

B会場 | 一般セッション：S15. 強震動・地震災害

2022年10月26日(水) 9:30 ~ 11:00 | B会場 4階 (大会議室)

[S15] AM-1

座長: 下山 利浩(気象庁気象研究所)、土田 琴世(阪神コンサルタンツ)

9:30 ~ 9:45

[S15-06] 高周波数EGTDの推定は可能か その (1)

鳥家 充裕¹、吉田 沙由美²、*土田 琴世¹、堀家 正則¹ (1. 株式会社阪神コンサルタンツ、2. 所属機関なし)

9:45 ~ 10:00

[S15-07] 高周波数EGTDの推定は可能か その (2)

*堀家 正則¹、吉田 沙由美²、鳥家 充裕¹、土田 琴世¹ (1. 株式会社阪神コンサルタンツ、2. 所属機関なし)

10:00 ~ 10:15

[S15-08] Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping

*Anirban Chakraborty¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada² (1. Hosei University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University)

10:15 ~ 10:30

[S15-09] 常陸那珂港におけるやや長周期地震動特性の震源地域による変化

*植竹 富一¹ (1. 東京電力ホールディングス(株))

10:30 ~ 10:45

[S15-10] 長周期地震動の予測についての検討

*下山 利浩¹ (1. 気象庁気象研究所)

10:45 ~ 11:00

[S15-11] 地震波干渉法によるグリーン関数を用いた長周期地震動の即時予測

*江成 徹平¹、古村 孝志¹ (1. 東京大学地震研究所)

高周波数EGTDの推定は可能か その(1)

Is it feasible to derive high-frequency EGTDs? part (1)

*鳥家 充裕¹、吉田 沙由美²、土田 琴世¹、堀家 正則¹

*Mitsuhiro Toya¹, Sayumi Yoshida², Kotoyo Tsuchida¹, Masanori Horike¹

1. 株式会社阪神コンサルタンツ、2. 所属機関なし

1. Hanshin Consultants Co., Ltd., 2. N/A

1. 初めに

点震源とみなせる震源から放射された地震動はモーメントテンソルとグリーン関数の空間微分のコンボリューションにより得られる。この二項を分離することは、震源と伝播経路のどちらの研究においても重要である。分離には、どちらかの項が既知でなければならないが、従来はグリーン関数を数値的な方法や経験的な方法で求めてきた。しかし、これらの方法には欠点がある。

数値的な方法として、周波数一波数積分法、差分法、有限要素法が提案されている。これらの手法は固有の長所と短所を有しているが、高周波数地震動の計算には短波長の不均質地下構造が必要となるため実用的な意味で計算できないという共通の困難も抱えている。

もう一つの方法は、観測波形をグリーン関数とみなす経験的グリーン関数法である。この手法では、高周波数までの利用可能性はあるが、発震機構や震源時間関数が異なる場合それらの補正を正確に行うのは難しい。

Plicka & Zahradnik (1998)は、上述した数値計算法や経験的グリーン関数法の欠点を克服する方法を提案した。具体的には、点震源と仮定できる領域内の複数の余震から放射された地震動波形からグリーン関数の空間微分を抽出する方法である。この手法では地下構造は必要なく、またグリーン関数の空間微分値(EGTD)は点震源の条件を満たす高周波数成分まで含むことができる。EGTDが得られると、任意の発震機構とモーメントレート関数を持つ地震の地震動計算が可能となる。これにより、減衰や散乱等の伝播経路の性質を正確に評価できる。また、震源の性質の解明にも利用できる。例えば、震源インバージョンに用いると、高周波数地震動の発震域を特定できる。さらに、このインバージョン結果を用いれば、断層の摩擦則のパラメータ、特にDc(critical distance)を精度よく推定できる可能性もある。

このようにEGTDが推定できれば伝播経路や震源研究の有力なツールとなると期待できるが、実用化に向けた研究は不足している。実用化には、以下の3課題を解決する必要がある。(1)震源位置、断層パラメータ、モーメントレート関数の正確な決定、(2)どの程度の範囲内にある余震群からどのくらいの高周波数までのEGTDが推定可能か、(3)使用する震源時間関数の選択、である。ここでは課題(1)について述べ、課題(2)、(3)については、その(2)で述べる。

2. EGTD推定に必要な震源パラメータの決定

EGTDの推定には様々な震源に関するパラメータが必要となる。ここでは、これらの推定について述べる。まず、使用した波形データについて述べる。我々は熊本地震余震の臨時観測を2016年5月6日から6月27日まで行った。この臨時観測のデータと気象庁一元化カタログに掲載されているこの期間に発生したM₂程度以上の地震を対象として、Hi-netや気象庁などの定常観測点での波形データを統合したものをを用いて震源パラメータを決定した。密な観測点を用いるため高精度の震源位置と震源パラメータの決定が期待できる。

震源決定では、まずWINシステムを用いて得た波形データからP波およびS波到達時刻、P波の初動極性の読み取りを行った。次に読み取ったP波・S波走時から、WINシステムに含まれている震源決定プログラムhypomhを用いて震源決定を行い、最後にdouble-difference(DD)法を用いて震源再決定を行った。

震源決定で読み取った地震のうち、P波の初動極性が10点以上ある地震を対象として断層パラメータ(走行、傾斜、滑り角)を推定した。断層パラメータの推定は、Hardbeck and Sheare (2002)によるプログラムHASH1.2を用いている。最終的に解が収束し、ある程度精度の良い結果となった640個の余震の断層パラ

メータを得た。推定された断層パラメータのタイプ分けを行うと、正断層横ずれタイプが多いことが分かった。また、推定した断層パラメータの信頼度を3段階で表示した。

決定した震源位置を用いて、EGTD推定に使用する直径1kmと2kmの範囲内に6余震以上ある余震群を探した。その結果、直径1kmの範囲内では2グループあり、以後これらをA1グループ、A2グループと呼ぶ。直径2kmの範囲内でも3グループあり、それぞれB1グループ、B2グループ、B3グループと呼ぶ。モーメントレート関数を決める。具体的には、関数そのものではなく地震モーメント M_0 とコーナー周波数 F_c である。5グループ39余震を対象として、観測記録のスペクトルのインバージョンを用いて、余震の放射震源スペクトルを求めた。この際、地表と岩盤の観測点のスペクトル比を付加条件とした。放射震源スペクトルが ω^{-2} 則に従うと仮定して、フィッティングにより M_0 と F_c を求めた。

3. 最適な震源パラメータ

前節で述べた震源に関するパラメータの推定法は様々な仮定に基づいており真の値ではない。そこで、この研究では遺伝的アルゴリズム（GA）を用いて得られる震源パラメータの最適値によるEGTD推定を行う。具体的には、地震モーメント、震源時間関数の時間パラメータ、断層の走行、傾斜、滑り角の5パラメータの最適値を求めた。

高周波数EGTDの推定は可能か その（２）

Is it feasible to derive high-frequency EGTDS? part(2)

*堀家 正則¹、吉田 沙由美²、鳥家 充裕¹、土田 琴世¹

*Masanori HORIKE¹, Sayumi YOSHIDA², Mitsuhiko TOYA¹, Kotoyo TSUCHIDA¹

1. 株式会社阪神コンサルタンツ、2. 所属機関なし

1. Hanshin consultants, LTD., 2. N/A

1. 初めに

その（１）で述べたように、高周波数EGTDの推定が可能となると、伝播経路の性質の推定研究や震高周波数震源インバージョンやその結果として動的モデルの研究にも大きく寄与する。したがって、地震動から安定的に高周波数EGTDを取り出す方法を確立することは重要である。このためには、以下の課題を解決する必要がある。（１）どの程度の範囲内にある余震群からどのくらいの高周波数までのEGTDが推定可能か、（２）使用する震源時間関数の関数形の選択、（３）震源位置、断層パラメータ、震源時間関数のパラメータの決定の3課題である。課題（３）についてはその（１）で述べたので、ここでは課題（１）、（２）について述べる。EGTD推定に使用するデータは、熊本地震のMj1.5～3.5の余震で、熊本県とその周辺に設置されたHi-net観測点（震源距離10km～50km）において5月6日から6月27日までに記録されたものである。

震源位置からEGTD推定のために5余震グループを作成した。2グループは直径1kmの範囲に余震が分布し、それぞれA1, A2グループと呼ぶ。残りの3グループは直径2kmの範囲に分布しB1, B2, B3とそれぞれ呼ぶ。異なる範囲の余震グループを作成した理由は、余震の分布範囲の影響を調べるためである。

2. 解析

課題（１）のために、各グループ内のすべての余震とすべての観測点の記録を用いて余震グループとすべての観測点間の3成分のEGTDを推定した。さらに、それらのEGTDを用いて観測記録の再現を試みた。高周波数限界を調べるために3つのローパスフィルタを準備した。具体的には高周波数限界として、4Hz, 8Hz, 16Hzとした。EGTDを用いた計算波形の観測記録の再現性の評価には両者の相互相関係数を用いた。この相関係数を用いて高周波数の限界と余震群の範囲について検討する。EGTDの推定では、GAを用いて最適断層パラメータと震源時間関数に対するEGTDを求めた。世代数は1000、染色体数は500とした。検索範囲はその（１）での値を基準として適切な範囲に設定した。なお、この処理を再現解析と呼ぶ。

課題（２）のために二つのステップからなる解析を行った。まずグループ内の1余震を除いた残りの余震からEGTDを推定した。次に、仮定した震源時間関数と推定したEGTDを用いて除外した余震の予測波形を計算し、観測波形の再現の程度を相互相関係数で評価した。なお、両ステップでGAを用いている。この解析を予測解析と呼ぶ。

予測解析を震源時間関数としてステップ関数と双曲線正接関数（tanh）の和である時間関数（SSF関数）と二等辺三角形の時間関数（TAF関数）を用いて行った。どちらがよりよく観測記録を予測できるかを比較し、この手法により適切な震源時間関数の選択が可能かどうかを調べた。

3. 結果

まず、A1グループのSSF関数を仮定した再現解析の結果について述べる。このグループでは、きわめて高い類似度を示した。全余震の全観測点で3成分波形の相関係数は16Hzでほぼ0.8以上、8Hzで0.9以上、4Hzで0.95以上となった。A2グループでは、7余震のうち1余震の相関係数がどの観測点でも低いためA1グループほどの再現性はないが、それでも4Hzでは相関係数は0.8以上となった。なお、相関係数の低い1余震を除くとA1グループと同程度の再現性を示した。

余震の分布範囲が2kmのB1, B2, B3グループでは、相関係数は低く4Hzでも0.8以下となる場合がかなりあった。この結果は余震分布範囲が大きいほど、点震源の仮定が成り立たないためEGTDの精度が悪くなることと対応している。

震源時間関数の影響を調べるためTAF関数を用いて再現解析を行った。結果は、SSF関数とほぼ同じ程度の観測記録の再現性を示した。これは、異なる震源時間関数を用いても観測記録をかなりよく再現できる高周波数EGTDが推定できることを意味すると同時に、真の高周波数EGTDを得るためには真の震源時間関数を用いる必要があることも意味する。実際二つの震源時間関数から得たEGTD波形を比較すると明らかに異なっていた。以上の再現に関する検討は、真の震源時間関数を用いれば高周波数EGTDが推定できることも示唆している。したがって、次の課題は真の震源時間関数を見つける手法はあるのか、さらにその方法はどのようなものである。異なる震源時間関数でも同程度の再現性が得られる理由は、震源時間関数とEGTDの合積（あるいは、周波数領域の掛け算）が同じものとなっているためと考えられる。

先述した予測解析により震源時間関数の優劣を決められるかを検討する。二つの震源時間関数（SSF&TAF）を仮定して、予測解析を行った。予測精度は相互相関関数で評価した。どちらの震源時間関数を用いてもほぼ同程度の予測となった。この結果は、提案した予測解析で震源時間関数の優劣を決定することは難しいことを意味する。

この研究では、震源時間関数が求まれば半径1km程度の範囲内にある余震を用いて高周波数（10Hz程度）の高精度EGTDが求まる可能性を示した。また、真のあるいはそれに近い震源時間関数を用いなければ、正確なEGTDは求まらないことも示した。さらに、予測解析による既存の震源時間関数の優劣の決定の可能性を調べたが、難しいことが分かった。

Updating proxy-based site amplification map in Osaka, Japan with soil borehole data: A Bayesian updating scheme based on Uncertainty Projected Mapping

*Anirban Chakraborty¹, Hiroyuki Goto², Sumio Sawada²

1. Hosei University, 2. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

Proxy-parameters like engineering geology, Vs30 (the time-averaged shear wave velocity (Vs) to a depth of 30 m), etc. are frequently used for preparing site amplification maps. However, these proxy-based maps do not always reflect the in-situ conditions. During the 2018 Mw 5.6 Northern Osaka earthquake in Japan, damage distribution in Ibaraki and Takatsuki cities of Osaka significantly deviated from the site amplification estimations of proxy-based Japan seismic hazard information system (J-SHIS) map. One possible explanation for the deviation is the difference between proxy-based and in-situ site amplification values. The other reasons could be strong ground motion, source effect, age of buildings, etc. In this study the role of site amplification in the damage distribution is investigated with the evaluations from available in-situ data. A Bayesian updating scheme is proposed for updating the proxy-based J-SHIS map with soil borehole data. The proposed scheme is based on uncertainty projected mapping (UPM), where spatial resolution corresponds to the denseness or sparseness of the available data. The study area is in Ibaraki and Takatsuki cities of Osaka, located close to the epicentre of the earthquake, where dense borehole data from Kansai Geo-informatics Network are available. In-situ site amplification at the borehole locations is evaluated using equivalent linear ground response analysis with non-linear soil modelling. The updated map or the posterior in Bayesian inference is generated with proxy-based J-SHIS values as priors, and evaluated in-situ site amplifications as likelihoods. The updated map with borehole data shows increased spatial granularity of low and high amplification regions. Several regions with relatively low amplification appeared in the previously high-amplification zone of proxy-based J-SHIS map. The appearance of relatively high amplification regions in previously low-amplification zones of proxy-based J-SHIS map might explain a couple of earthquake damage locations. However, the majority of damage locations cannot be explained by the updated map. It may be concluded that site factor alone is not sufficient, and factors like the source effect, age of buildings etc. should be considered for understanding the near-source damage distribution.

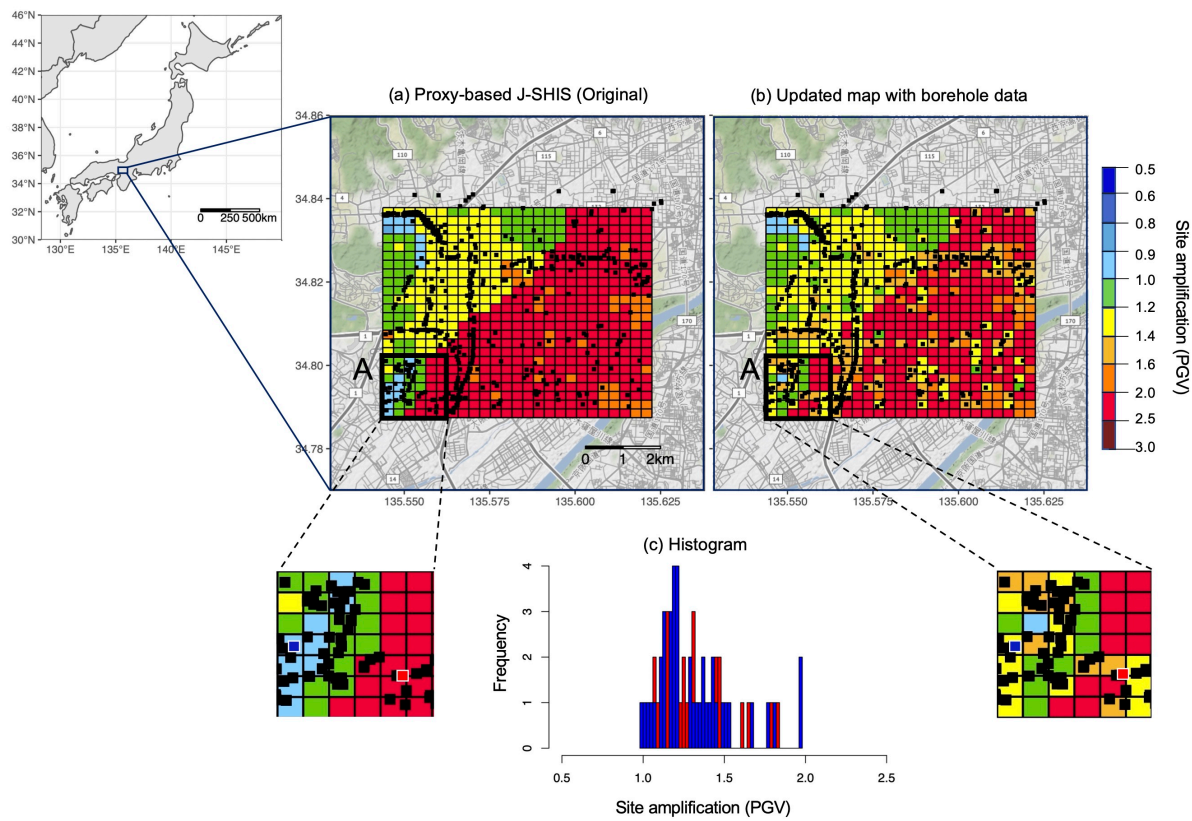


Figure 1. Comparison of site amplification in Osaka, Japan shown by (a) Proxy-based J-SHIS map and (b) Updated map with soil borehole data. (c) Histogram plot confirms the statistical significance of updated (higher spatial granularity) map resolutions in zone A

常陸那珂港におけるやや長周期地震動特性の震源地域による変化

Variation of long-period strong ground motions at Hitachi-Naka port depending on the epicenter regions

*植竹 富一¹*Tomiichi UETAKE¹

1. 東京電力ホールディングス(株)

1. Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

やや長周期帯域（周期数秒から十数秒）の地震動は、観測点直下の地下構造に加え周辺地域の地下構造の影響を受けるため、観測点から見て特定の方角の地震により特徴的な波群が確認されることがある。植竹(2017)は、2016年12月28日茨城県北部の地震(M6.3)により常陸那珂火力地点（HTN）で観測された周期2秒の後続波群について、周辺地域の観測記録を分析し、この波群が地下構造モデル〔例えば、地震調査研究推進本部（2021）〕が茨城県北部（HTNの西側）に示唆する地震基盤の窪地で発生した可能性を示した。また、植竹(2018)は、HTNから100 km圏で発生したM6～7クラスの地震に対し速度応答スペクトルの分析を行い、茨城県北部・福島県東部・栃木県北部で発生した地震では、上下動に周期2秒の後続波が認められるが、千葉県東方沖から福島県沖の海域で発生した地震ではそれが認められないことを報告した。今回は、より広域で発生したM6～8クラスの地震について、水平動を含めてスペクトル特性の変化を調べ、地震基盤の浅いKiK-net〔NIED(2019)〕のひたちなか観測点（IBRH18）に対する相対的な増幅特性を調べた。なお、HTNとIBRH18は約8 km離れているが、今回検討対象とした地震では、両地点の入射波は同等と見なした。今回の検討のきっかけは、2022年1月22日の日向灘の地震（M6.6）である。この地震によるHTNの記録は、震央距離が短い東京湾岸の観測点より大きな速度振幅を示し、周期3～4秒の震動が卓越していた。あらためて過去の記録を検討すると、西日本で発生した2016年熊本地震（M7.3）、2016年鳥取県中部（M6.6）の記録でも周期3～4秒の卓越が確認された。2013年栃木県北部の地震（M6.3）では、水平動の周期3～4秒のピークとともに上下動に周期2秒のピークが確認できる。茨城県北部・福島県東部の浅い地震では、上下動の周期2秒に顕著なピークが認められる。一方、千葉県東方沖から宮城県沖で発生した地震では顕著なピークは認められなかった。さらに、2015年5月30日の小笠原諸島西方沖の深発地震(M8.1、深さ682km)の応答スペクトルでも顕著なピークは認められなかった。このように応答スペクトルの特徴には震源地域の依存性が認められる。

HTNにおいて水平動の3～4秒にピークの見られた2013年栃木県北部の地震（M6.3）、上下動の2秒にピークの見られた2016年茨城県北部の地震（M6.3）、顕著なピークの見られなかった2011年7月31日福島県沖の地震（M6.5）、2015年小笠原諸島西方沖の地震(M8.1)について、HTNとIBRH18の速度波形、スペクトル特性の比較を行った。両地点の速度波形を比較すると、いずれの地震でも両地点での主要動は類似しているが、HTNのやや長周期帯域に顕著なピークが見られる栃木県北部や茨城県北部の地震では、HTNの記録には遅れて出現するやや長周期の後続波群が認められる。また、いずれの地震でもIBRH18のスペクトル特性には、やや長周期帯域に顕著なピークは認められないことから、HTNにおけるピークの生成は震源に起因するものではないと考えられる。HTNとIBRH18のフーリエスペクトル比を図に示す。解析区間は、主要動を含む160秒間で後続波群も含んでいる。スペクトル比には、それぞれの観測点直下の構造の違いの影響も含まれているが、栃木県北部と茨城県北部の地震で振幅の大きな周期帯には、表面波と推定される後続波群が重要な役割を果たしていると考えられる。HTNの西側で発生した地震に対し、HTNとIBRH18の後続波の違いが顕著になる。

HTNは茨城県北部域の地震基盤の窪みと海側の地震基盤の深まりがつながるチャンネル上に位置しており、西側の窪みで成長した表面波はHTN付近を通過して東に向かう。こういった構造の影響が、HTNにおけるやや長周期帯域での地震動特性の震源地域依存性に影響していると考えられる。

文献：

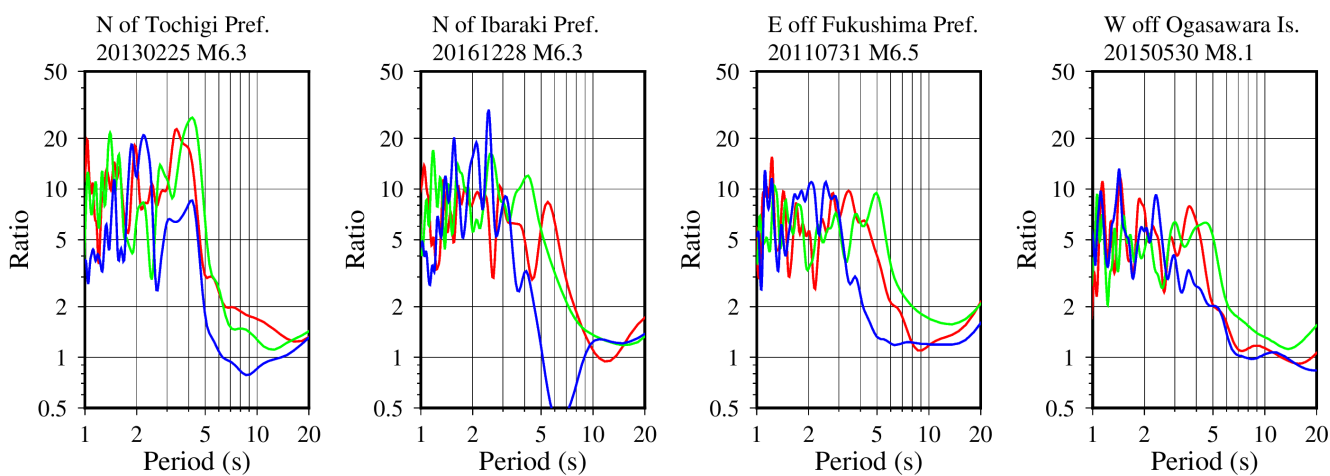
地震調査研究推進本部（2021），関東地方の浅部・深部統合地盤構造モデル（2021年版）．

NIED (2019), NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0004.

植竹(2017)，2016年12月28日茨城県北部の地震により常陸那珂港で観測された顕著な後続波群，日本建築学会大会(中国)学術講演梗概集，165-166.

植竹(2018)，常陸那珂港で観測される周期2秒の顕著な後続波群，日本地震学会2018年秋季大会講演予稿集，S15-06.

Fourier Spectral Ratio of HTN to IBRH18 (Red:NS, Green:EW, Blue:UD)



長周期地震動の予測についての検討

Study on prediction of long-period ground motion

*下山 利浩¹

*Toshihiro SHIMOYAMA¹

1. 気象庁気象研究所

1. MRI,JMA

気象庁の緊急地震速報は、地震による揺れの広がり（地震動）が続いている途中で、その後の揺れ（地震動）を予測して発表する。揺れの予測は、その時点で得られている地震動のデータから、1. 震源の位置・発震時刻・マグニチュードを即時に推定し、それら推定情報を元に予測する手法と、2. 震源の位置などは求めずに揺れ（地震動）を波動伝播としてとらえ波動伝播理論に基づき予測する手法、これら二つの手法を組み合わせで行っている。波動伝播理論に基づき予測する手法は、計算機資源をあまりかけずシステムに組み込みやすくした手法であるPLUM法を導入している（PLUM法は2018年3月から導入）。

2022年度後半には、緊急地震速報に、長周期地震動の予測に基づいた基準が追加される。これまでの震度を対象とした予測（短周期地震動の予測）に加え、長周期地震動階級の予測によっても発表するものである。この予測に用いている手法は、1. 震源の位置・発震時刻・マグニチュードから、長周期地震動を予測する手法であり、2. 波動伝播理論による長周期地震動の予測手法は導入されていない。

そのため、本発表では、長周期地震動の予測についても「2. 波動伝播理論による予測」を行うための一つの方法として、短周期の地震動予測に用いているPLUM法のような手法を適用できるかを検討する。検討は、過去に長周期地震動階級4を観測した地震（例：2022年3月16日23時36分の福島県沖の地震（M7.4、最大の長周期地震動階級4、最大震度6強）など）を対象として、

1. 長周期地震動の観測状況の整理、分析
 2. 絶対速度応答時刻歴の分析
 3. 適用範囲の検討（近傍観測点の比較）
- により行う。

地震波干渉法によるグリーン関数を用いた長周期地震動の即時予測

Real-time forecast of long-period ground motions using Green's function based on seismic interferometry

*江成 徹平¹、古村 孝志¹

*Teppei Enari¹, Takashi Furumura¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

1. はじめに

地震波干渉法から求めたグリーン関数を用いて、震源域近傍の強震観測データを入力値として遠地の平野で生成する長周期地震動を即時に予測する手法を検討した。

既往研究では、震源域近傍の基準観測点と予測地点の間のグリーン関数（伝達関数、応答関数）は、自然地震の波形データ（Nagashima et al., 2008; 倉橋ほか、2014）あるいは地震波伝播シミュレーション（吉本・武村、2018）から求められてきた。これに対し本研究では、基準観測点と予測地点の微動の相互相関を求める地震波干渉法により、2地点間のグリーン関数を作成した。地震波干渉法によるグリーン関数の導出は、近年Viens et al. (2017) やDenolle et al. (2018) らにより有効性が示されており、解析データを長期間スタックすることで自然地震を用いた場合よりも長周期側のS/N比の向上が期待される。さらに、自然地震の観測記録がない場所でもグリーン関数を算出できる点や、シミュレーションで見られる速度構造モデルの不正確性の影響を受けない点もメリットである。なお、地震波干渉法によるグリーン関数の絶対振幅は震源－観測点間の地下構造と非弾性減衰（Q）により規定されることが知られており（地元・山中、2012）、本研究ではDenolle et al. (2018) に倣い、微動のグリーン関数と自然地震のグリーン関数の振幅を比較することで、振幅補正係数を得た。

2. データと手法

解析には防災科学技術研究所のHi-netのデータを用いた。基準観測点はN.AKWH（愛川）観測点とし、観測点間距離400 km以内、方位角210度から260度（南海トラフ地震の想定震源域の方向）に位置する88点のHi-net観測点（Fig. 1a）を予測対象地点として相互相関を計算した。Viens et al. (2017) の手順を参考とし、50 %のオーバーラップの下で長さ60分に分割した微動データに対して、4 Hzのダウンサンプリング、トレンド除去、コサインテーパー適用を行った上で、FFTを用いて各予測地点の波形記録から基準観測点の波形記録をdeconvolutionした。これを2022年5月1日～30日までスタックして、基準観測点－各予測地点間のグリーン関数を求めた。

次に、得られたグリーン関数の振幅補正係数を求めるため、茨城県南部を震源とするM 5.6の地震についてdeconvolutionにより基準観測点－各予測地点間のグリーン関数を計算し、最大振幅を調べた。地震波干渉法による微動のグリーン関数との振幅比は、基準観測点と各観測点の平均的な速度構造や減衰構造を反映するものであり、距離依存性があると考えられる。しかし、本研究で対象とする長周期地震動ではQの影響は小さいと考え、全予測地点における最大振幅比の平均値（64.9）を振幅補正係数として用いた。

3. 結果

地震波干渉法により得られた基準観測点（N.AKWH）から各予測地点への地震波伝播のグリーン関数（EW成分）をFig. 1bに示す。図では、得られたグリーン関数に周期2-10 sのバンドパスフィルターをかけ最大値で規格化したものを、N.AKWHからの距離順に200 kmまで並べている。縦軸はN.AKWHから各観測点の距離、横軸はLag timeである。グリーン関数のシグナルは、 $t > 0$ のcausal partにおいて明瞭に表れており、微動が主に基準観測点の東側から到来したことを意味している。

得られた微動のグリーン関数を、各予測地点と基準観測点の並びの延長線上近傍で起きた茨城県南部の地震（M 5.6、深さ47 km）の基準観測点での観測波形に対してconvolutionし、振幅補正係数をかけることで、各地点における長周期地震動波形を予測した。Fig. 2に結果の例として、基準観測点N.AKWHでの入力波形、11 km及び138 km離れた予測地点N.KIYH（清川）とN.KG3H（掛川3）とのグリーン関数、及び2つの予測地点における予測波形・速度応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を示す。また、比較のために実際の観測波形と速度応答スペクトルを赤線で重ねて示す。

予測波形と観測波形は良い一致を示し、波形の最大振幅比はN.KIYHで1.0、N.KG3Hで0.9となり、振幅補正係数を含めて適切に予測できていることが確認できた。周期2-10 sにおける速度応答スペクトルの計算／観測比は、N.KIYHで1.26、N.KG3Hで0.85となり、この他の地点においても6割で0.4～2.5の範囲であった。一方、波形の山谷を含めた一致は難しく、N.KG3Hの予測波形はP波の立ち上がり時刻が観測波形よりも早くなったほか、2地点とも予測波形のSコーダ波の振幅は観測波形よりも大きくなり、観測波形と予測波形の相関係数は、N.KIYHで0.36、N.KG3Hで0.18のやや小さい値となった。

4. まとめと今後の課題

本研究では、長周期地震動の即時予測に向けて、地震波干渉法により得られたグリーン関数を用いた地震動予測の実現性を確認した。グリーン関数の高精度化に向けて、微動データのスタック期間の影響や、振幅補正係数の震源や伝播経路の依存性など、より詳細な検討が必要である。また、今回は関東地方の地震を対象に西南日本の地点の地震動の予測を行ったが、大きな被害が予想される南海トラフや日本海溝沿いの巨大地震への応用に向け、これらの想定震源域で発生した地震を用いた予測手法の検証が必要である。

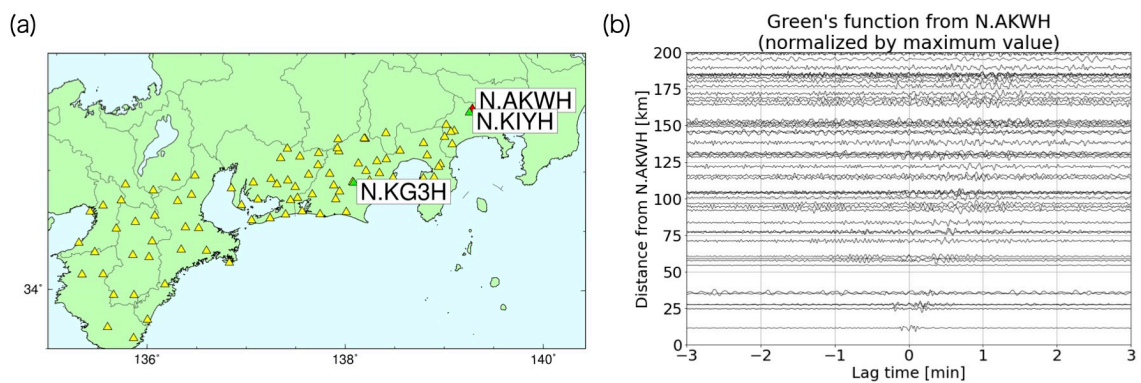


Figure 1. (a) Distribution of Hi-net stations used in this study. (b) Record section of Green's functions based on seismic interferometry.

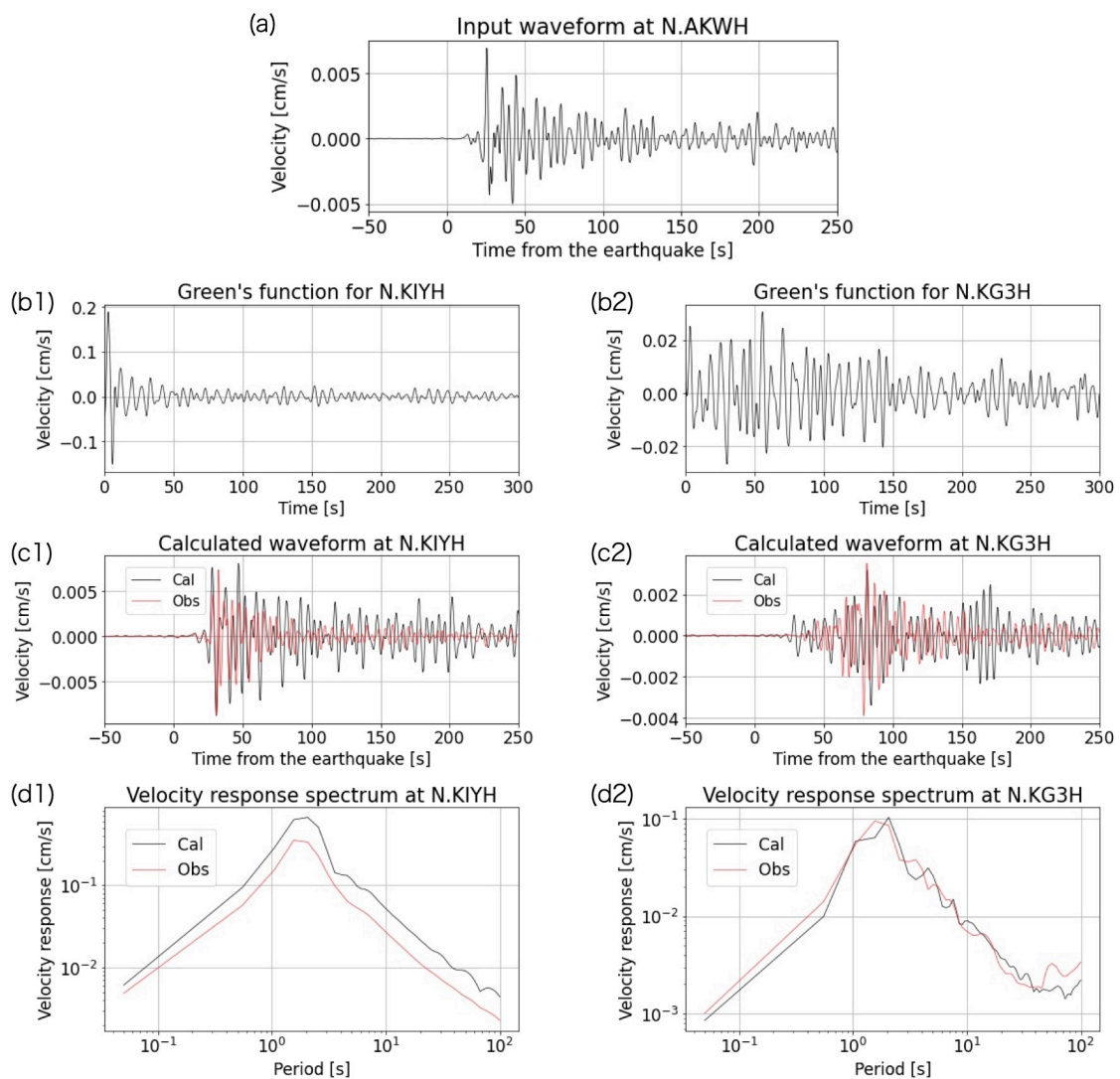


Figure 2. (1) Input waveform at N.AKWH. (b1) Green's function, (c1) calculated waveform and (d1) velocity response spectrum at N.KIYH. Red lines in (c1), (d1) are observed data. (b2-d2) Same figures for N.KG3H.