

非構造格子有限要素法による3次元津波生成シミュレーション: 2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波生成過程の検討 3-D simulations of tsunami generation using an unstructured mesh FEM: investigation of the 2011 Tohoku-Oki Earthquake

大石 裕介^{1*}, Matthew D. Piggott², 前田 拓人³, Stephan C. Kramer², Gareth S. Collins², 対馬 弘晃⁴, 古村 孝志³
OISHI, Yusuke^{1*}, Matthew D. Piggott², MAEDA, Takuto³, Stephan C. Kramer², Gareth S. Collins², TSUSHIMA, Hiroaki⁴,
FURUMURA, Takashi³

¹ 欧州富士通研究所, ² Imperial College London, ³ 東大総合防災情報研究センター / 地震研究所, ⁴ 気象研究所

¹ Fujitsu Laboratories of Europe Ltd., ² Imperial College London, ³ CIDIR/ERI, The University of Tokyo, ⁴ Meteorological Research Institute

複雑な海底下での大地震の断層運動による津波の生成過程を詳しく評価するために、非構造格子有限要素法に基づく3次元非圧縮ナビエ・ストークス方程式計算による、効率の良い津波発生伝播シミュレーションを提案する。本手法を2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)における津波の生成過程シミュレーションに適用し、その有効性を検証する。

断層破壊による海底の地殻変動によって引き起こされる津波の一般的な津波シミュレーションにおいては、断層パラメータから Okada (1985) の式等により算出される海底地殻変動量を津波シミュレーションの初期条件として与えるのが一般的である。その際、海底変動領域が広域に及ぶことを考慮して、海底地殻変動量をそのまま水面での波高分布として与える近似が用いられることが多い。しかしながら、この近似は必ずしも成り立たず、ライズタイムが長い場合、地殻変動の水平スケールが小さい場合、水深が深い場合には、水面での波高は海底の変動量に比べ小さくなる傾向がある。例えば、Saito and Furumura (2009) ではこのフィルタリング効果について定量的な評価を行い、例えばライズタイムが短い際には、変動の水平スケールが水深の約10倍よりも短い場合にフィルタリング効果が見られることを示している。

2011年東北地方太平洋沖地震においては、海溝付近の浅い部分での大きな断層滑りが短波長の津波を引き起こしたことが知られている (e.g. Fujii et al., 2011; Maeda et al., 2011)。このような深海での短波長の津波生成を適切にシミュレーションに取り込むためには、フィルタリング効果の考慮は必須である。

フィルタリング効果を考慮した、海底地殻変動から水面での波高分布の算出方法としては、線形ポテンシャル理論等による近似に基づく解析解を用いる方法 (e.g. Takahashi, 1942; Kajiura, 1963) と、近似を用いずに3次元方程式を解く、より現実的な方法 (e.g. Takahashi and Furumura, 2009) とがある。しかしながら、3次元計算を行う場合、特に2011年東北地方太平洋沖地震のように震源域が広範囲に及ぶケースにおいては、その計算コストは非常に大きくなる。そこで、本研究では非構造格子有限要素法を用いて3次元非圧縮ナビエ・ストークス方程式を解くことで、効率的に津波の生成過程の3次元計算を行う。非構造格子を用いることにより、均一な構造格子を用いる従来の方法に比べて、計算時間とメモリが大幅に節約できるほか、さらに、海溝付近の複雑な海底地形を高精度に評価することができる。津波シミュレーションの入力となる海底地殻変動については、Saito and Furumura (2009) による3次元差分計算同様、海底面で速度場に対する流入境界条件として課し、地震による海底地殻変動の時間変化により、海底直上の海水移動による流速の変化として計算に組み込む。その際、計算を効率化するように節点を配置する。鉛直方向には、海底面の境界層を含め、鉛直方向の速度・圧力構造を効率よく表現するように節点を配置する。

本発表では、本手法と線形ポテンシャル理論による解析解との比較による本手法の精度の検証、2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)における津波の生成過程への本手法の適用結果、本モデルの並列計算効率について報告する。

キーワード: 非構造格子, 有限要素法, 津波, シミュレーション, 東北地方太平洋沖地震

Keywords: unstructured mesh, finite element method, tsunami, simulation, the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake