

1946 年昭和南海地震及び 1944 年昭和東南海地震を対象とした非線形インバージョン法と津波痕跡高を用いた断層モデル推定

課題責任者

馬場 俊孝 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

著者

上谷 政人*

*徳島大学大学院創成科学研究科

キーワード：津波，非線形インバージョン，津波痕跡高，1946 年昭和南海地震，1944 年昭和東南海地震

1. はじめに

南海トラフでは駿河湾から日向灘沖にかけてのプレート境界を震源域として、約 100～150 年周期で巨大地震が発生している。前回発生した 1946 年昭和南海地震からおよそ 80 年経過しており、次の南海トラフ巨大地震とそれに伴う津波への対策が急務となっている。次の地震・津波の予測の高度化の為に過去に発生した地震の発生機構の解明は重要である。

津波波形により断層の破壊過程を推定する手法の一つに線形津波波形インバージョンがある。この手法は、津波波形に対して逆解析を行い断層の破壊過程をイメージする手法である。これまで数多の適用例があるが、本手法は津波の線形性(基底波形の重ね合わせが成り立つこと)を仮定しており、非線形性が強く現れる後続波や痕跡高データには利用できない。特に近代的な計測データが存在せず、痕跡高データしかない歴史地震の破壊過程の推定は困難である。これまでに、津波痕跡高を用いた非線形インバージョンの研究(安中ほか、1999)が行われているが、津波の非線形シミュレーションの計算コストの問題により、津波の非線形性の考慮のために数値計算による補正を加えた線形インバージョンの解析にとどまっている。

本研究では大規模津波計算と高度な数値モデルを用いた非線形津波インバージョンを新たに開発する。この手法を 1946 年昭和南海地震と 1944 年昭和東南海地震に適用して、津波痕跡高を説明する波源断層モデルを推定した。

2. 解析手法

まず、本研究で提案する非線形インバージョン法の仕組みを説明する。高性能計算機で非線形長波式による津波の伝播・遡上を含めた数値計算を繰り返し行い、イタレーションごとに断層パラメータのすべり量を元に計算した理論値と観測値の残差から、レーベンバーグ・マーカート法ですべり量の修正量を求めることで、断層パラメータのすべり量を逐次修正する(図 1)。

津波痕跡高は東北大学津波痕跡データベースのうち、昭和南海地震に関しては信頼度 A、昭和東南海地震に関しては信頼度 A、B、C のデータを使用した。昭和南海地震に関しては、是永ほか(2013)による津波痕跡高の選定方法を参考に津波痕跡高を選別した。昭和東南海地震に関し

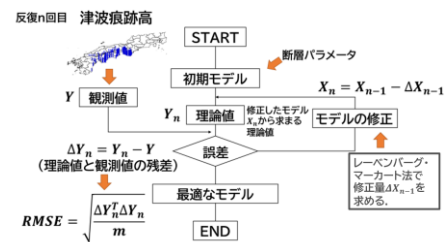


図 1. 本研究で開発した非線形インバージョン法の仕組み

ては、是永ほか(2013)による津波痕跡高の選定方法に加えて、新たに 10m 以上の高さとなった痕跡高を除いた。この基準で選別した結果、昭和南海地震の津波痕跡高のデータ数は 122、昭和東南海地震の津波痕跡高のデータ数は 99 となった(図 2)。

津波痕跡高は東北大学津波痕跡データベースのうち、昭和南海地震に関しては信頼度 A、昭和東南海地震に関しては信頼度 A、B、C のデータを使用した。昭和南海地震に関しては、是永ほか(2013)による津波痕跡高の選定方法を参考に津波痕跡高を選別した。昭和東南海地震に関しては、是永ほか(2013)による津波痕跡高の選定方法に加えて、新たに 10m 以上の高さとなった痕跡高を除いた。この基準で選別した結果、昭和南海地震の津波痕跡高のデータ数は 122、昭和東南海地震の津波痕跡高のデータ数は 99 となった(図 2)。

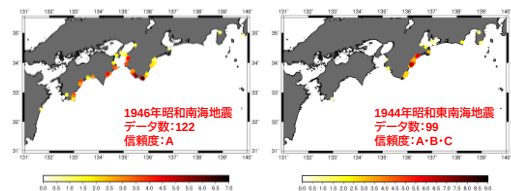


図 2. 本研究で使用した津波痕跡高の分布

津波計算は海洋開発研究機構が運用する地球シミュレータ(ES4)を利用した。地形データには Global tsunami Terrain Model を使用した。津波計算は非線形長波式を採用した。18 秒、6 秒、2 秒の格子間隔を持つ地形データで 3 層ネスティングを組み、計算時間を 3 時間、時間幅を

0.1 秒とした。断層モデルを用いた地殻変動の計算には半無限均質弾性体モデルを使用した。これに、海底斜面の水平変位による津波励と Kajiura フィルタを考慮した。

安中ほか(2003)で提案された 1946 年昭和南海地震及び 1944 年昭和東南海地震の断層モデルに基づいて、8 枚の小断層に分割した断層モデルを作成した。断層モデルのすべり量の初期値として、安中ほか(2003)の断層モデルのすべり量を使用した。

3. 解析結果

昭和南海地震の解析結果は、安中ほか(2003)モデルの計算値と痕跡高に対する $K-\kappa$, RSS(m^2) は 1.08-1.37, 82.6 であったことに対して、本研究の 8 枚の小断層モデルの $K-\kappa$, RSS(m^2) は 0.99-1.26, 43.8 であり、残差二乗和が 47%向上した(図 3)。新たな断層モデルでは既存のモデルと比べて四国沖から紀伊水道沖にかけて大きなすべりが見られ、最大すべり量は 7.16 m となった。新しい断層モデルの地震モーメントは 6.02×10^{21} ($N \cdot m$) であり、Baba et al. (2002) のモデルの 5.06×10^{21} ($N \cdot m$) を上回り、安中ほか(2003)のモデルの 7.02×10^{21} ($N \cdot m$) より小さい値となった。

昭和東南海地震の解析結果は、安中ほか(2003)モデルの計算値と痕跡高に対する $K-\kappa$, RSS(m^2) は 1.35-1.51, 360.1 であったことに対して、本研究の 8 枚の小断層モデルの $K-\kappa$, RSS(m^2) は 0.79-1.38, 113.7 であり、残差二乗和が 68%向上した(図 4)。新たな断層モデルでは既存のモデルと比べて、紀伊半島から志摩半島にかけて断層のすべりが見られることが共通している。紀伊半島東部から志摩半島にかけてのアスペリティの最大すべりは 7.56 m であった。新しい断層モデルの地震モーメントは 3.13×10^{21} ($N \cdot m$) で、Baba et al. (2006) のモデルの 1.82×10^{21} ($N \cdot m$) を上回り、安中ほか(2003)のモデルの 4.36×10^{21} ($N \cdot m$) より小さい値となった。

4. 考察

是永ほか(2013)津波痕跡高の選定基準を適用しないで昭和南海地震に関しては信頼度が A, 昭和東南海地震に関しては信頼度が A, B, C のすべての津波痕跡高データを使

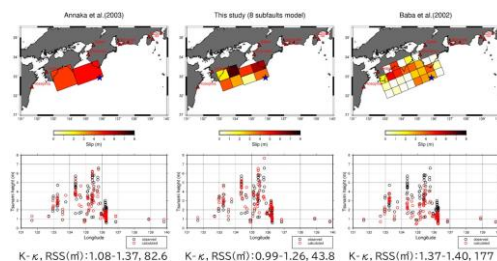


図 3. 1946 年昭和南海地震に対する提案手法で得られた新たな断層モデルと先行研究の断層モデル比較

って解析した。この場合、昭和南海地震は、安中ほか(2003)モデルの計算値と痕跡高に対する $K-\kappa$, RSS(m^2) は

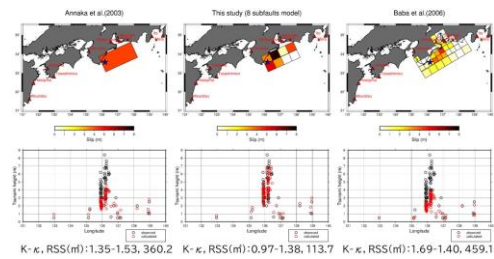


図 4. 1944 年昭和東南海地震に対する提案手法で得られた新たな断層モデルと先行研究の断層モデル比較

1.05-1.54, 133.6 であり、本研究の 8 枚の小断層モデルの $K-\kappa$, RSS(m^2) は 0.94-1.33, 90.6 であった。昭和南海地震の新しい断層モデルは津波痕跡高を良好に再現した。昭和東南海地震は、安中ほか(2003)モデルの計算値と痕跡高に対する $K-\kappa$, RSS(m^2) は 1.31-1.69, 1215.7 であり、本研究の 8 枚の小断層モデルの $K-\kappa$, RSS(m^2) は 0.94-1.58, 497.9 であった。どの断層モデルにおいても、三重県熊野市新鹿町で観測された 10m を超える 5 点の津波痕跡高(10.48m, 11.47m, 12.21m, 15.21m, 19.58m)を再現することができなかった。これは今井ほか(2022)で指摘されたように、新鹿町の局所的に高い津波痕跡高は断層運動のみでは説明することは難しく、海底地すべりの影響を考慮する必要があると考えられる。

謝辞

本研究の津波計算には地球シミュレータを利用させていただきました。記して、感謝いたします。

参考文献

- [1] 安中正ほか, 浅水変形効果を考慮した津波インバージョン手法に関する研究, 海岸工学論文集第 46 巻, 341-345, (1999)
- [2] 是永ほか, 確率論的津波ハザード評価における不確実さの取り扱いについて, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会予稿集, SSS35-P06, (2013)
- [3] 安中正ほか, 津波数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴. 地震工学研究発表会梗概集, 27, 39-39, (2003)
- [4] Baba, T., Tanioka, Y., Cummins, P. R., & Uehira, K., The slip distribution of the 1946 Nankai earthquake estimated from tsunami inversion using a new plate model. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 132(1-3), 59-73, (2002)
- [5] Baba, T., Cummins, P. R., Hori, T., & Kaneda, Y., High precision slip distribution of the 1944 Tonankai earthquake inferred from tsunami waveforms: Possible slip on a splay fault. Tectonophysics, 426(1-2), 119-134, (2006)
- [6] 今井ほか, 昭和東南海地震における新鹿の津波痕跡高の励起源について, 日本地震学会 2022 年度秋季大会, S17-08, (2022)