

浚渫土砂から成る人工浅場の地形変化に及ぼす波動場の影響に関する2次元数値解析

名古屋大学大学院工学研究科	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、浚渫作業によって生じる土砂の処分場の確保が困難となっている。加えて、船舶の大型化によって大水深の航路やバースが求められていることから、浚渫土砂はこれまで以上に大量に発生している。そのため、土砂の有効活用が求められている。一方、海域環境の再生とそれに伴う生態系の回復を目的に人工浅場の造成が各地で行われており、現在、その造成に浚渫土砂を用いるといった試みがなされている。しかし、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、浚渫土砂から成る人工浅場の地形変化を対象とした水理模型実験（根笹ら、2012）に中村・水谷（2010）の数値計算モデルを適用し、モデルの妥当性を検証するとともに、浅場の地形変化特性について検討する。

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 次元連成数値計算モデル (中村・水谷, 2010) を用いて解析を行った. 波動場を解析するモデルは, 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 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, 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. 地形変化の計算は掃流砂輸送と浮遊砂輸送をともに考慮して行っており, 浮遊砂濃度の計算も行っている. この地形変化を計算するモデルが, 波動場との相互作用を考慮できるように Two-Way カップリング手法により波動場の解析に組み込まれている.

3. 計算条件: 根笹ら (2012) による水理模型実験を基に計算条件を設定した. 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 20.0 cm, 天端幅 200.0 cm, 法面勾配 1/20 の浅場を設定した. 静水深 h は MWL (27.5 cm) と LWL (22.5 cm) の 2 種類とし, 入射波は周期 $T = 1.0$ s, 波高 $H_i = 6.5$ cm の周期波を基準とし, 比較のために $T = 1.0$ s, $H_i = 2.5$ cm や $T = 1.6$ s, $H_i =$

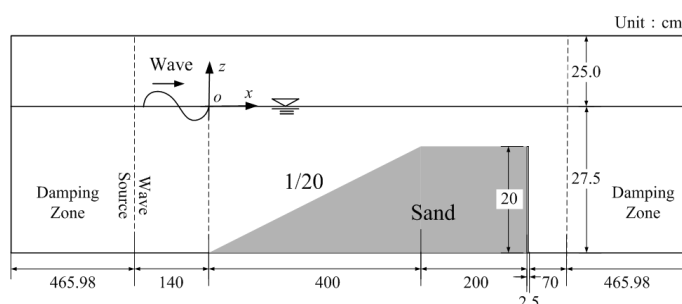
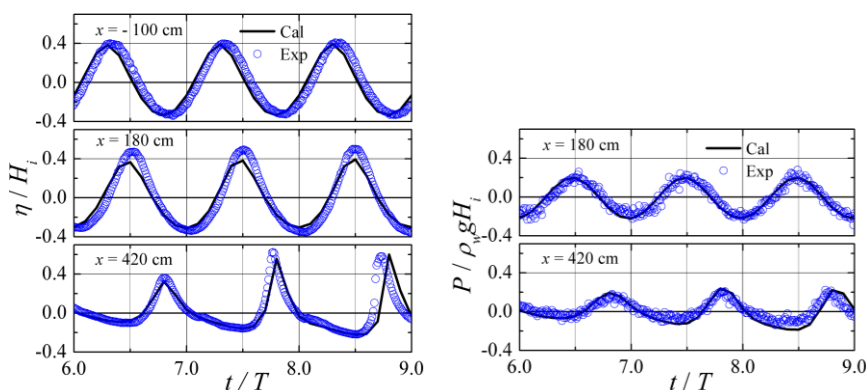


図-1 数値波動水槽の概略図

6.5 cm のケースも行った．浅場底質の中央粒径 d_{50} は 0.10 mm とし，比較のために $d_{50} = 0.20$ mm も行った．また，浅場底質の空隙率は 0.4，底質の密度は $2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ とした．座標軸は，図-1 に示すように， x 軸は浅場の沖側法尻を原点とする岸向き座標， 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．

4. 計算結果および考察：図-2 に、無次元水位変動 η / H_i と底質表面より 3.0 cm 下での無次元水圧変動 $P / \rho_w g H_i$ (ρ_w ：水の密度； g ：重力加速度)の時間変化の比較を例示する．同図より、碎波後である $x = 420$ cm では水位変動、水圧変動ともに実験値と若干の位相差が生じているものの、水位変動、水圧変動ともに実験値を比較的良好に再現できていることが分かる．図-3 と図-4 に、計算開始



(a) 無次元水位變動 η / H_i (b) 無次元水圧變動 $P / \rho_w g H_i$

図-2 実験値との比較 ($h = 27.5 \text{ cm}$, $T = 1.0 \text{ s}$, $H_i = 6.5 \text{ cm}$)

60 s 後における初期地形からの地形変化量 Δz の比較を示す。同図において、実線が計算値、破線が実験値である。また、計算では砂漣を解像できるほど小さい格

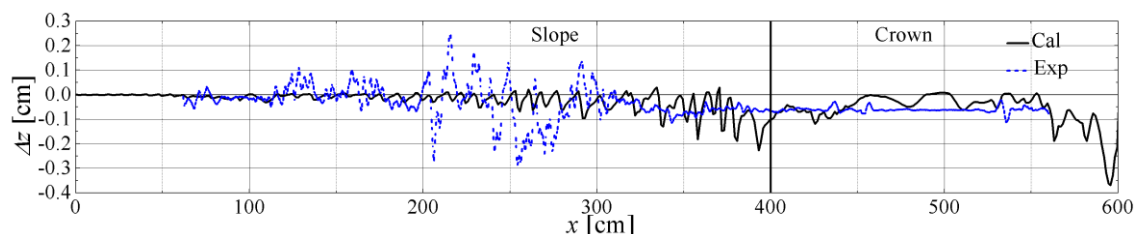


図-3 地形変化量 Δz (波作用 60 s 後, $h = 27.5$ cm, $T = 1.0$ s, $H_i = 6.5$ cm)

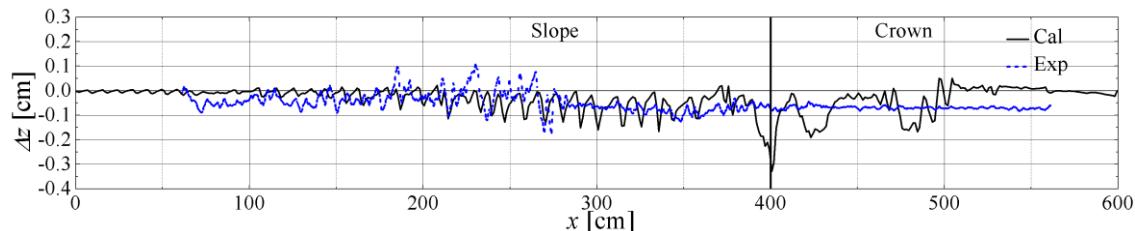
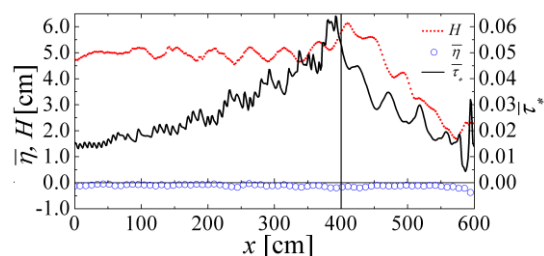


図-4 地形変化量 Δz (波作用 60 s 後, $h = 22.5$ cm, $T = 1.0$ s, $H_i = 6.5$ cm)

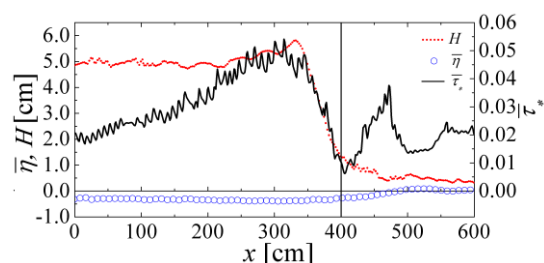
子を用いていないために、ここでは砂漣の検討は行わないことから、同図では計測値を隣接平均した地形を実験値として示した。図-3 と図-4 より、計算では法面の中央部 (図-3 : $x = 200 \sim 300$ cm ; 図-4 : $x = 180 \sim 270$ cm) における凹凸を過小評価しているものの、法面では計算値、実験値ともに侵食傾向を示していることが分かる。一方、天端上に着目すると、実験ではほぼ一様に侵食が生じているものの、計算では図-3 では天端の沖側部および岸側部、図-4 では天端の中央部および沖側部にのみ侵食が集中して生じており、全体的に過小評価していることが分かる。ただし、図-3 と図-4 から分かるように、実験における天端上の侵食量は静水深によらずほぼ同程度であることから、この地形変化は波の作用によって生じた地盤の締め固めによる沈下の影響もあるものと考えられ、そのために天端上では全体的に過小評価する傾向が現れたと推測される。

図-5 に、波高 H 、平均水位 $\bar{\eta}$ 、平均 Shields 数 $\bar{\tau}_*$ の計算結果を示す。同図では、浅場周辺の波動場が安定したときの 3 周期平均の値を示している。同図(a)より、法面では波の伝播とともに平均 Shields 数が増加し、その後、天端の沖側上で碎波が生じるとともに波高と平均 Shields 数が徐々に減少していることが分かる。一方、同図(b)より、静水深 h が同図(a)と比較して小さいことから、碎波点が沖側へ移動し、法面の上部 ($x = 340 \sim 400$ cm) において碎波が生じていることが分かる。また、そのために碎波後の天端上では沖側に比べて波高が十分に小さくなっていることが分かる。図-3、図-4 と図-5 を比較すると、平均 Shields 数が大きい位置で地形変化が生じているものの、図-5(b)における $x = 400$ cm のように、法面の上部から天端上にかけては必ずしも対応していないことから、平均 Shields 数のみでは地形変化の議論を十分に行うことができないと言える。

5. おわりに： 浚渫土砂から成る人工浅場の地形変化を連成数値計算モデルにより検討した。その結果、水理模型実験結果との比較により同モデルの妥当性を示すとともに、人工浅場の法面の上部から天端上にかけて生じた地形変化は必ずしも平均 Shields 数と対応しないことを示した。今後は、浅場の地形変化の特性についてさらに検討し、Shields 数の時間変化や浅場内部の水圧変動の影響も考慮していく予定である。



(a) $h = 27.5$ cm, $T = 1.0$ s, $H_i = 6.5$ cm



(b) $h = 22.5$ cm, $T = 1.0$ s, $H_i = 6.5$ cm

図-5 波高 H 、平均水位 $\bar{\eta}$ 、
平均 Shields 数 $\bar{\tau}_*$

参考文献： [1] 功刀 (1997), 機論 B, 63, 609, pp. 1576-1584. [2] 中村・水谷 (2010), 数値流体力学シンポジウム, 24, E10-4, 9 p. [3] 根笹・中村・水谷 (2012), 平成 23 年度土木学会中部支部, 印刷中. [4] Roulund・Sumer・Fredsoe・Michelsen (2005), J. Fluid Mech., 534, pp. 351-401.