

奥村組特定研究報告

No.32

免震建物用変位検知型

性能可変オイルダンパーの開発とそのロバスト性

東北大学博士(工学) 小山 慶樹

YOSHIKI KOYAMA
Dr. Eng. TOHOKU UNIVERSITY

2023.9

株式会社奥村組 技術本部技術研究所

TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE
OKUMURA CORPORATION

この「奥村組特定研究報告」は著者が
東北大学へ提出した学位論文を再編、
収録し、発行するものである。

免震建物用変位検知型性能可変オイルダンパーの開発とそのロバスト性

論文の要旨

1995 年の兵庫県南部地震以降、地震観測網が充実し、様々な場所で多くの地震が観測されるようになった。2003 年 9 月の十勝沖地震では、震源から約 250 キロ離れた苫小牧で発生したスロッシングによる石油タンク火災を契機に長周期地震動が注目された。また、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震では、複数の震源領域における連動型地震となり、国内観測史上最大のマグニチュードを記録し、首都圏や大阪湾岸の超高層建築物でも大きな揺れが観測された。これらを受け、2016 年 6 月に国土交通省から、「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について」が通知され、それまでの設計基準を超えたエネルギーを有する地震動に対して、構造物の安全性検討が必要になった。免震建物では、巨大地震時に生じる免震層の水平変位が水平クリアランスを超え、上部構造の擁壁衝突が危惧されている。その対策として、免震層に水平剛性や減衰を付加する方法が一般的であるが、上部構造が負担する地震力が小地震時から増加してしまうデメリットがあり、地震応答低減効果を損ねてしまう。そこで、本研究では免震層の変位を自動検知し、減衰力を変化させることで、中小地震時は一般の免震性能と同等の地震応答低減効果を発揮し、巨大地震時に生じる免震層の過大な水平変位を抑制することが可能な免震建物用変位検知型性能可変オイルダンパーを開発し、その減衰性能を明らかにすることを目的とする。最大減衰力が 500kN 級の実大規模の変位検知型性能可変オイルダンパーを製作して、加振機による実験から減衰性能を示す。さらに、本ダンパーを用いた免震建物の時刻歴応答解析を行い、上部構造の応答値に与える影響や変位抑制効果を示し、その優位性を確認した。

本論の構成は 6 つの章から構成されており、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、免震建物の巨大地震対策に関する既往研究について調査し、解析的検討から、免震層の過大な変位を抑制するためには剛性を付加するのではなく、減衰を付加する方が効果的であることを紹介した。また、既往の免震建物における巨大地震対策事例を紹介し、その課題や問題点を示した。

第 2 章では、変位検知型性能可変オイルダンパーの構成や品質基準を示し、その作動原理について説明した。特に、任意に設定可能な閾値以上の変位がダンパーに生じると、変位に応じて自動で無段階に減衰係数を切り替える機構について説明した。また、切り替わった減衰係数を元の性能に戻す自己回帰特性の作動原理を示し、本ダンパーの減衰力をダンパー速度や変位、減衰係数などを用いて数値モデルで示した。

第 3 章では、最大減衰力が 500kN 級の変位検知型性能可変オイルダンパーを 5 基製作し、実験結果に基づき減衰性能を示した。最大速度 100cm/s、最大水平変位 ± 60 cm の加振が可能な試験機設備の概要および測定計画を立案し、正弦波加振などから、ダンパー変位を自動で検知して減衰力が増加することを確認した。また、各種依存性や繰り返し耐久性、長周期長時間加振による影響、最大減衰力や最大速度などの限界性能を確認するために、免震装置の大臣認定時に要求される試験と同等の実験を

実施し、使用上問題ないことを確認した。さらに、三角波加振を行い閾値とした変位を検知してから減衰係数が切り替わるまでの時間遅れが 0.05 秒以下であることを確認し、ダンパー性能に時間遅れの影響が殆どなく、上部構造の応答に与える影響がないことを解析的検討から明らかにした。

第 4 章では、実存する 6 階建ての免震建物を対象に変位検知型性能可変オイルダンパーを適用した設計事例を紹介し、その変位抑制効果や最大応答値を評価した。さらに、通常のバイリニア型のオイルダンパーによる変位抑制を行った場合との上部構造の最大応答値の比較を行った。オイルダンパー増設による変位抑制を行った場合、レベル 2 地震動時に免震層の最大水平変位は概ね 25%低減するが、上部構造の頂部応答加速度など種々の応答値が概ね 20%増加する傾向があった。これに対して、開発した変位検知型性能可変オイルダンパーによる変位抑制を行った場合は、レベル 2 地震動時に免震層の最大水平変位を概ね 16%低減し、上部構造の応答値は概ね 2%増加するのみであることや最大応答値に自己回帰特性の有無は影響を与えないことなどを示し、開発した変位検知型性能可変オイルダンパーの優位性を示した。

第 5 章では、建物の構造性能を確定、入力地震動を不確定として扱い、入力地震動の不確定性が変位検知型性能可変オイルダンパーの最大応答値に与える影響について検討した。入力地震動はパワースペクトルと振幅包絡線でモデル化した。モンテカルロシミュレーションを 10,000 回実行し、位相特性の影響を平均化して、構造物の頂部最大応答加速度や免震層の最大水平変位の期待値、標準偏差、および変動係数を評価し、ロバスト性に与える影響を示した。

第 6 章では、上記の結果を総括し、得られた成果と今後の展開について述べた。