

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：13901

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2013～2014

課題番号：25889032

研究課題名(和文)相反定理に基づくグリーン関数と観測記録を駆使した高精度地震動予測手法の構築

研究課題名(英文)Ground motion prediction method for arbitrary seismic source based on the reciprocity theorem of Green's function and ground motion record

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) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、地盤構造モデルに基づいて有限差分法により計算された理論地震動と、中小地震時に観測された地震動の記録を組み合わせることで、任意の震源による地震動を高精度に予測する手法を開発した。理論地震動の計算にあたっては、グリーン関数の相反性を利用することにより、計算量を大幅に削減する方法を採用した。中京地域の地盤モデルと紀伊半島沖の2地震および東南海地震の震源モデルを用いて検討を行った結果、本手法によって精度よく地震動を推定することができることが分かった。特に、実体波と表面波の距離減衰特性の違いを反映して、後続波の振幅が異なる結果となった。

研究成果の概要(英文)：In this study, a new method to synthesize the seismic ground motion due to arbitrary seismic source was developed by combining the theoretical ground motion based on the soil structure model and ground motion record of small earthquake. The calculation load to synthesize the theoretical ground motion was reduced by using the reciprocity theorem of Green's function. Using the soil structure model of Chukyo area, two ground motion records due to off Kii Peninsula Earthquakes, and seismic source model of the future Tonankai Earthquake, ground motion was synthesized accurately by this method. Especially, the amplitudes of coda waves differ reflecting the attenuation characteristics of body wave and surface wave.

研究分野：地震工学

キーワード：地震動予測 地盤構造モデル 波形合成法 相反定理 有限差分法

1. 研究開始当初の背景

南海トラフ巨大地震を目前に控えた現在、建物の耐震化を推進することは喫緊の課題である。耐震化の必要性を示すためにも、耐震改修を行うためにも、大地震による地震動を予測することは不可欠である。現在、地震動予測手法としてもっとも正確と考えられているのは経験的グリーン関数法(図1)であるが、これには次の2つの欠点がある。(i)地震動を予測したい地点において、想定地震の断層近傍で発生した中小地震の記録が存在しなければ適用できないこと。(ii)中小地震の記録にはP波、S波、散乱波、表面波などが含まれるが、要素断層からの地震動として補正する際にすべて直達S波としてモデル化していること。このうち、(i)に関しては統計的グリーン関数法や擬似経験的グリーン関数法¹⁾(図2)により克服する方法がある。しかしながら、(ii)についてはいまだ抜本的な改善策が提案されていないのが現状であった。

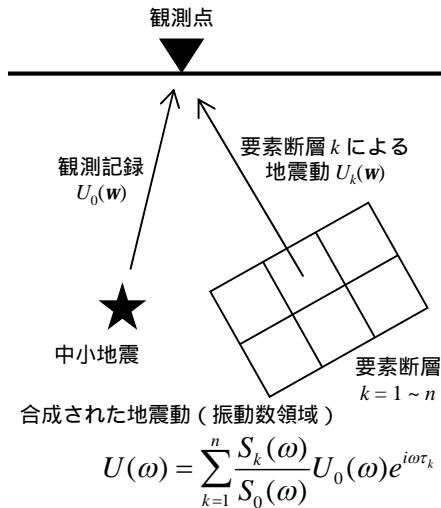


図1 経験的グリーン関数法の模式図. 中小地震の記録に震源スペクトルによる補正を施して要素断層による地震動とし、波形合成を行う。

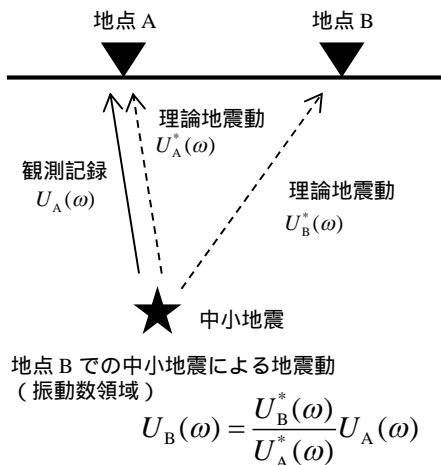


図2 擬似経験的グリーン関数法におけるグリーン関数の作成法. 地点Aでの観測記録に理論地震動のフーリエスペクトル比を乗じて地点Bでの地震動とする。

一方、筆者は、弾性論に基づくグリーン関数の相反定理と3次元有限差分法を組み合わせることで効率よく理論地震動を計算する方法について検討を行ってきた(図3)。実際にこの手法を用いて、堆積盆地上の観測点での地震動の周期特性が震源方位によって変動することについて、定量的な検討を行った実績がある²⁾。

2. 研究の目的

本研究では、上記の相反定理を利用した地震動計算法と、経験的グリーン関数法・擬似経験的グリーン関数法を組み合わせることにより、新たな高精度地震動予測手法を構築することを目的とした。

本研究の骨子となる発想は、経験的グリーン関数法で中小地震の波形を重ね合わせる際に、図1の補正法に代えて相反定理によるグリーン関数の比(伝達関数)を用いることである(図4)これにより、従来の補正法で

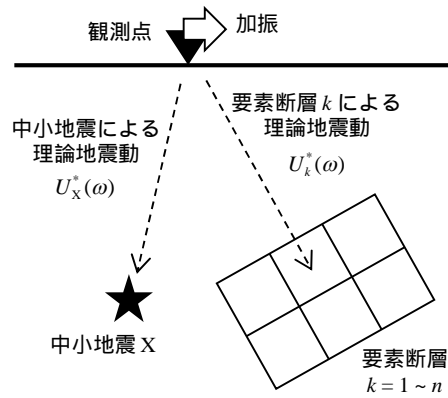


図3 相反定理を利用した地震動の計算法. 観測点を加振したときの中小地震震源 X および要素断層 k での歪み波形を算出すれば、それが各断層を震源とする地震動の波形に等しい。

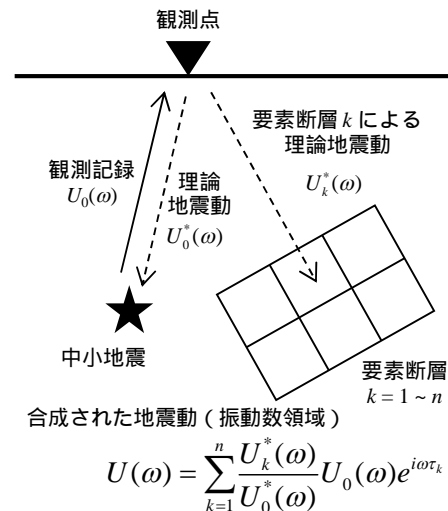


図4 本研究で提案する波形合成法. 中小地震の記録に理論地震動のスペクトル比を乗じて要素断層による地震動とし、波形合成を行う。

は考慮されなかったP波・散乱波・表面波の正確な補正が可能となる。本研究で明らかになった事項は、以下の2点である。

(i) いくつかの地震観測点について、相反定理によるグリーン関数の比（伝達関数）を用いて中小地震の記録から要素地震の波形を作成することの妥当性を確認した。

(ii) 伝達関数により補正された要素地震の波形を用いて合成された大地震の波形の妥当性を検証した。実際に起こった大地震の記録との比較に加え、従来手法による地震動計算結果との比較も行った。

3. 研究の方法

(1) まず、伝達関数による地震観測記録の補正の妥当性を検証するにあたっては、フィールドとして、名古屋市を中心とする中京圏を採用した。この地域においては、名古屋大学が自治体等の協力を得て展開している「大都市圏総合強震観測網」があり、他に例を見ない密度で強震観測記録が得られている。また、詳細な地盤構造モデルが作成されているため、3次元有限差分法による理論地震動の計算を高精度で行うことが可能である。観測点としては、平野内・岩盤上の地点を選定し、それぞれについて伝達関数を用いて中小地震の記録を補正することの妥当性を検証することとした。一般的傾向としては、中小地震の震源位置と想定地震の要素断層位置とが離れるにつれて補正精度が低下することが予想されるが、その場合は十分な精度で補正が行える距離の目安を明らかにすることを目標とした。

(2) 次に、伝達関数による補正を行った地震動を用いた波形合成については、濃尾平野近傍の大地震として、東南海地震を材料に妥当性の検討を行った。これには、伝達関数を用いて中小地震の地震動記録を補正する本手法による合成波形と、従来の経験的グリーン関数法による合成波形とを比較した。本手法に地震動の補正には、有限差分法によって計算されるグリーン関数を用いるため、短周期成分については精度が低くなるおそれがある。この場合は、短周期成分は直達S波が主成分であると考えて、従来から用いられている統計的グリーン関数法による地震動波形を用いて伝達関数を作成し、中小地震の波形を補正することを考える。これにより、統計的グリーン関数をそのまま用いると表現されない散乱波の影響を考慮することが可能であると考えられる。

4. 研究成果

(1) まず、伝達関数による地震動観測記録の補正の妥当性を検証するにあたって、名古屋市を中心とする中京圏を採用した。この地域に関しては、堀川ら（2008）のモデルを改良した詳細な地盤構造モデルが作成されており、3次元有限差分法による理論地震動の計

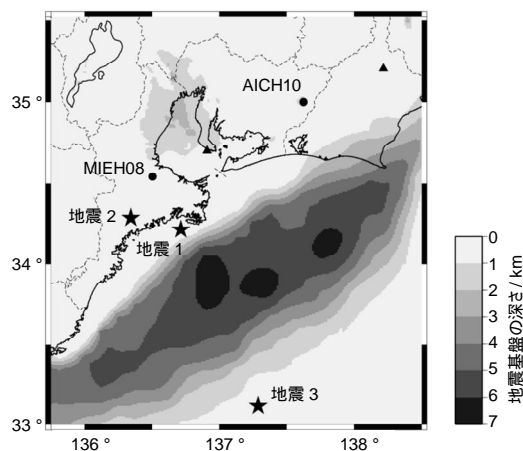


図5 地盤構造モデル（地震基盤深さ）と震源・観測点

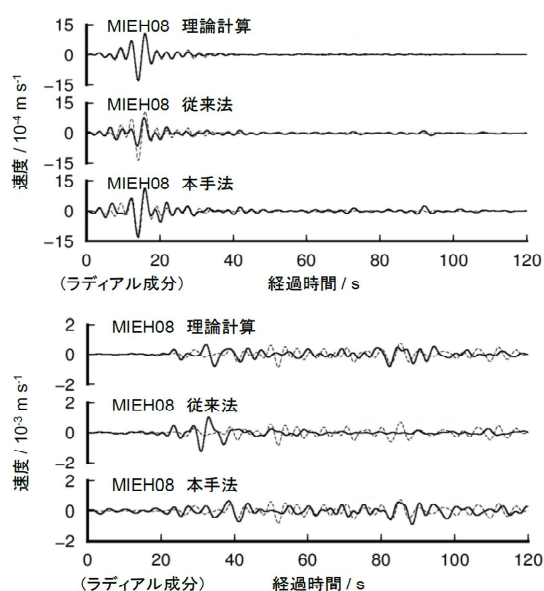


図6 地震1による地震動の観測記録から推定した地震2（上段）と地震3（下段）による地震動

算を高精度で行うことができる。図5に地盤モデルと震源・観測点の位置を示す。震源としては2004年9月8日に三重県南東沖で発生したふたつの地震を対象とした。図6に地震動波形の補正の結果を示す。一方による地震動記録と伝達関数を掛け合わせることで、他方の地震動記録をおおむね模擬することに成功した。

(2) 次に、伝達関数による補正を行った地震動を用いた波形合成法については、濃尾平野近傍の大地震として、東南海地震を材料に妥当性の検討を行った。図7に震源モデルを示す。これには、伝達関数を用いて中小地震による地震動記録を補正する本手法による合成波形と、従来の経験的グリーン関数法による合成波形とを比較した。図8に合成結果を示す。従来のグリーン関数法による合成波形と比較して、特に表面波の距離減衰について、

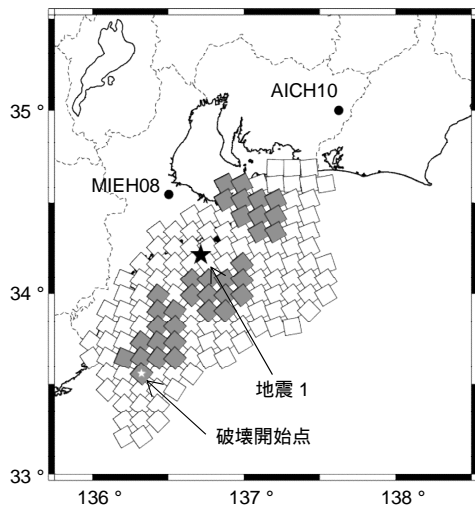


図7 東南海地震の震源モデル

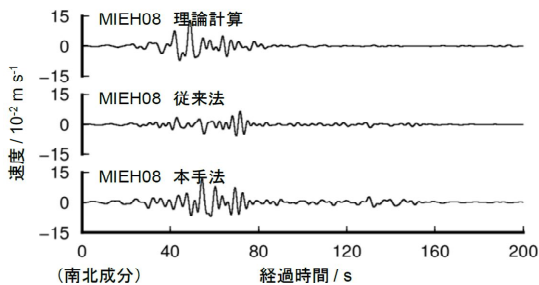


図8 東南海地震による地震動の計算結果

明らかな違いが生ずることが確認された。すなわち、本手法による波形合成の結果は、従来法によるものと比較して、後続波部分の振幅が大きい。これは、従来法は直達S波を仮定して震源距離に反比例する距離減衰特性を前提としているのに対し、本手法は実体波・表面波それぞれに対して理論的に距離減衰特性を求めていることを反映した結果である。

<引用文献>

- 高橋 広人、林 宏一、福和 伸夫、擬似経験的グリーン関数法を用いた強震動予測、応用地質技術年報、28、2008、15-29
 平井 敬、福和 伸夫、3次元有限差分法と相反定理を利用した堆積盆地の形状による地盤震動特性の評価、日本地震学会2013年度秋季大会講演予稿集、2013、195

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- 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、714号、2015(掲載決定)

寺島 芳洋、平井 敬、福和 伸夫、堆積盆地構造が地震動の周期特性に与える影響 - 3次元有限差分法を用いた検討 -、日本建築学会構造系論文集、査読有、80巻、708号、2015、219-229

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盤震動性状の評価手法、日本建築学会構造系論文集、査読有、78巻、694号、2013、2083-2091

〔学会発表〕(計3件)

平井 敬、福和 伸夫、地震観測記録と地盤構造モデルに基づく伝達関数を用いた任意の震源による地震動予測手法の検討、日本建築学会2014年度大会(神戸大学)、2014年9月13日

寺島 芳洋、平井 敬、福和 伸夫、堆積盆地構造が地震動の周期特性に与える影響 - 3次元有限差分法を用いた検討 -、日本建築学会2014年度大会(神戸大学)、2014年9月13日

平井 敬、福和 伸夫、有限差分法と相反定理による堆積盆地の地盤震動特性評価法、日本建築学会2014年度大会(北海道大学)、2013年8月30日

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