

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01579

研究課題名（和文）リアルタイム地震観測情報を用いた即時地震動・建物応答予測の研究

研究課題名（英文）Study on realtime predictions of ground motion and structural response using realtime earthquake observation information

研究代表者

大野 晋 (Ohno, Susumu)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：40361141

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,100,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、地盤・建物の地震波形情報がリアルタイムで利用可能となった現状において、地震動の即時予測の結果を建築構造物の応答予測や構造健全性評価に用いるために、地震動の即時予測とそれによる主要動到達前の建物応答予測手法の開発を行った。時間経過とともに予測精度は向上するが、逆に対応に利用できる時間は減少することから、予測情報の利用についてはその地点・建物における評価精度を予め中小地震などで把握しておくことが必要と思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在緊急地震速報などでは震度情報が用いられているが、建物の応答には周波数帯域別の揺れの大きさ（スペクトル）の情報が必要である。また、建物の地震観測は精度の良い建物応答予測を可能にするとともに、地震後の建物健全性評価にも利用できる。本研究は周波数帯域別の地震動の即時予測と建物の地震観測に基づく建物応答予測を組み合わせたもので、ある地点での震度予測だけでなく建物別の揺れの予測を目指したものであり、地震時の即時対応に寄与するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a method for real-time prediction of earthquake ground motions and building response before the arrival of major motions, by using real-time measurements of ground motions and building vibration. The prediction accuracy improves with the passage of time, while the available time for taking actions decreases, so it is considered necessary to grasp the evaluation accuracy at the ground and building in advance using small and medium earthquakes.

研究分野：地震工学

キーワード：地震動 即時予測 データ同化 構造ヘルスマニタリング 強震観測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

建築構造物の被害低減のためには、事前対策としての入力地震動の適切な評価と建物の実態に即したモデル化による応答評価は不可欠であるが、被害の早期把握や拡大抑止には、即時の地震動や建物応答情報の有効利用も必要である。近年の観測機器及び通信インフラの拡充により、常時微動から強震動までの広い振幅レベルを加速度観測でカバーできるようになったため、遠隔地の揺れのデータが連続的に入手可能になっている。

一方、これらの情報は主に緊急地震速報で震源情報の推定に用いられており、地盤系・建物系とも波形情報をもっと有効に活用する必要があると考えられる。また、建物観測による構造健全性評価は主に超高層ビルを対象としており、中低層建物についてはあまり進んでいない。即時の地震動予測と組み合わせた建物の応答予測は未だ行われていない。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて本研究では、地盤・建物の地震波形情報がリアルタイムで利用可能となった現状において、地震動の波動場の即時予測の結果を建築構造物の応答予測や構造健全性評価に用いるために、同化手法による地震動の即時予測とそれによる主要動到達前の建物応答予測手法を開発することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 3次元地下構造モデルの最適化

地震動評価の項目では、既存地下構造モデルの改良のために、初めに仙台平野地下構造を対象とした観測記録を用いたアジョイント法による3次元地下構造モデル同定を実施する。

(2) リアルタイム観測建物のシステム同定

建物応答評価の項目では、初めに対象建物の特性を把握し、モデル化を行うために、東北大学災害科学国際研究所によりリアルタイム振動計測が行われている東北地方の中低層建物を対象に、高精度連続観測記録を用いて逐次部分空間法によるシステム同定を行う。

(3) 即時地震動評価

防災科学技術研究所の K-NET, KiK-net の観測記録と(1)で用いた観測記録と最適化地下構造モデルに基づき、データ同化手法を用いた地震動の周波数帯域別即時評価の検討を行う。

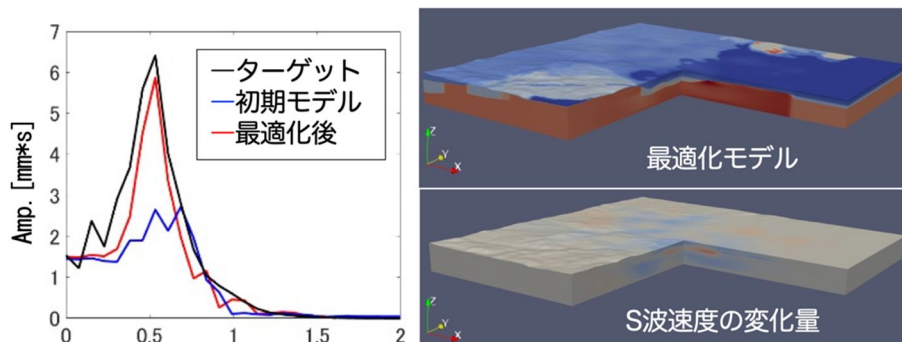
(4) 即時建物応答評価

(3)の即時地震動予測と(2)のシステム同定結果を用いて、建物の即時応答予測の検討を行う。

4. 研究成果

(1) 3次元地下構造モデルの最適化

仙台市内及び周辺のトリガー型強震観測点 15 地点とリアルタイム地震観測点 4 地点に、建築研究所や気象庁、防災科学技術研究所、東北工業大学（現在は観測終了）などの観測点も加えた約計 40 地点の地表面地震記録のデータベースを構築した。仙台平野南部地下構造調査の結果から地震基盤深さまでの初期地下構造モデルを構築し、理論地震動計算にはスペクトル要素法を使用してアジョイント法による最適化を行った。初期モデルよりも観測記録に適合したモデルが得られたが、周波数領域の最適化と時間領域の最適化の結果に違いが残るなど、結果の安定性については課題を残している。

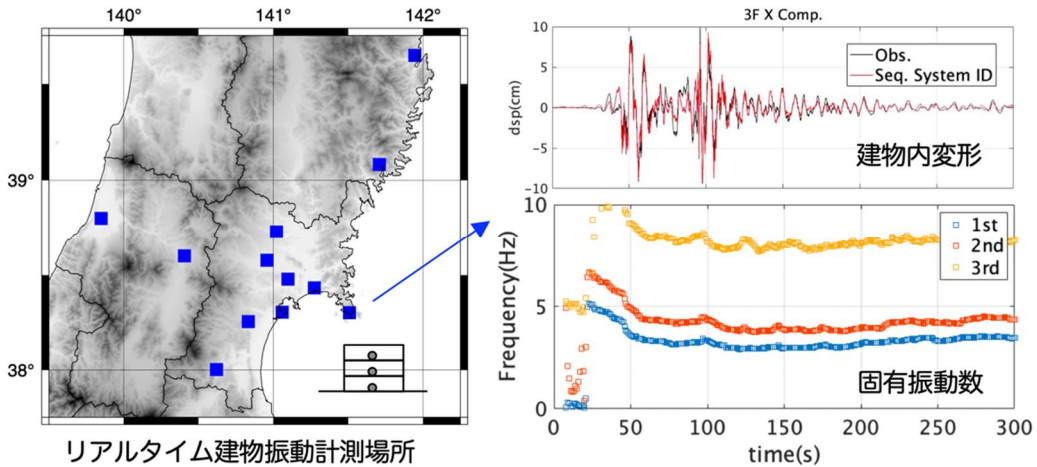


仙台市 3次元地下構造モデルの最適化

(2) リアルタイム観測建物のシステム同定

東北地方（宮城県 9 地点・岩手県 2 地点・山形県 2 地点）の主に自治体庁舎や学校校舎に設置

した中低層建物内複数点の高精度連続観測を用いて、逐次部分空間法を用いてモード同定を行った。各建物について、適切なモード次数などの同定適用条件を把握するとともに、中小地震から大地震までの固有振動数、減衰定数などのモード情報や層間変形を把握した。

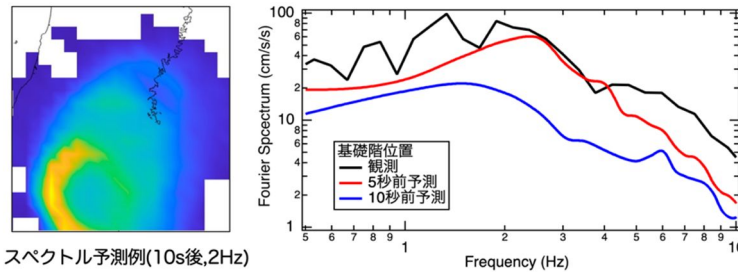


リアルタイム建物振動計測場所

リアルタイム建物観測のシステム同定の適用例（牡鹿総合支所庁舎，東北地方太平洋沖地震）

(3) 即時地震動評価

データ同化手法による周波数帯域別即時予測手法の検討を行った。その結果、盆地内の観測点の方が評価精度が悪いこと、特に大地震に対しては軟弱地盤の非線形応答の影響と盆地内の表面波の影響が大きいことがわかった。



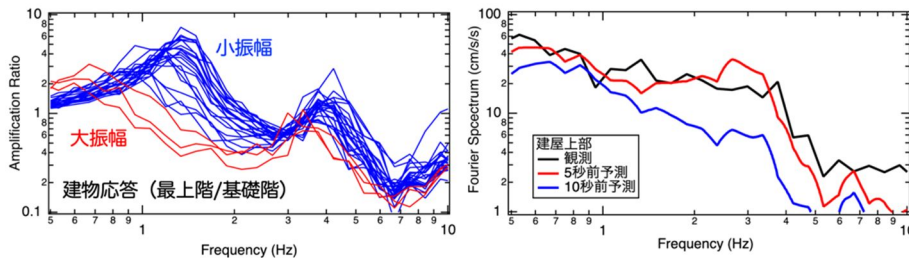
スペクトル予測例(10s後,2Hz)

地震動スペクトル即時予測例（2021年2月13日福島県沖の地震，仙台市東北大災害研）

(4) 即時建物応答評価

(2)で求めた評価対象地点の建物応答モデルに対して、(3)で求めた地震動の即時予測結果を入力として用いた応答予測の検討を行った。その結果、小振幅から非線形化する建物については、PC外付けフレーム補強のような線形性の高い建物よりも予測精度が落ちる傾向があること、さらに盆地内で入力地震動の精度が落ちる場合にはそれに伴って建物応答の予測精度も落ちることがわかった。

地震動およびそれを受ける建物応答も時間経過とともに予測精度は向上するが、逆に対応に利用できる時間は減少することから、予測情報の利用についてはその地点・建物における、入力・応答双方の評価精度を予め中小地震などで把握・チューニングしておくことが必要と思われる。



建物上部スペクトル即時予測例（2021年2月13日福島県沖の地震，仙台市東北大災害研）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大野晋	4. 巻 56
2. 論文標題 2019年山形県沖の地震による仙台市内の地震動特性	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 東北地域災害科学研究	6. 最初と最後の頁 153-156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 阿部大希・大野晋	4. 巻 14
2. 論文標題 アジョイント法を用いた地下構造モデルの最適化に関する基本的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会大会梗概集	6. 最初と最後の頁 P1-01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 島谷歩汰・大野晋	4. 巻 14
2. 論文標題 建物のシステム同定における 部分空間法の近接モードへの適用性に関する基礎的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本地震工学会大会梗概集	6. 最初と最後の頁 P2-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大野晋, 上野山裕之	4. 巻 -
2. 論文標題 仙台青葉山免震建物の地震観測と振動特性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第15回地震工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 G009-02-01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 S. Ohno, D. Abe	4. 巻 -
2. 論文標題 REGION OPTIMIZATION OF 3-D DEEP SUBSURFACE STRUCTURE MODEL IN SENDAI BASIN, JAPAN, BASED ON ADJOINT METHOD	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. 17WCEE	6. 最初と最後の頁 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	源 栄 正人 (Motosaka Masato) (90281708)	東北大学・災害科学国際研究所・名誉教授 (11301)	
研究分担者	三 辻 和弥 (Mitsuji Kazuya) (90292250)	山形大学・工学部・教授 (11501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関