

## NHK福島新放送会館

NTTファシリティーズ  
齊藤賢二同  
豊田耕造同  
宮崎政信

## 1. はじめに

NHK福島新放送会館はJR福島駅南側に位置し、市街地活性化事業の一環として計画された。併設される福島市の文化施設と一体的な複合施設を形成し、地域の情報発信拠点として「公開と参加」を目指した放送会館となっている。本建物は、地域の拠点施設であり、大地震時における公共放送施設としての機能確保を目標として、高い耐震安全性を有する免震構造として計画している。

## 2. 建物概要

建物規模は、地下1階、地上4階であり、建物上部には高さ約38mの送受信鉄塔を搭載している。

【建築場所】：福島県福島市栄町41-8他

【敷地面積】：2,987.00㎡

【建築面積】：2,043.70㎡

【延床面積】：5,687.97㎡

【基準階面積】：1,816.74㎡

【階数】：地上4階、地下1階

【高さ】：軒高21.0m、最高高さ59.7m(鉄塔最頂部)

【構造種別】：建物：RC造(一部PRC造)、鉄塔：S造

【骨組形式】：建物地上階：ラーメン構造  
地下階：耐震壁付ラーメン構造  
鉄塔：ブレース付ラーメン構造

【基礎形式】：直接基礎(一部地盤改良)

【建築主】：日本放送協会

【設計監理】：日本放送協会  
NTTファシリティーズ・平木建築設計事務所共同企業体

【施工者】：竹中・菅野・安藤 特定建設工事共同企業体



図1 建物外観パース

## 3. 地盤概要

敷地の地層構成は、上部より盛土層、沖積層の砂泥層(層厚約5m)、沖積砂礫層(層厚約12m)となっている。沖積層の下位には、砂泥互層を主体とした洪積層が厚く堆積し(層厚約100m)、その下に中新世の凝灰岩層が基盤をなしている。(図2)

PS検層の結果、S波速度は沖積砂礫層で390~550m/sと大きな値を示しているが、その下部の洪積層では局部的に400m/sを超える部分があるものの、大半は210~330m/sの範囲にある。工学的基盤とみなせる400m/s以上が連続する層が出現するのは、GL-約120mの凝灰岩層からとなっている。(図3)

常時微動測定から得られた微動のフーリエスペクトル図を図4に示す。また、工学的基盤から上部の地層を考慮して算出した地盤増幅度特性図を図5に示す。これらから0.2秒付近及び1.6~1.8秒付近と3~5秒付近にピークが認められるが、両者に共通して振幅が大きい1.6~1.8秒付近のピークが、本敷地地盤の卓越周期と考えられる。

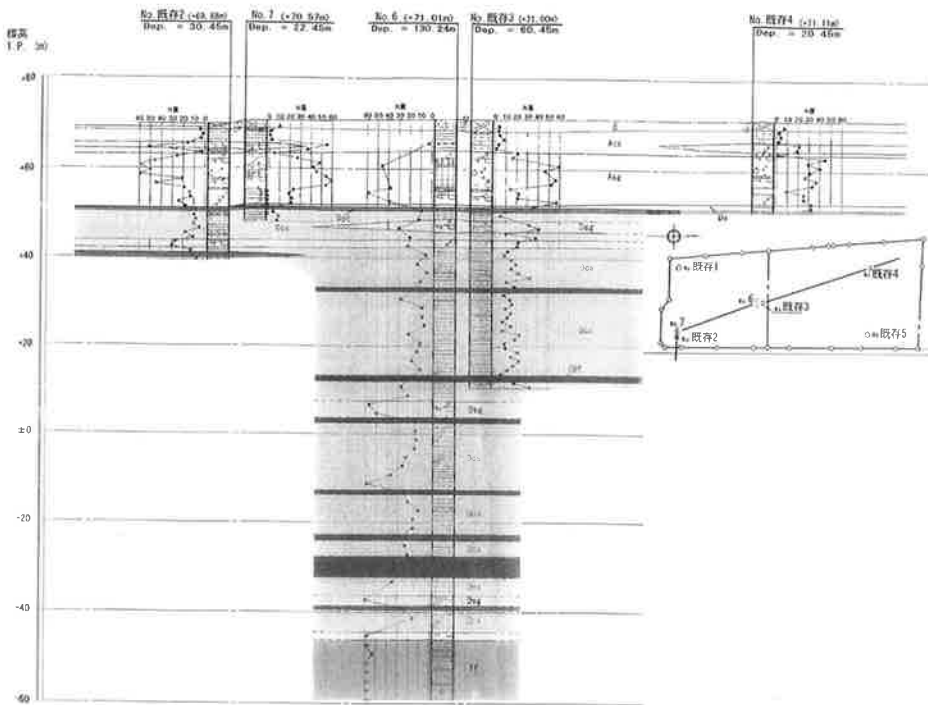


図2 地盤概要図

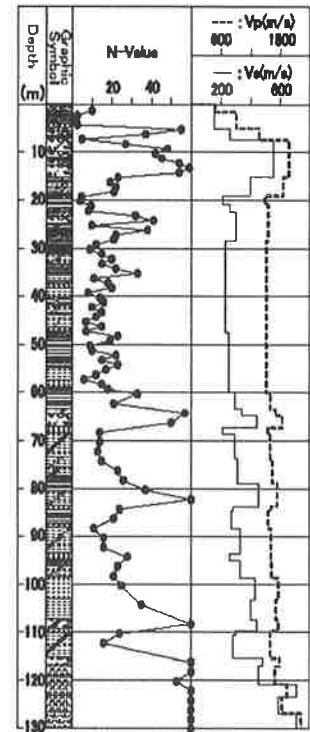


図3 弾性波速度構造

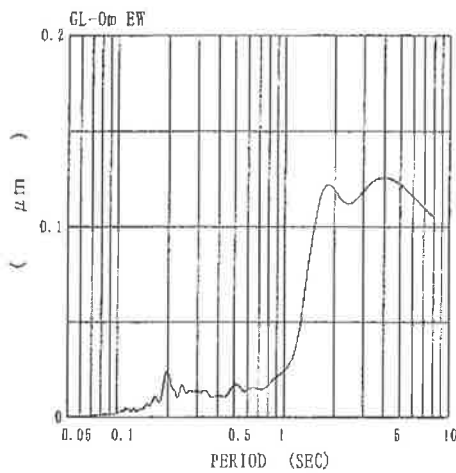


図4 フーリエスペクトル図

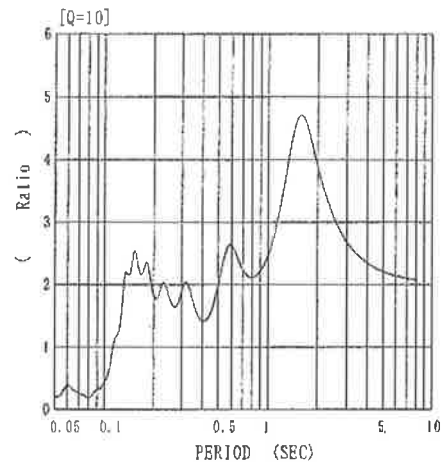


図5 地盤増幅度特性図

また、フーリエスペクトル図に見られる3～5秒付近のピークは、地盤増幅度特性には見られないことから、深い基盤構造の影響によるものと考えられる。

支持層としている沖積砂礫層下部の砂層は、「建築基礎構造設計指針(2001)」(日本建築学会)に準拠した簡易判定法によれば、レベル2相当の地震動に対して一部の層で液状化の可能性があるとして判定された。このため、液状化を考慮した地盤の応答解析及び原位置より採取したサンプルを用いた室内液状化実験を行い、レベル2地震動に対しても液状化の

可能性が無いことを確認した。

今回実施した液状化実験は、ハイブリッドオンライン実験と呼ばれるものである。本実験では、運動方程式を時間方向に逐次積分する際に、液状化が問題となる地盤の復元力特性を構成モデルによらずに直接要素試験から求めている。したがって、本手法では、有効応力解析が必要となる複雑かつ高度なパラメーター設定の必要がなく、地盤の応答変位や過剰間隙水圧の上昇課程、さらに残留変形量を直接評価可能である。(参考文献1)

#### 4. 構造計画

建物部分の骨組は、鉄筋コンクリート造のラーメン構造であり、東西方向のロングスパン部分についてプレストレスト鉄筋コンクリート造（Ⅲ種PC）としている。また地下階には鉄筋コンクリート造の耐震壁を設けている。鉄塔部分の骨組は、ブレース付ラーメン構造としている。柱脚部の応力を建物部分へ円滑に伝達させるため、柱鉄骨を建物内に2層分挿入している。

免震装置には地震時のエネルギーを吸収し、上部構造を原位置に復元させる鉛プラグ入り積層ゴム支承及び天然ゴム系積層ゴム支承計19基と、鉛直荷重を支持しながら移動し、また引抜き作用に対しては高い抵抗能力を有する十字型直動転がり支承14基を使用している。さらに減衰性能を向上させるため、外周部にオイルダンパー8基を配置している。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55cm、鉛直方向5cmのクリアランスを設けた。

基礎は沖積砂礫層を支持層とする直接基礎とした。地下階を設ける南側部分の基礎形式はマットスラブとし、地下階を設けない北側部分は、連続基礎の下部に深層混合固化工法による地盤改良を行い、沖積砂礫層に支持させた。

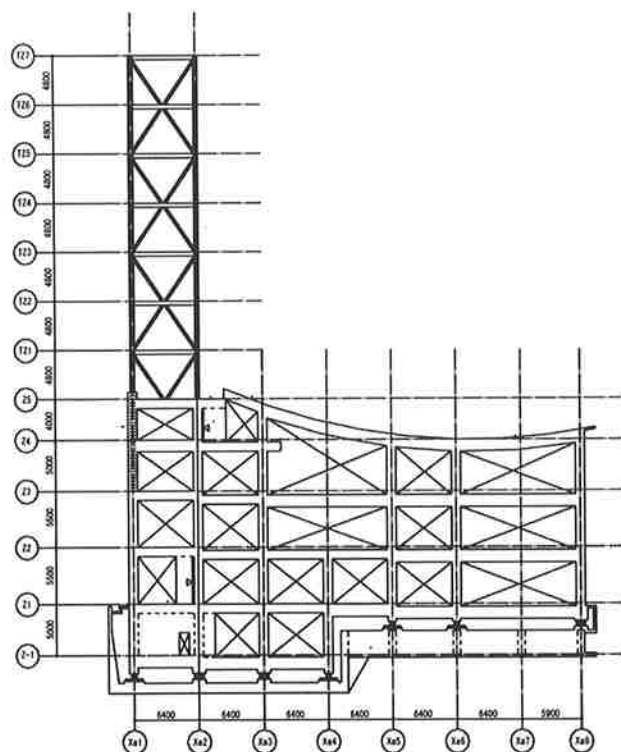


図6 軸組図

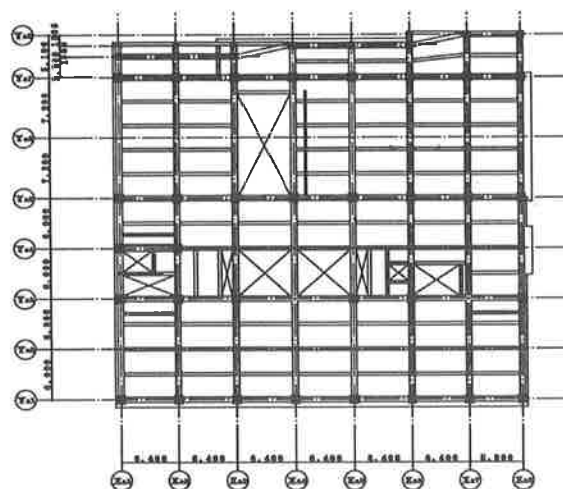
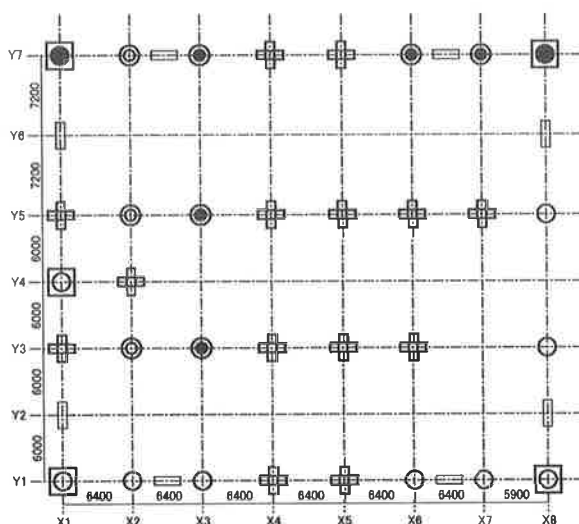


図7 基準階伏図



鉛プラグ入り積層ゴム支承					十字型直動転がり支承		
記号	径 (mm)	鉛径 (mm)	G (N/mm <sup>2</sup> )	基数	記号	タイプ	基数
	800φ	90	0.34	3		CLB500	8
	800φ	140	0.49	2		CLB780	6
積層ゴム支承				オイルダンパー			
記号	径 (mm)	G (N/mm <sup>2</sup> )	基数	記号	タイプ	基数	
	800φ	0.34	6		BM250-4A	8	
	900φ	0.34	3				
	900φ	0.49	5				

図8 免震装置配置図

#### 5. 地震応答解析

##### 5.1 設計用入力地震動

福島県とその周辺で発生した主な被害地震を考察すると、福島県に被害を及ぼす地震は、主に太平洋側沖合で発生する地震、及び陸域の浅い地震である。また、県内の主要な活断層は、沿岸部の双葉断層、阿武隈川が流れる低地の西側と奥羽山脈との境目に

ある福島盆地西縁断層帯、及び会津盆地の西側にある会津盆地西縁断層帯がある。いずれも活動度B級の逆断層である。

これらの歴史地震、活断層による本計画地での最大速度振幅を距離減衰式を用いた手法により想定し、以下のことを考察した。

- ・歴史地震から本計画地で想定される地表面レベルの最大速度振幅は再現期間500年に相当する値で10.8cm/s程度である。
- ・内陸活断層の中で、本計画地に最も影響の大きな活断層は「福島盆地西縁断層帯」であり、距離減衰式から想定される地表面レベルの最大速度振幅は52.8cm/s程度である。
- ・海洋型地震である「福島県沖地震」による本計画地で推定される地表面レベルの最大速度振幅は14.2cm/s程度であり、本計画地への影響は比較的小さい。

以上から、本建物の設計用入力地震動を次の点に留意して設定した。

- ②海洋型地震の影響は比較的小さいことから告示波及び既往の海洋型観測地震動で代用できると考える。
- ③既往の観測地震動を設計用入力地震動とする場合は、最大速度振幅を30cm/s（レベル1：稀に発生する地震動）、60cm/s（レベル2：極めて稀に発生する地震動）として基準化する。

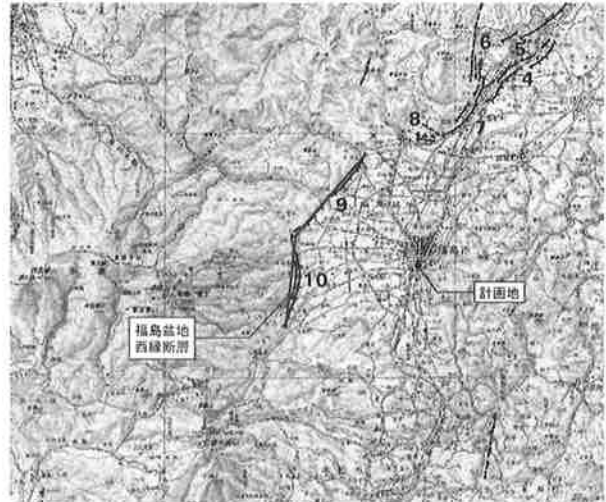


図9 福島盆地西縁断層帯位置図

表1 距離減衰式による速度期待値

発生日月	地震名	地震規模 M	震源距離 (km)	基盤速度 (cm/s)	地表面速度 (cm/s)
1661/9/27	会津	6.9	61.7	7.2	10.8
1964/6/16	新潟地震：新潟県沖	7.5	133.4	7.1	10.7
1731/10/7	岩代	6.5	31.2	6.3	9.4
1897/2/20	仙合沖	7.4	133.0	6.2	9.3
1936/11/3	金華山沖	7.5	153.1	5.7	8.6
1646/6/9	陸前・岩代・下野	6.6	43.0	5.7	8.6
1938/11/5	福島県東方沖	7.5	162.2	5.2	7.8

断層名	活動度	断層長さ (km)	地震規模 M	震源距離 (km)	震源深さ (km)	基盤速度 (cm/s)	地表面速度 (cm/s)
福島盆地西縁断層	B	20	7.0	12.2	10.9	35.2	52.8
双葉断層北部	B	20	7.0	38.3	10.9	14.4	21.6
会津盆地西縁南部断層帯	B	20	7.0	63.4	10.9	8.5	12.7
福島県沖	-	100	8.2	170.2	20.0	9.5	14.2

表2 設計用入力地震動

入力地震動名	レベル1 カテゴリ-C1相当				レベル2 カテゴリ-C2相当			
	Amax (cm/s <sup>2</sup> )	Vmax (cm/s)	Dmax (cm)	解析時間 (sec)	Amax (cm/s <sup>2</sup> )	Vmax (cm/s)	Dmax (cm)	解析時間 (sec)
EL CENTRO 1940 NS	306.9	30.0	9.7	40	613.8	60.0	19.4	40
TAFT 1952 EW	298.1	30.0	15.4	40	596.3	60.0	30.8	40
HACHINOHE 1968 NS	197.9	30.0	8.1	35	395.9	60.0	16.2	35
KOKUJI-1S(L2) (告示波)	-	-	-	-	201.1	50.1	33.7	120
KOKUJI-2S(L2) (告示波)	-	-	-	-	191.2	53.3	46.9	120
KOKUJI-3S(L2) (告示波)	-	-	-	-	200.2	51.0	37.3	120
FUKUSHIMA-NS (サイト波)	-	-	-	-	93.2	29.3	25.1	60
FUKUSHIMA-EW (サイト波)	-	-	-	-	135.0	56.6	28.9	60

- ①本建物に最も影響の大きな活断層である「福島盆地西縁断層帯」を起震断層とする模擬地震動を設計用入力地震動とする。

福島盆地西縁断層帯（図9）を起震断層とする模擬地震動は、震源特性、震源から敷地までの波動の伝播経路特性、敷地の表層地盤特性を考慮するため、Kawano, Dohi, and Matsuda (1996)（参考文献2）による、波動伝播理論に基づいた理論地震動評価法を用いて作成した。本手法では、地盤モデルを3次元平行層地盤に置換し、矩形断層面を格子状に分割して、各要素震源から敷地までのグリーン関数と震源関数のコンボリューションの総和により地震動モデルを作成している。（図10）

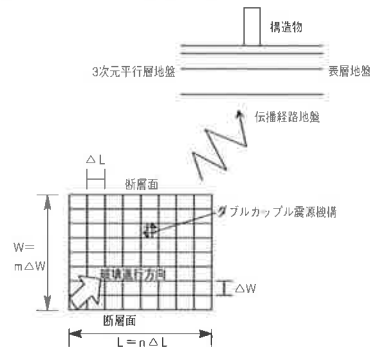


図10 地震動モデル

また、敷地の地盤定数は、地表から130mまではボーリングによる地盤調査結果を用い、GL-130m以深は本敷地で実施したアレー観測結果などを参考に設定した。（表3）

表3 敷地地盤定数

深度 GL- (m)	P波速度 Vp(m/s)	S波速度 Vs(m/s)	湿潤密度 ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ヤング率 Ed(kN/m <sup>2</sup> )	剛性率 Gd(kN/m <sup>2</sup> )
0.0 ~ 130.0	図3による				
130.0 ~ 150.0	2067	700	1.9	2672400	931000
150.0 ~ 350.0	2178	800	2.0	3640400	1280000
350.0 ~ 750.0	2511	1100	2.1	7019600	2541000
750.0 ~ 1050.0	2900	1450	2.2	12334700	4625500
1050.0 ~	5196	3000	2.6	58499000	23400000

このようにして作成した模擬地震動の加速度応答スペクトルを図11に示す。常時微動測定から得られた微動のピークに概ね一致した周期に勢力のある地震動となっており、伝播経路及び表層地盤の特性を反映した地震動となっていると考えられる。

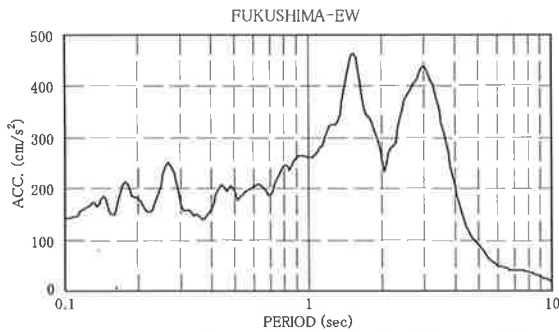


図11 加速度応答スペクトル (FUKUSIMA-EW)

5.2 耐震性能目標

各入力地震動レベルに対する耐震設計目標を表4に示す。

表4 耐震設計目標

入力地震動レベル	レベル1	レベル2
上部構造 (建物・鉄塔)	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期許容応力度以内</li> <li>建物最上階床応答加速度 ≤200cm/s<sup>2</sup>以下</li> <li>層間変形角 1/200 以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>短期許容応力度以内</li> <li>建物最上階床応答加速度 ≤200cm/s<sup>2</sup>以下</li> <li>層間変形角 1/200 以下</li> </ul>
免震装置	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉛プラグ入り積層ゴム支承</li> <li>許容変形量(50cm)以下</li> <li>有害な引張力を生じさせない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安定変形量(50cm)以下</li> <li>許容変形量(50cm)以下</li> <li>有害な引張力を生じさせない</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>十字型直動転がり支承</li> <li>許容変形量55cm以下</li> <li>圧縮力は静定格圧縮強度の2倍以下</li> <li>引張力は静定格引張強度の2倍以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>許容変形量55cm以下</li> <li>圧縮力は静定格圧縮強度の2倍以下</li> <li>引張力は静定格引張強度の2倍以下</li> </ul>
オイルダンパー	限界速度(1.5m/s)以下	限界速度(1.5m/s)以下
基礎構造	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内

5.3 解析モデル

設計用振動解析モデルは、免震層下部を固定とし、建物部分を6質点等価せん断型モデルとし、鉄塔部分を7質点等価曲げせん断型モデルとした。上部構造体の等価せん断剛性及び等価曲げせん断剛性は立体フレームモデルによる弾性応力解析より求め、免震層部は装置の復元力特性を各装置特性から求めた。

免震層上部構造体の減衰は粘性減衰とし、建物部分は建物の構造体だけの1次固有周期に対して減衰定数3%、鉄塔部分は鉄塔のみの1次固有周期に対して1%とする剛性比例型減衰とした。免震装置部分は、内部粘性減衰はないものとして減衰定数を0%とした。

免震装置上部の建物及び鉄塔の復元力特性は弾性とし、鉛プラグ入り積層ゴム支承の復元力特性は、歪依存性を考慮した歪依存型修正Tri-Linearモデル、十字型直動転がり支承は完全弾塑性Bi-Linearモデルとした。

5.4 建物の振動特性

設計用振動解析モデルによる、本建物の免震層より上部構造体の固有周期を表5に示す。

鉄塔を含めた上部構造体のみの1次固有周期は、X方向0.646秒、Y方向0.706であり、免震構造用骨組として十分な水平剛性を確保している。

表5 本建物の固有周期 (上部構造)

		X方向			Y方向		
		1次	2次	3次	1次	2次	3次
建物+鉄塔	周期	0.646	0.558	0.255	0.706	0.601	0.269
	刺激係数	6.742	-6.072	-0.613	6.177	-5.497	-0.643
建物のみ	周期	0.576	0.206	0.119	0.606	0.188	0.109
	刺激係数	1.383	-0.498	0.135	1.372	-0.597	0.109
鉄塔のみ	周期	0.513	0.120	0.060	0.545	0.127	0.063
	刺激係数	1.342	-0.466	0.189	1.342	-0.467	0.190

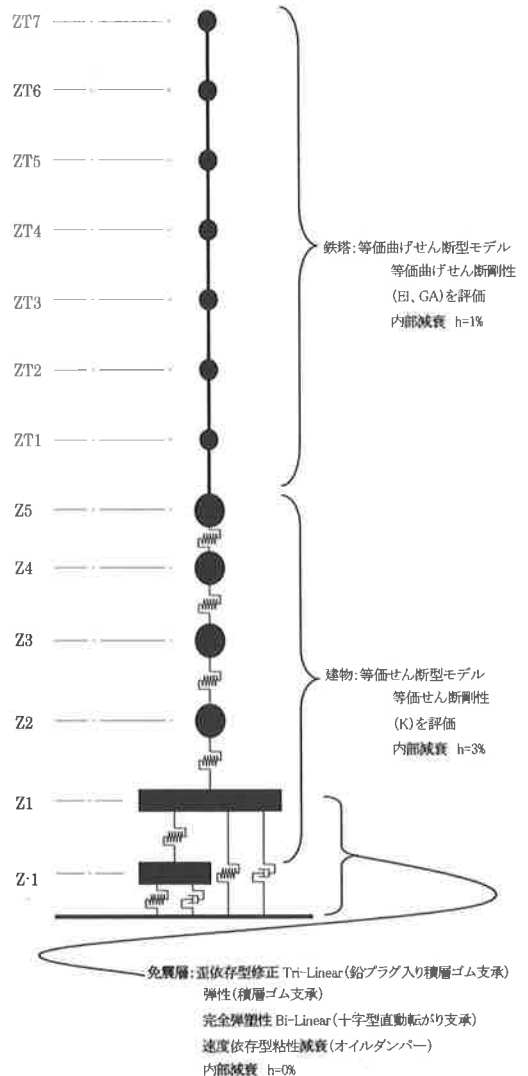


図12 振動解析モデル

5.5 地震応答解析結果

地震応答解析結果、免震材料の性能変動も考慮した場合も含めて、耐震目標を達成していることを確認した。地震応答解析結果の1例を図13に示す。

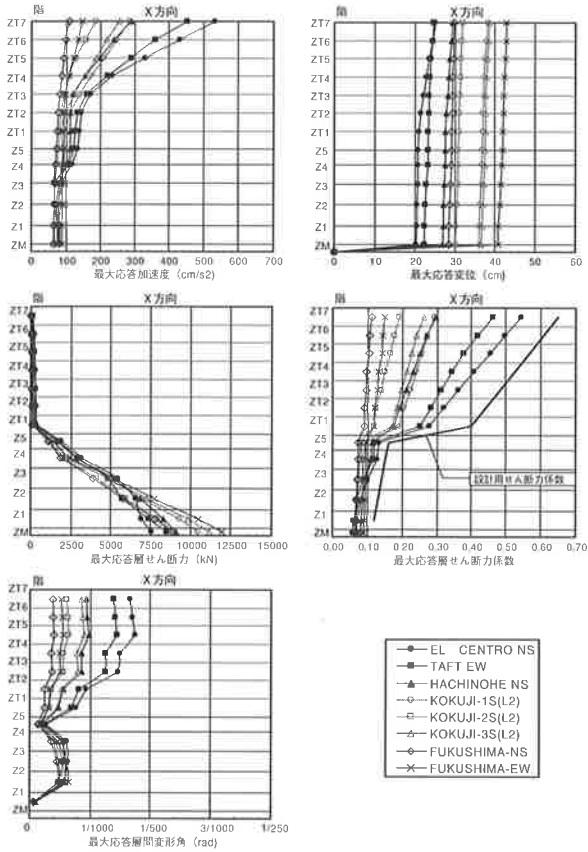


図13 地震応答解析結果 (X方向レベル2)

5.6 立体骨組モデルによる地震応答解析結果

本建物では、免震層の偏心率が2%以下となるように免震装置を配置し、ねじれ振動を極力発生させない設計としている。しかし、本建物では、鉄塔が平面的に偏在した位置に搭載されていること、部分地下のため免震層のレベルがフラットでないこと等、ねじれ振動上留意すべき条件も有している。このため、立体骨組モデル (図14) による地震応答解析を行い、ねじれ振動に対する安全性の検証を行った。

質点系振動解析モデルでの応答が最も大きかった「FUKUSHIMA-EW」を入力地震動として、立体骨組モデルによる地震応答解析を行った。入力方向はねじれ振動に対して不利なY方向とし、ねじれ振動が励起されているかどうかを確認するため、建物隅部の応答変位時刻歴を確認した。

図15にZ1レベルの建物重心位置と隅角部A、B点の応答変位時刻歴を、図16に鉄塔部の隅角部C、D点の応答変位時刻歴を示す。各点の応答変位は、概

ね一致していることから建物にねじれ振動が発生していないことを確認した。

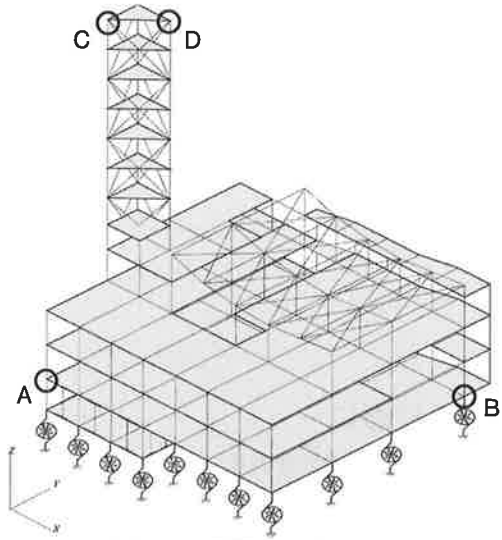


図14 立体骨組モデル

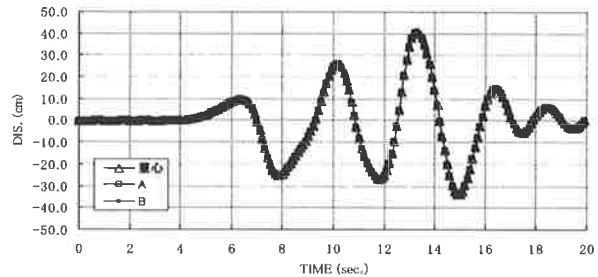


図15 変位応答時刻歴 (免震層)

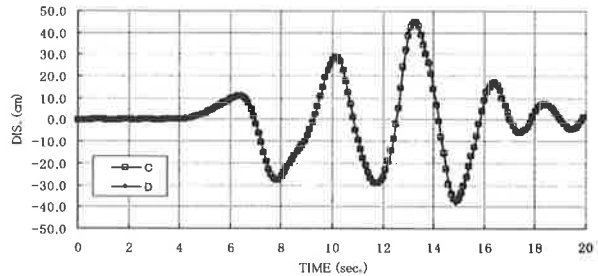


図16 変位応答時刻歴 (鉄塔頂部)

6. おわりに

免震構造の採用により、大地震時における公共放送施設としての信頼性・安全性を確保できる高い耐震安全性を達成することができた。

最後に、本建物の設計にあたり多大なご指導・ご協力を頂きました日本放送協会の皆様をはじめ関係者の皆様方に厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 齊藤他：工学的基盤が深い敷地に建つ免震建物の設計 (その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 2003
- 2) Dohi H., M.Kawano and S.Matsuda: Response Spectra of Ground Motion above Earthquake Fault, Proc. Of 11th W.C.E.E., Paper No.1772., 1996