

# 第1章 序論

## 第1章 序論

### 1. 1. 研究背景と従来研究

制震構造の研究は、1950年代からの小堀らによる提唱<sup>1)</sup>に始まり、近年のコンピュータ技術をはじめとする先端技術を応用した能動型制震構造の提案<sup>2)</sup>により、各方面でその研究・開発が盛んに行われるようになった。現在においては、受動型制震構造を含め、建築構造界における大きな研究テーマの一つとなっている。

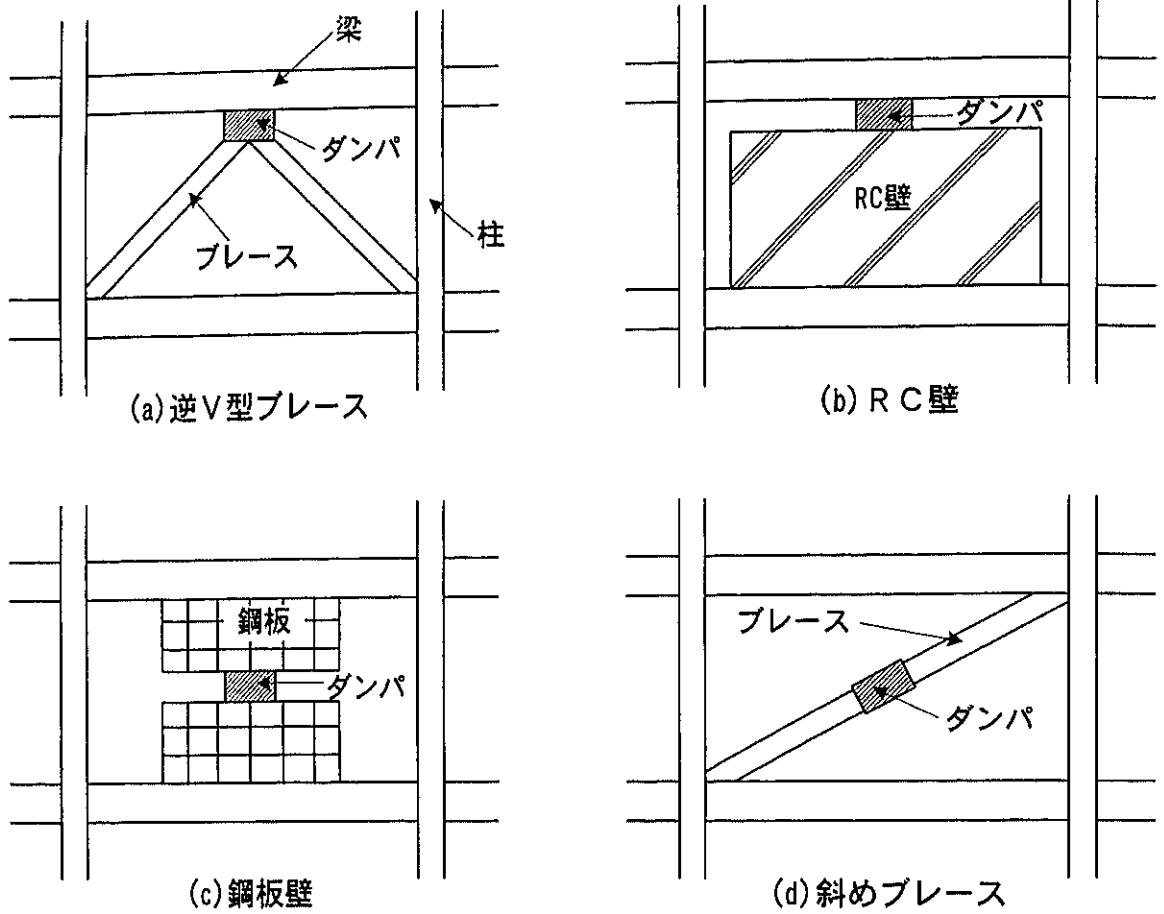
この制震構造の目的は、地震や強風による建物の揺れを抑制することにある。それによる社会的役割の一つとして、強風に対する居住性の向上や中小地震に対する恐怖感の緩和がある。これは制震構造が日常的に果たす役割として、また資本の投資効果を常に実感する上からも重要である。この役割は、現状において主に建物頂部に取り付ける付加質量型の動吸振器が担っている。特に能動型動吸振器であるAMD<sup>3)</sup>、HMD<sup>4)</sup>、APMD<sup>5)</sup>などは、わずかな付加質量を駆動装置により制御することで建物の揺れを効率的に抑制することができるため、多数の適用が図られている。しかし、これらの制震システムは、大地震に対してはシステムを停止したり、何らかのリミット機構によりシステムの保護をはかる必要がある。最近では、大地震を対象とした研究<sup>6)</sup>も行われているが、特に大型建造物の大地震時の安全性に寄与することは、エネルギー確保の上からも困難であるのが現状である。

制震構造のもう一つの役割として、不意に襲ってくる大地震に対して、多くの人命を保護するのみならず、財産や社会資本の保全を図ることが上げられる。この役割は、現状において主にエネルギー吸収部材(ダンパ)を建物架構内に組み込む受動型制震構造が担っている。この制震システムは、組み込んだダンパで地震により生じる振動エネルギーを消費して応答を低減するものであり、各種の形式が研究され実用化されている。各種ダンパとしては、鋼材の降伏によるエネルギー吸収を利用する弾塑性ダンパ<sup>7)</sup>、材料の摩擦抵抗を利用する摩擦ダンパ<sup>8)</sup>、鉛の塑性流動によるエネルギー吸収を利用する鉛ダンパ<sup>9)</sup>、シリコンオイルなどの各種粘性抵抗材の物質的特性を利用する粘(弾)性ダンパ<sup>10)</sup>などが研究されている。弾塑性ダンパや摩擦ダンパは、温度変化や経年劣化に対する安定性に富むため適用例も多いが、減衰付加は減衰定数で2～5%の小さな領域に留まっているものが多く、ダンパが弾性範囲であるような小振幅では効果を発揮しないのが現状である。粘(弾)性ダンパは、多数のダンパを使用することで大きな減衰付加を達成でき小振幅から効果を発揮するが、温度や振動数による性能変動が大きく<sup>11)</sup>、その性能変動を設計に考慮しなければならない<sup>12)</sup>。これらに対

して、オイルダンパは、機械分野では古くから減衰器として使用されてきたものであり、設計目的に応じた装置が設計可能である等、振動吸収装置として高い汎用性を有している。また、大容量の減衰力を得易く、高圧化すれば比較的コンパクトであり、しかも繰り返し使用でき、減衰性能やストローク等の自由度も大きい。しかし、数十年の長期間使用における作動油やシールの経年劣化の問題、使用条件下での性能変動、特に油の粘性が温度依存性を持つことによる減衰係数 $C$ の変動の問題等、建築物の主要構造部材として使用するためには多くの問題を有している。そのため、建設分野においても、例えば代々木屋内体育館の吊り屋根、首都高速道路の橋脚と橋桁の接合部<sup>16)</sup>、建設会社の独身寮<sup>16)</sup>に適用されているが、これらはいずれも振動吸収のために補助的に使用されたものであり、主要構造部材として用いられているものは見あたらない。

一方、ダンパを組み込んだ構造体の振動特性に関する研究も行われ、その応答低減効果の把握がなされている<sup>17),18)</sup>。これらの研究では、例えば図 1-1-1 に示すように、建物の層間に壁、ブレース、鋼板などの剛性要素を介してダンパを取り付け、地震時の建物の変位（速度）をダンパ部に集中させるものが多く扱われている。このような、取付方法において、大型構造物に対する大きな減衰付加を目標とする場合には、ダンパの減衰要素に直列に存在する付加構造やダンパのバネ要素の剛性（これらを併せて以降、付加剛性）が、建物フレーム剛性に対して剛として扱うことができず、それが減衰付加性能に大きな影響を与える<sup>19)</sup>。しかし、これまでは、ダンパにより構造物に与える付加減衰定数が小さな値であったり、ダンパの使用目的が補助的なものであることから、この付加剛性が考慮されず、図 1-1-2 に示すようなフォーク型モデルで検討されることがほとんどであった<sup>20)~22)</sup>。最近において、この付加剛性の重要性が認識され、その影響を考慮に入れた設計方法<sup>23)</sup>や、基本的な振動性状<sup>24),25)</sup>などの研究も行われるようになってきている。

また、実建物への各種ダンパの適用も多数行われている<sup>26)~28)</sup>。その内、粘(弾)性体ダンパやオイルダンパを用いたものは、小振幅レベルから効果が期待できるため、完成した建物による常時微動計測を含む振動実験や地震観測がいくつかの建物で実施され、制震装置による減衰付加量が確認されている<sup>29)~33)</sup>。しかし、これらの実験や観測においては、その振動レベルが小さすぎることや、制震装置の力学モデルが明確に設定できないことにより、この減衰付加量が設計時に設定した振動解析モデルとの関係において妥当なものであるかどうかを確認するにいたる研究は見あたらない。



(a) 逆V型ブレース

(b) RC壁

(c) 鋼板壁

(d) 斜めブレース

図1-1-1. ダンパ取付例

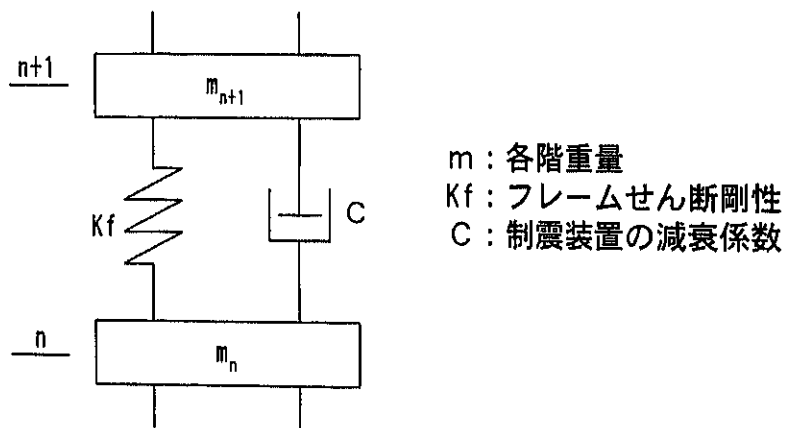


図1-1-2. フォークト型モデル

## 1. 2. 研究目的

本研究は、高層建物のような大型構造物に対しても高い減衰性能を与えるためのものであり、従来の同種の制震構造と比べて比較的高い減衰性能(減衰定数で 10%程度)を付与することを目的にしたものであるため「高減衰構造」と呼称する<sup>34)</sup>。本構造の構成は、減衰係数  $C$  を実現する受動型制震装置(オイルダンパ)を建物内に組み込むものであり、ダンパの組み込み方には各種の方法が可能であるが、ここでは図 1-2-1 に示すような広範囲の構造物に対して適用性を有する柱梁架構内に付加構造としてのブレースを介してオイルダンパを設置する方法を用いる。なお、剛性要素として、ブレース以外にも RC 壁、鋼板などの耐震要素を用いた構造体に対しても本研究の成果を活用することができる。本構造の振動モデルは、図 1-2-2 に示すようにオイルダンパのバネ要素とブレースのバネ要素を合成した付加剛性にオイルダンパのダッシュポット要素を直列に配置したマックスウエル型モデルが、柱梁フレームのせん断剛性を表すバネ要素と並列に配置された 3 要素マックスウエル型モデルとなる。このモデルでは、通常フォークト型モデルのように、減衰係数  $C$  の増加により減衰定数  $h$  が一律に増加せず、減衰定数は所定の減衰係数で最大値を示してその後低下する傾向を示す。本研究では、まずこの特性に着目して振動特性を論じる。

高減衰構造のように、構造物の減衰性能を減衰定数で 10%以上高めることで、地震動の卓越成分を低減してスペクトル形状が平滑化され、個々の地震動の特性に比較的依存しない建物の応答特性が得られる。この様子を加速度応答スペクトルで見ると、図 1-2-3 に示すように減衰定数が 10%で地震動の卓越成分はかなり低減され、それ以上ではあまりスペクトルに差のないことがわかる。また、この程度の減衰定数が確保されていれば、オイルダンパのいくらかの性能変動も、建物の応答値にほとんど影響を与えない。このように、構造物を高減衰構造化することは、これまで構造体の塑性エネルギー吸収能力により補われることになっていた設計時に想定されない地震動に対する構造体の損傷を低減し、不確定な地震動に対する安全性を向上させることに寄与する。

本構造に用いるダンパとしては、速度に概ね比例した減衰係数  $C$  を実現できる粘性体ダンパ、粘弾性体ダンパ、オイルダンパ等が考えられる。本研究では、1.1 節で述べた各種ダンパの特性を考慮して、減衰器として多大の実績を有するオイルダンパを選定した。本研究で開発したオイルダンパ構成を図 1-2-4 に示す。オイルダンパの力学モデルは、ダッシュポット要素とバネ要素が直列に配置されたマックスウエル型モデルとなる。このバネ要素の剛性は、ブレースの剛性ととも本構造の減衰性能に大

きな影響を与えるものであるため十分な大きさを有することが望まれる。これに対して、オイルダンパの剛性を主に支配する作動油の体積弾性係数は、建築構造体の剛性に対抗するに十分な大きさを有している。そして、本オイルダンパの研究では、建築物の主要構造部材としての性能安定性、及び耐久性を有することを目標とする。また、多層構造物にオイルダンパを設置して効率的に使用するため、減衰力の制限機構を設ける。この機構は、ピストン内に挿入されたリリーフ弁が所定圧力以上で開くことで実現される。さらに、オイルダンパは小振幅から大振幅まで減衰性能を発揮することができる特性を有しているため、強風や中小地震に対しても効果を発揮できるよう小振幅での減衰性能確保にも留意する。

以上の研究成果として、大型構造物に対しても効率的に高い減衰性能を付与することができ、小振幅から効果を発揮する制震構造が、比較的簡易な受動型制震により実現されることとなる。さらには、そのオイルダンパが一般の構造部材と同等の信頼性、安定性を有することで、地震時の柱梁フレームの損傷低減や、不確定な地震動に対する安全性が増し、それによる柱梁フレームの省力化・均一化も可能となる。このように、高減衰構造の実現は、社会・経済に対して大きく貢献するものである。

本研究では、まず高減衰構造の基本的な振動特性を明らかにする<sup>36)</sup>。ここでは、効率的に高減衰構造を実現するため、オイルダンパの減衰力を制限する機構<sup>37)</sup>を導入し、この機構による特性についても考察する。次に、高減衰構造に用いる制震装置としてのオイルダンパについて、その仕様、構成、及び設計上の留意点を示す。これらに則り設計製作した実大オイルダンパを用いて動的加力実験を行い、性能を確認すると共に、シミュレーション解析によりオイルダンパの力学モデルの妥当性を検証する<sup>36)</sup>。また、2つの実建物への適用事例<sup>38),39)</sup>を示し、本構造が実建物において達成する効果を論じると共に、実建物への適用において考慮すべき事項を考察する。最後に、適用建物の一つである高層建物における振動実験、及び地震観測結果から、本構造の減衰付加性能を確認すると共に、これらの結果を踏まえて構築した振動解析モデルの妥当性を検証する<sup>40)</sup>。これらより、高減衰構造の有効性、実用性、及び信頼性について論じる。

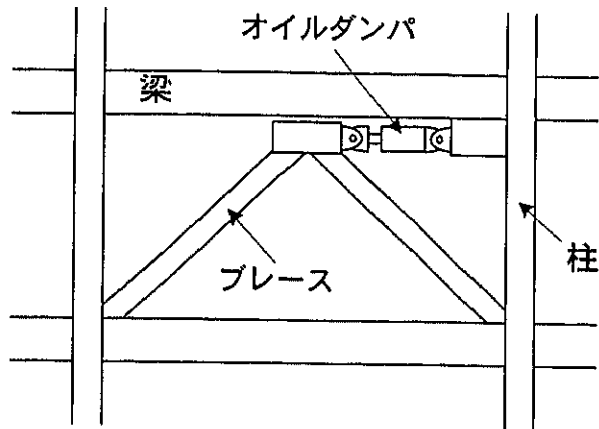


図1-2-1. 対象架構

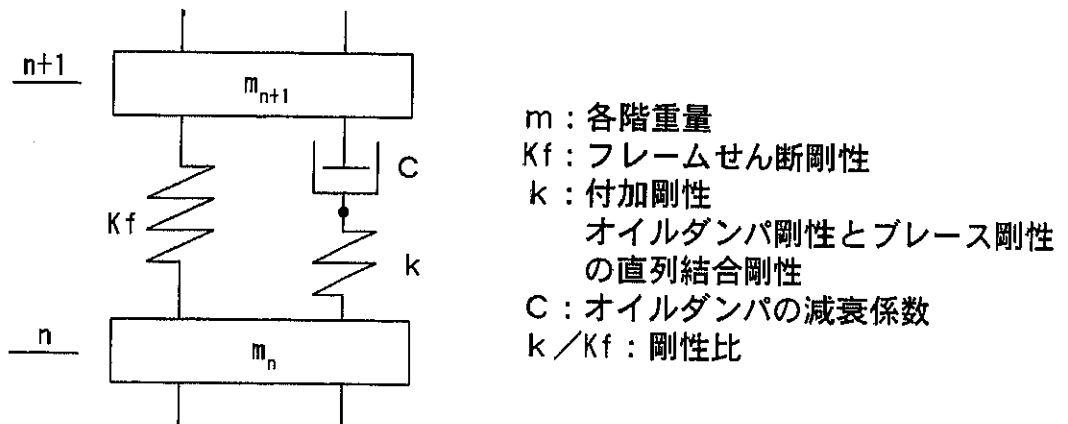


図1-2-2. 振動モデル

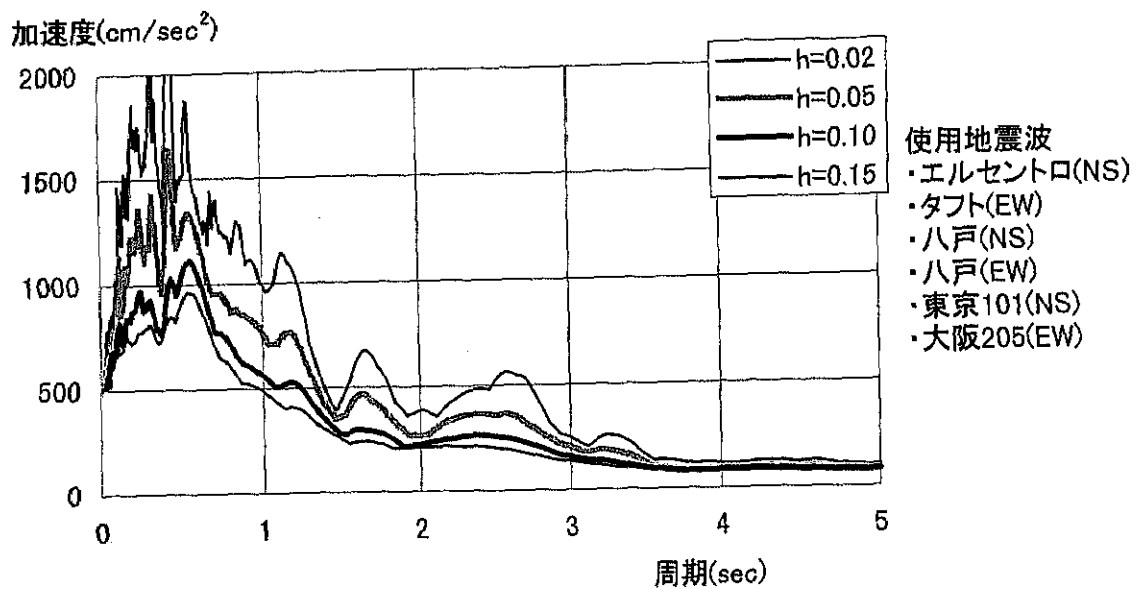


図1-2-3. 包絡加速度応答スペクトル

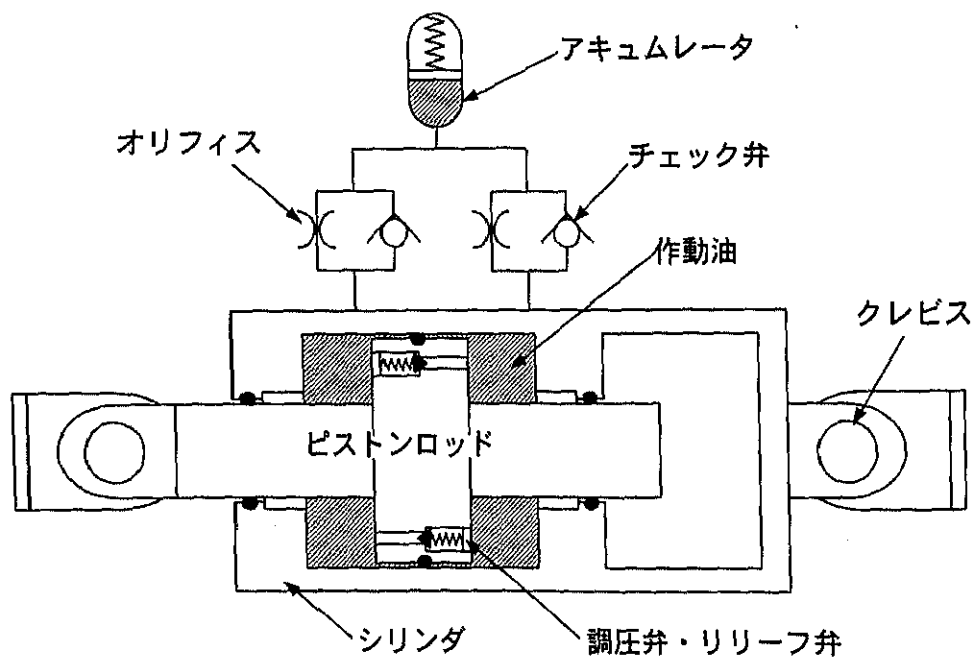


図1-2-4. オイルダンパ構成



### 1. 3. 本論文の構成

以下に、本論文の構成と各章での研究内容の概要を示す。

第1章「序論」では、研究背景と既往研究について概観し、次に本研究の目的を述べると共に高減衰構造のねらいについて説明する。最後に、本論文の構成を記している。

1. 1節では、研究背景と既往研究について概観する。

1. 2節では、本研究の目的を述べる。

1. 3節では、本論文の構成を示し、各章で述べる研究内容の概要を示す。

第2章「制震システム」では、高減衰構造の基本的な振動特性を検討し、設計に有効となる指標に関して考察する。また、実建物を想定して振動モデルの諸元を設定し、振動特性を把握すると共に、地震応答解析により応答最大値の傾向や応答低減効果を確認する。

2. 1節では、1及び5ユニットモデルを用いて本構造の基本的な振動特性を示す。まず、高減衰構造の振動特性（減衰定数、固有周期）を、オイルダンパの減衰係数をパラメータとした複素固有値解析により把握すると共に、フレーム曲げ変形やオイルダンパ配置による影響についても考察する。次に、オイルダンパを最適減衰係数（減衰定数が最大となる減衰係数）に設定した場合の諸特性を複素剛性により検討する。ここでは、オイルダンパ応答値（特に、減衰力）に着目して、定常入力、及び地震入力に対して考察し、最大減衰力の推定手法を導く。最後に、オイルダンパの効率的な使用を目的に考案した減衰力の制限機構による諸特性を、せん断型1ユニットモデルを用いた定常入力、及び地震入力により検討し、本機構を有効に機能させるための減衰力制限比（線形減衰係数時最大減衰力に対する減衰力制限値の比率）の推奨値を提案する。

2. 2節では、実建物を想定して諸元を設定した構造物を対象として、高減衰構造の特性を確認する。まず、1次固有周期が1秒(9層)、2秒(16層)、4秒(33層)の各種建物モデルを対象として諸元を設定し、オイルダンパを各層同一に配置した場合の振動特性を把握する。そして、弾性地震応答解析によりオイルダンパによる応答低減効果を確認する。また、最適減衰係数でのオイルダンパの発生減衰力を2.1節の手法をもとに推定する。さらに、減衰力制限値をパラメータとした比較解析より、減衰力制限機構の有効性を確認し、2.1節と同様に減衰力制限比の推奨値を導く。次に、25階建て、高さ約100m、1次固有周期約3.3秒の鉄骨造の実建物を想定した構造物を

対象として、高減衰構造化することによる地震応答の低減を考慮して柱梁フレームの設計を行う。オイルダンパの減衰係数は複素固有値解析結果により、また最大減衰力は2.1節、及び本節での推定式、及び減衰力制限比の推奨値をもとに設定する。レベル1（最大速度 25cm/sec）、レベル2（最大速度 50cm/sec）の弾塑性地震応答解析により、本建物が通常の高層建物に用いられる設計クライテアを満足することを確認する。また、通常構造、及びダンパなしの場合と比較することで本構造の応答低減効果を把握し、線形ダンパの場合と比較することで減衰力制限機能の有効性を検証する。

第3章「オイルダンパ」では、本構造を実現するための制震装置であるオイルダンパについて述べる。

3. 1節では、オイルダンパを高減衰構造の制震装置として用いるために必要となる、最大減衰力、減衰係数、剛性、安定性、耐久性等について、第2章の研究成果をもとに考察して仕様値を設定する。そして、その仕様値を達成するためのオイルダンパの構成を示し、設計上の留意点について述べる。

3. 2節では、実大オイルダンパを設計製作し、2台の 500kN アクチュエータにより動的に加力することで特性を把握する。実験結果により、減衰係数、及び剛性の使用条件下における仕様値の達成度合いを示し、同時に減衰力、油温、振動数による変動傾向を考察する。また、大地震を想定した加振や 60 年間に想定される繰り返し加振に対する安定性についても確認し、建築の主要構造部材としての性能安定性、耐久性を有することを検証する。

3. 3節では、オイルダンパの力学モデルとして仕様値に基づいた非線形ダッシュポットとバネの直列結合されたマックスウェル型モデルを用いて代表的な実験結果をシミュレートし、解析モデルが、減衰力レベル、振動数、油温によらず実験結果を良く表現できることを確認する。

第4章「実建物への適用」では、実際に建設された建物への適用について述べる。適用された建物の概要、及び制震設計方法に関して述べると共に、耐火設計、品質管理等の建物適用に必要な条件についても言及する。

4. 1節では、厚木市に建設された高層事務所ビルへの適用について示す。本建物は、高さ約 110m、26 階建ての鉄骨造の高層建物であり、オイルダンパによる応答低減効果を見込んで設計せん断力を通常よりも小さく設定し、柱梁フレームを設計している。ここでは、本建物の制震設計の方針を示し、オイルダンパの設計クライテア

を設定する。そして、地震応答解析により、レベル1地震（最大速度 25cm/sec）、レベル2（最大速度 50cm/sec）において、通常の高層建物と同様の設計クライテリアを満足することを示し、同時にオイルダンパの応答値も設定したクライテリアを満足することを確認する。次に、通常構造、及びダンパなしの場合と比較することで本構造の応答低減効果を確認し、線形ダンパの場合と比較することで減衰力制限機構の効率性を考察する。また、本建物を高減衰構造化することによるコスト低減効果についても試算する。さらに、地震時に主要構造部材となるオイルダンパに必要とされる耐火性能について言及する。最後に、オイルダンパの信頼性を確実なものとするための取付前、取付時、及び取付後の品質管理手法について述べる。

4. 2節では、清水市に建設された中層技術センタービルへの適用について示す。本建物は、高さ約 44m、10 階建ての鉄骨造の中層建物であり、地震後にもその機能を維持する必要がある重要構造物である。そのため、本建物では、柱梁フレームを通常の建築基準法に則って設計し、オイルダンパを耐震性能向上のために付加的に使用している。それにより、通常この程度の高さの建物としては困難とされている高層建物と同様の高い耐震性能を確保していることを地震応答解析により確認する。ここでは、オイルダンパの集中配置の一手法として、2層間に渡ったブレースを介して設置する方法を試みた。そこで、本手法とオイルダンパを各層に設置した場合（オイルダンパ1台の減衰力は同一）を応答解析により比較することで、本設置方法の特性、及び有効性を考察する。

第5章「高層建物における振動特性の評価・検証」では、4.1 節で述べた厚木市に建設された高層事務所ビルでの振動実験、及び地震観測の結果を示す。ここでは、固有値（固有周期、減衰定数）を同定して、本建物の減衰特性を確認する。そして、設計時に用いた振動解析モデルを用いてこれらの結果をシミュレートし、振動解析モデルの妥当性を検証する。

5. 1節では、本建物の最上階（25 階）に重り重量 14.5t の振り子式起振機を特設して行った振動実験について示す。自由振動実験の結果では、オイルダンパ接続、非接続での減衰定数の差より、本建物において強風や中小地震程度の小振幅レベルでの付加減衰定数を確認する。

5. 2節では、本建物の所定階に設置されたセンサにより地震時の加速度応答記録を収集した地震観測の結果の概要を示す。竣工直前から 1999 年までに震度Ⅲ程度の地震が6回観測されている。観測記録の加速度応答スペクトル、最大加速度分布、及

びフーリエ変換による1階に対する25階の伝達関数から、地震動の特性、並びに本建物の振動特性を考察する。

5. 3節では、設計時と同様の手法で、オイルダンパの小振幅レベルからの特性を表現できる力学モデルを組み込んだ振動解析モデルを構築する。この振動解析モデルにより、建物振動実験の結果が複素固有値解析により、地震観測による各階加速度が時刻歴応答解析により良好にシミュレートできること示す。また、オイルダンパを取り除いた条件の解析結果との比較から、オイルダンパの応答低減効果を確認する。さらに、地震観測における層間変形、及びオイルダンパの発生減衰力が、建物振動特性、及びオイルダンパ特性において、小振幅から設計レベルにいたる範囲のものであることを解析により明らかにし、本建物の設計時に用いた振動解析モデルの妥当性を検証する。

第6章「結論」では、各章における主な研究成果をまとめ、今後の展開、及び研究課題について述べる。

6. 1節では、各章において得られた主な研究成果をまとめて示す。

6. 2節では、今後の展開、及び研究課題を述べる。

## 第1章の参考文献

- (1)小堀鐸二、南井良一郎、「地震による建造物の非線形振動について（その2：構造物力学特性の人為的非線形化過程）」、日本建築学会論文報告集 52号、P41-48、1956年9月
- (2)小堀鐸二、南井良一郎、「制震系の解析（制震構造に関する研究1）」、日本建築学会論文報告集 66号、P257-260、1960年10月
- (3)小堀鐸二、他、「耐震構造の新しい展開、ダイナミックインテリジェントビルのアプローチ」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造I、P837-838、1986年8月
- (4)池田芳樹、山田和彦、佐々木勝康、小鹿紀英、小堀鐸二、「実用化したアクティブ・マス・ドライバ・システムの制震効果」、日本建築学会構造系論文報告集、第420号、P133-141、1991年2月
- (5)柴 慶治、田村和夫、他、「ハイブリッドマスダンパ（HMD）を用いた建築建造物の応答制御」、アクティブ制震（振）シンポジウム論文集、P263-270、1992年3月
- (6)有田友彦、竹中康雄、村田 保、他、「超高層ビル用（V字型）ハイブリッドマスダンパの開発と適用」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造I、P807-812、1993年9月
- (7)西村 功、佐々木勝康、坂本光雄、小鹿紀英、大類哲、近藤明洋、福島出、他、「アクティブ2重動吸振器の開発・実用化に関する研究（その1）～（その7）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造I、P813-826、1993年9月
- (8)藤田 聡、他、「大地震を想定した高層建物制震装置に関する基礎的研究」、第9回日本地震工学シンポジウム、P1867-1872、1994年
- (9)田中直樹、他、「ハニカム開口を有する鋼板ダンパの低サイクル疲労特性に関する実験的研究」、構造工学論文集 Vol.37B、P173-182、1991年3月
- (10)小野総子、他、「アルミ溶射摩擦ダンパーの静的および動的履歴特性に関する実験的研究」、構造工学論文集 Vol.41B、P1-8、1995年3月
- (11)下田郁夫、東野雅彦、他、「鉛押しダンパの制震効果に関する研究（その1）（その2）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造I、P581-584、1988年10月
- (12)有馬文昭、宮崎光生、小森清司、高橋和雄、「建築建造物の応答制御設計法に関する研究—その1 制震壁の粘性減衰特性に関する調査研究—」、構造工学論文集 Vol.35B、P29-42、1989年3月

- (13)黄一華、加藤敬史、和田 章、岩田 衛、竹内 徹、大熊 潔、「振動数と温度に依存する粘弾性ダンパの動的力学モデル」、日本建築学会構造系論文報告集、第 516 号、P91-98、1999 年 2 月
- (14)宮崎光生、他、「粘性減衰壁を使用した高層建物—テレビ静岡メディアシティビルの構造設計—」、日本建築センター編、ビルディングレター、P1-14、1992 年 2 月
- (15)カヤバ工業株式会社・技術資料「耐震用オイルダンパの耐久性について」、1987 年 1 月
- (16)細沢 治、辻田 修、篠崎洋三、「減衰抵抗増幅装置を用いた鉄骨中層ビルの構造設計と制振効果」、鉄構技術、P82-86、1993 年 3 月、
- (17) T. Kobori, et. al., 'Development and Application of Hysteresis Steel Dampers', Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering, July 1992, Madrid Spain, P2341-2346
- (18)「動的外乱に対する設計の展望」、日本建築学会、pp342-345、1996 年 11 月
- (19)小堀鐸二、高橋元一、那須正、丹羽直幹、倉田成人、小笠原桂、水野孝之、「構造性能可変型制震システムの研究—可変減衰・剛性機構の基本特性と振動台による基礎実験—」、構造工学論文集 vol.37B、1991 年 3 月、P183-191
- (20)藤田 豊、他、「粘弾性ダンパを用いた制振構造に関する研究」、第 8 回日本地震工学シンポジウム、P1821-1826、1990 年
- (21)打越瑞昌、内田富久、他、「「極軟鋼+粘性体」制震壁を用いた制振建物の設計例（その 1）（その 2）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、P865-868、1996 年 9 月
- (22)世良信次、他、「粘性減衰制震壁を用いた高層建築物の設計（その 1）」、日本建築学会大会学術講演梗概集、P879-880、1998 年 9 月
- (23)辻 聖晃、中村恒善、「Maxwell 型の粘性ダンパを有するせん断型構造物の地震時指定層間変位に対する剛性設計解列」、日本建築学会構造系論文報告集、第 491 号、P55-64、1997 年 1 月
- (24) K. Kasai, Y. Fu, A. Watanabe, 'Passive Control System for Seismic Damage Mitigation', Journal of Structural Engineering, P501-512, MAY 1998
- (25) Y. Fu, K. Kasai, 'Comparative Study of Frames using Viscoelastic and Viscous Dampers', Journal of Structural Engineering, P513-522, MAY 1998
- (26)小堀鐸二、他、「ジョイントダンパシステムの長大構造物への適用に関する研究」、第 8 日本地震工学シンポジウム、P1845-1850、1990 年

- (27)伊藤嘉朗、他、「粘弾性体を利用した制震構法に関する研究（その5）実構造物への適用」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、1992年8月
- (28)寺本隆幸、他、「摩擦ダンパの超高層建物への適用（その1）～（その3）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、P873-878、1988年10月
- (29)浅野清昭、伊藤嘉朗、「粘弾性体を利用した制震構法に関する研究（その7）（その8）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、1993年9月
- (30)平田雄一、他、「粘弾性ダンパーを組込んだ建物の振動実験と地震観測—制振構造物の地震応答特性に関する研究—」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、P633-634、1993年9月
- (31)加藤広宣、塚越 勇、他、「粘性体ダンパーを用いた制振構法に関する研究（その3）（その4）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、P1003-1006、1992年8月
- (32)世良信次、田中久也、他、「粘性制震壁による大減衰高層建築物—静岡メディアシティビル—（その5）（その6）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、P1073-1076、1994年9月
- (33)西山正三、他、「減衰増幅装置を用いた構造物の応答制御に関する研究（その3. 実施適用建物の振動実験）」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、P651-652、1993年9月
- (34)丹羽直幹、小堀鐸二、高橋元一、倉田成人、畑田朋彦、栗野治彦、「高減衰構造による制震に関する研究」、構造工学論文集 vol.38B、1992年3月、P223-233
- (35) (社) 日本油空圧学会編、「油空圧便覧」
- (36) N. Niwa, T. Kobori, M. Takahashi, J. Tagami, T. Hatada, H. Kurino, "Passive Seismic Response Control System with High Performance Oil Damper", Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering, 1994, Vienna, P1913-1918
- (37) N. Niwa, T. Kobori, M. Takahashi, J. Tagami, T. Hatada, H. Kurino, 'Passive Seismic Response Controlled High-rise Building with High Damping Device' Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.24, 655-671(1995)
- (38)高橋元一、小堀鐸二、丹羽直幹、栗野治彦、「動的外乱に対する設計の展望」、日本建築学会、pp342-345、1996年11月
- (39)石原和男、他、「高減衰オイルダンパによる高層建物の制震（その1）適用建物の概要」、日本建築学会大会学術講演梗概集 構造Ⅰ、1996年9月、P853-854

(40)丹羽直幹、小堀鐸二、高橋元一、田上 淳、「高減衰オイルダンパを設定した高層建物の振動特性」、構造工学論文集 vol.46B、2000年3月、P345-355