

機関番号：92605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008 年度～2010 年度

課題番号：20560544

研究課題名（和文）統計的グリーン関数法による水平・上下動評価法の構築

研究課題名（英文）DEVELOPMENT OF PREDICTION METHOD OF HORIZONTAL AND VERTICAL GROUND MOTIONS BY STATISTICAL GREEN'S FUNCTION METHOD

研究代表者

佐藤 智美（SATO TOSHIMI）

清水建設株式会社技術研究所・原子力施設技術センター・主任研究員

研究者番号：00393562

研究成果の概要（和文）：断層モデルによる強震動予測手法のひとつである統計的グリーン関数法では、上下動を精度良く評価する手法が確立されていない。そこで、水平動 2 成分に上下動を含めた 3 成分の広帯域強震動予測を行うため、統計的グリーン関数法の開発・改良を行った。近地項と中間項を考慮することにより、震源近傍での強震動予測、特に影響の大きい上下動の予測が高精度化された。また、P 波部も考慮することにより、P 波部の寄与が大きい上下動の予測精度を向上させた。

研究成果の概要（英文）：In the statistical Green's function method which is one of strong motion prediction methods, vertical ground motions had not been precisely predicted. In this study we improve the statistical Green's function method to precisely predict vertical ground motions as well as horizontal motions. One of the new methods proposed in this study is to consider near-field and intermediate terms as well as the far field term of the source spectra. The other is to consider P-wave as well as S-wave on strong motion predictions.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：理工学

科研費の分科・細目：建築学・地震防災

キーワード：強震動予測、統計的グリーン関数法、上下動、近地項、中間項、断層モデル

1. 研究開始当初の背景

断層モデルによる地震動予測手法のひとつである統計的グリーン関数法では、上下動を精度良く評価する手法が確立されていない。しかしながら、原子力発電所等の重要構造物への入力地震動として、上下動も必要とされている。

2. 研究の目的

水平動 2 成分に上下動を含めた 3 成分の広帯域強震動予測を行うため、統計的グリーン関数法の開発・改良を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 既存の統計的グリーン関数法で考慮されていた遠地項に加え、本研究では近地項と中間項も考慮した定式化を行った。また、永久変位を計算する方法を導入した。さらに、

S波部のみならずP波部を考慮した。また、既往の手法では、S波の斜め入射により上下動の地盤増幅率を計算していたが、過小評価になる問題があったため、短周期ではP波の鉛直下方入射を用いることを提案した。また、散乱理論に基づく経時特性モデルを地殻内地震にも適用することにより、距離に依存して継続時間が長くなる現象を表現した。

(2) 提案する手法と既往の手法により統計的グリーン関数を計算し、観測波形や波数積分法による理論波形との比較から提案手法の妥当性を示した。

(3) 提案する統計的グリーン関数法の妥当性検証のため、地殻内地震、海溝型地震(プレート境界地震とスラブ内地震)の3成分の距離減衰式を構築した。

4. 研究成果

統計的グリーン関数法を以下の観点で改良し、地震観測記録、波数積分法による理論波形で手法の有効性を示した。

(1) S波部のみならず、P波部も考慮することにより、P波部の寄与が大きい上下動の予測精度を向上させた。

(2) これまでの統計的グリーン関数法では、遠地項のみが考慮されていたため、震源近傍での予測精度が低かった。本研究では、近地項と中間項も考慮した手法に改良することにより、震源近傍での予測精度を向上させた。この近地項と中間項は、特に上下動に影響が大きいことから、上下動の予測精度の向上に特に寄与した。

(3) 近地項と中間項の導入に加え、因果関数という条件下で 0Hz 以外の周波数のフーリエスペクトルから、0Hz での値を計算する勝倉・他(1989)、Katukura and Hayashi (1991)の因果的FFT解析手法を導入して永久変位の予測も可能とした。

図1には、上記の(1)~(3)を考慮した本提案手法による地震基盤での上下動の予測変位波形(c)と、既往の手法による予測変位波形(b)と、波数積分法による理論変位波形(a)の比較を示す。Mw4.9の逆断層型の点震源を震源深さ15kmにおいた場合の震央距離0~14kmのケースである。なお、各波形の右上の数字は最大変位(cm)である。提案手法では、既往の手法より、永久変位も含めて理論波形をよく再現している。

図2には、上記の(1)~(3)を考慮した本提案手法と、既往の手法、波数積分法による地震基盤での上下動(震央距離2km)とRadial成分(震央距離4km)の変位フーリエスペクトルを示す(震源深さ4km)。本提案手法によるスペクトルは波数積分法と合うが、既往の手法では過小評価となっている。

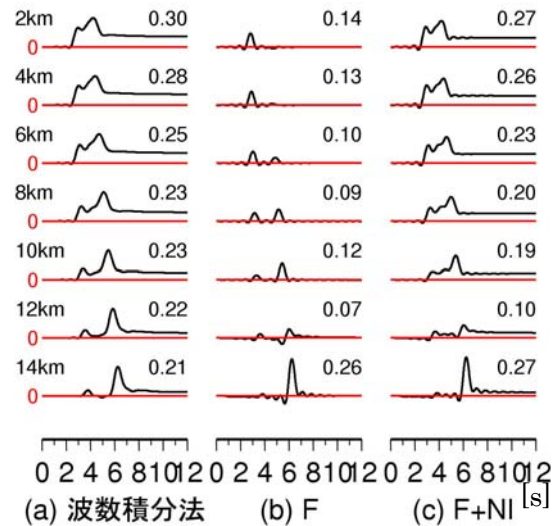


図1 提案手法(c)と既往の手法(b)による震央距離2~15kmでの地震基盤における上下動の変位波形と波数積分法による理論変位波形の比較

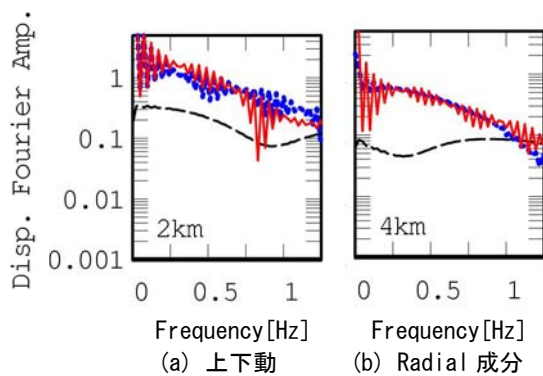


図2 提案手法(青線)と既往の手法(黒線)による地震基盤における上下動とRadial成分の変位波形と波数積分法(赤)による理論変位波形の比較

(4) これまでの統計的グリーン関数法では、上下動の地盤増幅率を地震基盤での実体波の斜め入射を仮定して計算されていたが、過小評価となる問題が指摘されてきた。本研究では、短周期ではP波の鉛直入射を考慮した地盤増幅率とすることにより、観測記録の再現性がよくなることを示した。

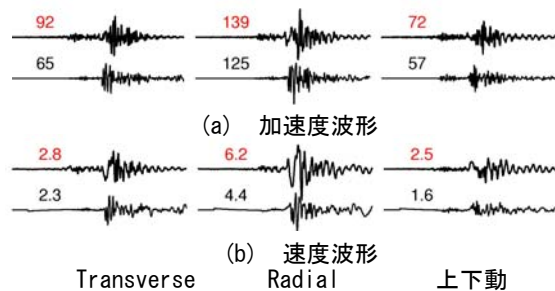


図3 1998年宮城県南部地(Mw4.9)のMIYA(震源距離19.1km)での地表での統計的グリーン関数(上段)と観測波形(下段)の比較(各波形の左上の数字は最大加速度、最大速度)

(5) 研究代表者が海溝型地震に対して提案していた散乱理論に基づく経時特性モデルと同様の考え方で、地殻内地震に対する経時特性モデルを作成した。

図3には、(4)と(5)を考慮した提案手法に基づく1998年宮城県南部地震(Mw4.9)のMIYA(震源距離19.1km)での地表での統計的グリーン関数と観測波形の比較を示す。統計的グリーン関数は観測波形をほぼ表現している。

図4には、(4)と(5)を考慮した提案手法を用いた場合と既往の手法に(4)のみを考慮した用いた場合の、地表における1998年宮城県南部地震の震源距離の範囲が13km~27kmでの観測波と統計的グリーン関数の最大加速度の比較を示す。S波部とP波部の上下動とradial成分の場合である。散乱理論に基づく経時特性モデルを考慮した場合の方が、観測最大加速度をよく表現している。

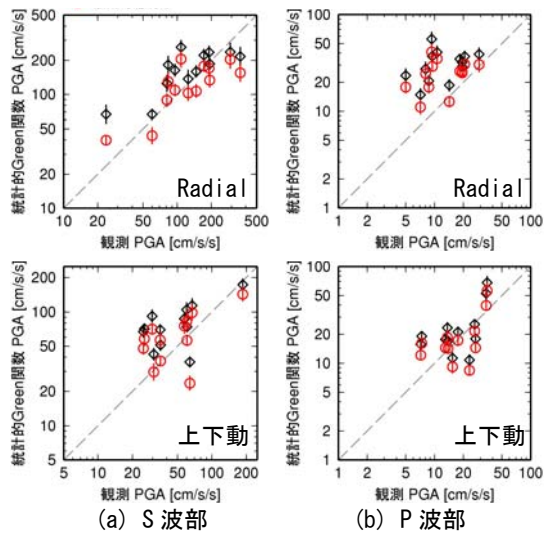


図4 散乱理論に基づく経時特性モデルを考慮した場合(O)としない場合(D)の統計的グリーン関数の最大加速度の比較。縦線は平均値±標準偏差の範囲

(6) 断層モデルによる地震動評価手法において重要なパラメータである短周期レベルについて、スペクトルインバージョンに基づき、逆断層と横ずれ断層の短周期レベルの違いを指摘した。

(7) 統計的グリーン関数法の妥当性検証のため、地殻内地震、海溝型地震(プレート境界地震とスラブ内地震)の3成分のP波部とS波部と全継続間の波形を用いた場合の距離減衰式(最大加速度、最大速度、加速度応答スペクトル)を構築した。海溝型地震では、太平洋プレートとフィリピン海プレートの違いを考慮した。また、地殻内地震に対しては、破壊伝播効果と震源放射特性の補正係数モデルも構築し、経験式に基づく3成分の強震動予測精度を向上させた。

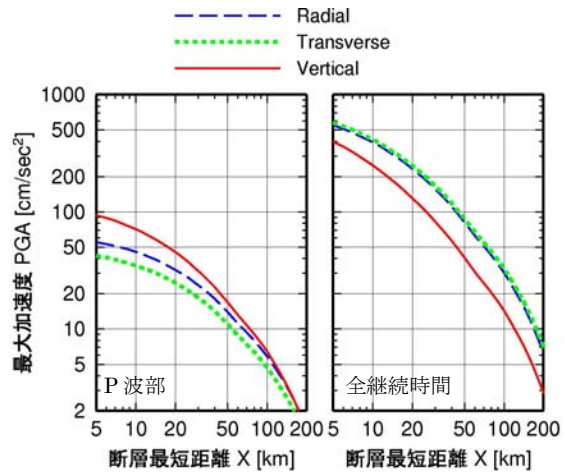


図5 逆断層・斜めずれ断層の地殻内地震(Mw6.6)のVs600~800m/sの基盤での最大加速度の距離減衰式

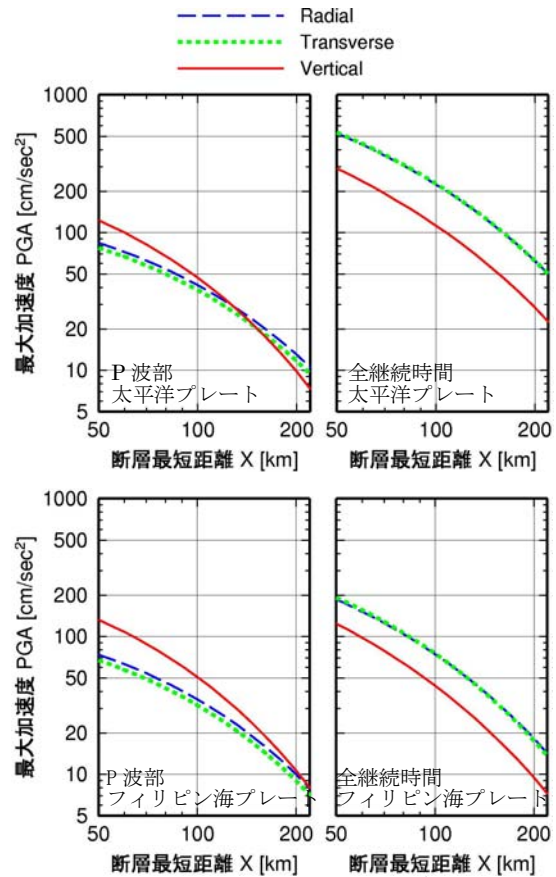


図6 Mw7.4、震源深さ60kmのスラブ内地震に対するVs600~800m/sの基盤での最大加速度の距離減衰式

図5、図6には、地殻内地震とスラブ内地震の最大加速度の距離減衰式の例を示す。

図7には、2005年福岡県西方沖地震の周期2秒の加速度応答スペクトルの観測と本研究及び既往の研究の破壊伝播効果と震源放射特性の補正係数の比較(断層直交方向成分=FN成分)を示す。本研究の補正係数は、既往

の補正係数より、観測をよく表現している。

以上のように、本研究では、水平動2成分に上下動を含めた3成分の広帯域強震動予測を行うための、統計的グリーン関数法の開発と、検証のための距離減衰式の構築を行った。これにより、断層モデルを用いた統計的グリーン関数法と経験的手法による3成分強震動予測が高精度化された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

- ①佐藤智美, 地殻内地震の地震動の距離減衰式に対する破壊伝播効果と震源放射特性の補正係数モデル, 日本建築学会構造系論文集, 第661号, pp. 499-508, 2011, 全文審査有
- ②佐藤智美, 日本のスラブ内地震とプレート境界地震の水平・上下動の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 2010, 第647号, 67-76, 全文審査有
- ③佐藤智美, 近地項と中間項を考慮した三成分統計的グリーン関数生成手法の高度化, 日本建築学会構造系論文集, 2009, 第638号, 629-638, 全文審査有
- ④佐藤智美, 川瀬博, 堆積層による地震動の増幅, 地震第2輯, 第61巻特集号, pp. 455-470, 2008, 全文審査有
- ⑤佐藤智美, 地殻内地震に対するP波部・S波部・全継続時間の水平・上下動の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集第632号, 1745-1754, 2008, 全文審査有
- ⑥佐藤智美, 水平・上下動の広帯域統計的グリーン関数生成手法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第629号, pp. 1087-1094, 2008, 全文審査有

[学会発表] (計8件)

- ①佐藤智美, 地震観測記録に基づく震源放射特性と破壊伝播効果の分析とモデル化, 第60回理論応用力学講演会, 0S19-6, 2011, 審査無
- ②Satoh, T., Inversion of S-wave velocity and Q_s of deep sediments from surface-to-borehole spectral ratios considering obliquely incident SH and SV waves, 1st Kashiwazaki International Symposium on Seismic Safety of Nuclear Installations, VIII-24, 2010, 審査無
- ③佐藤智美, 強震観測記録に基づく短周期レベルと破壊伝播効果に関する研究, 第38回地盤震動シンポジウム, pp. 3-16, 2010, 審査無
- ④佐藤智美, 破壊伝播効果とラディエーションパターンの経験的補正係数モデル, 日本地震学会学術講演予稿集, B12-06, p. 49, 2010, 審査無
- ⑤ Satoh, T., Three components of statistical Green's functions intermediate-field terms, The 7th General

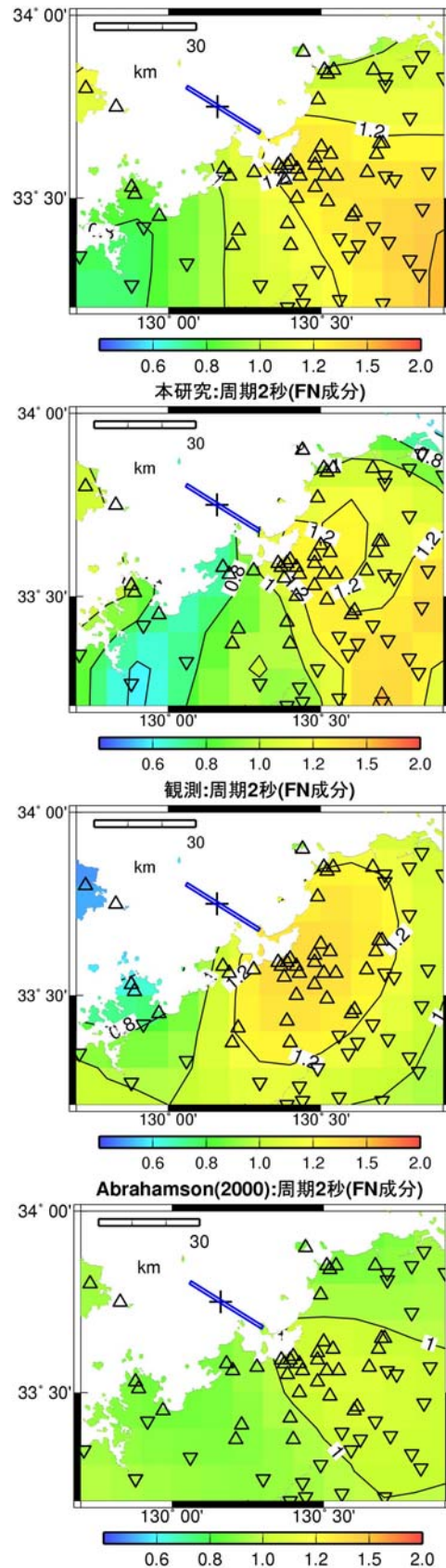


図7 2005年福岡県西方沖地震の周期2秒の加速度応答スペクトルの観測と本研究及び既往の研究の破壊伝播効果と震源放射特性の補正係数(FN成分)の比較(三角は強震観測点、青は断層面)

considering near-field and Assembly of Asian Seismological Commission, The 2008 Fall meeting of Seismological Society of Japan, X4-077, p.287, 2008, 審査無

⑥ Satoh, T., Generation method of broadband statistical Green's functions for both horizontal and vertical ground motions, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China, 03-02-0007, 2008, アブストラクト審査有

⑦佐藤智美, 中国地方の地殻内地震の短周期レベルの推定-断層タイプによる違いに着目して-, 日本地震工学会大会梗概集, pp. 242-243, 2008, 審査無

⑧佐藤智美, 地殻内地震に対する P 波部・S 波部・全継続時間の三成分地震動の距離減衰式, 日本地球惑星科学連合大会, S146-012, 2008, 審査無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 智美 (SATO TOSHIMI)

清水建設株式会社技術研究所・原子力施設
技術センター・主任研究員

研究者番号：00393562