

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：82658

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01333

研究課題名（和文）堆積平野の地震波伝播を考慮した建築物のリアルタイム地震応答予測

研究課題名（英文）Real-time seismic response prediction of buildings considering seismic wave propagation in the sedimentary basin

研究代表者

津野 靖士 (Seiji, Tsuno)

公益財団法人鉄道総合技術研究所・鉄道地震工学研究センター・主任研究員

研究者番号：50644738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：地震発生直後に地震動による建築物の安全性評価を行うことを目的として、対象地点における地震動と建築物応答をリアルタイムで予測する手法を開発した。関東平野に位置する東京工業大学・すずかけ台キャンパスを対象に、実体波であるP波とS波の関係を利用してP波からS波を直接的に予測し、観測データと予測結果の整合性を確認した。さらに、微動から算出したすずかけ台キャンパス・高層建築物の周波数特性に、観測されたP波スペクトルから予測したS波スペクトルを掛け合わせることで、建築物の地震応答をリアルタイムで予測した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、サイト固有のS/Pスペクトル比とP波からS波を直接的に予測する手法と、微動などから事前に算出された建築物の振動特性を利用することで、観測されたP波から建築物の地震応答をリアルタイムで予測する手法を開発した。本手法は、最大加速度や震度などの単一指標を用いたリアルタイム地震動予測とは異なり、地震動の周波数特性を予測するため、本手法から建築物の地震応答を適切に予測することができる。地震発生直後に、本手法より発信される対象建築物の地震応答に、建築物などの避難情報を併合することで、効率的にかつ的確に防災・減災対策を講じることが期待される。

研究成果の概要（英文）：To evaluate a safety of building due to an earthquake ground motion immediately after an earthquake occurred, we developed the method to predict the earthquake ground motion and the building response at the target site in real-time. As to Suzukake-dai Campus in the Tokyo Institute of Technology, S-waves were directly predicted from P-waves using the relationship between the P-waves and the S-waves in the body-waves and the consistency between the observed data and the prediction results was confirmed. Furthermore, a seismic response of building was predicted in real-time by multiplying the frequency characteristics of high-rise building at Suzukake-dai Campus estimated from microtremors by the spectrum of S-wave predicted from the observed spectrum of P-wave.

研究分野：地震工学

キーワード：リアルタイム 地震動 地震応答 建築物 地震波伝播 地盤震動特性 関東平野

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震では、震源断層の最南端である茨城県沖から約150km離れた首都圏に於いて、周期数秒の長周期地震動が観測され、固有周期の長い高層建築物などでは大きな地震応答が生じた。長周期地震動を評価する際は、震源の規模と震源の深さ、震源の放射特性、観測点直下の速度構造を把握することが重要であるが、近年の観測結果から関東平野で観測される長周期地震動の卓越周期及びその振幅は震源と観測点の方位に依存することが報告されている。したがって、堆積盆地に於ける長周期地震動を適切に予測するためには、堆積盆地に入射する長周期地震動と水平方向に対する地下速度構造の不均質性による増幅効果を把握することが重要である。このような堆積盆地の波動伝播特性を理解した上で、対象地点でのリアルタイム地震波形を直接的に予測する手法を新たに開発し、さらに高層建築物のリアルタイム地震応答を予測する手法を開発することは、地震発生直後の高層建築物の耐震安全性をハード・ソフト面から確保することに貢献できる。

2. 研究の目的

観測される長周期地震動の卓越周期及びその振幅は、震源と観測点の方位に依存することが近年の研究事例より報告されている。それら研究より、長周期地震動の理解には、堆積平野あるいは盆地に入射する長周期地震動と水平方向に対する地下構造の不均質性による増幅効果を把握することが重要であることが分かってきた。そこで、本研究では、その波動場を理解した上で適切な長周期地震動を予測することを目的に、リファレンス観測点と対象地点のスペクトル比およびグリーン関数を地震記録から抽出し、対象地点のリアルタイム地震動を直接的に予測する。また、鉛直方向に対する地下構造の不均質性による増幅効果の影響を受ける短周期地震動を予測することを目的に、対象地点のP波とS波/P波のスペクトル比を地震記録から抽出し、対象地点のリアルタイムS波地震動を直接的に予測する。さらに、予測波形と高層建築物の振動特性を利用することにより、建築物のリアルタイム地震応答を予測し、本手法の精度や適用性を検討することで、地震防災対策を立案する一助とする。

3. 研究の方法

(1) 地震動の表面波成分は堆積層の水平方向に対する不整形地盤の影響を大きく受ける。そのため、厚い堆積層で構成されている関東平野を対象に、3次元地震動シミュレーションによりその影響を定量的に評価することを試みた。さらに、適切な長周期地震動を予測することを目的に、その震央方位に依存する増幅特性を使用し、南海トラフで発生する巨大地震の関東平野の周波数応答特性を評価した。

(2) 2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震を対象に、北摂地域において2018年6月21日から約2ヶ月半の期間、余震観測を実施した。その余震データを分析し、基準点に対する北摂地域の揺れやすさを評価した。また、地震動増幅の相違が地下構造に成因があるかどうかを検証するため、アレー微動探査を余震観測点で実施した。

(3) 鉛直方向に対する地下構造の不均質性による影響を受ける短周期地震動を予測することを目的に、関東平野のKiK-netおよびJR東日本の地震データを使用し、対象地点のP波とS波/P波のスペクトル比からリアルタイムS波を直接的に予測する手法を検証した。

(4) 東京工業大学・すずかけ台キャンパスの高層免震建築物を対象に、微動測定から評価した建築物の振動特性を利用し、2011年東北地方太平洋沖地震に対してP波からその建築物の地震応答予測を行うことで、建築物のリアルタイム地震応答の予測手法を検証した。

4. 研究成果

(1) 堆積盆地を伝播する長周期地震動のリアルタイム評価を目的に、関東平野における表面波成分の長周期増幅特性を評価した。表面波成分について、3次元シミュレーションにより関東平野における地震動の長周期増幅特性を再現した。関東平野を取り囲むように発生した地震のデータを利用して、関東平野の震央方位に依存したスペクトル比(図1中、●)を算出し、関東平野中心部において、特定の震央方位による地震動が卓越する傾向があることを示し(図1中、矢印は地震動が卓越する方向)、シミュレーション結果(図1中、○)からも同様の傾向を確認した。さらに、その震央方位に依存する増幅特性を使用し、南海トラフで発生する巨大地震の関東平野の周波数応答特性を評価した結果、南海トラフで発生する巨大地震に対して評価された擬似速度応答スペクトルは、3秒以上の周期帯域において東北地震で観測されたものより顕著に大きいことが示された。

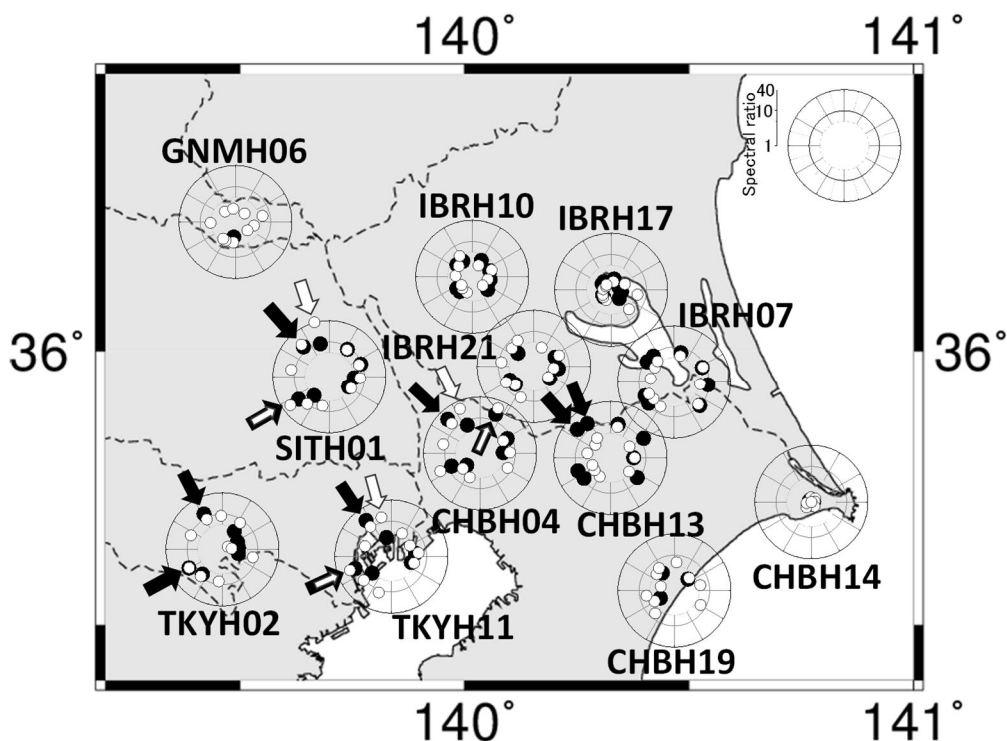


図1 関東平野における周期4～6秒の震央方位 - スペクトル比(●:観測、○:シミュレーション)

(2) 2018年6月18日に発生した大阪府北部の地震を受け、北摂地域に2018年6月21日から約2ヶ月半の期間、余震観測を実施した(図2)。大阪府北部の本震では、北摂地域に位置する粟生外院(E07)において震度6弱が観測され、北摂地域では大きな地震動入力があったことが指摘されが、余震(M3.9)を解析した結果、粟生外院よりも大きな計測震度が観測された地点があることが分かった(図2)。余震観測データを用いて、岩盤サイトであるE09に対するスペクトル比を算出した結果、本震時震度6弱を観測した粟生外院(E07)と同等あるいはそれ以上に、表層地盤により地震動が増幅される地点があることが示された。特に、余震観測点E06では周波数3Hz以上の地震動が大きく増幅されることを確認した。各観測点における余震データの計測震度を用いて、粟生外院(E07)に対する計測震度(SI)差を算出した結果、E06はE07よりも計測震度で1程度大きくなる傾向があることが分かった(図3)。また、微動アレー探査による構造調査結果より、E06は他余震観測点と比較して深さ10m程度の表層に、S波速度がより低速度である堆積層が存在することを確認した。以上から、2018年大阪府北部地震は高周波の地震動が卓越していたため、表層構造の差異により北摂地域で地震動分布が異なることが指摘された。

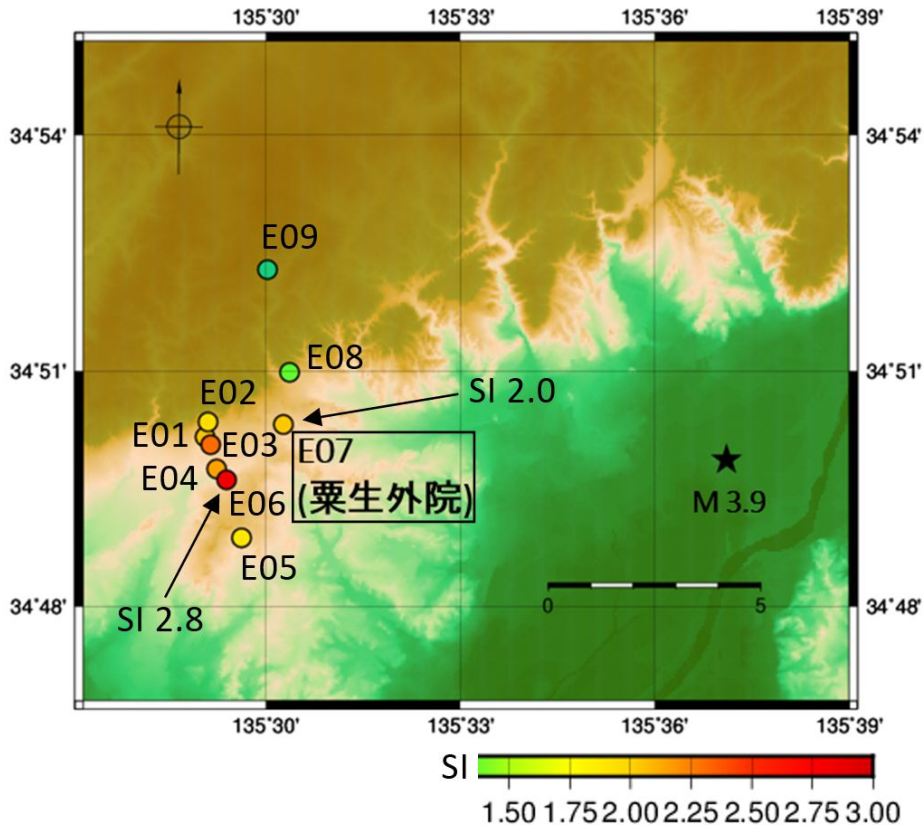


図2 北摂地域における余震観測点と余震(M3.9)の計測震度

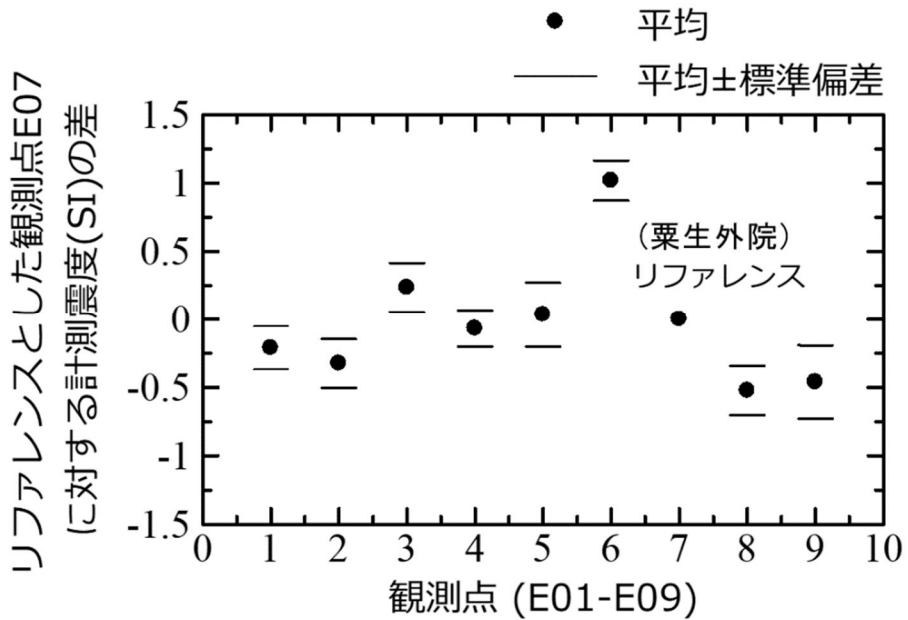
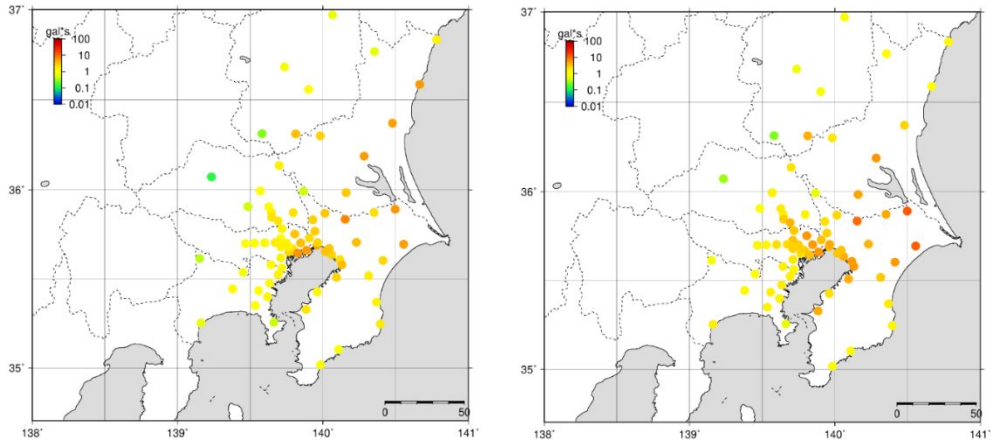
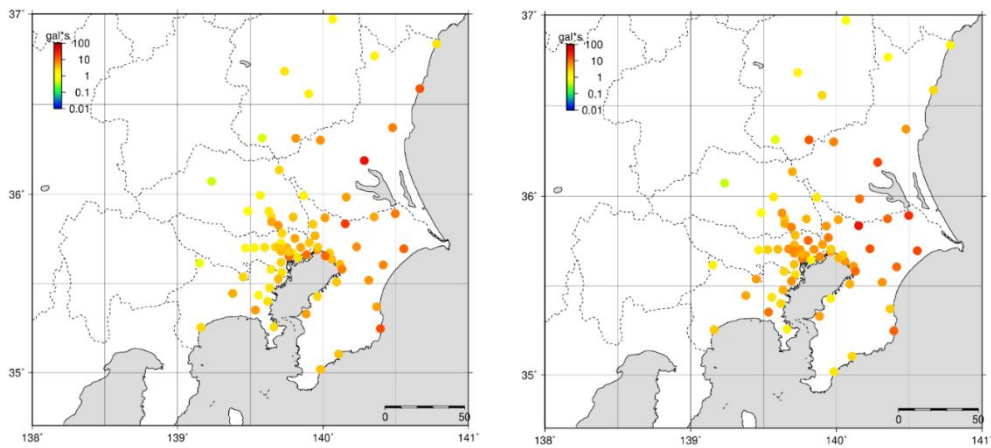


図3 観測点E07に対する各観測点の計測震度差

(3) 関東平野で観測されたKiK-netおよびJR東日本の地震データを利用して、P波やS波の地盤増幅特性を定量的に評価した。その結果、関東平野は厚い堆積層により～5秒の周期帯域が増幅するため、リファレンスとする地震データには5秒程度のタイムウィンドウを設定することが望ましいことが分かった。上記で算出したS波/P波の地盤増幅特性とP波データを掛け合わせることで、関東平野で観測されたマグニチュード6.1の地震のP波からS波を早期予測した(図4)。そのスペクトル予測結果は、観測結果と整合しており、S波/P波の地盤増幅特性を把握することで広域の早期地震動予測が可能であることが示された。



(a) 周波数 0.5-1Hz に対する観測値(左)と予測値(右)



(b) 周波数 1-2Hz に対する観測値(左)と予測値(右)

図 4 関東平野における S 波の観測値と予測値の比較

(4) 東工大・すずかけキャンパスの高層建物J2棟において、多チャンネルの微動測定を行った(図5)。取得した微動データにスペクトル分析を行い、建物の振動モードや固有周期、減衰定数を評価できることを確認した(図6)。地震動の実体波成分に関して、観測されたP波を利用した高層建物J2棟の早期地震応答予測を行い、観測された建物最上部の地震応答を早期予測できることが分かった。



図 5 高層免震建物 J2 棟の微動測定

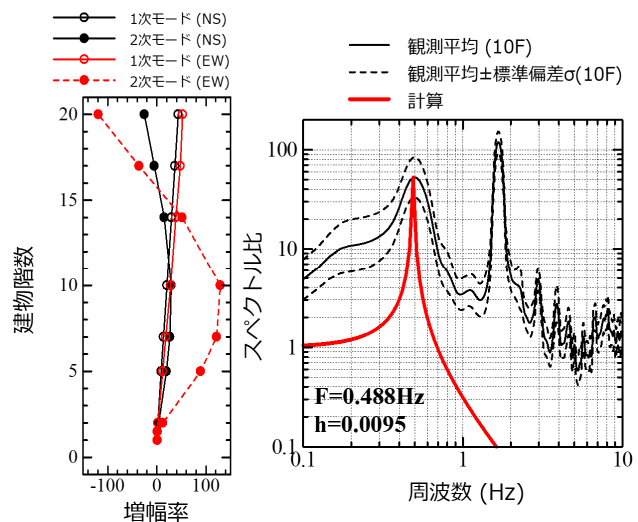


図 6 振動モード(左)と 1 質点系モデル(右)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 津野靖士
2. 発表標題 2018年大阪府北部地震
3. 学会等名 物理探査学会, 第2回地震防災研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津野靖士, 地元孝輔, 山中浩明, 是永将宏
2. 発表標題 大阪北部の微動観測調査と臨時地震観測
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津野靖士, 是永将宏, 地元孝輔, 山中浩明
2. 発表標題 北摂地域で実施した単点微動観測調査
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津野靖士
2. 発表標題 北摂地域で実施した構造調査と地震観測（その2）地震観測から評価した地盤震動特性
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津野靖士
2. 発表標題 北摂地域で実施した単点微動観測調査
3. 学会等名 物理探査学会
4. 発表年 2018年

〔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	山中 浩明 (Yamanaka Hiroaki) (00212291)	東京工業大学・環境・社会理工学院・教授 (12608)	