

# 地震被災建物に対する被害度の即時評価と計測・表示技術の構築に向けた実験と分析

名古屋大学工学部環境土木建築学科建築学コース  
長江研究室 高谷和樹

## 1. 研究の背景と目的

南海トラフや直下型地震において、広域かつ大規模な地震被害が懸念されており、多くの建物が被災することで、多くの避難民を生むこととなる(図1)。安全な場所の確保と周囲の人々への誘導や震災後の復興を考



図1 名古屋市内の住宅街

え、建物の安全性のみでなく機能性を含めた、即時的な被害度の判断が必要となる。そこで、本研究では、「地震動による建物の正確な応答を計測する技術の構築」と「判断した健全性を周囲に表示する技術の構築」、「建物の健全性を総合的に評価する技術の構築」を並行してめざす。特に第1段階として、「LED照明による被害度の表示技術の構築」と「角速度計による層間変形角計測技術の構築」、「ロッキングによる建物被害度の評価技術の構築」をめざす。(図2)

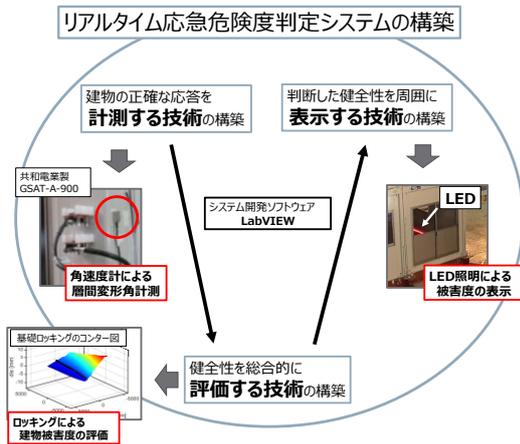


図2 研究チャート

## 2. 計測・表示技術の構築に向けた実験の概要

設備機器や非構造部材の高機能化と、シャッターやカーテンウォールにおける躯体との層間変形追従性、昼夜間や場所によらない周囲への表示を考え、変位計より設置が容易である角速度計による層間変形角と、LED照明を用いた、非構造部材によるセルフモニタリングシステムを構築する。2層2連ユニットハウスの1軸加振を行った。1層屋内にLED照明を設置し、各計測器のデータより被害度を評価し、その程度に応じて照明の色を白、黄、燈、赤の4段階に変化させる。試験体の様子、加振条件を図3に示す。

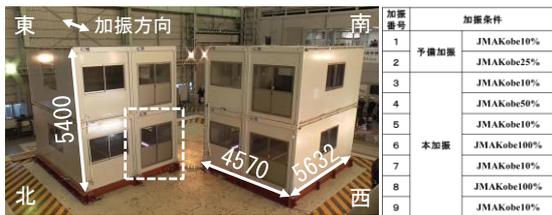


図3 2層ユニットハウス実験(2019.12)に参加

## 3. 計測器精度の検討

定格容量が $\pm 15.71 \text{ rad/s}$ の共和電業製のGSAT-A-900と定格容量が $\pm 1.75 \text{ rad/s}$ の村田製作所製のSCC1300-D02の2種類の角速度計の精度検討を、変位計を用いた層間変形角と角速度を1階積分した層間変形角で比較を行った。ピークごとの変位計による層間変形角に対する角速度計による層間変形角の比と、その時の角速度計による層間変形角を図4に示す。JMA神戸波10%加振ではSCC1300-D02において、 $1/1000 \text{ rad}$ 以上の変形角で $\pm 20\%$ の精度が確認でき、GSAT-A-900と比較することで、定格容量による計測値の信頼性範囲の変化を確認した。設置する建物やその階で想定される変形角の最大振幅や振動特性を考慮し、計測器を変えることは難しいため、計測値の計算処理による対応が必要である。

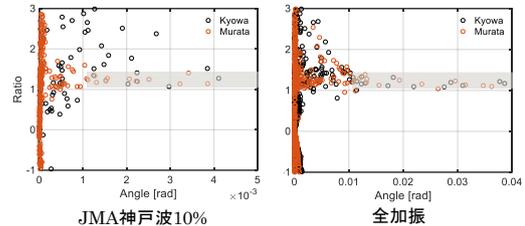


図4 角速度計による変形角精度

## 4. LED照明による被害度表示

基礎梁上の1層の層間変形角を計測値から逐次計算することでLED照明の色を変化させた。逐次計算にはNational Instruments社のシステム開発ソフトウェアであるLabVIEWを用いた。第6加振時の層間変形角の時刻歴波形を図5に、そのときのLED照明の色の変化を図6に示す。3秒ごとに計測値から閾値の判定をしたため、計測値と色の変更までの間に遅れが生じた。層間変形角の計算負荷と地震動や建物の特性による変形角応答を考慮した、判定間隔と周囲の人々が適切な避難を行えるような、閾値の設定が必要である。

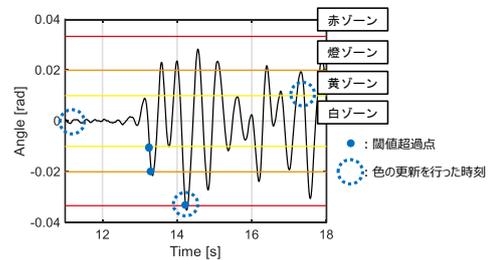


図5 層間変形角の時刻歴波形

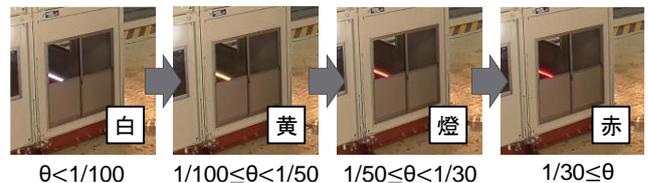


図6 LED照明の色の変化(図3の点線枠内)

## 5. 評価技術構築に向けた実験の概要

地震動によって建物が吸収したエネルギーは、上部構造のみでなく、基礎ロッキングや基礎滑りを考慮する必要があり、住宅の多様性に対応するため解析モデルの作成(図9)も視野に入れ、基礎ロッキングによる地盤のエネルギー吸収量の分析を行う。分析は、3階建て木造住宅の3軸加振実験データを用いた(図7)。振動台上に土槽地盤を作成し、べた基礎住宅を設置することで周辺地盤が再現されている。



図7 3階建て木造住宅実験(2019.2)のデータ利用

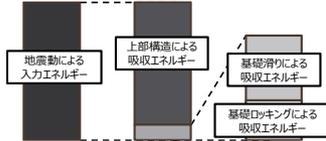


図8 住宅のエネルギー収支



図9 研究室におけるモデル作成状況

## 6. ロッキングによる転倒モーメントと抵抗モーメント

ロッキング時の水平加速度による転倒モーメントと地盤反力による抵抗モーメントの比較を行った。転倒モーメントは各階床及び基礎上の慣性力と建物高さから計算した。抵抗モーメントは、地盤反力と建物重量が釣り合っていると、建物重量および地盤反力の応力中心と重心間の水平距離から求める。接地面は基礎四隅の鉛直変位記録から基礎面全体の形状を補完した値が0以下の要素とし、接地面応力を一定と考えることで、接地面の図心を応力中心とした(図10)。転倒モーメントと抵抗モーメントの時刻歴波形を図11に示す。抵抗モーメントに乱れがみられるが、基礎面が微小な変位によって大きく変化するためだと考えられる。

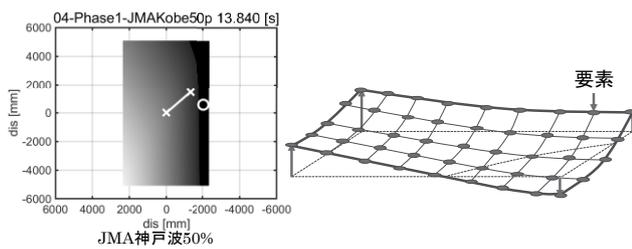


図10 ロッキング鉛直変位分布コンター図

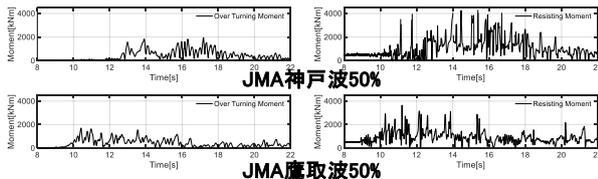


図11 転倒モーメントと抵抗モーメント

## 7. 転倒モーメントと抵抗モーメントのエネルギー吸収

転倒モーメントとロッキング角の履歴曲線(図12)から、方向ごとのエネルギーを計算し、足し合わせることで転倒モーメントによるエネルギー吸収とした。基礎分割要素ご

とに圧縮応力と変位の関係を図13のように仮定し、要素の鉛直変位時刻歴と合わせて抵抗モーメントによるエネルギー吸収とした。 $\sigma_y$ は建物重量と地盤反力が常に釣り合っていると、建物重量を接地面積で除した値とした。両者の時刻歴を図14に、加振ごとの最終値を図15に示す。JMA神戸波25%加振と、JR鷹取25%加振の小振幅加振では、抵抗モーメントによる吸収エネルギーの方が大きくなるが、それ以外の加振では、転倒モーメントによる吸収エネルギーの方が大きくなる。分割地盤要素において変形がそのまま残留すると仮定しているため、要素の最大変形後にエネルギー吸収が起きないためであると考えられる。ヒステリシスを考慮した地盤モデルによるエネルギー吸収量を検討し、住宅建設時の地盤調査の範囲での地盤物性値からエネルギー吸収量の解析が行えるようにしていく必要がある。

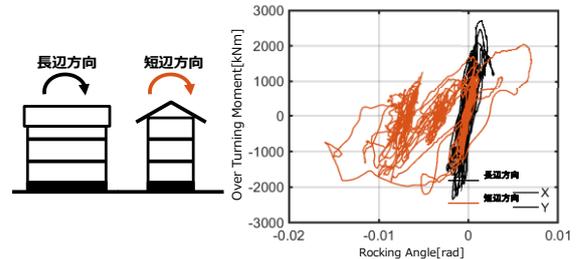


図12 履歴曲線

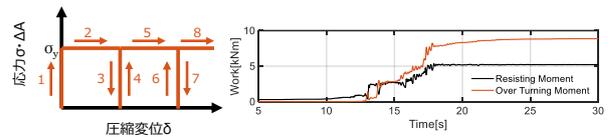


図13 分割地盤要素の圧縮応力と圧縮変位関係

図14 JMA神戸波50%加振の吸収エネルギー比較

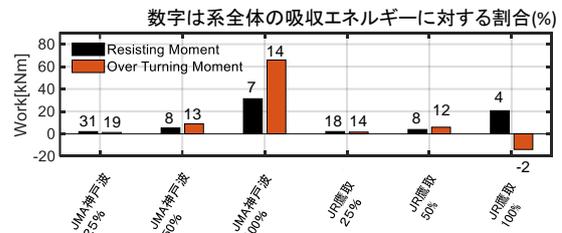


図15 加振ごとの吸収エネルギー最終値

## 8. 結論と今後の課題

リアルタイム応急危険度判定システムの構築に向けて、計測技術、表示技術、評価技術について実験と分析を行った。建物の構造や層数、周辺地盤の状況、想定される地震動等の物理的な特性、さらには周囲の人々の年齢層や土地利用によるの違いを考慮した判断が必要になると考え、今後は多様性を考慮して計測・評価・表示できるよう検討していく。

### 参考文献

- 古田昌弘,高橋武宏,山田洋平,柏尚稔,林和宏,井上貴仁,長江拓也:地中配管設備等の非構造部材を含む3階建て住宅の機能を検証するE-ディフェンス実験その10,日本建築学会大会学術講演梗概集
- 国土交通省国土技術政策総合研究所,国立研究開発法人建築研究所:木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版)
- 国土交通省住宅局建築指導課,国土交通省国土技術政策総合研究所,独立行政法人建築研究所,日本建築行政会議:2007年版建築物の構造関係技術基準解説書