

3.2.3 応答低減装置に関する調査

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

長周期地震動を受ける高層建物群の被害状況は依然として明らかでなく、損傷過程、終局状態を適切に表現する実験資料を積み重ね、想定される被害を総合的に評価する必要がある。

既存高層建物の安全性確保、高機能性確保の観点から、長周期地震動を受ける高層建物の地震時応答評価や効率的な応答低減技術に関わる検討・検証を行うため、E-ディフェンスを活用した実験を実施する等、架構の損傷評価、応答低減技術による損傷軽減効果の定量的評価および機能保持・避難性等に関わる研究開発を進め、安心・安全な高層建物の広い普及のための基礎データを得る。

(b) 平成20年度業務目的

長周期地震動を受ける高層建物の躯体には、多数回の繰り返し変形とともに塑性変形が累積する^{1), 2)}。昨年度実施されたE-ディフェンスによる実験では、現場溶接形式の柱梁接合部が、複数個所、長周期地震動を受けて破断する結果が得られており、地震時応答の効率的低減技術の開発と検証は極めて重要な課題である。

対策技術としてダンパーが最も有効性が高いと期待される。その効果を検証するため、前年度実施されたE-ディフェンス実験で採用された試験体にダンパーを組み込む実験を実施する計画であるが、ダンパーの種類、特徴および性能特性から導入手順を分類・整理し、研究開発を進めるにあたっての基礎となる資料を纏める。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター	主任研究員	長江 拓也
	企画室長	井上 貴仁
東京理科大学	助教	佐藤 大樹

(2) 平成20年度の成果

(a) 業務の要約

耐震改修を視野に、既存建物への導入を考えて、ブレース型を対象に現在一般的に入手可能なものの性能を整理した。その結果、鋼材の降伏による履歴系ダンパーとオイルによる粘性ダンパーの汎用性が高いことがわかった。また、解析モデルへ反映するための力学的諸元を整理した。

(b) 業務の成果

1) 制振構造の特徴および分類

制振構造は、構造体の特定部位に設置されたダンパーにエネルギーを吸収させることによって、建物全体の地震や風の応答を低減し、建物の安全性を確保しようとする構造である。

制振構造の特徴は以下のようにまとめられる³⁾。

- ① 通常の耐震構造に比べると、建物の加速度や変形などを30～50%程度まで低減できる。
- ② 大地震時の建物の家具や機器、配管などの被害が少なくなるため、地震後の補修や補強も少なくなる。
- ③ 一部の層に変形が集中することがないので、仕上げや設備に対して特別の配慮をすることがない。
- ④ ダンパーの性能によっては、大地震時ばかりでなく、中小地震あるいは台風などによる揺れの低減にも効果がある。

現在の制振構造は、大きく分けて、パッシブ制振構造、アクティブ制振構造、セミアクティブ（ハイブリット）制振構造の3つに分類される。以下に、試験体に最適な制振構造の導入手順として、各種ダンパーの性能特性を整理する。

パッシブ制振構造とは、建物にダンパー装置等を組み込み、建物の揺れに応じてダンパーを働かせてエネルギーを吸収し、建物の揺れを低減する方式で、その受動的な制御に期待する制振構造である。

アクティブ制振構造とは、制御コンピューター、センサー、アクチュエーターから構成される振動応答制御のシステムを構造物に備え、センサーが揺れを検知し、コンピューターで応答を制御するための信号を作り、その信号に応じて、アクチュエーターが装置を起動して、建物の揺れを低減する方式で、その能動的な振動制御に期待する制振構造である。

セミアクティブ（ハイブリット）制振構造とは、パッシブ制振構造とアクティブ制振構造の両方の特性を合わせ持った複合的制振構造である。

さらに、これらを図1のように具体的に分類する。それらの特徴を纏めると以下の通りとなる。

i) パッシブ制振構造

パッシブ制振構造においては、エネルギー吸収型、同調振動系型の2つに分類される。

① エネルギー吸収型

構造物系の振動減衰性を高めるもので、一般には構造物各層の層間変形に対応して振動エネルギーの吸収を図る層間ダンパーが設置される。ダンパーは、主として変形履歴型にともなうエネルギー消費を利用する履歴減衰機構、速度依存型の粘性抵抗を利用する粘性

減衰機構、摩擦力によってエネルギーを消費する摩擦減衰機構の3つに分類される。それぞれの代表的なものを挙げる。

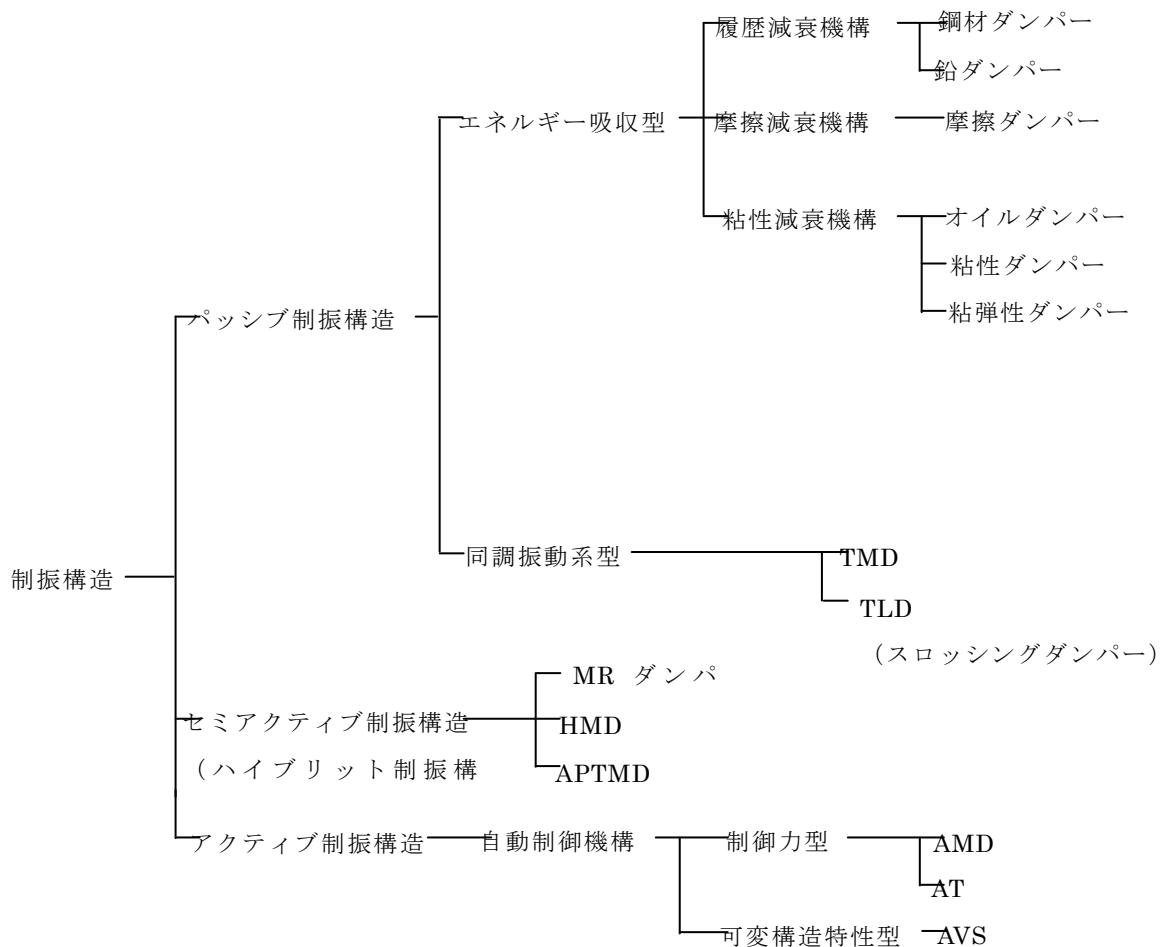


図1 制振構造の分類^{4), 5)}

<履歴減衰機構>

・鋼材ダンパー

鋼材に塑性変形を構造物の振動エネルギー吸収に利用する研究は、国内外で早くから行われており、実施例も報告されている。

鋼材ダンパーの利点は、製造が容易で、安価に大容量のダンパーが得られることと、形状がコンパクトで大きなスペースが不要なことと、履歴特性が安定しており、実験データに基づくモデル化が容易であることなどがある。

・鉛ダンパー

鉛の曲げ変形、もしくは、せん断変形時の弾塑性履歴に伴うエネルギー吸収を利用したものである。鉛は塑性変形により生じた結晶格子の欠陥が、常温での再結晶により解消さ

れる性質を持つため、大きな塑性変形を繰り返すうけてもダンパーとしての性能の劣化がないので、大変形領域で用いるのに適している。

<摩擦減衰機構>

・摩擦ダンパー

重ね合わせた二枚の金属板に、あらかじめ面圧を加え、層間変位に伴って金属板に相対滑りが生じるように取り付けておけば、滑りによって生じる摩擦力がエネルギーを消費し、ダンパーとして作用する。

<粘性減衰機構>

・オイルダンパー

機構的には車体やドアのショックオブザーバーとして用いられるものと同様で、シリンダー内を滑動するピストンが、オイルを押す方式である。履歴特性が変形速度に依存し、小振幅から高い減衰性能が得られる。シリンダー、ピストンに加えて、リリーフ弁が備わっているものが多く、設定された最大減衰力に達するとリリーフ弁が作動し、過大な減衰力が発生するのを制御する仕組みになっている。この場合、減衰力と速度の関係は、バイリニアで表現され、このときの初期の剛性が一次減衰係数、リリーフ弁作動後の剛性が二次減衰係数として定義される。

・粘性ダンパー

高粘性体のせん断抵抗を利用したパッシブ制振装置で、抵抗板と外壁板の隙間に高粘性体を充填した構造を持っている。この平行な2つの面が相対的に動く際、高粘性体の粘性抵抗により建物の制振効果をもたらす。粘性抵抗を利用するため、温度の影響を受けやすい。

・粘弾性ダンパー

高分子系の粘弾性体を、二枚の平板の間に封入し、平板の水平方向相対変位によるせん断変形から生じる粘性抵抗を利用する。性能は粘弾性体の厚さと面積によって自由に設定でき、種々の形状のダンパーが提案されている。

② 同調振動系型

補助振動系を構造物内に設置することによって、構造物の振動エネルギーを補助系に移し、構造物の固有振動性状を変化させるもの。この型は地震応答の後半の振動を緩和することや、より揺れが長く続く風の応答低減に主に使われる。よってそれらを設置している構造物が揺れ始めた後、質量(マス)や水がそれに反応し、しばらく後に定常状態になって初めて制御効果が現れるため、地震の初期の過渡応答を抑え込むのには不十分な点がある。

ii) セミアクティブ(ハイブリット)制振構造

セミアクティブ（ハイブリット）制振構造においては、アクティブ制振とパッシブ制振の組み合わせによって、様々な形が考えられる。以下は、代表的なものである。

- ・ **MR (Magnetorheological) ダンパー**

MR ダンパーは、外部からの磁場に反応してダンパーの抵抗力を任意に変化させることが可能な磁気粘性流体（MR 流体）を利用した可変ダンパーである。

- ・ **HMD (Hybrid Mass Damper)**

パッシブ型の動吸振器にアクティブ制振機能を付け加えたもので、建物の振動を効率よく吸収する。

- ・ **APTMD (Active Passive composite Tuned Mass Damper)**

パッシブ動吸振器の上に小型のアクティブ制振装置を重ねた形をしており、アクティブ制振装置がパッシブ動吸振器の動きを増幅させて制振効果を高め、建物の揺れを効率よく抑える。

iii) アクティブ制振構造

① 制御力型

地震動によって誘発される応答を制御するために力を加える方式で、揺れを打ち消す振動を建物内で発生させる動的な制御である。代表的な装置を挙げる。

- ・ **A. M. D (Active Mass Damper)**

AMD 方式とは、付加質量、それを駆動するアクチュエータ、入力地震動や、建築物の揺れをキャッチするセンサー、センサーからの信号を分析してアクチュエータへの駆動指令を決める制御コンピュータからなる制震装置である。

- ・ **AT (Active Tendon)**

建物に制御力を作用させるという点では AMD と変わらないが、付加質量の反力を用いる AMD とは異なり、直接的にアクチュエータによって筋交い状に取り付けたテンドン（鋼ケーブル）を緊張、緩和する方法であり、テンドンを張った各階に制御力を導入することができる。

② 可変構造特性型

剛性や減衰といった建物の構造特性を変化させる方式で、制御力型と違い、地震力をかわすことで建物の揺れを低減するものである。小さな動力により作動させることができる。代表的なものとして次の装置を挙げる。

- ・ **AVS (Active Variable Stiffness)**

時刻とともに変化する地震動の性質に合わせて建物の剛性を可変にすることで非共振化を図り、建物への地震動の入力エネルギーを低減する制振装置である。

iv) ダンパーの選定とモデル化

1980年以前に建てられた初期の高層建物の耐震改修促進を想定すると、性能が優れているとともに、製造が容易で安価に大量のダンパーが得られることと、形状がコンパクトで大きなスペースが不要なこと等が、選定の条件としてあげられる。

これらの条件を満足するダンパーとして、上記の中のパッシブ制振に焦点を絞ることができる。さらに、その中から、性能・製造面及びこれまでの使用実績などを考慮し、実験には「鋼材ダンパー」を用いるものとする。また、ダンパーの種類による影響を検討するため、履歴特性が変形に依存し、小振幅から大振幅まで高い減衰性能が得られる同じくパッシブ制振の「オイルダンパー」も用いる。

これらのダンパーと、モデル化を図2及び図3示す。次項の設計では、これらの諸元に着目して、その効果との関係を検討する。

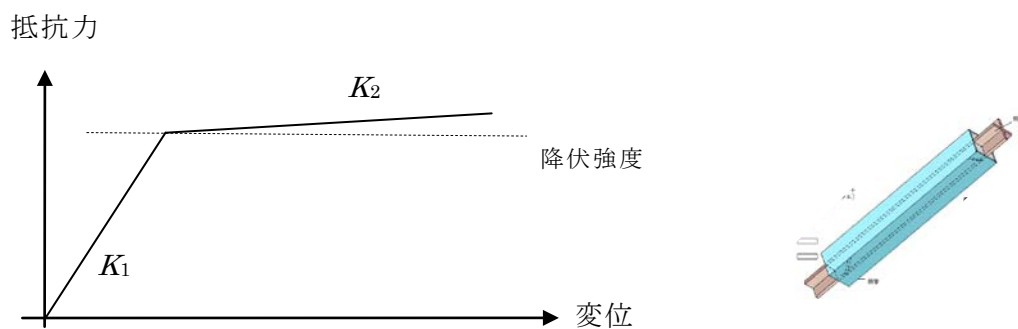


図2 鋼材ダンパーのモデル化

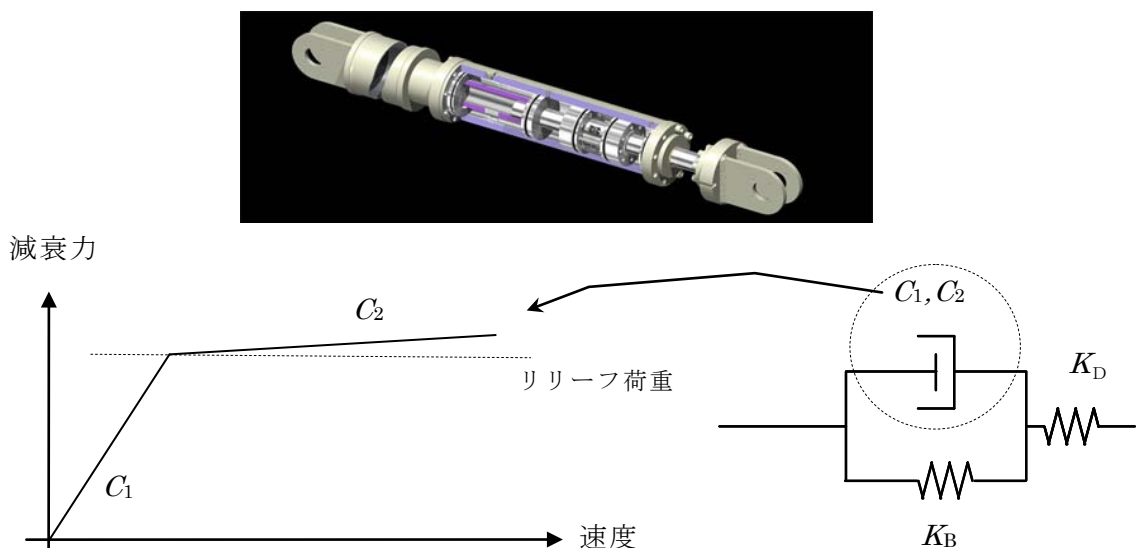


図3 オイルダンパーのモデル化

(c) 結論ならびに今後の課題

耐震改修を視野に、既存建物への導入を考えて、ブレース型を対象に現在一般的に入手可能なものの性能特性を整理した。その結果、鋼材の降伏による履歴系ダンパーとオイルによる粘性ダンパーの汎用性が高いことがわかった。また、解析モデルへ反映するための力学的諸元を整理した。

制振機構を組み込んだ高層建物の長周期地震動に対する応答は、ダンパー特性、およびその配置に依存したものとなり、実験ではその影響を比較しながら、被害軽減効果を調べることとする。

(d) 引用文献

- 1) 日本建築学会、土木学会、海溝型巨大地震による長周期地震動と土木・建築構造物の耐震性能向上に関する共同提言、2006. 11.
- 2) 建築研究所、長周期地震動による建築物への影響及び対策技術に関する研究報告書、2005. 2.
- 3) 清水建設免制震研究会：耐震・免震・制震のわかる本，彰国社，2000.2

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表
なし

学会誌・雑誌等における論文掲載
なし

マスコミ等における報道・掲載
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願
なし

2) ソフトウェア開発
なし

3) 仕様・標準等の策定
なし

(3) 平成21年度業務計画案

課題終了のため計画なし。

