

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の開発については、数千の地震波形の解析を行い、地震波形の観測直後数秒以内に、近くで発生した地震か否かの判定と予想される震度の大きさを推定する手法について検討し、特許を申請しているところである。

(2) 長周期地震動のワーニングシステムの開発については、南海トラフ地震（予測波形）が入射した時の建物震動を想定し、愛知県自治センターでの建物振動について分析を行った。本研究では、山下ほか（2012）の手法を適用し、自治センターのB2Fの予測波形から12Fの応答波形の算出を試みた。Mw4.4の小地震で手法の確認を行ったのちに、南海トラフ地震のB2階の予測波形から12階の予測応答波形を算出した。B2階の最大値が275galに対して、予測応答波形の最大値は579galの値となった。

(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の分析では、より精度の良い結果の算出の試みとして解析に利用するフィルターの特性について検討した。その結果、建物の1次モードの卓越周波数周辺のデータを利用することで、ノイズの少なく精度のよい結果が算出できることを確認した。また、対象建物とした自治センターのせん断波速度は、NS成分のせん断波速度は369m/s、EW成分は247m/sとなり、王他（2012）による建物のせん断波速度の目安値とされる200～500m/sと整合的であることがわかった。

(4) 面的な被災可能性情報の推定については、気象庁の手法により面的な震度分布を用い、内閣府の被害推定手法による地域の建物の被災の可能性を推定するシステムの検討を行った。この手法を適用するには、建物、道路、人口等のデータ等が必要となるが、被害の大きな地域の推定が可能であることが分かった。

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：オンサイトワーニング、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

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

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

本研究の各テーマについて以下に示す。

(1) オンサイトワーニング：公開されている地震観測波形を用いて、地震検知とワーニング手法について検討した。

(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い、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（以下、愛工大時計台と呼ぶ）の1階（1F）と最上階（RF）に、愛知県自治センター（以下、自治センターと呼ぶ）の地下2階、6階、12階に地震計を設置している。昨年度の成果では、愛工大時計台に関しては、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）の地震記録を用いた解析を示した。本年度は、自治センターにおける南海トラフ地震（予測波形）が入射した時の自治センターでの建物振動について分析を行った。本研究では、山下ほか（2012）の手法を適用し、自治センターのB2Fの予測波形から12Fの応答波形の算出を試みた。

(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。本年度は、自治センターにおいて地

下2階から12階の各階にて高精度地震計を設置し、同時建物振動を観測した。その結果から、自治センターの建物振動特性を抽出するとともに解析に利用するフィルターの特性について検討した。

(4) 面的な地域被災情報：気象庁の面的震度推定手法と、内閣府の被害推定手法を用いシステム検討を行った。

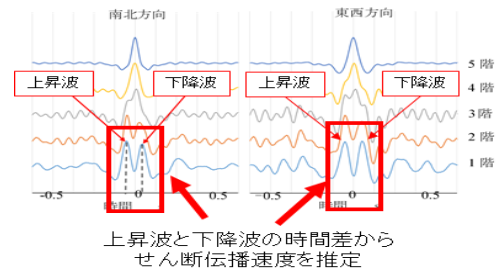


図1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断伝播速度を推定する。

4. 研究成果

(1) オンサイトワーニングシステム

地震検知から数秒以内に、オンサイトワーニング用の新たな処理手法を開発した（現在、特許申請中）。

(2) 長周期地震動に対応したワーニングシステム

自治センターのB2階と12階の地震計で得られた2022年4月7日の新城市で発生した地震（Mw4.4）の記録および別途観測した微動記録のスペクトル比から伝達関数を算出した。図2（左）その結果を示す。この結果より、1次モード、2次モード、3次モードの卓越周波数は、それぞれ1.56Hz、5Hz、8.33Hzと分かった。また、1次から3次モードの卓越周波数付近のスペクトル比の形状より、山下ほか（2012）の手法を適用して、減衰定数と刺激係数を算出し、各モードの時刻歴応答波形を算出した。図2（右）の点線は、山下ほか（2012）の手法を適用した結果を、図3に各モードの時刻歴応答波形を示す。その結果、適用した2022年4月7日の新城市で発生した地震の12階の計算波形（橙線）は、観測波形（青線）を概ね再現できていることがわかる。計算波形は、1次モードと2次モードの

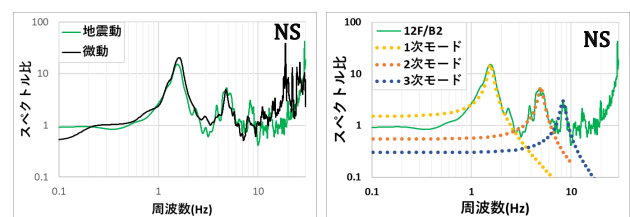


図2 地震動と微動から算出した伝達関数（右）と山下ほか（2012）の手法を適用した結果（左）

波形が大きく寄与しており、特に 50 秒の最大値後の震動は、1 次モードが大きく寄与していることがわかる。この結果をもとに、南海トラフ地震の B2 階の予測波形から 12 階の予測応答波形を算出した。B2 階の最大値が 275gal に対して、予測応答波形の最大値は 579gal の値となった。

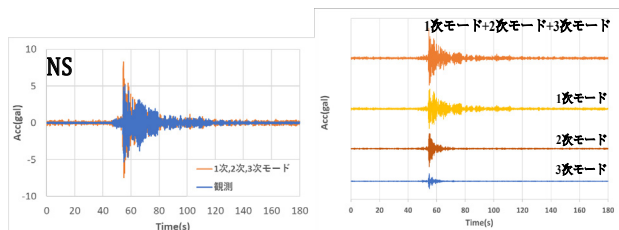


図3 自治センター12階の観測波形（青線）と計算波形（橙線）（右）と1次から3次モードの計算波形（左）

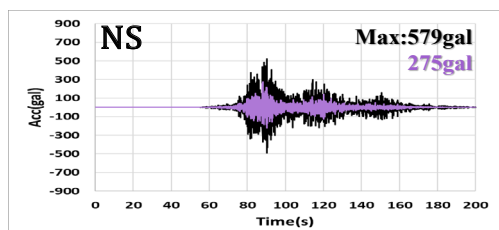


図4 南海トラフ地震における自治センターの1階の予測波形（紫線）と12階の応答波形（黒線）

(3) 建物被害判定のための建物振動モニタリング

2022年10月5日に自治センターにて常時微動観測を行

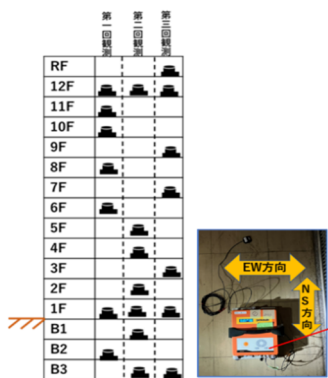


図5 自治センターの微動観測の観測概要

った。観測には微動計（JU410、白山工業社製）を用いた。図5に観測回数における地震計設置点を示す。各観測回とも90分間観測を実施し、サンプリング周波数は1000Hzとした。

解析は、王他（2012）における手法を適用したが、今回は、観測記録に施すフィルターの周波数の適用範囲における解析の変化を確認した。具体的には、フィルターの周波数範囲を、①建物の1次モードの固有周期の周波数帯である 0.2Hz～2.6Hz、②建物の1次モードと2次モードを包括する 0.2Hz～6.0Hz、③建物の1次モード、2次モードと3次モードを含む 0.2Hz～10.0Hzとした結果を検討した。図6にそれぞれフィルターを施した結果を示す。

その結果、2次モード、3次モードの周波数範囲を含んだ解析結果は、逆重畳波に周期の短いノイズが多くみられ、建物下層から上層への伝播状況がうまく読み取れない。一方で、1次モードのみの周波数範囲の解析では、上昇波と下降波の伝播状況がきれいに表現されていることがわかる。このことから、解析には1次モードの固有周期の周波数範囲を対象とした解析範囲が適当であると考えられる。

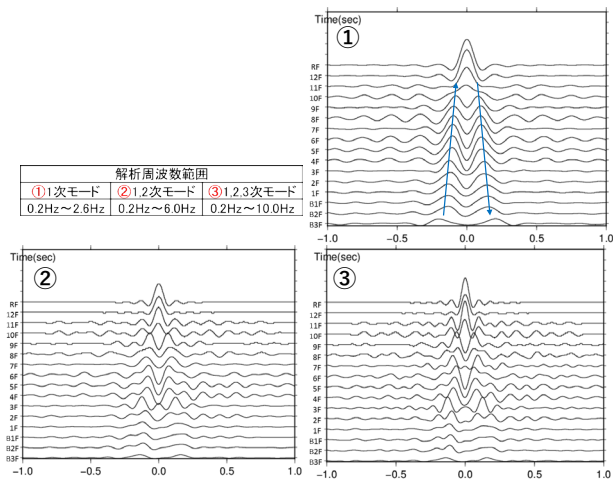


図6 各周波数を対象とした周波数ごとの逆重畳波

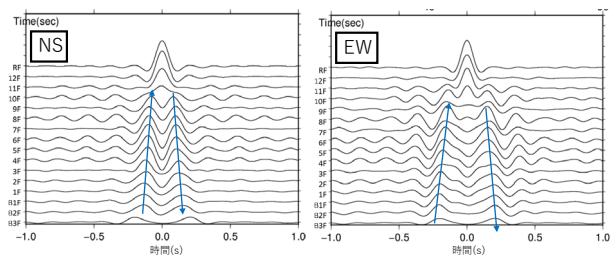


図6 0.2～2.6Hzを対象としたNSとEW成分の逆重畳波

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。(1)のテーマでは、新たな処理手法を開発した(特許申請中)。(2)のテーマでは、自治センターにおける南海トラフ地震の予測波形を対象とした解析を行った。(3)のテーマでは、解析時に用いる周波数範囲について検討をし、建物の1次固有周波数を対象にすることで精度よく解析結果を得られることがわかった。(4)のテーマでは、気象庁及び内閣府の手法を用い、各地域の建物等のデータを基に、被害の大きな地域の推定が可能であることが分かった。