

# 物性不均質性・不確かさを考慮した信頼性の高い数値計算・パラメータ推定による固着すべり・推移予測・地震ハザード予測の統合的研究

堀 高峰 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター

堀 高峰<sup>\*1</sup>, 縣 亮一郎<sup>\*2</sup>, 飯沼 卓史<sup>\*1</sup>, 西本 昌<sup>\*3</sup>, 山本 優<sup>\*3</sup>, 日吉 善久<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター, <sup>\*2</sup> 海洋研究開発機構 海域地震火山部門 地震発生帯研究センター, <sup>\*3</sup> 大成建設 技術センター

キーワード: プレート間固着, 長周期地震動, 不均質構造, 有限要素法, グリーン関数

## 1. 大規模有限要素地殻変動計算プログラム・E-cycle FEM を用いた南海トラフ沿いのプレート境界及び分岐断層におけるすべり応答関数(グリーン関数)の計算

南海トラフにおけるプレートの固着・すべりの様子を海陸の地殻変動データから、その不確かさも含めて推定するシステムの構築を目指し、三次元不均質弾性構造モデルにもとづいて地殻変動を計算する手法を開発するため、三次元不均質構造モデルに基づき構築された既存の大規模有限要素法モデルを、南海トラフ沿いに存在する分岐断層の幾何学的形状を取り込んで再構築するとともに、プレート境界面の形状と三次元不均質構造モデルとの整合性を取るべく修正を行い、分岐断層の断層面及びプレート境界面におけるすべりに対する地表における変位応答グリーン関数を得るための計算を実施した。

プレート境界及び分岐断層の形状を反映した有限要素メッシュの構築を、比較のため物性値の異なる 3 モデル分、それぞれ ES4GPU1 ノードを 17 時間用いて実施した。図 1 に今年度作成した分岐断層の位置と形状を示す。

また、すべり応答関数(断層すべりと地表面での地殻変動とを結び合わせるグリーン関数)の計算を、ES4CPU を用いて実施した。断層面上のすべりを表現するためのスプライン関数を配置する位置を変えていき、走向方向及び傾斜方向の単位すべりそれぞれに対するグリーン関数を得た。図 2 にスプライン関数のノードの配置と計算されたグリーン関数の例を示す。また、修正したプレート境界面についても同様に計算を行い、グリーン関数を得た。上述の、物性値の異なる 3 モデルそれぞれについて計算を行うため、ES4CPU3 万リソースセット時間積を利用した。

## 2. 大規模有限要素地震動計算プログラム・E-wave FEM を用いた千島海溝沿いの巨大地震における長周期地震動評価

本課題では、大規模有限要素法に基づく地震動計算プログラム・E-wave FEM[1][2][3]の社会実装を目指し、民間企業と連携した長周期地震動の評価事例の蓄積を進めている。その一例として、千島海溝沿いの巨大地震を対象とした長周期地震動評価に関する取り組みについて紹介する。

今後発生が懸念される千島海溝沿いの巨大地震では、長周期地震動による、堆積層が厚い地域での超高層建築物や免震建築物、石油タンク等の固有周期が長い建築物

への影響が大きいと考えられる。そのため、当該地域での長周期地震動の評価が重要である。また、震源特性は不確実性を有しており、その選択により予測結果に大きなばらつきが生じる。そのため、多様な地震発生シナリオを考慮した検討が必要である。これまで、震源特性の不確実性を考慮した数十の震源モデルを構築し、ばらつきの大きさや各震源特性が長周期地震動に与える影響を分析してきた[4]。本課題ではシナリオをさらに増やした検討を試みる。さらに、長周期地震動が仙台や東京などほかの都市圏に及ぼす影響を考慮するために、評価のための計算領域にそれらの都市も含んだ検討を行う。現実的な地盤構造における地震動を 3 次元有限要素法により評価するため、北海道から関東地方までを含む領域に、3 次元不均質地盤構造の四面体二次要素メッシュ(約 19 億節点、14 億要素)を生成した。メッシュを生成し、並列計算用に領域分割するために、ES4GPU1 ノードを合計 5.8 時間用いた。有限要素法による地震動計算はスーパーコンピュータ「富岳」を用いた。震源モデルは、千島海溝沿いの根室沖、十勝沖に設定した。アスペリティ位置 2 ケース、アスペリティサイズ 2 ケース、破壊開始点 13 ケース、滑り量と破壊伝搬速度の揺らぎあり、なしの 10 ケースの、計 572 通りの震源モデルを考慮した。

図 3(a)・(b)、(c)・(d)に、それぞれ震源モデルの例 2 ケースと、それに対して大規模計算から求めた東日本における K-NET, KiK-net 観測点位置での疑似速度応答スペクトル(NS 成分、周期 7 秒)空間分布を示す。震源モデルの選択に応じて疑似速度応答スペクトルの分布が異なる。特に、遠距離伝播であっても人口集積が進む関東平野等の堆積層が厚い地域での差異が大きい。このことは、震源モデルの妥当性を検討する必要性を示すと共に、大規模計算の妥当性を観測記録等の既往知識から検証する必要性を示している。今後は、572 ケースの計算結果を仔細に調べると同時に統計処理等も行い、応答のばらつきに関する知見を引き出すことを試みる。

## 謝辞

本研究の一部(FEMによるグリーン関数計算)は、文部科学省委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」の一環としてとして実施されたものである。また、本研究の一部(FEMによる地震動計算)は、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「富岳」に

よる地震の大規模シミュレーションの基礎拡充と社会実装へ向けた展開」(課題 ID : hp230203) の一環として実施されたものである。本計算の一部は、スーパーコンピュータ「富岳」の計算資源の提供を受け、実施した。南海トラフ域の三次元不均質構造モデルの作成に用いたトラフ軸位置座標データは、内閣府より提供を受けた。

## 文献

- [1] Ichimura, T., Hori, M., Bielak, J., "A hybrid multiresolution meshing technique for finite element three dimensional earthquake ground motion modelling in basins including topography", *Geophysical Journal International*, Volume 177, Issue 3, 1221-1232, (2009).
- [2] Ichimura, T., Fujita, K., Tanaka, S., Hori, M., Lalith, M., Shizawa, Y., & Kobayashi, H., "Physics based urban earth-quake simulation enhanced by 10.7 BlnDOF  $\times$  30 K time-step unstructured FE non-linear seismic wave simulation", SC' 14, (2014).
- [3] Ichimura, T., Fujita, K., Quinay, P. E. B., Maddegadara, L., Hori, M., Tanaka, S. et al., "Implicit nonlinear wave simulation with 1.08 T DOF and 0.270 T unstructured finite elements to enhance comprehensive earthquake simulation", SC' 15, (2015).
- [4] 西本、谷、山本、縣、堀、"多様なシナリオを考慮した地震動評価と建物応答解析-千島海溝沿いの巨大地震を対象とした検討-"、大成建設技術センター報、No55、12 (2022).

震を対象とした検討-"、大成建設技術センター報、No55、12 (2022).

- [5] Park, J., Fujie, G., Wijerathne, L., Hori, T., Kodaira, S., Fukao, et al., "A low-velocity zone with weak reflectivity along the Nankai subduction zone", *Geology*, 38, 283-286, (2010).

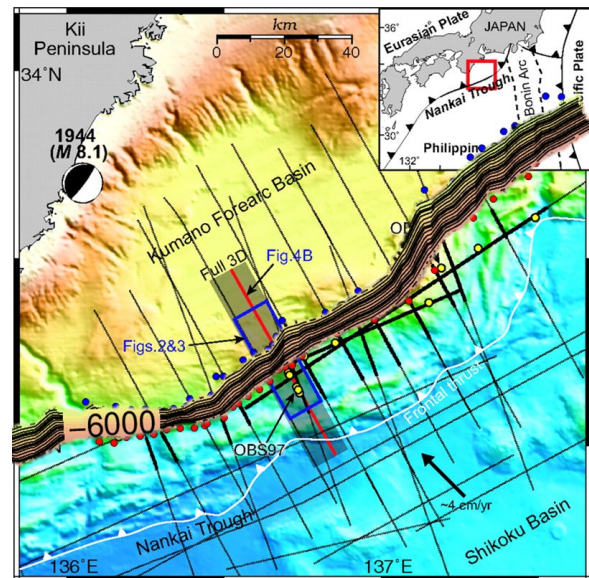


図1. 作成した分岐断面層面。等深線は 300m 間隔 ([5] に加筆)。

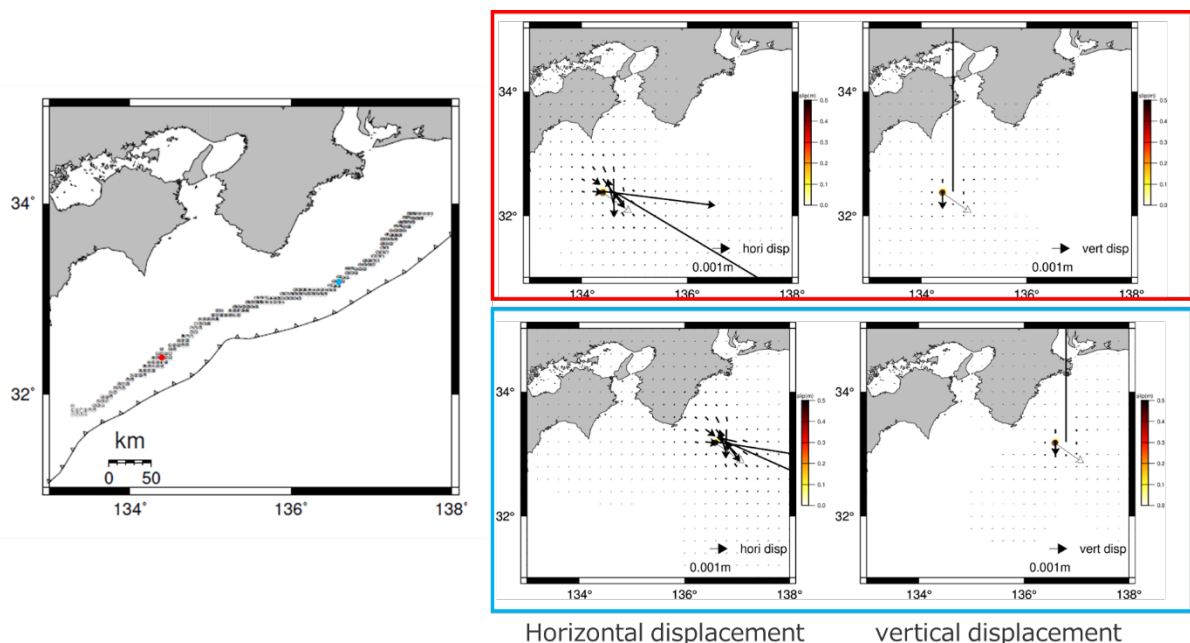


図2 構築した分岐断面層面上に配置したスプライン関数のノード配置 (計 213 点)。それぞれの位置に頂点を持つスプライン関数で走向・傾斜方向のすべり分布を与えて地表・海底での変位を計算し、グリーン関数を得た。左図の 51 のノード (赤丸) と 151 のノード (青丸) に傾斜方向のすべりを与えた場合の地表・海底での変位を右上下段に示す。各段の左は水平成分、右は上下成分を示す。

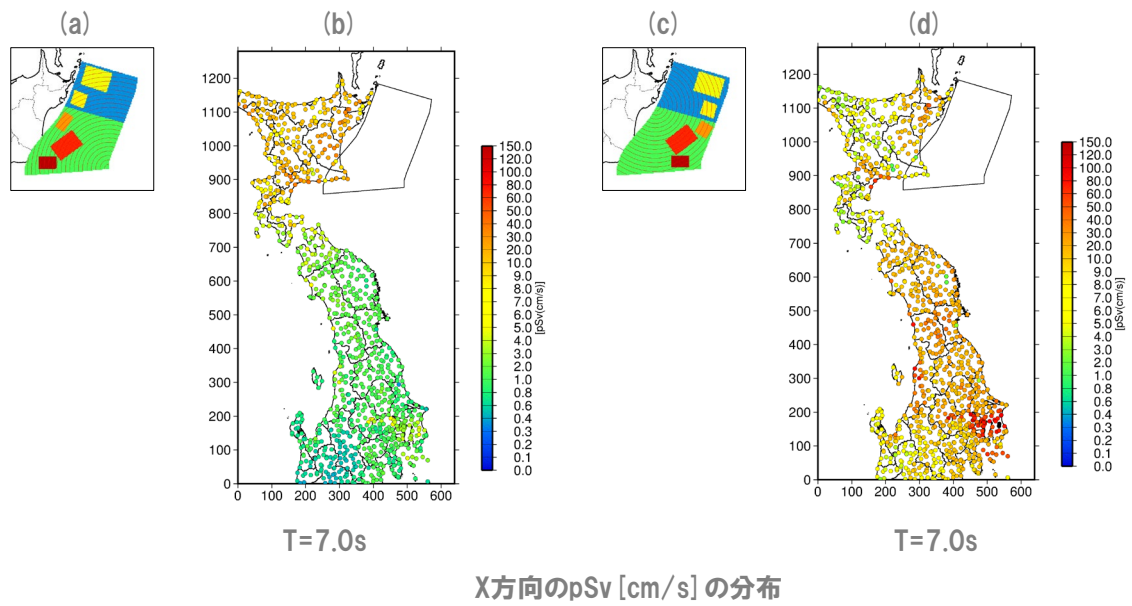


図 3. 震源過程 (a)、(c) による、K-NET、KiK-net 観測点位置での擬似速度応答スペクトル (NS 成分・周期 7 秒) の空間分布 (b)、(d)。