

鳥取大学大学院工学研究科	正会員	○黒岩正光
いであ株式会社	正会員	口石孝幸
株式会社 奥村組	非会員	京住真志
鳥取大学大学院工学研究科	正会員	松原雄平

1. はじめに

これまで多くの 3 次元海浜変形モデルが提案されている．例えば，黒岩ら(2005)は汀線変化と混合粒径砂の分級の影響も考慮した 3 次元海浜変形モデル，さらに，河口砂州の形成も計算可能なモデルを提案している(黒岩ら，2007)．構造物設置に伴う地形変化予測，侵食防御に対する構造物設置案，航路埋没対策案の検討などには適用されているが，総合的な土砂管理を行う際の，河川からの土砂供給量やサンドリサイクルなどの土砂投入の影響を考慮できるようにはなっていない．

本研究では，河川からの土砂供給や沖合養浜による土砂供給を考慮した 3 次元海浜変形予測モデルを提案し，数値実験的に土砂供給が地形変化に及ぼす影響について検討した．

2. 数値モデル

本モデルは，汀線変化も計算できるハイブリッド 3 次元海浜変形モデル(黒岩ら，2006)をベースとしたものである．波浪場はエネルギー平衡方程式によって，海浜流場は波浪条件および再現期間に応じて平面 2 次元(2DH)あるいは準 3 次元(Q3D)モードによって計算される．漂砂量および地形変化の計算においては，土砂供給の影響を考慮するため，底質の浮上と沈降フラックスを考慮した平面 2 次元移流拡散方程式による浮遊砂モデルを導入し，浮上と沈降のフラックス差と掃流砂による漂砂の連続式

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda}(-Q_s) + \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(q_{bx} + \varepsilon_s |q_{bx}| \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(q_{by} + \varepsilon_s |q_{by}| \frac{\partial h}{\partial y} \right) \right\} \quad (1)$$

を用いて水深変化を計算した．ここに， q_{bx} および q_{by} は黒岩ら(1999)の波と流れによる掃流砂で， $Q_s = -F_z + Cw_f$ である． F_z は浮上フラックスで，榎木ら(1984)のモデルに基づき

$$F_z = (1-\gamma)C_0\alpha w_f \left(\frac{u_*}{w_f} - 1 \right) \quad \begin{cases} u_* \geq w_f : \gamma = 0 \\ u_* \leq w_f : \gamma = 1 \end{cases} \quad (2)$$

で与えた． α は $0 \leq \alpha \leq 1.0$ の定数である． C_0 は浮遊砂基準点濃度で， $C_0 = 0.347 N_c^{1.77}$ で表される． N_c は

$$N_c = \frac{0.688 \hat{u}_w^2}{1.13 s g w_f T} \quad (3)$$

ここに $\hat{u}_w$ は底面での水粒子速度の最大値であり， s は砂の水中比重， T は周期である．浮遊砂濃度 C は，以下に示す断面平均流速を用いた平面 2 次元の移流拡散方程式で計算される．

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\gamma Q_s}{\bar{\eta} + h} \quad (4)$$

式(4)左辺の第 3 項の γ は，河川からの土砂供給を考慮するときの河川内の平衡状態を表すパラメータで，河川内において上流境界で 0 として，河口付近で 1 になるよう調整するものである．

実際の計算では，図-1 に示すように，初期地形に対して波浪場と海浜流場を計算し，次に掃流砂と浮遊砂

を計算するわけであるが、式(1)を $\Delta t = 100\text{s}$ で計算し、その 1 ステップ(100 秒)毎に移流拡散方程式を $\Delta t = 0.25 \sim 0.5\text{s}$ の設定で計算した。波浪場と海浜流場の計算は 2 日毎に計算した。なお、河川からの土砂供給や養浜による土砂供給は濃度値で与えた。式(2)中の α は 0.0001 とした。

3. 計算結果

1) 河川からの土砂供給

図-2 に示すモデル地形において、河口砂嘴およびテラス形成の計算を試みた。入射波は有義波高 $H_{1/3} = 1.5\text{m}$ 、周期 $T_{1/3} = 7.0\text{m}$ 、波向きは 20° 、河川流は 0.25m/s (毎秒 50m^3 の流量に相当する)とした。図-3 は初期地形に対する海浜流場の計算結果である。図-4(a)~(c)は 40 日後の計算結果を示したもので、図(a)は土砂供給が無い場合(Case1)、図(b)および(c)は土砂供給を考慮した場合(Case2,3)である。Case2 および Case3 では、上流端 $x=800\text{m}$ の境界において濃度 $C=0.00007$ および 0.0001 を与えた。河口の断面積 200m^2 ($100\text{m} \times 2\text{m}$)、流速 0.25m/s であるので、土砂供給量はそれぞれ $0.0035\text{m}^3/\text{s}$ 、 $0.005\text{m}^3/\text{s}$ である。例えば、Case2 の場合、年間の供給土砂量に換算すると約 $110,000\text{m}^3$ となる。図-5 および 6 は河口付近における岸沖($y=270\text{m}$)および沿岸方向($x=450\text{m}$)における断面を比較したものである。図-4~6 の結果から、土砂供給の有無によって河口付近の地形が異なることが明らかで、沿岸方向の断面の比較から、供給量が多いほど河口付近の地形に大きく影響を及ぼすことが明らかである。

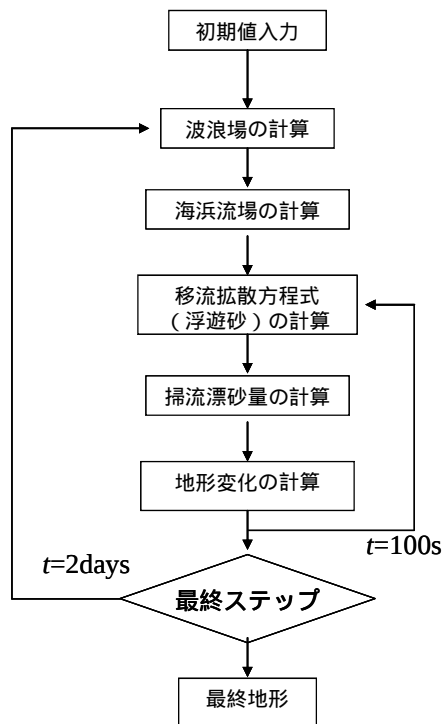


図-1 計算のフロー

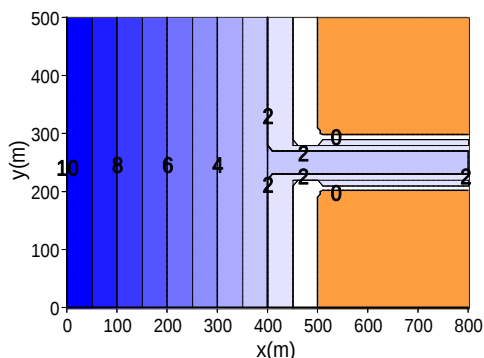


図-2 初期地形 (海底勾配 1/50)

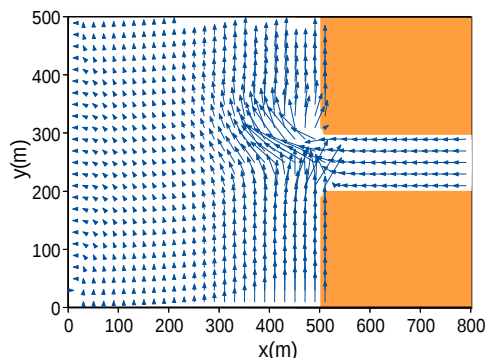


図-3 海浜流場の計算結果

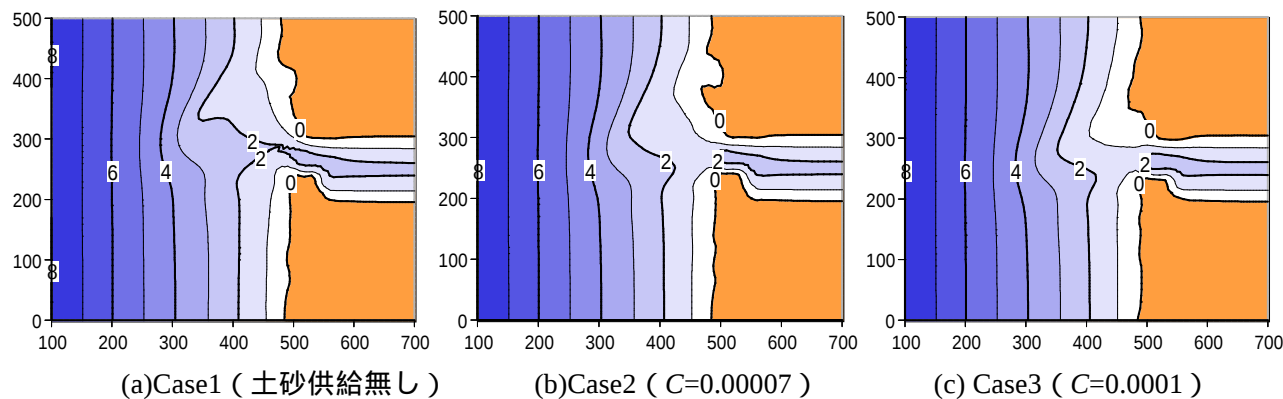


図-4 40 日後の計算結果

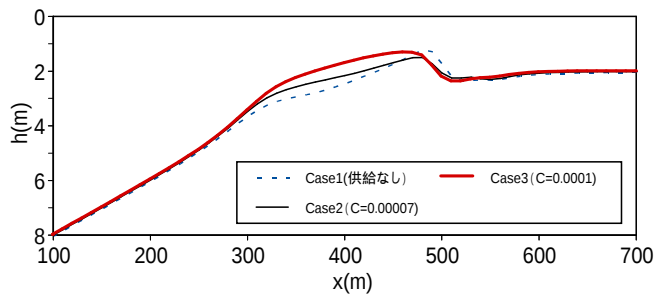


図-5 河口部岸沖方向断面の比較(y=270m)

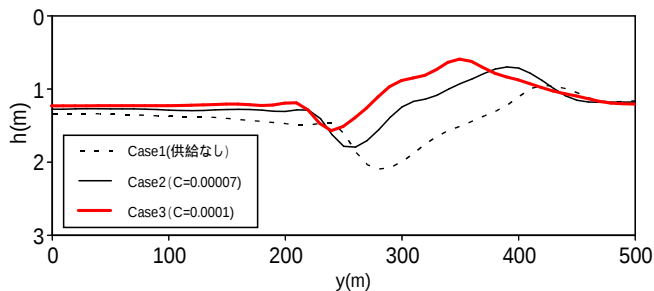


図-6 河口部沿岸方向断面の比較(x=450m)

2) 沖合養浜

突堤による沿岸漂砂遮断に起因する海浜変形を対象とし、数値実験的に土砂投入が地形変化に及ぼす影響について検討した。計算例として宇多ら(2008)が実施した沖合土砂養浜時の観測結果を参考に2基の突堤に挟まれた海浜をモデル地形として計算した。

図-7(a)～(c)は土砂投入終了時、投入後20日経過、100日経過の地形変化の計算結果である。入射波は波高1.5m、周期7.0s、波向20度で、土砂投入後2回の時化(波高2～3m)(Q3Dモード)を考慮した。投入土砂は水深5～6mに約20000m³に相当する量を濃度値で与え、20日間連続投入し、投入と同時に地形変化も計算し、最終地形を得るまで波と流れの計算は2日毎に行った。図-7から土砂投入に伴い砂堆の形成が再現され、投入終了後、砂堆は小さくなり、等深線が沿岸方向に変化しているのがわかる。この結果は宇多ら(1008)の観測結果の傾向を良く表している。

モデルの妥当性を検討するため、土砂投入を行わなかった場合の計算結果を図-8に、土砂投入場所を変化させた場合の結果の一例を図-9に示す。また、養浜の有無および土砂投入の位置の違いによる汀線変化量の違いを示した結果を図-10に示す。汀線変化量の比較から、汀線付近への養浜が効果的であることが再現され、沖合土砂投入の場合も効果があることが再現された。沖合養浜による場合は、土砂投入によって波浪場と海浜流場が変化し周辺の海浜変形に影響を及ぼすことが示された。

4. おわりに

本研究では、移流拡散方程式による土砂供給を考慮した3次元海浜変形モデルを開発した。得られた結果を要約すると以下のとおりである。

1) 河川からの土砂供給を考慮した場合、供給量によって河

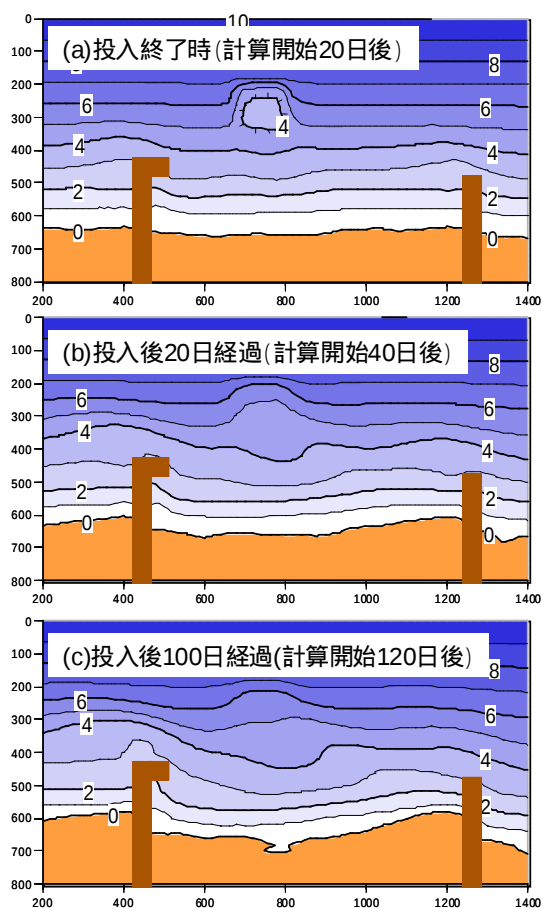


図-7 土砂投入後の地形変化

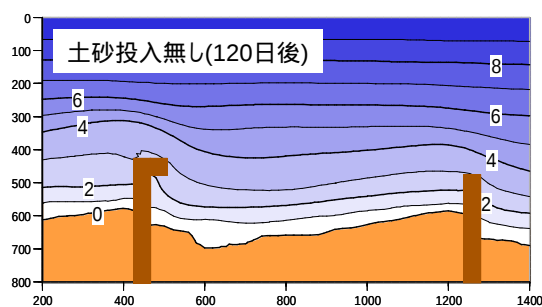


図-8 土砂投入無しの地形変化

口付近の海底地形が異なることが示された．供給量が多いほど，河口付近の地形変化は顕著であることがわかった．
 2) 養浜による土砂投入計算から，浮遊砂に関する移流拡散方程式を導入することで，沖合型サンドリサイクルによる土砂投入過程とその後の地形変化計算が可能であることが確認できた．また，汀線付近に投入した場合は，明らかに汀線維持に効果があることが再現された．

最後に，今後の課題として，本モデルでは，浮遊砂による土砂供給モデルであり，河川の場合は掃流砂による土砂供給も考慮する必要がある，モデルの改良が必要である．また，実験結果や現地観測結果と比較を行い，適用性を検討する必要がある．

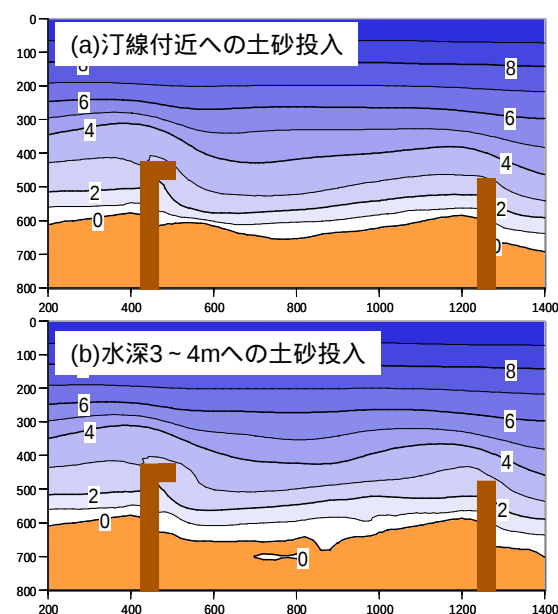


図-9 土砂投入後の地形変化

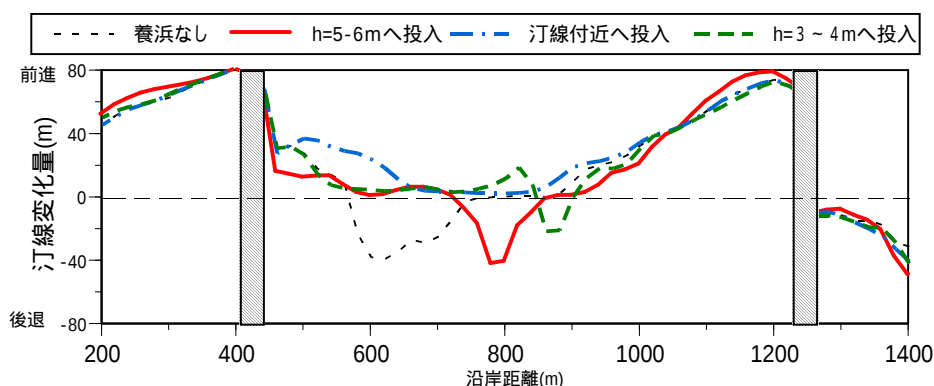


図-10 汀線変化の比較

参考文献

- 宇多高明，田代洋一，長山英樹（2008）：ナローマルチビーム測量による沖合養浜時の土砂移動観測，海岸工学論文集，第 55 巻，pp.776-780.
- 黒岩正光，口石孝幸，加藤憲一，松原雄平，野田英明，中本良平（2005）：混合粒径砂の分級と汀線変化を考慮した 3 次元海浜変形予測モデル，海岸工学論文集，第 52 巻，pp.521-525.
- 黒岩正光，口石孝幸，松原雄平（2006）：平面 2 次元と準 3 次元海浜流モデルによるハイブリッド型 3 次元海浜変形予測システム，海岸工学論文集，第 53 巻，pp.486-490.
- 黒岩正光・口石孝幸・松原雄平・砂川真太郎（2007）：準 3 次元海浜流モデルを用いた 3 次元河口砂州形成数値シミュレーション，海岸工学論文集，第 54 巻，pp. 686-690.
- 榎木亨，李宗燮，出口一郎（1984）：河口周辺の海浜流及び地形変動モデルに関する研究，第 31 回海岸工学講演会論文集，pp.411-415.