

ドコモ中国 東古松ビル新築工事(仮称)

エヌ・ティ・ティ ファシリティーズ
齊藤賢二



同
丸坂 等



同
吉田 献一



1. はじめに

ドコモ東古松ビルは、第三世代移动通信サービスをはじめ、将来にわたる新サービス導入のため、情報通信サービスの拠点ビルとして計画された。構造形式としては、通常時から災害時においても信頼性の高い情報通信環境を構築することと、本敷地にある埋蔵文化財保護を実現するため、免震構造を採用した。

施主：株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ中国
設計・監理：株式会社エヌ・ティ・ティファシリティーズ一級建築士事務所中国支店
施工者：鹿島・清水・共立・奥村共同企業体

本稿では、「平成12年建設省告示2009号（以下告示免震と呼ぶ）による設計」と「杭頭回転自由接合工法を用いた杭の耐震設計」の2点を中心に述べる。



図-1 建物外観

2. 敷地地盤概要

本敷地は、岡山県岡山市の中央部、東古松地区に位置しており、JR西日本「岡山駅」の南2kmに位置する。地形は、「旭川」や「笹ヶ瀬川」などによって形成された標高2~3m程度の沖積平野であり、周辺は閑静な住宅地や大学病院などの公共施設が多い地区である。本敷地周辺の地質は、古生代後期に堆積した粘板岩・砂岩や、中世代白亜紀に併入した花崗岩類が分布していると考えられる。本敷地の地盤構成は、GL-10m程度までN値0の軟弱なシルト及び細砂が存在し、GL-10m以深でN値30以上の砂礫層が出現する。

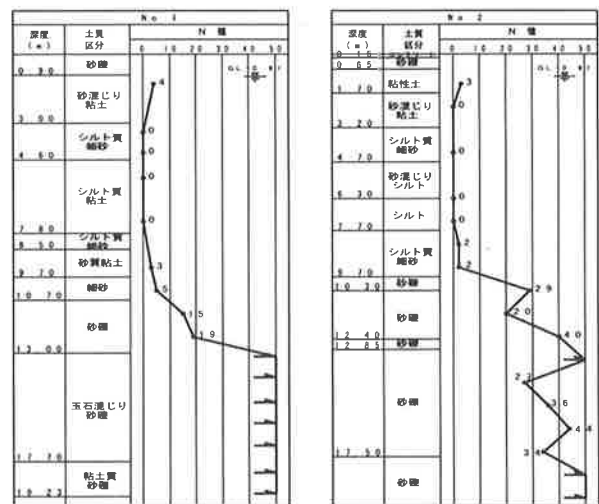


図-2 地盤柱状図

1) 液状化について

告示免震で設計する場合、地盤は「第1種地盤または液状化のおそれのない第2種地盤」とされている。本敷地における液状化の判定には、液状化層までの深さ位置、層厚、不透水層の有無等を総合的に

評価するPL (Potential of Liquefaction) 法を用いた。調査地地盤のPL値が0.8~1.9程度であること、粒度試験の結果より細粒分含有率F_cの最小値が34.8%で、液状化検討対象外である35%に極めて近似しておくこと、埋立て地盤でないことから「液状化危険度は低い」と判定した。

表一 PL法の判定基準

PL値	判定基準
PL=0	液状化の危険度はかなり低い
0<PL≤5	液状化の危険度は低い
5<PL≤15	液状化危険度は高い
15≤PL	液状化危険度が極めて高い

2) 敷地周辺の活断層について

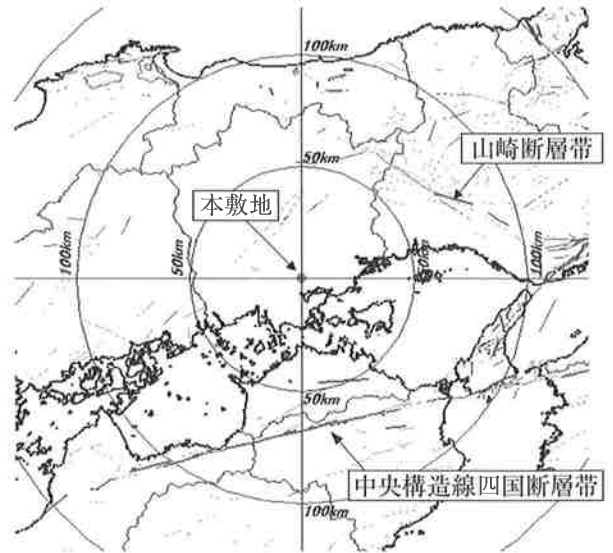
敷地周辺の活断層のうち本計画敷地に最も影響を与えるおそれのある①中央構造線四国断層帯、②山崎断層帯について、敷地での地震動レベルを算出した。計算は翠川(1993年)の距離減衰式によった。この時、表層地盤の増幅特性は地盤の非線形性を考慮して算定し、一次卓越周期に対する増幅率が約1.4倍となった。計算の結果、①中央構造線四国断層帯における地震動速度は41.9cm/s、②山崎断層帯における地震動速度は29.9cm/sと算定され、歴史地震の期待値分析の結果(500年再現期間:11.5cm/s)も勘案し、レベル2地震動として最大速度で50cm/s程度を想定することとした。

3) 設計用地震力について

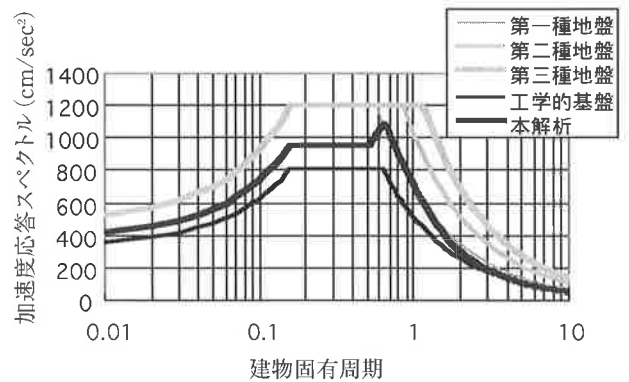
本建物の設計は告示免震に加え、振動解析によっても耐震安全性の検証を行なった。振動解析に用いた地震波は告示のスペクトルに適合するように作成したもので、各々位相を変えて3波(以下kokuji-1S~3Sと呼ぶ)作成した。Kokuji-1S~3S波は、非線形時刻歴応答解析により本敷地の地盤増幅特性を考慮したものである。応答解析は、GL-31.1mを工学的基盤とし、この基盤から表層地盤までを27分割したモデルによった。以上の方法により作成した模擬地震動kokuji-1S~3Sの最大値を表2に示す。

表二 模擬地震動の最大値

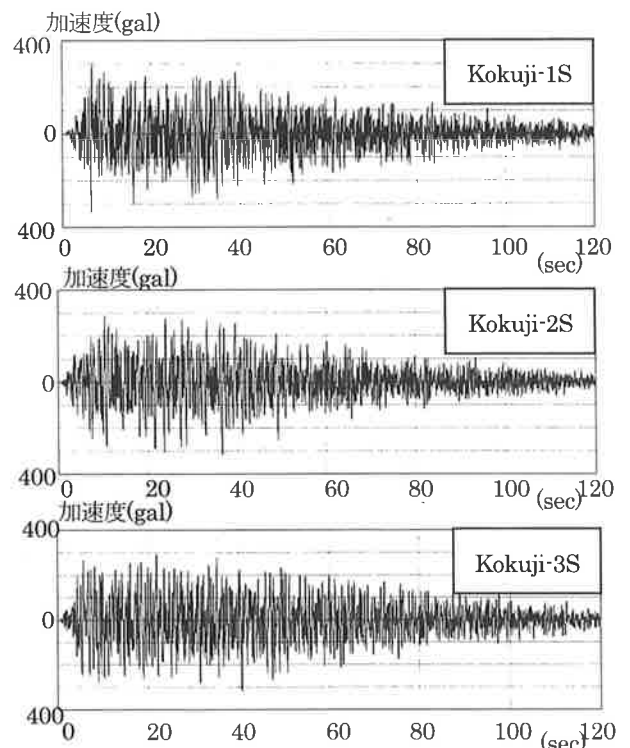
地震動波形	Amax (cm/sec ²)	Vmax (cm/sec)	Dmax (cm)
kokuji-1S	338.8	70.1	47.6
kokuji-2S	315.5	69.3	49.1
kokuji-3S	318.1	64.7	35.3



図一3 本敷地周辺の活断層



図一4 加速度応答スペクトル (h=5%)



図一5 模擬地震波 (加速度)

3. 構造概要

敷地面積：3891.30m²

延床面積：15544.66m²

構造規模：地上8階+アンテナデッキ

アンテナデッキ：ブレース付きラーメン構造

柱梁S造

上部構造：ブレース付きラーメン構造（1階のみ）

純ラーメン構造（2階以上）

柱CFT、梁S造

免震層：鉛プラグ入り積層ゴム 8台

天然ゴム系積層ゴム 13台

直動転がり支承 6台

増幅機構付粘性ダンパー 4台

基礎：杭頭回転自由接合装置 40個

場所打ちコンクリート拡底杭 40本

4. 構造設計方針

1) 設計条件

本敷地は埋蔵文化財包蔵指定区域であるため、埋蔵文化財試掘調査を実施した。調査結果では、埋蔵文化財の存在が確認され、その位置と深さが明確になった。岡山市教育委員会との協議の上、埋蔵文化財保護の観点より、①掘削深さをGL-1.1mとすること、更に、杭本数を可能な限り減らすことを目的として、②杭径を最大2.0mとし、本数を40本以下とする設計条件が生じた。

2) 構造計画

・免震層について

建物の使用性を考慮した1F床高さにするため、免震層を可能な限り薄くする設計方針とした。そこで、杭頭をピンとし曲げ応力が発生しない構造とすることで、耐圧板の厚さを約1.0mで設計できるようにした。

・上部構造について

機械室のX方向はスパン長9.0mと7.2mを基本とした全長43.2m、Y方向はスパン長7.2mを基本とした全長39.6mと、ほぼ正方形である。この機械室に10.8m×14.0mのコア部分が付随する平面配置である。大梁を格子状に組むことで、機械室部分を可能な限り無柱空間とする計画とした。剛性と耐力の向上を意図し、柱にはCFT造を採用した。1階の階高は設備計画7.0m必要となるため、1階の剛性を確保

する目的からブレースを配置した。また、コア部分の柱はS造とし、コア部分の柱断面サイズを抑えるとともに、偏心の影響を少なくする計画とした。

3) 耐震性能目標

本建物の耐震性能目標は、レベル2の地震に対して構造体の損傷及び内部収容物の転倒・衝突などが生じない「無損傷設計」とした。また、下部構造(基礎及び杭)に対しても同等の耐震性能を目指した。

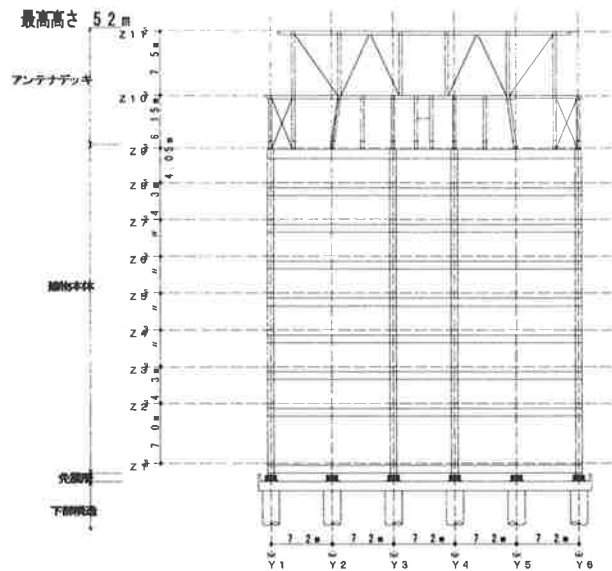


図-6 3Y通り軸組図

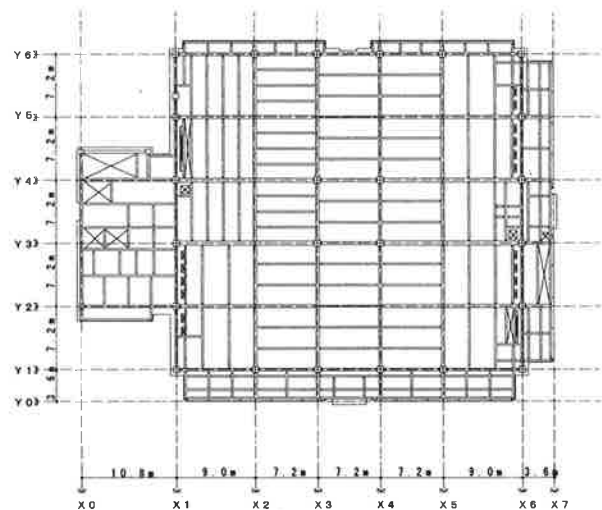


図-7 基準階伏図

5. 基礎の設計

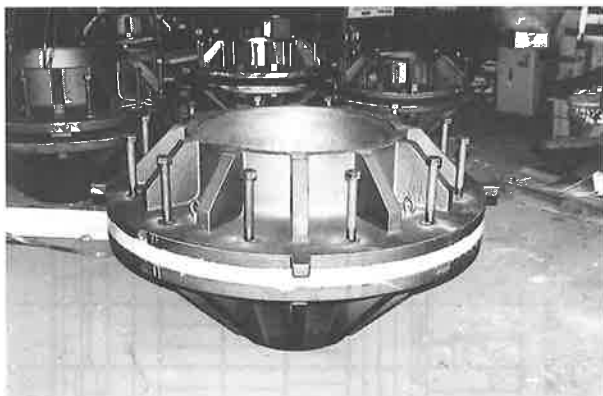
1) 杭の設計

基礎形式は、17.0m以深に分布する洪積砂礫層を支持地盤とする杭基礎とする。杭工法としては、場所打ちコンクリート拡底杭を採用した。杭の設計応

力は、①告示2009号技術基準第6号、十二号と②kokuji波（3波）による地盤変位の最大値を用いた。これらの応力を用いて応答変位法による設計を行った。解析モデルは1.0/mピッチで地盤ばねを付けた弾性支承梁とし、杭頭に回転バネを考慮可能なものとした。また杭頭には杭頭回転自由接合法（以下杭頭ピン工法と呼ぶ）を用いた。

2) 杭頭回転自由接合法

この杭頭回転自由接合法は、基礎側に固定される上部凸部材と杭側に固定される下部凹部材より構成されている。本装置は曲率の異なる2球面の点接触により回転自由なピン接合を実現しており、転がり回転変形（球座方式の摩擦ではない）に伴うポテンシャルエネルギーにより弾性復元力を得ている。荷重を負担する装置主要部（上下の凹凸両部材）は490N/mm²級鋼材で構成されており、凹凸両部材の内部対面空間には周辺土粒子等の混入を防止し本装置の回転変形性能を担保するために、軟質発砲ウレタンが充填されている。



写真一1 杭頭回転自由接合装置

3) 杭頭回転自由接合法による設計法

杭頭回転自由接合装置は長・短期鉛直耐力をもとに選択する。装置が決定されれば、(1)式により設計用鉛直荷重時の回転剛性が算出できる。設計としては、長期鉛直荷重を用いて回転剛性を算出し、杭の応力解析を行った。

これまでに、鉛直荷重12000 kN級までの杭頭ピン装置については性能試験が実施された。本建物で鉛直荷重18000kN級の装置を用いるため、今回新たに実大性能試験を行い、鉛直剛性及び回転剛性に関する理論式等の妥当性確認を行った。

$$K_r = K_{ro} \cdot P_d / P_o \dots (1)$$

表一3 杭頭回転自由接合装置特性

装置名称	Po(kN)	Kro	Kr	Qa'(kN)	θa(rad)
BP-200T	2000	1000	1000・Pd/Po	2400	1/10
BP-600T	6000	4200	4200・Pd/Po	4400	1/10
BP-900T	9000	10800	10800・Pd/Po	5200	1/15
BP-1200T	12000	14400	14400・Pd/Po	5900	1/15
BP-1800T	18000	21600	21600・Pd/Po	12700	1/15

Po: 設計標準鉛直荷重、Kro: 設計標準鉛直荷重時の回転剛性(kN・m/rad)
Pd: 設計用鉛直荷重、Kr: 設計用鉛直荷重Pd時の回転剛性(kN・m/rad)
θa: 許容回転変形量 Qa'(kN): 短期せん断耐力

4) 各種杭頭モデルの比較

杭頭を固定、完全ピン、従来場所打ち杭頭ピン装置（以下従来品と呼ぶ）、杭頭回転自由接合法の4種類について応答変位法による解析を行い、応力を算定した。解析検討対象は、長期軸力が最大となる箇所の杭とした。杭の諸元は、杭長L=19m、杭径D=2.0m、長期軸力NL=16,116kN、短期軸力=18,240kNである。

解析結果によると、本工法の回転剛性は従来場所打ち杭頭ピン装置（従来品）のものと比較して約0.02倍となり、高軸力における性能が向上していることが分かる。杭頭の曲げ応力を比較すると、杭頭固定とした場合の杭頭位置での曲げ応力に対し従来品で0.67倍、本工法で0.017倍となる。杭頭が完全ピンの場合と本工法の最大曲げ応力は杭長中間付近に発生しており、応力値及び発生位置から判断して本杭頭回転自由接合法を用いれば、杭頭完全ピンが実現できることが分かる。

応力分布が完全ピンとほぼ同じであるため、杭の配筋は応力見合いで杭長方向に6分割した。杭頭の配筋は中間部分と比較して少なく、杭頭補強に関しても比較的簡易に施工できた。

表一4 各種杭頭モデル解析結果

	杭頭モデル	単位	本工法	従来品	固定	完全ピン
	回転剛性	(kN・m/rad)	19800	927500	-	-
杭頭 水平力 による 応力	杭頭位置の曲げ応力	(kN・m)	69	2924	4009	0
	杭頭位置のせん断応力	(kN)	753	753	753	753
	最大曲げ応力	(kN・m)	5209	3536	4009	5251
地震時 地盤変 位によ る応力	最大せん断力	(kN)	1062	794	753	1068
	杭頭位置の曲げ応力	(kN・m)	27	777	1511	0
	杭頭位置のせん断応力	(kN)	36	40	44	36
最大曲げ 応力	最大曲げ応力	(kN・m)	1727	1223	1511	1745
	最大せん断力	(kN)	320	249	271	323

6. 免震装置

・免震装置の選定について

平面計画上、中心の4本柱に高軸力が発生する。この4本柱に積層ゴム支承を配置した場合、装置が大型化され必要な免震周期が得られない。そこで、水平方向の剛性が極めて小さく、かつ高軸力に対応できる直動転がり支承を採用することで免震周期の長期化を図った。CLB2000は約20000kNの長期圧縮強度を持っている。積層ゴム支承については面圧が10~12N/mm²以内に納まるように装置径を計画し、偏心率を積層ゴムのせん断変形歪0.5~400%で2.0%以下に納まるように配置した。特にY方向の偏心率に対し、コア部分の剛性の与える影響が大きかったため、鉛入り積層ゴム支承をY軸方向だけに配置することで剛性のバランスを図った。鉛入り積層ゴムの鉛の降伏せん断耐力は、短期風荷重に対し降伏しない耐力を設定し、断面設計を行った。しかし、告示の規定による減衰材の負担せん断力3.0%を満たすことはできなかった。鉛の降伏せん断耐力を大きくすると免震効果が低下し目標設計値を満足できない。その為、免震周期に与える影響の小さい増幅機構付粘性ダンパーを付加し、免震性能を低下させず必要な減衰性能の確保を図った。

7. 振動解析

・振動解析モデルについて

振動解析モデルは、下部構造を剛体とみなして免震層下部を固定とし、免震装置より上部の建物を各階床位置に質量を集中させた11質点等価せん断型モデルとした。

表-5 振動解析モデル諸元

層	各階重量 Wi(kN)	累積重量 Σ Wi(kN)	階高(m)	せん断剛性 (kN/cm)	
				X方向	Y方向
11	881	881	-	-	-
10	4093	4973	7.10	4088.4	1476.8
9	31237	36210	6.55	7299.9	6633.5
8	18429	54639	4.05	14970.5	12637.2
7	18653	73292	4.30	11920.9	10919.3
6	19367	92659	4.30	11710.3	11098.9
5	18876	111535	4.30	11850.5	11488.8
4	18868	130403	4.30	11986.0	11954.0
3	19123	149526	4.30	12417.5	12386.3
2	20343	169869	4.30	14206.5	14198.9
1	30040	199908	7.00	14927.0	15589.4
M	-	-	-	免震層	免震層

上部構造の等価せん断バネは立体フレームモデルによる弾性応力解析により求め、免震層に関しては各装置の復元力特性によりモデル化している。

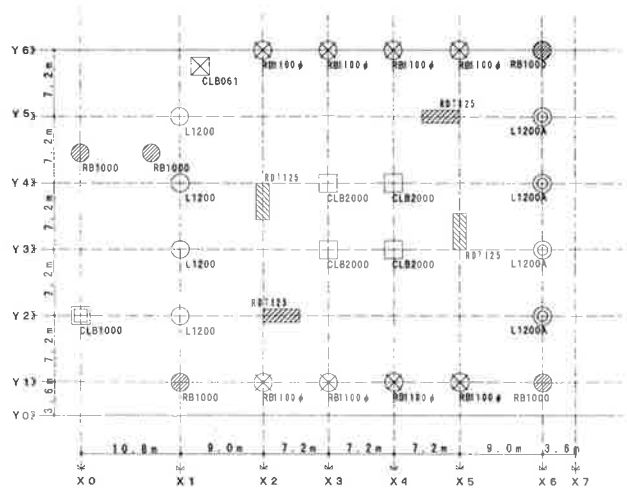


図-8 免震装置配置図

表-6 免震装置記号

記号	免震部材-直径(mm)-鉛径(mm)-ゴム材料
○	L1200 鉛入り積層ゴム-1200φ-d290-G4.0
◎	L1200A 鉛入り積層ゴム-1200φ-d270-G3.5
⊗	RB1100 天然ゴム系積層ゴム-1100φ-0-G3.5
⊙	RB1000 天然ゴム系積層ゴム-1000φ-0-G3.5
記号	装置の型
□	CLB2000 直動転がり支承 (CLB2000型)
◻	CLB1000 直動転がり支承 (CLB1000型)
⊗	CLB061 直動転がり支承 (CLB061型)
記号	装置名
▨	RDT125 増幅機構付粘性ダンパー



写真-2 直動転がり支承 (CLB2000)



写真-3 増幅機構付粘性ダンパー

・告示免震の応答値と振動解析結果について

先に示したkokuji波（3波）による振動解析結果を示す。

告示免震による応答変位は $\delta r' = 24.8\text{cm}$ であった。告示免震による免震層クリアランスは $\delta r' + 20\text{cm}$ となるので 44.8cm となり、振動解析結果の最大値よりも若干大きくなっている。各階の応答加速度は振動解析結果より、 250gal 以下を示しており、大地震時における収容物等の転倒・衝突に対して比較的簡易に対策できることを確認できた。告示免震によるベースシア係数と振動解析結果によるものとはほぼ同じだが、各層のせん断力は上層に行く程、振動解析結果による値の方が大きくなり、最上階で告示免震の値が再び大きな値となる。この結果より、上部構造を鉄骨構造とし、その剛性が比較的柔らかい場合は、告示免震のせん断力係数を求める際の分布係数は慎重に設定する必要があると言える。

8. まとめ

ドコモ東古松ビルの設計を告示免震設計法に準じて行い、その結果を振動解析結果と比較し確認した。その結果、上部構造の剛性が低い場合は告示免震によるせん断力係数が振動解析による値より小さくなることがわかった。また、杭頭回転自由接合法を用いた設計は杭頭完全ピンを実現でき、杭体や基礎梁の応力緩和に有効であることが確認できた。ドコモ東古松ビルは現在、鉄骨建て方進行中であり、平成16年7月頃に完成予定である。

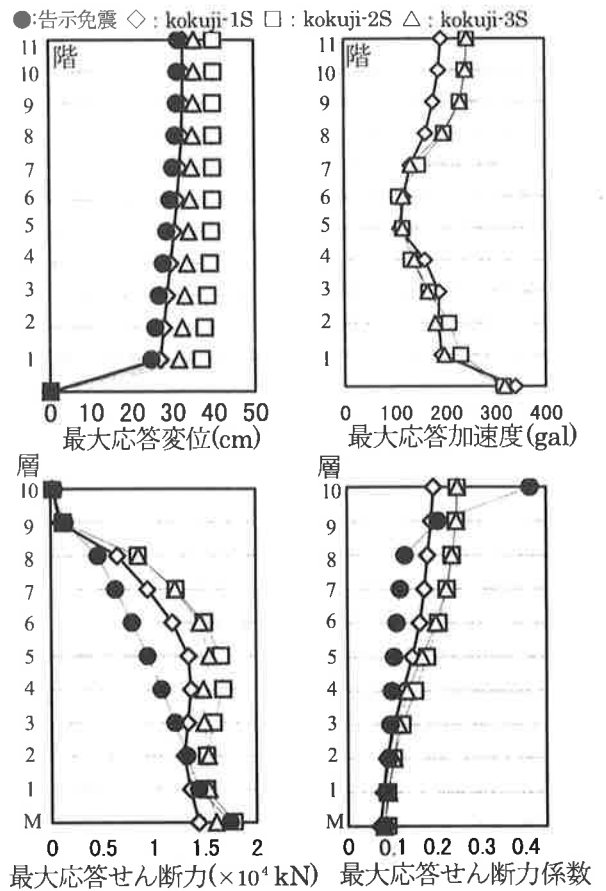


図-9 X方向地震応答解析結果 [レベル2]

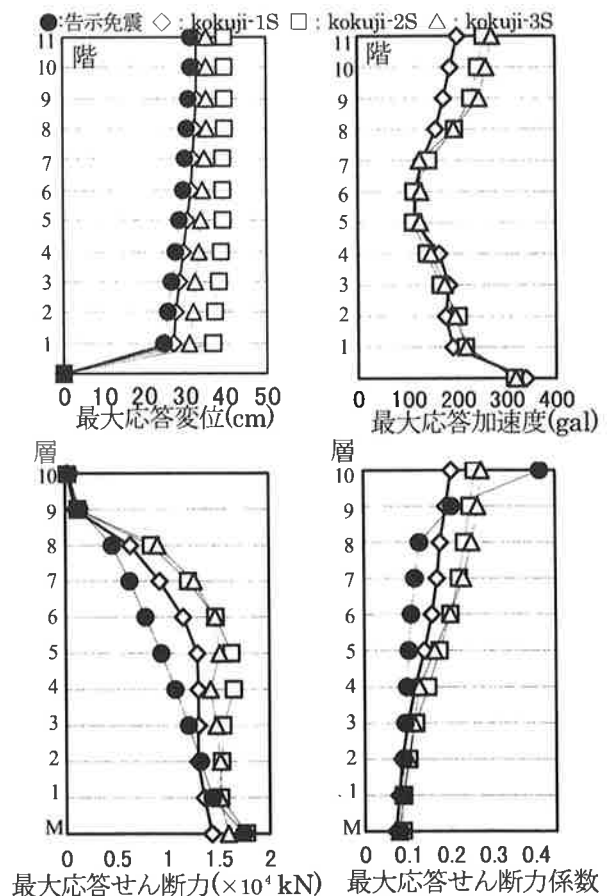


図-10 Y方向地震応答解析結果 [レベル2]