

| | | | |
|--|--|----|------|
| 京都大学 | 博士 (工学) | 氏名 | 石 運東 |
| 論文題目 | <p style="text-align: center;">Enhancement of Functionality of Structures Using Isolation and Semi-Active Control in Consideration of Performance of Furniture and Appliances (家具・機器の挙動を考慮した構造物の機能性向上をめざした 免震とセミアクティブ制振)</p> | | |
| <p>(論文内容の要旨)</p> <p>防災拠点施設は、大地震直後にも被害を受けることなく所定の機能を果たさなければならぬ。それを可能にする技術の一つとして免震が挙げられ、病院施設等の災害時基幹施設への適用が増加している。しかしながら、特に機能保持という観点から、免震がどの程度の能力を有しているかに対する知見は極めて限られている。このような背景のもと、本研究は、病院施設を対象とし、大型振動台実験を通じて当該施設の機能性を評価するとともに、より高い機能保持能力を確保するための制振技術を開発した内容であり、全 8 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景とそれを解決する実験・解析法、論文全体の構成を記述している。</p> <p>第 2 章では、建物・施設の機能性確保という視点から、免震、セミアクティブ制振、アクティブ制振を採り上げ、それぞれの方法がもつ特徴と弱点を考察するとともに、セミアクティブ制振とアクティブ制振については、それらに用いられる制御法の現状を分析している。</p> <p>第 3 章は、第 4 章で詳述する免震病院施設に対する実験の前段をなすもので、施設内の機器類の移動を計測する手段としてモーションキャプチャーを用いることの妥当性を、一連の振動台実験から明かにした。施設内の機器の移動は 3m にも及びまたその最大速度は 1m/s に至るが、この範囲であれば、市販のビデオを用いても数 mm 以下の誤差で複雑な二次元挙動を呈する機器の移動量 (変位と速度) を計測できること、また定点補正を実施することによって、ビデオ自身の揺れによる誤差を適切に除去できることを確かめている。</p> <p>第 4 章では、鉄筋コンクリート造 4 階建ての免震病院試験体に対する実大振動台実験の結果を詳細に報告している。現実の病院施設に即した部屋割りをもった本試験体に、医療機器、家具、什器に代表される非構造要素を多数備え付け、それに直下地震動や長周期地震動を加えることから、非構造要素の挙動と損傷を記録している。通常の耐震であれば構造体、非構造要素の双方が顕著な損傷を受けるところが、免震によっていずれもがほぼ無被害に留まるなど、免震による絶大な効果を実証している。一方で、医療機器のほとんどには移動の便を考え脚元にキャスターが装着されているこ</p> | | | |

と、免震が長周期地震動を受けたときにはキャストの存在によって機器の移動が激しくなること、またその移動量は 3m にも及び機器同士の衝突や機器と周りの壁との衝突が起りうること等、病院施設と免震と長周期地震動という特別な組み合わせにおいては、機能性確保が難しくなる可能性を世界に先駆けて実証している。

第 5、6 章では、第 4 章での結果も踏まえ、地震動の種類によらず安定した機能性保持能力（医療機器の損傷回避）を付与する免震構造として、セミアクティブ制御を用いた床免震システムを構築している。提案システムは、湾曲した面をすべる免震機構と MR ダンパーから構成され、MR ダンパーにはセミアクティブ制御によって適切な抵抗力を発揮する能力を付与している。また提案セミアクティブ制御は古典的な制御法である LQR 法を基盤とするが、免震システムを揺らす地震動の性質に応じて、変位と加速度それぞれに付す係数（ゲイン）を逐次調節してゆくという新たな手法（LQRSG 法）を提案し、地震動の種類によらず安定した機能性保持の確保をめざしている。

第 7 章では、第 5、6 章で構築した床免震システムの有効性を、一連の振動台実験によって検証している。直下地震動と長周期地震動、ホワイトノイズを用いたゲイン設定、直下地震動に併せたゲイン設定、長周期地震動に併せたゲイン設定等を諸変数として、本論で提案した LQRSG 法によれば、地震動の種類によらず加速度応答を抑えることが可能であることを実証した。また逐次調節するゲインの設定法については、直近の入力地震動データを高速フーリエ変換することから、地震動の卓越振動数を瞬時に評価し、その振動数に基づいてゲインを再調節するという手法を編み出し、その妥当性についても振動台実験から明かにしている

第 8 章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

(論文審査の結果の要旨)

防災拠点施設は、大地震直後にも被害を受けることなく所定の機能を果たさなければならない。それを可能にする技術の一つとして免震が挙げられ、病院施設等の災害時基幹施設への適用が増加している。しかしながら、特に機能保持という観点から、免震がどの程度の能力を有しているかに対する知見は極めて限られている。このような背景のもと、本研究は病院施設を対象とし、大型振動台実験を通じて当該施設の機能性を評価するとともに、より高い機能保持能力を確保するための制振技術を開発した内容であり、下記の点で際だった成果を挙げている。

1. 実大免震建物に対する大規模振動台実験において、とりわけ病院施設の中核機能を担う手術室に着目し、手術室内の家具・機器の応答性状を詳細に記録・観察することから、一般的には免震効果によって手術室内の機能保持は担保されるが、長周期地震動を受ける場合においては、キャスター付き家具・機器の変位と速度応答の増幅は顕著で、家具・機器同士の衝突や周辺壁との衝突が起ることを実証した。また衝突時挙動を詳細に検討することから、衝突力は人体に損傷を与えるほどの、また衝突時加速度は電子機器の誤作動や故障を起こすほどの大きさに至ることを明らかにした。さらにモーションキャプチャー技術に改良を加え、大変位を伴う複雑な二次元挙動を呈する多数の家具・機器の応答を正確に記録する手法を提示した。

2. 長周期地震動下における免震室内応答の軽減を図るために、曲面版支承と MR ダンパーから構成されるセミアクティブ床免震システムを構築した。変位や加速度応答の最小化については、古典的な LQR 法の主要パラメータを入力地震動の周波数特性によって逐次更新する手法を新たに提案するとともに、微小時間内における卓越周波数を同定する手順を開発した。次いで構築システムに対して一連の振動台実験を実施し、さらに従来の LQR 法や他の制御手法と比較することから、提案手法の妥当性を検証した。

以上、防災関連施設における機能保持の切り札として期待される免震が有する課題を同定したうえで、それを解決しうる新しい免震システムを構築した本論文は、わが国のこれからの地震防災に対して極めて有益な情報を提供するものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 25 年 8 月 27 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。