HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	建物地震応答制御用の摩擦ダンパーの性能向上と摩擦機構の応用方法に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	佐野, 剛志
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14241号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79416
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takeshi_Sano_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　佐野　剛志

学 位 論 文 題 名

建物地震応答制御用の摩擦ダンパーの性能向上と摩擦機構の応用方法に関する研究
(Study on Performance Improvement of a Friction Damper and Application Method of a Friction Mechanism for Building Earthquake Response Control)

日本の耐震設計の基本的な考え方は、極めて稀に遭遇する大地震に対しては、建物の多少の損傷は許容するが、建物の崩壊や人身の危機を防ぐというものである。しかし、損傷が建物全体に及ぶと損傷の調査や復旧に多大な労力を要し、損傷が特定の箇所に集中すると主架構の著しい損傷や建物の倒壊といった甚大な被害に繋がる可能性がある。このような課題を解決するため 1980 年代半ばから、主架構の損傷を最小限に止め、制振部材等に地震エネルギーを吸収させる損傷制御構造の研究が本格化した。当時、日本の主な制振部材の研究開発は、鋼材系ダンパー、粘弾性ダンパー、オイルダンパー、摩擦ダンパー等を対象としたものであった。なかでも高力ボルト摩擦接合部で構成する摩擦ダンパーは、鋼材系ダンパーなどと比較し繰り返し作動後の交換の必要性が少なく、粘弾性ダンパーのような温度依存性もないという利点がある。また、オイルダンパーは性能試験機の能力で最大減衰力が制限されるが、高力ボルト摩擦接合部で構成する摩擦ダンパーは高力ボルト接合部の数で総摩擦力を評価できるため大容量のダンパーが実現できる。しかし、従来の摩擦ダンパーは、大量の高力ボルト導入軸力を精度よく管理することが容易ではなく、摩擦材の摩耗や鋼材の板厚誤差などに起因するボルト軸力の変動などで、摩擦性能の安定性に課題があった。また近年、南海トラフ沿いで発生する巨大地震等に伴う継続時間の長い長周期地震動によって、既存超高層建物で大きな揺れが長時間続くことが懸念されている。既存超高層建物の耐震安全性を向上させる技術の一つに、上層階に大容量のチューンドマスダンパー (TMD) を設置する頂部制振工法がある。頂部制振工法は建物内部への影響が少ないという長所があるが、TMD の設計限界を超えた地震動に遭遇しても TMD の損傷や付加質量の脱落を防止できるフェイルセーフ機構が必要とされている。しかし、TMD が大速度時に起動するフェイルセーフ機構の製作や性能検証は難易度が高く、大変形時に起動する従来のフェイルセーフ機構は作動時に建物の応答が急増するという課題があった。

本研究では、上記の背景を踏まえ、建物地震応答制御用の大容量かつ安定した摩擦力を発揮する摩擦ダンパーの開発、および、摩擦機構を利用した超高層建物用 TMD のフェイルセーフ機構の開発、の 2 つを研究目的に選定した。

本論文は、全 9 章で構成した。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章「序論」では、研究の背景について述べ、関連する既往の研究について概説し、本研究の目的と実施内容について説明した。

第 2 章「開発したマルチユニット摩擦ダンパーの概要」では、開発した摩擦ダンパーの基本ユニットの構成と軸力管理方法ついて説明した。摩擦ダンパーの最小単位である基本ユニットは、高力ボルト摩擦接合部に安定した摩擦係数を実現する摩擦材とステンレス板を挿入し、皿ばねを介した高力ボルトで締結して構築した。開発した摩擦ダンパーの基本ユニットは、皿ばねを直列配置した高力ボルトによる締結方法を採用したことで、ダンパーの作動に伴う摩擦材の摩耗や鋼材の製造誤差に起因するボルト締め付け長さの変動に対して軸力 (摺動面の面圧) を安定させる効果が高いこと、さらに皿ばねのたわみ量を計測することで精度の高い導入軸力の管理を容易に実現できることを示した。

第 3 章「摩擦ダンパー基本ユニットの要素実験」では、開発した摩擦ダンパーの基本ユニット 2 セットで構成した要素試験体を、動的油圧ジャッキを用いて三角波で載荷する要素実験を実施した。開発した摩擦ダンパーが安定した摩擦性能を発揮することを実証し、併せて皿ばねのたわみ量を用いた導入軸力管理方法の妥当性を示した。

第 4 章「ブレース型摩擦ダンパーの実大架構実験」では、動的アクチュエータを用いたブレース型摩擦ダンパーの実大架構実験で動的性能を実証した結果について説明した。摩擦ダンパーの基本ユニットを 10 セット組み込んだブレース型摩擦ダンパーを対象に、様々な振幅や継続時間の正弦波で載荷する実大架構実験を実施した。ブレース型摩擦ダンパーが、組み込んだ基本ユニットのセット数に応じた安定した摩擦性能を発揮すること、ブレースダンパー部材に座屈等の不安定な挙動が生じないことを実証した。

第 5 章「間柱型摩擦ダンパーの実大架構実験」でも、動的アクチュエータを用いた間柱型摩擦ダンパーの実大架構実験で動的性能を実証した結果を述べた。摩擦ダンパーの基本ユニットを 5 セット〜7 セット組み込んだ間柱型摩擦ダンパーを対象に、様々な振幅の正弦波や超高層建物の応答層間変形波で載荷する実大架構実験を実施した。間柱型摩擦ダンパーが、組み込んだ基本ユニットのセット数に応じた安定した摩擦性能を発揮すること、間柱に横座屈等の不安定な挙動が生じないことを実証した。

第 6 章「ブレース型摩擦ダンパーを用いた超高層建物の制振効果」では、ブレース型摩擦ダンパーの適用効果について説明した。開発した摩擦ダンパーで実現可能な大容量の制振ブレース (最大 3200kN) で 30 層の鉄骨造超高層建物モデルを制振化し、設計地震動 (告示スペクトル適合波) や、南海トラフ沿いの巨大地震の発生に伴う継続時間の長い長周期地震動、上町断層地震の発生に伴う長周期パルス地震動などに対する建物応答を、3 次元立体フレーム解析モデルを用いた地震応答解析で評価した。その結果、大容量ブレース型摩擦ダンパーを用いると、適用箇所が限定された場合でも、最大応答変位や残留変形角などを大幅に低減できることを示した。

第 7 章「間柱型摩擦ダンパーを用いた超高層建物の制振効果」では、間柱型摩擦ダンパーの適用効果を示した。開発した摩擦ダンパーで実現可能な大容量の制振間柱 (最大 1300kN) で 30 層の鉄骨造超高層建物モデルを制振化し、第 6 章と同様に、多様な入力地震動に対する建物応答を評価した。その結果、大容量間柱型摩擦ダンパーを分散配置することで、最大応答変位や残留変形角などを大幅に低減できることを示した。

第 8 章「摩擦装置を用いた TMD のフェイルセーフ機構」では、開発した架構内摩擦ダンパーの摩擦装置を、超高層建物の大地震動対応 TMD のフェイルセーフ機構 (付加質量の過大変形防止装置) に応用する方法を考案し、フェイルセーフ機構付き TMD を適用した 1 自由度建物モデルと 30 自由度建物モデルの地震応答解析によって、TMD 部やフェイルセーフ機構の作動性状、制振効果を検証した。その結果、摩擦フェイルセーフ機構を介して TMD を建物頂部に搭載する方法が、設計限界を超える地震動に対しても TMD の付加質量の過大変形を防止できること、フェイルセーフ機構作動時に建物応答の急増などが生じないことを示した。

第 9 章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べた。