

M. M. TOWERS

三菱地所設計
嶋田 隆



同
草次省五



同
木村正人



同
岡田徹夫



1. はじめに

「M. M. TOWERS」は横浜市のみなとみらい (MM21) 地区に建設される総戸数約860戸の集合住宅である。住宅棟は地上30階建て3棟からなり、各棟に免震構造が採用された。21世紀に向けた次世代型マンションを開発するため、基本構想時点から、快適性・耐久性・安全性・社会性という4テーマを基本コンセプトに掲げ、各テーマに最新の技術を導入している。免震構造は安全性の中の耐震性や耐久性に大きく関係するばかりでなく、居住空間の快適性やスケルトンインフィルを実現するために大きく貢献している。図-1は完成予想図である。



図-1 完成予想図

2. 建物概要

MM21地区には計画人口1万人の住宅の建設が予定されているが、「M. M. TOWERS」は、ここに建設される超高層マンションの第1号である。建物の特徴は免震構造を採用している他に、以下の点が特筆される。

- ・コアに壁ラーメン架構を配置することにより、住戸内に柱・梁型が現れず、広い開口部を実現した。
- ・高強度コンクリートの使用とプレキャスト部材の採用等により、構造躯体の耐久性を向上させた。
- ・間取りや設備の更新を容易にするため、排水縦管 (PS) などを共用廊下側に集約した。
- ・MM21地区の地域冷暖房を導入し、換気効率の高い24時間熱交換式換気システムを採用した。

図-2に全体構造概念図を示す。

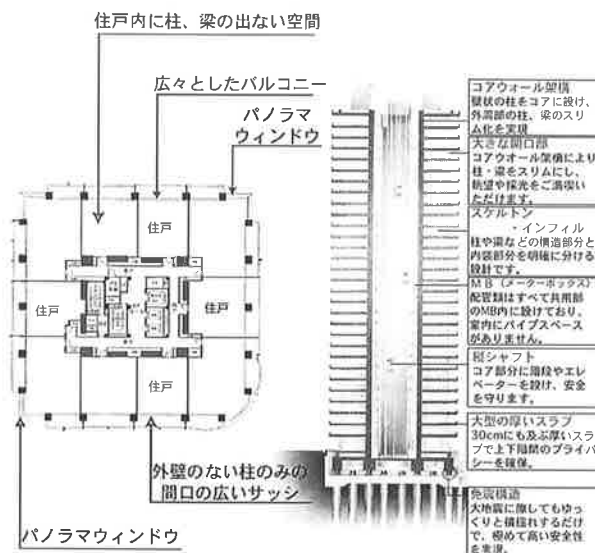


図-2 全体構造概念図

建築主：三菱地所株式会社、前田建設工業株式会社
 設計：株式会社三菱地所設計
 設計協力：前田建設工業株式会社
 施工：前田建設工業株式会社、大成建設株式会社
 延べ面積：115,935.6㎡
 階数：地上30階 地下1階 塔屋2階
 軒高：99.8m

3. 構造計画概要

基準階の平面形状は、コアまわりに幅85cm、せい300cmの壁柱などからなる壁式ラーメン架構(コアウォール)と、外周部は7.0m及び7.5mスパンのラーメン架構を配置したX、Y両方向に対称形である。外周架構とコアの間はY方向の一部に梁はかかっているが、スパン約9.0mの小梁のない大型スラブによって連結されている。なお、コア内は鉄骨造である。(図-3、4) 基準階の階高は、3.25及び3.20mである。建物の塔状比は、約 3.0である。

構造種別は高強度材料による鉄筋コンクリート造(一部鉄骨造)である。使用材料は、コンクリートについては、Fc30~60(N/mm²)を使用し、鉄筋については、柱・梁主筋にSD490とSD390、柱せん断補強筋にSD390、梁せん断補強筋にSD685及びSD390の溶接閉鎖型を使用している。(図-5)

1階床梁下に免震層を設け、柱下(コーナー部は2本の柱の中間)に積層ゴムによる免震装置を、梁下に鉛ダンパーと鋼棒ダンパーを配置している。積層ゴムは径がφ1500(コーナー部はφ1300)で、天然ゴム系のものを採用している。鉛ダンパーはφ180のU型ダンパー、鋼棒ダンパーはφ90のループ状のものを採用している。図-6に積層ゴム、ダンパーの配置図を示す。

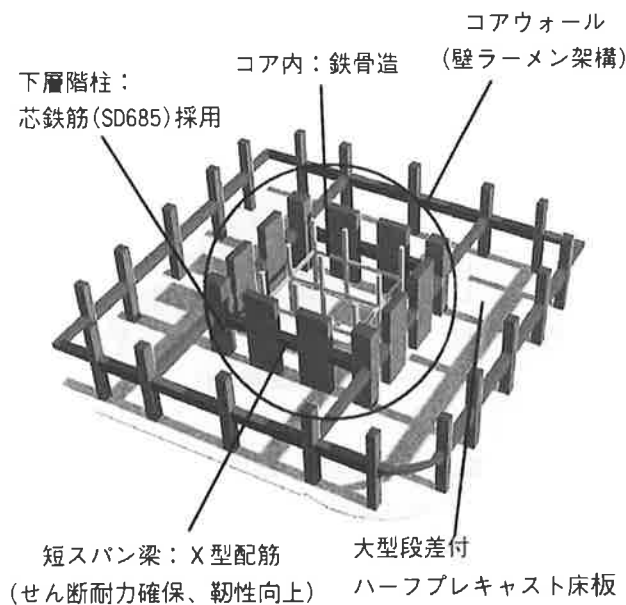


図-3 架構概要

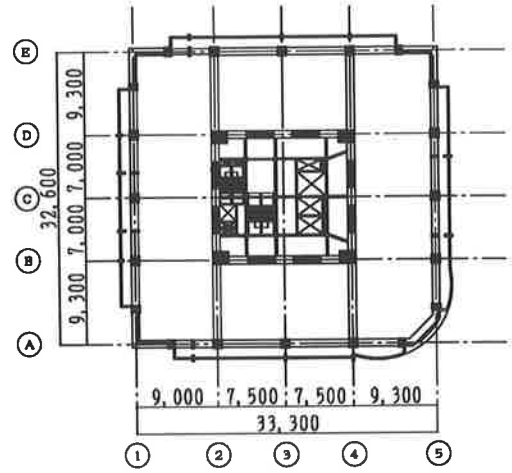


図-4 架構図

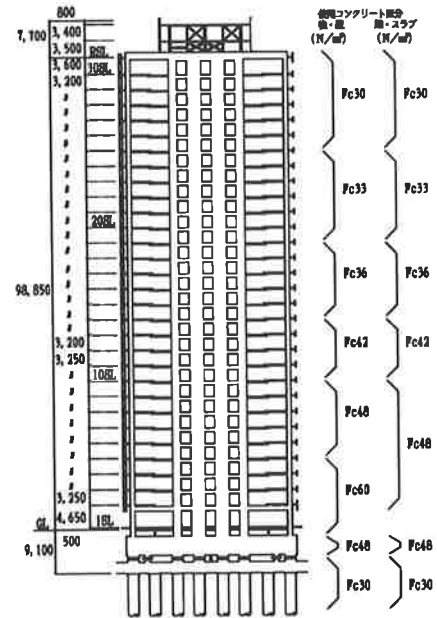


図-5 軸組図

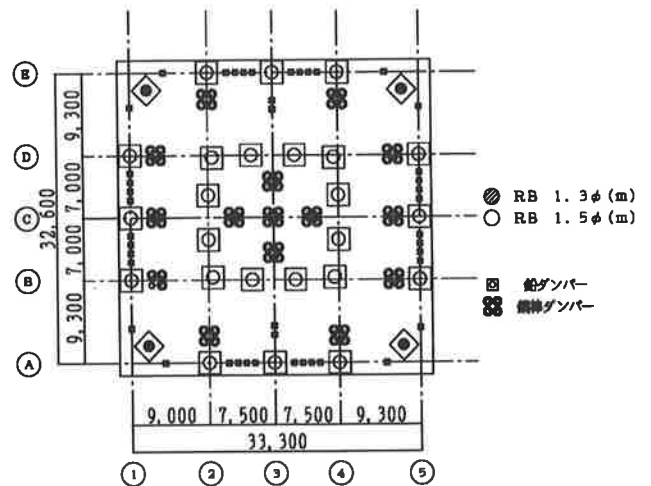


図-6 積層ゴム、ダンパー配置図

工法の特徴は、外周部柱はPCa造、コア柱は現場打ち若しくはPCa造とし、床版はプレストレスを導入したりブ付きのハーフPCa合成床版である。コア部分の短スパン梁はX型配筋のプレキャスト梁であるため、この梁についてはパネルゾーン内に機械式ナット定着を用いている。

下部構造については、計画地の軟弱地盤に抵抗するため、大口径場所打ち鉄筋コンクリート杭を採用し、杭頭の曲げに抵抗する厚さ 2.3mのマットスラブの基礎とする。計画地の埋め土が地震時に液状化の可能性があったため、レベル2地震動に対してFL値が1.0以上を確保できる固結工法による地盤改良を行った。

4. 耐震設計方針

耐震設計の目標性能を表-1に示す。レベル2地震動に対して、構造体の各部材が許容応力度以内（免震装置は安定変形以内）となることを目標にしている。余裕度レベルの地震動では部材の終局耐力まで許容することから、部材の脆性破壊を防止するために、余裕度レベルを上回る部材応力（終局限界変形時）に対して各断面の検討を行った。この時の部材応力は、1階の層せん断力と静的地震外力（ A_i 分布）重心位置の水平変形との関係において、余裕度レベル最大応答変形の2倍以上の仕事を確保した点とした。（図-7）また、層せん断力が設計用せん断力の1.5倍以上を確保する。さらに、地震応答解析では、表-2に示す設計目標値を設定した。

表-1 耐震設計の目標性能

部位	地震動のレベル		
	レベル1	レベル2	余裕度レベル
上部構造	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内	終局耐力以内
下部構造	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内	終局耐力以内
免震装置	安定変形以内	安定変形以内	終局限界変形以内

表-2 地震応答解析結果に対する耐震クライテリア

部位	項目	地震動の強さ		
		レベル1	レベル2	余裕度レベル
上部構造	層間変形角	1/600 以下	1/200 以下	1/100 以下
	層の塑性率	—	1.0 以下	2.0 以下
免震装置	せん断歪	100% 以下	200% 以下	300% 以下

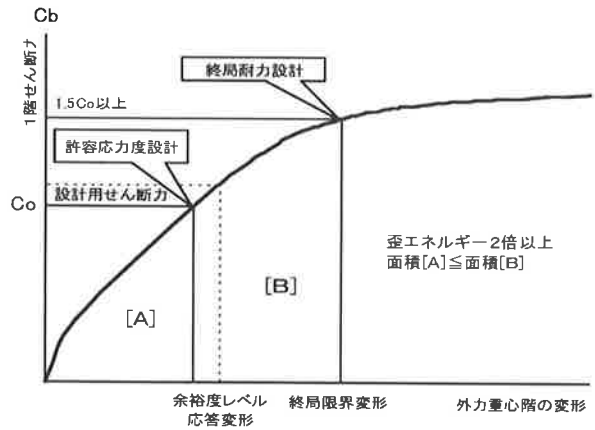


図-7 耐震設計概念図

5. 地震応答解析

5-1 解析モデル

解析モデルは、各層の質量を各階床位置の質点に集約し、質点間を各層の剛性をモデル化した曲げせん断棒をつないだ多質点系曲げせん断型モデルとした。また、図-8に示す軸対称モデルにより動的地盤ばねと減衰の評価を行い、スウェイ・ロッキングばねを付加した。復元力特性は上部構造を武田モデル、免震層を積層ゴムとダンパーによるBi-Linear型、スウェイ・ロッキングばねは弾性とした。減衰は、内部粘性型の瞬間剛性比例型とし、免震層を固定とした場合の一次固有振動数に対し上部構造3%とした。免震層はゼロとし、スウェイ・ロッキングばねについては、軸対称モデルによる値を与えた。

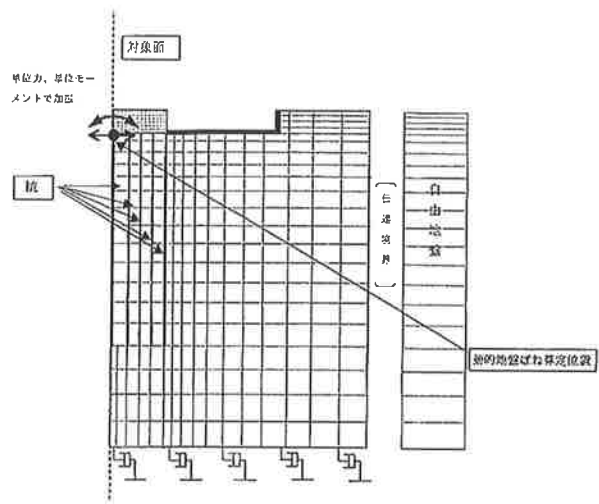


図-8 動的地盤ばねの算定

5-2 入力地震動

地震応答解析には、表-3に示す観測波3波及び

模擬地震動 2 波の計 5 波を採用した。レベル 2 の模擬地震動は、仮想南関東地震を想定し、半経験的手法により当該建設地の工学的基盤を自由表面と仮定した場合の地震動を求め、表層の増幅特性を考慮した波を用いた。余裕度レベルの模擬地震動は建築センターにより提供された模擬地震動を 1.2 倍した波とした。

表-3 入力地震波

地震動名称	レベル1	レベル2	余裕度レベル
EL CENTRO 1940 NS	256cm/s ² 25cm/s	512cm/s ² 50cm/s	768cm/s ² 75cm/s
TAFT 1952 EW	249cm/s ² 25cm/s	497cm/s ² 50cm/s	746cm/s ² 75cm/s
HACHINOHE 1968 NS	165cm/s ² 25cm/s	338cm/s ² 50cm/s	495cm/s ² 75cm/s
MINAMIKANTO (模擬地震動)	—	437cm/s ² 134cm/s	—
BCJ-L2+ (建築センター波 1.2倍)	—	—	427cm/s ² 69cm/s

5-3 解析結果

固有値解析より得られた 1 次固有周期を表-4 に示す。レベル 2 及び余裕度レベルの地震応答解析より得られた X 方向の最大応答層間変形角を図-9、最大応答層せん断力係数を図-10に、免震層の最大応答水平変位を表-5に示す。

表-4 一次固有周期

免震層の状態	一次固有周期(秒)	
	X方向	Y方向
初期剛性	2.76	2.69
積層ゴム(γ=10%)	3.49	3.44
積層ゴム(γ=100%)	5.42	5.39

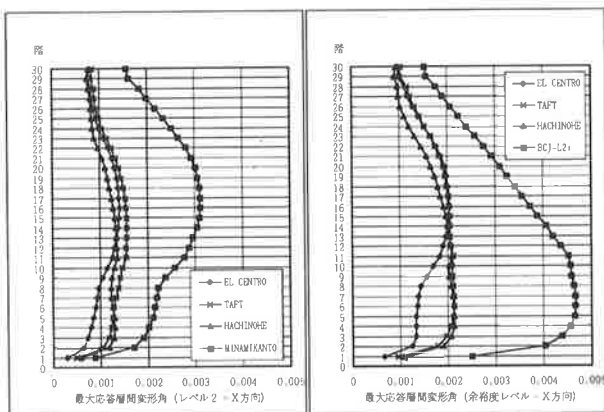


図-9 最大応答層間変形角

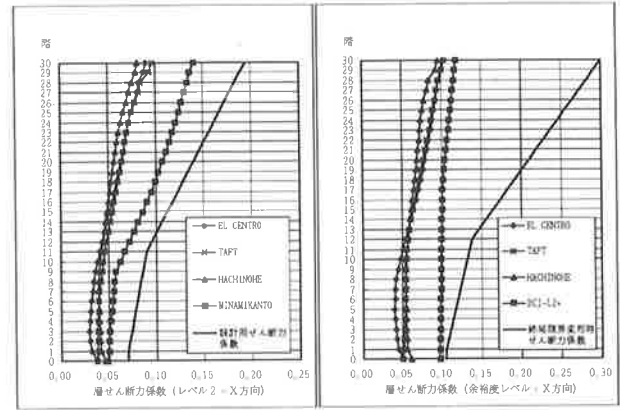


図-10 最大応答層せん断力係数

表-5 免震層の最大応答水平変位

地震レベル	応答水平変位(cm)	方向	地震動
レベル1	13.65	Y	HACHINOHE
レベル2	35.16	Y	MINAMIKANTO
余裕度レベル	77.19	X	BCJ-L2+

6. 各部検討

6-1 免震装置の面圧の検討¹⁾

積層ゴムの鉛直剛性のモデル化を図-11に示す。静的増分解析のモデルの積層ゴム位置にこの復元力特性を持つばねを配置した。応答解析から求まる最大応答転倒モーメントと静的解析による転倒モーメントの比から各免震装置のレベル 2、余裕度レベルにおける面圧を算出した。さらにレベル 2 において上下動の影響として鉛直震度 0.3 を加算し、最大・最小面圧を求めた。レベル 2 時には積層ゴムに引張力は作用していない。積層ゴムの面圧-せん断歪の関係 ($\phi 1500$) を図-12に示す。

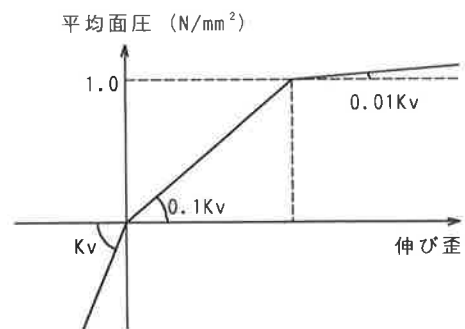


図-11 積層ゴムの鉛直剛性のモデル化

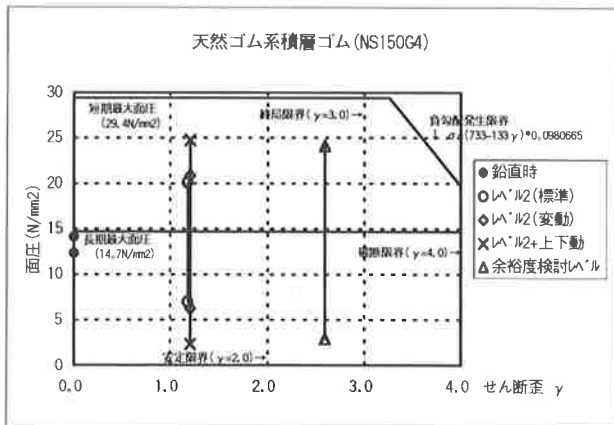


図-12 積層ゴムの面圧—せん断歪の関係

6-2 風荷重に対する免震層の検討

建築学会の荷重指針より、再現期間100年と500年の風荷重を算定し、免震層の状態を確認した。再現期間100年の場合は、図-13に示すように全風荷重に対し鉛ダンパーは降伏するが、鋼棒ダンパーは降伏しない。ただし、乱れ成分を除いた平均風荷重に対しては、共に降伏しない。変動荷重が正負両方向に作用した時 ($3,953 \times 2 = 7,906 \text{ kN}$)、鉛ダンパーの降伏荷重の2倍 ($5,434 \times 2 = 10,868 \text{ kN}$) 以内であることから、塑性変形の累積は小さく、免震層の性能は維持され则认为される。一方、500年の場合は、図-14に示すように全風荷重では両ダンパー共降伏し、平均風荷重では鉛ダンパーだけが降伏する。また、変動荷重は ($6,174 \times 2 = 12,348 \text{ kN}$) となり、鉛ダンパーの降伏荷重の2倍を超えるが、鋼棒ダンパーの履歴は弾性である。ここで、風の変動荷重の全振幅による鉛ダンパーの仕事エネルギーは1サイクルあたり $9,473 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ (1基当たり $215 \text{ kN} \cdot \text{cm}$) である。鉛ダンパーの可撓部分が融解するまでに吸収できるエネルギーは約 $440,000 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ と考えられる²⁾ ことから、建物の振動周期を3.5秒(積層ゴム歪み $\gamma = 10\%$) と仮定すると、 $[(440,000/215) \times 3.5/3,600 = 1.99 \div]$ 2時間の間、変動荷重の全振幅が作用する仕事量と同等と考えられる。

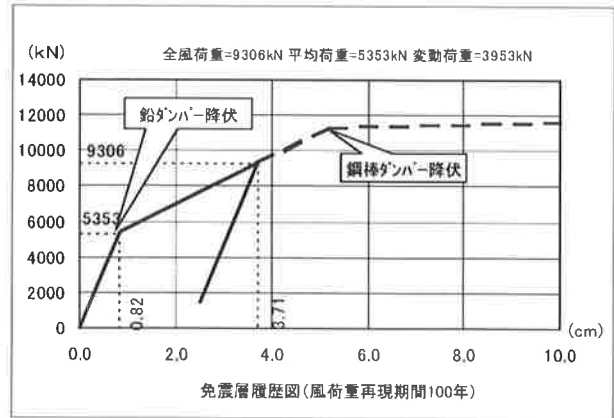


図-13 免震層履歴図(風荷重再現期間100年)

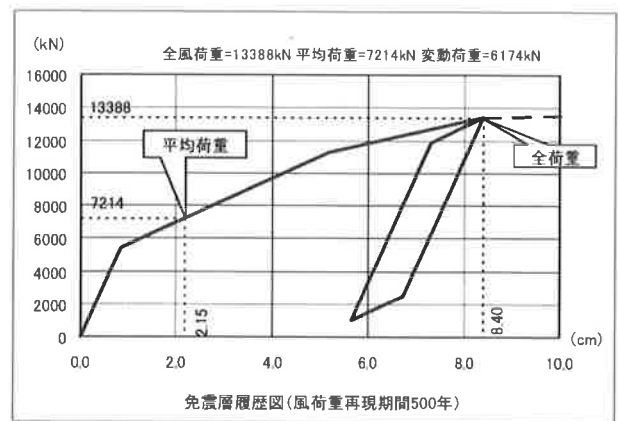


図-14 免震層履歴図(風荷重再現期間500年)

6-3 大型スラブの検討

外周部とコアの間は、厚さ30cmの大型スラブだけで接続されるため、図-15に示す基準階の1/4をモデル化してFEM解析を行った。1次固有周期は11.25Hzである。

最大鉛直変位は0.55cm、最大主応力(引張)はコア柱近傍上端で 4.8 N/mm^2 、スラブ中央下端で 2.8 N/mm^2 となった。また、NEW RC報告書³⁾のフラットスラブ有効幅の検討を参考にして、本建物のスラブについて検証を行ったところ、スパンの0.75倍程度を有効幅と見なせる結果となった。しかし今回は、フレーム解析においては安全側に判断して、スラブの梁としての効果は無視した。適切な配筋を行うことによって、スラブの評価は可能と考えられる。

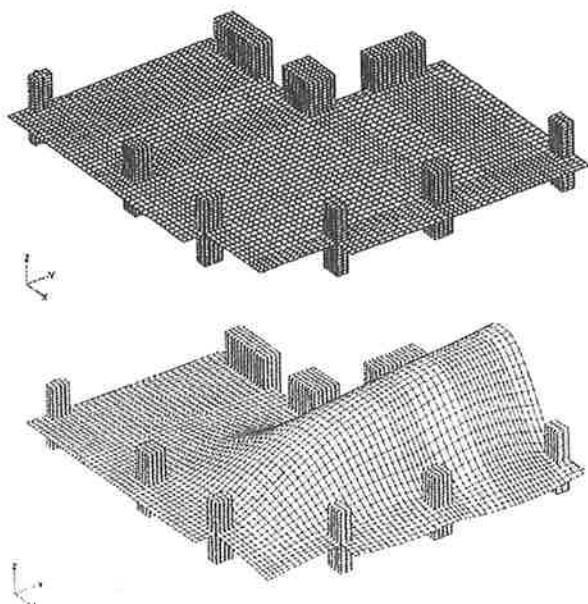


図-15 有限要素法モデル
(上：メッシュ図、下：一次モード図)

を計測したところ良好な結果を得た。免震層施工状況を写真-4、5、コアのPCa壁柱を写真-6、躯体の出来上がり状況を写真-7に示す。

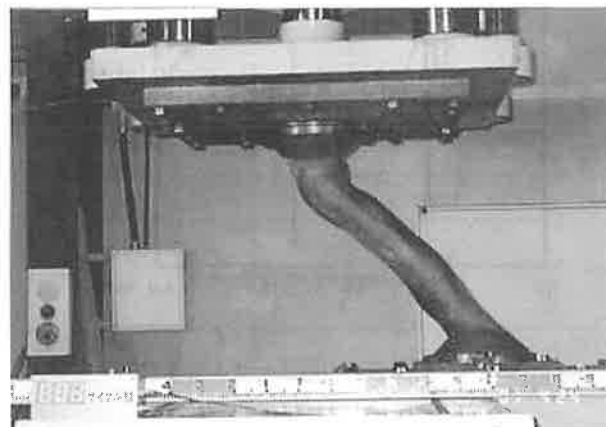


写真-1 鉛ダンパー性能試験（水平変形±60cm）

7. 施工実験・試験

天然ゴム系の積層ゴム支承（φ1500）については、初の製造となることから、施工に先立ち、試作品を作製して載荷実験を行った。⁴⁾その結果、変形性能は既往の小さな径のデータと相似則があることを確認した。また、引張ひずみ下においても水平復元力特性は良好な結果が得られた。引張破断ひずみは若干低下する傾向が見られた。鉛ダンパーについても±60cmの繰り返し水平載荷試験を行い、性能の確認を行った。（写真-1）

また、積層ゴム支承は精度よく水平に据え付けることが重要なため、支承の台座はベースプレートを設置した後、コンクリートを打設するのが一般的である。今回はφ1500の積層ゴムの台座であるため、寸法が大きいことからコンクリートの充填性について施工実験を行った。施工法は、高流動のコンクリートを用いて、一気にベースプレートと後打ちのコンクリートを一体にする方法とした。ベースプレートの中心孔より、コンクリート打設用の専用ホッパーを用いて充填する方法（写真-2）と、専用の配管を取り付け、直接ポンプ車より圧入する方法（写真-3）を採用した。両方法について施工試験を行い、コンクリート硬化後、ベースプレートを剥がしてコンクリートの充填率

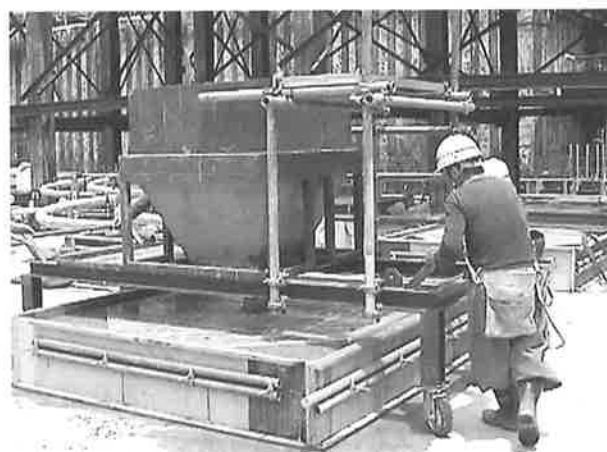


写真-2 免震装置台座コンクリート打設（ホッパー）



写真-3 免震装置台座コンクリート打設（圧入）

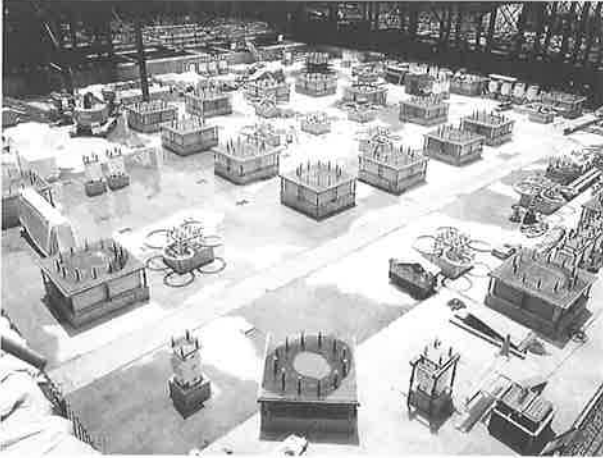


写真-4 免震装置配置状況

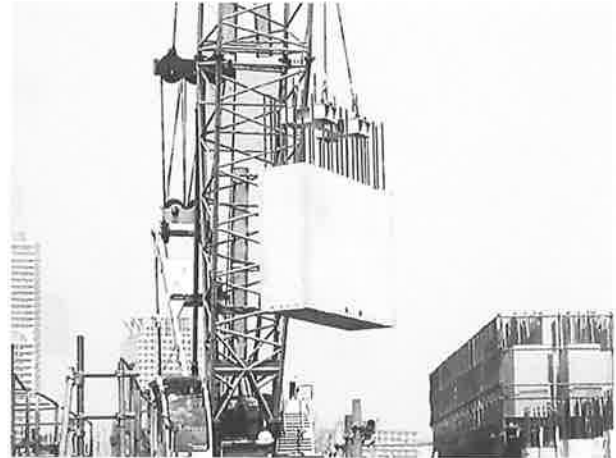


写真-6 PCa壁柱

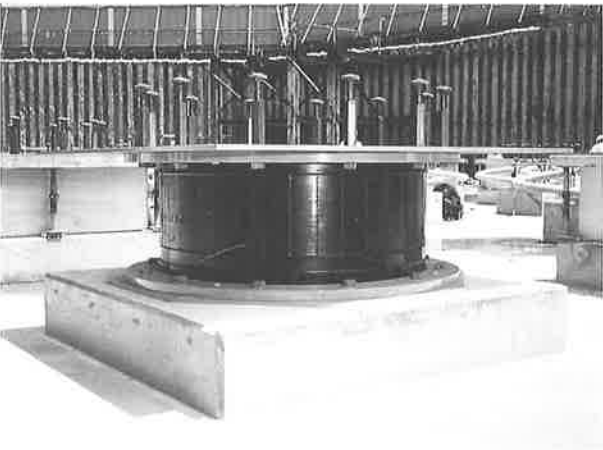


写真-5 積層ゴム支承 (φ1500)



写真-7 基準階躯体出来上がり状況

8. まとめ

超高層RC集合住宅に免震構造を採用することによって、耐震性の向上と共に、居住空間の快適性や建物の容易な更新性について、具体的に取り組んだ事例について紹介した。なお、3棟の内、1棟は平成14年12月、残り2棟も平成15年9月に竣工予定である。

謝辞

本計画において貴重なご意見を頂きました、(財)日本建築総合試験所 井上 豊先生、東京工業大学 和田 章先生、また、設計・施工に関して多大なるご協力を頂いた前田建設の関係者の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 鴫田・木村：コアに耐震要素を配置した超高層RC免震住宅の耐震性能，日本建築学会学術講演梗概集，2002
- 2) 高山・森田：免震構造用U180型鉛ダンパーの限界性能，日本建築学会技術報告集第3号，1996
- 3) New RC共同研究4 超高層フラットスラブ建築物の開発報告書，(社)建築研究振興協会，平成5年
- 4) 関口他：大型天然ゴム系積層ゴムアイソレーター (φ1500) の引張特性，日本建築学会学術講演梗概集，2001