

M.I.N.式免震工法

阿世賀 宏*

要 約

本工法は、建物が地震エネルギーによる外力を受けた場合、構造本体への免震を目的として考案されたものである。

この工法で使われている免震ダンパーが、力学的にどのような特性を持っているのかその実験結果と免震ダンパーを取り入れた建物の想定設計、及び応答計算を通じて、M.I.N.式免震工法の有意性を論じた。

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 本工法の概要
- § 3. 設計例 Mホテル新築工事（仮想設定）
- § 4. 免震ダンパー復元力試験
- § 5. 応答解析
- § 6. 結び

§ 1. まえがき

本工法は、東京大学名誉教授松下清夫博士、東北大学教授和泉正哲博士、西松建設㈱常任監査役西内弘の3氏が共同で研究開発したもので、52年度建築学会大会¹⁾、第6回世界地震工学会議²⁾において既に発表され、また特許³⁾も公開されている。

当社においては、技術研究部が免震ダンパーの力学的な実験及び解析を担当し、建築設計部は設計例の作成など、この工法開発に協力している。

§ 2. 本工法の概要

2-1

昨今、東海地震発生の子知がテレビ、新聞等のマスコミを賑わし国民の地震への関心度は高まっているが、専門学者の間でも耐震設計法や構造物設計時における地震荷重の取扱いについて、様々な論議が交わされている。事実建築法規及び構造規準の一部改定などの動きがみられる。このような背景をふまえて研究開発したものが、

*技術研究部 建築技術課

M.I.N.式免震工法である。

今迄建物における入力地震エネルギーに対して、我々工学の先達は、構造物の剛性と耐力を高めることによって対処する方法を考えてきた。このとき設計用として想定する地震力Fは、震度法として知られている $F=KW$ という式を用いて算定する。このKは水平震度と呼ばれ、我が国では0.2を基準としている。またWは構造物の重量である。この外力に対しては、構造物の構成材料の応力が、或る程度の安全率を保ちつつ、弾性範囲内にある事が設計の基本姿勢となっている。

これとは別に、現在超高層建物等の設計に導入されている方法がある。この方法では、地震力を振動（動的）外力と考え、地震力の周期成分と構造物の固有の周期成分が、共振しないように設計する事を基本としている。

地震力の最大値及び入力エネルギーに対する研究は多く見うけられるが、未だに定量化されているわけではなく、過去の記録や構造物の安全性、耐用年数、経済性、地震の発生の確率等を考慮して、設計地震力を設定しているのが現状である。

しかし、設定した地震力に対してすべての使用材料が、弾性範囲にあるように設計することは困難であるため、一部材料の破壊もしくは破損を許容せざるを得なくなっている。

そこで本工法は、この入力地震エネルギーに対して人為的に構造物の破損位置を集中させ、他の部分への地震エネルギーの伝達を少なくするように考案されたものである。地震力を集中的に受けて破壊または破損した部分は、取替え可能としたものである。

2-2

本工法の架構上の特長は、図-1のように塔状の高層部分と、それと比較して剛な低層部分の2つに分けている。この塔状の高層部分と、他方の低層部分の境界位置に地震エネルギーを集中させるように考えたものである。この境界位置に、以下に述べる免震ダンパーを装着させ、地震エネルギーを吸収するようになっている。この境界位置の概要を図-2に示しておく。

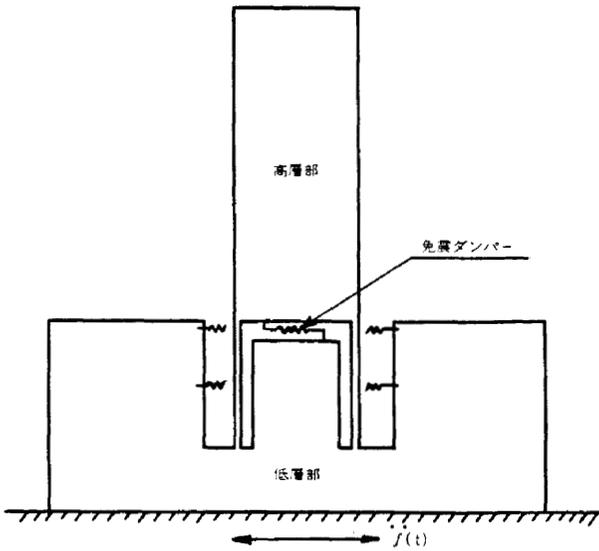


図-1 架構概念図

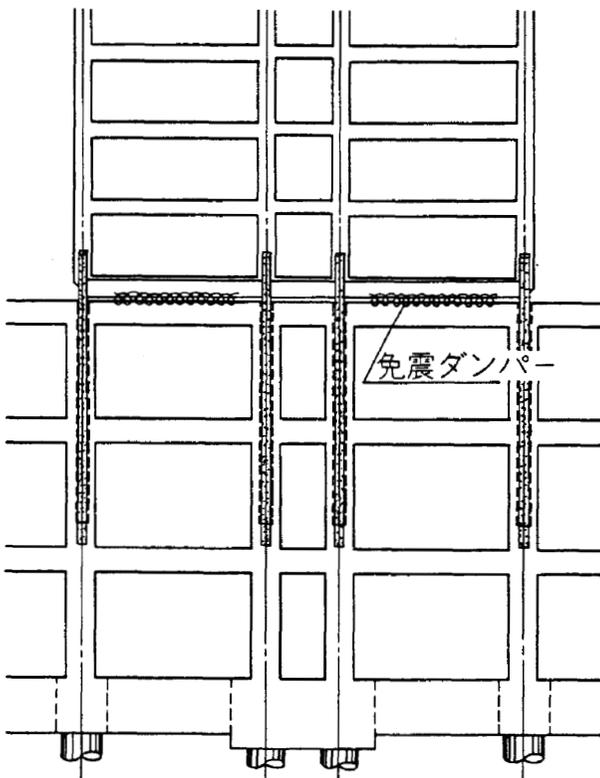


図-2 境界位置図

上部塔状の構造物の鉛直荷重は鉄骨柱で支持し、下部低層構造物へ伝達している。また水平力(地震力)は、図中のリング状の鉄筋が受けもち、大変形となるような地震力を受けた場合は、鉄骨とこの免震ダンパーの引張力によって抵抗するように考えている。すなわち、前述のように入力地震エネルギーをこのリング状の鉄筋ダンパーに集中的に吸収(すなわち熱に変換)させることにより、破損または破壊が生じても取替えが可能とした工法である。

2-3

次にこの免震ダンパーについて説明をしておく。たとえば、形状については図-3に示したようなものである。図中の3-1は鉄筋をラセン状に加工したものである。同様に3-2、3-3、3-4の形状に鉄筋を加工したものを、免震ダンパーとしている。使用材料は、通常使用している棒鋼を加熱後曲げ加工したものである。図-3の3-2を例にとって、地震時の外力と変形の関係を概念としてとらえると、図-4、図-5のようになる。

図-4中の4-1から4-2の範囲が、図-5中の0-Aの範囲に相当する。また4-2から4-3の範囲の変形状態は、B以後の状態になると思われる。すなわち、0-A間はダンパーの曲げ変形によるもの、次にB以後は引張力による特性を示すと考えられる。これらの免震ダンパーの復元力特性については、次章で実験値として示す。

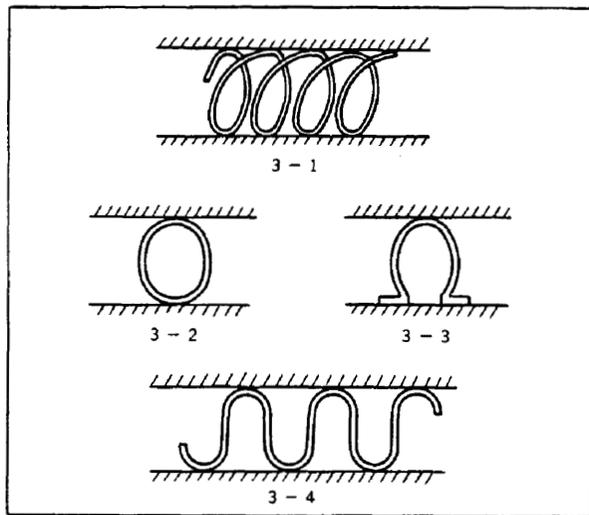


図-3 免震ダンパーのタイプ

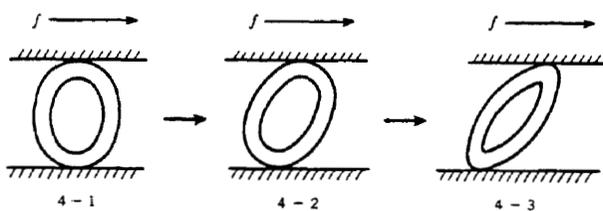


図-4 ダンパーの変形状態

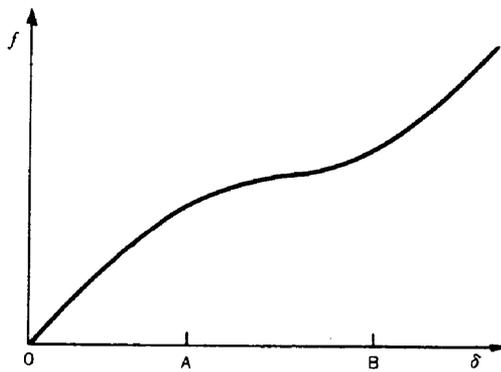


図-5 ダンパーの復元力特性

§ 3. 設計例 Mホテル新築工事 (仮想設定)

3-1

表-1 設計概要

名 称	Mホテル (仮称)
建築場所(想定)	千葉県印旛郡富里村 大字笠木山
用 途	ホテル
構 造 種 別	鉄筋コンクリート造 一部鉄骨及び鉄骨鉄筋コンクリート造
階 数	地下2階・地上14階 ペントハウス1階
建 築 面 積	3,696.668㎡
延 面 積	24,886.138㎡

前章の設計及び工法の概念を取り入れて、実設計の手順にしたがい試設計を行なった。設計概要については、表-1に示したように用途をホテルとして、実際に存在する敷地を設定して行なったものである。

ただし、構造設計図書のすべてを記載する事が出来ないで、一般図及び地震時の採用水平力、柱状図等の主なるものについて掲げておく。設計用震度は、建築基準法による値を採用している。動的解析の結果は次章で述べる。

3-2

前章に述べた塔状の部分がホテルの居室部に当り、低層部が共有のスペースとなって、比較的剛性のバランスの取れた構造形式を採用している。しかし、中層であるため、一次固有周期は、超高層建物のようにはのびない。

低層部は、塔状の高層部と比較して、面積で約3倍、重量においても約3倍のものとなっている。

高層部も比較的壁量が多く、剛性の高い方の建物として設計している。高層と低層の境界(図-9参照)部分に示してあるように、鉄骨柱によって支持され、この鉄骨柱は、低層部で2重構造の形式を取っている。

この鉄骨柱と交差している鉄骨梁は、図-11の断面図に示すように、上側で高層部とスタットジベルで連結し、鉄骨梁下側でスパイラル筋と接合されている。このスパイラル筋は、鉄板プレートを介して下部層にアンカーされている。

このスパイラル状の加工鉄筋を、免震ダンパーとして取り入れた。

表-2 設計用剪断力

階	地上高(m) (天井床位置)	設計用震度	建物全重量 $W_i(t)$	層剪断力 (t)	層剪断力係数	標準Xフレーム 剪断力(t)	標準Yフレーム 剪断力(t)
PH	48.95	0.29	302.6	87.8	0.29	22.0	22.0
15	44.45	0.28	838.6	322.6	0.28	80.6	58.6
14	41.45	0.27	782.6	533.9	0.28	133.3	85.0
13	38.45	0.26	768.0	733.5	0.27	183.2	109.2
12	35.45	0.25	768.0	925.5	0.27	231.3	133.3
11	32.45	0.25	772.0	1,118.5	0.26	278.6	158.0
10	29.45	0.24	772.0	1,303.8	0.26	325.1	181.1
9	26.45	0.23	776.0	1,482.3	0.26	368.9	203.1
8	23.45	0.22	827.3	1,664.3	0.25	415.4	226.1
7	20.45	0.22	827.3	1,846.3	0.25	461.0	248.5
6	17.45	0.21	831.5	2,020.9	0.24	506.0	270.9
5	14.45	0.20	831.5	2,187.3	0.24	546.1	291.5
4	11.45	0.20	836.7	2,354.6	0.24	588.2	312.6
3	8.45	0.20	846.2	2,523.8	0.23	630.4	333.8
2	5.45	0.20	3,425.4	3,208.8	0.23	744.8	402.3
1	0.45	0.20	3,887.2	3,986.2	0.22	874.6	474.7
B 1	- 5.00	0.10	3,920.6	4,378.3	0.20	935.7	510.0
B 2	-10.00	0.10					

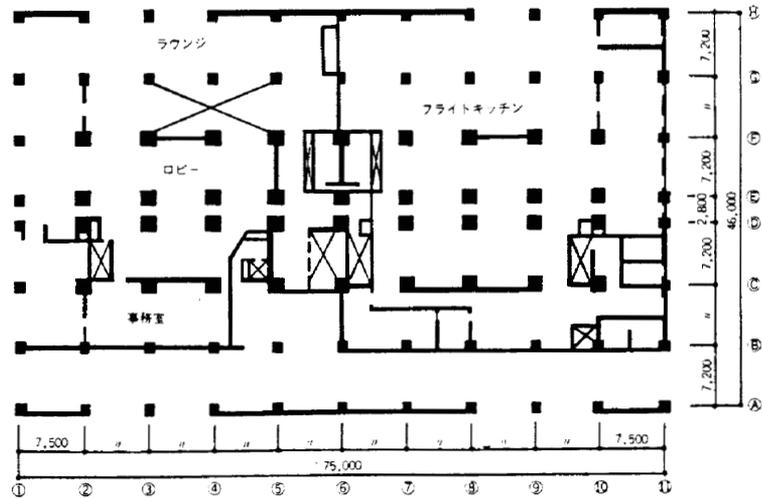


図-6 1階平面図

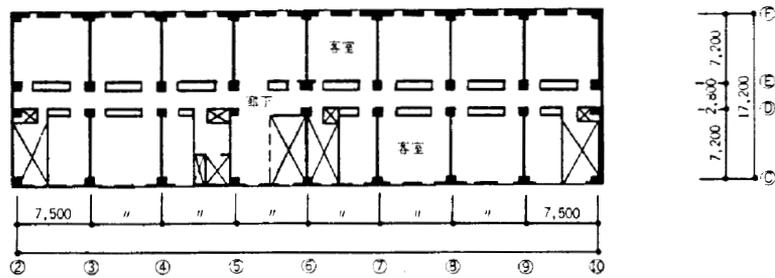


図-7 一般階平面図

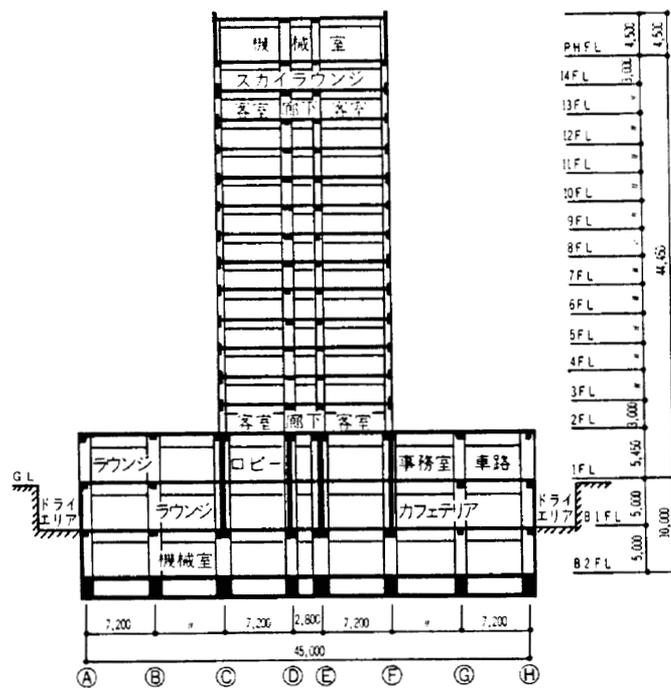


図-8 断面図

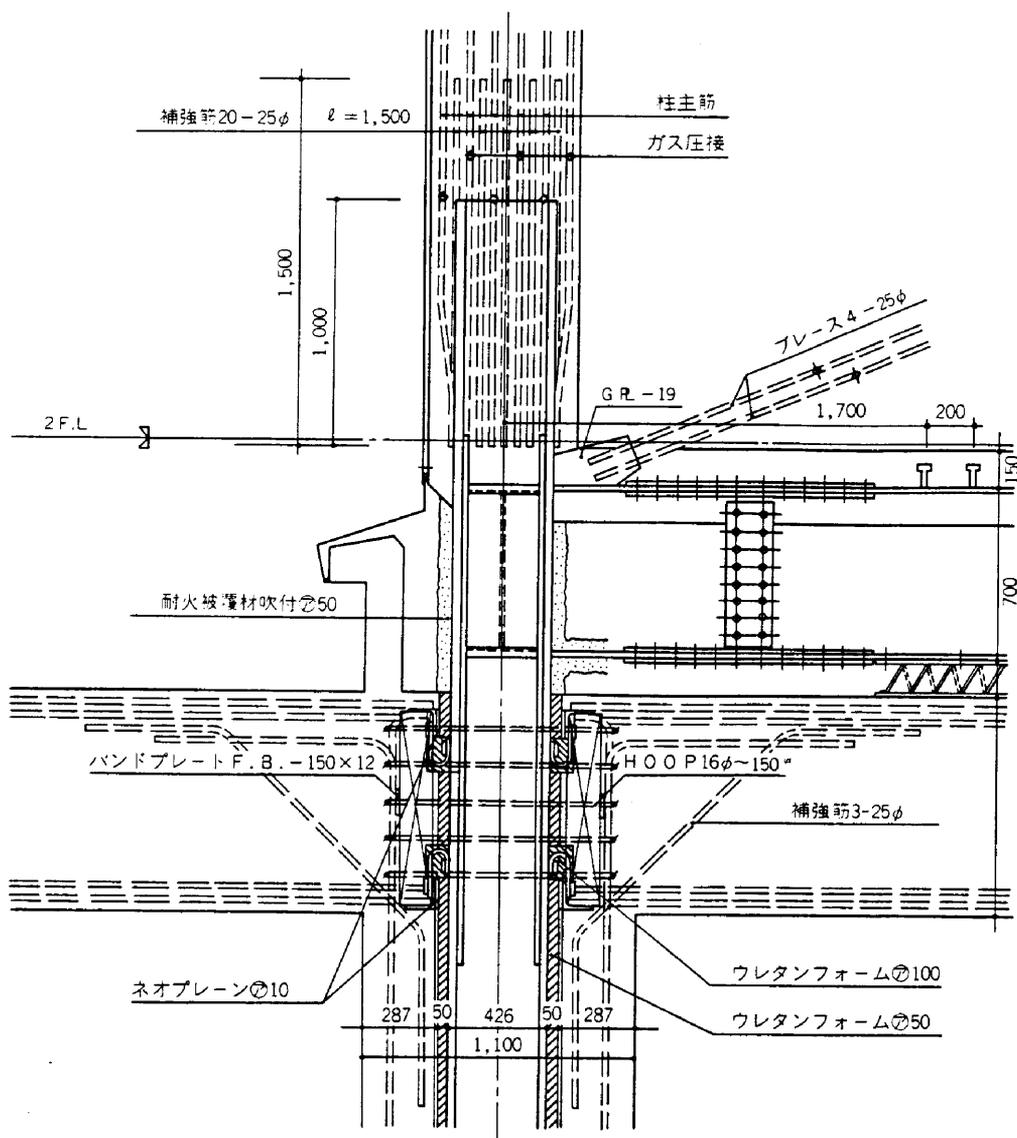


図-9 接合部詳細図(1)

表-3 許容応力度材料定数

鉄筋および コンクリート	材料	許容応力度 (kg/cm ²)					材料の定数		
		長期		長期付着			短期	ヤング係数 (kg/cm ²)	ポアソン比
		引張	圧縮	せん断 補強	定着 曲げ材上端	曲げ材一般			
丸鋼	S R24	1600	1600	1600			長期に対する 値の1.5倍	2.1×10 ⁶	
異形丸鋼	S D30	2000	2000	2000					
	S D35	2200	2000	2000					
普通コンクリート F _c =270	丸鋼		90	7.7	9.0	13.5	長期に対する 値の1.5倍 ただし圧縮の 値は長期に対 する値の2.0 倍	2.440×10 ⁶	1/6
	異形丸鋼				16.2	24.3			
普通コンクリート F _c =240	丸鋼		80	7.4	9.0	13.5		2.300×10 ⁶	1/6
	異形丸鋼				15.4	23.1			
軽量コンクリート (ρ=1.8)F _c =240	丸鋼		80	6.6	9.0	13.5	1.367×10 ⁶	1/6	
	異形丸鋼				15.4	23.1			
鉄骨	材料	許容応力度 (kg/cm ²)					材料の定数		
		長期					短期	ヤング係数 (kg/cm ²)	ポアソン比
		引張	圧縮	曲げ	剪断	側圧			
鉄骨	S M50'A	2200	2200	2200	1270	3000	長期に対する 値の1.5倍	2.1×10 ⁶	0.3

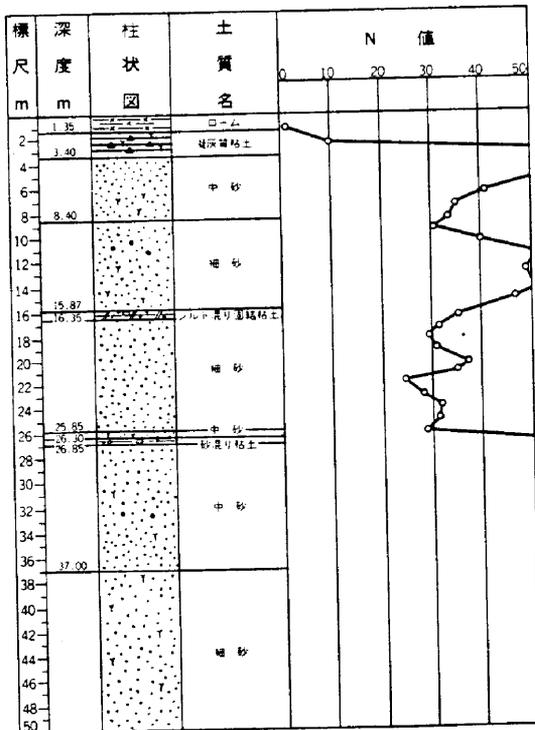


図-10 柱状図

§ 4. 免震ダンパー復元力試験

4-1 供試体材料定数

免震ダンパー（供試体）の材料定数及び強度を、表-4に示した。これらの数値は、当社技術研究所における引張試験の結果である。

表-4 供試体材料特性

番号	供試体の寸法		降伏点又は耐力		引張強さ	
	径 (mm)	断面積 (mm ²)	荷重 (kg)	強度 (kg/mm ²)	荷重 (kg)	強度 (kg/mm ²)
1	12.0	113	2,700	24	4,140	37
2	12.0	113	2,750	24	4,140	37
3	12.0	113			6,080	54
4	12.0	113			5,900	52
41	11.9	112	2,980	27	4,150	37
42	12.0	113	2,910	26	4,220	37
43	12.0	113			5,900	52
44	12.0	113			6,000	53

$E_1 = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_2 = 2.06 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_3 = 2.05 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_4 = 2.00 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

$E_{41} = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_{42} = 2.03 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_{43} = 1.98 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
 $E_{44} = 1.96 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

No. 1、2……熱処理した鋼棒
 No. 3、4……生の鋼棒

4-2 供試体形状

供試体の形状については、図-12～図-14に示した形式のものについて試験を行なった。

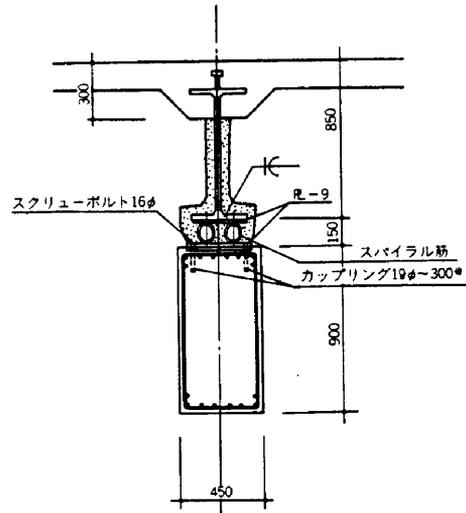


図-11 接合部詳細図(2)

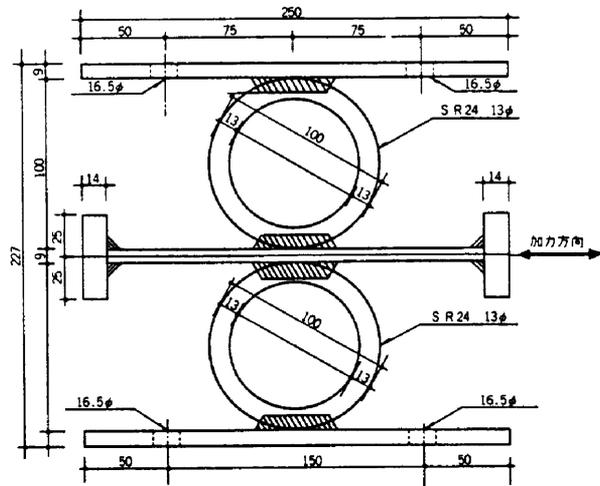


図-12 CASE-1

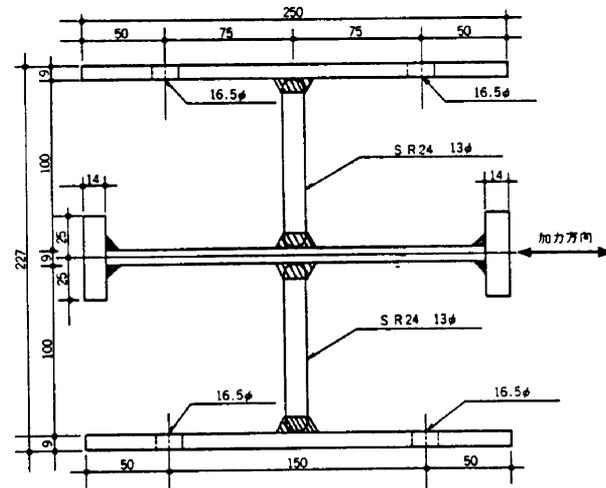


図-13 CASE-2

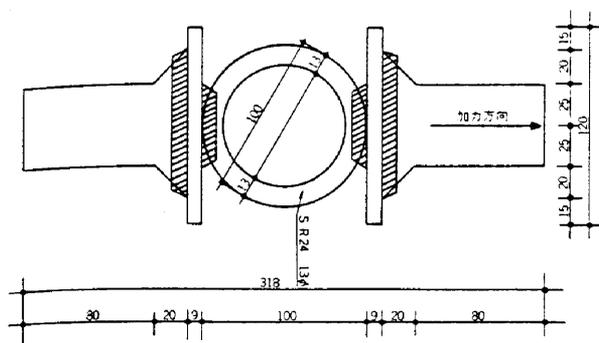


図-14 CASE-3

4-3 加力装置及び加力の方法

4-2の供試体に対して、荷重方向は、図-12~図-14中の矢印の方向へ変位制御によって行なった。加力は、正負くりかえし荷重による。荷重の検出は、ロードセルによって行なった。

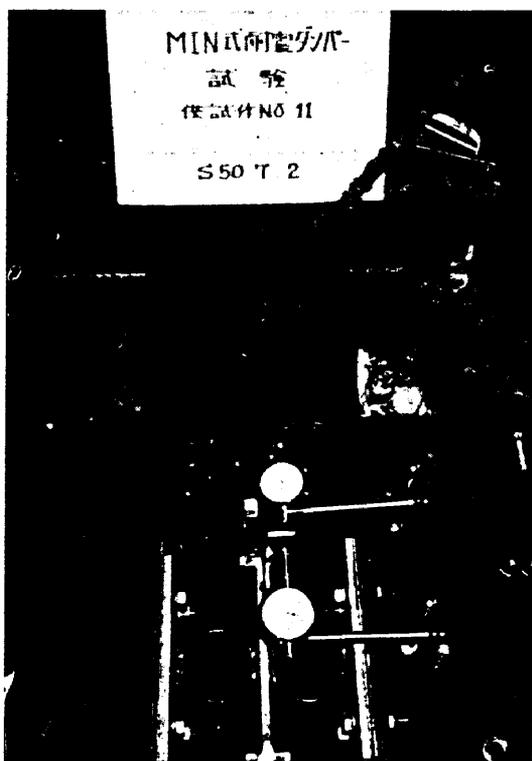


写真-1 加力装置

4-4 試験結果

4-2の加力方法により得られた結果を述べる。

写真-2~写真-5は、試験後の変形状態を示したものであり、おのおのCASE-1, CASE-2, CASE-3の供試体である。写真-5は、CASE-1のタイプの供試体を、加力装置の最大変形能力まで一方向加力を行なった結果である。

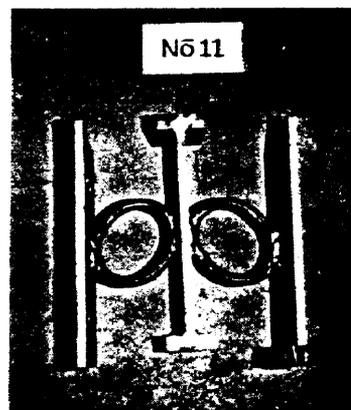


写真-2 CASE-1

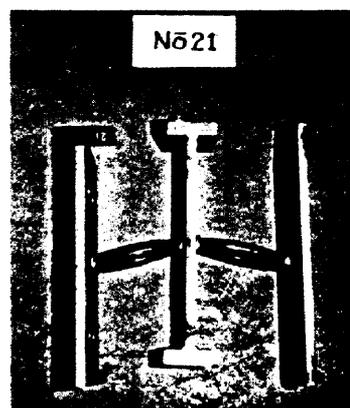


写真-3 CASE-2

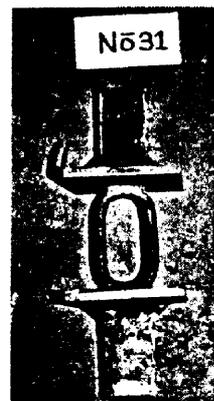


写真-4 CASE-3

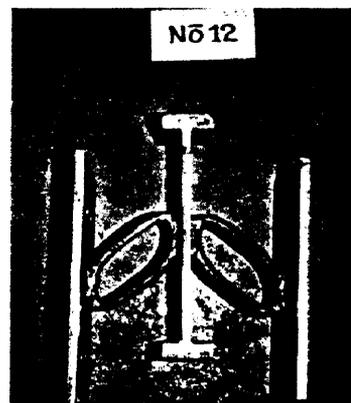


写真-5 CASE-1

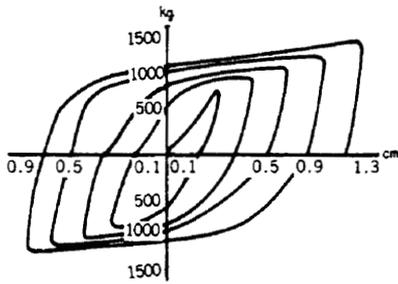


図-15 CASE-1

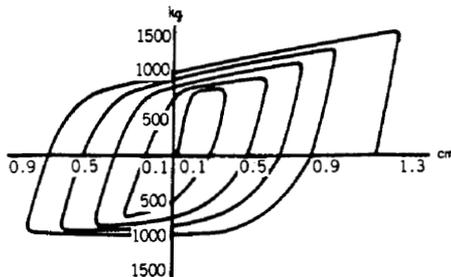


図-16 CASE-2

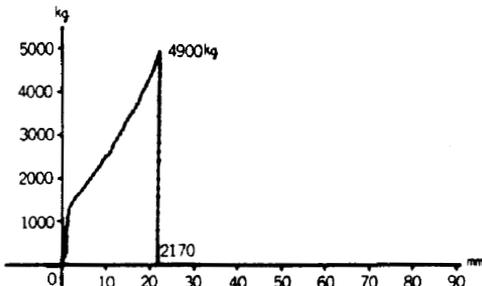


図-17 CASE-3

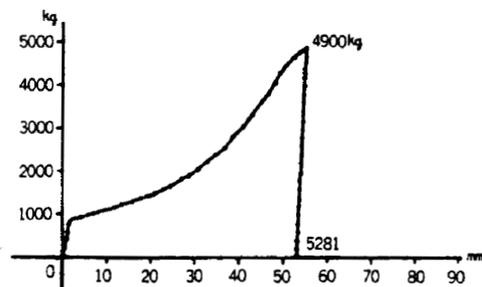


図-18 CASE-1

復元力特性の結果を、図-15～図-18に示した。

前章で、リング状の変形過程を想定したのであるが、この試験結果は一応満足出来るものが得られた。

図-15～図-17に示した復元力特性図に見られるように、わりときれいな紡錘形の特性を現わしている。また繰り返し荷重による剛性の劣化も見られなかった。

次に図-18に示すように、変形が大きくなると、鉄筋の引張力によると考えられる状態がよく出ている。

以上の試験の結果より、次章の応答用の復元力特性モデルが、Bi-Linear型で表現出来ると考えてもよい。

§ 5. 応答解析

5-1 モデル化

前章で免震ダンパーの復元力特性が得られたので、この特性をBi-Linear型の組合せにより理想化して考えた。

免震ダンパーの曲げ変形によると考えられる特性を、図-19中のIタイプとして、また引張力による特性を、IIタイプと考えて、IとIIの復元力特性の重ね合せによ

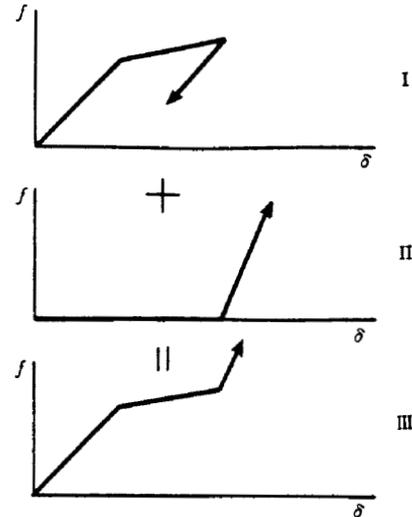


図-19 復元力特性のモデル化

り、IIIの様に曲げ変形から引張力による特性を、免震ダンパーの特性としてモデル化を行なった。

全体の構造の振動モデルは、図-20のように集中質点系のTwo-Beamモデルとして取り扱った。尚高層部及び低層部については、復元力特性を線形としている。免震ダンパーは、設計用剪断力の20～30%を負担するように設計し、その負担剪断力に抵抗できる量のダンパーを取り入れている。

5-2 固有モード

免震ダンパーを、連結した場合と連結しない場合及び低層部と高層部とが一体となって振動する場合に分けて、おのおのの固有モードを1次から3次まで図-21に示した。

固有周期についてもそれぞれの値を表-5に掲げておいた。

5-3 応答結果及び固有周期について

Elcentro-NS Taft-NS成分に対して、それぞれを最大加速度250gal, 400galとして応答計算を行なった。

図-22に応答変位量、図-23に応答剪断力をおのおののタイプについて示した。

以上の結果より見ると、免震ダンパーを入れた場合と入れない場合では明らかに周期が変わり、一次周期で一体

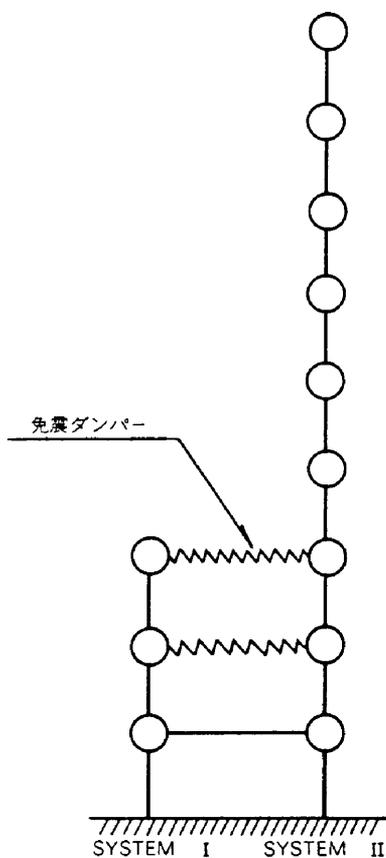


図-20 振動モデル

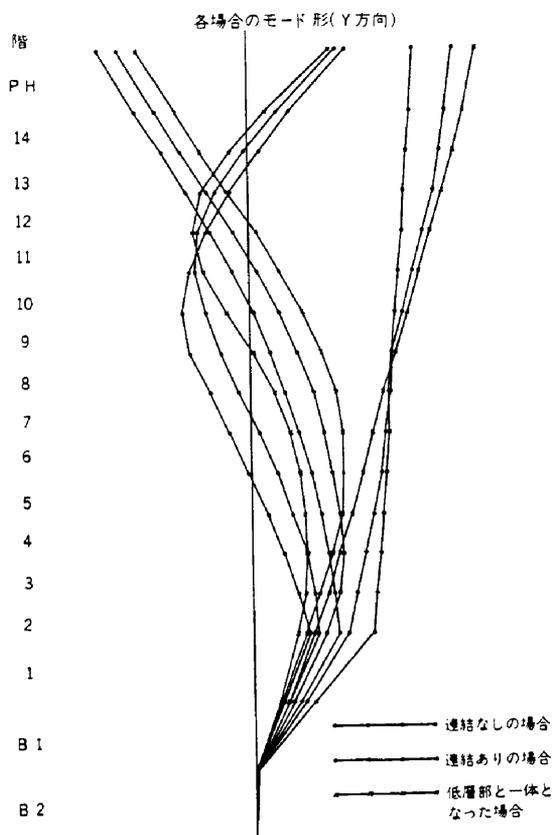


図-21 固有モード図

となっているモデルと比較して1.19secから1.79secとなり、周期がのびる。

応答剪断力の場合も比較して見ると、免震ダンパーがないモデルと比較して応答が少なくなっている。また応答変位置量に関しても同様の事が言える。このように400gal 最大加速度入力に対しても、免震ダンパー以外は弾性範囲の応答を示し、当工法の有意性がわかる。

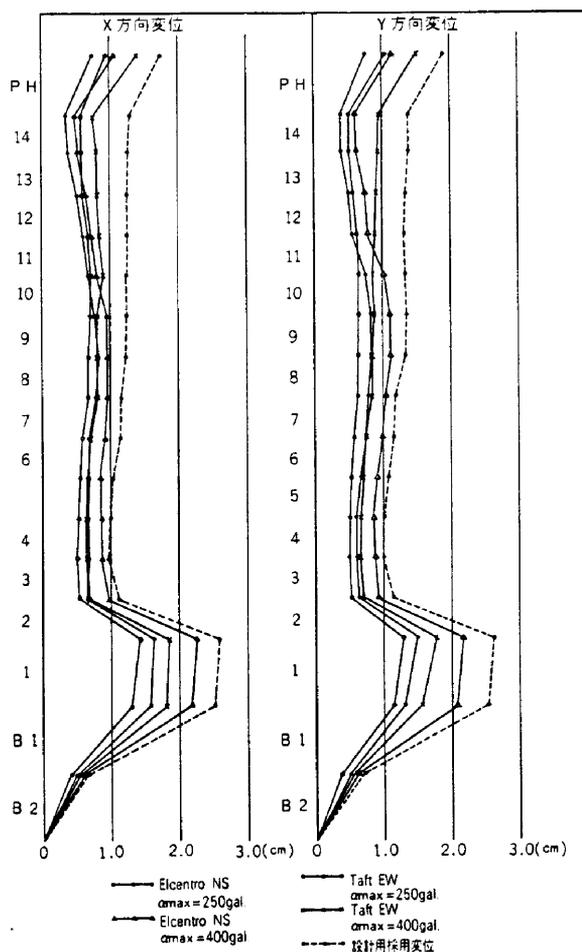


図-22 応答変位図

表-5 周期一覧

● X方向の周期

ケース	周期	T ₁	T ₂	T ₃
連結なしの場合		2.83	0.74	0.30
連結ありの場合		1.79	0.67	0.29
低層部と一体となった場合		1.19	0.44	0.28

● Y方向の周期

ケース	周期	T ₁	T ₂	T ₃
連結なしの場合		2.90	0.75	0.31
連結ありの場合		1.84	0.65	0.30
低層部と一体となった場合		1.31	0.42	0.25

5-4 材料の減衰特性

通常の場合は、我々が取り扱っている鉄及びコンクリートは、ある応力限度内で線形的に変化するものとして処理している。しかし、これらの材料が大きな歪やくり返し荷重を受けた場合、部分的に小破壊を生じ、次のような現象が現われる。荷重、すなわち外部エネルギーの全てが、材料の歪エネルギーとして変換されず、その一部が熱エネルギーとなって放出され、履歴特性を示す。

本工法の特長は、地震エネルギーを見かけ上であるが、免震ダンパーにより人為的にこの熱エネルギー変換を行っていることに相当する。

また応答計算結果より見て、層間変位量を少なくおさえることができるため、高層部へのカーテンウォール工法等の採用も有効と考える。

参考文献

- 1) 鉄筋ダンパーの復元力特性 松下, 和泉, 西内, 佐々木
日本建築学会 S.52.10
- 2) "Some Analyses to decrease input Earthquake Effects to Building Structures-Steel damper"
Matsushita, Izumi, Ide, 6 WCEE New-Delhi,
Jan, 1977.
- 3) 中高層剛構造建物を耐震ならしめるためのダンパー
特許公開51-125939

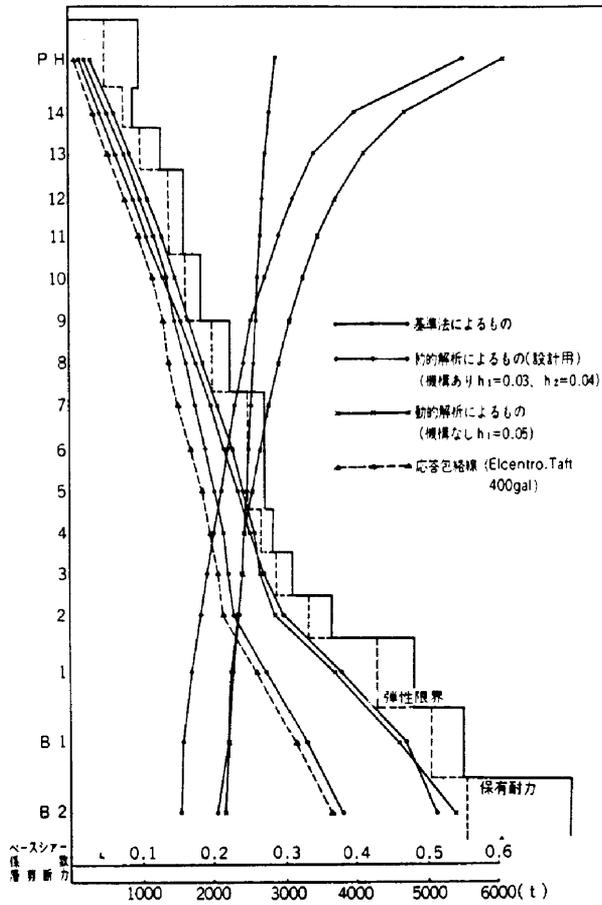


図-23 応答剪断力図

§ 6. 結び

以上、仮想の設計例及び実験を通じて、本MIN式免震工法が耐震設計上有効であり、また地震エネルギーを集中させた結果、破損した免震ダンパーを取り替えることにより修復が簡易となり、実用化可能な工法として紹介した。