

3. 4. 5. 3 非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルの構築とリアルタイム強震動予測へ向けた基礎的研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

震源モデル構築に必要な、以下の各項目について開発、検討を行う。

- ・P波波形記録から断層面やアスペリティー(強震動発生域)を同定する手法を開発する。
- ・近地P波波形記録からの不均質な破壊伝播過程の抽出する手法を開発する。
- ・破壊伝播や滑り速度の揺らぎを抽出する手法を開発する。
- ・非一様な破壊伝播を考慮した震源モデルを検討する。
- ・(準)リアルタイム強震動予測に適した震源モデルと高速地震動予測手法を検討する。

(b) 平成20年度業務目的

前年度開発のP波イメージング解析から推定した非一様な破壊伝播の情報を取り込むことにより、強震動波形震源インバージョンの時空間精度の向上を図る。実波形記録に適用し、得られた震源モデルを検討する。

(c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
九州大学大学院理学研究院	准教授	竹中博士	

(2) 平成20年度の成果

(a) 業務の要約

前年度開発したP波のイメージング解析で得られる情報(初期破壊の存在や主破壊開始時刻など)を事前情報として取り込んだ震源インバージョンを実現し、推定するすべり速度分布の時空間精度の向上を図った。2005年福岡県西方沖地震の強震波形記録に適用し、時空間的な絶対精度の高い解を得た。

今年度中に発生した2008年岩手・宮城内陸地震の地震についてP波イメージング解析を実施し、破壊開始5秒間の震源過程の情報を推定した。

(b) 業務の成果

1) イメージング情報を取り込んだ2005年福岡県西方沖地震の震源インバージョン

まず、2005年福岡県西方沖地震(M_{JMA}7.0)の断層面におけるすべりの連続的時空間分布を近地の強震波形から運動学的インバージョンによって求めた。インバージョンはマルチタイムウインドウ法であるが、すべり速度の時空間分布の定式化には時間空間両方に1次のbスプライン関数を用いており(Fujii and Takenaka, 2003¹⁾; Takenaka and Fujii, 2008²⁾)、グリッドモデルに基づいて断層面上の任意の点の任意の時刻のすべり速度が得られる連続的な時空間分布が得られる。

インバージョンに際し、以下の工夫を行った。まず観測された波形記録を本震後測定された地震計の設置方位(例えばTakenaka et al., 2006³⁾)を基に方位補正を行った。そし

て、より実際に近い速度構造を用いるため、地質図や福岡地盤図、ボーリングデータといった地質学的データ、重力データ及び地震波トモグラフィー等の地震学的データを用いて 3 次元速度構造モデルを作成し、これから各観測点直下の 1 次元速度構造を切り出して、いわゆるアダプティブ 1 次元構造モデルをグリーン関数の計算に用いた。また、波形の P 波部分を用いたイメージング解析から、福岡県西方沖地震では 3 秒程度の初期破壊過程が存在すること、地震が発生した断層と主破壊が起こった断層面は異なること、初期破壊においては破壊伝播速度が遅く 2.0 km/s であったことがわかっている。本研究ではインバージョンに用いる破壊開始点として主破壊が起きた主断層面の破壊開始点（第 2 震源）を用い、破壊伝播速度も P 波から推定されている主破壊開始点までは 2.0 km/s を仮定して、それ以降の破壊伝播速度を変化させた。さらに、理論記象と観測記象の同期をとるために余震の記録を用いて S 波の到達時刻について補正を行った。このような本研究独自の設定や工夫によって、求めるすべり関数の時空間精度を向上させた。

インバージョンの結果、第 2 震源から見て福岡側の下方約 5 km 付近にすべり量が最大の領域があり、その深さはおよそ 10~12 km であることが推定された。このすべり量最大の領域の位置は、先行研究（例えば、Asano and Iwata, 2006⁴⁾; Kobayashi et al., 2006⁵⁾; Horikawa, 2006⁶⁾）の結果と比較してやや深いのが本研究結果の特徴である。先行研究では、本研究で行っているような時空間精度を上げるための工夫がほとんどなされておらず、そのため先行研究では大きなすべりが浅部に求まっている可能性がある。なお、破壊フロントが主破壊開始点通過後のすべり速度の第一タイムウインドウをトリガーするための仮想破壊速度については、2.6 km/s のときに最も残差が小さくなったため、本研究ではこの値を採用した。ここで求めた地震モーメントは 7.9×10^{18} Nm、モーメントマグニチュードは 6.5 となった。最大すべり量は 1.7 m で、Kobayashi et al. (2006)⁵⁾ や Horikawa (2006)⁶⁾ の結果とほぼ同じ値である。最大すべり速度は、1.6 m/s であった。

求めた最終すべり分布を余震分布 (Uehira et al., 2006)⁷⁾ と比較すると、すべりの大きかった領域では余震が少ないという相補的な関係がきれいにみられた。また、地震波トモグラフィー (Hori et al., 2006)⁸⁾ によって得られた周りよりも相対的に硬い (P 波速度の速い) 領域と本研究で得られた断層すべりの大きな領域とはほぼ重なっている。

今回推定されたすべりの時空間分布は、たとえば深さ何 km といった絶対的位置と対応がつく高精度の震源モデルである。

2) 岩手・宮城内陸地震の破壊開始 5 秒間の震源イメージング

これまで、2005 年福岡県西方沖地震 (M_{JMA}7.0)、2007 年能登半島地震 (M_{JMA}6.9)、2007 年新潟県中越沖地震 (M_{JMA} 6.8) において、破壊開始後数秒間の震源過程を K-NET、KiK-net の強震観測点や気象庁・自治体の震度観測点などの高密度強震観測網で観測された P 波を用いて高分解能でのイメージングを行い、その結果、破壊過程における初期段階のアスペリティの推定を行ってきた。今年度、2008 年 6 月 14 日午前 8 時 43 分に発生した岩手・宮城内陸地震 (M_{JMA} 7.2) についても同様に破壊開始 5 秒間におけるアスペリティのイメージングを行った。

記録が公開されている K-NET、KiK-net 観測点のうち、P 波部を 5 秒間以上確保できない震源近傍の観測点を除く震央距離 70km 以内の観測点 (計 26 点) の P 波上下動記録

を用い、Takenaka et al. (2009)⁹⁾の back-projection 法で破壊開始 5 秒間の P 波の放射強度をマッピングした。震源は気象庁の一元化震源（深さ 7.8 km）、断層面は F-net CMT 解（防災科学技術研究所, 2008）の西傾斜の面（走行 N186° E、傾斜 47°）を仮定し、速度構造に JMA2001（上野・他, 2002）¹⁰⁾を使用した。図 1 は、イメージング結果を地図にプロットした図である。上述のこれまでの地震の場合と比べると、観測点密度が福岡県西方沖地震に比較して良いとはいえないが、方位のカバレッジが大変良く、比較的良好な結果が得られた。図の色の濃い部分が放射強度の大きいところで、この時間におけるアスペリティと考えられる。推定された破壊初期段階のアスペリティは震源の Updip 方向から走行方向に広がっており、震源とアスペリティを結ぶ線は一関市の方向を向いている。余震分布のパターンが変化する付近（余震空白域）に位置している。このアスペリティの SE 延長上（FRD 効果）に報告されている地表変状地点列や余効滑りの大きい領域が位置している。また、破壊開始後 5 秒間には震源の北側には放射強度の大きいエリアがないこともわかった。

【謝辞】本研究では、防災科学技術研究所の K-NET および KiK-net の強震記録、気象庁及び福岡県震度観測網の強震波形記録を使用しました。各機関に感謝いたします。

(c) 結論ならびに今後の課題

P 波イメージング解析で得られる情報を事前情報として取り込んだ震源インバージョンにより、すべり速度分布の推定における時空間精度を向上した。2005 年福岡県西方沖地震の強震波形データに適用した結果、主破壊断層の破壊開始点から見て福岡側の下方約 5 km 付近にすべり量が最大の領域が求まった。この位置は、先行研究の結果と比較してやや深い、玄界島における被害状況と調和的である。この震源モデルは福岡県内の広域にわたって観測波形を良好に再現する。しかし、他の先行研究の震源モデル同様、福岡市内で局所的に観測されているやや短周期の大振幅のパルスはまだなお過小評価である。ローカルな構造以上の効果も含めてこの原因を解明することは今後の地震防災上の課題であろう。

今年度は、今年度中に発生した 2008 年岩手・宮城内陸地震の地震についてもソースイメージングを実施し、破壊開始 5 秒間における強震動生成域を推定した。

(d) 引用文献

- 1) Fujii, Y. and H. Takenaka: Grid Approach for kinematic source Inversion, 2003 AGU Fall Meeting, 2003.
- 2) Takenaka, H. and Y. Fujii: A compact representation of spatio-temporal slip distribution on a rupturing fault, J. Seismology, 12(2), 281-293, 2008.
- 3) Takenaka, H., T. Nakamura, Y. Yamamoto, G. Toyokuni and H. Kawase: Precise location of the fault plane and the onset of the main rupture of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets Space, 58, 75-80, 2006.
- 4) Asano, K. and T. Iwata: Source process and near-source ground motions of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, Earth Planets Space, 58, 93-98, 2006
- 5) Kobayashi, R., S. Miyazaki and K. Koketsu: Source processes of the 2005 West Off

- Fukuoka Prefecture earthquake and its largest aftershock inferred from strong motion and 1-Hz GPS data, *Earth, Planets Space*, 58, 57-62, 2006.
- 6) Horikawa, H.: Rupture Process of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture, Japan, *Earthquake Earth, Planets and Space*, 58, 87-92, 2006.
- 7) Uehira, K. et al.: Precise aftershock distribution of the 2005 West Off Fukuoka Prefecture Earthquake (Mj=7.0) using a dense onshore and offshore seismic network, *Earth Planets Space*, 58, 12, 1605-1610, 2006.
- 8) Hori, M., et al.: Three-dimensional seismic velocity structure as determined by double-difference tomography in and around the focal area of the 2005 West off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 12, 1621-1626, 2006.
- 9) Takenaka, H., Y. Yamamoto and H. Yamasaki,: Rupture process at the beginning of the 2007 Chuetsu-oki, submitted to *Earth, Planets and Space*, 61(2), 279-283, 2009.
- 10) 上野 寛, 畠山信一, 明田川保, 舟崎 淳, 浜田信生: 気象庁の震源決定方法の改善ー浅部速度構造と重み関数の改良ー, *験震時報*, 65, 123~134, 2002.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際・国内の別
近地P波記録のイメージングから得られた2008年岩手・宮城内陸地震における最初の5秒間の震源過程 (口頭)	竹中博士・山本容維	日本地震工学会大会	平成20年11月	国内
Source Process of the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki, Japan, Earthquake (Mw6.6): Initial Rupture and Asperities (口頭)	竹中博士・山本容維	WPGM2008	平成20年8月	国際
Imaging of the First Five Seconds in the Rupture Process of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku (Inland, Japan) Earthquake From the Local Strong-motion Records (ポスター)	竹中博士・山本容維	AGU Fall Meeting	平成20年12月	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際・国内の別
Rupture process at the beginning of the 2007 Chuetsu-oki, Niigata, Japan, earthquake	Takenaka, H., Y. Yamamoto and H. Yamasaki	Earth, Planets and Space	平成20年2月	国際

マスコミ等における報道・掲載

なし

(f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 21 年度業務計画案

破壊伝播の揺らぎに対応した震源インバージョン手法の高度化を図るため、破壊時刻分布を推定パラメーターに組み込むことを検討する。さらにリアルタイム強震動予測に適した震源モデルの検討も行う予定である。

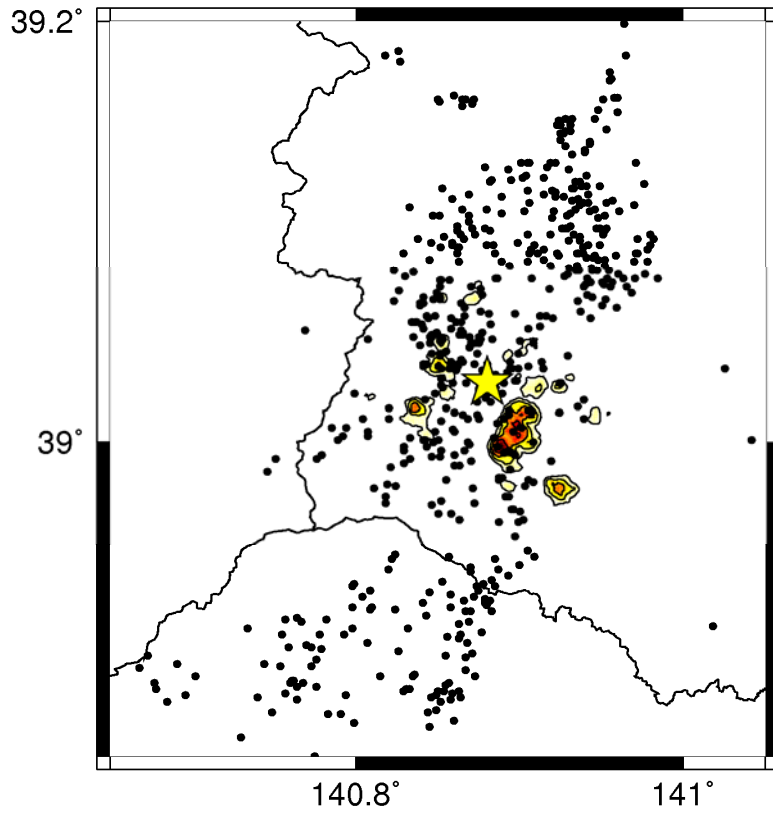


図 1. 放射強度イメージングと余震分布（12 時間）との比較。震源は気象庁の一元化震源。