

地震動到着直前の緊急対応と発災後の応急対応を支援する 総合地震防災システムの構築

[研究代表者] 横田 崇 (工学部土木工学科)

[共同研究者] 倉橋 奨 (工学部土木工学科)

落合鋭充 (株)エーアイシステムサービス

研究成果の概要

近年の発生が危惧される南海トラフ地震は、発生形態に多様性があり、生成する地震動や被害をあらかじめ予測することが難しい。また、巨大地震の前後には、内陸地震（直下型地震）が誘発されることが指摘されており、南海トラフ地震を含む突発的な地震に対する地震被害軽減が必要である。本研究では、建物に設置した地震計記録を用いた地震被害軽減システムを構築することを目的とする。具体的には、建物の1階と最上階に地震計を設置し、その記録から(1)直下型地震に対応したオンサイトワーニングシステム、(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム、(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステム、(4)面的な情報による地域被災予測情報、を包括化し総合地震防災システムである。

(2)愛知工業大学の時計台に設置した地震計にて、3月16日福島県沖の地震(Mw7.4)と4月7日愛知県東部の地震(Mj4.6)の地震を観測した。その記録を用いて、長周期地震動に対応したワーニングシステムの検証を行った。その結果、愛知県東部の地震から推定した1階と最上階との伝達関数および福島県沖の地震の1階の記録を用いて、福島県沖の地震の最上階の観測波形を概ね再現できることを確認した。一方で、観測記録の最大値および継続時間を早く推定するまでには至らず、さらなる工夫が必要であることがわかった。

(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステムでは、より高精度な微動計の記録を用いて解析をした結果、目的である上昇波と下降波が抽出できた。上昇波と下降波の時間差および層間高さから建物を伝達するせん断波速度は約240m/sとなり、既往の結果と概ね同じ結果となった。今後、設置している地震計の記録を使用し、さらなるデータの蓄積をし分析を進める。

研究分野：地震学・防災情報学 研究代表者の専門分野

キーワード：建物被害判定、建物振動モニタリングシステム、常時微動、地震観測

1. 研究開始当初の背景

日本は地震大国であり、最近5年間だけでも2016年熊本地震、2018年大阪府北部の地震、2018年北海道胆振東部地震などの被害地震が発生し、中部圏では2020年長野県・岐阜県県境の群発地震などの活発な地震活動が発生している。将来的には、多様な発生形態が想定される南海トラフ巨大地震のみならず、この地震前後に誘発される内陸地震の発生も指摘されており、突発的な地震に対する地震被害軽減、特に人的被害の軽減策を講じることが必要である。

2. 研究の目的

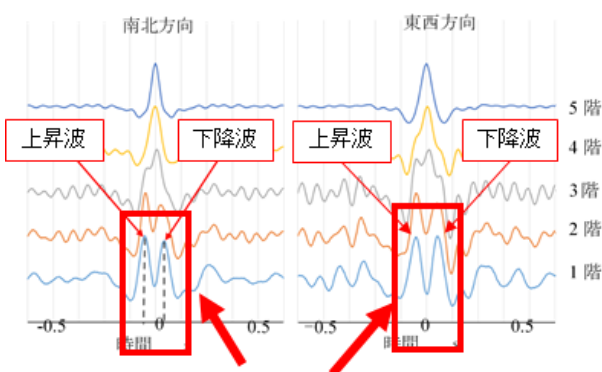
この突発的な地震に対する地震被害の軽減策として、建物に設置した記録を用いる方法が考えられる。本研究では、建物の1階と最上階に地震計を設置した記録を用いた4つのテーマの研究を実施する。(1)直下型地震に対応したオンサイトワーニングシステム、(2)長周期地震動に対応したワーニングシステム、(3)建物被害判定のための建物振動モニタリングシステム、(4)面的な情報による地域被災予測情報の提供システム、を包括化した総合地震防災システムを構築する。

3. 研究の方法

本研究で実施する4テーマのうち、本年時実施した内容について以下に示す。

(2) 長周期地震動に対応したワーニングシステム：対象建物に設置した地震計により、平時は建物の応答特性の抽出を行う。地震時は、抽出した応答特性と地表観測記録から上階の地震動を予測し、大きく揺れる前にアラートを出すシステムである。この研究を進めるため、2021年度から愛知工業大学内の時計台の1階(1F)と最上階(RF)に、また、愛知県自治センターの地下2階、6階、12階に地震計を設置している。このうち、時計台に関しては、2022年3月16日の福島県沖地震(Mw7.4)と2022年4月7日の愛知県東部を震源とした地震(Mj4.6)の地震記録が得られたため、この記録を用いた長周期地震動に関する分析を行った。本研究では、山下ほか(2012)の手法を適用し、1Fの記録からRFの記録の再現を試みる。また、その結果から、長周期地震動のワーニングについての考察を行う。

(3) 建物被害判定のための建物振動モニタリング：王他(2012)による逆重畳法を基に、常時微動記録から建物内の上昇波と下降波を抽出し、その伝播時間からせん断波伝播速度を推定する。図1に解析結果の一例を示す。図1の1, 2階には2つのパルス波形がみられる。これが上昇波と下降波を表現しており、この波形よりせん断波伝播速度が推定可能となる。



上昇波と下降波の時間差から
せん断伝播速度を推定

図1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断伝播速度を推定する。

4. 研究成果

(2) 長周期地震動に対応したワーニングシステム

本研究については、比較的高層建物での下位階および上層階での観測記録が重要となる。一方で、愛知県は地震発生数が少なく、明瞭な震動源となる観測記録が期待できない。そこで、明瞭な震動源となる地下鉄や鉄道沿線近傍での観測を試みている。現在、愛知県内での観測準備をしている。

本研究では、山下ほか(2012)の手法を適用し、1Fの記録からRFの記録の再現を試みた。はじめに、M4.6の地震の1FとRFのスペクトル比を計算し、そこから山下ほか(2012)の手法を用いて、1次モードと2次モードの周期、減衰関数、刺激関数を求め、理論的な1次モードと2次モードを持つ伝達関数を構築した。図2に観測フーリエスペクトル比と伝達関数を示す。手法の適用性の確認のため、この伝達関数を1Fの記録に適用したRFの計算波形とRFの観測波形の比較を図3に示す。計算波形は、観測波形をほぼ再現でき、この手法の適用性を確認した。

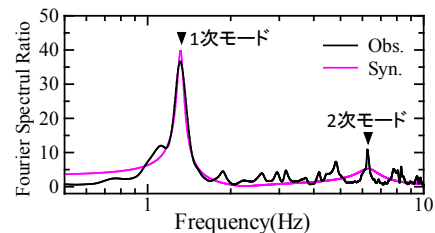


図2 観測フーリエスペクトル比と伝達関数

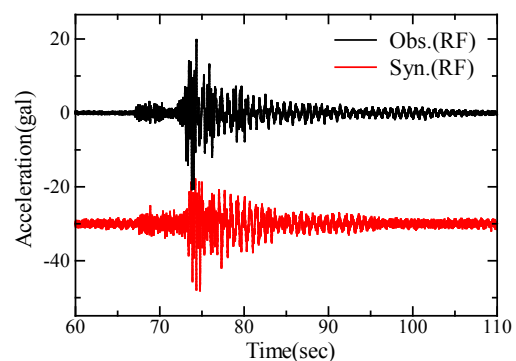


図3 時計台RFの観測波形(黒)と計算波形(赤)
次に、この伝達関数を3月16日の福島県沖の地震(Mw7.4)における1Fの観測記録に適用し、RFの観測記録と比較した結果を図4に示す。完全な再現とまではならないが、振幅および継続時間はほぼ再現できている。このことから、既存の記録から伝達関数を求めておき、1Fの記録からRFの予測波形を計算することが可能で

あることが確認された。

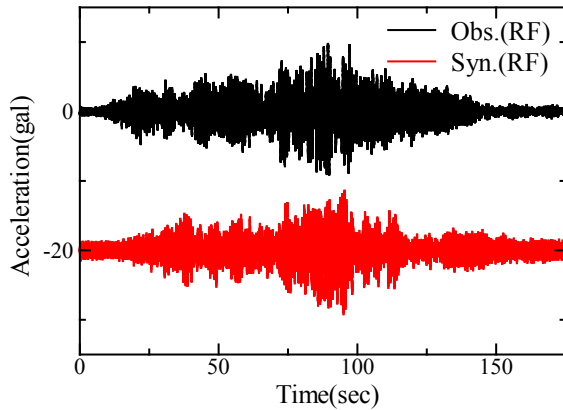


図4 3月16日福島県沖の地震の時計台RFの

観測波形(黒)と計算波形(赤)

最後に、1Fの波形からRFの最大値および継続時間の推定がどの程度できるかの確認を行った。図5に、1F観測記録が記録されてから50秒経った時の計算波形(青)、75秒経った時の計算波形(緑)、100秒経った時の計算波形(橙)を示す。この結果、RFの最大値を計算波形で求めるためには、ほぼ同時刻の1Fの記録を用いないといけないことがわかった。継続時間についても、長周期地震動特有の、長い継続時間を再現することはできなかった。したがって、時計台においてワーニングシステムに適用するには、別途工夫が必要であることがわかった。

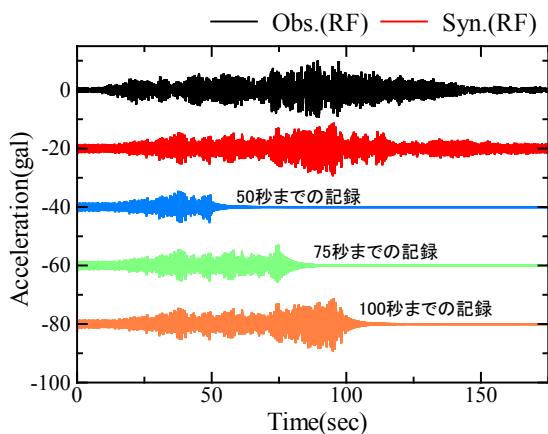


図5 3月16日福島県沖の地震の時計台RFの

(3) 建物被害判定のための建物振動モニタリング

時計台における記録において、本手法を適用した。なお、観測記録は、プロ研Bで設置した地震計ではなく、より高精度な微動計(JU410、白山工業社製)で観測されたものを利用した。図6に算出された上昇波と下降波を示す。微動計設置地点での上昇波と下降波が得られて

いる。これらの時間差および層間高さから、せん断波速度は約240m/sであった。この値は、これまで他の建物で蓄積してきた値とほぼ同等の値であった。

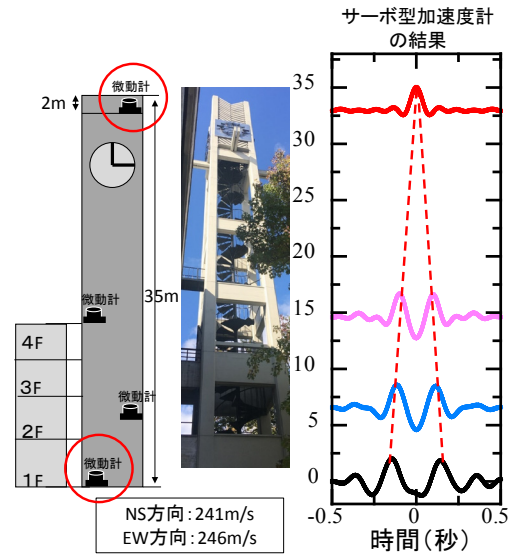


図6 時計台における上昇波と下降波

5. まとめ

南海トラフ巨大地震および突発的な地震に対する地震被害の軽減策として、建物の1階と最上階に地震計を設置した記録を用いた4つのテーマの研究を進めている。(2)のテーマでは、観測記録から建物伝達関数を算出し、1階の記録から上層階の観測波形が概ね再現できることを確認した。一方で、ワーニングシステムに使用するためには、工夫が必要であることがわかった。(3)のテーマでは、時計台のせん断波速度の推定を行った。今後されなるデータの蓄積を行い、システムの向上を図る。

参考文献

王欣, 正木和明, 入倉孝次郎: 常時微動を用いた被災建物の層間せん断波速度の測定, 日本地震工学会論文集, 13(2)特集号, 22-36, 2013.

王欣, 正木和明, 入倉孝次郎, 源栄正人, 久田嘉章: 常時微動の鉛直アレイ観測に基づく超高層ビルにおける1次元波動伝播解析および層間せん断波速度の抽出, 日本建築学会構造系論文集, 第80巻, 第718号, 1859-1868, 2015.

謝辞: 本研究は、2020年度愛知工業大学総合技術研究所プロジェクト共同研究Aの助成により実施しました。ここに記して感謝申し上げます。