

能登半島地震の被害に基づく地震被害推定の妥当性評価と不確定性解析
Validation and Uncertainty Analysis of Seismic Damage Estimation
Based on the Damage Observed in the Noto Peninsula Earthquake

○入江 洸・倉田 真宏・井上 瑠偉・趙 晃濟・森 智治
○Sae IRIE・Masahiro KURATA・Rui INOUE・Kosai CHO・Tomoharu MORI

Hospitals expected to function as disaster-response hubs must maintain medical services during earthquakes. Previous regional-scale studies by the authors have shown that, when nonstructural components and medical equipment are considered, medical functionality may be lost even if structural damage is minor. This study applies the proposed damage estimation methodology to hospitals affected by the 2024 Noto Peninsula Earthquake and validates the method through comparisons with observed damage. The influence of uncertainties in ground and building models on the estimation results is also examined. (83words)

1. はじめに

防災拠点として機能することが期待される病院では、医療機能を維持する必要がある。地域レベルでの病院被害の把握を目的とした既往の研究¹⁾では、非構造部材や医療機器を考慮した場合に、構造躯体の損傷が小さくても医療機能の維持が難しいことを示された。同研究で用いた被害推定手法を、令和6年能登半島地震で被害を受けた病院に適用し、実被害との比較から推定手法の妥当性を確認した。次に、推定手法における地盤モデルと建物モデルの不確定性の影響を分析した。なお、本稿の一部は文献2を抜粋したものである。

2. 被害推定手法

推定手法の基本的なフロー¹⁾を図1に示す。被害推定の対象は、医療機能に関わる要素である、

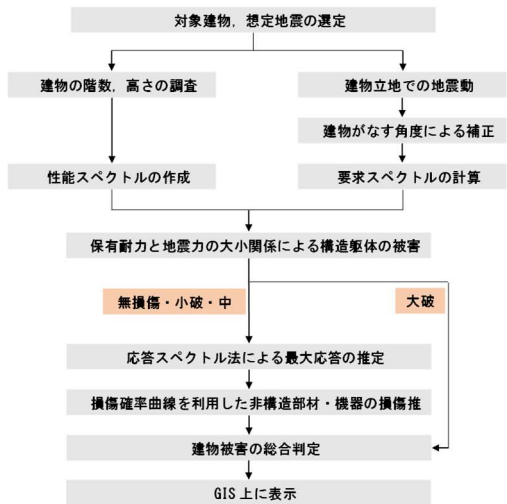


図1 地震被害推定のフロー¹⁾

構造躯体・非構造部材・医療行為を行う室の3つとし、室被害の推定については、新たに赤澤らの手法³⁾を適用した。

建物立地における地震動は以下の方法で推定した。まずQUIET+⁴⁾を用いて対象病院を含む250mメッシュにおける地表最大加速度を求める。その後、対象病院に近い立地における観測記録を地表最大加速度に合うように倍率を決定し作成する。

構造躯体の被害推定方法は、建物の保有耐力 I_s と建物に入る地震力 I_{so} の大小関係により推定する。非構造部材・医療機器の被害推定方法は、建物を等価1質点系とみなし応答スペクトル法により求めた代表点応答を用い、それぞれの部材に対する損傷確率関数⁵⁾に代入し、DS0からDS2で評価する。非構造部材は、天井・天井照明・間仕切壁・外壁・ガラス窓・配管の6項目を考慮し、そ

表1 構造躯体の被害¹⁾

種別	A	B	C	D	F	H	I
柱							せん断破壊
実被害	軽微 無損傷	軽微 無損傷	軽微 無損傷	軽微 無損傷	軽微 無損傷	軽微 無損傷	中破
推定被害	同上	同上	同上	小破	小破	小破	軽微 無損傷

表2 非構造部材の被害¹⁾

種別	A	B	C	D	F	H	I
給排水管	損傷	漏水小	漏水小	漏水大	漏水大	漏水小	漏水大
天井	一部落下	損傷	一部落下	損傷			一部崩落
天井照明		損傷		損傷			損傷
間仕切壁		損傷	亀裂	亀裂	亀裂		亀裂
外・雑壁 階段室	軽微	損傷	損傷	損傷大	損傷	損傷大	損傷
実被害	DS1	DS2	DS1	DS2	DS2	DS1	DS2
推定被害	DS2	同上	同上	同上	DS1	DS2	同上

表 3 医療行為室の被害

種別	A	B	C	D	E	H	I
室内被害	輸血ポンプの転倒	手術検査機器損傷	モニター落下	内視鏡洗浄機	モニター転倒	輸血ポンプの転倒	手術室機能喪失
手術再開まで	不明	3 か月	2 週間	3 か月	不明	不明	半年以上
実被害	C	D	C	D	C	C	D
推定被害	同上	C	同上	C	同上	同上	C

表 4 与える不確定性

パラメーター	基準値	正規分布の中央値	標準偏差
せん断波速度 V_s	V_s	$1.1 * V_s$	$0.4V_s/3$
単位体積重量 ρ_0	ρ_0	ρ_0	$0.2 * \rho_0/3$

の最大を非構造被害とする。

医療行為を行う室の被害推定²⁾では、最大加速度(PFA)、最大速度(PFV)に加えて、床応答加速度が 150 cm/s^2 を超えた時間の累計値(CA150)を指標として、被害ランクを A から D に分類する。ランク B で機器が移動し、ランク C で衝突や転倒が生じ、ランク D で機能損失の可能性が高まる。

3. 実被害との比較

ヒアリングとアンケート調査を実施した 7 病院について、構造被害・非構造被害・室内被害の実被害と被害推定を表 1、表 2、表 3 に示す。

構造躯体の実被害と推定はほぼ一致した。病院 A から病院 H では構造躯体の大きな被害は確認できず、被害推定でも同様であった。病院 I では、2 階の廊下屋根を支える側柱 1 本がせん断破壊し、推定より被害が大きくなった。非構造部材では、特に配管の被害が目立つ結果となった。重大な漏水が発生し、居室や廊下などが水損した場合に重度と判定した。その傾向は被害推定と概ね整合していたが被害の大小は異なった。室内被害について、被害推定ではすべての病院でランク C となったが、実被害ではランク D である病院が 3 病院あった。その理由は医療機器の被害や手術室設備の直接被害であるが、その他に手術再開が遅れた原因には建物躯体や給排水の被害、業者の手配が大きく関係していた。

4. 不確定性解析

不確定性解析では、京都市内の病院立地でのボーリングデータを用いて、地盤の不確定性を考慮した解析を行っている。京都市第 3 次被害想定で示された工学的基盤面での地震動⁶⁾を用いて一次元地盤応答解析を行い、地表面波形に変換する。その際に、表 4 で示す不確定性を考慮する。建物については、これまでの検討で影響が支配的であ

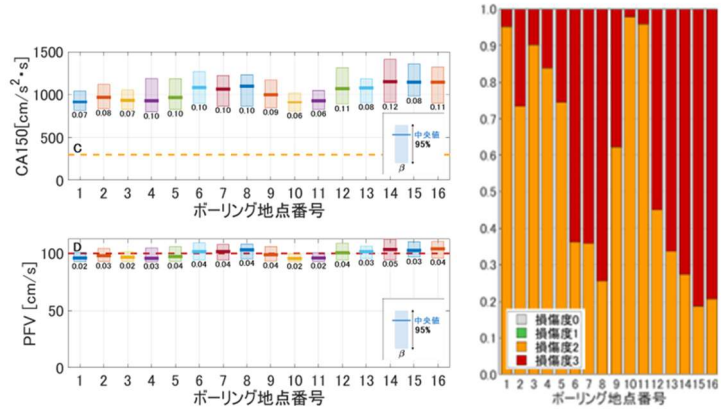


図 2 不確定性解析結果例：同立地内の異なるボーリングデータ

る降伏時ベースシアをパラメーターとする。

図 2 に京都市内のある病院を対象とした検討においては、敷地内に存在する複数のボーリングデータの選択が、被害推定に与える影響を検討した結果を示す。花折れ断層地震を想定した HA 波では、ボーリングデータの選択が応答値に与える影響が確認された。工学的基盤面までの層厚が大きくなればなるほど、応答値のばらつき β が大きく、応答値も大きくなる傾向が見られた。左上図の CA150 に影響が大きく、右図に示す医療行為室の被害判定においても少くない影響を与えている。

5. まとめと今後の課題

推定手法と実被害の比較では、構造被害は推定と実被害が良く対応し、非構造部材や設備の被害も概ね良く対応していた。医療行為を行う室全体の被害は、3 病院で対応しなかった。室被害や下水関係の設備や貯水槽、給湯暖房などの損傷も医療機能に大きな影響を与えており、今後の検討課題である。地盤や建物の不確定性の影響について、検討中の結果の一例を示した。

謝辞

ヒアリング調査に協力いただいた病院関係者に深く感謝する。科研費 23KK0080 の助成を受けた。

参考文献

- 入江 冨, 井上 瑠偉, 倉田 真宏: 非構造部材と機器を含めた地域レベルの病院地震被害推定における基礎検討, AIJ 近畿支部研究報告集, 64, p.221-224, 2024.6
- 入江 冨, 倉田 真宏, 井上 瑠偉, 趙 晃済, 森 智治: 2024 年能登半島地震の病院被害調査と機能低下推定手法の精度検証, AIJ 年次大会, p. 97-98, 2025.7
- 赤澤 資貴, 倉田 真宏, 相田 伸二, 趙 晃済, 中低層医療施設の構造特性と室内被害ランクとの関係性, 日本建築学会構造系論文集, 2025, 90 巻, 829 号, p. 326-333
- 構造計画研究所, QUIET +, <https://site.quietplus.kke.co.jp/>
- Federal Emergency Management Agency (2012) FEMA P-58: Seismic Performance Assessment of Buildings. Washington.
- 京都市, 京都市第 3 次被害想定—報告書—, 2003.1