

地震波・海中音波・津波の動的連成シミュレーションの試み

Unified Dynamic Numerical Simulation of Seismic, Ocean Acoustics, and Tsunami Waves

前田 拓人^{1*}, 古村 孝志¹

Takuto Maeda^{1*}, Takashi Furumura¹

¹東京大学総合防災情報研究センター

¹CIDIR, III, the University of Tokyo

はじめに

2004年スマトラ沖地震に伴うインド洋津波以降、津波の早期警報システムの整備が進められ、日本でも海底津波計による水圧力データがリアルタイムで取得されるようになってきた (Tsushima et al., 2009)。こうした津波記録には、地震波の到来後に海水中を伝わる音波とその水中多重反射波、そして津波による圧力変動と地殻変動に伴う静的な圧力変化まで、長時間にわたって広帯域な地震随伴現象が含まれている。本研究では、重力平衡状態にある弾性体と海水モデルでの地震波動問題を数値的に解くことで、地震波、海中音波、津波、そして地殻変動を一括して再現し、地震発生から津波の伝播までを統一的な説明を試みる。

差分法による地震—津波連成数値計算

弾性体の上に海水が重畳している媒質を考える。海水層は剛性率0の弾性体として取り扱い、線形の弾性体運動方程式に重力項を加えた方程式系を、スタガードグリッド差分法を用いて解く。なお、海水中の応力テンソルの対角成分は、地震波伝播に伴う動的な項と水圧が重力と平衡する静的な項からなる。また、海水は地殻媒質よりも体積弾性率が小さく、膨張および圧縮に伴う密度の変化が無視できない。そこで、連続の方程式 (質量保存則) を運動方程式に線形の範囲で結合した方程式 (e.g., Podlyapolsky, 1968; Novikova et al., 2002) を用いて計算を行う。なお、3次元Navier-Stokes方程式による津波計算 (e.g., Saito and Furumura, 2009) に見られる非線形の移流項は本研究では考慮しない。本計算で評価される津波は、線形長波方程式の海水の非圧縮の条件下での解に相当する。

地震波と津波は伝播速度が数倍以上異なるため、地震波伝播から津波伝播までの長時間の計算を短い時間ステップで行う必要がある。このため、計算の安定化と自由表面の境界条件の高精度化を行った。また、津波は波長が長く、地震動計算で一般に用いられる吸収境界条件 (e.g., Cerjan et al., 1985) ではモデル境界からの人工反射を十分消去することができないため、Perfectly Matching Layer境界条件 (Moczo et al., 2007) を導入するなど、計算の工夫を行った。

結果

S波速度4 km/s、密度2.7 g/cm³のポアソン媒質の上に5,000 mの海水層が重畳したモデルを用いて、3次元の地震—津波数値計算を行った。スラスト型のメカニズムを持つ点震源を海底面下4 kmに置き、周期2秒の時間幅を持つHerrmann (1979) 関数を震源時間関数として地震波を発生させ、海底および海面変位の時間変動を求めた。計算結果を見ると、まず、震源から放射された地震波が海底面で海中音波に変換し、これが海面に到達して海面を押し上げる様子が再現された。この海面変位は、弾性体では地震地殻変動に伴う永久変位に対応する。次に、海面に現れた

変位は、時間の経過とともに重力を復元力として海面を津波として伝播する。また、津波の後からも、海面と海底面の間を重複反射しながら伝わる海中音波が、海面に複雑な変位を作り出す様子も確認できた。なお、海底地殻変動は、半無限媒質における解析解 (Okada, 1985) と良く一致することを確認し、津波伝播も線形長波モデルとの比較から確認した。

本計算により、従来の津波計算のように海面変動を初期値として与えることなく、地震地殻変動により海面に津波が生成し、伝播する過程を直接再現することができる。たとえば、ゆっくり地震など、断層破壊速度の遅い地震に伴う津波の生成や、複雑な海底地形で問題となる、水平地殻変動の寄与 (e.g., Tanioka, 2000) についても評価が可能となることが期待される。

謝辞

本研究は、H20-24年度文科省委託研究「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト②連動性を考慮した強震動・津波予測地震・津波被害予測研究」の一環として行った。数値計算は海洋研究開発機構の地球シミュレータ共同利用プロジェクト「3次元不均質媒質中での波動伝播と強震動の数値シミュレーション」によって行った。

キーワード:地震波,津波,数値シミュレーション

Keywords: seismic wave, tsunami, numerical simulation