

人工浅場の表層土砂の安定性と波浪の作用に伴う浅場内部の水圧変動に関する三次元数値シミュレーション

名古屋大学高等研究院 正会員 ○ 中村 友昭
 JFE エンジニアリング株式会社 正会員 篠田 陽介
 名古屋大学大学院工学研究科 正会員 水谷 法美

1. 緒言: 多様な生物相を育む浅場は高い生態系機能を有していることから、生物多様性の保全と生物機能の回復を目的に多くの人工浅場が造成されてきた。しかし、侵食や堆積の卓越に加えて液状化とそれに伴う締め固めが生じるなどして物理的な特性が変化し、期待された生物相が得られない事例が報告されている。そこで、現地海岸に造成されている人工浅場周辺の地形は非常に複雑であることから、本稿では理想化した形状の単純な人工浅場を取り扱い、浅場表面での流速変動に加えて液状化に到る有効応力の減少を評価するために浅場内部での水圧変動の観点から、3次元波浪場・地形変化連成数値計算モデルを用いて地形変化の特性を考究する。

2. 数値計算手法: 波浪場と地形変化の相互作用を解析できる3次元連成数値計算モデル(中村・Yim, 2009)を用いて解析を行った。同モデルは、浅場の土砂内部の間隙流体を含む全気液相に適用できるように一般化したNavier-Stokes方程式に基づくLES(Large-Eddy Simulation)に、気液界面を追跡するMARS(Multi-Interface Advection and Reconstruction Solver; 功刀, 1997)に基づくモジュールとRoulundら(2005)を基に構築した掃流砂輸送に伴う地形変化を追跡するモジュールがTwo-Wayカップリング手法により組み込まれている。このモデルの妥当性は、孤立波による海浜断面の地形変化(中村・Yim, 2009)やジェット水流による岸壁前面の局所洗掘(中村ら, 2009)の再現計算により確認されている。詳細は中村・Yim(2009)を参照されたい。

3. 計算条件: 図-1に計算領域の概略図を示す。同図に示すように、計算負荷の軽減のために現象が $y=0$ に対して対称と仮定し、 $y \geq 0$ の計算領域に高さ2.0 m、天端幅4.5 m、天端長4.5 m、法面勾配1/10の浅場(土砂の中央粒径0.1 mm、密度 $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 、空隙率0.40)を設定した。静水深は2.5 mとし、対象とする現地海岸を想定した波高 $H=0.5 \text{ m}$ 、周期 $T=5.0 \text{ s}$ の規則波を作用させた。波の作用時間は、計算所要時間の観点から現時点では長期間を対象にした計算は現実的ではないことから、本稿では波作用直後の初期に焦点を絞り、短期間での地形変化を検討するために60秒間とした。

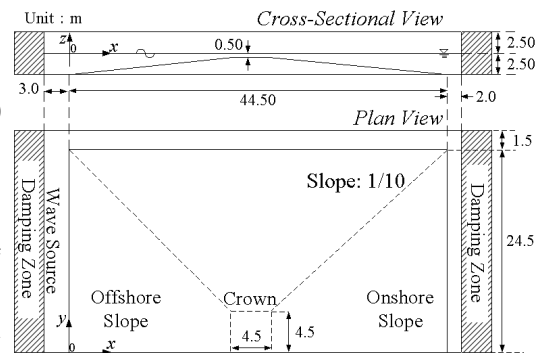


図-1 計算領域の概略図

4. 計算結果及び考察: 図-2に計算終了時(時刻 $t=60.0 \text{ s}$)の波浪場と地形変化の様子を示す。同図では鉛直方向を10倍に拡大して示しており、浅場表面の等高線に沿う段差は鉛直方向の拡大のために初期地形でも見られる形状である。図-2より、計算終了時でも浅場の形状に大きな変化は認められず、その表面に若干の凹凸が確認できる程度であることが分かる。同時刻での初期状態からの地形変化量 Δz_s (堆積を正とする)を示した図-3より、天端沖側部と沖側稜線で侵食が、そのすぐ沖側で堆積が生じる傾向が確認できる。図-4に計算

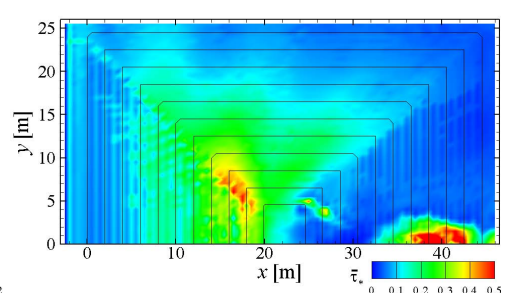
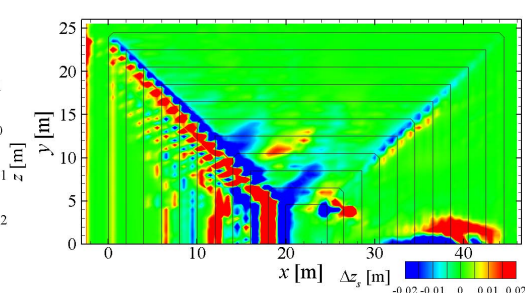
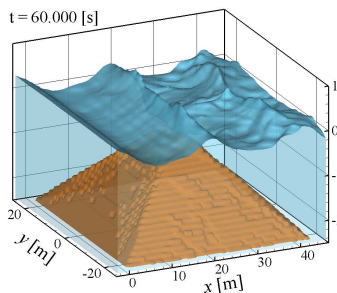


図-2 計算終了時の波浪状況

図-3 地形変化量 Δz_s (堆積を正)

図-4 平均 Shields 数 $\bar{\tau}_s$

キーワード 人工浅場, 地形変化, 安定性, 数値解析, Shields 数, 有効応力

連絡先 〒464-8601 名古屋市千種区不老町 名古屋大学高等研究院 Tel: 052-747-6519

終了直前の一周期間 ($t = 55.0 \sim 60.0$ s) の平均 Shields 数 $\bar{\tau}_s$ の分布を示す. 同図より, 沖側稜線の上部を中心とする浅場の沖側部, 天端の岸側隅角部, 岸側法面の $y = 0.0$ m 付近で $\bar{\tau}_s$ が大きく, 図-3 に示した地形変化の発生位置との対応が確認できる.

浅場内部での有効応力を評価するために, ここでは善ら (1987) に倣って浅場表面での水圧と浅場内部での間隙水圧の差からその間の土砂に作用する鉛直有効応力を推定し, それを初期鉛直有効応力で除した相対鉛直有効応力比 RESR (Relative Vertical Effective Stress Ratio) を用いる. 図-5 に無次元水位変動 η/H の時間変化と RESR の最大値および最小値の鉛直分布を例示する. ここで, C1~C6 は上記で特徴的な Δz_s や $\bar{\tau}_s$ が見られた位置 (図-6 参照) を表しており, z' は浅場表面を原点とする鉛直上向き座標である. また, 図-5 では $T = 3.0, 7.0$ s の計算結果も同時に示した. 図-5 より, C2 の $T = 7.0$ s を除いて, 最大 RESR は浅場表面から約 0.3 m 下方で最も大きく, その値は侵食位置の C1 で他の地点よりも大きいことが確認できる. これは, C1 表層での鉛直有効応力が大きく低下していることを表していることから, その周辺での土砂の移動が助長された可能性があるかと推測される. 同様の現象は遡上津波による局所洗掘を対象にした中村・水谷 (2008) によっても確認されていることから, 中村・水谷 (2008) に倣って地形変化の計算に用いる Shields 数を RESR により評価し直し, その修正した Shields 数を用いて計算を行った. 図-7 に RESR を考慮して得られた地形変化量と図-3 の Δz_s との差 Δz_s^{diff} (堆積を正とする) を示す. 同図より, 沖側稜線の下部や岸側稜線などでは Δz_s^{diff} は非常に小さいものの, RESR を考慮することで天端の沖側部や岸側隅角部で Δz_s^{diff} が負, すなわち侵食深が大きくなる傾向が確認できる. したがって, 有効応力を考慮しないと侵食深を過小評価する可能性があることから, 地形変化を検討する際には有効応力の考慮は重要であると考えられる.

参考文献: [1] 功刀, 機論 B, 63, 609, 1576-1584, 1997. [2] 善・山崎・渡辺, 港研報告, 26, 4, 125-180, 1987, [3] 中村・水谷, 海洋論, 24, 57-62, 2008. [4] 中村・水谷・篠田・小山, 海工論, 56, 486-490, 2009. [5] 中村・Yim, 海洋論, 25, 1227-1232, 2009. [6] Roulund・Sumer・Fredsoe・Michelsen, *J. Fluid Mech.*, 534, 351-401, 2005.

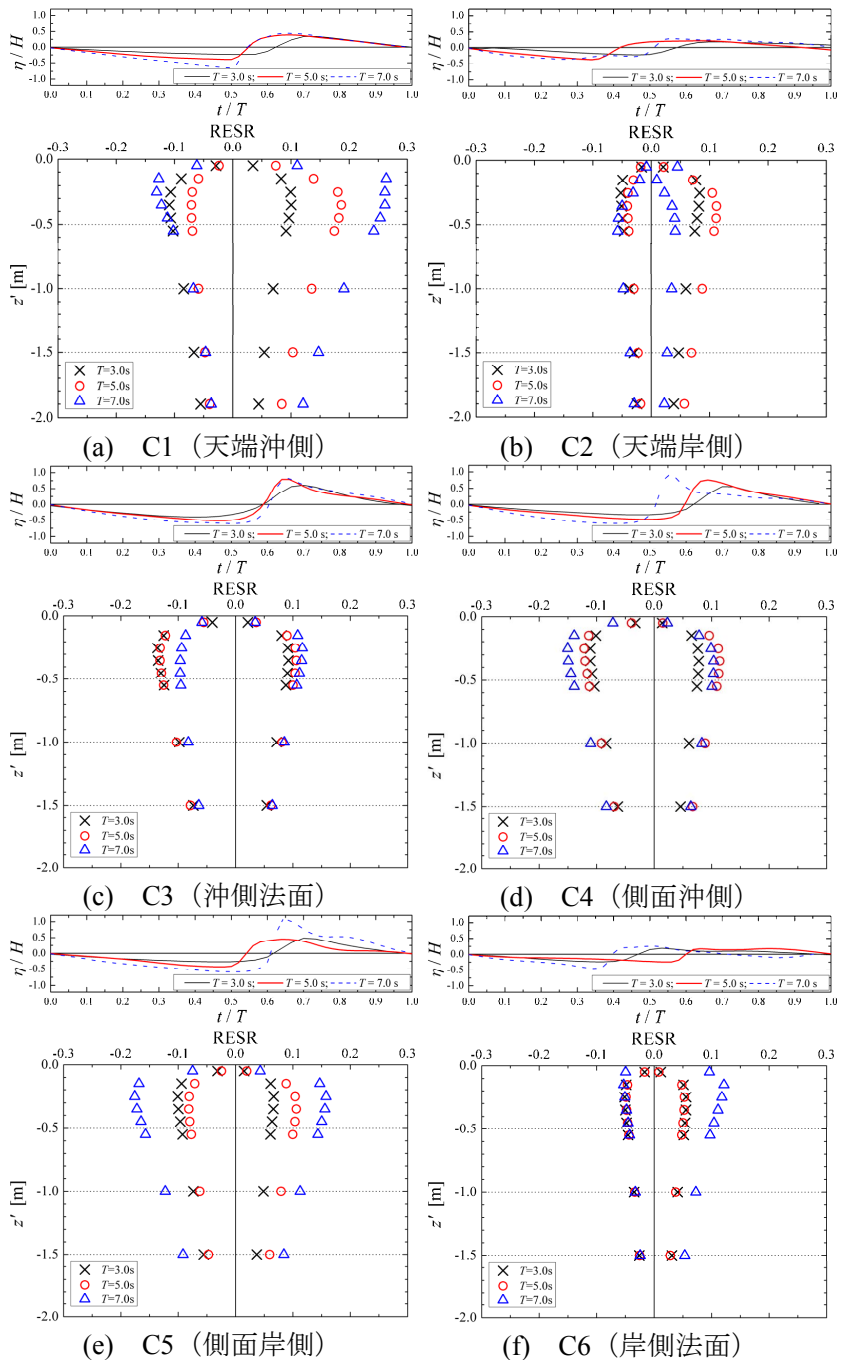


図-5 無次元水位変動 η/H と最大・最小 RESR

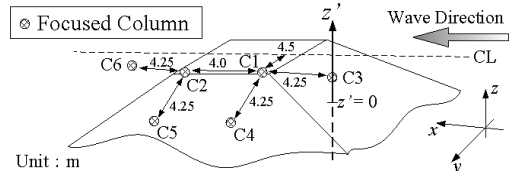


図-6 RESR の検討対象地点

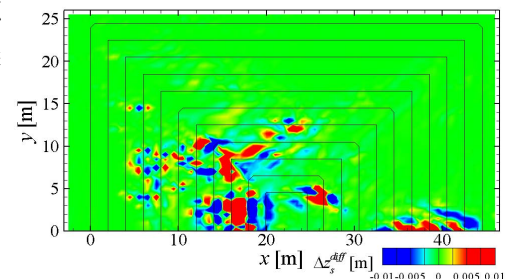


図-7 RESR の考慮の有無による地形変化量の差 Δz_s^{diff} (堆積を正)