東北地方太平洋沖地震津波を対象とした原子力発電所における砂移動モデルの適用性検討

東北電力㈱　正会員　○菅野　剛
東北電力㈱　正会員　平田一穂
東北電力㈱　正会員　斉藤知秀

１．はじめに

原子力発電所は，発電設備の冷却機能を確保するため常時海水を取水しており，津波来襲時にもその機能が損なわれないことが安全対策上，重要である．津波時の取水機能確保のためには，水位の上昇・低下に対する安全性に加え，海底砂の移動・堆積に伴う通水性，および砂の混入に対する取水ポンプの健全性を確保する必要があり，津波時の砂移動状況を適切に評価することが重要となる．

一方，津波時の砂移動モデルは，これまで各種提案されており，2011 年東北地方太平洋沖地震津波（以下，「3.11 地震津波」と呼ぶ．）による現地検証的研究がなされているが，掃流砂量式や浮遊砂濃度の上限値設定など，各モデルに違いが見られることから，今回，東北電力㈱女川原子力発電所を対象に，当該サイトの適切な砂移動評価を目的として，砂移動モデルに係る適用性に関する検討を行った．

２．検討手法

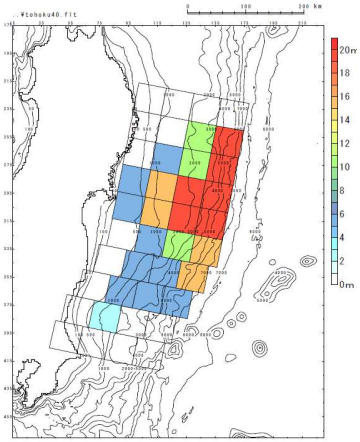
検討にあたって，まず 3.11 地震津波を再現する津波波源モデル（図−１）を構築し，解析結果と痕跡高や潮位観測記録（発電所港湾内の潮位計観測記録）と比較すること等により，津波波源モデルの妥当性を確認した．図−２に潮位観測記録の再現性を示す．なお，津波波源モデルは藤井・佐竹 40 枚断層モデル(Ver. 4. 0)　をもとにすべり量を調整し作成した．

次に，藤井ほか(1998)[1]，高橋ほか(1999)[2]，高橋ほか(2011)[3]による砂移動モデルを用いた砂移動評価に係る数値解析を行い，それぞれ 3.11 地震津波の前後の深浅測量結果（平成 23 年 5 月と平成 18 年 5 月の深浅測量結果の差分）と比較することにより，3.11 地震津波時の海底砂の堆積・浸食状況の再現性を確認することとした．砂移動評価に係る数値解析フローを図−３に示す．

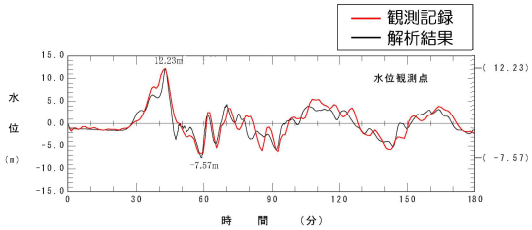
なお，本解析に用いた砂の諸元は，調査結果に基づき，中央粒径 0.215㎜，密度 2,716kg/m^3 を用いた．また，浮遊砂上限体積濃度は 1%と設定した．

３．砂移動モデルの適用性検討および考察

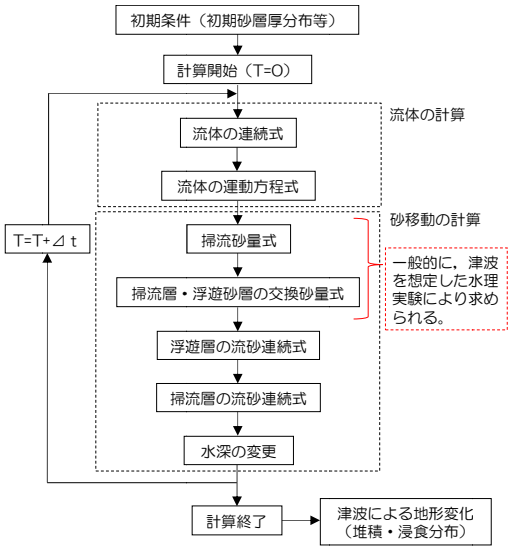
3.11 地震津波前後の海底地形変化量（堆積・浸食分布）について，実測結果を図−４に，解析結果を図−５～図−７に示す．



図−１　3.11 地震津波の波源モデル



図−２　潮位観測記録の再現性



図−３　砂移動評価に係る数値解析フロー

キーワード　2011 年東北地方太平洋沖地震，原子力発電所，砂移動解析
連絡先　〒980-8550　仙台市青葉区本町１丁目７番１号　TEL 022-799-6103

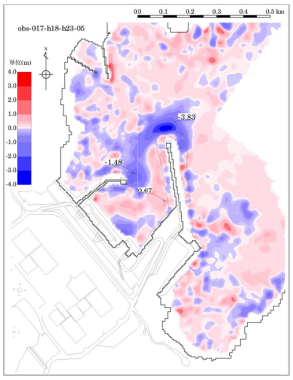


図-４　地形変化量分布
（実測：H23.5-H18.5）

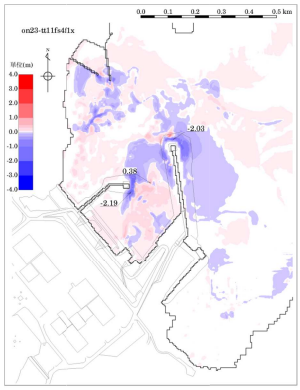


図-５　地形変化量分布
（解析：藤井ほか(1998)）

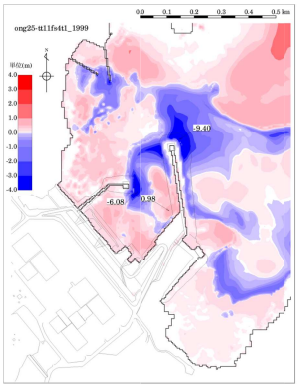


図-６　地形変化量分布
（解析：高橋ほか(1999)）

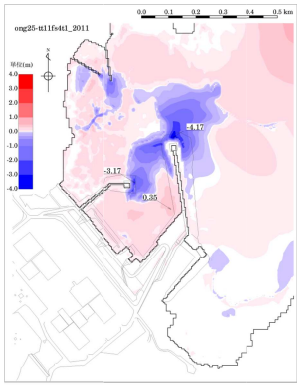


図-７　地形変化量分布
（解析：高橋ほか(2011)）

実測（図-４）と各モデルを用いた解析結果（図-５～図-７）を比較すると，高橋ほか(1999)（図-６）は，防波堤先端部など局所的に浸食が過大となる傾向が見られる一方，高橋ほか(2011)（図-７）では，全体的な地形変化の分布傾向ならびに港湾内の部分的な堆積量や防波堤先端部の浸食傾向を概ね良好に再現していることが確認された。また，藤井ほか(1998)では，全体的に，堆積・浸食量が過小となる傾向が見られた．

さらに，流況傾向から砂移動が顕著になると考えられる港湾内観測点（図-８）での浮遊砂濃度の時刻歴データを抽出し，高橋ほか（2011）とその他モデルを比較した結果，高橋ほか(1999)の浮遊砂濃度は大きく，藤井ほか(1998)のそれは小さくなる傾向を示しており，浸食・堆積分布と同様な傾向であることを確認した(図-９)．

高橋ほか(2011)によれば，高橋ほか(1999)の水理実験の不備※1の可能性を指摘するとともに，砂粒径に着目した水理実験により掃流砂量・巻き上げ砂量の粒径依存性※2を明らかにするなど，改善した関係式（無次元掃流砂量および無次元巻き上げ砂量とシールズ数との関係式）を再提案している．このため，より精緻な数値モデルと考えられる高橋ほか(2011)において，再現性が向上したものと考えられ，本検討は，これら既往研究の分析とも整合的な結果となっている．

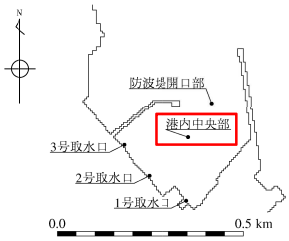


図-８　時刻歴データの抽出位置

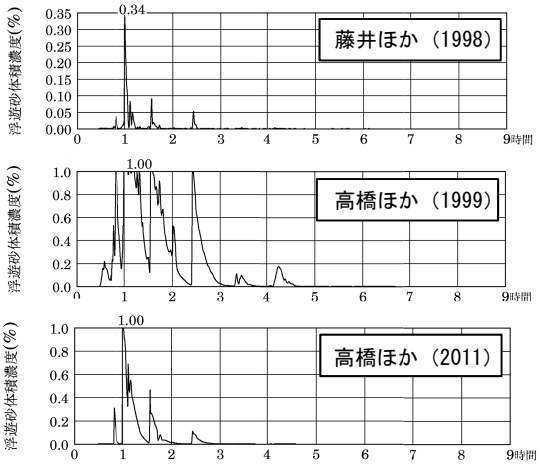


図-９　浮遊砂濃度の時刻歴データ
（浮遊砂上限体積濃度１%，港内中央部地点）

※１　ヘッドタンクから細い円管で水路内に流れを導く際の整流化が十分でなかった点など．

※２　砂の粒径 d を 0.166mm，0.267mm，0.394mm と変化させて水理実験を実施（高橋ほか(1999)は d=0.2mm のみ）．

４．まとめ

本検討の結果，各種砂移動モデルのうち高橋ほか(2011)の砂移動モデルが最も再現性が高く，さらに浮遊砂上限体積濃度を１%とした場合，津波による海底地形変化を良好に再現できることを確認した．

参考文献：１）藤井直樹ほか：津波による海底地形変化に関する研究，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.376-380，1998.
２）高橋智幸ほか：掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.606-610，1999.　３）高橋智幸ほか：津波による土砂移動の粒径依存性に関する水理実験，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.67，No.2，2011，Ⅰ_231-Ⅰ_235，2011.