

大規模海上構造物背後の地形変化に対する数値計算

九州大学大学院工学研究科 ○学生会員 高畑 栄治

九州大学大学院工学研究科 学生会員 申 承鎬

九州大学大学院工学研究科 正会員 入江 功

1. はじめに

海上構造物建設に伴う隣接海域への地形変化を数値シミュレーションで予測する場合、計算に用いられるモデルの特徴及び精度などを検討しておく必要がある。特に、局所漂砂量計算を基にした3次元地形変化モデルなどは、砂移動の外力になる波・流れの計算結果により地形の変化傾向が変わり、波浪・流れモデルの違いによる地形変化モデルでの諸係数の調整が不可欠となる。本研究では、波浪及び海浜流モデルの違いによる地形変化モデルへの影響を平面水槽実験の結果と比較することで、それぞれのモデルの予測精度を評価した。

2. 地形変化モデルと波・流れのモデル

地形変化を計算するため用いた局所漂砂量モデルはパワーモデルの概念に基づき、式(1)の波による漂砂量フラックス $\bar{q}_w$ と式(2)のような流れによる漂砂フラックス $\bar{q}_c$ とのベクトル和として評価される渡辺モデルを用いた。

$$\bar{q}_w = A_w(\tau_m - \tau_c)F_d u_b / \rho g \quad (1)$$

$$\bar{q}_c = A_c(\tau_m - \tau_c)\bar{u}_c / \rho g \quad (2)$$

ここで、 τ_m ：波・流れ共存場の最大せん断応力、 τ_c ：移動限界せん断応力、 A_w 、 A_c ：無次元係数、 F_d ：漂砂方向関数、 u_b ：波の軌道流速、 $\bar{u}_c$ ：平均流速である。上記の局所漂砂量計算では、入力する波浪・海浜流の条件により経時的な地形変化に影響が反映される。そこで、波・流れの計算において各々特徴を持ったエネルギー平衡方程式、放物型緩勾配方程式、Boussinesq 方程式((3)、(4)、(5))を用いることによって、地形変化計算への影響を分析した。

$$\eta_t + p_x + q_y = 0 \quad (3)$$

$$p_t + \left(\frac{p^2}{D}\right)_x + \left(\frac{pq}{D}\right)_y + gD\eta_x - M_1 + F_1 + \varepsilon p = \psi_1 \quad (4)$$

$$q_t + \left(\frac{q^2}{D}\right)_y + \left(\frac{pq}{D}\right)_x + gD\eta_y - M_2 + F_2 + \varepsilon q = \psi_2 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \psi_1 = & \left(B + \frac{1}{3}\right)h^2(p_{xx} + q_{yy}) + Bgh^3(\eta_{xx} + \eta_{yy}) \\ & + hh_x\left(\frac{1}{3}p_{xx} + \frac{1}{6}q_{xx} + 2Bgh\eta_{xx} + Bgh\eta_{yy}\right) \\ & + hh_y\left(\frac{1}{6}q_{xx} + Bgh\eta_{yy}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi_2 = & \left(B + \frac{1}{3}\right)h^2(q_{yy} + p_{xx}) + Bgh^3(\eta_{yy} + \eta_{xx}) \\ & + hh_y\left(\frac{1}{3}q_{yy} + \frac{1}{6}p_{yy} + 2Bgh\eta_{yy} + Bgh\eta_{xx}\right) \\ & + hh_x\left(\frac{1}{6}p_{yy} + Bgh\eta_{xx}\right) \end{aligned}$$

ここで、 p 、 q は x 、 y 方向の線流量、 $D = \eta + h$ である。 Ψ は分散項を表しており、 ε は波エネルギー吸収係数、 B は補正係数であり、 M 、 F は碎波による減衰項及び摩擦項である。

3. 波浪計算の各モデルの相違点

(a) エネルギー平衡方程式による計算

浅水変形・屈折などの計算は可能であるが、規則波の場合、構造物背後への回折効果は考慮されないため、構造物背後における波高が極端に小さくなり、地形変化には海浜流の要因が大きく関わるものと考えられる。また、この計算より得られた波高分布を用いた海浜流計算では、固定床による海浜流の予備計算において構造物背後での循環流の最大値が Boussinesq モデルに比べやや大きい 24.1cm/s であった。

(b) 放物型緩勾配方程式による計算

屈折・回折・浅水変形を取り扱うことができるが、反射波の取り扱いが含まれていない。固定床での計算では、エネルギー平衡方程式に比べ構造物背後における回折はよく計算できていたが、構造物背後の循環流のパターンはそれほど違わなかった。最大流速は、固定床での実験(申ら、1999)とほぼ同じ 30.7cm/s であった。

(c) Boussinesq 方程式による計算

波の非線形性を考慮した波浪・海浜流計算を行うことができるが、漂砂量計算では非線形性(波の前後・上下非対称性など)を取り込むまでには至らなかった。海浜流の最大値は 18.5cm/s とやや小さい。

4. 計算結果の分析と実験結果との比較

4-1. 計算結果の分析

地形変化計算で用いる波及び流れの漂砂量係数 A_w 、 A_c 、海底勾配影響係数 E_s の値は、より実現性に近づけるために水槽実験と数値計算とで同様な結果が得られるよう適当と思われる値を用いるべきであるが、ここでの係数設定は試行的に与えたものである。図 1~3 は、初期勾配 1/20 の一様海浜に構造物を設置し 2 時間造波した

時の各モデルでの計算結果であり、(a)は地形のコンター図、(b)は初期地形からの侵食・堆積図である。ここでの計算は、波・流れの計算方式による地形変化計算の違いを比較するため、時間毎の波・流れの更新をせずに初期固定床における計算値を用い、2時間の地形変化を計算した。諸係数はエネルギー平衡方程式(図1)、放物型緩勾配方程式(図2)の場合、 $A_w=0.1$, $A_c=0.6$, $E_s=3.0$, Boussinesq 方程式の場合は $A_w=0.05$, $A_c=0.5$, $E_s=8.0$ とした。まず、エネルギー平衡方程式からの計算結果(図1)は遮蔽域の回折は計算できないものの、流れによる漂砂移動が反映され、構造物背後にやや堆積しているのが確認できる。図2に示した放物型緩勾配方程式からの計算結果は、同じ係数にもかかわらず、回折及び最大流速の影響により構造物背後でより高い堆積傾向が見られる。今回、Boussinesq 方程式による地形計算は波の非線形効果までは考慮されていないが、地形計算結果は4・2に述べる実験結果により近いと思われる、波や流れの計算精度が地形変化に大きく関わることが確認できた。図3の計算結果に用いた係数は $A_w=0.05$, $A_c=0.5$, $E_s=8.0$ であり、 E_s を大きくすると全体的に砕波帯内の水深が平坦になる傾向が見られた。

4-2. 平面水槽実験との比較

長さ20m、幅9m、深さ60cmの平面水槽に、初期勾配1/20となるように珪砂(中央粒径 $d_{50}=0.16\text{mm}$)を敷き詰め、 $T=1.0\text{s}$, $H=5.0\text{cm}$ の規則波を作用させ実験を行った。実験では、造波後4時間である程度海浜形状が安定した準平衡状態を初期地形とし、沖合に離岸堤を設置して波を作用させた。図4は、計算と同様、離岸堤設置後2時間の地形のコンター図、立体図である。図4では離岸堤背後に汀線の侵食とトンボロの形成が見られる。計算結果では、実験と計算とで初期地形の違いや波・流れの更新なしの計算等により直接的な比較は出来ないが、全体的な堆積・侵食傾向は類似していることが分かる。

5. おわりに

本研究では、平面水槽実験により沖合構造物設置後の海浜地形変化の様子を測定し、各波浪・海浜流モデルからの結果を用いて局所漂砂量計算を行い、その予測精度を評価した。今後は、さらに諸係数の調整を行い、水槽実験での初期地形を用いて、波浪・海浜流・地形変化のループ計算を行う。その計算結果の比較は講演時に発表する。

参考文献

申承鎬ら(1999): Boussinesq モデルを用いた沖合いの構造物による波浪・海浜流の数値計算の適用性, 第46回海岸工学論文集, pp.206-210

渡辺見ら(1984): 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回海岸工学論文集, pp.406-410

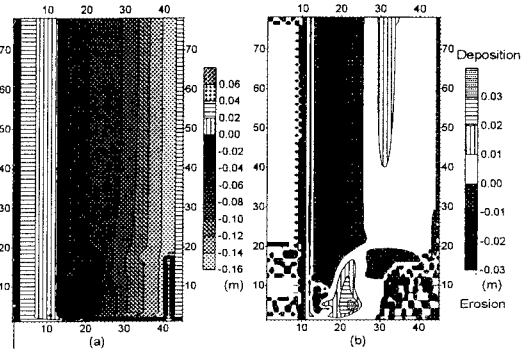


図1 エネルギー平衡方程式による計算結果

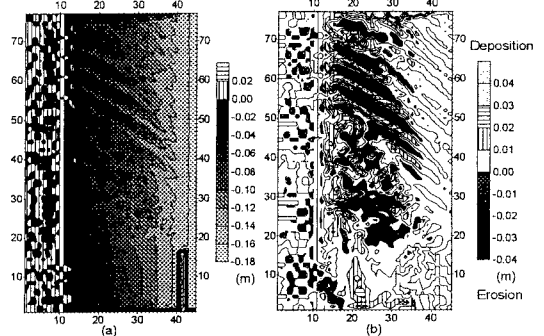


図2 放物型緩勾配方程式による計算結果

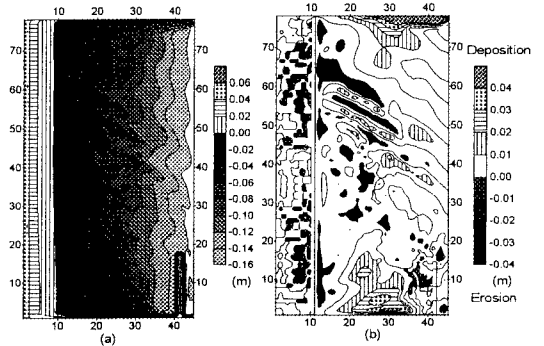


図3 Boussinesq 方程式による計算結果

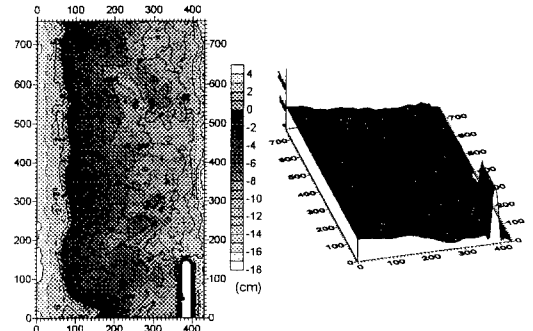


図4 平面水槽実験結果(構造物設置後2時間)