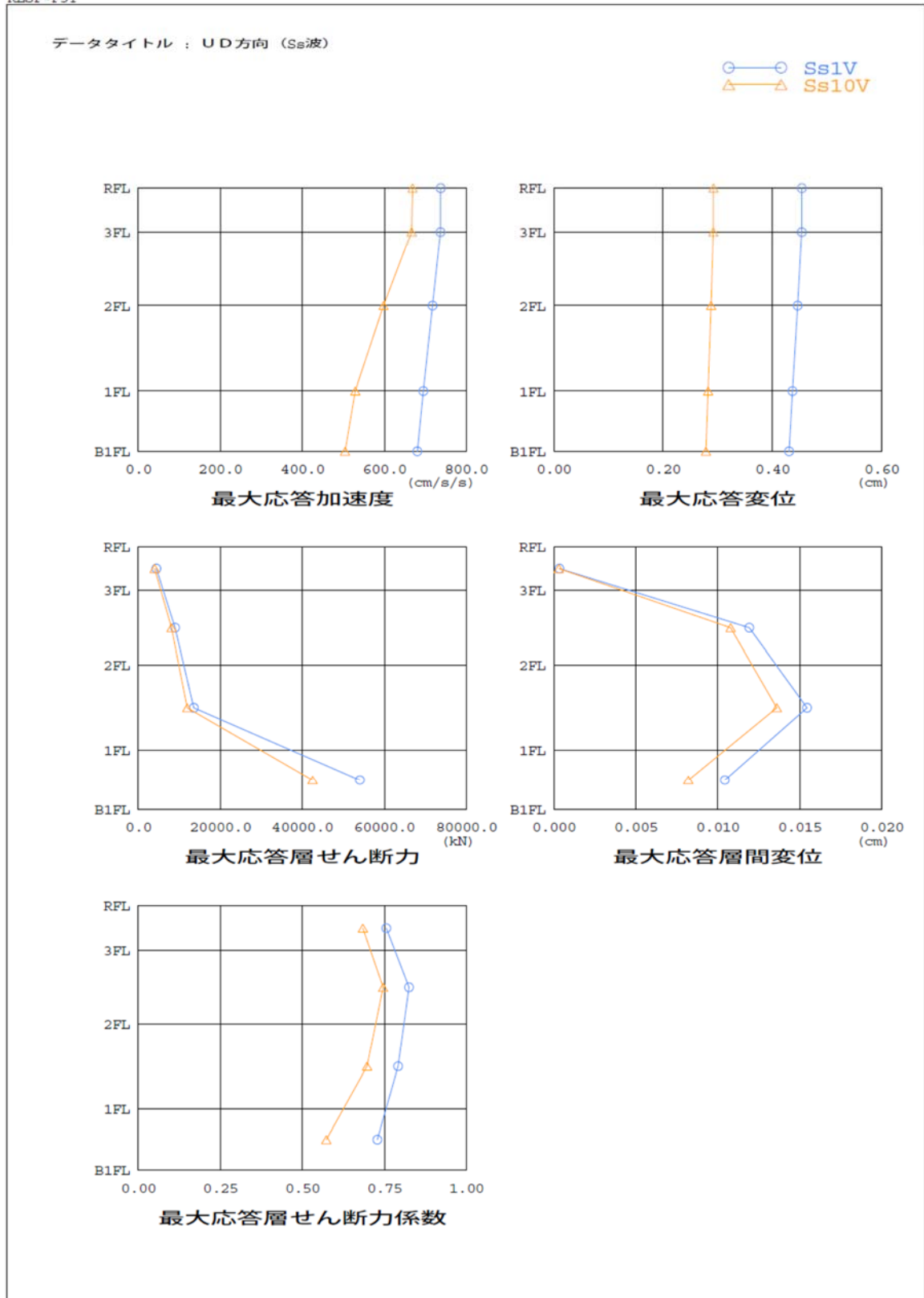


図6 原子炉建屋の地震応答解析結果 (UD方向)