

# 耐震, 免震, 制振技術の開発

## Development of Earthquake Resistant, Vibration Controlling and Seismic Isolation Technology for Structures

杉 沢 充<sup>(1)</sup> 佐伯 英一郎<sup>(2)</sup> 中村 秀司<sup>(3)</sup> 平林 里恵<sup>(4)</sup>  
*Mitsuru SUGISAWA Eiichirou SAEKI Hideji NAKAMURA Rie HIRABA YASHI*

市川 康<sup>(5)</sup> 植木 正憲<sup>(6)</sup> 穂 莉 實<sup>(7)</sup>  
*Yasushi ICHIKAWA Masanori UEKI Minoru HOKARI*

### 抄 録

新日本製鐵建築事業部における建築構造物の耐震, 免震, 制振に関する昨今の開発状況を概説すると共に, エネルギー吸収という面からの鋼材に対するニーズをアンボンドブレース, 制振パネル, 鋼樑ダンパーなどにより紹介し, 建築用鋼材の新たな方向を展望した。建築構造物の分野には, 必ずしも従来の設計規準にとらわれない耐震設計の思想が現れ始めている。先頃の阪神大震災の結果, 構造物の安全性への関心の高まりを背景として, この方面の研究がより一層進められるものと思われる。これらについては今後構造技術者と鉄鋼業が協力して推進していくことが必要であろう。併せて, 新素材セラミックを応用した摩擦ダンパーおよびタワー等の制振を目的とした TLD を紹介した。

### Abstract

This paper outlines the recent development work underway at Nippon Steel Corporation's Building Construction Division associated with earthquake resistant, vibration controlling and seismic isolation technology for structures. The paper also introduces unbonded bracing, vibration controlling panel, steel damper and other products developed for the structures to respond to energy absorption needs and discusses a new development in structural steels in perspective. In the area of building structures, there are new concepts of the earthquake resistance which may not necessarily be in conformity with the conventional design datum. Against the background of increasing concerns over since the safety of structures since the recent Osaka-Kobe Earthquake, work in this area will be accelerated. Development on such design concepts will need to be pushed through joint efforts of both engineers for structures and steel. This paper also gives a general description of tuned liquid damper (TLD) and of frictional damper using new ceramics.

### 1. はじめに

地震国である我が国の建築物にとっては, 予測できない大地震にいかに対応するかが最大の課題である。現在に至るまで, 高じん性でかつ安定した耐震要素の開発に多くの努力が払われてきた。昨今では, これらの耐震要素をより積極的にエネルギー吸収要素として利用することが始められている。例えば, 早期に耐震要素を塑性化させてエネルギーを吸収し振動抑制を効率的に行ったり, エネルギー吸収を特定の要素に集中させてメカニズムを簡明にしかつ鉛直支持部材の健全さを確保する方法などが挙げられる。先頃の阪神大震災による構造物の安全性への関心の高まりを背景として, 今後, この方面の研究はより一層進められるものと思われる。ここでは, これらに対応して開発が進められてきたアンボンドブレース, 制振パ

ネル等の概要を紹介するとともに, 建築用鋼材の新たな方向を展望する。

アンボンドブレースは優れたじん性を持つ耐震要素として開発された。心材を鋼管とモルタルで囲み心材の座屈を防止することで, 圧縮, 引張ともに安定した復元力特性を特徴としている。今回, 大容量部材の実大実験を行って復元力特性, 歪分布, 2次曲げモーメントの影響, 鋼管の安全率などについて確認を行った。併せて, 超高張力鋼 (WT780), 極低降伏点鋼 (LYP100) 及び両者の組合せによる新しいタイプの耐震要素としての可能性をうかがっている。

制振パネル (弾塑性履歴型鋼板パネル) は, せん断パネルに低降伏点鋼を適用したもので, 高じん性, 大容量の耐震要素として開発を行った。大変形時における安定性を特徴としている。また, 早期 (設計荷重レベル 1 の約 1/2) に降伏を開始させた場合の制振効果に

\*<sup>(1)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部  
部長代理

\*<sup>(2)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 システム建築部  
室長

\*<sup>(3)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部  
部長代理

\*<sup>(4)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築鉄構部

\*<sup>(5)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部

\*<sup>(6)</sup> 技術開発本部 先端技術研究所 新材料研究部 主幹研究員

\*<sup>(7)</sup> エンジニアリング事業本部 建築事業部 建築設計部 部長

についても述べる。

免震スチールダンパーについては、大地震後の安全性判定のため、実大モデルにて疲労試験を行い疲労曲線を求めている。併せて、ランダム波による破断実験により累積疲労損傷度評価法の検証を行っている。

エネルギー吸収システムの研究として、各種金属系材料の比較結果を紹介するとともに、エネルギー吸収能力の評価法に対するアプローチ及び今後の展開について述べる。

また、新素材の応用として、速度依存性の少なく、耐久性の優れたセラミック摩擦材とそれを応用した摩擦ダンパーについて紹介する。

更に、タワーなどの制振を目的として開発された TLD (Tuned Liquid Damper) とそれを適用した場合の効果について述べる。

## 2. アンボンドブレース

建築物の耐震要素として“ブレース”が効果的なことはよく知られており、低層から高層建築まで幅広く使用されている。しかしながらブレースは圧縮力が掛かると座屈して急激な耐力低下を生じ、このことが塑性域において地震エネルギーの吸収を期待する部材としては大きな欠点となっていた。これを解決するために、心材を鋼管とモルタルにて座屈拘束した“アンボンドブレース”を提案し、

現在まで多くの建築物に使用されている (図1, 2 参照)。

アンボンドブレースの実用化に際しては、種々の実験により安定した復元力特性を持つことが確認されてきた。しかしながら、近年適用される建築物の大型化に伴って、当初想定していたサイズ、プロポーシオン、材質では対応できない場合がみられ始めた。また、単なる耐震要素という受動的な方法ではなく、積極的に建築物の振動性状 (固有周期, 減衰率, 塑性率, 剛性率, 偏心率) をコントロールするためのツールとして使用されるようになってきた。このような背景のもとで、今回、大容量のアンボンドブレースの実験を行って、その挙動を把握するとともに、2次曲げモーメントの影響、鋼管の座屈安全率などについても検討を行った (表1 参照)。

また、心材に高張力鋼 (WT780) と極低降伏点鋼 (LYP100) を組み合わせ、新たなアンボンドブレースの可能性を検討した。実験は建設省建築研究所1 000t 構造物試験機を使用した (写真1 参照)。

軸方向変形±50mm (軸歪1/100) までの漸増加力を行ったが座屈現象は見られず、図3に示すように、引張、圧縮側共に安定した復元力特性が得られた。歪の分布も均一である。

また、座屈に対する鋼管の安全率は心材に対して1.0とすることで十分その性能を保つこと、アンボンド材の厚みの変化は復元力特性にはほとんど影響を与えていないことが確認された。2次曲げモーメントについては、アンボンドブレースのジョイント間長さがブレース芯-芯距離の1/2程度以上であれば、復元力特性には問題を生じないことが実験と解析によって確認された。

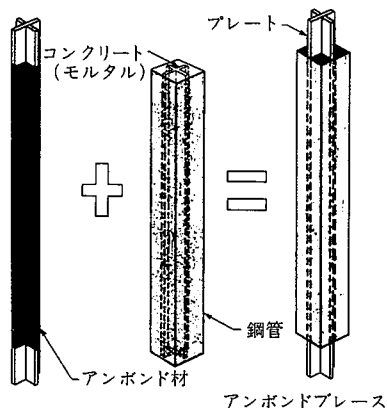


図1 アンボンドブレースの構成

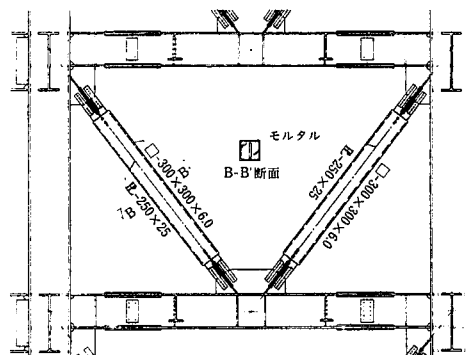


図2 設計例

表1 試験体一覧表

	試験体名	芯材			鋼管サイズ	偏心量 (mm)	アンボンド材厚 (mm)
		材質	タイプ	サイズ			
基本モデル	400-36	SS400	-	36×250	□-300×300×6	ナシ	2.0
	400+28	↑	+	28×250	↑	↑	↑
薄肉鋼管モデル	400-36T16	↑	-	36×250	□-300×300×1.6	↑	↑
	400+28T16	↑	+	28×250	↑	↑	↑
アンボンド材厚変化モデル	400-36C05	↑	-	36×250	□-300×300×6	↑	0.5
	400-36C40	↑	-	36×250	↑	↑	4.0
異種鋼材モデル	780-19	WT780	-	19×231	↑	↑	2.0
	100-19	LYP100	-	19×250	↑	↑	↑
	800+19	(注)	+	19×250	↑	↑	↑
偏芯モデル	400-36E30	SS400	-	36×250	↑	30	↑
	400-36E80	↑	-	36×250	↑	80	↑
	400+28E20	↑	+	28×250	↑	20	↑
	400+28E50	↑	+	28×250	↑	50	↑
	400+A28E50	↑	+	28×250	↑	50	↑

(注) 880+19の芯材は WT780 と LYP100 をクロスして十字にしたものである。

高張力鋼 (WT780)、極低降伏点鋼 (LYP100) 及びこれらの組合せを心材とした場合、全て軸方向変形50mm (軸歪1/100) までの安定した復元力特性を示している。更に、組み合わせの場合には極低降伏点鋼によるエネルギー吸収能力の増加量が明快に現れており、耐震性能と制振性能をともに持ち得る新しいアンボンドブレースの可能性が確認された (図4～6参照)。

アンボンドブレースはエネルギー吸収を目的とする耐震・制振部材であり、超高層より低層の建物まで幅広く適用でき、既存建物の耐震補強にも適している。今後とも、各種ニーズに合わせて開発を進めていくつもりである。

なお、アンボンドブレースは耐震部材として1991年12月、日本建築センターの一般評価を取得している。

### 3. 制震パネル (弾塑性履歴型鋼板パネル)

制震装置の履歴に期待する制震機構は、一般にその効果を発揮するために、その装置がもつ降伏変形を超えた塑性変形が要求される。したがって大きな変形を伴う大地震に対しては有効であるものの、中小地震に対する制震効果は期待しにくい。このような各種制震装置の持つ特徴と限界を考慮し、中小地震から大地震に至るまでの広範囲にわたってその制震効果を発揮しうる制震機構として開発されたのが、極低降伏点鋼を用いた鋼板パネルを制震源とする制震パネルであり、以下に記す特徴を持っている。

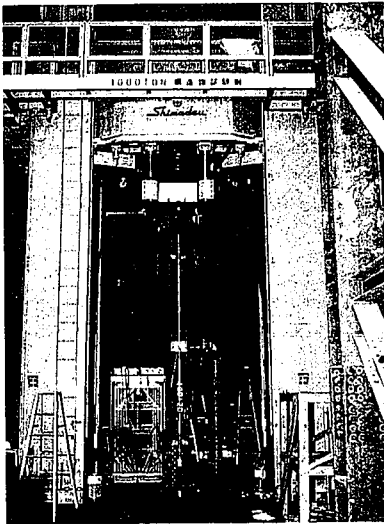


写真1 試験体の全体図

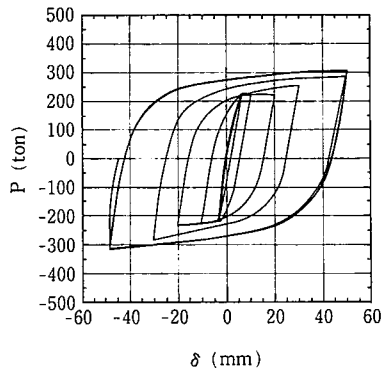


図3 荷重-軸方向変形

- (1) 建物の初期剛性を高め、中小地震に対しては建物の変形を減少させる。
- (2) 大地震に対しては、履歴ダンパーとして機能し、応答値を減少させる。
- (3) 履歴ダンパーとして機能しかつ自ら水平力を分担する構造部材である。
- (4) パネルのせん断降伏荷重の設定によって、履歴減衰を開始させる振動である。
- (5) クライテリアを自由に設定することが可能である。

各層のスパン内に鋼板パネル(極低降伏点鋼 BT-LYP100)を組み込んだ架構例を図7に示す。制震パネルは図8に示すように、高い水平剛性を確保するように方杖で補強されたせん断パネル降伏型のパネルである。地震荷重下で純せん断を被るように配し、それがも

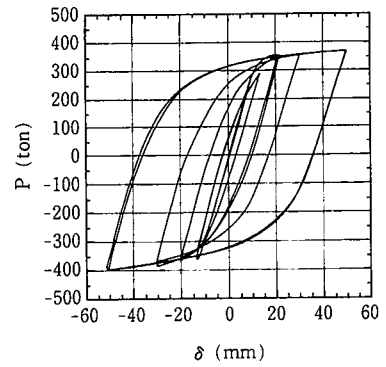


図4 荷重-軸方向変形(WT780)

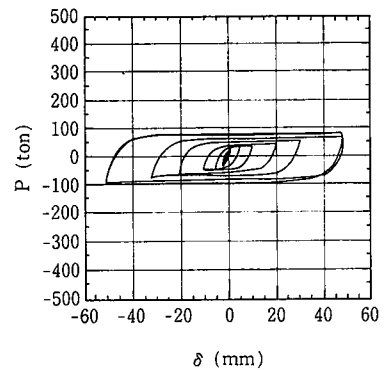


図5 荷重-軸方向変形(LYP100)

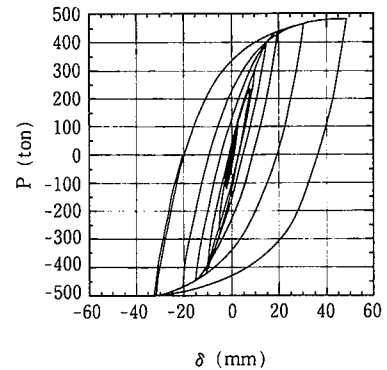


図6 荷重-軸方向変形(WT780+LYP100)

つ極低降伏性を利用して、地震に対して履歴によるエネルギー消費を期待することができる。

この実施例としては30階建ての架構があり、1次設計の半分程度の地震荷重レベルでせん断パネルを降伏させるとともに、2次設計レベルまで劣化しないようパネルには極高靱性を有する極低降伏点鋼を使用している。また、事前の検討において、その建物に鋼板パネルを組み込むことにより減衰率が1%程度増加し、定常振動であれば15%程度、ランダム振動であれば5%程度応答値が減少することが分かっている。

極低降伏点鋼からなる鋼板パネルが図7、8に示す構造形式においてエネルギー消費部位として十分機能しうることを確認するための実験を実施したのでその一部を以下に紹介する。

板厚6mmの極低降伏点鋼(BT-LYP100)からなるパネル部を取

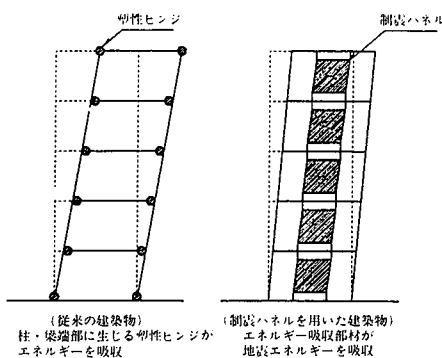


図7 従来の建築物とエネルギー吸収部材である制震パネルを用いた建築物の比較

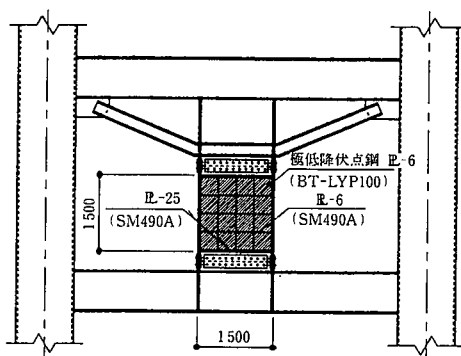


図8 制震パネル詳細図

表2 鋼板パネル部の種類及び荷重条件

材料	試験体タイプ	荷重条件				
		両面縦補剛	両面縦横補剛	片面縦横補剛	リブ R-12	片面縦横補剛
極低降伏点鋼	静的漸増繰返し (軸力=0)	○	○	○	○ ○	○
	静的漸増繰返し (軸力)	(30%)	(30%)	(45%)	(45%) (45%)	(45%)

(特記なき限り補剛リブはE-6とする)

り出し、表2に示すパネル形状について、静的漸増繰返し載荷実験を行なった。試験体のパラメータとしてはパネル幅厚比、リブ剛性及びパネル部の降伏軸力比となっている。パネル部が片面縦横補剛された試験体の形状を図9に、載荷後のパネル部の様子を写真2に、その実験結果を図10に示す。これらの各種実験結果より以下のことが明らかになった。

- (1) 繰返し変形下における鋼板パネルのエネルギー吸収能力は極めて安定しており、小さな変位から大きな変位に至る幅広い変位領域において、十分な履歴減衰が期待できる。
- (2) 履歴の劣化を促進するのは、パネルの板座屈とその後の繰り返しによる面外たわみの伸張、更には過激な面外たわみに誘発される亀裂であるが、板座屈発生そのものはエネルギー吸収能力そのものの急激な劣化には結び付かない。顕著な劣化に至る

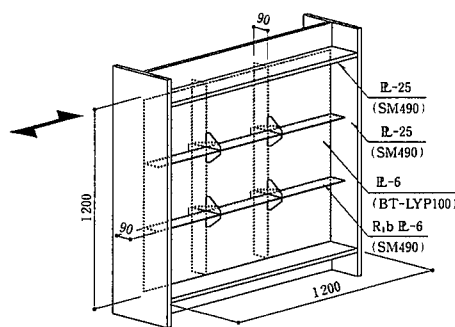


図9 片面交差補剛付パネル(縦横各3分割, リブ厚:6mm) 静的漸増繰返し(軸力:なし)

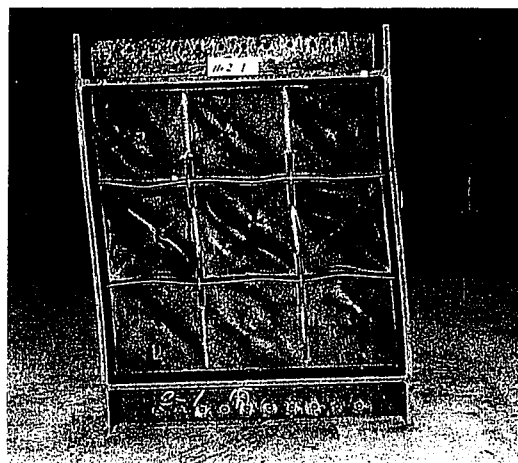


写真2 載荷後のパネル部の様子

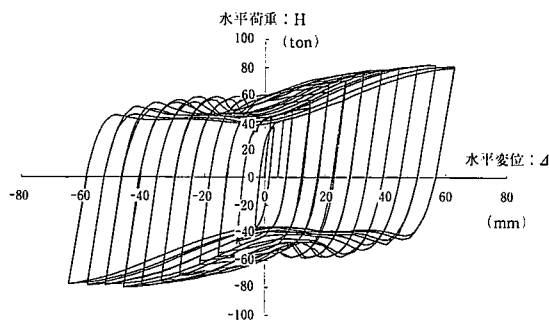


図10 水平荷重と水平変位との関係

までには、面外座屈発生後も数倍の繰返しが必要である。

(3) 大きな水平力を負担する場合でも、極低降伏点鋼パネルの全体座屈が生じないような適切なリブ剛性を設定することにより、耐力劣化を起こさない非常に安定した履歴ループが期待できる。非常に優れたエネルギー吸収能力を有する鋼板パネルを建物に設けることで、地震時のエネルギー吸収をパネル部に受け持たせて被害を集中させることができる。これにより、主体構造には損傷を与えることなく、構造体の継続使用が可能となる。なお、この鋼板パネルは関東大震災クラスの地震なら数回は耐えることができるが、たとえば一、パネル部の塑性化が著しい場合でもパネル部のみの取り替え可能な接合となっている。

#### 4. 免震スチールダンパー

免震構法は水平剛性の低い積層ゴムアイソレーターを使って建物全体を地面より切り離し地震力そのものをカットするとともに、ダンパーにより揺れのエネルギーを吸収してしまう構法である(図11参照)。新日本製鐵では、4本の丸鋼を花びら状に加工したスチールダンパーを実用化している。これらの詳細については既に紹介しているので割愛する。ここでは、引続き行われた繰返し性能確認試験及び累積疲労損傷度の評価法について述べる。

スチールダンパーは鋼材の塑性化により、振動エネルギーを熱エネルギーに変換して建物の横揺れを抑制する。従って、効率的なダンパーである程、塑性歪を有効に利用するため、耐久性すなわち塑性疲労の問題がクローズアップされてくる。大地震を受けた場合に、ダンパーを取り替えるべきか判定が必要になってくるからである。

また、ダンパーの設計においても、要求性能とダンパーの性能を把握したうえで、合理的な形状、材質などを選ぶ必要がある。

このような背景のもと、(株)奥村組と共同で実大モデルによる疲労試験を行ない疲労曲線を求めた、併せてランダム波にてダンパーの破断試験を行い、マイナー則がほぼ成立していることを検証した。

試験体には70φタイプスチールダンパーを採用し、動的繰返し加力はループ1本タイプを2方向について行い、漸増加力と大変形試

験はループ4本タイプにて行った(表3参照)。鋼棒はCrMo鋼(SCM415)を曲げ加工後、焼きなまししている(表4参照)。試験は(株)奥村組波研究所の圧縮せん断試験機を使用した(写真3参照)。

動的繰返し加力試験の結果を“振幅-破断までの繰返し回数(Nf)”, “歪-Nf”として回帰曲線, 回帰式とともに図12に示す。“歪-Nf”

表3 試験項目と試験体数

実験項目	試験体形状	鋼棒数	数量
(a)静的漸増加力試験	70φtype	4本	2体 [2体]
		1本	
(b)大変形加力試験		4本	(1体)
(c)定変位動的繰返し加力試験		4本	(1体)
(d)定変位動的繰返し加力試験		1本	14体
(e)応答波加力試験	1本	5体	

[ ]内は(d)と試験体を兼用, ( )は(a)と試験体を兼用

表4 鋼棒の機械的性質

項目	試験結果
降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	33.3~34.7
伸び (%)	32.5~35.9
硬さ (HB)	141~145

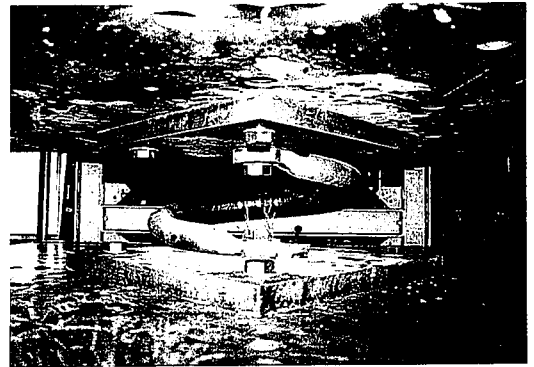
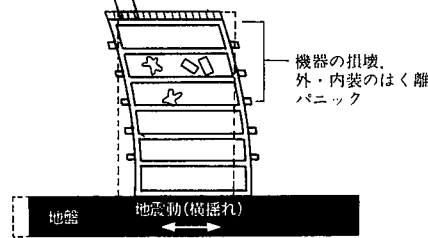


写真3 試験体

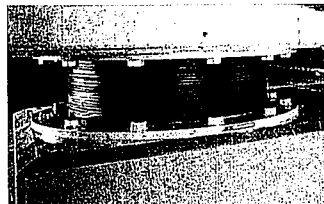
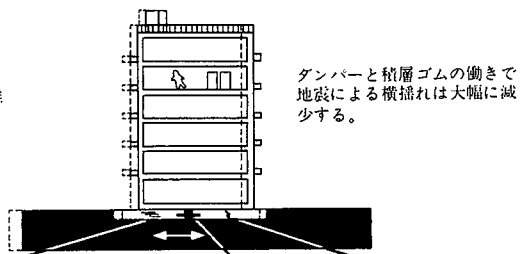
#### ●通常の建物

地震により、大きな横揺れを起こす。

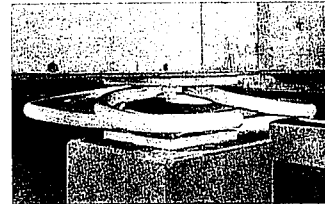


#### ●免震構法の建物

ダンパーと積層ゴムの働きで地震による横揺れは大幅に減少する。



アイソレーター  
鉄板とゴムの積層パネで地面と建物を切り離す。



スチールダンパー  
熱間鍛造によるコイル状の鋼棒で大地震のエネルギーを吸収する。



鉛ダンパー  
補助的に用いる。

図11 免震構法

では, 接線方向と中心方向の回帰曲線はほぼ重なり, 最大歪と Nf との一定の関係が見られる。

また, 免震建物に当該スチールダンパーを適用したものを想定して応答解析によりランダム波を作製した。これらの波にてダンパーを繰返し加振し, 破断までの波数をカウントした。八戸50kine 程度の地震波ならば26回耐える性能が明らかになっている。累積疲労損傷率 (Dk) を歪みに基づいて計算した場合には, 0.721~0.819の中に納まっており, マイナー則がよく成立していることを示している。これによって, 大地震の場合に建物の変位量を応答解析等により求めることでダンパーの累積疲労損傷率の算定を行い, 安全性の確認が可能となった (表5参照)。

### 5. エネルギー吸収システムの研究

構造部材の塑性化に伴う履歴吸収エネルギーを考慮した設計は従来でも行われているが, 各部材がどの程度エネルギー吸収に寄与しているかは必ずしも明確ではない場合が多い。これに対して, 意図的に柱, 梁など鉛直荷重を支持する部材とは独立して特定の部材に地震などのエネルギー吸収をさせようという提案が行われてきている。

一方, 鉄を始めとする金属系材料は, 耐久性, 安定性ともに優れ, 高強度で, 温度や速度の影響を受けないという特徴を持っているが, エネルギー吸収という観点からは明らかにすべき点が少ない。例えば, 塑性変形能力, 累積塑性変形能力, 繰返し時の変位振幅と繰返し回数の関係, 歪硬化の影響, 累積エネルギー吸収能力及び要求性能自体などである。

これらの背景のもとに, 各種金属系材料の利用可能性について, 建設省建築研究所と共同で検討が進められた。まず, 各種金属のデバイスとしての可能性検討のため, アスペクト比 (長さ/梁せい) を1, 2, 4とした短梁 (H-250×125×6×9) にてせん断実験が行

われた (図13, 写真4参照)。代表的な単調加力と繰返し加力の結果を図14に示す。繰返し加力の場合, アスペクト比の小さい方がアスペクト比4の場合に比べて, 累積エネルギー吸収量は大きくなる。これはフランジ部の曲げ降伏による耐力劣化の影響と考えられる。

続いて, 上記短梁をエネルギー吸収デバイスとして門型フレームに組み込んだ架構実験が行われた (写真5参照)。ウェブを LYP235, LYP100, LYP100と SS400の組合せの3種とし, アスペクト比は2

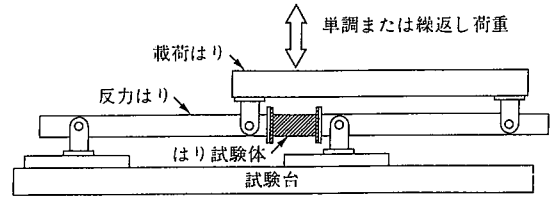


図13 加力装置

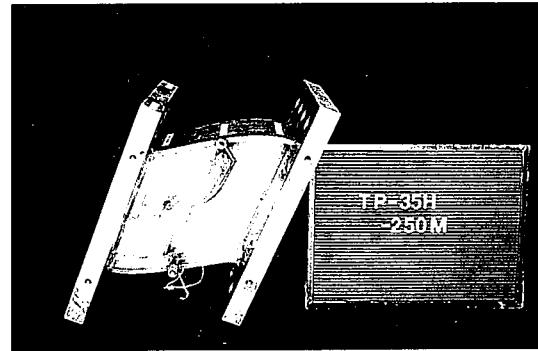


写真4 実験終了後の LYP100-C-2 試験体

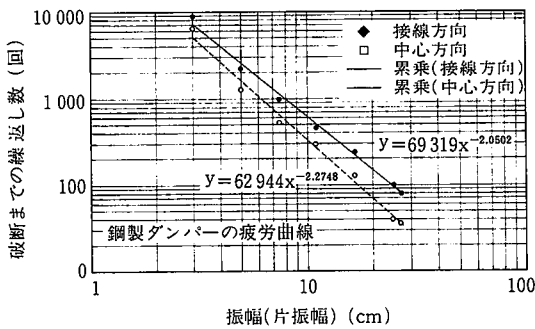


図12 振幅と破断までの繰返し回数

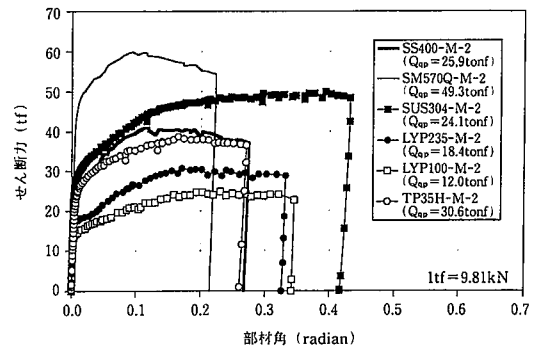


図14 単調加力におけるせん断力-部材角関係(アスペクト比2)

表 5 破断までの波数と累積疲労損傷率

方向	加振波	破断までの波数	累進疲労損傷率 (変位)	(歪み)
接線	HACHI 25	238.1	0.967	0.733
	HACHI 50	66.3	1.108	0.798
	EL CE 50	67.1	0.944	—
中心	HACHI 25	140.7	0.870	0.721
	HACHI 50	26.2	0.827	0.819

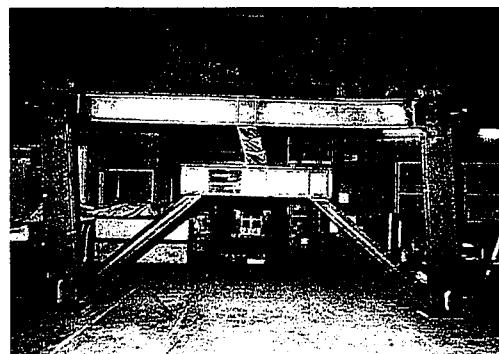


写真5 試験体Bの破壊状況

としている(図15参照)。各試験体とも紡錘形のエネルギー吸収能力に富む履歴ループを示している。また、各試験体とも実質的な降伏荷重は、門型フレーム部分の降伏荷重とデバイスのせん断降伏荷重の計算値の和として評価が可能である。

一方、鋼材のエネルギー吸収能力の評価についての各種試みが進められているが、図16は低サイクル疲労試験結果より算定したもので、破壊までの累積吸収エネルギー量を歪振幅ごとに示す。歪振幅によっては優劣が逆転する場合もあることが示されている。また、図17には鉄系合金の疲労特性の比較図であり、鋼種により破壊までの繰返し数にも差が生じている。これらの現象は、鋼材のエネルギー吸収性能とその応用方法についての一つの可能性を示唆しているものと思われる。

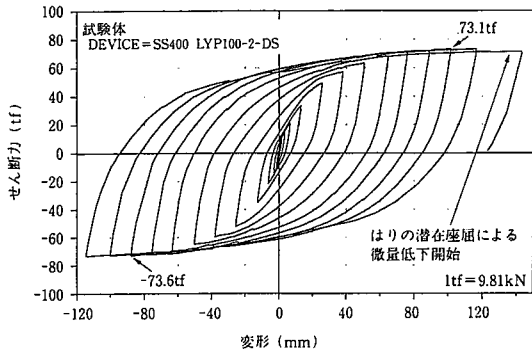


図15 せん断力-層間変形関係

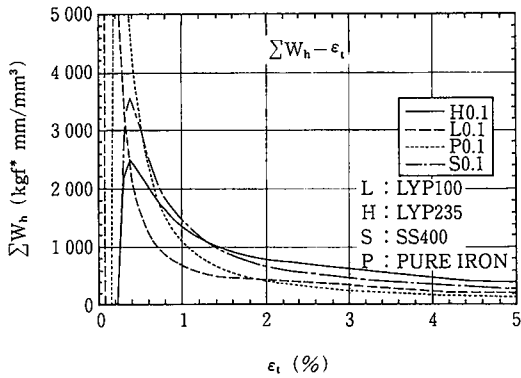


図16 累積ヒステリシスエネルギー(ΣWh)-全歪振幅(εt)

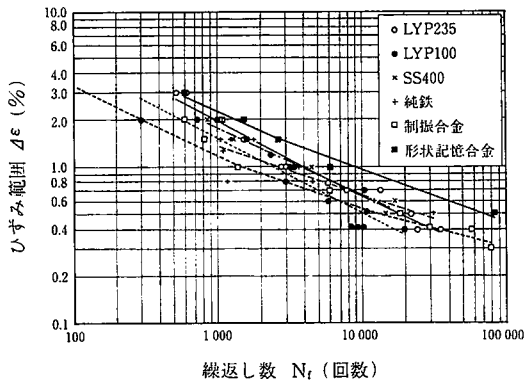


図17 鉄系合金低サイクル疲労特性の比較

## 6. セラミック摩擦ダンパー

制振を目的とした新しい摩擦ダンパーが東京建築研究所及びユウエンジニアリングと共同で開発された。摩擦ダンパーを建築物の制振に応用する場合には、低速度における摩擦力の安定性と高い耐久性が必要とされることに特徴がある。

この目標を達成するために、先端技術研究所新材料研究部にて摩擦材の開発を行い、摩擦係数が安定かつ耐摩耗性、耐久性の優れたセラミック摩擦材(SCO-3-4)が得られた。摺動材には、耐摩耗性能の優れた組合せとして、フェライト系ステンレス鋼(YUS410W表面粗さ#150)を採用した。面圧30kgf/cm<sup>2</sup>で図18(a)に示すパターン(1周期の往復動; 11 850回)にて往復動試験を3回繰返した結果

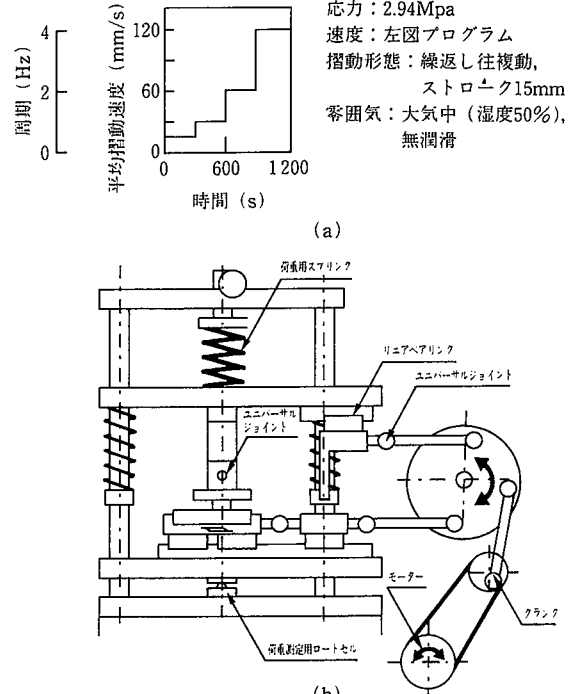


図18 往復動摺動試験機

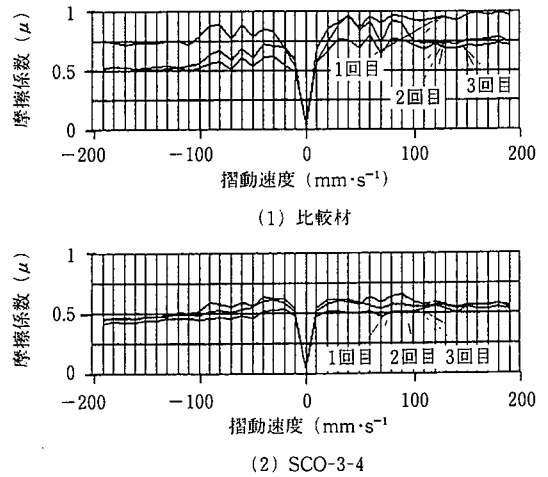


図19 摩擦係数-摺動速度

(図18(b)参照), 図19に見られるように速度依存性の少ない極めて安定した性状が得られている。荷重を制御する締め付け装置には、荷重検定リングを備えた皿ばね内蔵の荷重制御座金 (BT ワッシャー) を採用するとともに、摺動時における締め付け力の変動を緩和することとしている。

現在、実機サイズの試験により、面圧、振幅、振動数をパラメーターとした性能、温度湿度などの環境による影響などについて詳細な検討を進めている。セラミックの接合については、セラミック片を鋼板に嵌合させることで処理している (写真6, 7参照)。

今回開発したセラミック摩擦材は、焼き付きにくく、摩擦係数は優れた安定性を示して速度や変位にほとんど影響されないという特徴を持っている (図20参照)。そのため、エネルギー吸収量の把握が簡単かつ正確に行える利点を持っており、高い耐久性や繰返し性能は中小規模の地震や台風などに対応する制振要素としての大きな可能性が考えられる。摩擦ダンパー試験の結果については、改めて報

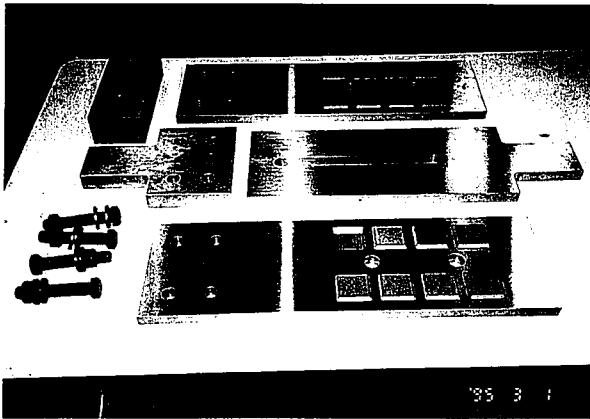


写真6 摩擦ダンパー試験体

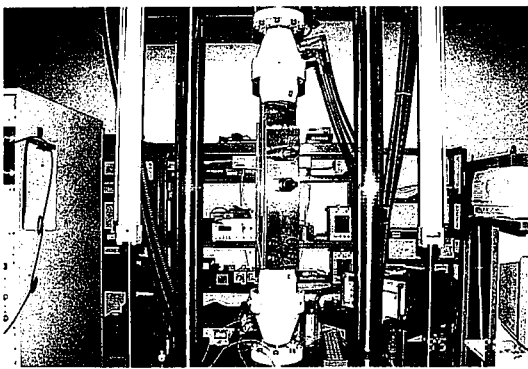


写真7 試験体

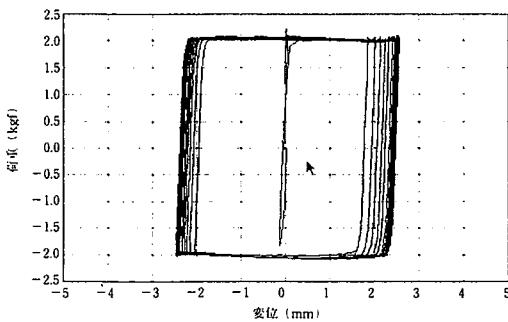


図20 荷重-変位関係

告を行う予定である。

## 7. TLD (Tuned Liquid Damper)

TLD は、建物の頂部に液体の入った容器を設置して、液体の固有振動数を建物の固有振動数に同調させることによって振動エネルギーを吸収し、建物の横揺れを抑える (図21参照)。液体を利用しているために少しの振動でも効果的に反応し、また揺れすぎの場合にも特別なストッパーは不要という特徴があるが、最大のメリットは設置費用の安さとメンテナンスの簡単さである。

制振効果を発揮するためには、建物の“一次一般化質量”の1%程度の“有効質量”が必要とされる。従って、タワーや展望台などの比較的軽量で曲げ変形が卓越する建物の制振に特に有効である。新日本製鐵では、東京工芸大学 田村教授の指導のもとに新日鐵化学 (株) と特殊な形状の TLD を開発している。プラスチックのドーナツ型容器を同心円状につなげてブロー成形による一体化を行った (写真8参照)。この独特の形状により減衰効果を上げ振動抑制効果を向上している (図22参照)。振動数を同調する場合には、建物の振動数を実地で測定して、その結果より水深を調節する。また、浮遊物を

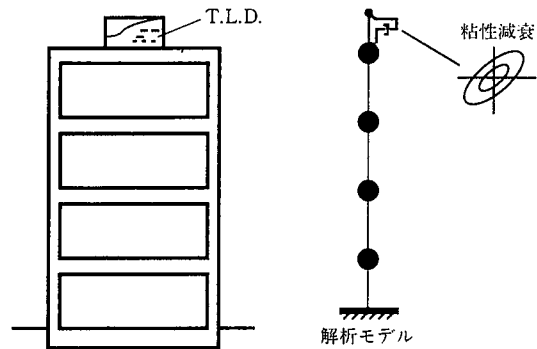


図21 同調液体ダンパーの特性

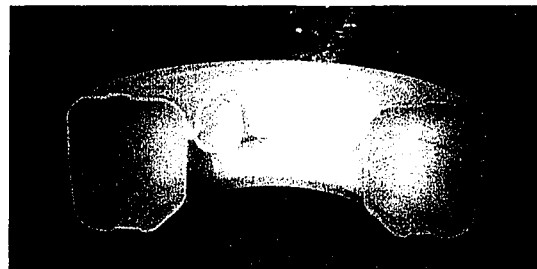


写真8 TLD断面図

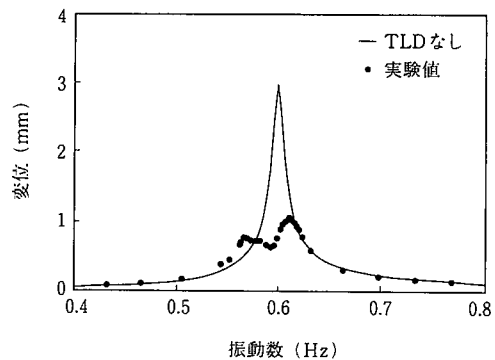


図22 振動数と変位の関係



混入させて減衰を増加させることもできる。屋外で露出の場合には、耐候性塗料により紫外線劣化を防いでいる。

計画中のタワー（H=115m）の風応答解析によれば、再現期間1年の風速（25m/s）に対して塔頂部におけるRMS値（加速度の標準偏差）は約60%に低下し、明らかな制振効果が示されている（図23, 24参照）。

## 8. おわりに

耐震, 制振, 免震に関して, 話題性のありそうなものを拾い出して紹介したが, 結果として鋼材や新素材などに関連したテーマに収束した。建築物のエネルギー吸収システムを開発する場合にも, 材料開発とともに最適設計, 製造・加工方法を組み合わせることが重要であることは論を待たない。この分野のニーズは今後ますます高まって行くものと思う。内外の協力をいただいて, 新たな展開を図って行きたい。

### 参考文献

- 1) 新日鉄技報, (351), p.51(1994)

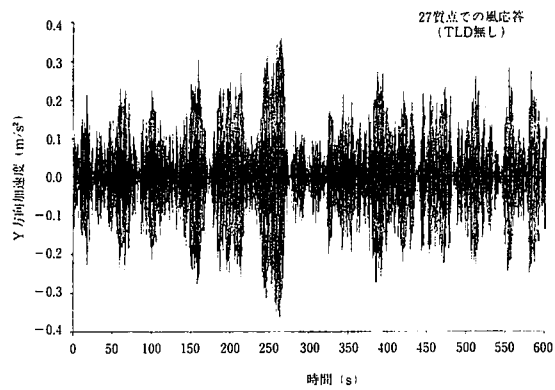


図23 TLDなしの時刻歴加速度

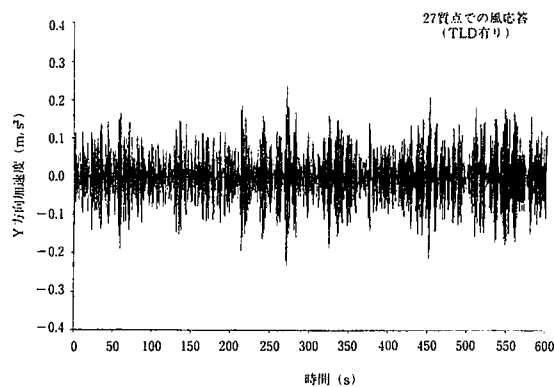


図24 TLDありの時刻歴加速度