

弾性すべり支承を用いた免震構法の開発

建築本部 建築統括部 泉田伸二
 技術本部 技術研究所 渡邊一弘
 技術本部 建築技術第二部 黒澤 明

概要: 免震構法において免震効果を向上させるために、従来の免震構法に比べてより長周期化させる目的で弾性すべり支承の開発を行った。弾性すべり支承はすべり部と薄層弾性支承部(ゴムプレート)で構成されており、高面圧化と低摩擦化を図っている。弾性すべり支承を用いた免震構法の効果を確認するために、従来の免震構法で設計された建物と、弾性すべり支承を用いて試設計された建物について、地震応答解析を行いその効果を確認した。

Key Words: 免震構法, 弾性すべり支承, 試設計

1. はじめに

阪神・淡路大震災を契機とし、建物の耐震対策として免震構法を採用するケースが増えている。免震構法とは建物(上部構造)と地盤を絶縁し、上部構造の振動周期(固有周期)を長周期化させるとともに、ダンパーにより減衰力を付加することにより建物に入る地震力を低減するものである(図-1 参照)。従来、免震構法に用いる装置は積層ゴム支承+ダンパー、高減衰積層ゴム支承および鉛プラグ入り積層ゴム支承が用いられてきたが、より長周期化させる目的ですべり支承を用いた免震構法の開発を行った。

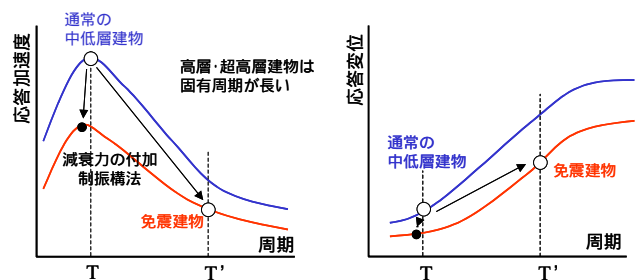


図-1 免震構法の建物応答の概念

2. 免震装置の概要

本構法はすべり支承と復元機能を有する積層ゴム支承を組み合わせて構成される。すべり支承は図-2 に示すように、すべり部と薄層弾性支承部(ゴムプレート)で構成されている。すべり部のすべり材には、PTFE(四フッ化エチレン樹脂)を主成分とする摺動層と、鋼板を多孔質青銅層でバイメタル状にした複合材を採用し、すべり相手材としては、研磨仕上げしたステンレス鋼板の表面にPTFEを含有した樹脂層をコーティングしたものを採用し、高面圧化と低摩擦化を図っている。

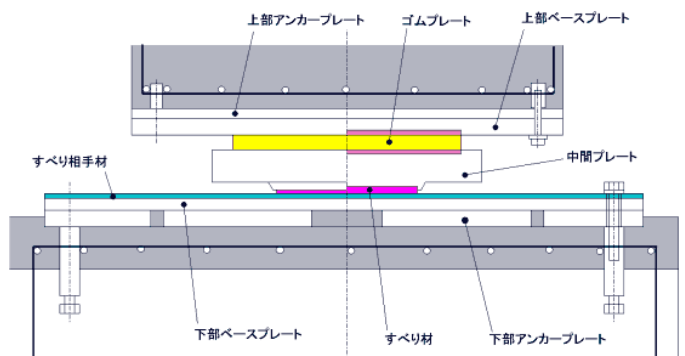


図-2 弾性すべり支承



泉田伸二



渡邊一弘



黒澤 明

薄層弾性支承部には単層のゴムプレートを設置することにより、すべり部のスムーズな滑り出しと施工時の据付誤差の吸収を可能としている。図-3に示すように、すべり支承はすべりが発生すると接線剛性が非常に小さいため、装置の剛性としては積層ゴム支承の剛性のみとなり、従来の免震装置より固有周期を長くすることが可能である。

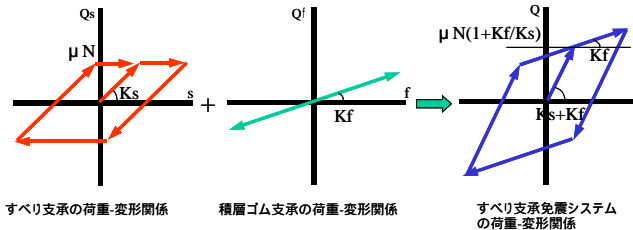


図-3 免震装置の荷重変形特性

表-1 すべり支承の仕様

型式	KS250	KS300	KS350	KS400	KS450
すべり材(mm)	250	300	350	400	450
	材質 : 裏金付特殊充填材入り PTFE				
すべり相手材(mm)	1668	1764	1860	1957	2054
	材質 : SUS304 + テフロンコーティング				
ゴムプレート(mm)	395	474	553	632	712
	材質 : 天然ゴム (NR)				
長期許容鉛直荷重(kN)	1444	2079	2828	3695	4676
長期許容面圧 (MPa)	29.4				
短期許容面圧(MPa)	58.8				
圧縮限界強度(MPa)	192				
鉛直剛性(kN/cm)	17880	21540	25200	28860	32520
水平剛性(kN/cm)	48.1	59.4	70.7	82.0	93.2
すべり摩擦係数	0.014				
限界水平変形	± 500mm (変更可能)				

3. すべり支承の仕様

すべり支承の仕様を表-1に示す。

すべり支承の開発においては品質基準を設定するために、水平剛性およびすべり摩擦係数について温度変化、経年変化、速度、面圧、繰り返し回数の依存性を、実大あるいは縮小模型を用いた実験により確認した。

4. 弾性すべり支承を用いた試設計

弾性すべり支承を用いた場合の免震効果を確認するために試設計を行った。試設計建物は、共同住宅で鉄筋コンクリート造地上7階、地下なし、軒高19.5mの基礎免震構造建物である。建設地は横浜市内である。原設計の免震装置は高減衰積層ゴムを各柱下に1基、合計14基配置し、免震層の偏芯を小さくすることを主目的に鋼棒ダンパーを4基配置している。

表-2に構造概要を、表-3に耐震性能目標を、図-3に原設計免震装置配置図を示す。

試設計は、原設計の Y1-X3, Y1-X4, Y2-X3, Y2-X4A, Y2-X4B 位置の高減衰積層ゴムを弾性すべり支承に置き換え、原設計と同じ地震波による時刻歴応答解析を行った。すべり支承部材が負担する軸力は全軸力の41%である。

なお、Y1+6,825位置の2基の鋼棒ダンパーは免震層の偏芯率を小さくするために取り除いた。

図-4に試設計の免震装置配置図を、表-4に長期軸力一覧を、表-5にすべり支承部材負担軸力比を、表-6に免震層の偏芯率を示す。

表-2 構造概要

構造種別	鉄筋コンクリート
骨組形式	X方向：ラーメン構造 Y方向：耐震壁付きラーメン構造
スパン数	X方向：5スパン Y方向：1スパン
地業形式	GL-12.5m以深の砂質固結シルトを支持層とする杭基礎（第2種地盤）
使用材料	鉄筋：SD295A(D10～D16)、SD345(D19～D29)
	コンクリート：基礎梁～3階床 Fc=24(N/mm ²) 3階柱以上 Fc=21(N/mm ²)

表-3 耐震性能目標

部位	項目	地震動の大きさ		
		稀に発生する地震動(L1)	極めて稀に発生する地震動(L2)	
上部構造	層間変形角	1 / 400	1 / 200	
	部材の状態	設計用層せん断力以下	弾性耐力以下	
	応答加速度	150gal 以下	200gal 以下	
免震層	層間変位	高減衰積層ゴム	24.3cm	36.5cm
		せん断ひずみ率	150%	225%
		引張力	許容せず	許容せず
		鋼棒ダンパー	25.0cm	37.5cm

表-4 長期軸力一覧

	単位(kN)								
	X1	X2,X2A	X2B	X3	X4,X4A	X4B	X5	X6	
Y1	1629	2400	2673	3894	3143	3205	4018	3337	
Y2	1903	3735	-	4037	4010	-	3887	2848	

表-5 すべり支承部材負担軸力比

全軸力 W(kN)	すべり支承負担軸力 Ws(kN)	すべり支承負担軸力比 =Ws / W
44720	18289	0.41

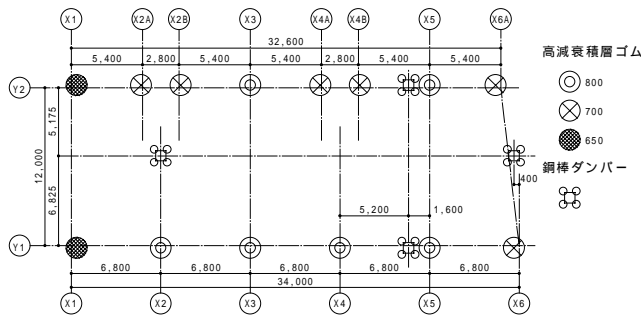


図-4 原設計免震装置配置図

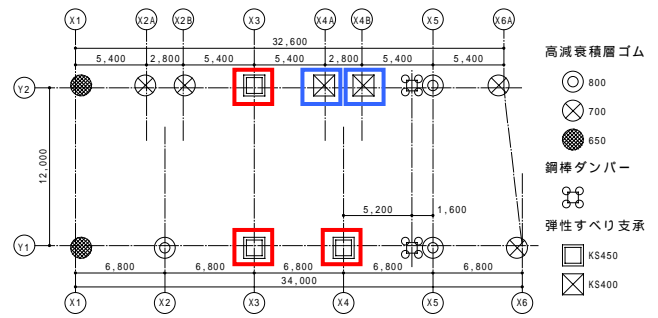


図-5 試設計免震装置配置図

表-6 免震層の偏心率

せん断歪み =100%	重心位置(cm)		剛心位置(cm)		偏心率	
	gx	gy	lx	ly	Rex	Rey
	1749.2	671.0	1758.8	658.9	0.0091	0.0072

せん断歪み =200%	重心位置(cm)		剛心位置(cm)		偏心率	
	gx	gy	lx	ly	Rex	Rey
	1749.2	671.0	1721.7	659.7	0.0083	0.0202

5. 解析モデル

解析モデルは、基礎構造のスウェイ・ロッキング成分を考慮した9質点のスウェイ・ロッキングモデルとした。

上部構造の復元力特性はX方向をトリニア、Y方向をバイリニアにモデル化した。

免震層の復元力特性は、高減衰積層ゴムを修正バイリニア、鋼棒ダンパーと弾性すべり支承を完全弾塑性型にモデル化した。

減衰モデルは内部粘性系剛性比例型とし、減衰定数は上部構造X方向が3%、Y方向が1%、スウェイ・ロッキングが3%とした。免震層の粘性減衰は無視した。

図-6 に解析モデルを、表-7 に解析モデル諸元を、図-7 に免震層の荷重 - 変位関係を示す。

表-7 解析モデル諸元

質点	質点の床位置	質点重量 (kN)	上部構造の初期剛性		
			階	X方向 (kN/cm)	Y方向 (kN/cm)
9	R階	4132	7	10974	55339
8	7階	4477	6	14759	96772
7	6階	5201	5	17515	145433
6	5階	5351	4	18888	181227
5	4階	5351	3	20516	218296
4	3階	5351	2	23977	274488
3	2階	5528	1	36922	337055
2	1階	6698	基礎・地盤構造		
1	基礎	8004	スウェイ	112776	86495
			ロッキング	5.28E+11	1.44E+11

スウェイ：kN/cm、ロッキング：kN/rad

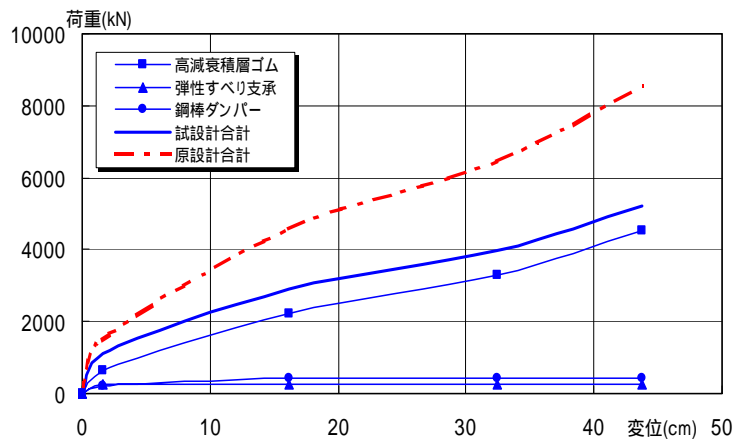


図-7 免震層の荷重 - 変位関係

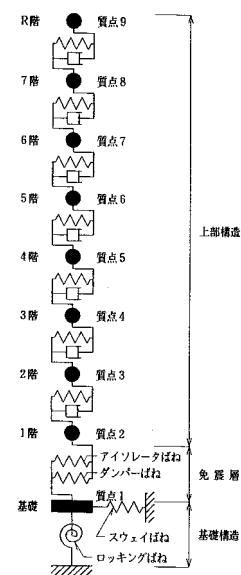


図-6 解析モデル

6. 個有値解析

上部構造の固有周期を表-8に、建物全体の固有周期を表-9に示す。

建物全体の1次固有周期は原設計に対して、高減衰積層ゴムのせん断ひずみ =10%時で13%、 =100%時で23%、 =200%時で24%、 =270%時で25%長くなった。

表-8 上部構造の固有周期(sec)

方向	1次	2次	3次
X	0.440	0.165	0.106
Y	0.143	0.061	0.039

表-9 建物全体の固有周期(sec)

	X方向						Y方向					
	試設計			原設計			試設計			原設計		
水平変形(cm) (せん断ひずみ%)	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次	1次	2次	3次
1.6(10%)	1.606	0.264	0.140	1.415	0.265	0.140	1.568	0.093	0.051	1.376	0.115	0.061
16.2(100%)	3.105	0.268	0.140	2.525	0.270	0.140	3.086	0.093	0.051	2.504	0.116	0.061
32.4(200%)	3.747	0.268	0.140	3.016	0.270	0.140	3.731	0.093	0.051	2.998	0.116	0.061
43.7(270%)	3.809	0.268	0.140	3.052	0.270	0.140	3.788	0.093	0.051	3.035	0.116	0.061

7. 地震応答解析

入力地震動は、「設計用入力地震動作成手法技術指針(案)」に準じ、工学的基盤面で設定した応答スペクトルに表層地盤の増幅特性を考慮し、「HACHINOHE 1968 EW」の位相特性を用いて作成した模擬地震動「HSL2-HAEW」、長周期成分を含む地震動として横浜市が作成した横浜標準波「YOKOFACE」および「HACHINOHE 1968 EW」を、標準的な地震動として「EL CENTRO 1940 NS」を使用した。

表-10にレベル2の入力地震動を示す。また、図-8に地表面の加速度応答スペクトルをX方向(高減衰積層ゴムのせん断ひずみ200%時)の建物全体の1次固有周期と共に示す。

表-10 レベル2の入力地震動

	波形名	Vmax(cm/sec)	継続時間(sec)
模擬地震動	HSL2 - HAEW	64.9	81.9
長期成分を含む 地震動	YOKOFACE	46.5	40.0
	HACHINOHE 1968 EW	50.0	36.1
標準的な地震動	EL CENTRO 1940 NS	50.0	53.9

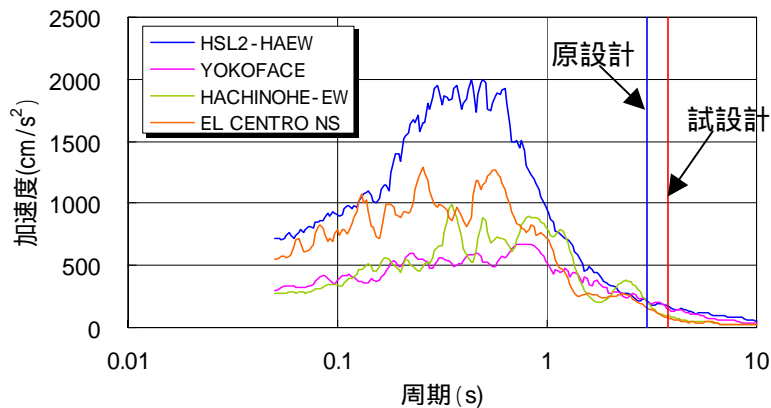


図-8 地表面の加速度応答スペクトル

試設計の地震応答解析結果は表-3に示す耐震性能目標を満足した。表-11にレベル1入力時の最大応答層せん断力係数一覧を、表-12にレベル2入力時の最大応答値一覧を、図-9に試設計と原設計のレベル2入力時最大応答結果を示す。

<レベル1入力時>

最大応答層せん断力係数は、X方向最上階が0.121、1階が0.063で原設計に比べてそれぞれ16%、32%減少している。Y方向最上階が0.078、1階が0.062で原設計に比べてそれぞれ27%、33%減少している。

<レベル2入力時>

・免震層

最大層せん断力係数はXY方向とも0.0897で原設計に比べ30%低減した。

最大相対変位はX方向が29.71cm、Y方向が29.74cmとなり原設計に比べそれぞれ19%、16%増加した。

・上部構造

最大応答層せん断力係数は、X方向最上階が0.1440、中間階が0.1074、1階が0.0897で原設計に比べて18%~32%減少している。Y方向最上階が0.0984、中間階が0.0941、1階が0.0906で原設計に比べて31~34%減少している。

表-11 レベル1入力時の最大応答層せん断力係数一覧

位置	設計用	X方向		Y方向	
		試設計	原設計	試設計	原設計
7階	0.150	0.121	0.143	0.078	0.107
6階	0.145	0.110	0.131	0.074	0.102
5階	0.140	0.097	0.122	0.070	0.098
4階	0.135	0.085	0.115	0.066	0.096
3階	0.130	0.075	0.105	0.064	0.095
2階	0.125	0.065	0.096	0.063	0.094
1階	0.12	0.063	0.093	0.062	0.093
免震階	0.12	0.062	0.092	0.062	0.092

表-12 レベル2入力時の最大応答値一覧

		X方向		Y方向	
		試設計	原設計	試設計	原設計
免震層	最大相対変位(cm) (入力波)	29.71 HSL2-HAEW	24.98 HACHINOHE EW	29.74 YOKOFACE	25.54 HACHINOHE EW
	最大層せん断力係数 (入力波)	0.0897 HSL2-HAEW	0.128 HACHINOHE EW	0.0897 YOKOFACE	0.129 HACHINOHE EW
上部構造	頂部最大絶対加速度(cm/sec ²) (入力波)	148.2 HSL2-HAEW	171.2 HSL2-HAEW	89.6 HSL2-HAEW	145.8 HSL2-HAEW
	7階最大層せん断力係数 (入力波)	0.1440 HSL2-HAEW	0.1750 HSL2-HAEW	0.0984 HSL2-HAEW	0.1488 HACHINOHE EW
	4階最大層せん断力係数 (入力波)	0.1074 HSL2-HAEW	0.1359 HACHINOHE EW	0.0941 HSL2-HAEW	0.1363 HACHINOHE EW
	1階最大層せん断力係数 (入力波)	0.0897 YOKOFACE	0.1319 HACHINOHE EW	0.0906 HSL2-HAEW	0.1296 HACHINOHE EW

8. 試設計のまとめ

弾性すべり支承の軸力の全軸力に対する割合を40~50%とした試設計では、原設計に対して建物全体の一次固有周期が約25%長周期化し、

最大応答層せん断力係数が約20%~30%低減した。

免震層の最大相対変位はX方向が19%、Y方向が16%増加した。

以上より、試設計建物に対して弾性すべり支承を併用することは有効であった。

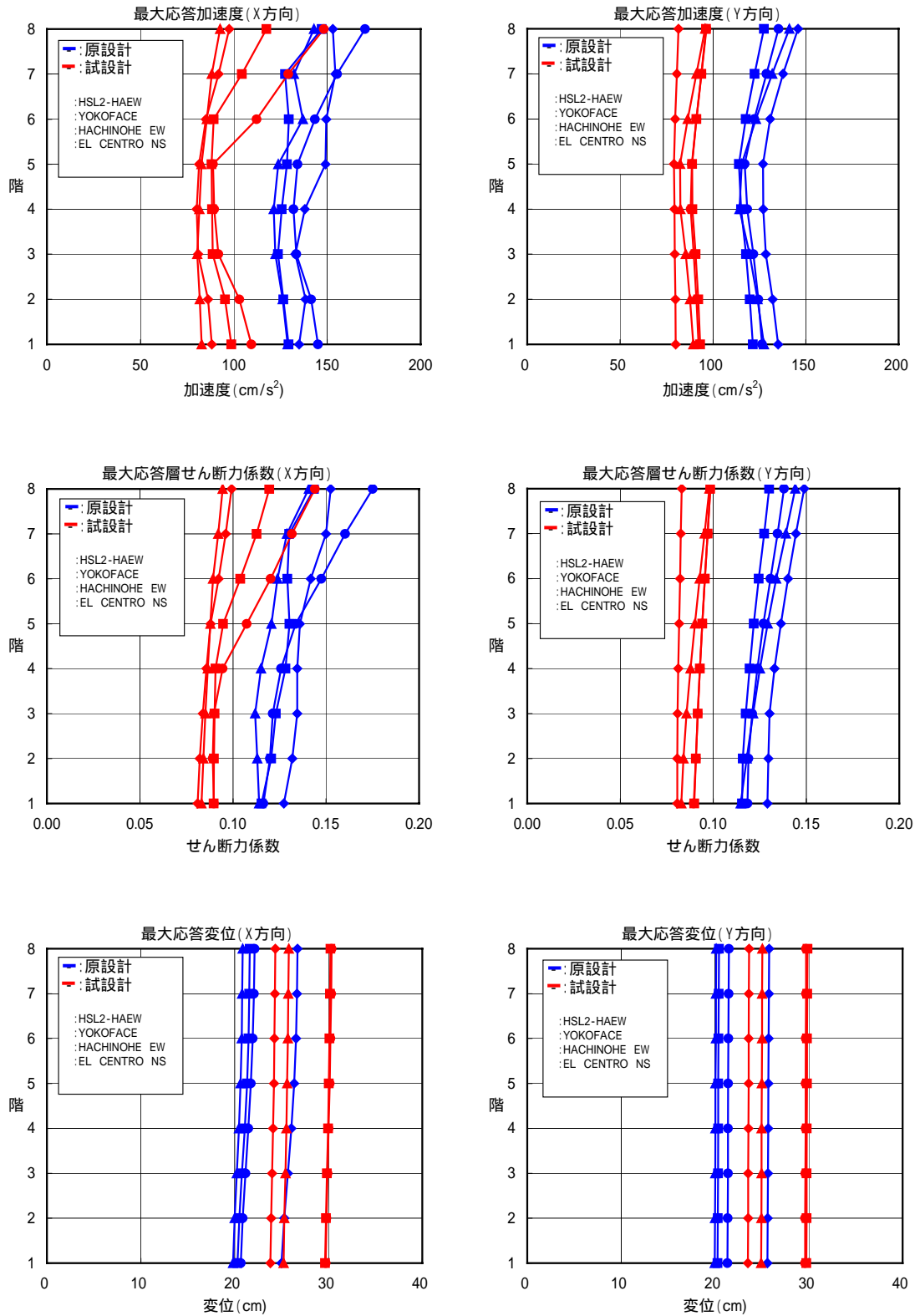


図-9 試設計と原設計のレベル2入力時最大応答結果

9. まとめ

従来の免震構法に比べ、より長周期化が可能な弾性すべり支承を用いた免震構法の開発を行い、試設計によりその有効性を確認した。

本構法の弾性すべり支承は(株)青木建設、(株)新井組、安藤建設(株)、大木建設(株)、(株)熊谷組、(株)ピーエス三菱および住友金属工業(株)で共同研究会を組織し、国土交通省の建築材料の認定を取得したものであり、本報告は共同研究会において技術資料として作成した設計資料の概要と試設計の概要を記したものである。