

NTT DoCoMo 徳島ビル (仮称)

株式会社エヌ・ティ・ティ ファシリティーズ

中野 時衛



同
齊藤 賢二



同
三好 孝則



同
倉橋 延雄



1. はじめに

この建物は、「高品質で高信頼性のモバイルネットワーク拠点の構築」のため計画されたものである。設計にあたっては、信頼性・安全性の確保が基本要件の一つに上げられ、大地震時においても建物の損傷を最小限に抑え継続使用可能とする耐震性能が求められた。一方、本計画敷地の近傍には、日本有数の巨大活断層である中央構造線も存在する。この様な本計画敷地の地震環境を前提に、要求された耐震安全性能を合理的に達成するため免震構造が、採用された。

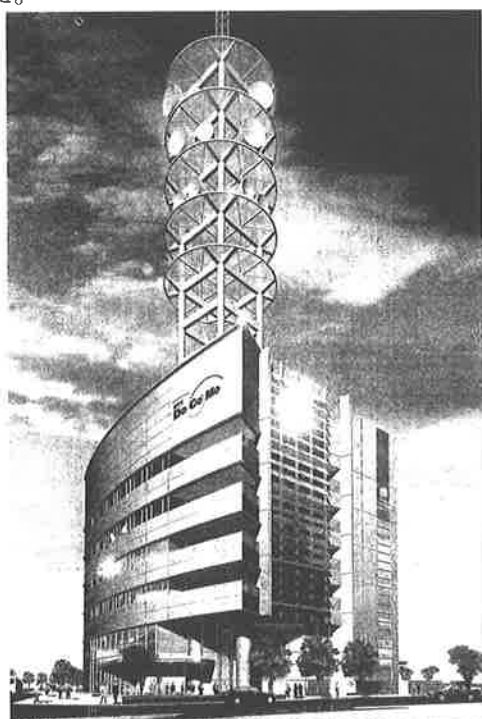


図1 建物外観

施主：株式会社 NTTドコモ四国

建設地：徳島県徳島市北常三島町1丁目6番地2号他

一般設計：(株)NTTファシリティーズ

構造設計：(株)NTTファシリティーズ

協力 (株)ダイナミックデザイン

施工者：(株)大林組

本稿では、主に物件の構造設計上の主要なテーマであった、「液状化地盤対策」および「球体転がり支承の実用化」の2点を中心に述べる。

2. 敷地地盤概要

本敷地は、中央構造線に沿う裂谷を埋設して発達した吉野川平野の内、南岸部に広がる砂質三角州性低

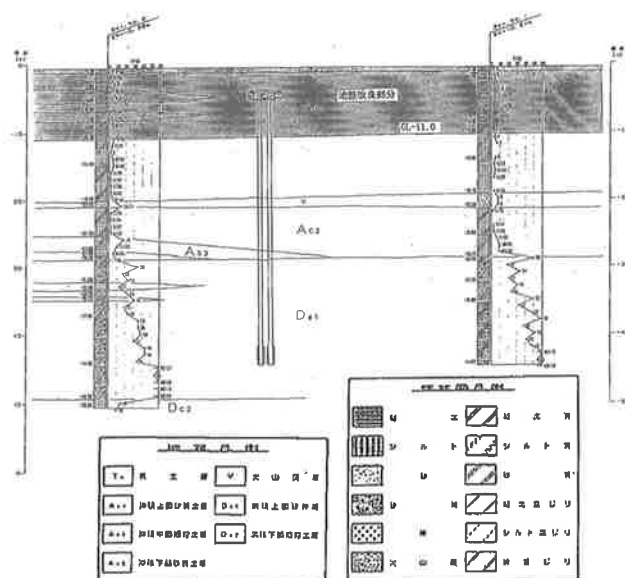


図2 土質想定断面図

地の一部にあり、JR 四国徳島駅の北東約1.1 kmに位置している。

地盤構造を大局的に捉えれば、吉野川南岸四国山地を構成する三波川変成帯の結晶岩を基盤岩としており、その上位に吉野川・鮎喰川等の河川の流積作用と海成作用によって形成された洪積世・沖積世の未固結粘土が堆積している。沖積層は徳島層、洪積層は北島層と呼ばれ、本敷地ではGL-28m付近までが沖積層、それ以深に層厚約20mの洪積上部砂礫層が存在する。洪積上部砂礫層の内、GL44m付近でN値 ≥ 60 に地層硬さが急変している。図2に、本敷地の土質断面想定図を示す。

3. 地震活動度

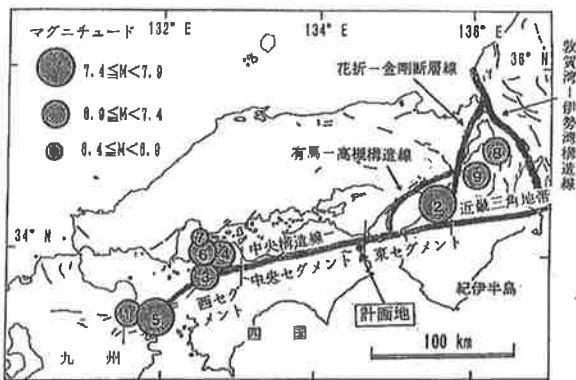


図3 中央構造線沿いの歴史(1500~)地震



図4 本設計で想定した震源断層モデル

本敷地の北方約8kmに中央構造線が存在する。中央構造線は、第四紀に右横ずれ運動をしているA級活断層であり、東・中央・西の3セグメントに区分される。このうち中央セグメントの平均変位速度は、両側のセグメントよりも大きく5~9m/千年とされている。図3は西暦1500年以降に中央構造線沿いで発生した $M \geq 6.4$ の歴史地震を示している。金折は、中央セグメントは走向が一定で滑らかであるため、比較的スムーズに動くことが予想されるとしているが、トレンチ調査の結果では中央セグメントも活動していることが確認されている。従って、東・中央セグメントを地震の空白域であるとみなすべきであろう。

上記の中央構造線に対する解釈と「徳島県地震防災アセスメント調査結果報告書」(H9.3)も参考にしながら、本設計では以下の3種類6震源の地震を想定した。

①中央構造線に起因する地震：

- ・中央構造線四国断層帯(L=159km M8.5 中央セグメント全体の活動を想定したもの)
- ・中央構造線淡路島南縁断層帯(L=46km M7.6)

②計画地近傍に存在するその他の内陸活断層に起因する地震：

- ・鮎喰川断層(L=30km M7.3)
- ・長尾断層(L=26km M7.2)
- ・江畑断層(L=23km M7.1)

③南海トラフの海溝型地震：

- ・安政南海地震と同規模を想定(L=300km M8.4)

図4に、本設計で想定した震源断層を示す。

模擬地震動の作成方法は、翠川・小林の方法により地震基盤での速度スペクトルを求め、深部地盤構造の増幅特性を考慮して工学基盤での速度応答スペクトルに変換し、その目標スペクトルと包絡関数に適合する模擬地震動を作成した。

4. 構造概要

本建物は、短辺方向18m、長辺方向34.5mの長方形の一部を切り取った五角形の平面の地上6階建て、延べ床面積約4,800m²の事務所兼通信施設用ビルであ

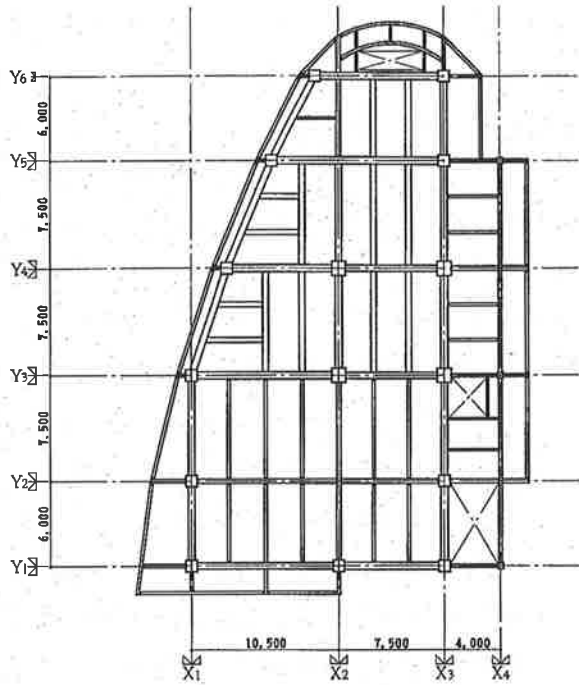


図5 基準階伏図

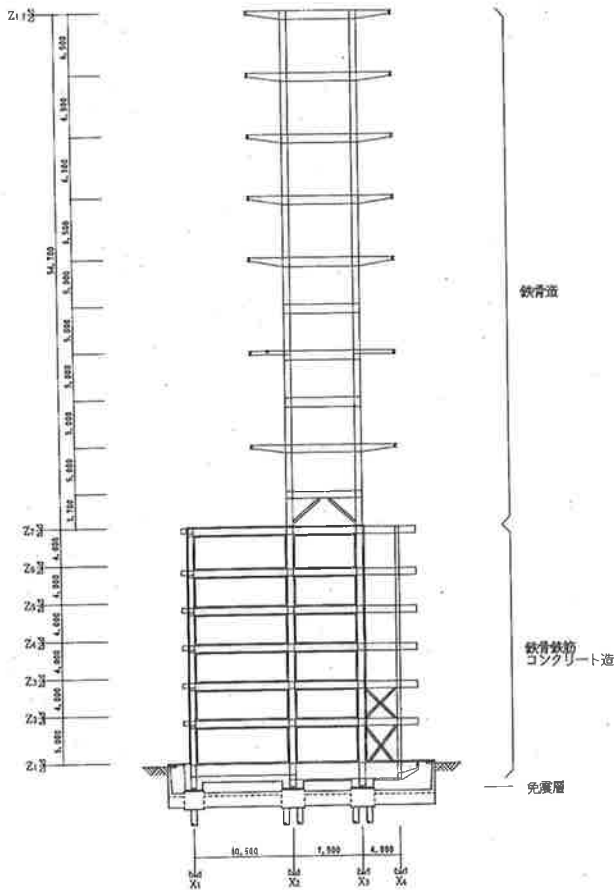


図6 軸組図

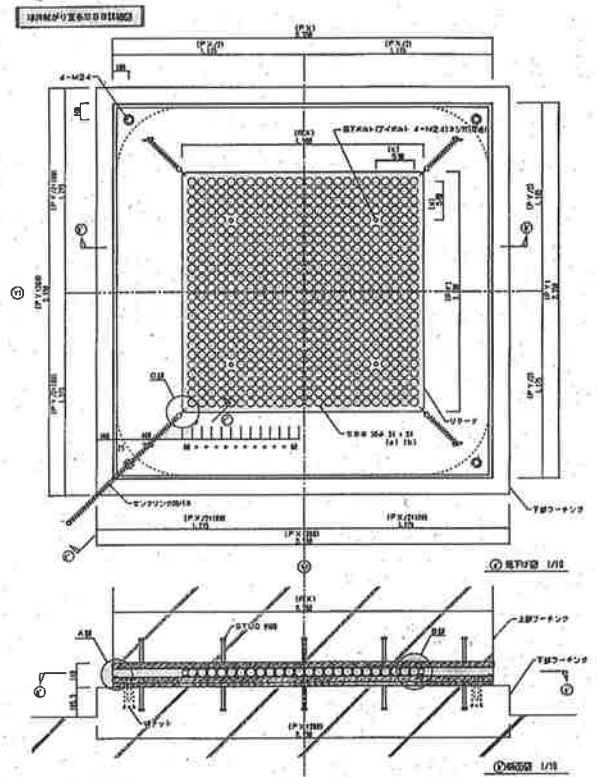


図7 SBB詳細図

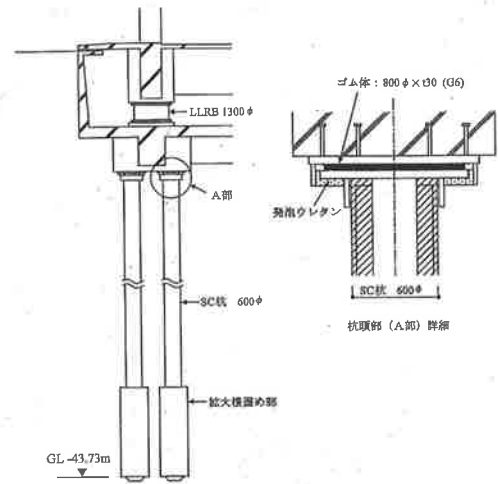


図8 基礎断面詳細図

り、屋上には高さ55mの大型通信用鉄塔を搭載している。免震装置は1階床下の地下ピットに配置されている。図5に基準階伏図を、図6に軸組図をそれぞれ示す。

上部構造体は、鉄骨鉄筋コンクリート造の鉄骨ブレース付きラーメン構造としている。ただし、ロングスパン梁及び片持ち構造となるコア部分は鉄骨造としている。

免震システムは、各柱下に球体転がり支承（S B

B : Steel Ball Bearing) および鉛プラグ入り積層ゴム支承 (LRB) を設置したハイブリッド免震システムを採用している。図7にSBBの詳細図を示す。

基礎は既製杭 (S C 杭) を用いた杭基礎を採用し、GL43.0mのN値50以上の砂礫層にプレボーリング拡大根固め工法により支持させている。また、杭頭部には杭頭回転自由接合法を採用し、杭応力の緩和を図っている。図8に基礎断面詳細図を示す。杭頭回転自由接合法の採用により杭体全体の水平剛性が低下し、側方流動に伴う杭基礎の変形が懸念された。しかし、地形条件および過去の地震被害調査報告等から、側方流動の発生の可能性はないものと判断した。地震時に液状化のおそれがあるGL-11mまでの砂質地盤については地盤改良を行い、液状化の発生を防止している。

5. 構造設計方針

本建物の構造設計上主要な課題は下記の3点であった。

- ①建物に対して大きな鉄塔を屋上に搭載している
- ②A級活断層である中央構造線の直近に位置する
- ③敷地は軟弱地盤で液状化の可能性がある

これらの課題に対して、特に以下の点に留意した設計を行った。

(1) 地盤改良

地盤改良は、実績も多く改良効果も確認しやすいサンドコンパクションパイル工法 (S C P 工法) を採用することとした。S C P 工法は振動エネルギーを利用した締固めによる振動式が一般的であるが、本敷地は市街地に位置しており隣接建物に近接した施工が必要となることから、振動・騒音など施工環境に配慮した静的締固め砂杭工法を採用した。

地盤改良の目標は、レベル2地震動に対しても上部構造・免震装置・基礎構造とも軽微な損傷に抑えるという耐震性能目標を実現するために、レベル2地震動に対しても液状化の発生を完全に防止する (FL \geq 1.0) こととした。

(2) 転がり支承の採用

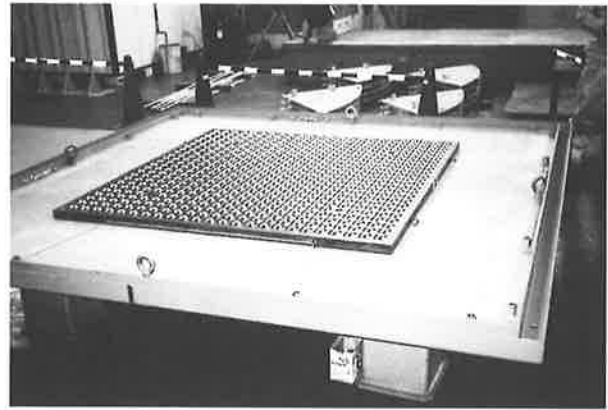


写真1 SBB免震支承

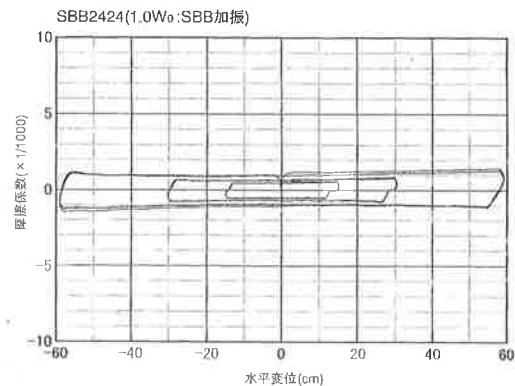


図9 水平変位と摩擦係数の関係

大型通信用鉄塔を搭載する建物を、M8クラスの直下型地震から無損傷で守るためには建物に加わる地震力を大幅に低減させる必要があった。そのため、球体転がり支承 (以下SBBと呼ぶ) と大型の鉛プラグ入り積層ゴム支承を併用したハイブリッド免震システムを採用し、免震周期6.4秒という長周期化と免震装置の許容変形量85cmという変形能力を達成している。SBBは建物の荷重を支持しながら、水平方向には実用上摩擦抵抗力を無視し得る免震支承であり、免震建物の長周期化には大変有効な装置である。

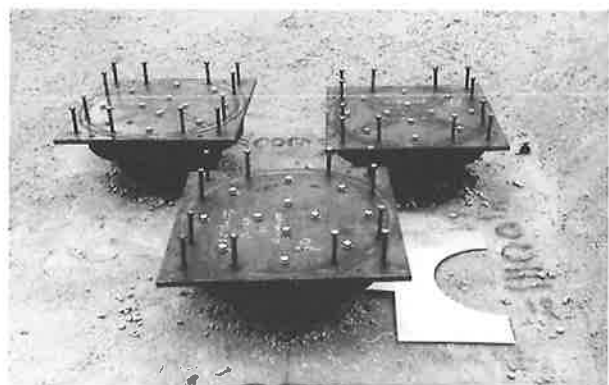


写真2 杭頭自由接合装置

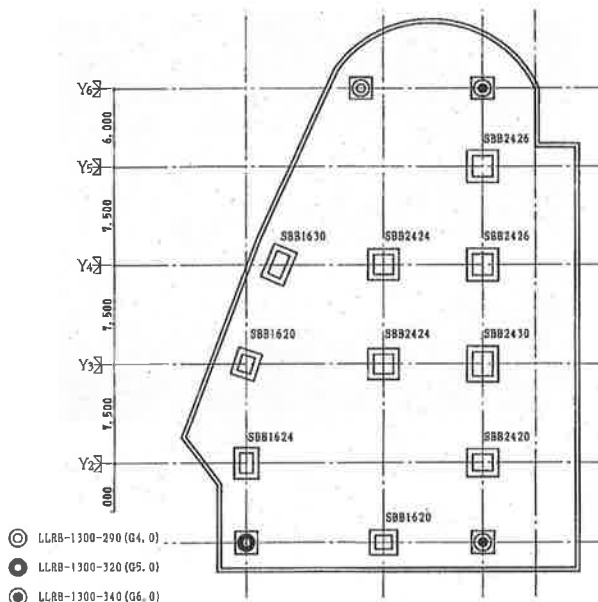


図10 免震装置配置図

表1 解析モデル諸元

上部構造体のばね定数・重量慣性モーメント

床位置	各階重量 (t)	累積重量 (t)	重量慣性モーメント (t・cm ²)	せん断剛性 G A (t)		
				X方向	Y方向	
R	61.0	61.0	1.716 × 10 ⁷	10,583	4.83 × 10 ⁴	
16	59.5	120.5	1.673 × 10 ⁷	26,331	5.36 × 10 ⁴	
15	62.0	182.5	1.742 × 10 ⁷	30,821	6.25 × 10 ⁴	
14	65.0	247.5	1.827 × 10 ⁷	35,455	6.29 × 10 ⁴	
13	63.6	311.0	1.787 × 10 ⁷	50,849	7.02 × 10 ⁴	
12	28.3	339.3	7.963 × 10 ⁶	52,493	7.01 × 10 ⁴	
11	37.2	376.6	1.047 × 10 ⁷	55,446	7.96 × 10 ⁴	
10	30.0	406.6	8.426 × 10 ⁶	67,035	7.99 × 10 ⁴	
9	75.9	482.4	2.135 × 10 ⁷	80,410	1.01 × 10 ⁵	
8	31.2	513.6	2.040 × 10 ⁷	197,654	2.32 × 10 ⁵	
床	各階重量	累積重量	重量慣性モーメント	せん断剛性 (t/cm)		
建物部分	RF	1,376.4	1,890.0	2.647 × 10 ⁶	940.9	1,163.1
	6F	954.8	2,844.8	1.693 × 10 ⁶	1,108.4	1,348.5
	5F	944.1	3,788.9	1.582 × 10 ⁶	1,232.7	1,538.3
	4F	966.6	4,745.5	1.601 × 10 ⁶	1,367.3	1,893.7
	3F	982.7	5,728.3	1.641 × 10 ⁶	1,483.9	2,031.2
	2F	923.6	6,652.0	1.434 × 10 ⁶	1,512.9	1,947.1
	1F	1,798.0	8,450.0	4.771 × 10 ⁶		
					免震層	免震層

写真1に本物件で採用したSBBを、また図9にSBBの性能試験結果の一例を示す。

(3) 杭の設計

本敷地は軟弱地盤のため、杭は建物からの慣性力に加え地盤から大きな強制変形を受ける。そのため、杭材としては靱性に富む外殻鋼管コンクリート杭(S/C杭)を採用した。さらに、杭頭の応力集中を緩和して杭の耐震安全性を高めるため、杭頭自由接合工法も採用している。杭頭自由接合工法とは、単層

表2 工学的基盤における入力地震動の設定値

入力地震動	レベル1 (C2相当)			レベル2 (C3相当)			備考
	Amax	Vmax	Dmax	Amax	Vmax	Dmax	
EL CENTRO NS (1940)	306	30	10	766	75	24	
TAFI EW (1952)	298	30	16	745	75	39	
HACHINOHE NS* (1968)	234	30	15	686	75	38	*
HACHINOHE EW* (1968)	143	30	16	357	75	39	*
BCJ L1 (センター波)	207	29	20				
BCJ L2 (センター波)				366	57	46	
AKUIGAWA -AW (横揺波)	324	28	9				
NANKAI -AW (横揺波)	148	28	15				
MTL-SIKOKU-AW (横揺波)				491	77	39	
MTL-AWAJI -AW (横揺波)				684	66	25	

(*) : HACHINOHE-NS*, EW* は、基盤波に引き戻した地震動を採用している

表3 設計用入力地震動の最大加速度と最大速度

入力地震動	レベル1 (C2相当)			レベル2 (C3相当)			備考
	Amax	Vmax	Dmax	Amax	Vmax	Dmax	
EL CENTRO NS-S (1940)	467	48	11	830	130	31	*
TAFI EW-S (1952)	392	52	16	868	131	42	*
HACHINOHE NS-S (1968)	347	45	20	782	106	51	*
HACHINOHE EW-S (1968)	281	50	17	654	129	47	*
BCJ L1-S (センター波)	295	43	26				*
BCJ L2-S (センター波)				496	97	57	*
AKUIGAWA -AW-S (横揺)	291	45	12				* 2
NANKAI -AW-S (横揺)	165	44	18				* 3
MTL-SIKOKU-AW-S (横揺)				433	123	64	* 4
MTL-AWAJI -AW-S (横揺)				606	98	38	* 5

(*) : 伝播解析より得られた免震装置下端位置 (GL-3.2m) のサイト波

(*1) : 鮎川断層による模擬地震動

(*2) : 安政南海地震を想定した模擬地震動

(*3) : 中央構造線 (Median Tectonic Line) 四国断層帯による模擬地震動

(*4) : 中央構造線 (Median Tectonic Line) 淡路島南線断層帯による模擬地震動

ゴム体を内蔵した接合装置を杭頭部に装着することにより、杭頭部と基礎フーチングを回転ばね接合する工法である。杭頭自由接合装置を写真2に示す。

(4) 免震装置の配置

本建物では、建物重量8,450tを有効直径1300φのLRB4体とSBB10体に支持させている。装置の配置図を図10に示す。全装置同一の大型積層ゴム支承に統一して許容変形量は85cm、免震装置変形用クリアランスは90cmとしている。LRBは建物の四隅に配置することによりねじれ抵抗を増大させるとともに、建物重心と装置剛心をほぼ完全に一致させることにより、ねじれ振動の誘発されにくい配置計画としている。

6. 地震応答解析

(1) 解析モデル

解析モデルは、免震装置下部を固定(入力位置)とし、タワー部分を1節1質点の10質点等価曲げせん断型モデル、建物部分を1層1質点の7質点等価せん断型

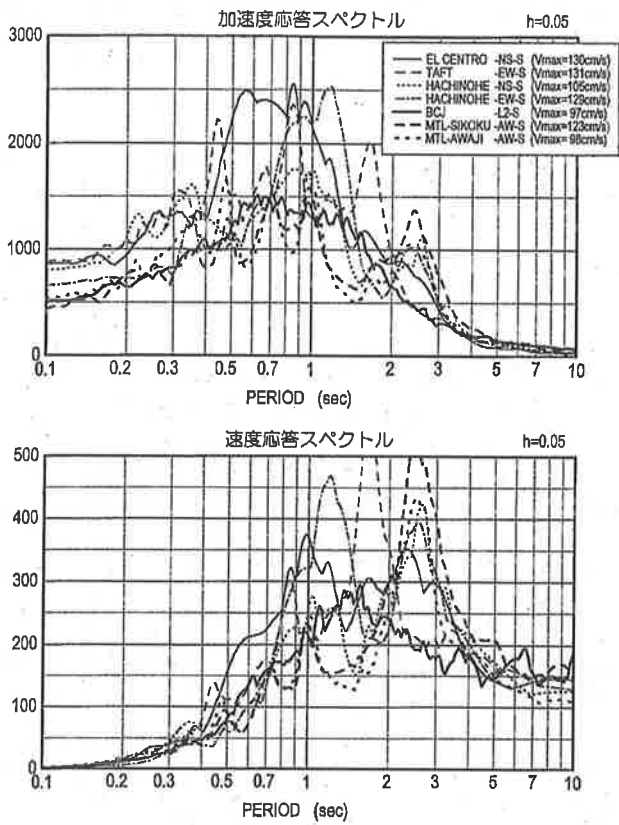


図11 応答スペクトル (h = 5%)

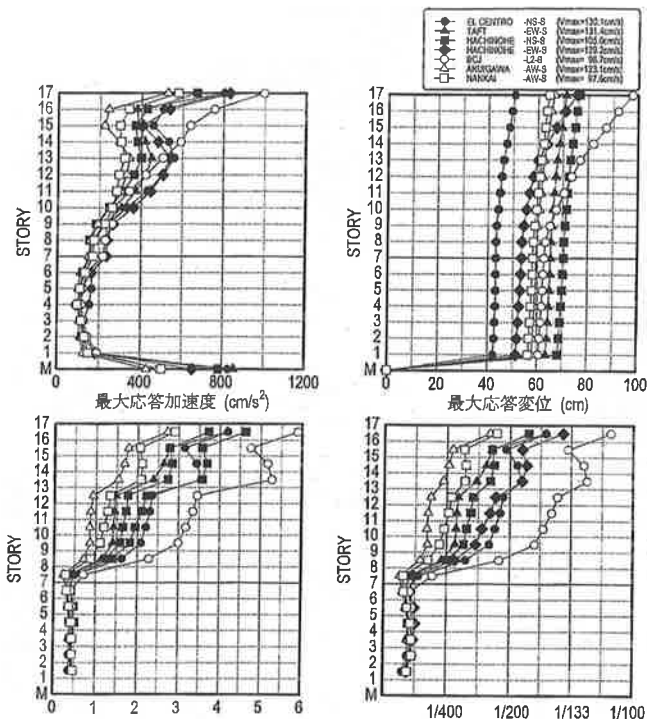


図12 X方向地震応答解析結果【レベル2】

建物連成系解析モデル
モデル(修正ベンゼンモデル)

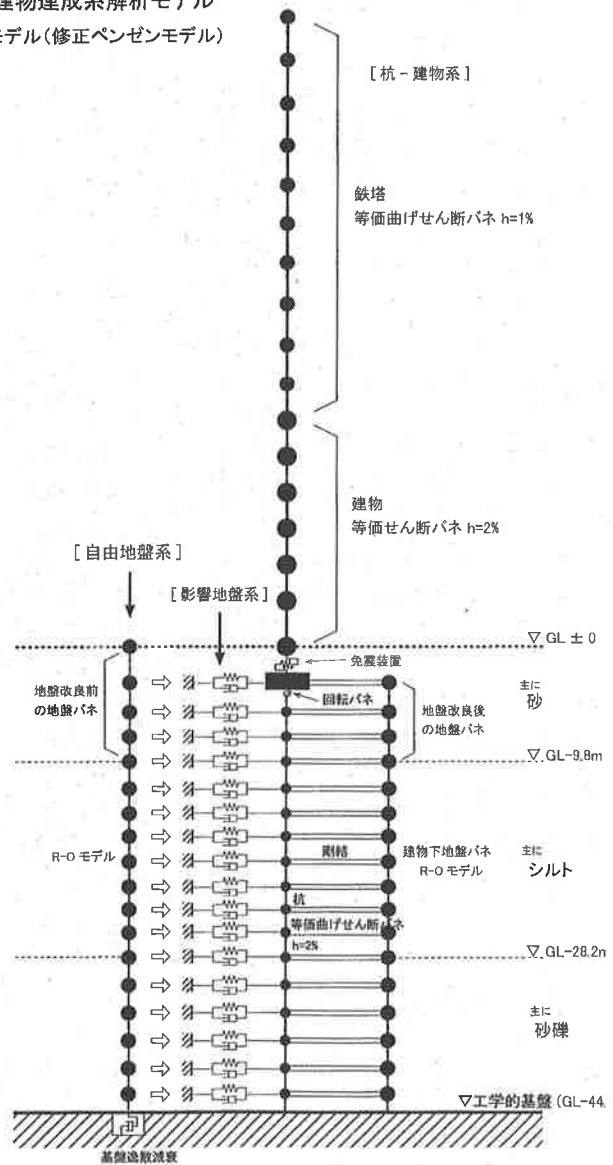


図13 連成系地震応答解析モデル

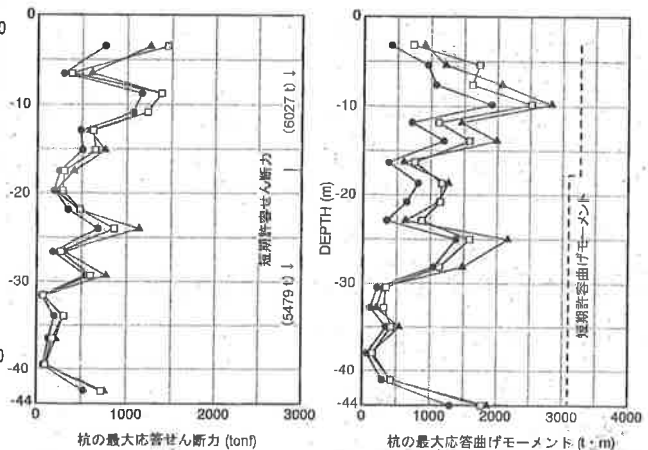


図14 杭の最大応答せん断力・最大応答曲げモーメント

モデルとした。表1にその諸元を示す。上部構造体の復元力特性は弾性としている。鉛プラグ入り積層ゴム支承の水平方向復元力特性は、鉛とゴムの非線形特性を考慮した「改良型履歴ループ」とし、SBBは剛塑性型としている。また減衰は、鉄塔部分 $h=1\%$ 、建物部分 $h=2\%$ の剛性比例型としている。

(2) 設計用入力地震動

入力地震動は、GL-44mの工学的基盤 ($V_s=410\text{m/s}$)位置で作成した模擬地震動および既往の著名な地震動記録について、本計画地でのそれ以浅の地層の非線形特性を考慮した地震動の伝播解析によって本建物への入力地震動を決定している。なお、既往の地震動記録の工学的基盤におけるレベル1およびレベル2相当の大きさは、模擬地震動の検討結果を踏まえてそれぞれ $V_{\max}=30$ および 75cm/s とした。また、BCJ波については原波のままの大きさとしている。表2に工学的基盤における入力地震動の設定値を、表3には伝播解析により得られた免震層下端位置(GL-3.2m)での設計用入力地震動の最大加速度と最大速度を示す。また、図11には、設計用入力地震動の応答スペクトルを示す。

(3) 応答解析結果

図12に本建物の地震応答解析結果の一例を示す。100cm/sを上回る設計用地震動に対しても建物各階の最大応答加速度は 200cm/s^2 以下に抑制されている。また、鉄塔の応答せん断力も耐震構造の場合と比較して1/5以下と大きく抑制されている。仮に建物を耐震構造で設計した場合、建物と鉄塔の固有周期が接近するため共振ゾーンに入り、鉄塔の地震荷重が極端に大きくなり、場合によっては鉄塔の設計が不可能になってしまう。建物を免震構造とすることで、搭載される鉄塔も大幅なコストダウンを図ることが可能となるとともに耐震安全性も大幅に向上させることができた。

基本振動解析モデルによる検討に加え、地盤～杭～建物連成系の地震応答解析によっても本建物の耐震安全性能、特に杭基礎の耐震安全性について検討確認を行っている。図13に連成系地震応答解析モデ

ルを図14に応答解析により求められた杭の最大応答せん断力・最大応答曲げモーメントを示す。杭体の応力は、杭頭から地中部にかけて一様に緩和されており杭頭自由接合法の有効性が確認できた。

7. おわりに

ここで紹介した建物は、「大型鉄塔の搭載」、「A級活断層の存在」、「液状化地盤」といった、設計上大変困難な課題があった。これらの課題に対して、「球体転がり支承」、「杭頭回転自由接合法」、「静的締め固め砂杭工法」といった、最新の技術を積極的に採用することにより、M8クラスの直下型地震動に対しても無損傷という高い耐震性能を合理的・経済的に達成している。

本建物は、平成11年9月に着工し現在順調に工事が進んでおり、平成12年11月完成予定である。