

### 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、人工リーフや突堤などの構造物設置に伴う海浜変形などの予測に適用されてきた。しかし、構造物によるハードな対策からサンドリサイクルや養浜などによるソフトな対策に移り変わってきている中で土砂投入過程を考慮した 3 次元海浜変形シミュレーションの適用についてはあまり検討されていない。黒岩ら(2009)は沖合養浜による土砂投入モデルを提案し、土砂投入過程、投入後の土砂投入移動および突堤周辺の地形変化計算を行っている。このモデルは投入する土砂を濃度で与えて土砂投入を表現している、しかしその方法では定量的な土砂投入を表すためには、粒径に対応した濃度の設定が必要である。そこで本モデルでは土砂投入を投入土砂フラックスとして与えることで定量的な土砂投入が可能となるように改良を行った。また、海岸侵食対策として粒径の小さい土砂を投入した場合、侵食域での留まりが悪く、根本的な侵食対策とならない。そこで、本研究では、モデルの適用性を検討するとともに、粒径の違いが海浜変形に与える影響も検討した。

### 2. 数値モデル

本モデルは黒岩ら(2006)のハイブリッドモデルをベースとしたもので、図-1 に示すように、①波浪場の計算、②海浜流場の計算、③漂砂量の計算、地形変化の計算の 3 つのサブモデルからなる。①は間瀬ら(1999)のエネルギー平衡方程式を用いて計算し、②は波浪条件と海浜変形の再現期間や波と流れのフィードバック回数などによって平面 2 次元モードあるいは準 3 次元モードが選択されるようになっている。③の計算では、浮遊砂の計算には樫木ら(1984)の移流拡散方程式によるフラックスモデルを導入し、地形変化の計算は、浮遊砂の沈降フラックス  $w_f$  と巻

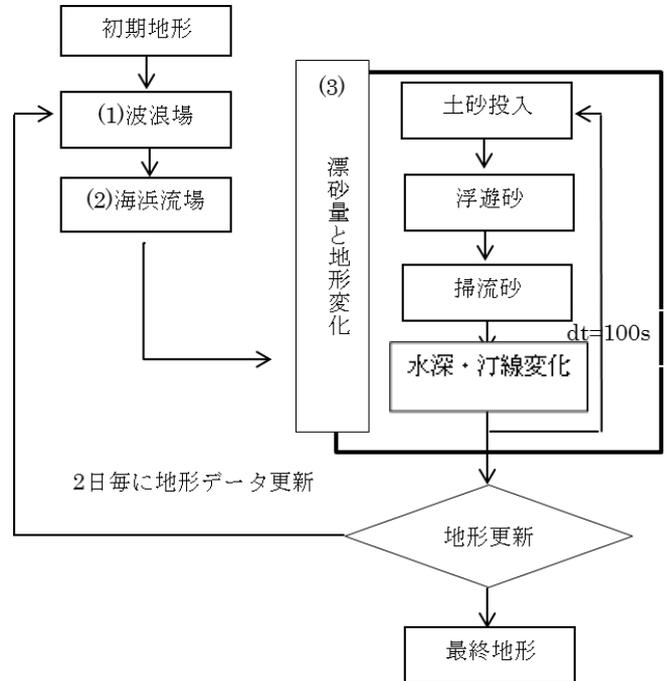


図-1 数値モデルの計算の流れ

き上げフラックス  $F_z$  との差  $Q_s$  と掃流漂砂の場所的変化、すなわち次の連続式

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

より計算する。ここに  $h$  は水深、 $q_{bx}, q_{by}$  は掃流漂砂で渡辺ら(1984)のモデルをベースとしたものである。

式(1)の右辺第三項にある  $q_t$  が土砂投入フラックスで、全投入土砂量を、投入範囲、投入時間で除したものである。 $Q_s$  は

$$Q_s = F_z - Cw_f \quad (2)$$

$$F_z = (1-\gamma)C_0\alpha w_f \left( \frac{u_*}{w_f} - 1 \right) \quad \begin{cases} u_* \geq w_f : \gamma = 0 \\ u_* \leq w_f : \gamma = 1 \end{cases} \quad (3)$$

ここに、 $\alpha$  は無次元係数で 0.001 とし、 $w_f$  は砂の沈

降速度で Rubey の式で計算する。  $u_*$  は波と流れ共存場における摩擦速度である。  $C$  は断面平均された浮遊砂濃度で、以下に示す平面 2 次元移流拡散方程式で計算される。

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

以上、浮遊砂の巻き上げから移流拡散と沈降過程とそれに伴う地形変化をできる限り忠実に表すため、図-1 に示すような、波と流れ計算へのフィードバックは 2 日毎に、浮遊砂と地形変化計算は 100 秒毎に行った。

### 3. 数値計算結果

#### (1) 単純地形における土砂投入計算

単純地形に土砂投入を行い、土砂投入計算が正しく行われているか検討した。まず図-2 に示す単純地形の赤い枠で囲った  $80 \times 100 \text{ m}^2$  の範囲に  $20000 \text{ m}^3$  の土砂を 40 日間連続投入した。図-3 および図-4 はそれぞれ土砂投入 20 日後と 40 日後の計算結果で、図-5 は投入位置における岸沖方向の断面地形の時間的変化を示したものである。図-5 から土砂を投入した範囲の水深が約  $2.5 \text{ m}$  減少し、堆積土砂量は投入土砂量とほぼ一致した。したがって本モデルを用いての土砂投入計算は設定した範囲に設定した量の土砂投入が可能であることがわかる。

#### (2) 現地適用性の検討

数値計算結果と現地データを比較することでモデルの妥当性を検討する。波浪データは表-1、図-6 を用いた。図-7 は鳥取県鳥取市の皆生海岸で 2009 年 7 月と 2010 年 6 月に測量されたデータをもとに作成した 1 年間の侵食堆積図である。赤い枠で囲った範囲にサンドリサイクルによって  $15000 \text{ m}^3$  の土砂投入が約 3 か月間にわたって行われている。図-8 は土砂投入を考慮した再現計算結果で、侵食堆積図で示している。図-9 は土砂投入を考慮しない場合での計算結果である。これらの図を比較すると本モデルは現地における土砂投入後の地形変化をある程度再現することが可能であり、また土砂投入を考慮した場合

と考慮しない場合を比較すると、考慮したほうがより正確に侵食と堆積の傾向を再現することが可能であることが確認できた。

#### (3) 土砂の粒径が地形変化に与える影響

計算条件は再現計算を行った時と同じものを使用し土砂の中央粒径を変化させて計算を行った。図-10 および図-11 に中央粒径  $0.3 \text{ mm}$ ,  $0.4 \text{ mm}$  で計算を行った結果を示す。各図を比較すると中央粒径が大きくなるにつれて土砂の移動が少なくなっているのが見てとれる。

### 4. まとめ

本研究では土砂投入を考慮した 3 次元海浜変形モデルを提案した。現地データをもとに現地適用性を検討した結果、土砂投入を考慮した場合と考慮しない場合とを比較すると、考慮した場合のほうが侵食と堆積の傾向をより正確に再現しており、本モデルの有効性が確認できた。また、粒径の違いが大きく地形変化に影響を与えることが確認できた。

今後の課題として、土砂の投入場所や土砂の粒径を変化させて海浜変形予測を行うことで効果的なサンドリサイクルについて検討する予定である。

#### 参考文献

- 黒岩ら(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 55 巻，pp.776-780.
- 黒岩ら(2009)：沖合型養浜による土砂投入を考慮した 3 次元海浜変形予想モデル，土木学会論文集 B2 (海岸工学)
- 榎木ら(1984)：河口周辺の海浜流およ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
- 間瀬ら(1999)：波の回折を考慮した多方向不規則波の変形計算モデルに関する研究  
土木学会論文集第 628 号 II-48, pp.177-187
- 渡辺ら(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 回海岸工学講演会論文集，pp.406-410

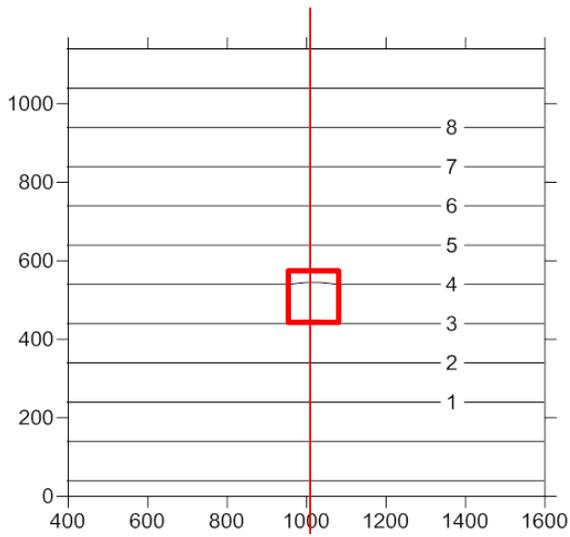


図-2 初期地形

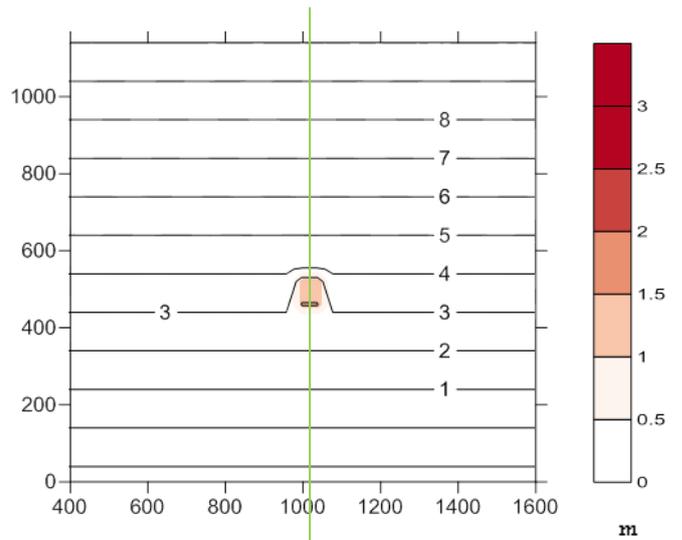


図-3 土砂投入 20 日後

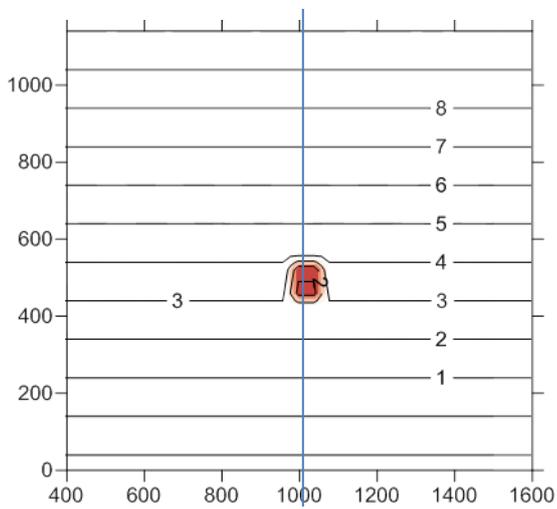


図 - 4 土砂投入 40 日後

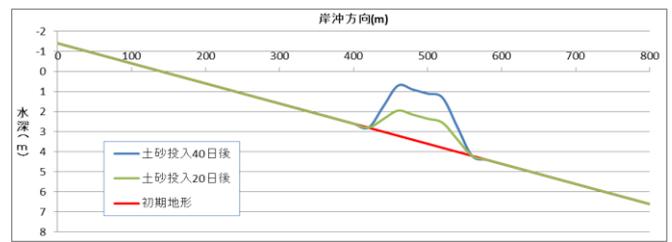
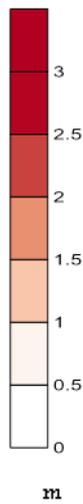


図-5 投入土砂による地形変化

表-1 波浪データ

	H1/3(m)	T1/3(s)	日数(日)	波向
Wave1	1.01	6.77	4	
Wave2	0.58	5.51	30	
Wave3	1.91	8.19	2	-10
Wave4	1.46	7.52	10	
Wave5	1.05	6.85	40	
Wave6	0.65	6.04	64	

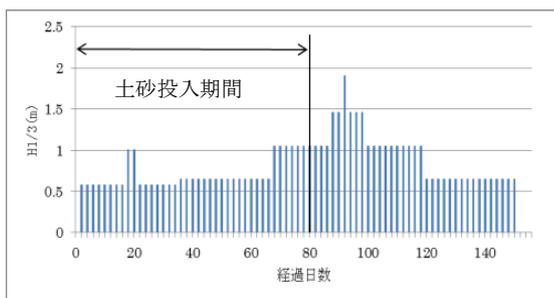


図-6 波浪時系列モデル

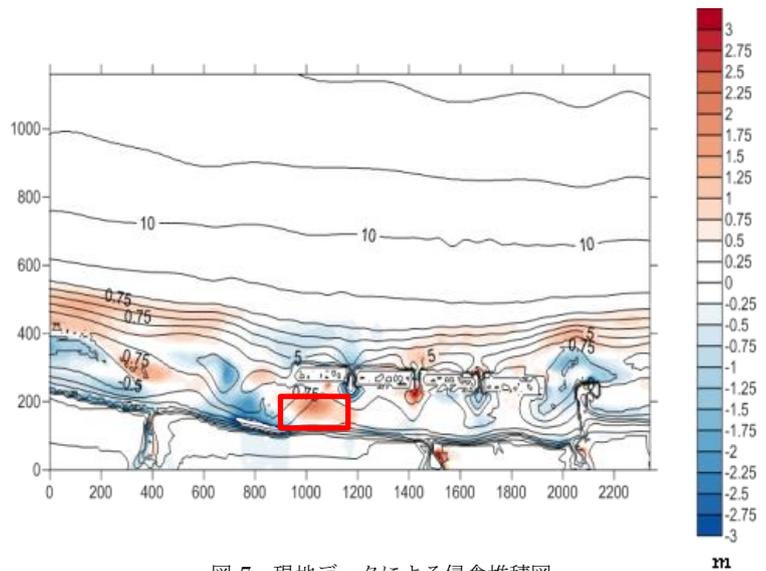


図-7 現地データによる侵食堆積図

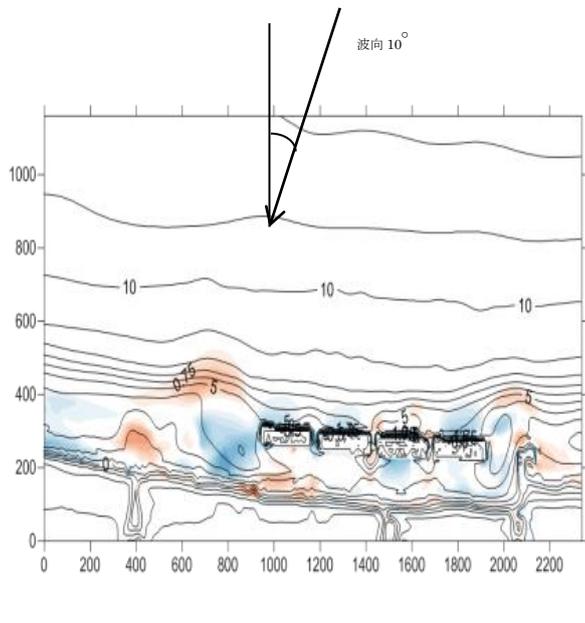


図-8 計算結果 (土砂投入考慮)

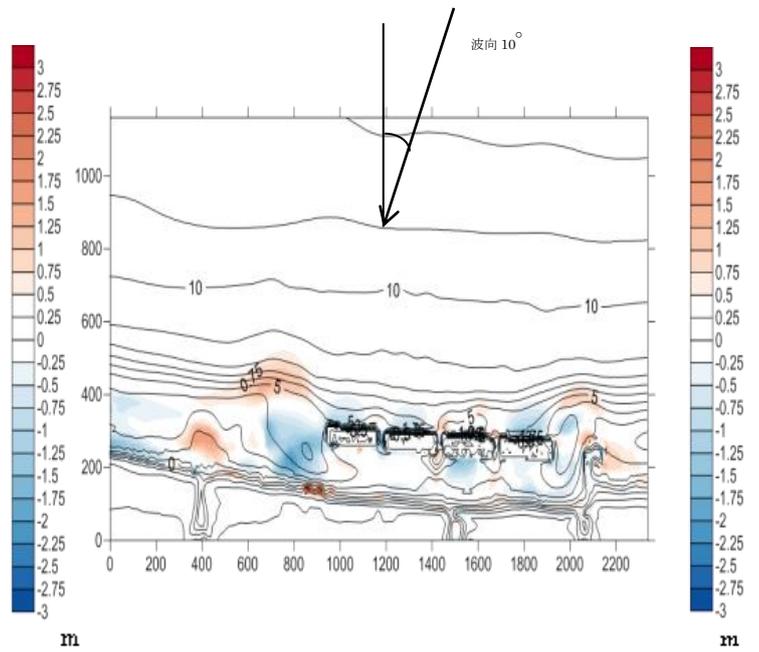


図-9 計算結果(土砂投入考慮なし)

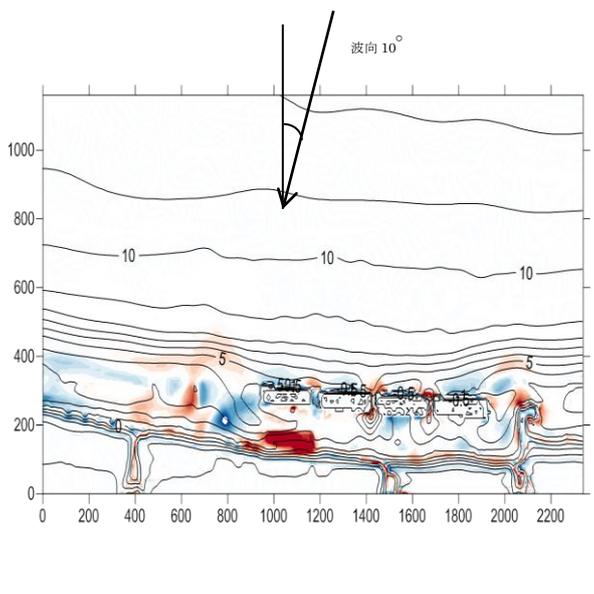


図-10 中央粒径 0.3 mm

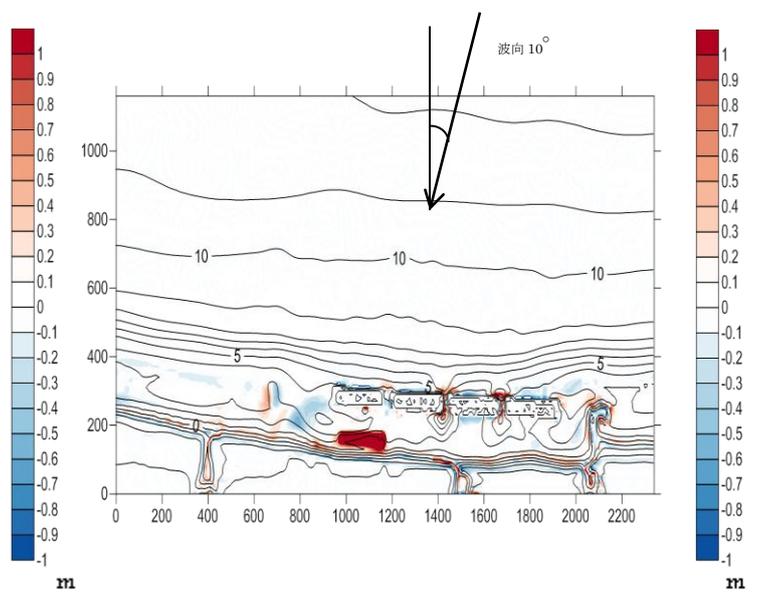


図-11 中央粒径 0.4 mm