

京都大学	博士 (工 学)	氏名	古川 幸
論文題目	Performance of Structures and Equipment in Base-Isolated Medical Facilities Subjected to Severe Earthquake Motions (強震動を受ける免震病院施設における構造と医療設備の性能)		
(論文内容の要旨)			
<p>大地震時における事業継続性の重要性の認識が高まるなか、建物内部における被害を最小限にとどめる効果が期待できる免震構造の採用は飛躍的に伸びている。しかし、免震構造は鉛直地震動に対してはもともと免震効果が期待できず、近年問題視される長周期地震動に対しても、免震効果が著しく低減する可能性が指摘されている。これらの地震動下において、建物内部で通常業務が継続できるかという疑問に対して、実際に即した回答を与えることができる実測記録はなく、関連研究も極めて不十分である。本研究では、大地震時においても機能維持が求められる重要建物としての医療施設に着目し、それを再現した実大試験体を用いた振動台実験を通して、長周期地震動と鉛直地震動下における免震構造の構造的な応答性状や被害実態を明らかにしたうえで、免震医療施設に設置された家具・医療機器の応答と被害を、その指標となる床応答加速度を参照して定量化するとともに、機器の鉛直応答を支配する鉛直床加速度応答が増幅される条件を明らかにしたものであり、全 9 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、研究の目的、それを達成するための方法を示した後、論文全体の構成を記述している。</p> <p>第 2 章では、本研究に関連する既往の研究を調査し、現在までの知見をまとめている。日本における免震構造の普及が 1995 年阪神・淡路大震災を契機に大きく進んだこと、震災時においてその機能維持が特に求められる病院で免震構造が多く採用されていることを統計的に検討している。また、近年問題視されるようになっている長周期地震動や、免震構造にとっての長年の課題である鉛直地震動に対する加速度計測記録を参照しつつ、これらの地震動下においては免震効果が発揮されにくいという既往の研究を整理するとともに、建物内部の被害を包括的に調べた研究が極めて少ないことを明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、免震建物の長周期地震動や鉛直地震動下における挙動を明らかにするために実施した実大振動台実験の概要をまとめている。試験体は実寸規模の 4 層鉄筋コンクリート造免震建物であり、建物内部には病院を模した各施設が配備され、それぞれ内装が施された後、対応する家具・医療機器が設置されている。構造躯体の基本情報を始めとし、採用した免震支承の特性、内部に再現された病院施設の部屋配置や設置家具・医療機器の特徴、計測計画、入力地震動、加振計画を系統的に提示している。</p> <p>第 4 章では、免震建物の水平構造応答に着目して、第 3 章で示した実大振動台実験の結果をまとめている。短周期地震動に対しては、当初の予想通り当該免震建物は飛躍的な加速度低減を果たしうることを、長周期地震動に対しては、数分間に及ぶ共振を起こしながらも免震装置は始終安定した挙動を示すこと、さらに上部構造についても、その最大層間変形も僅かで無損傷に留まることを示している。</p>			

氏名	古川 幸
----	------

第 5 章では、免震建物の鉛直構造応答に着目して、第 3 章で示した実大振動台実験の結果をまとめている。免震建物の鉛直応答においては単一のモードが支配的であること、一方通常の耐震建物の鉛直応答においては複数のモードが同時に卓越することを指摘したうえで、鉛直加速度応答については、免震建物の方が大きくなる傾向にあることを明らかにしている。また、特に床の上下振動が鉛直応答の増幅を加速させることを指摘している。さらに、試験体を模した数値解析モデルを援用して、上部構造のすべての部材が同位相で振動するモードに免震層が特に寄与するため、それに対応するモードだけが他のモードから独立して卓越する傾向にあることを導いている。

第 6 章では、免震病院に設置された家具・医療機器の水平応答に着目して、第 3 章で示した実大振動台実験の結果をまとめている。短周期地震動に対しては加速度応答が大きく低減されるために施設内部は無被害に留まるが、免震建物と共振を起こす長周期地震動に対しては、施設内部を無被害に留めその機能を正常に維持することが難しいことを明らかにしている。またその主たる原因が、医療施設では作業を迅速に行う必要性から各医療設備が動きやすく設計されており、多くの機器がキャスター付となっているため、長周期地震動下で特有な大振幅床応答時において、可動性の高いこれら機器が動き回ったことにあることを指摘している。さらにこれら被害を軽減する方策として、キャスターをロックするなど固定度を上げることが効果的であることを示している。

第 7 章では、免震病院に設置された家具・医療機器の鉛直応答に着目して、第 3 章で示した実大振動台実験の結果をまとめている。鉛直床応答が重力加速度 ($1g$) を超える場合には、ベッド上に設置した人体を模したマネキンの飛び上がりや、棚に収納してある薬品瓶類の散乱が十分に起こりうること、機器が鉛直方向に偏心があるような場合には、鉛直応答が激増する傾向にあることを明らかにしている。この種の応答とそれに伴う被害を低減させるためには、鉛直免震を採用して建物の鉛直固有振動数を積極的に下げるか、鉛直固有振動数を上げることによって機器への入力となる鉛直床速度をできるだけ減らすことが効果的であることを指摘している。

第 8 章では、免震建物の鉛直床加速度応答を、免震装置の鉛直柔性、柱の伸縮、床の面外たわみに起因する増幅を考慮した、三要素からなる一般化モデルを構築することによって検討している。主要変数の値をさまざまに変えた一連の解析結果から、特に低層建物においては、床と免震層の固有周波数が近いときに床位置での応答が最も増幅されることを明らかにしている。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

氏名	古川 幸
----	------

(論文審査の結果の要旨)

近年の地震防災においては、人命保護は言うにおよばず、建物機能の保持と事業継続が強く求められている。それに応える技術として「免震」が挙げられ、とりわけ免震がもつ揺れ（加速度）の抑制効果によって、災害時にも機能し続けることが要求される病院等の防災拠点施設への適用が増えている。しかしながら、免震は鉛直地震動に対しては免震されているわけではなく、また南海トラフの巨大地震によって生じる長周期地震動に対して共振する可能性も高い。さらに、病院内の医療機器がこれら地震動に対してどう挙動するかに関わる知見もほとんどない。このような背景のもと、本研究は、大型振動台実験を通じて、上記の課題に定量的な回答を与えた内容であり、下記の点で際だっている。

1. 病院をできるだけ忠実に模して医療機器を適所に配した、実寸規模の免震建物試験体に対する一連の振動台実験から、長周期地震動を受ける免震建物の揺れは大きいものの、構造損傷はほとんど起こりえないことを明らかにした。一方病院に特有なキャスター付き医療機器は、その摩擦係数の低さから、長周期地震動において特に大きく移動（ときとして3mを越す）し、機器同士の衝突や壁への衝突によって損傷や転倒が起こる可能性を突き止めた。

2. 一連の振動台実験から、鉛直地震動を受ける免震建物は通常の耐震建物に比べて、床の鉛直振動がより増幅されることが多いこと突き止めた。さらに、その理由を、免震装置の鉛直柔性、柱の伸縮、床の面外たわみに起因する増幅を考慮した、三要素からなる一般化モデルを構築することによって検討し、特に床の面外固有振動数が相対的に小さいときに、鉛直地震動による揺れが床位置で最も増幅されやすい事実を明らかにした。

3. 床上に設置された医療機器が鉛直動を受けたときの増幅特性を、床の面外固有振動数、医療機器の固有振動数、医療機器の重量偏心に着目して検討するとともに、鉛直地震動による医療機器の応答を軽減するための具体的方策を提案した。また、手術台やベッドに伏す人体への振動についても、人体ダミーを用いた実験から関連データを収集した。

以上、地震防災の切り札と期待される免震が持つ今日的課題に対して、実寸規模の大型振動台実験を通じて世界に先駆けて実測データを獲得したうえで、詳細なデータ分析を展開した本論文は、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る。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23年8月22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。