

地震即時検知警報装置の開発と地震時の緊急対応のための 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 (株式会社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、(1)小型・安価で高精度の地震即時検知警報装置を開発し、その地震計で観測された記録から、(2)長周期地震動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を実施する地震防災システムである。

(1) 小型・安価で高精度の地震即時検知警報装置の開発については、建物に設置することから、小型かつ安価な装置を実現するため MEMS センサーを利用し、迅速に通信が可能な既製品を選定した。現在、それらを組み合わせ既存の地震計との精度評価に着手した。

(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、防災科学技術研究所の実台実験施設 E-ディフェンスで実施された振動台実験の建物観測記録を用いてシステムの評価をしているところであるが、本年度は、(1)と(3)に注力して実施しているため、具体的な成果はまだ出ていない。

(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仕組みは、被災前と被災後のせん断波速度の変化により建物の損傷を評価できる可能性が示唆されていることに基づいている。一方で、被災前の建物の適用事例はいくつか存在するものの、被災後の建物への適用事例は少ない。そこで防災科学技術研究所の実台実験施設 E-ディフェンスで実施された振動台実験の建物観測記録を用いて、実験前と実験後のせん断波速度の変動と外観目視損傷観察による破壊過程の関係を考察した。その結果、建物損傷前後の上昇波と下降波では、そのピーク時間に差がみられ、建物損傷後は、建物内を伝播するせん断波の伝播時間が遅れることを確認した。また、建物の損傷の進展とともにせん断波速度と固有振動数は低下し、概ね対応していることを確認した。

研究分野：地震学、防災情報学

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。そして、2024年1月1日には能登半島地震(M7.6)が発生し、強震動、津波、液状化、土砂災害などによる建物倒壊、インフラの壊滅的な被害さらには、それに伴う災

害対応の遅れ、復旧の遅れが発生した。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

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3つのテーマの研究を実施する。(1) 小型・安価で高精度の地震即時検知警報装置の開発、(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を包括化した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) 小型・安価で高精度の地震即時検知警報装置の開発：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。現在、それらを組み合わせ既存の地震計との精度評価に着手した。

(2) 長周期地震動に対応したワーニングシステム：防災科学技術研究所の実験施設 E-ディフェンスで実施された振動台実験の建物観測記録を用いてシステムの評価をしているところである

(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。本年度は、防災科学技術研究所の実験施設 E-ディフェンスで実施された振動台実験の建物観測記録を用いて、実験前と実験後のせん断波速度の変動と外観目視損傷観察による破壊過程の関係を考察した。

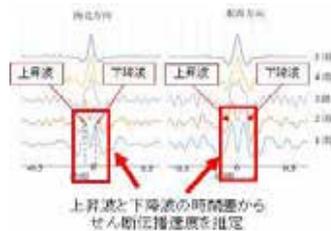


図1 常時微動から算出される逆重畳波の一例。上昇波と下降波の時間差からせん断波伝播速度を推定する。

4. 研究成果

(1) 小型・安価で高精度の地震即時検知警報装置の開発

小型かつ安価な装置を実現するため MEMS センサーを利用し、迅速に通信が可能な既製品を選定した。現在、そ

れらを組み合わせ既存の地震計との精度評価に着手した。

(2) 建物被害判定のための建物振動モニタリング

本システムは、被災前と被災後のせん断波速度の変化により建物の損傷を評価できる可能性が示唆されていることに基づいている。一方で、被災前の建物の適用事例はいくつか存在するものの、被災後の建物への適用事例は少ない。そこで防災科学技術研究所の実験施設 E-ディフェンスで実施された振動台実験の建物観測記録を用いて、実験前と実験後のせん断波速度の変動と外観目視損傷観察による破壊過程の関係を考察した。

E-ディフェンスでは、新耐震基準に基づき設計された実大3階建て鉄骨造建築物試験体に対する大型振動台実験が実施されている。試験体の外観図を図2に示す。試験体は3層2方向ラーメン構造の鉄骨造建物であり、試験体高さは10.8m、平面は6m(2スパン)×5m(2スパン)である。各階で設置された加速度計および変位計で加振時の応答データが得られている。



図2 実験試験体の外観図

実験時の加振概要と各加振時に生じた損傷状況を表1に示す。地震動は、内閣府で作成された公開データを基に「神戸の減災研究会」が作成した神戸市役所の表層地盤における加速度波形の南海トラフ地震(Nankai)と兵庫県南部地震の鷹取波(JR Takatori)が使用され、徐々に振幅倍率を上げ、弾性時から骨組み倒壊まで繰り返し加振が行われた。また、各加振時の間に微小な振幅レベルのランダム波加振(Random)が行われている。

表 1 加振内容と損傷状況

波形	損傷状況
Random0	損傷なし
Nankai(35%)	
Nankai(45%)	
Nankai(50%)	
Nankai(50%)	
Random1	
Nankai(100%)	2階および3階の側柱の ミルスケールの剥離
Random2	
JR Takatori(40%)	
Random3	
Random4	同上の中柱の ミルスケールの剥離
JR Takatori(60%)	
Random5	1層目 亀裂発生
JR Takatori(80%)	
Random6	1,2層目 梁フランジ破断
JR Takatori(100%)	
Random7	
Random8	
Nankai(50%)	3層目 亀裂進展
Random9	
Nankai(100%)	
Random10	
Nankai(150%)	
Random11	

Random0（建物損傷前のランダム波加振の記録）と Random11（建物損傷後のランダム波加振の記録）の逆重畳波を図 3 に示す。建物損傷前と建物損傷後の逆重畳波は、その上昇波と下降波のピーク時間に差がみられ、建物損傷後の逆重畳波は、建物内の伝播時間が遅れる傾向であることが確認できた。その建物損傷前と損傷後の逆重畳波のピーク時間差は、上昇波 $\Delta t_u = 0.044$ 秒、下降波 $\Delta t_d = 0.051$ 秒であり、結果的にせん断波速度は 23.4%低下している結果となった。各加振時の建物全体のせん断波速度と本実験の実験研究報告書で算出された固有振動数を図 4 に示す。損傷進展とともにせん断波速度は低下し、固有振動数は小さくなっており、両者は概ね対応している。詳細に確認すると、外観目視による損傷が発生した JR Takatori（40%）の加振より前から Random0~Random2 の間でも低下している様子が確認できる。これは外観目視できない程度の損傷により構造躯体の剛性が低下したためと考えられる。また、JR Takatori（100%）の加振による大規模損傷後以降では、建物の損傷は進展しているもののせん断波速度の低下は頭打ちとなり変化量が小さくなった。

本研究をまとめると、建物損傷前後の上昇波と下降波ではそのピーク時間に差がみられ、建物損傷後は、建物内を伝播するせん断波の伝播時間が遅れることを確認した。また、建物の損傷の進展とともにせん断波速度と固有振動数は低下し、概ね対応していることを確認した。

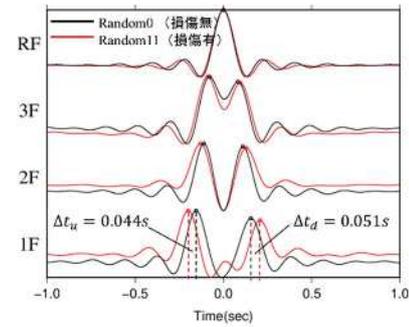


図 3 損傷有無時の逆重畳波

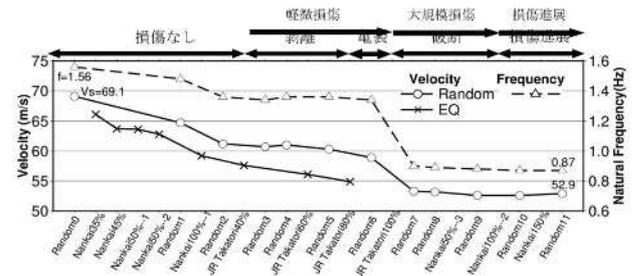


図 4 せん断波速度と固有振動数の変動

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、3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、まだ成果の抽出には至っていない。(3)のテーマでは、建物損傷前後の上昇波と下降波ではそのピーク時間に差がみられ、建物損傷後は、建物内を伝播するせん断波の伝播時間が遅れることを確認した。また、建物の損傷の進展とともにせん断波速度と固有振動数は低下し、概ね対応していることを確認した。