

残存性能モニタリングと広域余震ハザードに基づく被災建物健全性の時間変化予測
 Evaluation of Time-Dependent Risk for Re-Occupancy of Earthquake-Affected Buildings using
 Residual-Capacity Monitoring and Aftershock Hazard Analysis

○倉田真宏・新本翔太・鈴木明子・山田真澄・楠浩一・宮本匠
 ○Masahiro KURATA, Shota SHIMMOTO, Akiko SUZUKI, Masumi YAMADA,
 Koichi KUSUNOKI, Takumi MIYAMOTO

This research aims to develop a framework to provide a time-dependent measure to evaluate risk for re-occupancy of earthquake-affected buildings. The time-dependent measure adopted in the study is the exceedance probability of interested damage limits over 30 days using pre-computed aftershock intensity and aftershock rate for scenario earthquakes. To minimize downtime after events, this study proposes to prepare a catalogue collecting exceedance probabilities that are dependent on mainshock-induced damage states. The damage states are identified by the residual-capacity monitoring techniques using accelerometers and numerical static pushover curves. The validity of the proposed framework was examined for a low-rise steel frame located in the southern Osaka region.

1. はじめに

将来の南海トラフの巨大地震や各地域の直下地震において建物の設計レベルを大きく超える地震動が発生した場合、被災地域では大規模な人的・物的被害に加えて、社会サービスや生産活動の長期的停滞が予測される。さらにオフィスビル、庁舎や商業施設が密集した地区では、大勢の人が一斉に避難することで、大きな混乱を招く可能性が高い。このような事業活動の停滞や混乱を低減するためには、建物や社会基盤の継続使用について迅速な判断の根拠となる工学的情報が必要となる。

本稿では、被災建物の残存性能と広域余震観測に基づく確率論的地震ハザード解析により、地震後の建物健全性の時間変動を短期的に予測し、事業再開までの意思決定を支援する情報を提供する手法を報告する。なお、本稿は文献[1]に報告した内容の抜粋を一部含む。

2. 建物継続使用の意思決定支援の枠組み概要

図1に提案する枠組みのフローを示す。本手法では、地震前に事前に建物継続使用性の判定指標を準備しておく、本震後にモニタリングの情報から速やかに意思決定を支援する。事前検討では、まず建物の数値解析モデルから建物の損傷確率曲線を算出する。次に地震の想定をもとに余震ハザードを作成し、損傷確率曲線と組み合わせることで本震後30日間の余震に対する損傷確率を算出する。事前に様々な損傷状態を模擬したモデルを

用いて計算した損傷確率が図2である。図の縦軸は損傷確率、水平軸は構造物の剛性と耐力の低下度を示す。本震直後にモニタリング情報をもとに同定した余震による損傷確率は、事業が再度中断するリスクを示しており、事業再開にかかるコストと合わせることで意思決定の迅速化につながる。

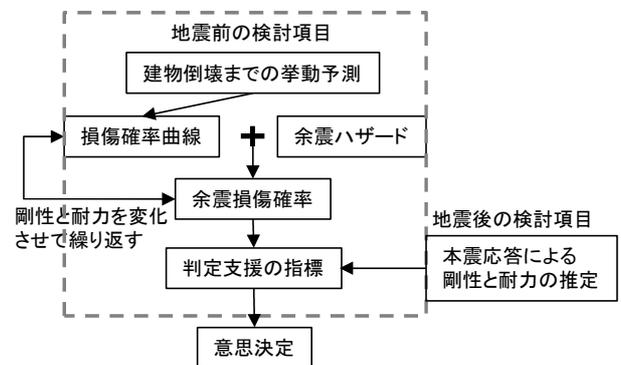


図1 意思決定手法案のフロー

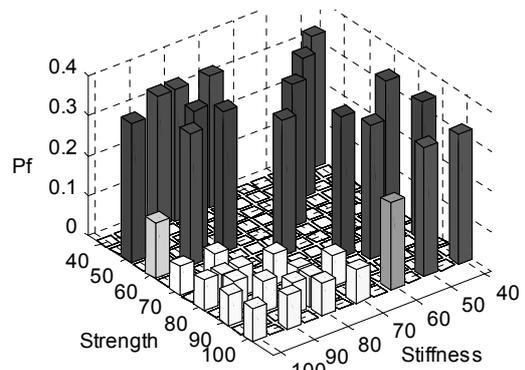


図2 建物継続使用の判定支援の指標

3. 建物の残存性能を反映した損傷確率曲線

平成 26 年度に実施した振動台実験の結果を参照して 3 層鉄骨造骨組の部材レベルの劣化挙動を考慮した骨組モデルを構築した。解析モデルでは、構造部材の劣化挙動を模擬するために柱、梁の端部に Ibarra-Medina-Krawinkler モデルを使用した塑性ヒンジを挿入した。作成した骨組モデルの変位増分静的解析結果を図 3 に示す。横軸は建物の頂部変形角、縦軸は 1 層せん断力である。ここでは割愛するが、劣化域に至るまで実験結果とも良好に対応していた[1]。

建物の損傷状態は、この静的解析結果とモニタリングから得られる頂部変形応答を利用して推定する。図 3 の赤線が床加速度応答から算出した最大の応答頂部変形角で、これに対応する耐力の低下度を推定する。剛性の低下度は、建物の固有振動数を 2 乗した値を損傷前後で比較して同定する。

損傷確率曲線の算定においては、応答を簡易に評価するために骨組モデルを等価一自由度系 (ESDOF) モデルに変換し、荷重変形関係は図 4 に示すバイリニアモデルに近似した。次に、図 5 に示すとおり、ESDOF モデルに対して動的増分解析を行い、各入力地震動レベルにおける骨組の損傷確率を求めた。右図は損傷の閾値を頂部変形角で 1% に設定し、異なる 46 種類の地震を選択した場合の結果である。無損傷時に加えて、本震時の損傷による 20% の剛性低下と 10% の耐力低下を考慮した例を示す。

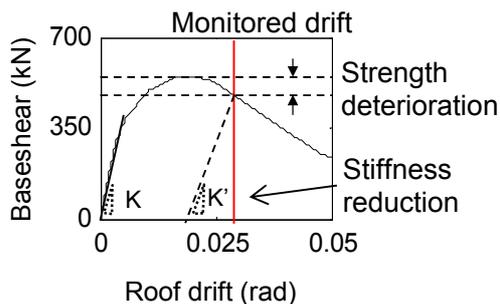


図 3 静的増分解析結果と損傷状態の関係

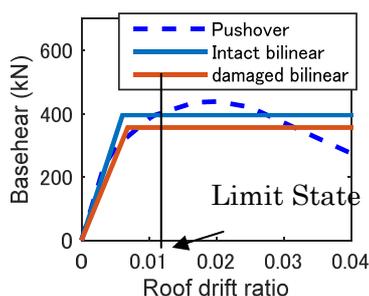


図 4 等価一自由度モデルのバイリニア近似

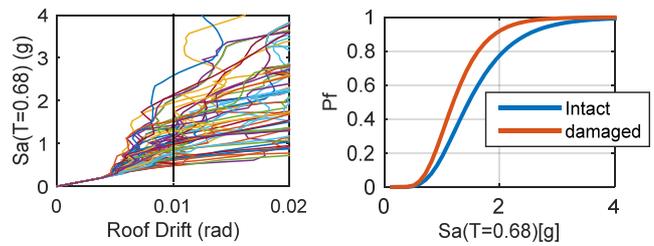


図 5 動的増分解析と損傷確率曲線

4. 余震リスクの推移

余震リスクは本震後、時間が経過するにつれて減少する。この視点では、余震リスクは時間の経過と共に減少の一途をたどる。一方で、余震に伴い建物の損傷が進行した場合には、その時点での余震リスクは増加する可能性もある。本研究では、定性的な検討にとどまるが、このような損傷がモニタリングにより同定された場合には、図 6 のように随時リスクを再計算することも考えられる。この場合に、事前に用意した余震リスクの指標 (図 2) をそのまま有効利用できるかについては、今後の検討課題の一つである。

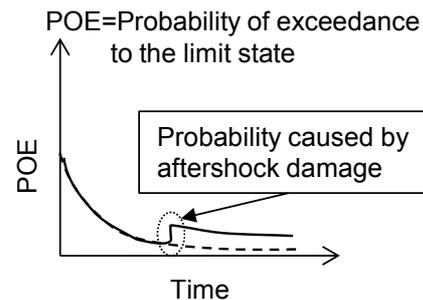


図 6 判定指標の推移

5. まとめ

モニタリングと数値解析モデルから建物の残存性能を考慮した損傷確率曲線を導出し、これと余震ハザードを組み合わせて建物を継続使用する際の余震リスクを計算した。特に、震災時に復旧作業の効率を考慮した意思決定指標として、本震発生後 30 日間に事業を中断するリスクを提案した。また意思決定を迅速に支援するために、巨大地震の発生シナリオで想定される余震ハザードに対して、建物の損傷状態ごとのリスクを事前にカタログ化することを合わせて提案した。

謝辞

本論の研究成果の一部は、京都大学防災研究所と東京大学地震研究所の連携共同研究課題型の助成を受けて実施された。

文献 1: 新本翔太, 倉田真宏, 鈴木明子, 李小華: 余震リスク評価に基づく被災建物継続使用の迅速な意思決定支援, 地域安全学会論文集 No.27, 2015.11