

渦度を考慮した魚礁周辺の底面地形変化の予測手法に関する研究

東洋建設名古屋支店	正会員	○ 神野夏樹
名古屋大学大学院	正会員	水谷法美
ポートコンサルタント	正会員	古川 清
名古屋大学大学院	正会員	岩田好一朗

1. はじめに: 人工魚礁が砂質底面上に設置された場合、砂の移動に伴う局所洗掘や魚礁の沈下・埋没が生じ、魚礁の機能維持の大きな障害となることがある。この対策のためには、魚礁周辺の洗掘の機構とその予測手法を確立する必要がある。本研究では、魚礁周辺の局所洗掘に着目し、水理実験を行ってその実態を明らかにするとともに、局所洗掘を含む底面地形変化の予測手法について検討を加えるものである。

2. 水理実験: 2次元造波水槽(長さ25m, 幅0.7m, 深さ0.95m)に、 $d_{50}=0.038\text{cm}$ の珪砂を充たしたサンドプール(長さ1.8m, 幅0.7m, 深さ0.15m)を有する水平床を設置して水理実験を行った。水平に均した砂面上に魚礁模型(一辺8cmの立方体の不透過構造物)を設置した。静水深(h)を40cmとし、規則波を底面地形がほぼ平衡状態に達したと思われるまで連続して作用させた(約3600波)。なお、入射波の周期Tを3種類(1.0, 1.4, 1.8s)、波高Hを洗掘が発生する最小の波高から砕波するまで数種類変化させた。

3. 数値解析: Navier-Stokesの運動方程式と連続式を基礎方程式として、構造物周辺の流速場をSOLAスキームを用いた差分法により計算した¹⁾。構造物による流れの変化が及ぶ範囲は小さいと考え、計算領域を自由表面を含まない水中領域とし、一辺1cmの立方体のstaggerd meshに分割した。上面を含む開境界条件として三次のStokes波の流速値を、また、壁面の境界条件として計算領域の側面および底面はfree-slip条件を、構造物の壁面はno-slip条件を与えた¹⁾。

4. 実験及び数値解析結果: 図-1に実験終了時の構造物周辺の地形を、また、図-2に底面上0.5cmにおける構造物周辺の渦度 ω_{xy} の空間分布を例示する。洗掘は構造物の隅角部を中心に生じ、逆に側面では堆積傾向となる。数値解析結果より、この隅角部では渦の発生により渦度が周辺に比べ非常に大きくなっているのが確認できる。一方、砂の堆積が認められる構造物側面では、渦度は小さくなる傾向がある。

水理実験による目視観察によると、構造物の隅角部では渦により砂が巻き上げられ、移動することが確認されており、本研究で対象とするような局所洗掘には、渦の寄与が大きいことが確認できる。このことは、局所洗掘を予測する際必要となる漂砂量式に渦度を考慮する必要があることを示唆するものである。

5. 底面地形変化の予測手法: 本研究では工学的な観点から、底面変化が起こる前の流れ(流速)を使って最終的な地形変化を求めるものとする。すなわち、以下の仮定の下で計算を行う。①底面流速として、底面上0.5cmにおける構造物周辺の流速の計算値を用いる。②この流速、および渦度は、地形変化によって変化しない。③地形変化の時間発展は、瞬時の流速および渦度を用いて計算する。ただし、②の仮定より、底面地形の平衡状態は判定できないため、実験で得られた平衡状態に達したとみなされる時間まで計算を行うこととする。

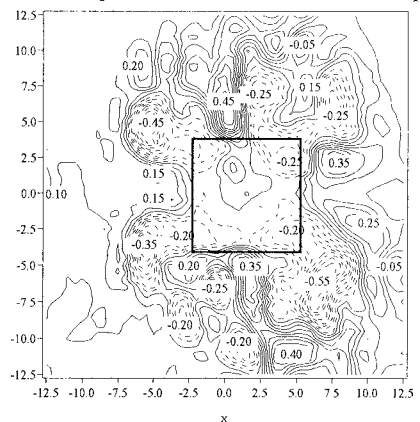


図-1 構造物周りの地形変化の例
($T=1.0\text{s}$, $H=9.0\text{cm}$)

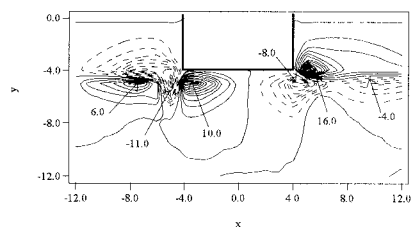


図-2 渦度 ω_{xy} の分布の計算例
($T=1.0\text{s}$, $H=9.0\text{cm}$, $z=0.5\text{cm}$)

キーワード: 人工魚礁, 局所洗掘, 地形変化, 渦度

¹⁾ 千464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 FAX 052-789-1665

漂砂量式は式(1)が一般に広く使われているが²⁾、本研究では更に渦の効果をとり入れた式(2)を新たに提案し、その妥当性を検証する。

$$q_s = A_1 \frac{w_f d_{50}}{1 - \lambda_0} (\Psi - \Psi^*) \cdot \Psi^{0.5} \quad (1) \quad (q_x, q_y) = A_1 \frac{w_f d_{50}}{1 - \lambda_0} \left(\Psi + \alpha \left(\frac{V_b |\omega|}{sg} \right)^\beta - \Psi^* \right) \cdot \sqrt{\frac{f_w}{2sgd_{50}}} (u, v) \quad (2)$$

ここに、 q_s は漂砂量(q_x, q_y : x 方向および y 方向の単位時間、単位幅当たりの漂砂量)、 λ_0 は底質の空隙率、 s は底質の水中比重、 g は重力加速度、 w_f は沈降速度、 Ψ はシーلز数、 Ψ^* は移動限界シーلز数、 $V_b = \sqrt{u^2 + v^2}$ (u, v は x, y 方向流速)はベクトル合成した底面流速の大きさ、 ω は z 軸まわりの渦度、 α および β は実験で得られた最大洗掘深と $V_b |\omega| / sg$ の関係から求められる無次元係数、 A_1 は無次元係数である。

底面地形高 h を式(3)に示す底質の連続式に漂砂量式を代入して計算するが、式(1)、式(2)の両式はともに海底地形変化の影響を直接的には含んでいない。そこで、渡辺ら³⁾にならない、 q_x, q_y に海底地形変化の影響を考慮した q'_x, q'_y (式(4)) を使用する。

$$\frac{\partial h(x, y; t)}{\partial t} = - \left(\frac{\partial q'_x(x, y; t)}{\partial x} + \frac{\partial q'_y(x, y; t)}{\partial y} \right) \quad (3) \quad \begin{cases} q'_x(x, y; t) = q_x(x, y; t) - \varepsilon_s |q_x(x, y; t)| \frac{\partial h(x, y; t)}{\partial x} \\ q'_y(x, y; t) = q_y(x, y; t) - \varepsilon_s |q_y(x, y; t)| \frac{\partial h(x, y; t)}{\partial y} \end{cases} \quad (4)$$

ただし、式(4)の形から明らかなように、底面勾配が砂の安息角以上の勾配であっても漂砂量が 0 ならば砂の移動を評価しないことになるので、この場合は、安息角を満たすように砂を移動させることとする。なお、砂の安息角を 35° とし、 λ_0 を 0.4、 s を 1.65、 d_{50} を 0.038、水の動粘性係数 ν を 0.01、 Ψ^* を 0.07、 A_1 を 0.08、 α を 0.35、 β を 0.51 とした。また、 ε_s は正の定数であり、その値は試行計算によって定めた。

図-1 の実験結果および図-3 の計算結果から、構造物の隅角部で発生する洗掘に関しては、式(1)、式(2)とも再現できているのに対し、式(2)では、式(1)では再現できなかった構造物側面での砂の堆積も再現できている。この結果から、本研究で対象とする隅角部を有する立方体構造物周辺の底面地形変化を予測するためには、渦度を考慮した漂砂量式を用いる

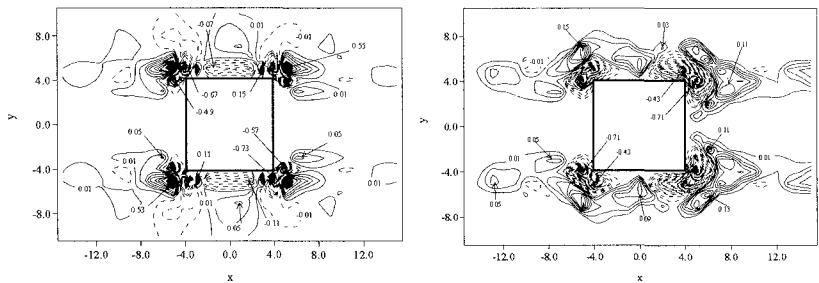
必要があると考えられる。ただし、本研究で提案した手法は、洗掘、堆積領域を定性的には再現しているが、定量的な予測までは至っておらず、今後更に検討する必要がある。

6. おわりに：本研究では、構造物周辺の流れ場

を数値解析手法により予測するとともに、渦度を考慮した漂砂量式を新たに提案し、構造物周辺の底面地形変化を計算した。その結果、従来の漂砂量式を用いた計算結果に比べて実験結果の再現性は高くなることを確認した。したがって、本研究で対象とするような構造物周辺の地形変化を予測するためには、渦を考慮する必要性が指摘できる。しかし、本手法による海底地形変化の予測精度については改善の余地は多く残されており、今後さらに検討を加えていく所存である。最後になるが、本研究を行うにあたり鹿島学術財団より研究助成を得た。ここに記して感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) Kim, J. Q. et al. : Water particle velocity field around artificial fish reef under wave action, Proc. 4th PACOMS, pp.285-291, 1996.
- 2) 渡辺：海浜流と海浜変形の数値シミュレーション, 第 28 回海講論文集, pp.285-289, 1981.
- 3) 渡辺ら：構造物設置に伴う三次元海浜変形の数値予測モデル, 第 31 回海講論文集, pp.406-410, 1984.



(a) 式(1)に基づく h の計算結果(cm) (b) 式(2)に基づく h の計算結果(cm)

図-3 地形変化の計算結果 (T=1.0s, H=9.0cm, 図中実線は堆積, 破線は洗掘)