

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656341

研究課題名（和文）鉛直動を受ける免震病院における医療機器の機能性評価と人体への影響

研究課題名（英文）Assessment of Functionality of Medical Appliances Installed in Base-Isolated Hospitals and When Subjected to Vertical Motion

研究代表者

中島 正愛（NAKASHIMA MASAYOSHI）

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号：00207771

研究成果の概要（和文）：

免震医療施設内に設置された医療機器・家具の（上下）応答が鉛直動によってどのように増幅されるか、これら応答によって医療機器の機能にどのような不具合が起きうるのかを、実際の医療機器や家具に対する振動台実験と、免震構造における上下応答の増幅特性（床応答特性）に対する解析から検討した。また免震構造の最大床加速度を一般化するために、免震層、上部構造柱部位、上部構造床スラブをそれぞれ 1 自由度とした 3 自由度一般化モデルを構築し、最大地動加速度に対する最大床加速度の増幅率を簡便に求める方法を考案した。

研究成果の概要（英文）：

Examined in this research are the mechanism of amplification for the acceleration response of medical appliances relative to the input acceleration and their effect onto the performance of the appliances. The appliances would sustain significant jumping and according damage when the maximum accelerations exceed 4g. Exceptions are those with flexible elements in the vertical direction, in which they would experience significant motion such as jumping even for the acceleration ranging 1 to 2g. A generic 3DOF model is developed to quantify the degree of acceleration amplification from the ground to the floor of the superstructure.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：

建築学

科研費の分科・細目：

建築構造, 材料

キーワード：

医療施設, 免震, 医療機器, 鉛直動, 機能維持

1. 研究開始当初の背景

耐震工学において「鉛直動の影響」は数十年にわたる課題でありながら、その影響に対する評価はなお定まっていない。1973 年米国サンフェルナンド地震を皮切りに、1995 兵庫県南部地震に至るまで、鉛直動が破壊の原因である、鉛直動が破壊を促進したという議

論は、大地震のたびにわき上がる。一方で、著名な米国長老教授が、「Vertical motion stays only for one month after the quake」、地震直後は騒がれるけれど一月もすれば誰も見向きもしなくなる、と「鉛直動の怪」を言い当てている。

当時のほとんどの議論が構造物の損傷や破壊を対象としていたのに対して、昨今注目

を集めている「機能維持や事業継続」に目を転ずるとき、鉛直動の影響に対して別の視点が浮かびあがる。その好例が、免震が重宝される医療施設（病院）の上下動応答である。

- (1) 免震によって横揺れは激減するが縦揺れへの免震効果はなく、鉛直動の影響がよりめだつ。
- (2) 医療施設では、ベッド、透析器、手術台等々の各種医療機器・家具（以下医療機器と総称）を移動させなければならないので、通常の建物とは異なってその多くの脚には移動用のキャスターが付いた「フリースタANDING」状態にある。
- (3) 医療機器には、上下方向の揺れに対する固有振動数として 10Hz 以上のものが多く、またこの方向の揺れを制御する減衰機構は陽には備わっていない。
- (4) 医療機器にはデリケートなセンサーが付加されており、例えば検査機器に取り付けられたセンサーのキャリブレーション値が揺れによってずれれば、正常が異常と異常が正常と判定されるような大混乱を来してしまう。

このように、鉛直動は、大地震後にこそ機能しなければならない免震医療施設にゆゆしき影響を及ぼしかねない、従って座視するわけにはゆかない代物である。

2. 研究の目的

上記の背景を踏まえ、「鉛直動の影響」を、免震医療施設における医療機器の機能保持という側面から、次の具体的な研究目的とした。

- (1) 典型的な医療機器が鉛直動を受けたときの応答増幅特性（特に加速度応答増幅）を一連の振動台実験から明らかにする。
- (2) 医療機器の応答を支配する免震医療施設の床応答（特に加速度応答）特性を一般化する。

上記の問題に対する過去の研究蓄積は皆無に等しく、本研究はその端緒を開く内容である。上記から医療機器の応答増幅に対する定量的情報の一端を提供することによって、医療関係者等に対して、免震医療施設がもつ真の実力を知らしめるとともに、免震を用いてもなお克服すべき問題があるとすればそれが何であるかを明示し、もって将来のより広範で大規模な組織的研究への布石とする。

3. 研究の方法

本研究では、振動台を用いた実験による医療機器の応答・損傷特性の実態把握と、医療機器の応答を知るうえでの基盤となる免震構造の床応答（特に最大床加速度応答）評価法の構築を柱とする。このうち前者の振動台実

験については、(1)実大 4 層免震病院施設に対する超大型震動台実験から得られた結果の分析、(2)複数の医療機器単体に対して鉛直動を入力した実験の実施とそのから得られた結果の分析を基軸とした。

図 1 は、(1)の実験に用いた 4 層免震 RC 造試験体の全景、図 2 はそのなかに設置した 100 を超す各種医療機器や非構造部材のなかで特に着目した対象物例を示す。この実験では、直下地震の代表である 1995 年 JMA 神戸波の水平動・上下動三成分、同じく JMA 神戸波の上下動成分、日本の耐震設計で頻用される 1940 年 El Centro 波の水平動・上下動三成分、を入力とした。

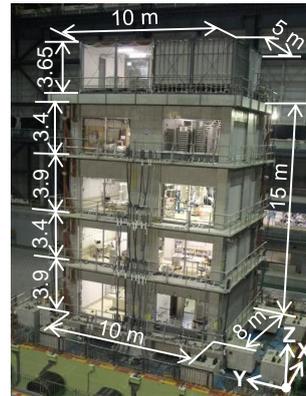
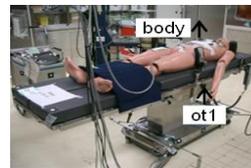


図 1 4 層 RC 免震医療施設試験体全景



(a) 手術台



(b) 未熟児用保育器



(c) 自己血回収装置



(d) 人口心臓



(e) ワゴン



(f) 除細動器

図 2 実験対象とした主たる医療機器

複数の医療機器に対する単体振動台実験

では、図2に示した機器を中型振動台に持ち込み、(1)の実験で得られた床加速度応答(上下動)を振動台への入力とすることから、これら機器の振動特性をより詳細に考察した。またこのシリーズの実験では、特に手術台、未熟児用保育器、ベッドを対象に、人体を模したマネキンを設置することから、床応答加速度、手術台等の応答加速度、マネキンの応答加速度を計測し、人体をも含む機器内での応答増減幅特性を検討した。

免震構造の床応答(特に最大床加速度応答)評価法の構築については、図3に示すように、多層免震構造(図3(a))を、上部構造を剛体とし免震層における柔性特性だけを考慮した免震層モデル(図3(b)、固有周波数: F_{BI})、基礎固定とした上部構造を考慮し、床を完全に剛と仮定した上部構造柱モデル(図3(c)、固有周波数: F_C)、床スラブだけを取りだした床スラブモデル(図3(d)、固有周波数: F_S)という、それぞれが1自由度であるモデルを、図3(e)のように組み合わせた3自由度一般化モデルを新たに考案し、このモデルを用いることによって、鉛直動の増幅特性に関する一般化を図った。

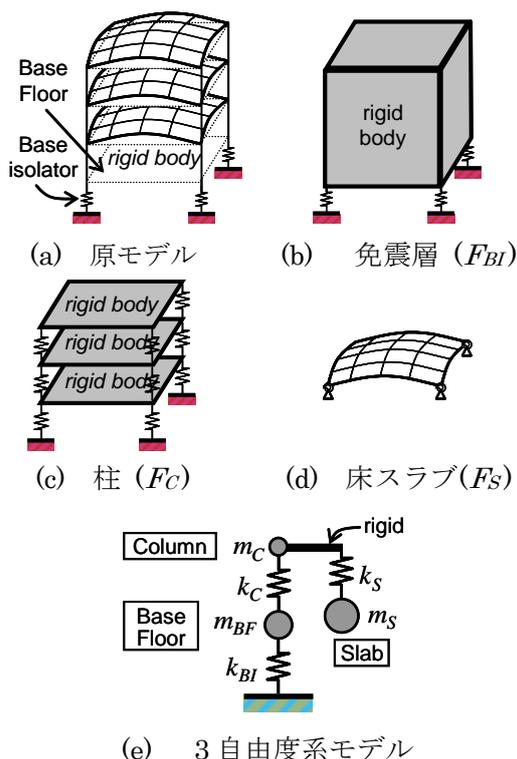


図3 床応答推定用3自由度一般化モデル

4. 研究成果

実大4層免震病院施設に対する超大型震動台実験と、複数の医療機器単体に対して鉛直動を入力した実験から得られた主たる知見は

下記の通りである。

- (1) 振動台実験を実施した免震構造物において、その鉛直方向一次固有振動数が約10Hzであったことから、鉛直地震動の卓越周期との共振が起こることがあり、その場合には、地表から免震層直上において最大1.5倍の最大加速度増幅が、免震直上層から最上層柱において最大2.5倍の最大加速度増幅が、そして、最上層柱から同層床スラブ中央位置において最大3倍の加速度増幅が観察された。このように鉛直動下における地表から最上層床に至る加速度増幅が極めて顕著になりうる。
- (2) 医療機器は一般に、機器の最大応答加速度が2gを上回らなければ顕著な跳躍や移動は生じないが、4gを超えると跳躍とその着地時における衝撃等が頻繁に生じる。本来上下方向加速度が1gを超えると物体の跳躍は起こりうるが、非定常な地震動下では1gを超す加速度の継続時間が限られていることが多く、それが顕著な跳躍に結びつかない根拠をなしている。
- (3) 床鉛直加速度が1gを超える場合には、棚に収納された小物品(薬瓶など)の転倒・散乱は避けがたく、また機器自身に鉛直方向に偏心がある場合(図4)には、他の偏心が小さい機器に比べ、鉛直動下でロッキングを伴った挙動を呈し、加速度応答が相対的に増幅した結果、2gを下回る応答加速度においても跳躍や移動が生じうる。
- (4) ベッド類においては、その鉛直1次固有周波数が他の医療機器に比べて低く、かつ免震建物の鉛直1次固有周波数(10Hz程度)と近くなることが少なくない。従って、応答加速度は増幅しがちで、その結果ベッドの患者(マネキン)が跳躍する可能性も見逃せない。ベッド類自身の固有振動数は十分高い場合においても、未熟児用保育器であれば、バネが装着された高さ調節機構、手術台やベッドにおいては、患者の下に敷くマットレスによって、その鉛直方向固有振動数が顕著に低下している。
- (5) 家具や機器が跳躍するとき、跳躍高さは入力速度振幅に依存する。従って、床鉛直応答の卓越周波数が小さいほど、また機器応答の卓越周波数が小さいほど、機器や機器上に置かれた物体はより高く跳躍する傾向にある。

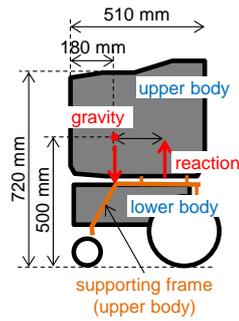


図4 自己血回収装置における鉛直方向偏心

最大床加速度応答を最大地動加速度に対する増幅率として提示することを想定し、床応答推定用3自由度一般化モデル(図3)を用いて、正弦波入力に対する増幅率、地震動入力に対する増幅率等を検討した。図5は、その結果の一例で、4層免震建物を想定した場合の、免震固有振動数、柱固有振動数、床スラブ固有振動数の比による、加速度応答増幅特性の違いを示している。これらの検討の結果、床加速度応答は一般的に下記の性質を持つことが明らかになった。

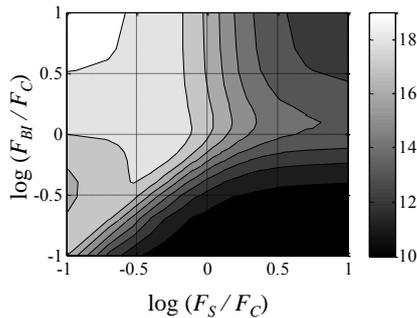


図5 免震固有周期、柱固有周期、床スラブ固有周期の比による、加速度応答増幅特性の違い(4層免震建物を想定)

- (1) 上部構造に比べて免震層が重い場合(例えば低層の鉄骨構造を上部構造に用いた場合)、免震層と床スラブの固有振動数が近く、柱の固有振動数が他の二要素よりも小さい状況で、床加速度応答は増加する。
- (2) 免震層が上部構造に比べて軽い場合(中高層免震構造)、床スラブの固有振動数が柱や免震層の固有振動数に比べて低い状況で、床加速度応答は増加する。
- (3) 免震層や上部構造の柱が床スラブよりも柔らかい場合(固有振動数が小さい場合)、床スラブの応答は低減される。
- (4) 免震層と床スラブの固有振動数の比に対して床加速度応答は極めて敏感である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- (1) Furukawa, S., Sato, E., Shi, Y., Becker, T., and Nakashima, M.: Full-Scale Shaking Table Test of a Base-Isolated Medical Facility Subjected to Vertical Motions, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 査読有, (available online), DOI: 10.1002/eqe.2305.
- (2) 古川幸、佐藤栄児、中島正愛: 鉛直動下における免震建物内部に設置した機器の挙動、*構造工学論文集*、査読有、58B、2012、pp.169-178, (<http://www.aij.or.jp/de-tabe-su.html>).
- (3) Sato, E., Furukawa, Kakehi, A., and Nakashima, M.: Full-Scale Shaking Table for Examination of Safety and Functionality of Base-Isolated Medical Facilities, *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 査読有, Vol.40(6), 2011, pp.1435-1453, DOI:10.1002/eqe.1097.

[学会発表] (計1件)

- (1) Furukawa, S., Sato, E., Shi, Y., and Nakashima, M.: Structural and equipment performance of base-isolated medical facility subjected to strong vertical ground motions, *The Fifteenth World Conference on Earthquake Engineering*, September, 24, 2012, Lisbon, Portugal.

6. 研究組織

- (1) 研究代表者

中島 正愛

(NAKASHIMA MASAYOSHI)

京都大学・防災研究所・教授

研究者番号: 00207771

- (2) 研究分担者

松宮 智央 (MATSUMIYA TOMOHIRO)

近畿大学・建築学部・講師

研究者番号: 20454639

保木 和明 (HOKI KAZUAKI)

北九州市立大学・国際環境工学部・講師

研究者番号: 70599026