

浅場の表面に生じる流速と水圧変動に関する一考察

名古屋大学工学部 学生会員 ○ 石原 遼
 名古屋大学高等研究院 正 会 員 中村 友昭
 名古屋大学大学院工学研究科 正 会 員 水谷 法美

1. はじめに : 近年, コンテナリゼーションに伴う船舶の大型化により大水深の航路やバースが求められていることから, 浚渫作業で生じる土砂はこれまで以上に大量に発生している. しかし, 埋立地の需要が減少していることもあり処分場の確保が問題となっていることから, 土砂の有効活用が求められている. その一つとして, 浚渫土砂による人工浅場の造設が挙げられる. これは, 上述した浚渫土砂の有効活用としてだけではなく, 海域環境の再生とそれに伴う生態系の回復を目的としているものの, 浚渫土砂のために粒径が非常に小さく, 浅場を構成する土砂の安定性が懸念されている. 本研究では, 粒径の小さい浚渫土砂により造設される人工浅場を取り扱い, 土砂の安定性の評価に欠かせない流速と水圧変動を数値解析により検討する.

2. 数値計算モデルの概要 : 波動場と地形変化の相互作用を解析できる 3 次元数値計算モデル (中村・Yim, 2009) を用いて解析を行った. 同モデルは, 波動場を解析するモデルと地形変化を解析するモデルから構成されており, 両モデルは Two-Way カップリング手法を用いて接続されている. ただし, 本稿では地形変化は取り扱わないことから, 波動場のモデルの概要を以下説明する. このモデルは透過性材料の間隙内部の流体を含む全気液相に適用できるように一般化した連続式, Navier-Stokes (NS) 方程式, VOF (Volume of Fluid) 関数の移流方程式を支配方程式としており, NS 方程式では透過性材料の間隙内部で作用する慣性力と抗力の効果 (Mizutani ら, 1996) を考慮している. また, 気液界面の追跡には MARS (Multi-Interface Advection and Reconstruction Solver ; 功刀, 1997) を採用し, 界面の勾配を考慮した移流計算を行っている.

3. 計算結果および考察 : 図-1 に数値波動水槽の概略図を示す. 同図に示すように, 計算領域に高さ 3.5 m, 天端幅 60.0 m, 法面勾配 1/50 の浅場を設定した. 浅場の構成材料は空隙率を 0.4 で一定とし, 中央粒径 $d = 0.15 \text{ mm}$ の細砂と $d = 1.5 \text{ mm}$

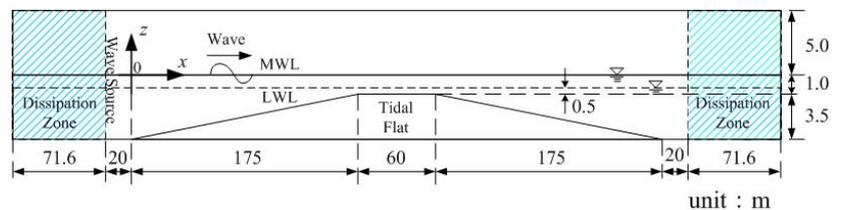


図-1 数値波動水槽の概略図

の粗砂の 2 種類を想定した. 静水深は LWL (4.0 m) と MWL (5.0 m) の 2 種類とし, 入射波として周期 $T = 5.2 \text{ s}$, 波高 1.5 m の周期波を作用させた. また, x 軸は浅場の沖側法尻を原点とする岸向き座標とし, z 軸は MWL での静水面の位置を原点とする上向き座標とした. 計算領域は, 浅場の沖側と岸側にそれぞれ 20.0 m, MWL の静水面から上に 5.0 m 確保した $-20.0 < x < 430.0 \text{ m}$, $-5.0 < z < 5.0 \text{ m}$ とし, $x = -20.0 \text{ m}$ に造波ソースを設定した. 本論では, 浅場の表面に生じる流速変動を評価するために Shields 数を, 浅場の表層に生じる水圧変動を評価するために相対有効応力比 (Relative Effective Stress Ratio ; 以下, RESR と称する) を用いる. ここで, RESR は平均有効応力変動を初期平均有効応力で除した量として定義されるが, 本論では善ら (1987) に倣って水圧変動の差から鉛直有効応力変動を求め, それを平均有効応力変動として用いることで RESR を算出した.

図-2 に, 細砂 ($d = 0.15 \text{ mm}$) を想定したときの MWL での波高, 平均水位, 平均 Shields 数の分布を示す. 同図では, 浅場周辺の波動場が安定したとみなせる無次元時刻 t / T が 18.0 から 21.0 までの 3 周期平均の値を示した. 図-2 より, 沖側法面の下部 ($x < 150 \text{ m}$) では波高,

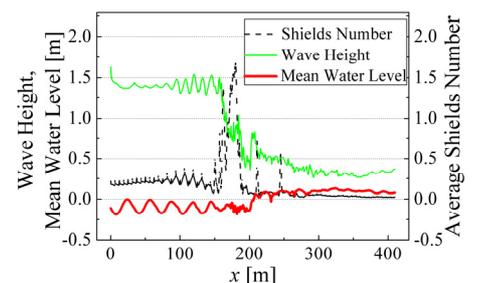
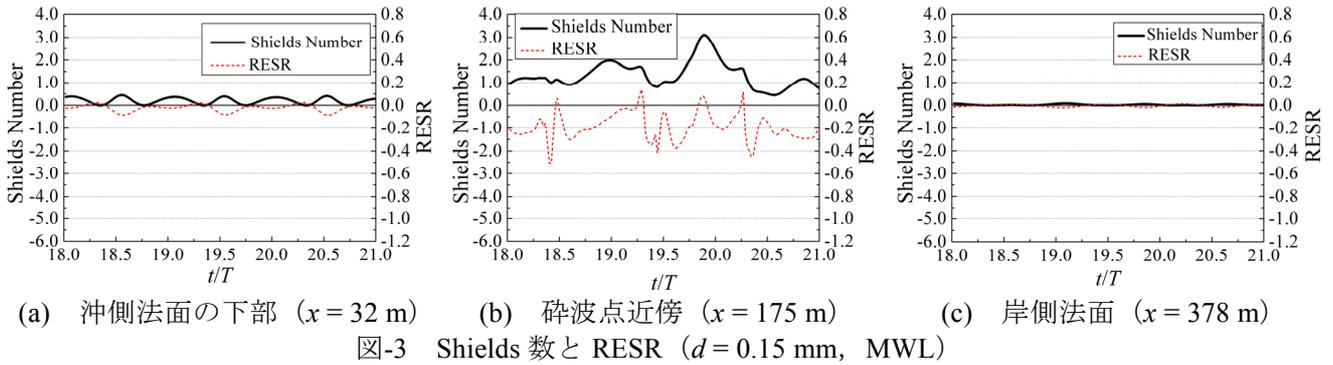


図-2 波高, 平均水位, 平均 Shields 数 ($d = 0.15 \text{ mm}$, MWL)



平均 Shields 数とともにほぼ一定値を示していることが分かる。その後、天端の沖側端 ($x = 175$ m) の近傍で砕波が生じるとともに波高が減少し、それに伴い平均 Shields 数も増加していることが確認できる。一方、岸側法面 ($x > 235$ m) では平均水位の上昇が認められることが分かる。図-3 に、沖側法面の下部 ($x = 32$ m)、砕波点近傍 ($x = 175$ m)、岸側法面 ($x = 378$ m) での Shields 数と RESR の時間変化を示す。同図より、沖側法面の下部と岸側法面では Shields 数の増加時に RESR が減少することが分かる。一方、砕波点の近傍では沖側法面の下部や岸側法面と比較して Shields 数が大きく、また Shields 数の増加時に RESR も増加する傾向が確認できる。したがって、RESR の増加、すなわち浅場の表層での鉛直有効応力が低下し、土砂粒子間の拘束力が弱まったところへ比較的大きい Shields 数が生じていることから、砕波点近傍の土砂は他の場所よりも動きやすい状態になっていると考えられる。静水深が異なる LWL での波高、平均水位、平均 Shields 数を示した図-4 より、砕波点が MWL と比較して沖側に移動し、さらに天端水深が小さいことから、砕波点 ($x = 125$ m) の近傍に加えて天端上 ($175 < x < 235$ m) においても Shields 数の増加が認められることが分かる。ただし、紙面の都合上図示しないが、Shields 数と RESR の関係は MWL のときとほぼ同じであることを確認している。

図-5 に粗砂 ($d = 1.5$ mm) を想定したときの MWL での波高、平均水位、平均 Shields 数を示す。同図より、波高と平均水位に関しては細砂を想定した場合とほぼ同じ傾向を示しているものの、平均 Shields 数は砕波点においても細砂のときと比較して小さいことが確認できる。砕波点近傍 ($x = 175$ m) での Shields 数と RESR を示した図-6 より、細砂の場合と比較して RESR の振幅は大きくなっていることから、浅場の表層に作用する鉛直有効応力が粗砂のときよりも大きく変動していることが分かる。ただし、瞬間的に RESR が大きくなっている位相を除けば、RESR が正のときの値は細砂の場合とあまり変わらず、また細砂のときと比較して Shields 数の最大値がかなり小さいことから、粗砂の方が浅場の土砂はより安定であると推測される。

4. おわりに: 粒径の小さい浚渫土砂により造成される人工浅場の安定性を評価するために、浅場の表面に生じる流速と水圧変動をそれぞれ Shields 数と相対有効応力比 RESR を用いて検討し、土砂の中央粒径および静水深の違いが Shields 数や RESR に与える影響を確認した。今後は、地形変化も考慮した計算を行い、人工浅場の安定性に与える流速と水圧変動の影響をさらに検討する予定である。

参考文献: [1] 功刀 (1997), 機論 B, 63(609), 1576-1584. [2] 中村・Yim (2009), 海洋開発, 25, 1227-1232. [3] 善ら (1987), 港研報告, 26(4), 125-180. [4] Mizutani ら (1996), 25th ICCE, 2377-2390.

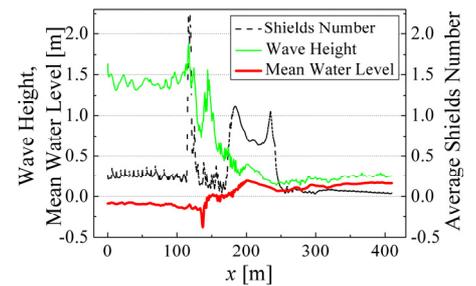


図-4 波高、平均水位、平均 Shields 数 ($d = 0.15$ mm, LWL)

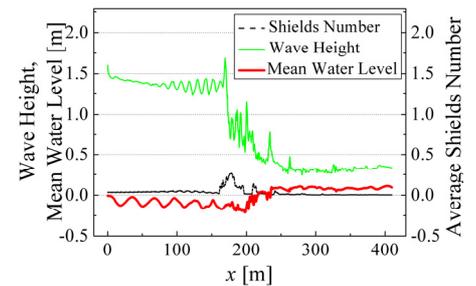


図-5 波高、平均水位、平均 Shields 数 ($d = 1.5$ mm, MWL)

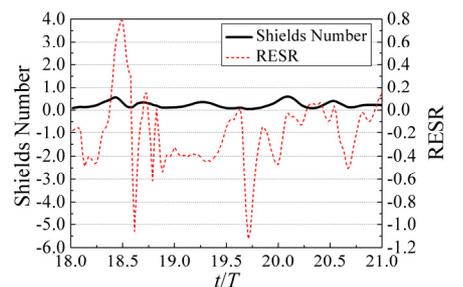


図-6 砕波点近傍での Shields 数と RESR ($d = 1.5$ mm, MWL)