

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18151

研究課題名(和文) 強震記録と地盤構造モデルを最大限活用した中京地域の詳細な地震動予測

研究課題名(英文) Detail prediction of seismic ground motion using strong motion records and soil structure model in Chukyo area

研究代表者

平井 敬 (Hirai, Takashi)

名古屋大学・環境学研究科・助教

研究者番号：00708373

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：中京地域は我が国の交通の要衝であり、主要な工業が集積する地域でもある。この地域を地震災害から守ることは、国全体の防災の観点から極めて重要である。本研究では、南海トラフ巨大地震や活断層の地震による中京地域の地震動を詳細に予測することを目標とした。まず、含む広域の地下構造モデルに基づいて、重要地点についてのグリーン関数を網羅的に計算し、データベース化した。次に、これを用いて主要な活断層の地震による地震動を予測した。さらに、任意の断層モデルによる地震動と建物応答を自動的に生成するWebシステムを構築した。

研究成果の概要(英文)：It is important for all Japan to mitigate Chukyo area from earthquake disaster, since the accumulation of transportation and industry. This study aims detail prediction of seismic ground motion of Chukyo area. First the Green's function database is developed for some important sites based on the soil structure model of wide area. Subsequently the ground motion prediction is applied using the Green's function database for several assumed earthquakes of active faults around Chukyo area. Finally, the web system to predict ground motion and building response for arbitrary seismic source models is developed.

研究分野：地震動予測

キーワード：地震動予測 中京地域 地盤構造モデル グリーン関数

1. 研究開始当初の背景

中京地域は我が国の東西交通の要衝であり、主要な工業が集積する地域でもある。来る南海トラフ巨大地震や、数多くの活断層による地震から中京地域を守ることは、国全体の防災の観点からも極めて重要である。中京地域の地震動予測は、中央防災会議や愛知県によるものがあるが、波形による詳細な地震動予測は断片的であった（一例としては「三の丸波」¹⁾がある）。

2. 研究の目的

著者は、これまで3次元有限差分法とグリーン関数の相反性を利用して多くの震源による地震動を効率よく詳細に計算する方法を開拓してきた。同じ発想をもとに、経験的グリーン関数法における地震動記録の補正を、詳細な理論地震動の計算に基づいて行う方法も開発してきた。

本研究では、中京地域の地震動予測に関する前述の状況を鑑み、著者が以前より行ってきた研究の成果を駆使して、中京地域の詳細な地震動予測を行った。これは、著者が所属する研究グループにおいて多数の強震観測記録の蓄積があること、中京地域の詳細な地盤構造モデルが存在すること、グリーン関数の相反性を利用する方法により3次元有限差分法での地震動計算が効率よく行えるようになったことが相まって、初めて可能となったものである。

3. 研究の方法

本研究の推進方法としては、3つの段階に分けられる。

(1) まず、震源位置での断層破壊による観測点での地震動を表すグリーン関数を、多数の震源位置と観測点位置について網羅的に計算し、データベース化した。グリーン関数の計算には、濃尾平野を含む堆積盆地など、地下構造の不整形を考慮することのできる有限差分法を使用した。その際、名古屋駅や三の丸地区など、超高層建物や重要建物が集中する地点について、あらゆる震源位置での地震に対しても地震動を計算できるよう、グリーン関数の相反性を利用した計算方法²⁾を採用した。

(2) 次に、名古屋市を含む濃尾平野周辺の活断層および南海トラフ巨大地震の震源域について、多数の想定地震による地震動の予測を行った。この際、震源断層の強震動生成域の配置や破壊開始点位置などには不確実性が存するため、複数の破壊シナリオを作成した。なお、本研究ではグリーン関数をデータベース化しているので、異なる破壊シナリオを想定する場合には、波形合成の段階で容易にこれを反映することが可能である。

(3) さらに、任意の震源断層について地震動を作成するシステムおよび作成した地震動について建物応答を可視化するシステムを構築した。その際、地震動の長周期成分につ

いては本研究で構築したグリーン関数データベースを使用し、短周期成分については従来の統計的グリーン関数法を利用して、両者を合成する方法を採用した。

4. 研究成果

(1) 名古屋市とその周辺23点および大阪市とその周辺5点について、グリーン関数データベースの構築を行った。図1に、グリーン関数データベースを作成したモデル範囲を示す。図中の長方形の枠線はモデル範囲、点はグリーン関数を定義した震源位置、円は参考として南海トラフ巨大地震の震源範囲を示したものである。地下構造モデルとしては、長周期地震動予測地図の作成の際に用いられたものを利用した。グリーン関数の計算には、Gravesの食違い格子³⁾およびLevanderの4次精度差分⁴⁾を使用した有限差分法を使用した。工学的基盤深さに対して、解析有効周期はおよそ2s以上である。

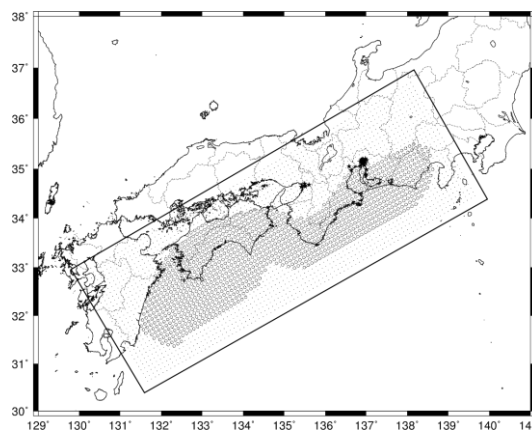


図1 グリーン関数データベースの範囲

(2) グリーン関数データベースを利用して、中京地域の代表的な活断層の地震と南海トラフ巨大地震について地震動の予測を行った。図2に、濃尾平野周辺の活断層の配置と地震基盤深度の分布を示す。

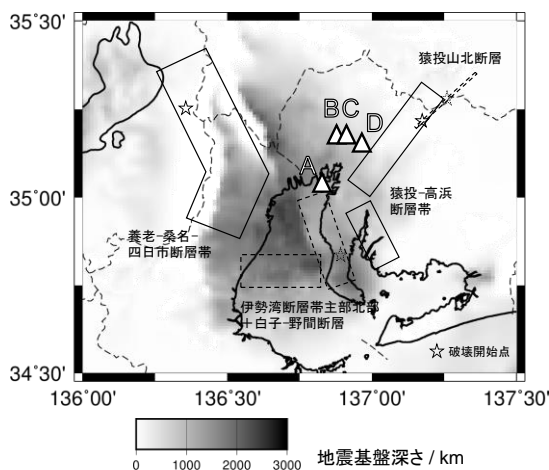


図2 主な活断層地震の震源モデル

図2に示した各活断層の地震の震源パラメータは、地震調査研究推進本部による全国地震動予測地図の作成の際に用いられたもの⁵⁾を使用することとし、破壊過程の不確定性を考慮して複数の破壊シナリオを採用した。

図3に、地震動予測結果の一例として、養老-桑名-四日市断層帯の地震による名古屋駅地点工学的基盤での地震動の速度波形と擬似速度応答スペクトルを示す。濃尾平野の深部地盤構造による2~3sの卓越周期がよく現れていることとともに、長周期帯域において破壊ケースによる差が大きくなることが分かる。

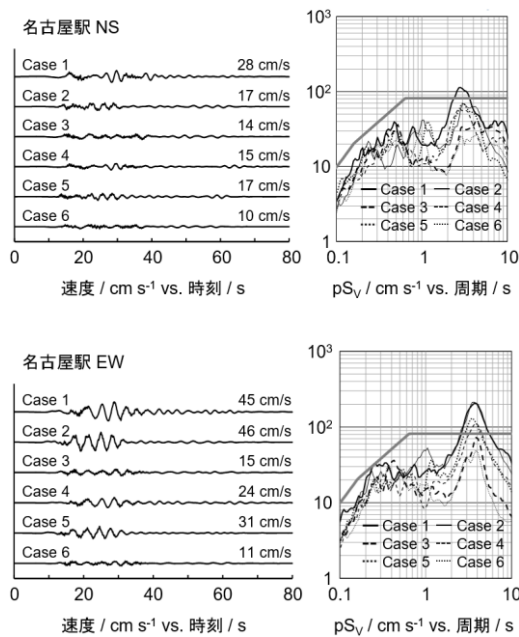


図3 養老-桑名-四日市断層帯の地震による地震動

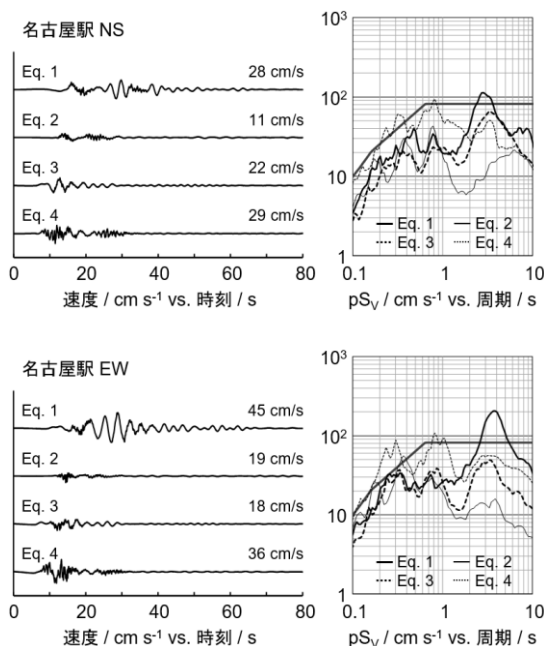


図4 各地震による地震動

(3) 任意の震源断層について、グリーン関数データベースを利用して自動的に地震動を予測するWebシステムを構築した。図5に処理の流れを、図6にWebシステムの操作画面を示す。

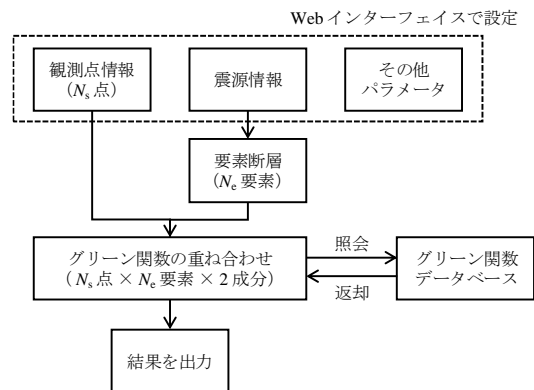


図5 地震動作成の処理の流れ

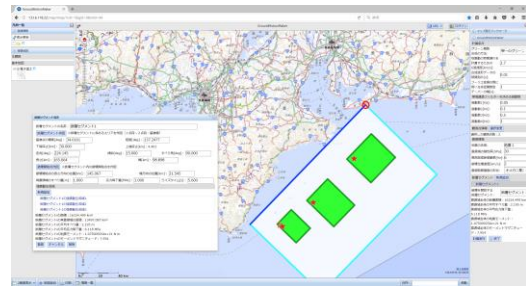


図6 地震動作成システムの操作画面

このシステムは、図1に示した範囲のグリーン関数データベースを内蔵しており、Web インターフェイスにて設定した震源断層を自動的に小要素に分割し、各要素断層に対して適切なグリーン関数を割り当てて波形合成を行うものである。作成した地震動は、登録した電子メールアドレスに届く通知を通してダウンロードすることができる。

(4) 任意の地震動に対して、建物の応答を自動的に生成し、室内の揺れを可視化するシステムを改良した。これは、元は作成済みの長周期地震動波形を利用して建物応答を可視化するシステムに本研究による地震動作成システムを組み合わせたものである。また、地震動作成システムで用いているグリーン関数は有限差分法により生成されたものであるため、長周期成分のみとなっている。建物の応答計算にあたっては、統計的グリーン関数法⁶⁾により短周期成分の地震動を付加している。図7に地点と建物条件の設定画面を、図8に室内被害の表示イメージを示す。



図7 地点と建物条件の設定画面



図8 室内被害の表示イメージ

<引用文献>

- ① 宮腰淳一, 中田猛, 福和伸夫, 柴田昭彦, 白瀬陽一, 斉藤賢二: 名古屋市三の丸地区における耐震改修用の基盤地震動の作成, 日本地震工学会年次大会, 2005.
- ② 平井敬, 福和伸夫: 3次元有限差分法と相反定理を用いた堆積盆地の地震動性状の評価手法, 日本建築学会構造系論文集, 78, pp.2083-2091, 2013.
- ③ Graves, R. W.: Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bull. Seismol. Soc. Am., 86, pp.1091-1106, 1996.
- ④ Levander, A. R.: Fourth-order finite difference P-SV seismograms, Geophysics, Vol. 53, pp.1425-1436, 1988.11.
- ⑤ 地震調査研究推進本部: 「全国地震動予測地図」別冊 震源断層を特定した地震動予測地図, 2014.12
- ⑥ 釜江克宏, 入倉孝次郎, 福知保長: 地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測: 統計的波形合成法による予測, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 430号, pp.1-9, 1991.12

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 山田沙代, 平井敬, 福和伸夫, 地震動観測記録と有限差分解析に基づく中京地域で

観測される長周期地震動の震源位置依存性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 81巻, 2016, 1647-1656

DOI: 10.3130/aajs.81.1647

- ② Nobuo Fukuwa, Takashi Hirai, Jun Tobita, Kazumi Kurata, Dynamic Response of Tall Buildings on Sedimentary Basin to Long-Period Seismic Ground Motion, Journal of Disaster Research, 査読有, 11巻, 2016, 857-869

DOI: 10.20965/jdr.2016.p0857

- ③ 平井敬, 福和伸夫, 地盤構造モデルに基づく伝達関数を用いた任意震源による長周期地震動の予測手法, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, 80巻, 2015, 1227-1237

DOI: 10.3130/aajs.80.1227

〔学会発表〕(計12件)

- ① 福井優太, 倉田和己, 平井敬, 福和伸夫, 2016年4月1日三重県南東沖の地震の強震観測記録を用いた南海トラフ巨大地震の地震動予測と地震応答体験環境の構築, 日本建築学会東海支部研究集会, 2018
- ② 福井優太, 倉田和己, 平井敬, 福和伸夫, 仮想現実技術と振動台を組み合わせた超高層建物の地震応答体験環境の構築, 日本建築学会大会, 2017
- ③ 平井敬, 福和伸夫, グリーン関数の相反性を利用した長周期地震動作成システムの構築, 日本建築学会大会, 2017
- ④ 山田沙代, 平井敬, 福和伸夫, 中京地域で発生する長周期地震動に対する不整形な堆積盆地構造の影響, 日本建築学会大会, 2017
- ⑤ 小島大輝, 山田沙代, 平井敬, 福和伸夫, 高密度強震観測記録に基づく2016年三重県南東沖の地震による東海地方の地震動の特性分析, 日本建築学会大会, 2017
- ⑥ Takashi Hirai, Nobuo Fukuwa, Green's function database and detailed ground motion prediction for central Japan based on the reciprocity theorem, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017
- ⑦ 山田沙代, 平井敬, 福和伸夫, 有限差分法に基づく中京地域で観測される地震動の震源位置依存性に関する研究, 日本建築学会大会, 2016
- ⑧ 平井敬, 福和伸夫, 大阪堆積盆地上の長周期地震動の震源位置による変動, 日本建築学会大会, 2016
- ⑨ 千賀英樹, 平井敬, 福和伸夫, 中京地域におけるグリーン関数データベースの作成と詳細な地震動予測 その2 予測地震動による建物応答, 日本建築学会大会, 2015
- ⑩ 平井敬, 千賀英樹, 福和伸夫, 中京地域におけるグリーン関数データベースの作成と詳細な地震動予測 その1 地震動予測, 日本建築学会大会, 2015

- ⑪ 山田沙代, 平井敬, 福和伸夫, 地震動観測記録の表面波部の震源位置依存性, 日本建築学会大会, 2015
- ⑫ 高橋広人, 平井敬, 福和伸夫, 地震記録に基づくサイト特性と地震波到来方向の関係に関する研究, 日本建築学会大会, 2015

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

地震動作成システム

<http://133.6.118.22/map/map/?cid=1&gid=0&mid=44>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平井 敬 (HIRAI, Takashi)

名古屋大学・大学院環境学研究科・助教

研究者番号：00708373