

氏 名	中 村 誠
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 76 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	風荷重に対する横ずれ防止と地震動に対する減衰付与の効果を与える 皿ばねダンパーの免震特性に関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 山 本 鎮 男 教 授 齋 藤 憲 司 教 授 中 村 武
	福井工業 大学教授 石 田 修 三 助教授 曾 根 彰

論 文 内 容 の 要 旨

本論文の内容は、申請者が特許発案し、すでに実施されている摩擦皿ばねダンパーの免震特性に関する研究である。

摩擦皿ばねダンパーを発案した理由は、(1)摩擦皿ばねダンパーの静摩擦力により風荷重時の水平力に対する免震建物の横ずれを防止すること、および、(2)荷重-たわみ特性が平坦な皿ばねを用いることで、強震時に安定した動摩擦力が得られ、従って安定した(ロバスト)減衰力が得られることにある(2章)。

これらの発想の正当性を確認するために、次に述べる各種研究を行なった。

- ① 非線形な復元力特性を有する皿ばねを組み込んだ摩擦皿ばねダンパーの静力学的、動力学的特性を実験により明らかにした(3章)。
- ② 皿ばねダンパーを付与した免震構造物を模擬した試験体を振動台上に搭載して振動実験を行ない、摩擦皿ばねダンパーの有効性を実証した(4章)。

これらの研究によって得られた各種の皿ばねダンパーの特性を用いて、皿ばねダンパーを付与した免震建物の地震応答特性を解析し、その特性を明らかにした(5章、6章)。なお、免震建物の経年変化の特性に関して、11年間の計測に基づいて免震建物の積層ゴム経年変化の特性を明らかにしたので、これを集録した。また新しい免震装置の維持管理法として、レーザ変位計を用いた維持管理法の提案を行ない、さらに今回開発した摩擦皿ばねダンパーの耐久性に関する検討をまとめている(付録)。

以下に、各章毎の要旨を述べる。

第1章は序論であり、免震構造の発展の歴史をふりかえり、本研究の背景、および今後に要求される諸技術の問題点を展望すると共に、本研究の目的を明らかにしている。すなわち、現時点で建設された免震建物の多くは、比較的低層で上部構造の固有周期が比較的短いものが多く、しかも比較的地盤条件が良いサイトに建設されている。しかしながら、今後建設される免震建物は、コストの低減を図って建物が高層化されて上部構造の固有周期が長周期化しつつあり、かつ立地も大都市の臨海地域などの軟弱地盤での建設が検討されている。この場合には、地震に対しては、免震周期をより長周期化して応答加速度の低減効果を上げると共に、免震装置の変形を抑制できるように、より大きな減衰の付与が可能な減衰装置が要求される。また強風に対しては、居住性を損なう免震建物の横ずれを防止する免震装置の変形拘束機能が必要とされる。この要求性能を満足させる高機能な免震システムの減衰装置として、特殊な形状の皿ばねを用いた摩擦皿ばねダンパーを開発し、その免震特性に関する各種研究について報告する。

第2章は、摩擦皿ばねダンパーの原理とその機能について報告する。この摩擦皿ばねダンパーは、内蔵

した皿ばねの反力を用いて、高分子材料の滑り材をステンレス板に押し付けておき、水平力が作用したときに、滑り材とステンレス板の間に発生する摩擦力を懸垂力として利用する装置である。摩擦皿ばねダンパーの特長としては、ある変形領域ではほぼ一定な反力を発生する非線形な皿ばねを用いることで、①強風による水平力に対しては、摩擦皿ばねダンパーが抵抗して、居住性を損なう建物の横ずれを防止する変形拘束機能を持つ。②地震入力に対しては、摩擦皿ばねダンパーが滑動し、積層ゴムの水平変形に伴う沈み込みを皿ばねが反力一定のたわみ領域で吸収することにより、安定した摩擦ダンパーとして減衰性能を発揮する。また③摩擦皿ばねダンパーは、その反力により建物の荷重の一部分（約25%分）を支持するので、その分だけ積層ゴムの支持荷重が低減される。従って、水平剛性が小さな小径の積層ゴムを使用することで、免震建物の水平方向の免震周期を長周期化でき、免震性能の向上が図れる。更に、④過大な地震入力により、積層ゴムに大変形が生じて荷重支持機能が低下したときは、皿ばねが完全密着状態になることで、摩擦皿ばねダンパーが積層ゴムに代わって上部構造を支持する極限状態安全保証装置として働くことが挙げられる。

第3章では、まず、摩擦皿ばねダンパーに用いる非線形な復元力特性を有する大型皿ばねについて報告する。この皿ばねは、皿ばねの有効高さ h と板厚 t の比を $h/t = 1.4$ 前後の特定の形状とすることで、ある変形領域ではほぼ荷重が一定となる非線形な特性を有する。 $h/t = 1.4$ 前後の大型皿ばねを試作して、歪ゲージを貼り付けて皿ばねの加力試験を行ない、皿ばねの復元力特性および歪分布を測定した。また既往の皿ばねの近似式およびFEMで解析して、使用変形領域での皿ばねの応力・歪分布を求め、皿ばねの耐久性の検討を行なっている。次に、この大型皿ばねを用いた摩擦皿ばねダンパーの静的および動的特性試験を行ない、ほぼ摩擦力一定の完全弾塑性の復元力特性が得られることを確認している。

第4章では、積層ゴムと摩擦皿ばねダンパーを組み合わせた免震システムにおける摩擦皿ばねダンパーの動力学特性および機能を検証するため、免震建物の振動台モデルを用いて、静的特性試験と振動台試験およびシミュレーション解析を行なって確認した結果について報告している。

第5章では、免震性能および免震システムの信頼性の向上の観点から、速度依存型の粘性抵抗を利用する粘性型ダンパーと変形履歴に伴うエネルギー消費を利用する履歴型ダンパーの2種類のダンパーを組み合わせた複合型減衰装置を有する免震設計の資料として、オイルダンパーと摩擦皿ばねダンパーの容量をパラメトリックに変化させた多質点系の免震モデルの地震応答解析を行ない、免震装置の最適化に向けての基礎的検討を行なっている。

第6章では、摩擦皿ばねダンパーの強風に対する横ずれ防止機能を活用した長周期免震建物への適用例と、地震に対して摩擦皿ばねダンパーが滑動して安定した減衰性能を発揮する主要ダンパーとして免震建物に適用した例の紹介を行なっている。前者は、中高層の免震建物において、免震装置の水平剛性が小さいために、台風や強風によって建物が揺れて居住性が損なわれることを防ぐために、摩擦皿ばねダンパーを取り付けた例である。後者は、従来では積層ゴムによる免震化が難しい、比較的軽量の建物に対して、小径の積層ゴムと摩擦皿ばねダンパーを組み合わせて用いることで、必要な免震周期と免震装置の変形能力を可能とした免震建物の例である。

第7章の結論では、非線形な復元力特性を有する皿ばねを用いた免震建物用の摩擦ダンパーについて、試験および解析的検討により確認した結果をまとめている。これら一連の研究により、多機能な摩擦皿ばねダンパーを積層ゴムと組み合わせて用いることにより、免震性能が高い高機能な免震システムが実現できるとしている。

論文審査の結果の要旨

免震建物の強風時の横ずれ防止と強震時に安定した減衰力を付与する目的で、摩擦皿ばねダンパーの活用を発想して、その効果を解析と実験を通して検証している。

まず、皿ばねダンパーの非線形な復元力特性を得るために、幾何学的非線形を持つシェル要素からなる

有限要素モデルで解析している。この解析値を歪と変形の両面で実験値との照合をとり、任意の形状の皿ばねダンパーの特性が解析によって得られることを実証した。

また、この結果を用いて小型の免震建物モデルを設計し、これを振動台で加振実験し、皿ばねダンパーが所定の効果を上げることを実証している。

この提案システムは、皿ばねダンパーの非線形性に着目した独創性の高いものであり、既に2件の建築物に適用され、実用性の高いものである。このシステムを構成している要素技術を解析的および実験的手法で着実に実証している点で、工学的に価値が高いと評価できる。

なお、本研究の内容は4編の学術論文として公表されており、そのいずれもが申請者が筆頭著者である。また、本研究の内容は、申請者が発明者となって特許出願をしている。そして、申請者が筆頭著者ではないが、本学位論文に関連のある4編の学術論文がある。

I 本学位論文作成の基礎となった発表論文等

1. 発表済論文

- (1) 中村 嶽、鈴木哲夫、稲葉 学：皿ばねを用いた免震用摩擦ダンパーの復元力特性に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集 第510号 75頁～82頁（1998年）
- (2) 中村 嶽、鈴木哲夫、岡田 宏：実免震建物の積層ゴムの経年変化に関する検討、日本建築学会技術報告集 第6号 23頁～26頁（1998年）
- (3) 中村 嶽、鈴木哲夫、稲葉 学：免震用摩擦皿ばねダンパーの復元力特性に関する実験的研究、第10回日本地震工学シンポジウム論文集 第3分冊、2789頁～2794頁（1998年）
- (4) 中村 嶽、諏訪 仁、野畑有秀、鈴木哲夫：摩擦皿ばねダンパーを有する免震建物の地震応答特性、第10回日本地震工学シンポジウム論文集 第3分冊、2901頁～2906頁（1998年）

2. 特許

出 願 日	平成8年12月26日
特許公開番号	特開平10-238164
発 明 者	中村 嶽
発明の名称	「免震装置」：摩擦皿ばねダンパー

3. 投稿中論文

中村 嶽、鈴木哲夫、野畑有秀、諏訪 仁、稲葉 学：皿ばねを用いた摩擦ダンパーを有する免震建物の振動台上の実証試験、日本建築学会構造系論文集

II 本学位論文に関連のある発表論文

- (1) Takashi NAKAMURA, Tetsuo SUZUKI, Hiroshi OKADA and Toshikazu TAKEDA : STUDY ON BASE ISOLATION FOR TORSIONAL RESPONSE REDUCTION IN ASYMMETRIC STRUCTURES UNDER EARTHQUAKE MOTION, Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, 1988.8, pp.V-675-680
- (2) Takashi Nakamura, Tomohiko Tsunoda, Akira Teramura and Mitsuru Ohhira : Study on Soft-landing Mechanism in Base-isolation Device, Proceedings of Tenth World Conference on Earthquake Engineering, 1992.7, pp.2005-2011
- (3) 大平満、檜垣茂雄、寺村彰、中村嶽、小旗益彦、久野雅祥：フェイルセーフ機構を有する免震構造体の地震応答特性、第8回日本地震工学シンポジウム、1990、pp.1719-1724
- (4) 瓜生満、中山一彦、鈴木政美、寺村彰、野畑有秀、中村嶽：防護装置を有する免震構造物の大変形時における応答特性（その2 ソフトランディングタイプ）、第9回日本地震工学シンポジウム、1994、pp.1801-1806