

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 (㈱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。

(1)オンサイトワーニングシステムでは、2016年熊本地震と2019年山形県沖の地震の観測記録を用いて、即時震度時刻歴と即時震度増加率を算出し、震源からの距離の推定及びオンサイト地震警報の可能性を分析した。2016年熊本地震の分析では、震央距離との関係性よりP波着信時で急激に震度上昇がみられるが、震央距離近い観測点ではそれが顕著にみられる。また、震央距離が近いほど、震度増分が大きいことがわかった。一方で、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。(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、常時微動観測記録により、最上階は時計台の固有周波数とみられる1.3Hz（固有周期：0.77秒）が明瞭にみられた。一方で、逆重畳波については、明瞭は上昇波と下降波が見られていない。この理由として、スタック数が少ないことや、時計台の下位階が旧本部棟と連結しており、上昇波と下降波が理想的に分離できていないなどが考えられる。今後、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

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

4 テーマの研究内容を以下に示す。

(1) 直下地震対応オンサイトワーニングシステム：緊急地震速報の発表が、震源に近い場所では間に合わないという弱点を補うために、単独観測点処理などを併用したワーニングシステムである。本研究では、2016 年熊本地震と 2019 年山形県沖地震における複数観測点の即時震度時刻歴から、計測震度の立ち上がり具合を分析し、より早期に震源位置の推定を試みる。

(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。

(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。

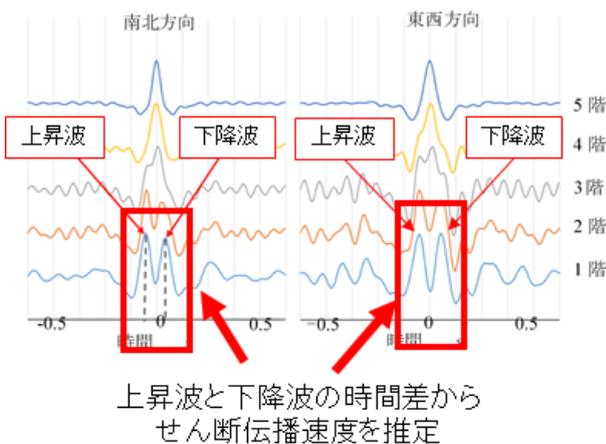


図 1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断伝播速度を推定する。

(4) 面的な震度予測と地域被災予測情報の提供：地点ごとの情報のみではなく、建物分布、人口分布、地域の地盤情報を基に、面的な揺れの分布、地域での被害の発生状況等を推定する。

4. 研究成果

(1) 直下地震対応オンサイトワーニングシステム

2016 年熊本地震と 2019 年山形県沖の地震の観測記録を用いて、即時震度時刻歴と即時震度増加率を算出し、震源からの距離の推定及びオンサイト地震警報の可能性を分析した。即時震度時刻歴と即時震度増加率の算出方法は以下の通りである。

① 加速度観測記録から気象庁が震度の計算に利用する震度フィルターに近似する IIR フィルターを施した波形を 3 成分ベクトル合成し、即時震度変換することで即時震度時刻歴を算出する。また、即時震度時刻歴を時間微分することで即時震度増加率を算出する。図 1 に 2019 年山形県沖の地震の YMT004 観測点の一例を示す。

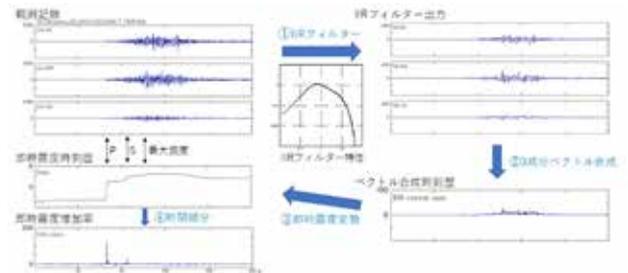


図 1 2019 年山形県沖の地震の YMT004 観測点の一例

2016 年熊本地震と 2019 年山形県沖の地震における震源距離別に並べた即時震度時刻歴と即時震度増加率および震央距離との関係性をみると、どの距離でも P 波着信時で急激に震度上昇がみられるが、震央距離近い観測点ではそれが顕著にみられることがわかった。また、震央距離が近いほど、震度増分が大きいことがわかった。一方で、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。

(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。

(3) 建物被害判定のための建物振動モニタリング

昨年度、プロ研 B にて、愛知工業大学内の旧本部棟に繋がる時計台（高さ 35m）の最上階と最下階に株式会社エイツー社製の小型地震計を設置している。地震計

設置の様子および地震観測システム概要図を図2、3に示す。なお、地震計システムは、当初は学内無線LANを使用していたが、通信が頻繁に途切れたことから、SIMによる通信方法に変更した。



図2 地震計設置概要図および設置写真

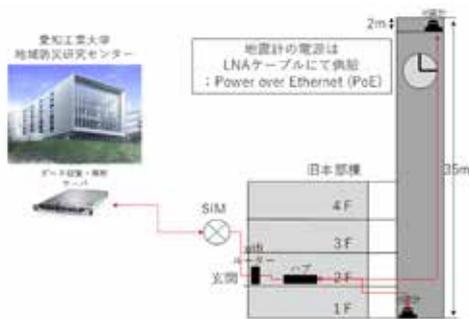


図3 地震観測のシステム概要図

図4に2021年5月31日14時30分～50秒間における時計台最上階および1階のNS成分の微動観測記録を示す。図5左図にはそれぞれの加速度フーリエスペクトルを、右図には14時00分～15時00分における逆重畳波を示す。なお、対象周波数は0.5～10Hz、サンプリング周波数は500Hzである。

常時微動波形および加速度フーリエスペクトルより、最上階は時計台の固有周波数とみられる1.3Hz（固有周期：0.77秒）が明瞭にみられる。逆重畳波については、図1で示したような明瞭な上昇波と下降波が見られない。この理由として、スタック数が少ないことや、時計台の下位階が旧本部棟と連結しており、上昇波と下降波が理想的に分離できていないなどが考えられる。今後、さらなるデータの蓄積をし、分析を進める。

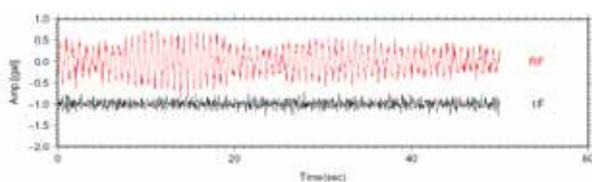


図4 常時微動観測記録（上段：最上階、下段：1階）

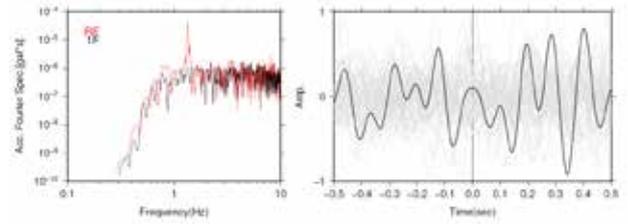


図5 左図：加速度フーリエスペクトル、右図：逆重畳波。灰色線は50秒間ごとの逆重畳波を示す。

(4) 面的な震度予測と地域被災予測情報の提供：

現在は、文献調査の段階である。来年度は引き続き文献調査を進めるとともに、面的な震度予測するための手法や地域被災予測手法について、検討を行う予定である。

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。(1)直下地震対応オンサイトワーニングシステムでは、2地震における即時震度時刻歴と即時震度増加率および震央距離との関係から、震央距離近い観測点ではP波着信時で急激に震度上昇がみられた。また、即時震度増加率と震央距離の関係は、マグニチュードには依存していないことがわかった。(2)建物被害判定のための建物振動モニタリングでは、愛知工業大学の時計台の微動観測記録の蓄積を実施している。微動記録から逆重畳波の算出を試みているが、理想的な結果が得られていない。この理由について、分析を実施しているところである。

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。