

地殻構造の高詳細有限要素モデルの導入が津波解析にもたらす影響の考察

東京大学 学生会員 ○縣 亮一郎
 東京大学 正会員 市村 強
 京都大学 非会員 平原 和朗
 海洋研究開発機構 非会員 兵藤 守
 海洋研究開発機構 非会員 堀 高峰
 東京大学 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

海溝型地震により引き起こされる津波の想定高さを設定する上で、与えられた震源断層に対する津波の順解析が必要となる。合理的な津波高さ想定のためには、精度の良い津波の順解析手法と同時に、震源断層に対する海底面上昇の解析（以下地殻変動解析）を精度よく行うことも必要であるが、地殻変動解析には地殻構造を単純化した解析解ベースの手法が主に用いられている。一方、東北地方太平洋沖地震のように、大きな津波を引き起こす地震は、海溝軸に達する大きな断層変位を持つ可能性が指摘されている。そのため、沈み込み帯の三次元構造を詳細に再現した地殻変動解析を導入することで、津波解析の結果が改善されると期待される。そのためには、有限要素法のような数値解析を使用した高分解能な地殻変動解析を行うことが望ましい。

津波解析と有限要素法による地殻変動解析を組み合わせた研究には、いくつかの先行例が存在する。だが、沈み込み帯周辺の地殻構造の分解能 1km のデータが入手可能であるのに対し、例えば Grilli *et al.*[1]や他の研究の有限要素モデルではやや大きめの分解能（数 km 程度）となっている。これらは、高分解能なモデルの生成、それを用いた解析ともに大きな計算負荷を伴うからだと考えられる。筆者らは、ハイパフォーマンスコンピューティングの技術に基づき、沈み込み帯を 1km 分解能で詳細に再現した有限要素モデル（HFM: High-fidelity model）を用いた地殻変動解析手法の開発を行ってきた（縣ら[2], Ichimura *et al.*[3] など）。本研究では入力した断層に対する地殻変動を、HFM と単純な地殻モデルで計算する。解析結果より地表面の上昇を調べ、その差が津波解析へ与える影響について考察する。

2. 手法

解析には、地殻構造のような複雑な形状を扱うのに適した有限要素法を用いる。本研究では数日程度の時間スケールを対象とするため、地殻変動を弾性変形の問題として扱う。食い違い断層は、節点分割法により入力する。共役勾配法とマルチグリッド法を組み合わせた高速解法により連立方程式の求解を行う[3]。東北地方太平洋沖地震震源域を含む 4 層地殻構造データから HFM を生成する。メッシュ生成には Ichimura *et al.*[3]の手法を用いる。この手法では、バックグラウンド構造格子を入力データである成層構造の地殻データ（数値標高データと物性値）にあてがうことで、三次元有限要素モデルの自動生成が行われる。これにより地殻の複雑な形状や物性の不均質性を考慮した高詳細な地殻構造モデルを堅牢かつ高速に生成できる。モデル化の対象範囲は $0 \leq x \leq 784\text{km}$ （東西）、 $0 \leq y \leq 976\text{km}$ （南北）、 $0 \leq z \leq 400\text{km}$ （鉛直）とする。モデルの自由度は 126,855,927 となった。比較対象として地殻形状も物性の不均質性も考慮しない単純化されたモデル（SM: Simplified model）を生成する。二種類のモデルの概観を図 1 に示す。震源断層は、Yagi *et al.*[4]によるものを用いる。入力した震源断層とモデル化範囲の位置関係を図 2 に示す。

3. 地殻変動解析結果

図 2 の震源断層を HFM, SM にそれぞれ入力し、地表面の応答を計算した。図 3 に HFM での z 方向地表面応答と、SM における結果との差を示す。変位場全体に、大きな差が出ていることが分かる。特に沈み込み帯付

キーワード 執筆要領, 書式, PDF ファイル, 電子投稿, 年次学術講演会

連絡先 〒160-0004 東京都新宿区四谷 1 丁目（外濠公園内） (公社)土木学会 全国大会係 TEL 03-3355-3442

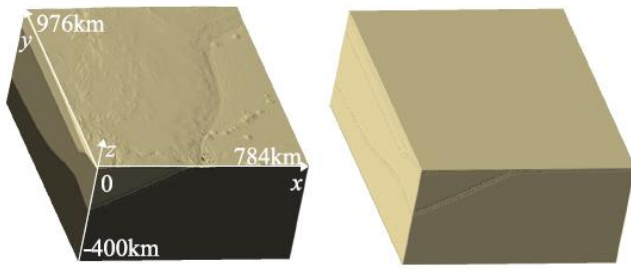


図1 HFM (左) と SM (右) の概観.

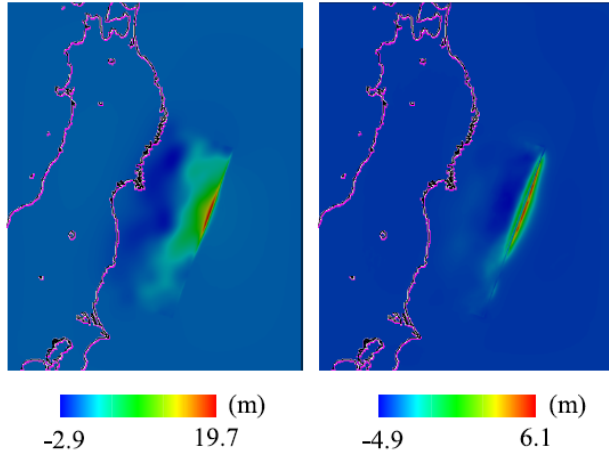


図3 HFM での z 方向変位 (左) と, SM との差(SM-HFM) (右).

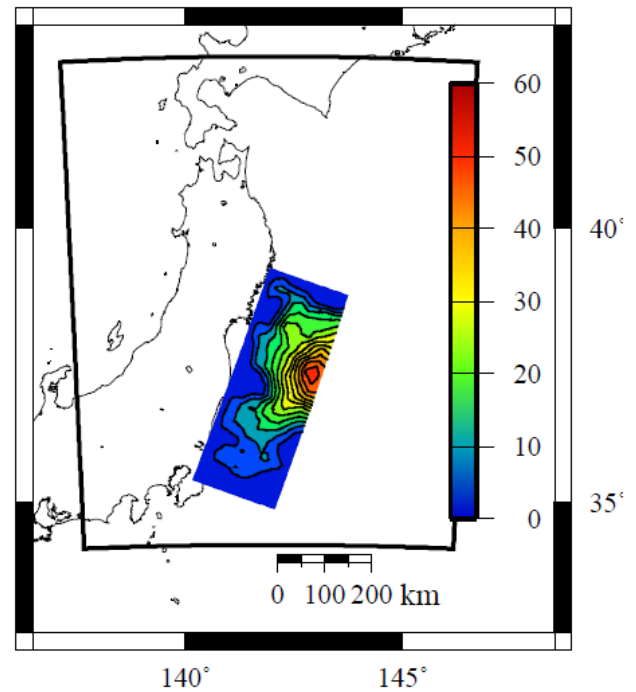


図2 Yagi et al. [4]をもとにした入力震源断層(すべり絶対値, m)とモデル化範囲の関係. 黒線がモデル化範囲を示す.

近において鉛直変位には最大で 6m 程度の差が生じており, SM における地殻形状と物性の単純化の影響と考えられる. 実際には図 3 の変位に加え, 斜面自体が x, y 方向に並進することによる上下変動も発生する. そのため, 津波の震源断層として, 二つの結果はより大きな差を持つと考えられる. これより, HFM を津波解析へと導入することによる, 解析結果への影響の大きさが示唆される.

4. おわりに

地殻構造の詳細な有限要素モデルと, 単純化された地殻モデルを用いて, 津波解析の入力となる地殻変動の解析を行い, 結果を比較した. 地表面の鉛直変位には最大で 6m 程度の差が生じたため, 沈み込み帯を詳細に再現することで, 津波解析の入力が大きく変わりうる事が示された.

謝辞

本論文の結果の一部は, 理化学研究所のスーパーコンピュータ「京」を利用して得られたものです(課題番号: hp120308). ここに感謝の意を表します.

参考文献

- [1] S. T. Grilli, J. C. Harris, T. S. T. Bakhsh, T. L. Masterlark, C. Kyriakopoulos, J. T. Kirby, and F. Shi. Numerical Simulation of the 2011 Tohoku Tsunami Based on a New Transient FEM Co-seismic Source: Comparison to Far- and Near-Field Observations. *Pure and Applied Geophysics*, 170:1333–1359, 2012.
- [2] 縣亮一郎, 市村強, 兵藤守, 堀高峰, 平原和朗, 堀宗朗: 震源断層の想定高度化に関する基礎研究-高詳細な三次元地殻構造モデルを用いた地殻変形解析手法の開発-, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 69(4): I767-I776, 2012.
- [3] T. Ichimura, R. Agata, T. Hori, K. Hirahara, and M. Hori. Fast numerical simulation of crustal deformation using a three-dimensional high-fidelity model. *Geophysical Journal International*, 195(3):1730–1744, 2013.
- [4] Yuji Yagi and Yukitoshi Fukahata. Rupture process of the 2011 Tohoku-oki earthquake and absolute elastic strain release. *Geophysical Research Letters*, 38(19), 2011.