

平成28年熊本地震被災域における高密度微動観測

Dense Microtremor observations in disaster area due to the 2016 Kumamoto Earthquake

香川 敬生¹、*吉田 昌平¹、上野 太士¹

Takao Kagawa¹, *Shohei Yoshida¹, Hiroshi Ueno¹

1. 鳥取大学大学院工学研究科

1. Tottori University Graduate School of Engineering

平成28年熊本地震による益城町および南阿蘇村の被害を調査し、1) 地表断層直近における断層変位以外の被害が極端に小さいこと、2) 市街地ではごく近傍で被害に差が大きく地盤の影響が示唆されること、の2点に着目し、常時微動の単点3成分観測およびアレイ観測をおこなった。1) に関しては、益城町下陳および福原、南阿蘇村旧長陽西部小学校付近の地表断層近傍において、断層を跨いだ観測を実施した。一部の地点では、アレイを連続させたチェーン・アレイ観測を行った。2) に関しては、益城町役場から木山川支流の南まで、地形断面に沿うような測線を設けるとともに、切り盛り地形の差が分解できるよう、同じ標高に広がる敷地内で高密度の常時微動単点観測を実施した。これらの結果を、観測点周辺の被害状況とともに考察する。

調査の実施にあたり、観測場所や一時的な駐車スペースを快くお貸し頂いた現地の皆様に感謝します。本研究は、文部科学省科学研究費基盤研究(C)「1943年鳥取地震鹿野断層端部における断層変位と強震動が被害に及ぼした影響の分析」(平成27~29年度)および京都大学防災研究所平成28年度特別緊急共同研究「2016年熊本地震における地表地震断層ごく近傍における強震動の実態把握」の助成により実施しました。

キーワード：平成28年熊本地震、益城町、南阿蘇村、微動観測

Keywords: The 2016 Kumamoto Earthquake, Mashiki town, Minami-Aso village, Microtremor observation

2016年熊本地震前震 (Mw6.0) の特性化震源モデルの構築

Characterized source model for estimating strong ground motions during one of the largest foreshocks (Mw 6.0) of the 2016 Kumamoto Earthquake

*倉橋 奨¹、宮腰 研²、入倉 孝次郎¹

*Susumu Kurahashi¹, Ken Miyakoshi², Kojiro Irikura¹

1. 愛知工業大学、2. 地域地盤環境研究所

1. Aichi Institute of Technology, 2. Geo-Research Institute

1. はじめに

2016年4月15日0時03分、熊本地震の前震 (Mw6.0) が発生した。この地震の最大震度は6弱であり、PGAは557.9galであった。なお、この地震の余震分布は日奈久断層に沿っている。本研究では、この地震の広帯域強震動を説明するため、波形インバージョンにより断層すべり分布を評価し、その結果に基づきと経験的グリーン関数法により高周波数 (0.3-10.0Hz) の強震動生成域震源モデルの震源モデルを構築する。

2. 波形インバージョンによるすべり量分布の構築

すべり量分布の構築には、本研究では、マルチタイムウインドウ線形波形インバージョン法 (Sekiguchi et al., 2000) に基づき震源破壊過程を時空間的に離散した。解析に用いるデータは、速度波形のS波部分とし、11観測点 (K-NET、KiK-net) の記録を用いた。対象周波数は、0.1-1.0Hzとした。グリーン関数は、1次元地下構造モデルを仮定して離散化波数法 (Bouchone, 1981) および反射・透過係数行列法 (Keneett and Lerry, 1979) を用いて計算した。断層モデルは、余震分布とF-netのCMT解を参考にして決定した。断層面の長さとは幅は13.5km、走向211度、傾斜角75度とした。また、小断層サイズは1.5km四方とした。すべり速度の基底関数は、ライズタイム0.8秒のsmoothed ramp関数を0.4秒間隔で5個配置した。

解析の結果、すべりの大きな場所は、震源付近に存在することがわかった。また、地震モーメント、破壊速度はそれぞれ、 1.36×10^{18} Nm、2.7km/sと推定された。明瞭なパルスが見られる震源近傍の観測点 KMMH14の観測波形もおおむね再現されていることを確認している。

3. すべり量分布を基とした特性化震源モデルの構築

波形インバージョンによるすべり量分布より、アスペリティとHigh Rate Area(HRA)を、Somerville et al. (1999)と吉田ほか (2015) の方法により抽出した。HRAは、ピークモーメントレートの場所を抽出した領域で、強震動の生成の場所と関係があると指摘されている (吉田ほか、2015)。本研究で抽出したアスペリティとHRAは、同じ場所と面積と推定された。

4. 経験的グリーン関数法による強震動生成域震源モデルの構築

次に、経験的グリーン関数法 (入倉、1986) により、強震動生成域の推定を行った。特に、強震動が観測され、断層に近いKMMH14 (豊野) をターゲットとした。SMGAの場所は、波形インバージョンのすべりの大きい場所と仮定して解析を行った。解析に利用した観測点は、11観測点 (K-NETとKiK-net) である。SMGA震源モデルの面積は約33km²、応力パラメータは7.5MPaとなった。SMGAの面積は、アスペリティ面積と地震モーメントとのスケーリングとほぼ一致することを確認した。また、応力パラメータについては、Asano and Iwata(2012)による深さと応力降下量とのスケーリングと比較して、おおむね一致する値であった。なお、KMMH14を含む多くの観測点にて、観測波形とよく合う合成波形を計算できる震源モデルを構築することができている。

5. まとめ

本研究では、2016年熊本地震前震 (Mw6.1) に対して、広帯域地震動を説明する特性化震源モデルの構築を試みた。アスペリティ、HRAおよびSMGAは、ほぼ同じ場所で、同じ面積であることを確認した。

謝辞：本研究は、原子力規制庁の委託研究「平成28年度原子力施設等防災対策等委託費 (地震動評価における不確かさの評価手法の高度化) 事業」の一部として実施しました。独立行政法人 防災科学技術研究所

K-NET、KiK-netの観測記録を使用しました。記して感謝します。

キーワード：2016年熊本地震の前震、震動、特性化震源モデル

Keywords: Foreshock of the 2016 Kumamoto earthquake, strong ground motion, characterized source model

疑似点震源モデルを用いた2016年熊本地震本震の強震動シミュレーションとその改良

Strong ground motion simulation of the main shock of the 2016 Kumamoto Earthquake using the pseudo point-source model and its improvement

*長坂 陽介¹、野津 厚¹

*Yosuke Nagasaka¹, Atsushi Nozu¹

1. 港湾空港技術研究所

1. Port and Airport Research Institute

2016年4月16日に発生した熊本地震の本震(M7.3)では布田川・日奈久断層帯付近の断層極近傍で多くの地震記録が得られている。このような大地震では破壊伝播効果により震源の有限性が観測記録にも表れると考えられる。一方、複数の点震源と経験的なサイト増幅特性、サイト位相特性を用いた強震動シミュレーションにより大地震の観測記録をよく再現できることが2011年東北地方太平洋沖地震や1995年兵庫県南部地震等に対して示されている(野津, 2016等)。大地震に対する点震源モデルの適用性を確認することは観測された強震動の発生メカニズムを知るためにも有用であり、本研究ではまず2016年熊本地震本震について疑似点震源モデル(野津, 2012)を構築し、強震動シミュレーション結果と観測記録との比較および考察を行った。

疑似点震源モデルはオメガスクエアモデルで表される各サブイベントの震源スペクトルに、伝播経路特性、経験的なサイト増幅特性、過去の中小地震記録による経験的な位相特性を掛け合わせ、フーリエ逆変換を行うことで波形を得る方法である。震源については、強震動を発生させる各点震源(サブイベント)の位置、コーナー周波数、地震モーメントを決めればよい。検討の結果、サブイベントは震源北東約5kmの益城町付近に2つ、震源から北東約15kmの西原村付近に1つの計3つを設置した。益城町付近に2つのサブイベントを置いたのは、益城町の記録に表れる速度パルスと、地震波の干渉によると思われるフーリエスペクトルの谷の再現に必要であったためである。次に速度波形(0.2~2Hz)と加速度フーリエスペクトルについて計算結果と観測記録を比較すると、多くの地点で観測記録の特徴をおおむね再現できることが分かった。課題としては以下の2点が挙げられる。1つは約0.6Hz以下の周波数帯での過小評価が多く多くの地点で見られたことである。これは経験的手法ではほぼ考慮されない近地項・中間項が断層近傍の記録に寄与したためと考えられ、実際に断層近傍では遠地項のみでは説明できない大きな永久変位が確認されている。0.6Hz程度までこれらの近地項・中間項の影響があるならば構造物被害の原因にもなり得るため、強震動シミュレーションに取り入れる必要がある。2つ目は阿蘇カルデラ内など北東側の地点で全体的に過小評価となったことである。これは、主に西原村付近に設置したサブイベントに対して点震源では震源から北東方向へ向かうディレクティビティを考慮できなかったためと考えられる。西原村のサブイベントの影響はバックワード側の南西方向では過大評価となっていることから破壊伝播効果の影響と考えられる。

以上より熊本地震による断層近傍の強震動を再現するには深部だけでなく表層付近の影響も含める必要があると考え、理論的手法と経験的手法を組み合わせた強震動シミュレーションモデルの検討を行うこととした。断層面の深い部分の影響については従来通り点震源を用いた手法で評価し、表層付近の影響は近地項・中間項も含めて計算することで、上記の課題を解決することを試みる。現モデルは表層付近の影響も含めて3つの点震源で説明しようとするものであり、表層付近の影響を別途考慮することで深部の点震源モデルも変わる可能性がある。大会では新しい検討結果についても発表する予定である。

キーワード : 2016年熊本地震、強震動シミュレーション、疑似点震源モデル

Keywords: The 2016 Kumamoto earthquake, strong ground motion simulation, pseudo point-source model

統計的グリーン関数法を用いた2016年熊本地震本震の特性化震源モデルの推定

Estimation of characterized source model of the mainshock in the 2016 Kumamoto earthquakes using the stochastic Green's function method

*小穴 温子¹、壇 一男²、宮腰 淳一²、藤原 広行³、森川 信之³、前田 宣浩³

*Atsuko Oana¹, Kazuo Dan², Junichi Miyakoshi², Hiroyuki Fujiwara³, Nobuyuki Morikawa³, Takahiro Maeda³

1. 清水建設、2. 大崎総合研究所、3. 防災科学技術研究所

1. Shimizu Corporation, 2. Ohsaki Research Institute, 3. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

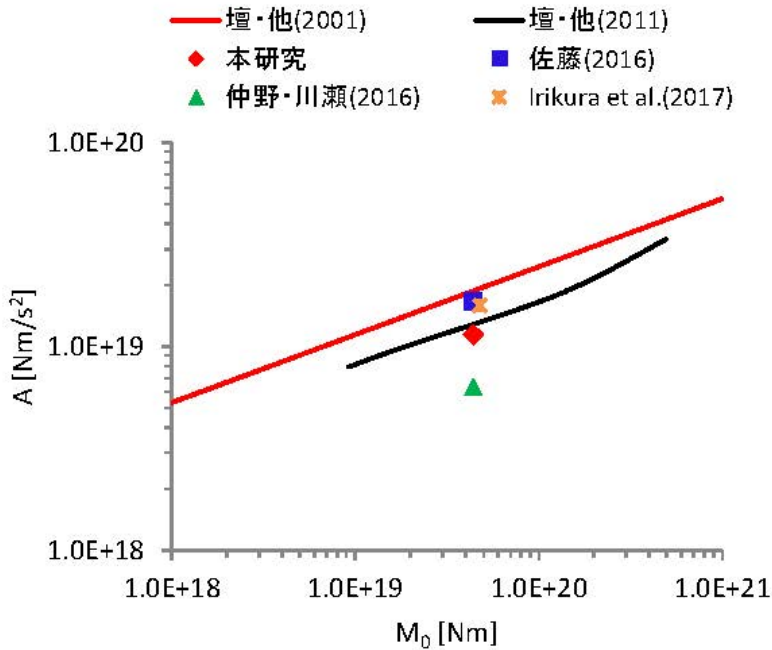
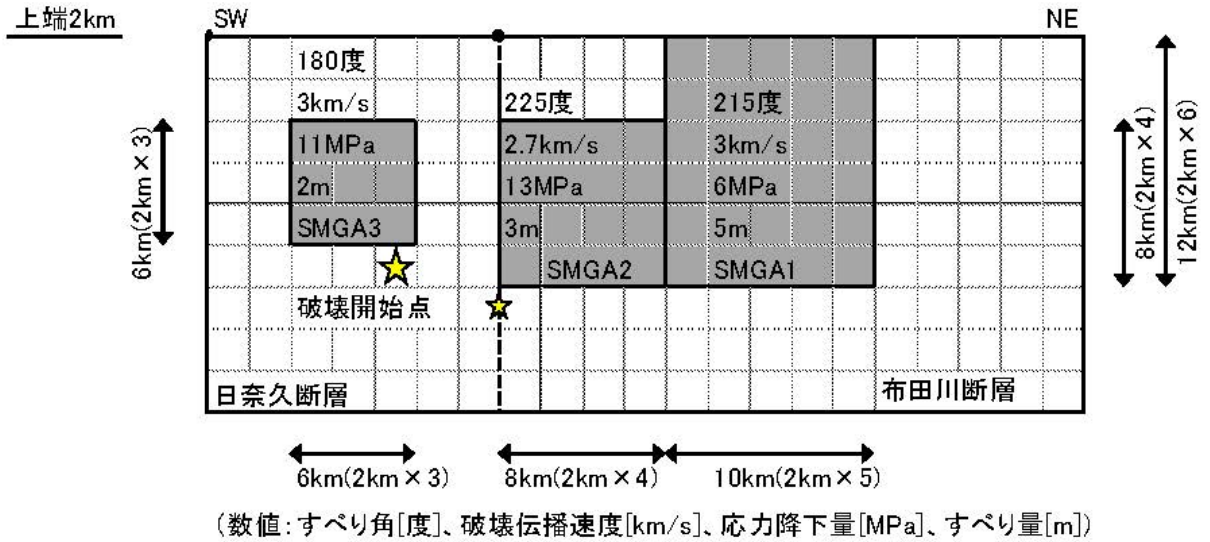
本研究では、観測記録が得られなかった地点における強震動予測を見据え、統計的グリーン関数法を用いて、2016年熊本地震の本震の観測記録をできるだけ再現するような特性化震源モデルの推定を試みた。

検討対象とした観測点は、KMMH16益城を含むKiK-net観測点7地点である。はじめに、観測記録から表層地盤の影響を取り除くため、工学的基盤上面における地震動を推定した。具体的には、5 Hz以下で地表記録と地中記録の伝達関数に合うような地盤モデルを同定し、それと地中記録を用いて、次元重複反射理論に基づき基盤波を求めた。ここで、水平2成分ともに同じ地盤モデルではぎ取ることが困難であったため、NS成分とEW成分は別々に検討した。次に、全国1次地下構造モデル(Koketsu et al., 2012)に基づき、地震基盤から工学的基盤(観測記録のはぎ取り位置)までの地下構造モデルを設定し、小地震記録のH/Vスペクトル比を参照しながら、卓越振動数が合うようにチューニングを行った。統計的グリーン関数は、特に震源に近い地点を重視し、Boore(1983)の統計モデルに準拠した振幅特性とBoore(1983)の経時特性モデルを用いて計算し、さらに香川(2004)のベル型の変位波形になるように収斂計算を行った。高周波遮断振動数 f_{max} は4 Hzとした。伝播経路のQ値は、佐藤(2016)の $62f^{0.87}$ (ただし、振動数 f が1 Hz以下で一定)とした。震源モデルは、強震動生成域SMGAのみのモデルを仮定した。SMGAの位置と面積は、Asano and Iwata(2016)の震源インバージョンの領域内で、観測記録を説明できるように試行錯誤的に設定した。SMGAのすべり量は、Asano and Iwata(2016)や引間(2016)のインバージョン結果を参照しつつ、計算結果の変位波形の振幅の大きさと長周期帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定した。応力降下量は、計算結果の加速度波形と速度波形の振幅の大きさ、短周期帯の応答スペクトルが観測記録と概ね整合するように設定した。断層全体の破壊開始点は気象庁の震源位置とし、布田川断層側の破壊開始点はそれよりも深い位置の断層南端部とした。破壊伝播速度は、益城町直下に位置する布田川断層の小さいほうのSMGAで2.7 km/s、日奈久断層側のSMGAと布田川断層の大きいほうのSMGAで3 km/sとした。

推定された震源モデルの短周期レベルは 1.14×10^{19} Nm/s²で、佐藤(2016)やIrikura et al.(2017)よりも小さく、仲野・川瀬(2016)よりも大きくなった。また、内陸地震の平均的な地震モーメントと短周期レベルの関係を表した壇・他(2001)よりも小さく、横ずれ断層の地震モーメントと短周期レベルの関係を表した壇・他(2011)よりも若干小さくなった。全地点の水平成分の観測記録と計算結果の応答スペクトル比の平均は、周期0.2~5秒で概ね1となり、観測記録の再現性が良好であることを確認した。ただし、周期5秒以上の長周期帯で1を若干下回った。これは、本検討ではSMGAのみのモデルとしており、全体の地震モーメントがF-net等の値の6割程度となっているためである。また、震源から近い地点では観測記録と計算結果の継続時間がよく整合した一方で、震源から遠い地点では計算結果のほうが観測記録よりも継続時間が短くなった。震源から遠い地点におけるグリーン関数の振幅および経時特性の設定については検討の余地がある。

キーワード：2016年熊本地震、統計的グリーン関数法、特性化震源モデル

Keywords: 2016 Kumamoto earthquake, Stochastic Green's function method, Characterized source model



※本研究、佐藤(2016)、仲野・川瀬(2016)の地震モーメント M_0 は F-net の 4.42×10^{19} Nm とした。佐藤(2016)と Irikura et al. (2017)の短周期レベル A は、SMGA の応力降下量と面積を用いて算出した。

経験的グリーン関数法に基づく2016年鳥取県中部の地震の震源モデルと強震動シミュレーション

Source model and strong ground motion simulation for the 2016 Mid Tottori prefecture, Japan, earthquake (M_w 6.2) based on the empirical Green's function method

*染井 一寛¹、池田 隆明²、西村 利光¹、宮腰 研¹

*Kazuhiro Somei¹, Takaaki Ikeda², Toshimitsu Nishimura¹, Ken Miyakoshi¹

1. 一般財団法人地域地盤環境研究所、2. 長岡技術科学大学

1. Geo-Research Institute, 2. Nagaoka University of Technology

2016年10月21日14時7分（日本時間）に鳥取県中部で M_{JMA} 6.6 (M_w 6.2) の地殻内地震（以降、2016年鳥取県中部の地震とする）が発生し、鳥取県倉吉市、湯梨浜町、北栄町で最大震度6弱の地震動が観測された。防災科学技術研究所のF-netや気象庁から公開されている発震機構解によると、この地震は、北北西-南南東の走向を持つ左横ずれ断層型であった。本研究では、2016年鳥取県中部の地震による強震動生成について主として震源の観点から実態を把握するために、経験的グリーン関数法を用いて、震源近傍の地震記録を含む広い範囲での地震動を広帯域に再現する事を試み、震源断層上の強震動生成領域を推定した。

本報では、震源域周辺（震央距離約60 km以内）の強震観測点18地点を対象として、経験的グリーン関数法を用いた広帯域地震動シミュレーション（0.3-10 Hz）を実施した。経験的グリーン関数（要素地震）には、2016年10月21日12時12分に発生した M_w 4.1の余震を採用した。震源モデルは、できる限り単純なモデルで広帯域強震動を再現するために、正方形の強震動生成領域（SMGA; Miyake et al., 2003）を仮定し、背景領域からの寄与は無いものとした。断層の幾何形状は、F-netのCMT解を参考として、走向162度、傾斜88度とした。なお、SMGAは、震源近傍の観測波形（例えば、K-NET倉吉：TTR005）に2つの波形パッケージが見られることから、断層面に2つあると仮定した。経験的グリーン関数法による波形合成に必要な要素地震の重ね合わせ数 N と、本震と要素地震の応力降下量比 C の値は、本震と要素地震のコーナー周波数をSource Spectral Ratio Fitting Method（三宅・他、1999）によって推定した。SMGAの位置やパラメタは、既存の波形インバージョンによる不均質すべりモデルを参考として、3成分の観測波形と合成波形のフィットが良いものを試行錯誤的に決定した。

推定された結果、震源（破壊開始点）のまわりに大きめのSMGAが1つ（SMGA1：30.3 km²）と、震源より北側に小さめのSMGAがもう1つ（SMGA2：19.4 km²）が得られた。また、SMGAの応力降下量は、いずれも16.6 MPaとなった。SMGA内の破壊伝播方向は、SMGA1は震源（SMGA1の中央）から南北方向浅部に向かってバイラテラルに進行し、SMGA2は、主として北側に破壊が進行した。震源近傍のTTR005観測点位置に対して、それぞれのSMGAの破壊伝播方向を見ると、SMGA1は破壊が近づいてくる方向（フォワード側）、SMGA2は破壊が遠ざかる方向（バックワード側）となる。今回の地震は左横ずれ断層型であり、断層に直交する成分の合成速度波形を見ると、SMGA1からの生成波形はパルス状となっている一方で、SMGA2からの生成波形は、ランダム波となっており、それぞれの波形パッケージは明瞭に区別することができる。これは、TTR005の観測速度波形の特徴と良く一致している。ただし、SMGA1の破壊がバイラテラルに進行しており、その破壊伝播の指向性効果は、ユニラテラルに進行する場合に比べれば、小さいと考えられる。このことは、TTR005の観測速度波形のパルス波形の振幅（PGV値）が、地震動予測式から予測される値よりもやや小さい原因かもしれない。また、震源からやや離れたその他の観測点で観測された波形は、主にSMGA1の寄与によって、観測波形の大部分が説明できている。すなわち、SMGA1だけではなく、SMGA2のような詳細な震源過程を検討するためには、TTR005のような震源近傍記録の利用の有効性が示唆される。今後、各SMGAのパラメタをより精査していくとともに、それらの位置についても見直しを図っていく予定である。

謝辞：国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網K-NET, KiK-net, 広帯域地震観測網F-netの強震記録, F-netのCMT解, 及び気象庁一元化震源カタログの震源情報をそれぞれ使用しました。

キーワード：2016年鳥取県中部の地震、強震動生成領域、経験的グリーン関数法

Keywords: The 2016 Mid Tottori prefecture earthquake, Strong motion generation area, Empirical Green' s function method

プレート境界型地震の不均質SMGAモデル

A heterogeneous SMGA model for plate boundary earthquakes

*関口 春子¹、浅野 公之¹、岩田 知孝¹

*Haruko Sekiguchi¹, Kimiyuki Asano¹, Tomotaka Iwata¹

1. 京都大学防災研究所

1. DPRI, Kyoto University

強震動（構造物等の被害の原因となる0.1~10. Hzの周波数帯の強い揺れ）は、震源断層面上にいくつかの塊になって生じる強震動生成域（SMGA）がその主たる発生源である。

SMGA内部のパラメータの不均質構造については、解析の際により高周波の分解能が必要となるため、あまり良く調べられていない。もしSMGA内部の破壊がなめらかに進めば、SMGA波の短周期成分にはストップングフェーズが卓越すると考えられるが、観測波形はそのような性質を示さないので、SMGA内部の破壊過程は複雑であると推定される。また、SMGAに対応すると考えられる場所で、特に強い短周期パルスが発生する小領域が、1978年宮城県沖地震（松島・川瀬、2006）や、2011年東北地方太平洋沖地震（野津、2012；Kurahashi and Irikura, 2013）で見つかっている。

プレート境界大地震など、地震が大きくなるほどSMGAの面積は大きく、面積に起因する卓越周期が長くなる。それとともに、SMGAの卓越周期以下の、構造物被害に重要な周期帯の幅が広がるが、この周期帯の地震波の生成はSMGA内部の破壊の不均質性に大きく左右されることになる。また、前述の強い短周期パルスがどのような強さや卓越周期を持ち、それを発生させる応力降下量の特に強い小領域がどのような確率で発生しうるのかを推測することは重要である。

プレート境界型地震について、SMGAを求めた研究を収集し、SMGAの面積と応力降下量の関係を調べたところ、面積の小さいSMGAでは応力降下量のばらつきが大きく、面積が大きくなると変動が小さくなることがわかった。これは、強震動生成する場の不均質性を示している可能性があると考えられる。つまり、微視的には不均質が強く、巨視的には弱いという不均質性が推定できる。

そこで、不均質応力場を設定し、その任意の面積が破壊して地震のSMGAになると仮定して、SMGAの面積-応力降下量の関係を再現するようなモデル化手法を検討した。応力降下量の不均質分布は、空間的には、 k^{-1} の波数スペクトル形状を持つフラクタル分布を仮定し、確率分布には対数正規分布を仮定した。応力降下量分布の k^{-1} 波数スペクトル分布は、地震発生の際は自己相似な不均質性を持つという推測のもと、ブロードバンドで複雑な観測波形を再現するものとして提案されてきたものである（Frankel, 1991; Herrero and Bernard, 1994など）。確率分布が対数正規分布というのは、すべり量の確率分布から推定されている（Gusev, 2011）。 k^{-1} 分布のコーナー波数、および、対数正規分布の形状（平均や分散に当たるもの）といったパラメータを調整することにより、プレート境界型地震のSMGAの面積-応力降下量の関係を模すような応力降下量分布モデルを作成することができた。

2011年東北地方太平洋沖地震では、4~5個のSMGAが求められ（Asano and Iwata, 2012など）、うち宮城沖の破壊開始点付近の2つのSMGA内部には、強い短周期パルスが発生する小領域が見つかっている

（Kurahashi and Irikura, 2013）。これらのSMGAをターゲットに、前項のSMGA不均質応力降下量分布モデルを作成する。さらに、地震波形を合成し、観測された地震動の特徴と比べて妥当性を検討したいと考えている。

キーワード：強震動生成域、不均質震源、応力降下量

Keywords: Strong motion generation area, heterogenous source, stress drop

断層破壊過程の複雑性を考慮した震源近傍強震動の特性に関するパラメータスタディ

Parameter Study on Near Fault Strong Ground Motion Considering Randomness of Faulting Process

*金田 惇平¹、久田 嘉章¹

*Junpei Kaneda¹, Yoshiaki Hisada¹

1. 工学院大学

1. Kogakuin University

2016年熊本地震(Mw7.0)では、震源近傍における強い地震動や地表地震断層により広範囲に甚大な建物被害が生じた。地表地震断層が出現するような浅い活断層の近傍では、指向性パルスやリングステップなどの特徴的な破壊力ある強震動が現れることが知られている。熊本地震の場合、断層に近い益城町と西原村の強震観測記録では、断層の直交成分に近いNS成分よりも、断層の平行成分に近いEW成分に1-2秒以上の長周期成分が卓越していた。益城の強震動における断層平行成分の卓越は、震源断層の下部から上方へ破壊が伝播する指向性パルス(例えば、宮武(2016))、および地表地震断層の出現によるリングステップ(例えば、久田ほか(2016))が影響していると考えられる。一方、破壊開始点(震源)から離れた西原村の記録には明瞭なリングステップが見られるが、断層直交成分に卓越すると考えられる指向性パルスは明瞭には観測されなかった。その理由として、震源逆解析の結果(例えば、引間(2016))や余震の異常な数の多さなどから示唆されるように、震源破壊過程の複雑さ、あるいは地盤構造の複雑さにより、強震動生成領域(SMGA)の各部分から発生する要素地震動がコヒーレントに重ならならず、ランダム的な波形となった可能性が指摘されている(例えば、久田ほか(2016))。

本稿では、強震動予測レシピをもとに熊本地震と同規模の震源モデルを構築し、震源破壊過程に複雑さを導入した様々な強震動計算を行い、指向性パルスの成立条件に関するパラメータスタディを行った。まず基準モデルとして、全ての小断層に単純なすべり時間関数や一定のすべり角を用い、さらに破壊伝播速度も一定とすると、破壊伝播が上昇する場合は、その断層近傍の観測点(益城町のイメージ)では断層平行成分に、破壊伝播が水平に移動する場合は、その断層近傍の観測点(西原村のイメージ)では断層直交成分に、それぞれ明瞭な指向性パルスが現れることを確認した。次に、各小断層の破壊開始時間にランダム性を導入し、そのバラツキ度を増大させると、徐々にパルス形状が崩れ、ランダム性を示す波形になった。現在、小断層サイズやランダム性状、地盤モデルなどを変えて詳細に検討を行い、破壊の複雑性と指向性効果による強震動への影響を調べており、当日に詳細な結果を報告する予定である。

謝辞：本研究は文部科学省科研費(JP16K06586)の助成を受けています。

参考文献

- 引間和人：強震波形を用いた2016年熊本地震の本震・前震の震源過程解析,2016年日本地震工学会大会
宮武 隆：2016年熊本地震での益城町の強い断層平行地動について,2016年日本地震学会大会
久田嘉章、金田惇平、寺本彩乃：2016年熊本地震の地表地震断層の近傍における建物被害調査、2016年日本地震学会大会

キーワード：震源近傍強震動、指向性パルス、断層破壊過程の複雑性

Keywords: Near Fault Strong Ground Motion, Directivity Pulse, Randomness of Faulting Process

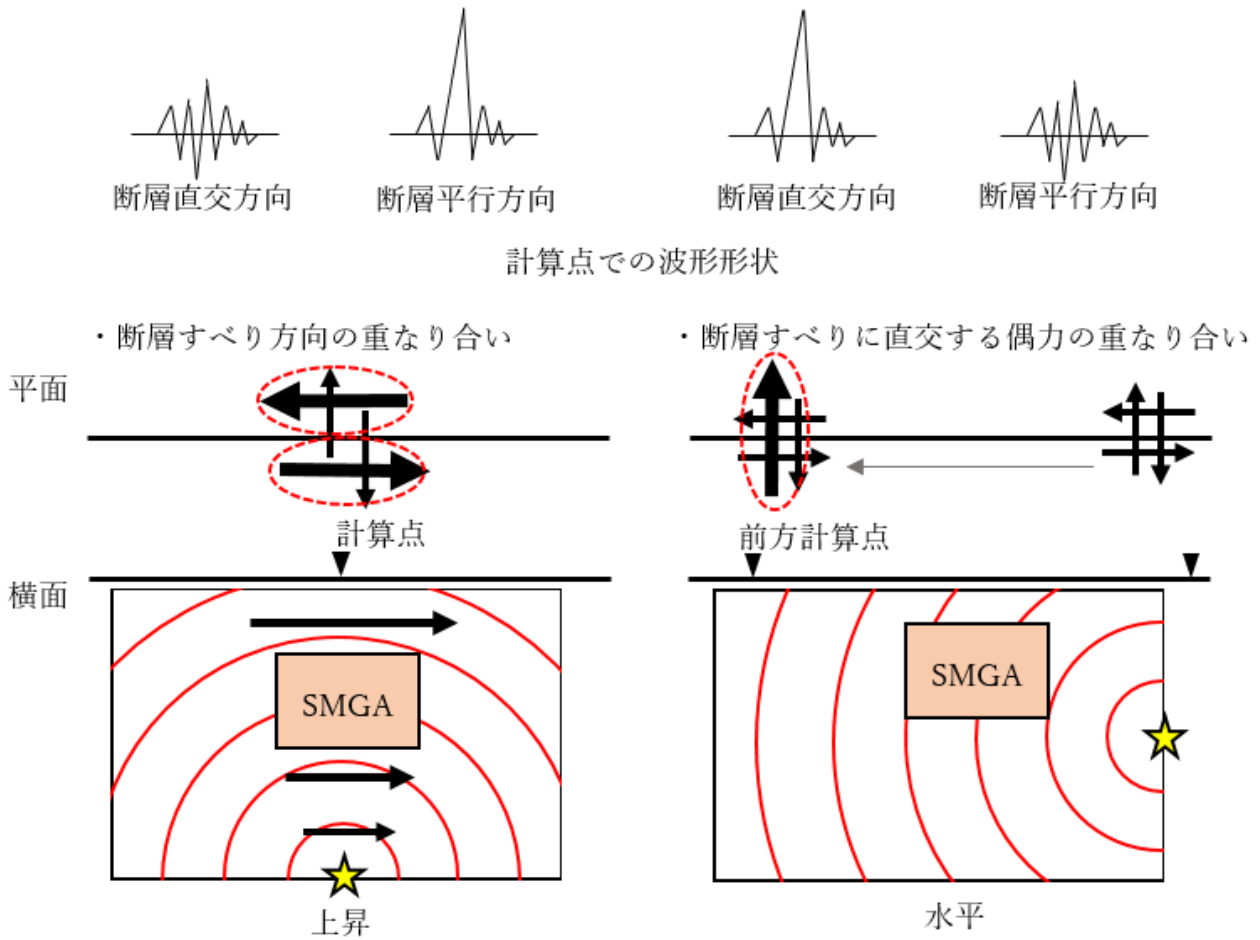


図 1 伝播特性と指向性パルス発生概念図(宮武(2016)を参照)

斜め入射S波を仮定した上下動の地盤応答特性

Site response of vertical component ground motion excited by obliquely incident S wave

*吉田 邦一¹、宮腰 研¹

*Kunikazu Yoshida¹, Ken Miyakoshi¹

1. 一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所

1. Geo-Research Institute

1. はじめに

地表付近の堆積層中で観測されるS波部分の上下動成分は、鉛直入射するP波で説明されることが多い。これは、下方より入射してきたS波は、基盤と堆積層の境界においてP波に変換され、それが観測される上下動成分の多くを占めるという検討結果にもとづく（例えば藤堂・他、1995）。ところが、後述のように実際の鉛直アレー観測点の記録を検討すると、S波部分の上下動がP波主体であるという仮定では観測記録を説明できないことがある。本研究では、このような観測点の地下構造における特徴を示し、地震基盤への斜めS波入射で観測されるS波部分の上下動の説明を試みる。

2. 上下動の地表／地中スペクトル比

堆積平野内にあるいくつかのKiK-net観測点について、震央距離が200 km以内の地震動記録を集め、P波部分とS波部分の上下動成分の地表／地中のフーリエスペクトル比を比較した。その結果、P波部分とS波部分のスペクトル比の形状が非常に似た形状を示す観測点（例えばKMMH16）がある一方で、大きく異なる観測点（例えばTYMH02）もあった。スペクトル比の異なる観測点では、既存の地下構造探査や地質情報などから、地震基盤以浅の堆積層に明瞭なコントラストが少なく深さとともに徐々に地震波速度が変化する、いわゆるミラージュ的な速度構造が予想される地点が多い。

3. 理論的検討

観測点直下の堆積層の速度構造が、大きなコントラストのある構造のものか、ミラージュ的な構造かの差が、スペクトル比に影響を与えている可能性がある。そこで、層内速度一定でコントラストの強い構造モデル（コントラストモデル）と、深さに対し線形・連続的に速度が変化する構造モデル（ミラージュモデル）の2通りの速度構造モデルを設定して（図A-1）、理論スペクトル比を検討した。これら2通りの構造モデルでは、対応する層内でのP波およびS波の走時は同一になるよう設定した。

与えた速度構造モデルの最下層に入射角10°で平面S波のパルスが入射した際、GL-0m, GL-100mの2ヶ所に設定した観測点での理論波形を計算した。計算は周波数領域で行い、入射S波のパルスは δ 関数、すなわち周波数領域では全帯域でフラットとした。時刻歴波形は、パルス幅0.1秒のcos ベル関数をコンボリューションして計算した。

計算された上下動成分の時刻歴波形は両者のモデルで大きく異なる（図A-2）。地表／地中スペクトル比（図A-3）は、コントラストモデルとミラージュモデルで明らかに異なった形状をしている。コントラストモデルでは、P波鉛直入射のスペクトル比のピークよりやや低い周波数でピークを示すものの、P波鉛直入射の場合と比較的似た形状のスペクトル比を示す。一方、ミラージュモデルのスペクトル比は、P波鉛直入射のスペクトル比のピーク周波数ではむしろ谷となる。従って、ミラージュモデルのような構造においては、上下動成分の波動場を説明するためにP波入射を仮定するよりもS波斜め入射を考慮した方が、より説明性が良い。

4. 実際の観測記録の検討

第2節で検討した観測点のうち、P波部分とS波部分とでスペクトル比に違いが見られた防災科研KiK-netのTYMH02観測点での上下動成分地震動記録を、S波の斜め入射により説明を試みる。地下構造モデルには微動探査（浅野・他、2016、本大会）で得られた位相速度をもとにミラージュ的な構造モデルを作成した（図B-1）。地震基盤に入射角30°でS波が入射するとして、理論的検討と同様に地表および地中の地震動を計算した。地表／地中スペクトル比を検討すると、一部に観測スペクトル比と差があるものの、P波入射とS波入射で

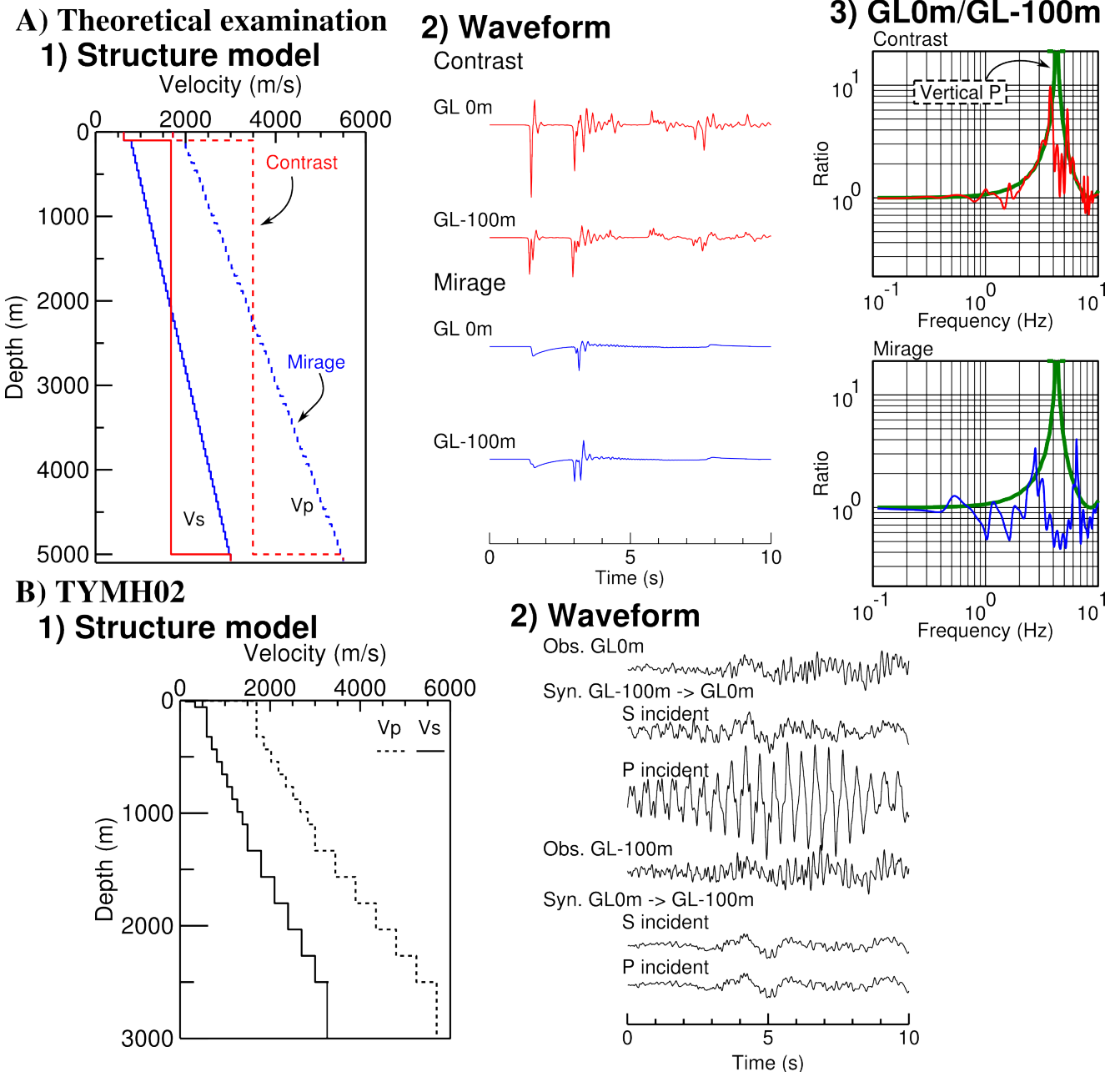
スペクトル比が異なる性質を再現できる。

地表/地中スペクトル比を伝達関数として、地表から地中、あるいは地中から地表の波形を合成すると(図B-2), 時刻歴波形では、S波入射を仮定した場合には比較的良好に観測波形を説明するが、P波入射を仮定した場合はスペクトル比のピークを反映して単振動を示す。結果的にS波入射の方がP波入射を仮定するよりも良好に観測記録を説明する。

謝辞: 防災科学技術研究所KiK-netデータを用いた。

キーワード: ミラージュ構造、斜め入射、S波、上下動

Keywords: continuous velocity structure, oblique incident, S wave, vertical component



2004年新潟県中越地震と余震群における上越新幹線沿線の強震動 Strong Ground Motion along the Joetsu Shinkansen during the 2004 Chuetsu Earthquake and Aftershock Sequence

*陳 一飛¹、三宅 弘恵²

*Yifei Chen¹, Hiroe Miyake²

1. 東京大学大学院学際情報学府、2. 東京大学大学院情報学環
1. GSII, The University of Tokyo, 2. III, The University of Tokyo

2004年10月23日に発生した2004年新潟県中越地震は、17時56分に発生したMw 6.6の本震に続き、比較的規模の大きな余震が数多く発生した。本震では、新潟県川口町（現在は新潟県長岡市東川口）の震度計で震度7が、防災科学技術研究所K-NET小千谷とJR東日本新川口変電所（航空・鉄道事故調査委員会, 2007）において震度相当値7が観測されている。震度5強以上を観測した地震は10個以上あり、いずれも新潟県小千谷市、新潟県長岡市、新潟県魚沼市など、震源域に近く、地下構造が複雑で地盤増幅率が高い信濃川流域で大きな震度が観測されている。

2004年新潟県中越地震では、本震発生時に、史上初の営業運転中の新幹線脱線事故が上越新幹線長岡駅のやや南で発生した。上越新幹線沿線の強震動は、森・和仁 (2005)、中村 (2006)、航空・鉄道事故調査委員会 (2007) などによって検討されており、森・和仁 (2005) は、周期0.5秒以下の強震動の影響を指摘している。一方、2004年新潟県中越地震の小千谷～長岡間の観測強震動は、周期1秒が卓越している。2004年新潟県中越地震とその余震群は、共役な断層システムで発生しており、震源と地下構造の両方が複雑である。そのため観測記録と整合する強震動シミュレーション結果を得ることが難しい。そこで本研究では、2004年新潟県中越地震におけるP波とS波の到達時刻やその強震動分布の重要性に着目し、点震源過程が容易な余震群の強震動シミュレーションを行った上で、2004年新潟県中越地震の上越新幹線沿線の強震動分布を検討する。

解析では、新潟県自治体震度計・気象庁震度計・K-NET・KiK-netなどを対象とし、F-netおよびHikima and Koketsu (2005) の震源情報や断層モデルを用いた。地下構造モデルは、J-SHIS を初期モデルとした。強震動シミュレーションには、周期2秒以上はAoi and Fujiwara (1999) による三次元差分法を、周期2秒以下は壇・佐藤 (1998) による統計的グリーン関数法を用い、計算結果の検討は司・翠川 (1999) の距離減衰式と比較することにより行った。

キーワード：2004年新潟県中越地震、上越新幹線、強震波形、強震動シミュレーション

Keywords: 2004 Chuetsu earthquake, Joetsu Shinkansen, strong motion data, strong motion simulation

東京大学地震研究所の強震観測網と強震観測データベース ERI Strong Motion Observation Network and Database

*三宅 弘恵¹、瀬藤 一起¹、古村 孝志¹、宮川 幸治¹、田中 伸一¹

*Hiroe Miyake¹, Kazuki Koketsu¹, Takashi Furumura¹, Koji Miyakawa¹, Shinichi S Tanaka¹

1. 東京大学地震研究所

1. Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Earthquake Research Institute, University of Tokyo (ERI) has performed strong motion observation since 1953, then currently operates the strong motion network with 64 stations. Most stations are located on the ground surface with K-NET95, and several stations with JEP-4B3 & SMAC-MDU or JEP-4B3 & AJE8200 are installed both at the borehole and the ground surface for better understanding of site response. Recently, we upgrade several stations in the rock tunnels and start continuous observation with JEP-8A3 & HKS9700 that can record distant earthquakes even occurred in the southern hemisphere. The data are transmitted to ERI every second via JDXnet by the mobile router for cell phones.

In addition to the Izu & Suruga bay, Ashigara valley, and southern Kanto regions, recently most offline stations are installed in the Nagano and Suwa basins as a framework of joint strong motion observation with Shinshu University. These stations are nearby the active fault traces such as the Itoigawa-Shizuoka tectonic line. The dominant periods of the Ashigara valley and the Suwa basin range between 1 to 3 s, that may affect largely on seismic intensity measures. The stations succeeded to record the 2009 Suruga-bay intraslab earthquake and the 2011 Tohoku megathrust earthquake. Strong azimuth variation along the coast line of the Suruga bay were captured during the 2009 Suguba bay earthquake, and significant local amplification in a period range of 2 to 3 s were seen in the Ashigara valley, rather than the Kanto basin during the 2011 Tohoku earthquake.

ERI established strong motion observation database in 2008. The data are open to the public via <http://smsd.eri.u-tokyo.ac.jp/smad/> with K-NET format. Data of temporary strong motion observation by portable sensors after the 2004 Chuetsu, 2005 Fukuoka, 2007 Chuetsu-oki, and 2008 Iwate-Miyagi earthquakes are also open on the website with publications.

キーワード：強震観測網、データベース、臨時強震観測、共同強震観測、連続観測

Keywords: strong ground observation network, database, temporary strong motion observation, joint strong motion observation, continuous observation