

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510190

研究課題名（和文） 地震サイクルを考慮した想定地震シナリオの予測方法の研究

研究課題名（英文） Prediction of earthquake scenarios considering recurrence

研究代表者

関口 春子（SEKIGUCHI HARUKO）

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：20357320

研究成果の概要（和文）：

個々の活断層固有の環境から生じる地震の震源過程を予測し、将来の地震動予測に役立てるため、地形・地質学的情報から断層にかかる応力場の不均質を推定し、動力学的地震破壊シミュレーションをサイクリックに実施するという高度な地震シナリオ予測手法を構築した。上町断層帯に対する適用では、累積変位分布と 3 次元断層面形状から推定される応力分布が破壊伝播を強く規定することがわかった。また、複数回の平均として、長期平均的な長波長のすべり量分布を満たすようになっていることが推察された。

研究成果の概要（英文）：

To estimate fault specific earthquake scenarios due to their each tectonic circumstances for ground motion prediction, we developed a system to generate earthquake scenarios by estimating heterogeneous stress fields from geographical and geological information and cyclically applying dynamic rupture simulations. In the application to the Uemachi fault zone, we found that estimated heterogeneous stress distribution controls the rupture propagation on this fault system. The summation of slips of plural events seems to agree with the long-term average slip distribution model.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2011 年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：自然災害科学

科研費の分科・細目：地震災害

キーワード：シミュレーション、動的破壊伝播、地震サイクル、断層パラメータ、活断層

1. 研究開始当初の背景

地震動予測の一連のプロセスの中でも、震源のモデル化は、発生する地震動の特性と強さを決定する重要な項目であるにも関わらず、様々な物理条件が絡むため最も難しく、手法の改良が求められる項目である。防災目的の地震動予測における震源のモデル化で

鍵となるのは、地震断層の最終的なすべり量の中で相対的にすべり量の大きいアスペリティの大きさと位置、そして、このアスペリティがどこからどの方向へ破壊するかである。アスペリティの破壊は強いパルスを発生し、その卓越周期（パルス幅）はアスペリティの大きさと破壊伝播速度とで決まる。建

物は、その固有周期に近い周期帯の地震動に対し応答するため、どのような周期のどのような強さのパルスが発生するかが、建物被害に関して大きな関心事となる。

現在、多くの地震動予測手法では、アスペリティの大きさや位置、破壊伝播方向を、過去の地震の震源像の統計解析結果に基づく経験式や条件にしたがって設定する方法が広く用いられている。アスペリティの大きさや変位量については、マグニチュードに対するスケーリング則 (Somerville et al., 1999 など) がある。破壊伝播方向については、断層の枝分かかれ形状との関係が提案されている (中田・他, 1998)。このような経験式や経験的条件はある程度の拘束を与えはするが、アスペリティの位置や破壊伝播などの不確定な要素をランダムに変えて多数の地震シナリオを作るといこともなされている。

しかし、ひとつの断層で起こりうる地震は、その置かれているテクトニクス環境から、ある程度限定されるはずである。断層の変位履歴が比較的良く残っている活断層で、いくつかの決まった変位分布パターンが繰り返し起きていることを示唆するデータがあるが (Lindvall et al., 1989, Sieh and Jahns, 1984), これはひとつの断層で起こる地震のパターンが限られているという考え方を支持するものである。また、破壊の開始、伝播、停止、断層面上の各点でのすべりの時刻歴と最終的なすべり量の分布は、物理条件と支配方程式から予測されるべきものである。

このような考えから、著者らはこれまでに、地表で見られる累積変位の分布から断層面上に蓄積される長期平均的な応力分布を推定し、これを地震発生直前の応力場と仮定して地震破壊の動学的シミュレーションを行い、地震シナリオを予測するという方法を提案した。また、これを大阪平野に伏在する上町断層帯に適用し、破壊開始点の位置を変えることで、破壊領域、アスペリティのすべり量、破壊伝播が異なる複数のシナリオを予測されることを示した (関口・加瀬・他, 2003, 2005)。しかし、この方法では、断層の置かれているテクトニクス環境の時間変化は考慮されていなかった。いくつかの異なる地震が起こるとすれば、地震が終わった後の残留応力場も異なるため、地震時の初期応力場は毎回異なり、それに応じて最も起こりうる地震も異なる应考虑すべきである。これまでの方法では、このような断層の応力場の時間変化を考慮していないため、地震シナリオのパラエティを狭く推定していた可能性がある。

2. 研究の目的

地震学的知見をベースに、地震時の動学的破壊過程と非地震期間の断層荷重過程を組み合わせた数値シミュレーションシス

テムを開発し、地形・地質学的調査、物理探査等から得られる活断層の長期平均的な変位量分布データを拘束条件として、断層固有の地震サイクルモデルを構築する。この地震サイクルモデルを用いて断層固有の地震シナリオ群を生成し、将来起こりうる地震動の予測計算に用いる。

3. 研究の方法

地震サイクルシミュレーションシステムの構築は、長時間平均的な荷重応力分布の作成、荷重とトリガー手法の構築、地震破壊の動学的シミュレーション方法の構築からなる。

(1) 長時間平均的な荷重応力分布の作成

荷重応力分布作成の基本的な考え方は、関口・加瀬・他 (2003, 2005) と同様、断層トレース沿いの平均変位速度分布から長期平均的な長波長のすべり量分布・応力降下量分布を作成し、乱数を使って発生させたフラクタルの短波長不均質を追加する、というものである。長波長の変位量分布を作成する際、断層深部での脆性から延性への遷移を考慮した蓄積応力分布に期待されるすべり分布の深さ変化を仮定しているため、ここで得られる荷重応力分布は、深部での延性によるひずみ解消レートを考慮した後のものとなる。今回、短波長不均質を導入する段階を、以前の「長波長すべり分布に乱数を掛け合わせて波数領域で k^2 分布に補正する」から、「長波長応力降下量分布と乱数を用いて発生させた k^{-1} 分布をハイブリッドする」へと変更した。2つの方法の意図していることは同じであるが、すべり分布モデルを応力降下量分布モデルに変換する際に空間微分操作が入るため、この変更により、乱数分布を微分することによって極端な値が生じる可能性を回避することができる。

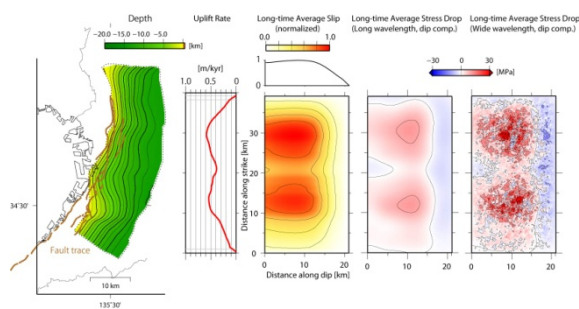


図1. 平均変位速度分布と3次元断層面形状より推定した上町断層帯の応力降下量の長時間平均的な分布

また、本研究の適用対象とする上町断層帯について、平均変位速度分布、1回の地震イベントの地表変位量、および、断層面形状に

について、最近得られた新たな知見(木村・他, 2012; 近藤・他, 2013)を導入した。 載荷応力分布は、新淀川での最新1回の地震イベントによる地表変位量に相当する応力降下量分布に対応するものを1サイクル分と仮定し、基準値とした。

(2) 載荷とトリガーの方式

初期状態の断層面上応力場は、載荷応力分布の基準値とし、この状態で断層面上の様々な箇所破壊をトリガーさせた。次からは、前回の地震イベント終了後の残留応力場に、載荷応力分布を基準値の10%, 20%と変えて加え、摩擦構成則に従って、自発的に破壊を伝播させる。

短波長不均質の乱数を変えて載荷応力分布を複数作成しておき、地震イベントを発生させるたびに、用いる載荷応力分布を異なる乱数のものに切り替えた。これは、短波長不均質分布は、地震破壊によって一新されるものとの考えによる。

(3) 地震破壊の動的シミュレーション

関口・加瀬・他(2003, 2005)では、断層面が地表を切ることができない計算手法を用いていたが、本研究ではKase(2010)によって開発された断層面が地表を切れることを許す計算手法を用いた。さらに、本研究では、破壊開始点の動的パラメータの設定を工夫し、より自然に破壊を開始するようにした。

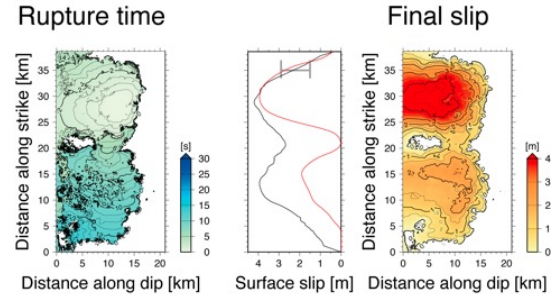
4. 研究成果

まず、本研究で行った手法開発により、より妥当な応力場の設定、より自然な動的破壊シミュレーションにおける破壊開始、および、地震サイクルシミュレーションの基本的枠組みが実現された。

地震サイクル計算の初期状態に対しては、断層の平均変位速度分布から推定される初期応力場に対し、破壊開始点を様々な位置に変えて、それぞれどのような地震イベントに成長するかを調べた。その結果、上町断層帯では、断層面形状と応力場の不均質形状により、中央部付近に破壊伝播が減速する領域が存在することがわかった。破壊伝播の勢いが強い場合はこの領域を乗り越えて破壊が伝播し、弱い場合はこの手前で破壊が止まった。図2, 3に、断層北側、および、南側から破壊を開始させた場合の地震シナリオと、その地震シナリオを基に差分法、統計的グリーン関数法、等価線形化手法を用いて0~50Hzで計算した地震動の最大速度分布を示す。断層の北部で破壊が開始する場合は断層面全体が破壊するケースが多く、南部で破壊が開始する場合は南部だけに破壊がとどまるケースが多かった。また、地震シナリオによる変位量分布を長波長変位分布モデルと比べ

ると、断層面全体が破壊する場合も、断層の南側のシナリオの変位分布が長波長変位分布を常に大きく下回った。これは、断層帯の南側と北側で地震サイクルが異なることを示唆している可能性があるが、断層面形状の誤差、もしくはその取り扱い方に原因がある可能性も考えられる。

(a) 断層北側から破壊が始まる場合



(b) 断層南側から破壊が始まる場合

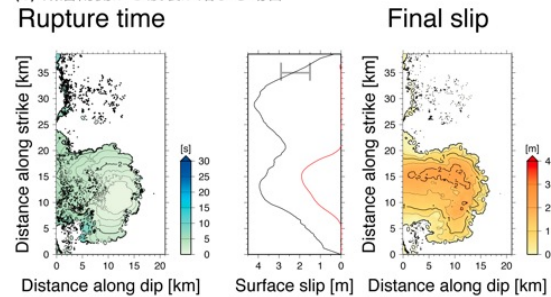
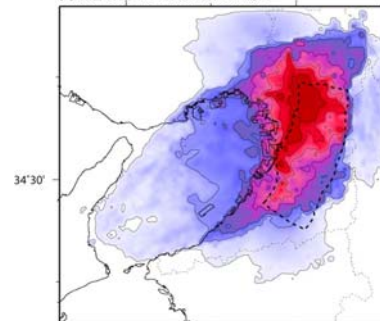


図2. 同じ初期状態から破壊開始点を替えて得られた2つの破壊シナリオのすべり分布と破壊時刻分布

(a)断層北側から破壊が始まる場合



(b)断層南側から破壊が始まる場合

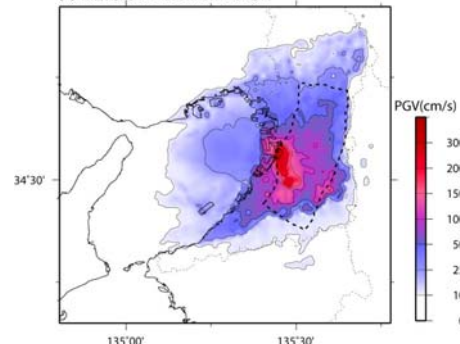


図3. 図2の2つの地震シナリオから

計算される地震動の最大速度分布

予察的な地震サイクル計算では、破壊開始点やすべり分布の異なる複数の地震イベントが得られた。断層の北側から破壊が始まり、断層全体が破壊するイベント、北半分のみ破壊するイベント、南半分のみ破壊するイベントの3パターンがあり、断層全体が破壊するイベントでは、南北2つのすべり量のピークを持つなど、平均変位速度分布形状に似たすべり量分布を示す。複数回の平均としては、断層トレース沿いの平均変位速度分布から作成した長期平均的な長波長のすべり量分布を満たすようになっていくことが推察される。

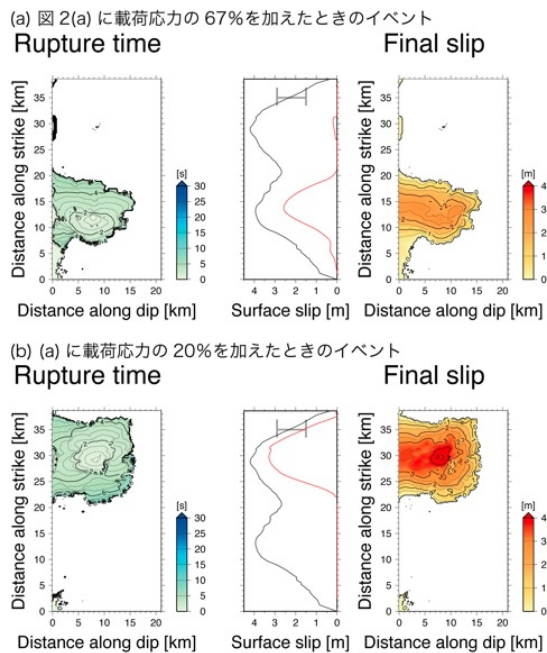


図4. 図2(a)の地震イベントの残留応力場に載荷して得られた2つの破壊シナリオのすべり分布と破壊時刻分布

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計5件)

①加瀬祐子・関口春子、動力的震源モデルを用いた上町断層帯で発生する地震の強震動予測、日本地球惑星科学連合 2013 大会、2013 年 5 月 19~24 日、幕張メッセ国際会議場。

② Sekiguchi, H. and Y. Kase, Fault Specific, Dynamic Rupture Scenarios for Strong Ground Motion Prediction, 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, September 24-28, 2012.

③加瀬祐子・関口春子、地形・地質学的情報

に基づく強震動予測のための動力学震源モデル、日本地球惑星科学連合 2012 大会、2012 年 5 月 20~25 日、幕張メッセ国際会議場。

④ Kase, Y. and H. Sekiguchi, Dynamic rupture scenarios for strong ground motion prediction, American Geophysical Union, Fall meeting 2011, San Francisco, United States, December 8, 2011.

⑤ Kase, Y., H. Kondo and O. Emre, Dynamic rupture process of the great 1668 North Anatolian earthquake, French-Japan Joint Workshop on Earthquake Source Modeling and Observation toward Hazard Mitigation, Paris, France, October 6, 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 春子 (SEKIGUCHI HARUKO)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：20357320

(2) 研究分担者

加瀬 祐子 (KASE YUKO)
独立行政法人産業技術総合研究所・その他
部局等・研究員

研究者番号：90415654

(H21→H22：連携研究者)