

地震動の特性と建物内に設置された医療機器の地震時挙動の関係 A Influence of Ground Motion Characteristics on Earthquake Responses of Medical Appliance in Buildings Subjected

○倉田真宏・赤澤資貴・相田伸二・趙晃済・河又洋介・佐分利和宏・大鶴繁
○Masahiro KURATA・Motoki AKAZAWA・Shinji AIDA・Kosai CHO・Yohsuke KAWAMATA・Shigeru OHTSURU

This study reports the relationship between the movement of medical equipment and earthquake ground motions, aiming to provide practitioners and researchers with criteria for limiting disorder and functional deterioration during near-fault and long-period-long-duration earthquakes.

1. はじめに

一般の家具・什器とは異なり、医療機器の多くは高額で、複数の患者で共用しているため、位置調整や移動を容易にするためにキャスターを有し、かつ医療従事者の作業性を配慮して重心が高い。そのため地震時に衝突や転倒による被害が多数報告されている^{1,2)}。

本研究では、医療機器の設置状況や地震動と機器の転倒や移動量との関係について、要素実験及び実大建物の振動台実験で得られた結果を報告する。実験の計画および分析においては、医療従事者との連携を密にし、医療機器の役割や機能維持性への影響を検討した。

2. 実大実験概要³⁾

2020年12月に兵庫県耐震工学研究センターにおいて、鉄骨造病院施設の震動台実験を実施した。図1に試験体の概要を示す。平面の大きさは、耐震建物を7m×10m、免震建物を5m×6mとしている。階高は、一般的な病院建物を参考に、耐震建物の1階部分は3.6m、2階以上は3.4m、免震建物は3.5mとした4階建ての耐震建物は災害拠点となる病院施設を想定した重要建物として、基準法で要求されている必要保有水平耐力の1.5倍の耐力を満足させた。本稿では被害が発生した耐震棟の実験結果のみを考察する。

耐震建物の代表平面図(3階)を図2に示す。生命維持装置を要する患者が利用する部屋として、NICU、手術室、コロナ重症患者用病室、人工透析室を選定した。レイアウトは、医療従事者と協議の上、各部屋に一般的に必要とされる機器を配置

した。機器は展示用や廃棄予定の備品を各地の医療施設から収集した。

加振レベルを表1にまとめる。ID1とID2で耐震棟の弾性限界レベルでX方向とY方向の骨組の剛性や耐力を評価したのちに、弾性限界をやや超える長時間地震動をY方向に入力した(ID3)。次に、2次設計レベルの地震力に調整したJMA神戸波をX方向に入力した(ID4)。続いて、長時間地震動OS2の50%を水平2方向に入力した(ID5)。最後に、JMA神戸NS波の50%を水平2方向に、鉛直方向にUD波の原波を入力した。

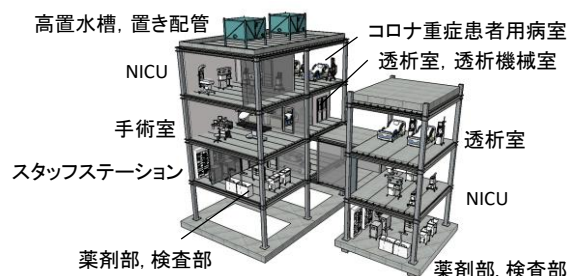


図1 鉄骨造病院試験体の概要

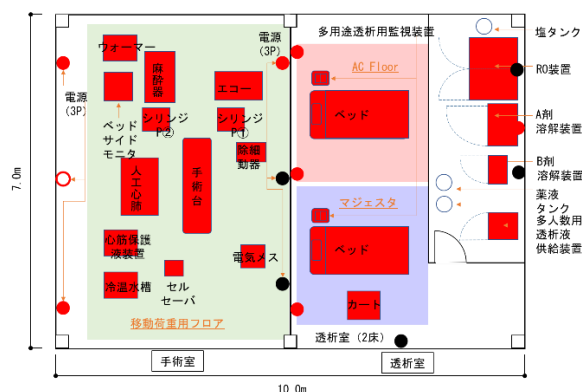


図2 代表平面図:耐震建物3階

表 1 入力地震動

ID	地震波	参考レベル
1	JMA 神戸 NS X 方向 16%	震度 5 弱
2	JMA 神戸 NS Y 方向 16%	震度 5 弱
3	OS-2 Y 方向 20%	長周期小振幅
4	JMA 神戸 NS X 方向 50%	震度 6 弱
5	OS-2 XY 方向 50%	長周期大振幅
6	JMA 神戸 NS XY 方向 50%, UD Z 方向 100%	震度 6 強

3. 実験結果の概要

ここでは、患者を載せる機器（分類①）とその他の医療機器（分類②）で分類し、床材や床応答加速度、速度、Arias Intensity (AI) 等の物理量が移動量や転倒の有無等の挙動に及ぼす影響を議論する。分類①はキャスター幅と重心高さとの比 (B/H) が大きく転倒の危険性は低いため、すべてのキャスターが固定されている機器が多い。分類②は医療従事者の作業性や占有スペースを小さくするために、比較的 B/H が小さい機器が多い。移動することが多いため、キャスターの一部がフリーの場合が多く、医療機関によっては全キャスターがフリーとなっている。

分類①の機器は 400cm/s^2 程度まで、分類②の機器は 150cm/s^2 程度まではほとんど移動しなかった。事前に防災研究所の耐震構造実験室で実施した床材をパラメタとした医療用キャスター付き台車の引張実験で得られた摩擦係数は $0.2\sim 0.3$ 程度、沈み込み係数は約 0.15 であり、キャスターの固定がしっかりしている場合は両者を足し合わせた値と 400cm/s^2 が対応する。キャスターのロックが甘い、あるいはロッキングを伴う場合には、 150cm/s^2 と良く対応した。

様々な振動数を有する医療機器の挙動と床応答の関係を評価するために、応答加速度の 2 乗を時間積分した AI と機器の移動量の相関関係を考察した。分類①、②ともに AI と移動量に相関関係が確認され、加速度に加えて加振継続時間が与える影響が大きいことを確認した。

転倒はすべて耐震試験体で発生した、点滴スタンド、ベッドサイドモニタ、人工呼吸器、IABP、ECMO に生じた。いずれも分類②であり、B/H と転倒との相関を確認した。転倒は、i) 機器単独で生じたもの、ii) 壁や機器との接触によりバランスを崩して生じたもの、iii) 床をキャスターが

踏み外したためバランスを崩したものがある。iii) は試験体特有の現象であり、実際には起こりえない。床材の種類によらず、加速度 400cm/s^2 以上、速度 50cm/s 以上で転倒が見られた。

耐震構造の床応答を分析した結果、床加速度応答スペクトルやエネルギースペクトルは建物の 1 次固有周期でピーク値となり、いずれも直下型地震動よりも長周期長時間地震動の方が増幅率は大きくなった。その結果、最大床応答加速度では直下型地震動の方が大きい場合でも、床加速度応答スペクトルやエネルギースペクトルのピーク値は長周期長時間地震動の方が大きくなり、本実験で観察されたように病院内の被害が相当大きくなった。

謝辞

本研究は、「首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト サブ(c)非構造部材を含む構造物の崩壊余裕度に関するデータ収集・整備」と JSPS 科研費 No.21H04598 による。試験体の設計製作では、日本製鉄、日鉄建材、日鉄エンジニアリング、センクシア、新高製作所、セントラルユニ、日機装、田島ルーフィング、森松工業、内藤設計事務所、OKUJU、にご協力いただいた。京大病院、宇治徳洲会病院、西陣病院、佼成病院、大垣市民病院の医療関係者、ならび京大と京都工繊大の学生諸君や技術員には多大なご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 太城力良: 地震に対して器械はこうあるべきだ—医師の立場から—, 医科器械学, 67(2), pp. 55-61, 1997
(DOI: https://doi.org/10.4286/ikakikaigaku.67.2_55)
- 2) 田中千鶴見, 山田鈴子: 地震に対して器械はこうあるべきだ—看護婦の立場から—, 医科器械学, 67(2), pp. 62-66, 1997
(DOI: https://doi.org/10.4286/ikakikaigaku.67.2_62)
- 3) Kurata, M., Kawamata, Y., Kanao, I., Ohtsuru, S., Fujita, K., Matsuo, S., Kojima, K., Cho, K., Tsutsumi, T., Aida, S., Akazawa, M., Saburi, K., Nishitani, A. "2020 E-Defense Test for Integrated Structural, Nonstructural and Functionality Assessment of Medical Facilities," 12th National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Salt Lake City, 2022.6