

令和 5 年 6 月 28 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02405

研究課題名（和文）定量的強震動予測のための応力降下量の深さ依存性を考慮したアスペリティモデルの提案

研究課題名（英文）Construction of an asperity model considering depth dependency of stress drop for more quantitative strong motion simulation

研究代表者

川瀬 博（Kawase, Hiroshi）

京都大学・防災研究所・寄附研究部門教員

研究者番号：30311856

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000 円

研究成果の概要（和文）：アスペリティ内の平均応力降下量に深さ依存性を考慮した動的破壊シミュレーション用のモデルを構築し、その不均質性にランダムな不均質性と矩形の大応力降下量域（応力アスペリティ）を設定し、パラメトリック解析を行った。また熊本地震を対象に、滑り速度時間関数に着目した運動学的モデルによるインバージョンと動的破壊シミュレーションによるフォワード・モデリング解析を行った。その結果、断層近傍地震動は滑り速度関数で支配されていること、その動的破壊シミュレーションによる同定は可能なこと、浅部からの短周期生成は滑り速度関数の形状から見て困難なこと、浅部の応力降下量が重要なことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の震源域の地震動予測では、比較的長周期域の地震動を用いた運動学的モデルによる変位不均質をターゲットにした逆解析を通して強震動生成領域（SMGA）として大変位域を把握、そのスケーリング則を構築して予測モデルとしてきた。しかし地表面に断層変位が表出した時、浅部の滑りが受動的か能動的かが判然とせず、そのモデル化が困難だった。我々は動的破壊シミュレーションを用いて、深部の能動的な地震波生成領域を応力アスペリティとしてモデル化、得られる地震動を用いて観測地動を再現することを試みた。その結果これまでの運動学的モデル化には変位中心の弊害があり、滑り速度中心のモデル化に移行すべきであることを明らかにできた。

研究成果の概要（英文）：A model for dynamic rupture simulation was constructed by considering depth dependence in the average stress drop in the asperity, and a parametric analysis was performed by setting random heterogeneity and a rectangular large stress drop region (stress asperity) in the heterogeneity on the fault surface. For the Kumamoto earthquake, we performed both the inversions using a kinematic model focusing on the slip-velocity time function and a forward modeling analysis using dynamic rupture simulation. The results show that the near-fault seismic ground motions are dominated by the slip-velocity function, that its identification by dynamic rupture simulation is possible, that short-period generation from the shallow part is difficult due to the shape of the slip-velocity function, and that the amount of stress drop in the shallow part is important for controlling the peak slip velocity in the shallow part.

研究分野：Strong motion seismology

キーワード：強震動 動的破壊シミュレーション SMGA 滑り速度関数 アスペリティ 応力降下量

1. 研究開始当初の背景

2016年熊本地震は震源域において大きな被害をもたらしただけでなく、地震学に対しても大きな課題を提起した。それは広範囲にわたって表出した地表断層の直下の震源断層面からどのような地震動が生成されたのか、そしてそれが地震防災上重要なものであるとすればその予測はどのような震源モデルを想定すれば可能となるのか、という問いである。

熊本地震の震源域では図1に示すような大きな変位オフセットを伴う強震波形が(2回積分することによって)観測されている。その最終変位量はGNSSやInSARなどによる地殻変動観測の変位量と整合しており、現実的な地殻変動を含む震源断層での運動が震源近傍の観測点での加速度波形として観測されたものと考えられる。このような震源近傍強震動に含まれる断層運動変位(FRINGING STEP)は熊本地震で初めて観測されたわけではなく、1992年のLanders地震や1999年の台湾集集地震でも何点かで観測されているが、我が国では熊本地震において初めて20km以上に渡る断層の表出および断層運動変位が複数の強震観測点で観測された。断層変位が表出するとその近傍では構造物は大破・倒壊を起こす可能性が高く、実際我が国では2011年の福島県浜通り地震において木造構造物の被害は断層変位が表出した地域の近傍に限られているとの報告がされている。従って断層変位成分を含む広周波数帯域の現実的な強震波形の予測は地震防災の観点からも喫緊の課題である。

断層が地表に表出した地点のごく近傍の強震観測点で得られた変位波形が、その地点での断層運動そのものを表していることは間違いないとしても、それを予測用にモデル化することは容易ではない。キネマティック(運動学的)な震源破壊過程インバージョンは熊本地震を対象に既に4~5のチームによって実施されており、その結果得られた最終すべり量分布は相互にかなり似通っていて、周期1秒より長周期側において現実的な波形再現も達成されている。しかし、断層近傍地点での観測変位波形に対しては、キネマティックな計算ではその地点近傍の断層面にその観測変位波形そのものをすべり時間関数として与えるだけでそれが再現できてしまうため、同定そのものに拘束力がほとんどない。極端な話、近傍断層面が観測波形と同じ動きをすれば断層平行成分は正確に再現できる。

一方、個々の断層破壊過程を「繰り返し発生する固着滑りプロセスの1回分」と考えれば、その断層面に蓄積されるせん断歪は断層面に作用する摩擦力に支配されていると考えられる。摩擦係数には大きな深さ依存性がないものと仮定すれば(あったとしても浅い場所ほど小さいと仮定すれば)、断層運動に伴って解放されるせん断歪×せん断剛性=応力降下量は断層面上端から下端に向かって線形に増大する有効拘束圧に比例し、よって同様にほぼ線形に増大するものと考えられる。従って震源近傍で観測されている断層運動に伴う断層運動変位を含む強震波形を物理的に実現可能なモデルで表現するためには、応力降下量の深さ依存性を考慮した動的破壊シミュレーションを行うことが必要不可欠であり、その結果を活かして断層変位成分を含む広周波数帯域の新しい予測レシピを構築することが可能となる。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、定量的かつ広周波数帯域の強震動予測を可能とする次世代型強震動予測レシピを提案することである。そのために、まずスペクトルインバージョンによる震源特性の抽出を見直し、アスペリティ単位でも個別中小地震において見出された応力降下量の深さ依存性が成立していることを検証する。次にその深さ依存性を応力降下量分布に組み込んだ新しい断層動的破壊シミュレーション解析を行い、熊本地震での観測波形の基本性状が再現できることを確認する。最終的には、構築されたパラメータ設定方法に従って、規模・アスペリティ深さ・アスペリティ間隔、滑り弱化モデルにおける臨界すべり長さ D_c の深さ分布を変動させたパラメトリック解析を実施し、得られた断層面上の最終すべり量分布から強震動生成域SMGAや長周期生成域LMGAを抽出してそのスケール則を求め、次世代型強震動予測レシピとして提案することを目指す。

3. 研究の方法

(1) 中規模地震を対象とした動的破壊シミュレーションによる滑り量とパラメータの関係

アスペリティ内の平均応力降下量に深さ依存性を考慮した動的破壊シミュレーション用のモデルを構築し、その不均質性にランダムな(k^{-1} で空間変動する)不均質性と強震動予測レシピで考えられているSMGAに相当する矩形の大応力降下量域(応力アスペリティ)を設定し、滑り弱化距離に深さ依存性を与えるとともに、浅部の弱層における応力降下量に低減分布を与え、応力アスペリティの大きさと深さ、および相互の間隔を変えることにより、得られる滑り量分布がどのように変化するのかに関してパラメトリック解析を行った。用いたのはPitarka et al. (2009)の滑り弱化モデルを用いた有限差分法である。

(2) 熊本地震への動的破壊シミュレーションによるフォワード・モデリング

既往の運動学的インバージョン結果2つを参考にして3個の応力アスペリティの探索範囲を設定した。手法の制限上断層は直線状の鉛直断面とする必要があり、Yoshida et al. (2017)の平均

走向を持つ断層面とした。応力アスペリティは、最東端セグメントには設定せず、発震点西側セグメントに1個(H1)、東側セグメントに2個(F1, F2)配置した。地盤モデルは下部地殻から上のJIVSMの3次元地下構造を用いた。断層は長さ45km、下端深さは20kmとした。モデル上の上端深さは0kmとしているが、5km以浅には応力降下量が徐々に減少しDcが増大する弱層を設けた。解析領域のサイズは幅×長さ×深さ=26km×60km×25kmである。平均応力降下量は6.0MPa、アスペリティ内応力降下量は西側H1では2.2倍、東側F1・F2では2.0倍・2.5倍に設定した。H1の長さは6km固定、幅は3km以上、浅部に仮定したF1は長さ10km以上、幅は9km固定、深部に仮定したF2は長さ6km以上、幅は6km固定とした。フォワード・モデリングに先立って観測波形への適合度を客観的に判断できる指標の構築を行い、各種指標を検討した結果、結局PGVと相互相関係数CCCのハイブリッド判定関数を用いることにし、参照した運動学的インバージョンの2個のモデルのうちA系列で1020個の、Y系列で500個の震源破壊シナリオから最適なモデルを探索した。

(3) 運動学的モデルにおける滑り速度関数の同定

平行して運動学的モデルによるSMGA内の滑り速度関数を同定した。これは既往の運動学的震源インバージョンではマルチ・タイムウィンドウ方式でインバージョンをしているので、結果として得られる滑り速度関数はコストロフ型の最初の立ちあがる部分でシャープな形状を持ち、それから緩やかに速度が低下する関数形を呈することが少なく、滑らかな形状となることが多いので、SMGAの大きさは固定し、SMGA内の滑り速度関数に着目してこれを同定することが重要だとかんがえたからである。解析には盆地の速度構造は3.2と同様にJIVSMの3次元速度構造を用い、Green関数の計算には三次元差分法の相反定理を用いた。

4. 研究成果

初年度に実施したM6.7クラスの想定内陸地震に対する動的破壊シミュレーションのパラメトリック解析の結果得られたデータを行いて、滑り量分布と滑り速度関数の分布と特性について分析した。まず得られた滑り量の全体的な特徴とアスペリティ面積のスケーリング則について検討した。平均滑り量の1.5倍以上の領域をアスペリティ領域として抽出したところターゲットとした13ケースの平均で14%となった。さらにSomerville et al. (1999)に倣い周辺部の滑り量が平均の30%以下の領域をトリミングすると、それに対する変位アスペリティ面積の比は平均で9%となった。これは滑りの大きな領域が滑らかな形状をしているからである。

次に断層面上の滑り速度関数の空間分布とアスペリティ位置との関係を分析した。既往研究と同様に、浅部の堆積層内(1km以浅)ではスムーズ・ランプ関数的形状をしているのに対し、アスペリティ内ではKostrov関数的形状をしているが、その滑り継続時間は破壊が進展するほど短くなる。最終滑り量は全体の分布形が非常に滑らかなのに対して、ピーク滑り速度は応力アスペリティ位置との相関が高く、特にその破壊進行方向にシフトして大きくなる。すなわち滑り速度関数がピーク値の大きなKostrov型の特性となるためには、大きな応力降下量を有する領域からの前方方向の破壊指向性が必要であり、破壊の進行に伴ってエネルギーが前方に集中することによってピーク到達時間の短いシャープな滑り速度関数となることがわかった。動的破壊シミュレーションの解析結果が震源近傍での経験的平均値を再現できていることからすると、震源近傍強震動は、現行の強震動予測レシピで仮定しているように、滑りの急激な空間変動ではなく滑り速度の急激な空間変動によって生じている可能性が高いものと考えられる。

運動学的モデルに基づく滑り速度インバージョンについては以下のような成果をあげることができた。まず相反定理を用いたGreen関数と波形合成プログラムの検証のために、通常のフォワードFDMシミュレーションにより波形を別途計算し、その波形と相反定理を用いたGreen関数から合成された波形を比較した。波形の合い具合は良好であった。2016年熊本地震(M7.3)の経験的グリーン関数(EGF)で求められたSomei et al. (2018, 2019)のモデルに準拠して震源モデルを構築し妥当性の検証を行った。Case 1は基本Somei et al. (2019)のモデルで使用されたパラメータを使用した。EGFのメカニズムは本震の各セグメントのメカニズムに合わせた。一方Case 2ではその震源メカニズムはSomei et al. (2018, 2019)の使った余震の走向と傾斜角を使用した。観測された速度波形と計算された速度波形の比較したところ、Case 1で合成された波形はKMM005やKMM006では過大評価気味で、KMMH06・KMMH16では過小評価気味となっており、KMMH14では振幅はほぼ一致しているが後続動が不足している結果となっている。全体に一致度は低かった。一方、Case 2の合成波形は位相ずれに関してはほぼ同様であったが、振幅やパルスの位相についてはCase 1の合成波形よりも一致度は高かった。特に我々が当初から目的としていたKMMH16での観測波形において見られた顕著な最初の西向きパルスはCase 2にしか生じておらず、Somei et al. (2018, 2019)がKMMH16での西向きパルスの生成に成功したのは用いたEGFの震源メカニズムに起因する可能性が高い。次に震源モデルに特性化SMGAモデルを仮定し、Yoshida et al. (2017)を参考に3つのSMGAを仮定し、その3個のSMGAのパラメータを相反定理を考慮した波形計算に基づく波形インバージョンによって求めた。震源時間関数にはKostrov型を仮定し、観測波形と理論波形の基準化残差を最小化する震源モデルを同定した。インバージョンでの有効パラメータを推定するために、固定値とするパラメータの組み合わせを変えながらシンプレックス法で同定を行い、各パラメータの同定値の収束具合などからピーク遅延時間、背景領域とSMGAの破壊伝播速度、SMGAの中心位置および破壊開始点の深さおよび走行方向の座標、Rake角と地震モーメントが有効パラメータと推定できた。次に、それ

ぞれの SMGA に近い観測点(KMM005、KMM006、KMMH06、KMMH14、KMMH16 の内のいずれか)での観測波形を対象に各 SMGA のインバージョンを行った。個別の SMGA のインバージョン結果を統合した断層モデル (3SMGA モデル) を作成した後、統合モデルを初期値として全観測点を用いた断層全体のインバージョンを行った。KMMH14 での地震波の到達時刻のずれを補正するために SMGA1 の破壊開始点に条件を加え、また KMMH16 での観測波形と理論波形の残差に重みを加え KMMH16 の観測波形の再現を重視するようしたところ、いまだ少し過大評価であるものの、各観測点の観測記録をよく再現する震源モデルを同定できた。得られた SMGA 位置は Somei et al. (2018, 2019) のモデルと大きくは違わなかったが、その滑り速度関数が同定されたのは新しい。

動的破壊シミュレーションを用いて、熊本地震の強震動を再現する研究サブテーマにおいては、既往の運動学的インバージョン結果 2 つ(A 系列と Y 系列)を参照して最適解の探索範囲を設定し、ランダム・サーチにより、より多くのシナリオを用いて広範囲に最適な解を探索することとした。図 1 には断層面と用いた震源近傍の強震観測点 26 地点の位置を観測機関別に色分けして標高図上に示した。No.17~20, 23 は阿蘇カルデラ内に位置している一方、観測点 No.2, 6, 16, 26 は熊本平野と八代平野を結ぶ南北の境界線上に並んでいる。No.7, 21 は日奈久断層帯近傍の丘陵地に挟まれた平坦部に位置している。日奈久断層上のセグメントに 1 つの応力降下量の大きなパッチ (応力アスペリティ、あるいは high stress drop area, HSDA) を置き、東側 (布田川断層) の 2 セグメント内に上下に 2 つの HSDA を配置した。HSDA の大きさとしては A 系列の方が大きく、Y 系列はそれに比べると小さい。

26 地点中 16 地点で観測結果とのよい適合が得られた。一方、各地点の個々の波形に対して最適化を図った結果を見ると、図 1 に示した 26 か所の強震観測点のうち、No.1, 2, 3, 6, 7, 16, 17, 18, 21, 26 の地点ではどのようなシナリオでもあまりよい適合度が得られなかった。これらの観測点のうち、No.1 は阿蘇山内部、No.17-18 は阿蘇カルデラ内の観測点である。また No.2-3, No.6-7, No.16, No.21, No.26 の 7 地点はいずれも西側日奈久断層近傍の観測点である。前者の観測点では比較的長周期の大きな振幅のパルスが観測されており、それが再現できていない。カルデラ内の No.17・18 についてはカルデラのドーナツ型の盆地構造が JIVSM ではモデル化できていないためと考えられる。後者の観測点では後続動部に 1 秒前後の短周期が繰り返す波形が観測されており、その再現は困難であった。これには 2 つの要因が考えられる。一つは地下構造モデルの精度が不足している可能性である。これらの地点は熊本平野の南端部に位置しており、JIVSM の精度が十分でない可能性がある。もう一つは、これらは断層面西端部に近い場所にあり、布田側断層の破壊逆行方向では特にバックワード・ディレクティブティが生じて HSDA 内の細かな不均質性のために周期は短いが継続時間の長い波動が観測されている可能性である。そこで HSDA 内にさらに微細な不均質性を考慮してその影響を評価したが、短周期の波動の生成は得られなかった。これは上述のように応力降下量の空間変動だけでは滑りをギクシャクさせることはできず、バックワード・ディレクティブティがうまく生じなかったためと考えられる。

得られたモデルのうち観測速度波形との残差が最小のトップ 10 モデルはいずれも A 系列のモデルで、布田川断層側の西側寄り、あるいは中央部近傍に大きな HSDA を有するモデルとなった。26 地点中 20 地点で 0.1Hz~1Hz のバンドパス・フィルターを施した観測速度波形とよい対応を示した。図 2 には 20 地点に対して最適解となった No.0195 のシナリオから得た解析結果 (断層面上の最終滑り量・最大滑り速度・滑り速度が最大になるまでの時間・破壊開始時刻の分布) を示す。最終的に大きな断層滑りが布田川 HSDA の接合位置で現れている。浅い布田川断層側の HSDA の最終滑り量は他の地域より大きい。浅い布田川 HSDA の最大滑り速度は 4m/s より大きい、深い布田川 HSDA ではさらに大きい 6m/s 以上の最大滑り速度が生じている。M6.7 クラスの地震を対象にしたパラメトリック解析で明らかになった最大滑り速度の大きい領域は HSDA の破壊進行側に片寄っており、変位アスペリティの領域よりも小さくなっていることがわかる。また、破壊開始時刻分布によると、深層部では破壊伝播が短くなっており、東側でスーパースターとなっている領域が生じている可能性がある。

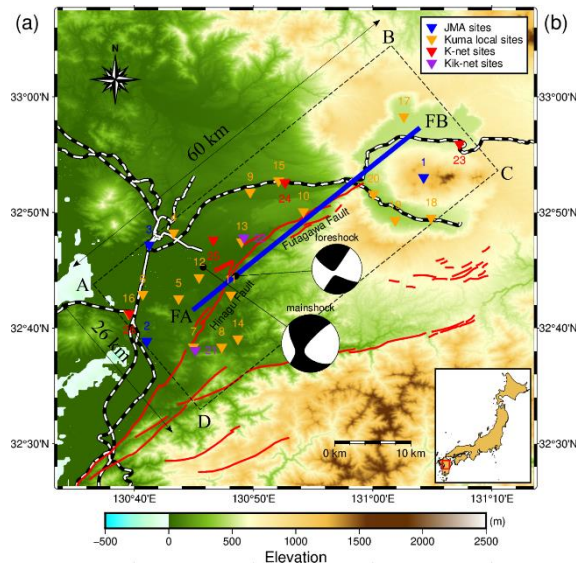


図1 前震・本震の震源位置とメカニズム、布田川断層帯と日奈久断層帯の活断層の地表面投影位置、および本研究で使用した強震観測点の位置を標高図上に示す。黒破線の矩形は60km×26kmの解析領域であり、太い青線は仮定した鉛直断層面の位置である。

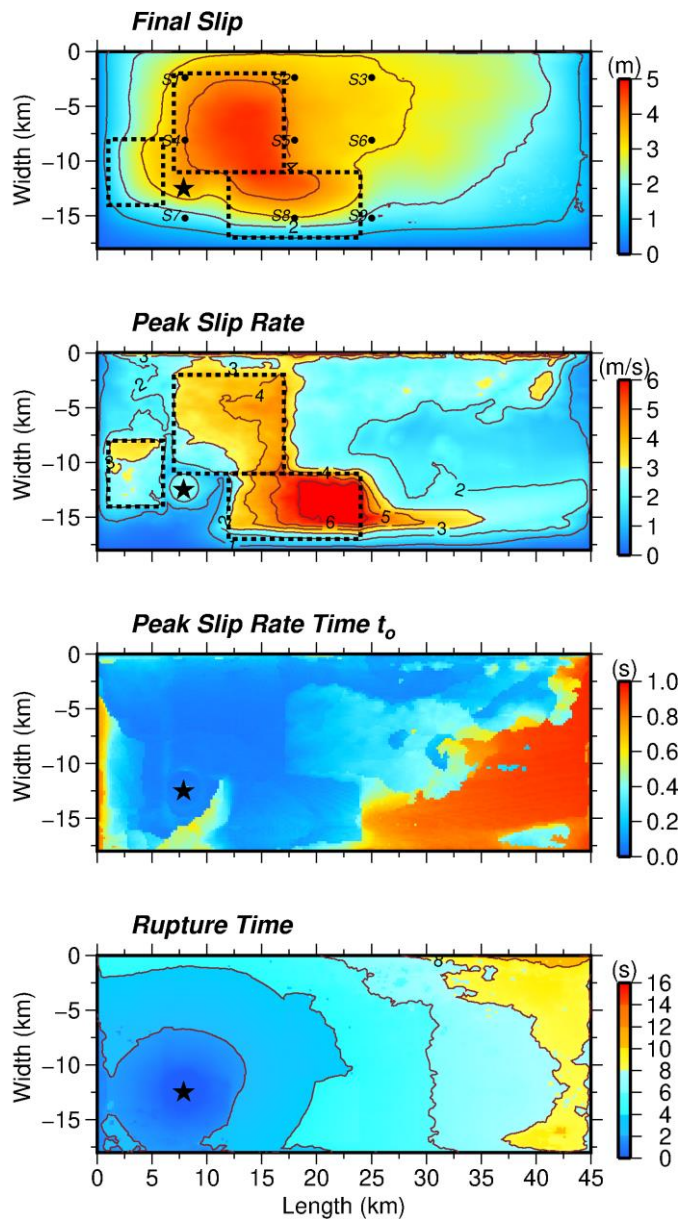


図2 19地点・20地点を対象に最適化した場合に最適解として選択されたシナリオNo.195(A3_Day22_0195)の最終的な断層滑り量、最大滑り速度、滑り率ピーク到達時間、破壊開始時刻の断層面分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Jikai Sun, Fumiaki Nagashima, Hiroshi Kawase, Shinichi Matsushima, and Baoyintu	4. 巻 none
2. 論文標題 Simulation of Building Damage Distribution in Downtown Mashiki, Kumamoto, Japan Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake Based on Site-specific Ground Motions and Nonlinear Structural Analyses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 none
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10518-021-01119-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ziqian Wang, Fumiaki Nagashima, and Hiroshi Kawase	4. 巻 none
2. 論文標題 A new empirical method for obtaining horizontal site amplification factors with soil nonlinearity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earthquake Engineering and Structural Dynamics	6. 最初と最後の頁 none
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/eqe.3471	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhu, Chuanbin, Graeme Weatherill, Fabrice Cotton, Marco Pilz, Dong Youp Kwak, and Hiroshi Kawase	4. 巻 37
2. 論文標題 An open-source site database of strong-motion stations in Japan: K-NET and KiK-net (v1.0.0)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earthquake Spectra	6. 最初と最後の頁 2126-2149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/875529302098802	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 仲野健一, 川瀬博	4. 巻 21
2. 論文標題 仲野健一, 川瀬博: 経験的に得られたフーリエ振幅・経時特性モデルに基づく統計的グリーン関数を用いた強震動予測手法の提案と適用性の検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本地震工学会論文集	6. 最初と最後の頁 130-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Pitarka, Arben, Robert Graves, Kojiro Irikura, Ken Miyakoshi, Changjiang Wu, Hiroshi Kawase, Arthur Rodgers, David McCallen	4. 巻 112
2. 論文標題 Refinements to the Graves and Pitarka Kinematic Rupture Generator, Including a Dynamically Consistent Slip-Rate Function, Applied to the 2019 Mw 7.1 Ridgecrest Earthquake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin Seismological Society America	6. 最初と最後の頁 287-306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1785/0120210138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Petukhin Anatoly, Kawase Hiroshi, Nagashima Fumiaki, Ito Eri	4. 巻 75
2. 論文標題 Characterized source model of the M7.3 2016 Kumamoto earthquake by the 3D reciprocity GFs inversion with special reference to the velocity pulse at KMMH16	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Earth, Planet Space	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40623-023-01768-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 川瀬 博, 伊藤恵理, 長嶋史明, 仲野健一
2. 発表標題 震源波を用いたバックプロジェクションによる短周期生成強度マッピング
3. 学会等名 2021年日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 孫 紀凱, 長嶋史明, 川瀬 博, 伊藤恵理
2. 発表標題 益城町における液状化を考慮した 2016 年熊本地震の強震動評価
3. 学会等名 2021年日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬博, 伊藤恵理, 仲野健一
2. 発表標題 S波部と全波の分離サイト増幅特性と水平上下比一異なる補正係数の必要性
3. 学会等名 2021年日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroshi KAWASE, Kenichi NAKANO, Eri ITO, Fumiaki NAGASHIMA, Jikai SUN
2. 発表標題 S-wave Site Amplification Factors of KiK-net Borehole Stations Obtained by Generalized Spectral Inversion
3. 学会等名 Seismological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jikai SUN, Arben PITARKA, Hiroshi KAWASE, Fumiaki NAGASHIMA, Eri ITO
2. 発表標題 Simulation of Mainshock of 2016 Kumamoto Earthquake Using Dynamic Rupture Modeling
3. 学会等名 Seismological Society of America (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroshi KAWASE, Jikai SUN, Arben PITARKA, Fumiaki NAGASHIMA, Eri ITO
2. 発表標題 Dynamic rupture simulations of a vertical strike-slip fault of M6.5 class considering spatially-heterogeneous stress-drop distributions
3. 学会等名 2019 Workshop on Numerical Modeling of Earthquake Motions, Slovakia (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬 博, ソン ジカイ, ピタルカ アーベン, 長嶋 史明, 伊藤 恵理
2. 発表標題 初期条件の空間的不均質性を考慮した中規模横ずれ断層の動的破壊シミュレーション
3. 学会等名 2019年日本地震学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川瀬 博, ソン ジカイ, 長嶋 史明, 伊藤 恵理
2. 発表標題 空間不均質性を考慮した動的破壊シミュレーション結果の滑り量と滑り速度の空間変動の性質
3. 学会等名 2019年日本建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kawase, Hiroshi, Jikai Sun, Arben Pitarka, Luis Dalguer, Eri Ito, and Fumiaki Nagashima
2. 発表標題 Dynamic Rupture Simulations of a Vertical Strike-Slip Fault with Heterogeneous Stress-Drop Distribution
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Pitarka, Arben, H. Kawase, R. Graves, K. Miyakoshi, L. Dalguer, K. Irikura, A. Rodgers, D. McCallen
2. 発表標題 Rupture Modeling for the 2016 Kumamoto, Japan and 2019 Ridgecrest California Earthquakes
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬博, SUN Jikai, 長嶋史明, 伊藤恵理, PITARKA Arben
2. 発表標題 空間不均質性を考慮した動的破壊シミュレーション結果の滑り量と滑り速度の空間変動の性質
3. 学会等名 日本地震工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川瀬博, 孫紀凱, ピタルカ アーベン, 長嶋史明, 伊藤恵理
2. 発表標題 動力学モデルによる 2016 年熊本地震本震の震源破壊過程の最適解探索
3. 学会等名 2022年日本建築学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	孫 紀凱 (SUN Jikai)	京都大学・防災研究所・特任助教 (14301)	
研究協力者	伊藤 恵理 (ITO Eri)	京都大学・防災研究所・特定助教 (14301)	
研究協力者	長嶋 史明 (NAGASHIMA Fumiaki)	京都大学・防災研究所・特定助教 (14301)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	仲野 健一 (NAKANO Kenichi)	安藤 ハザマ・技術研究所・研究員	
研究協力者	ピタルカ アーベン (Pitarka Arben)	ローレンス・リバモア国立研究所	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
米国	Lawrence Livermore National Laboratory		