

# 東京大学(地震)総合研究棟

NTTファシリティーズ  
鈴木幹夫



同  
齊藤賢二



清水建設  
石井 透



同  
佐藤俊明



## 1. はじめに

東京大学(地震)総合研究棟は、東京大学弥生キャンパス内に建設される教育研究施設であり、国内外共同研究の中核、国内外研究者の交流の場、地震火山災害時における緊急研究活動の拠点等として利用される重要な施設である。

特に地震災害時に東京大学地震研究所に期待される学術的・社会的役割は大きく、大地震発生直後においても十分な機能維持を図れるよう免震構造を採用している。

なお、本施設は民間の資金調達並びに技術・運営ノウハウを活用するPFI手法によって建設、維持管理されるものであり、清水建設とNTTファシリティーズが出資する特別目的会社とその事業運営を実施するものである。

## 2. 建物概要

建築場所：東京都文京区弥生1-1-1

用途：大学

規模：地上7階、塔屋1階

敷地面積：114,866㎡

建築面積：1,317㎡

延床面積：7,939㎡

建物高さ：設計GL+31.5m

構造種別：鉄筋コンクリート造

構造形式：耐震壁付ラーメン構造

基礎形式：杭基礎

設計監理：(株)NTTファシリティーズ

施工：清水建設(株)

## 3. 地盤概要

敷地の地層構成は、上部より盛土層、立川・武蔵野ローム層、凝灰質粘土層、本郷層の砂質土層・粘性土層が分布し、N値は10以下の低い値を示している。その下には締まった本郷層の礫混じり砂層、東京層が分布し、更に下位にN値60以上の東京礫層が分布している。

PS検層の結果、S波速度は上部では110~210m/s、本郷層の礫混じり砂層から東京層までの間は320~440m/sであり、工学的基盤と見なせる東京礫層では550m/sとなっている。

また、常時微動によるH/Vスペクトルによると、0.23秒及び8秒付近に卓越周期が見られ、0.23秒付近が表層地盤の振動特性、8秒付近が深い地盤構造の影響による振動特性と考えられる。



図1 建物外観パース

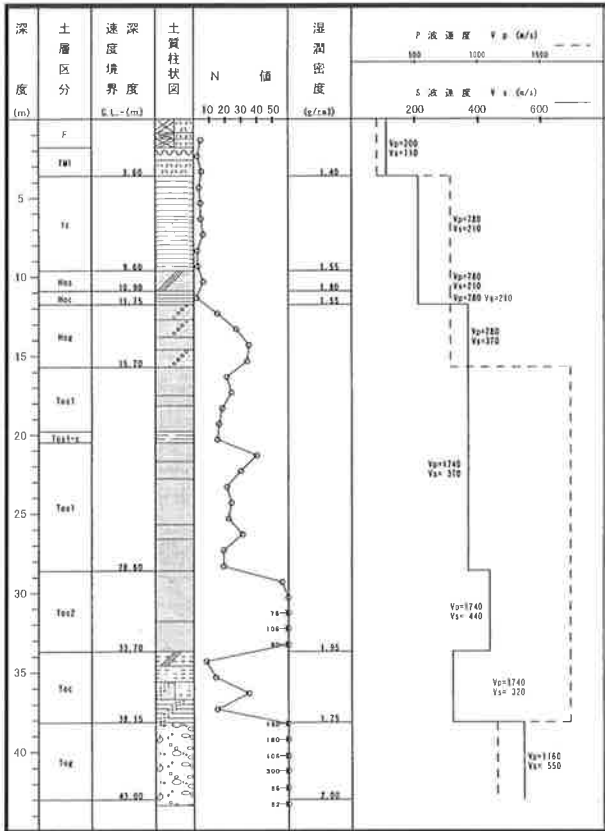


図2 地盤概要と弾性波速度構造

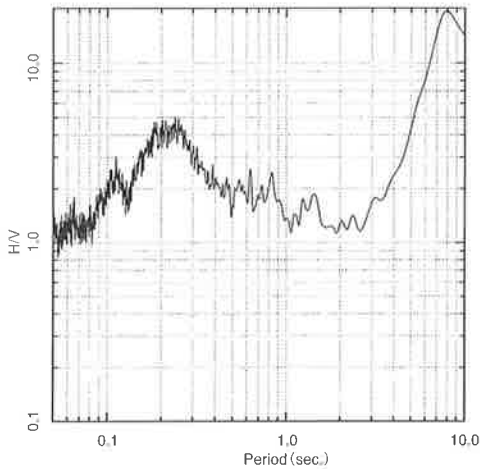


図3 H/Vスペクトル

## 4. 構造設計概要

### 4.1 構造計画

建物規模は地上7階、塔屋1階であり、X方向7.2m×6スパン、Y方向11.6m、8.0m、8.6mスパンの長方形平面を有する整形な建物である。また、建物上部には高さ約15mの通信用の鉄塔を搭載している。

構造種別は鉄筋コンクリート造、構造形式は耐震壁付ラーメン構造とし、免震構造建物として十分な応答低減効果が得られる剛性と耐力を確保した。

基礎構造は既製コンクリート杭基礎とし、設計GL-約14m以深の密な砂層に支持させた。杭の断面設計においては、応答変位法により求めた地盤の変形により杭に生ずる応力についても考慮した。

免震装置には鉛プラグ挿入型積層ゴム支承22基と弾性すべり支承6基を用い、免震周期の長周期化と減衰性能の向上を図った。免震装置の変形に対応するため、上部構造と免震層外周の擁壁との間には、水平方向65cm、鉛直方向5cmのクリアランスを設けた。

なお、本建物の構造設計は、平成12年建設省告示第2009号により行っているが、同時に極めて稀に発生する地震を対象とした地震応答解析による耐震安全性の検証についても実施している。

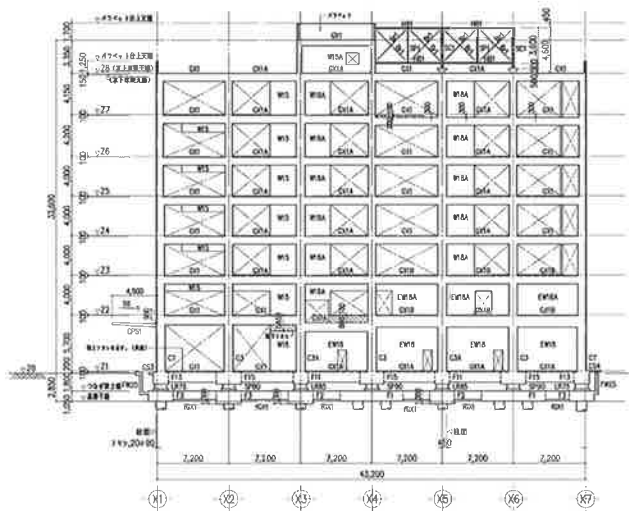


図4 軸組図

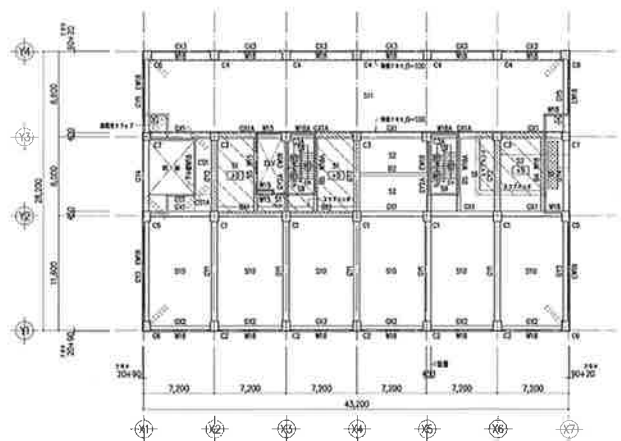
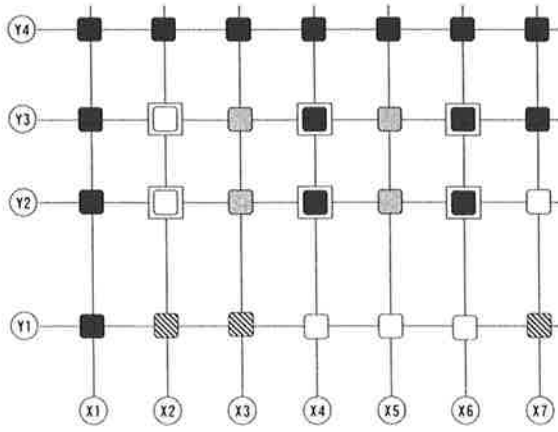


図5 基準階平面図



鉛プラグ挿入型積層ゴム支承 (G4 角型)			
記号	ゴム外形	鉛プラグ径	基数
■	750	160mm	11
▨	750	85mm×4	3
□	800	90mm×4	4
■	850	150mm	4
弾性すべり支承 (G6 角型)			
記号	ゴム外形	摩擦係数	基数
□	800	0.029	2
■	900	0.029	4

図6 免震装置配置図

#### 4.2 告示免震設計

告示による検証では、精算法により求めた表層地盤による加速度の増幅率Gsを用い、繰り返し計算により建物応答の収束値を算定した。

検証の結果、免震層の応答変位 $\delta_r$ は0.353m、上部構造の1階層せん断力係数 $C_{r1}$ は0.108となった。

### 5. 地震応答解析

#### 5.1 設計用入力地震動

地震応答解析は極めて稀に発生する地震を対象とし、地震動には告示による解放工学的基盤における加速度応答スペクトルを用いて作成した模擬地震動と、相模トラフから沈み込むフィリピン海プレート上面のプレート境界で発生するマグニチュード7級の想定地震(想定東京地震)の断層モデルと対象敷地の工学的基盤以深の地下構造モデルを用いて統計的グリーン関数法により作成した模擬地震動を採用した。

地震応答解析に用いる設計用入力地震動波形は、上記の工学的基盤における波形をもとに、工学的基盤以浅の地盤モデルを用いる重複反射理論により地表における地震動波形として作成した。

なお、想定東京地震の断層モデルと地震動は清水建設技術研究所にて作成されたものである。

表1に設計用入力地震動の一覧を示す。

表1 設計用入力地震動

符号	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大速度 (cm/s)	解析時間 sec	備考
ART-八戸-EW	445	59.0	60.0	告示
ART-東北-NS	441	55.3	60.0	
ART-JMA神戸-NS	481	63.5	60.0	
HYP.TKY1-ERLI	641	63.0	100.0	想定東京地震
HYP.TKY2-ERLI	532	41.7	100.0	

#### (1) 告示による模擬地震動

告示模擬波は、平成12年建設省告示第1461号に定められる解放工学的基盤における極めて稀に発生する地震の加速度応答スペクトルに基づき作成した。

工学的基盤における模擬地震動の位相特性には、1968年十勝沖地震八戸港湾EW成分、1978年宮城県沖地震東北大学NS成分及び1995年兵庫県南部地震神戸海洋気象台NS成分を採用した。

#### (2) 想定東京地震

相模トラフから沈み込むフィリピン海プレート上面のプレート境界で発生するマグニチュード7級の地震を想定し、対象敷地の工学的基盤での地震動を作成した。以後、この想定地震を「想定東京地震」と呼ぶ。

#### A. 浅い地盤構造モデルと深い地下構造モデル

対象敷地の地盤のPS検層結果に基づき、深さ約38m以深にあるS波速度550m/sの東京礫層を工学的基盤と定義し、工学的基盤以浅の地盤モデルを表2のように設定した。更に、東京大学地震研究所で評価された対象敷地付近での深い地下構造モデルに基づき、工学的基盤以深の地下構造モデルを表3のように設定した。ただし、最下層のS波速度と密度 $\rho$ は、地震調査研究推進本部(2003.10)に基づき設定した。

表2 工学的基盤以浅の地盤構造モデル

層下端深さ (m)	層厚 (m)	S波速度 (m/s)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	減衰定数 h
3.60	3.60	110	1.40	0.05
11.75	8.15	210	1.60	0.05
28.60	16.85	370	1.95	0.05
33.70	5.10	440	1.95	0.05
38.15	4.45	320	1.75	0.05
...	...	550	2.00	0.02

表3 工学的基盤以深の地下構造モデル

層下端深さ (m)	層厚 (m)	S波速度 (km/s)	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Q値
400	400	0.5	1.85	100
1762	1362	0.9	2.08	100
3088	1326	1.5	2.28	150
6000	2912	3.5	2.60	300
16565	10565	3.5	2.60	300
36167	19602	3.9	2.90	400

B. 想定東京地震の断層モデル

地震調査研究推進本部(2004.8)により、南関東で発生するM7級地震を取り巻く環境とプレート上面深さが評価されている(<http://www.jishin.go.jp/main/>)。また、中央防災会議により、南関東でプレート境界地震の発生が想定される領域が示されている(<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>)。対象敷地は、このプレート境界地震の発生が想定される領域のうち「多摩」と「東京湾北部」が重なる領域にある。そこで、断層モデルの水平投影面がこの領域に概ね対応し、かつ、断層モデルの三次元的な位置がフィリピン海プレート上面に概ね沿うように、想定東京地震の巨視的断層面を設定する方針とした。

地震調査研究推進本部(2003.10)に基づいてフィリピン海プレート上面付近のS波速度と密度を設定し、中央防災会議の検討で設定されたM7.3を想定東京地震のモーメントマグニチュードと読み替え、静的応力降下量は相模トラフのプレート境界地震である1923年関東地震の断層パラメータ(Matsu'ura et al.,1980)を参考にやや大きめの4.0MPaとし、これらから求められる断層面積に対応するような断層長さ・幅を設定した。この断層面の三次元的な位置を前述の方針に従って定め、その上端深さを設定した。

地震規模から判断してアスペリティを2個配置す

ることとした。プレート沈み込み帯沿い地震に対して石井・ほか(2000)で得られた関係に基づき、アスペリティの総面積を巨視的断層面全体の面積の35%とし、2個のアスペリティの面積比を2:1とした。対象敷地に近い東側に大きいアスペリティを置いて「東アスペリティ」と呼び、西側に小さいアスペリティを置いて「西アスペリティ」と呼ぶ。逆算される短周期レベルの値は壇・他(2001)の1.2倍弱となり、平均的な値よりはやや大きめとなる。アスペリティ全体の地震モーメントが断層全体の70%、総面積が断層全体の35%、平均滑り量が断層全体の平均の2倍というこのモデルは、プレート沈み込み帯沿い地震に対して石井・他(2000)で得られた関係と一致する。破壊シナリオは、西アスペリティの西下隅から同心円状に破壊が広がるCase-1と、東アスペリティの東下隅から同心円状に破壊が広がるCase-2の2通りを設定した。破壊伝播速度は、相模トラフのプレート境界地震である1923年関東地震の値(Wald and Somerville, 1995)を考慮して3.0km/sに設定した。

その他のパラメータは、地震調査研究推進本部(2004.5)による海溝型地震の強震動評価のレシピに従って設定した。

以上のように設定した想定東京地震の主要な断層パラメータを表4に示し、断層モデルを図7に示す。

表4 想定東京地震の主要な断層パラメータ

走向	N 110° E
傾斜角	34°
断層長さ	60 km
断層幅	30 km
断層上端深さ	26 km
地震モーメント	1.25 × 10 <sup>20</sup> N・m
短周期レベル	3.09 × 10 <sup>19</sup> N・m/s <sup>2</sup>
破壊伝播速度	3.0 km/s
東アスペリティ面積	420 km <sup>2</sup>
東アスペリティ平均滑り量	350 cm
東アスペリティ実効応力	11.4 MPa
西アスペリティ面積	210 km <sup>2</sup>
西アスペリティ平均滑り量	248 cm
西アスペリティ実効応力	11.4 MPa
背景領域面積	1170 km <sup>2</sup>
背景領域平均滑り量	72.9 cm
背景領域実効応力	1.6 MPa

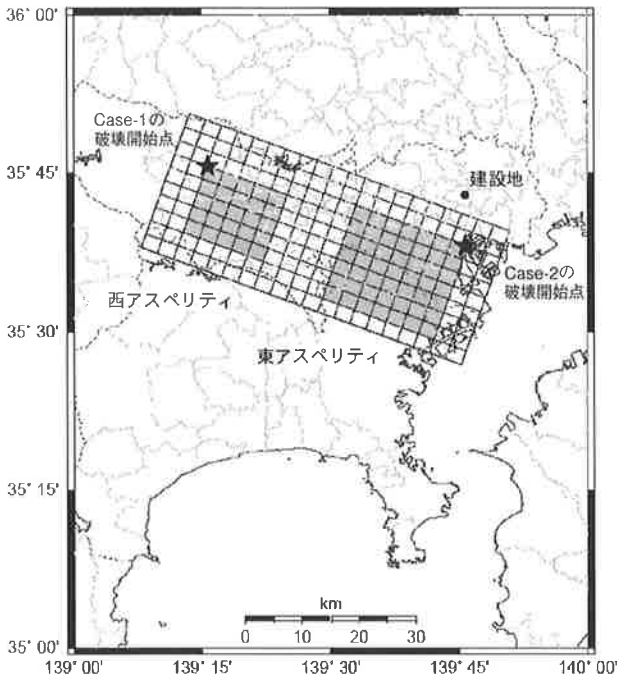


図7 想定東京地震の断層モデル  
(陰影はアスペリティ、★印は破壊開始点)

C. 想定東京地震の地震動

想定東京地震の断層モデルと対象敷地の工学的基盤以深の地下構造モデルを用い、地震調査研究推進本部(2004.5)でも用いられている統計的グリーン関数法により、対象敷地の工学的基盤での地震動を評価した。Case-1の地震動(HYP.TKY1-ERI.B)の時刻歴を図8に、Case-2の地震動(HYP.TKY2-ERI.B)の時刻歴を図9にそれぞれ示す。断層面全体としての破壊の方向は、Case-1では対象敷地に近づいてくる方向、Case-2では対象敷地から遠ざかっていく方向である。そのため、Case-1の方が時刻歴の包絡形状が集中し、継続時間が短く最大振幅が大きくなった。加速度最大値は、Case-1では約440cm/s<sup>2</sup>、Case-2では約390cm/s<sup>2</sup>に達し、速度最大値は、Case-1では約57cm/s、Case-2では約31cm/sに達した。

これらの地震動の減衰定数5%の擬似速度応答スペクトルを図10に示す。周期約1秒以下の短周期帯域では両ケースのスペクトル振幅はほぼ同等であるが、周期約1秒以上の帯域においてはCase-1の方が大きくなっており、特に4秒付近では約100cm/sに達している。また、周期約0.5~1秒の帯域においても約100cm/sとなっており、告示のスペクトルに匹敵する最大級の地震動レベルとなった。

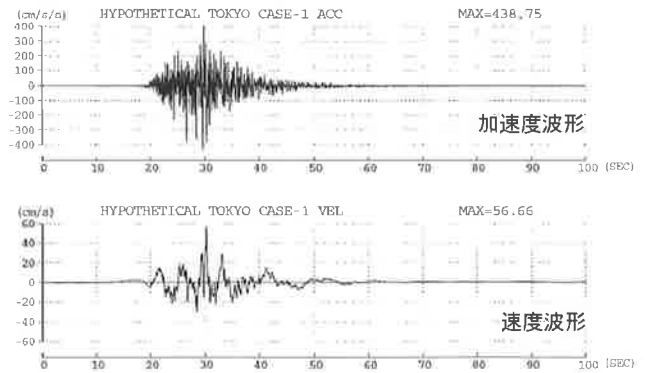


図8 対象敷地の工学的基盤で評価された想定東京地震 Case-1の地震動(HYP.TKY1-ERI.B)の時刻歴

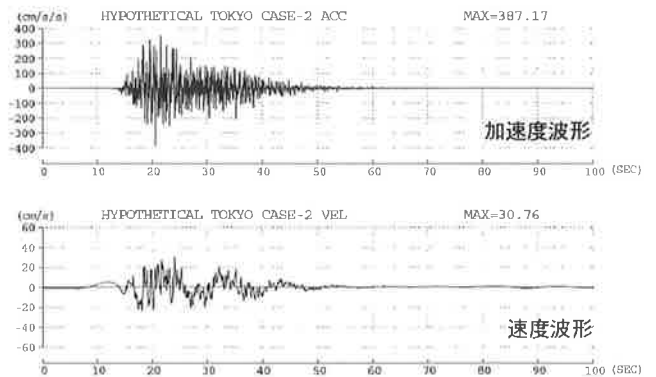


図9 対象敷地の工学的基盤で評価された想定東京地震 Case-2の地震動(HYP.TKY2-ERI.B)の時刻歴

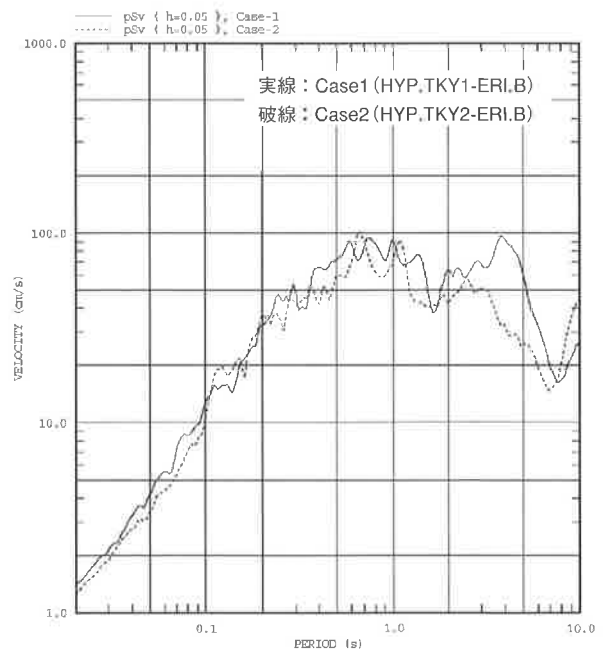


図10 対象敷地の工学的基盤で評価された想定東京地震の減衰定数5%擬似速度応答スペクトル

工学的基盤で評価された地震動と対象敷地の工学的基盤以浅の地盤モデルを用い、重複反射理論により対象敷地の地表での地震動を評価して水平両成分とみなし、上下成分を無視して計測震度を計算した結果、Case-1では6.2、Case-2では6.1となり、いずれも震度6強に達する結果となった。断層モデルが同じではないので単純な比較は出来ないが、中央防災会議の首都直下地震対策専門調査会による東京湾北部直下のプレート境界地震(M7.3)の都心部直下に大きいアスペリティがある場合においてもこの地域の震度は6強に達している。また、地震のタイプについては諸説あり震動が観測された地点も同じではないので単純な比較は出来ないが、相模トラフのプレート境界で歴史上発生した2つの巨大地震(1703年元禄地震・1923年関東地震)に先立つ地震の活動期に発生したM7級の4つの地震(1615年慶長江戸地震・1649年慶安江戸地震・1855年安政江戸地震・1894年明治東京地震)では、東京(江戸)で震度6となったと考えられている(石橋、1990)。従って、本検討の想定東京地震とそれによる対象敷地での地震動は、歴史上の活動期に首都圏直下で発生したM7級の地震による東京での地震動に概ね対応すると判断される。

### 5.2 地震応答解析結果

免震層下部を固定とする8質点等価せん断型モデルを用いて計算した解析結果を図11に示す。

最大応答加速度はいずれの階においても200cm/s<sup>2</sup>を下回っており、また、免震層の最大応答変位も免

震装置の耐震性能目標40cm(鉛プラグ挿入型積層ゴム支承のせん断ひずみ200%)以下となっている。

なお、免震材料の性能変動を考慮した場合についても地震応答解析を実施し、その応答値が耐震性能目標を満足することを確認している。

### 6. おわりに

本建物は2006年2月に完成予定である。本建物の設計あたり多大なご指導、ご協力を頂きました東京大学の皆様方に厚く御礼申し上げます。

#### 【参考文献】

- 1) 壇 一男・他：日本建築学会構造系論文集、No.545、pp.51～62、2001.7
- 2) 石橋克彦：地質ニュース、432号、pp.27～30、1990
- 3) 石井 透・他：日本建築学会構造系論文集、No.527、pp.61～70、2000.1
- 4) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、2003.10
- 5) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、2004.5
- 6) 地震調査研究推進本部 地震調査委員会、2004.8
- 7) Matsu'ura, M., et al.: J. Phys. Earth, 28, pp.119～143, 1980
- 8) Wald, D. J. and P. G. Somerville : B.S.S.A., Vol.85, No.1, pp.156～177, 1995.2
- 9) 中央防災会議ホームページ：  
<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/>
- 10) 地震調査研究推進本部ホームページ：  
<http://www.jishin.go.jp/main/>

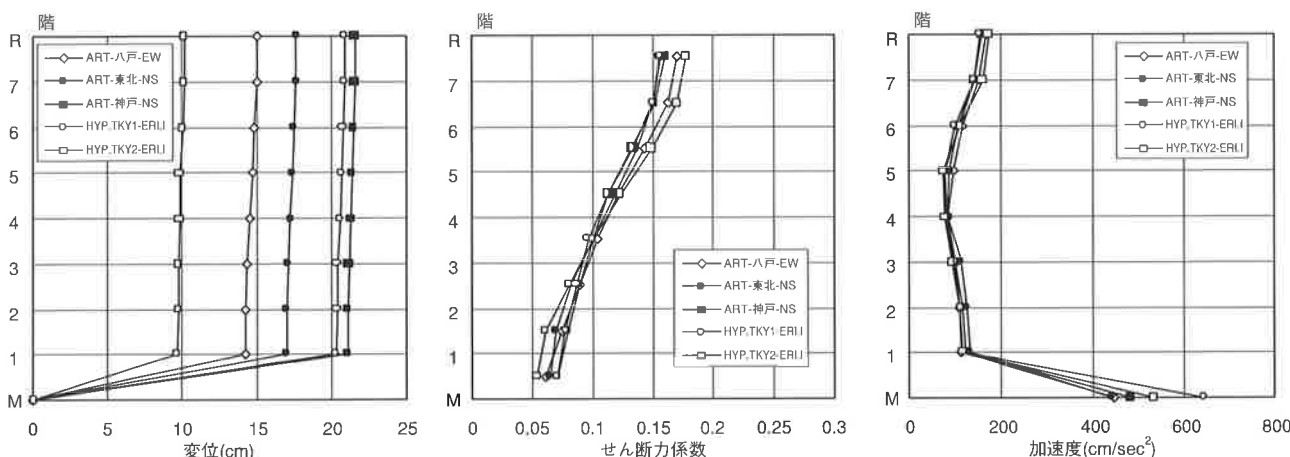


図11 地震応答解析結果 (X方向)