

明石工業高等専門学校建築・都市システム工学専攻 学生員 ○朝倉 実里  
 明石工業高等専門学校都市システム工学科教授 正会員 神田 佳一  
 明石工業高等専門学校都市システム工学科助教 正会員 中村 文則

## 1 背景

河口では、河川上流から土砂が供給されるとともに、海域から波が来襲することにより、砂州が形成される。河口に発達した砂州は、河川流を阻害し、河川の氾濫につながるため、治水上において問題となる。一方で、砂州が完全に消失してしまうと塩水遡上といった利水上の問題が生じる。そのため、河口部に発達する砂州の発達過程を把握する必要がある。

既往研究では、黒岩ら(2007)が砂州の発達過程を数値モデルによって検討し、基本的な砂州の発達形状パターンの傾向を再現できることを報告している。

本研究では、由良川河口部の砂州の発達過程を把握することを最終的な目的とし、砂州の発達過程に関する数値シミュレーションモデルの構築を行い、その検証を行った。

### 2.1 計算モデル

計算全体の構成は、地形の作成を行った後、波浪変形と地形変化の計算を繰り返すことで、砂州の発達過程を再現するものである。

計算モデルは波浪場および河床・海底の土砂移動モデルを組み合わせた平面2次元モデルである。波浪および海浜流の計算モデルは、修正ブシネスク方程式モデルを使用した。基礎方程式は連続式と運動方程式である。河床・海底の土砂移動モデルは、黒岩ら(2007)を参考に、波動現象と流れによる土砂移動を計算できる3次元海浜変形モデルを用いた。波と流れによって移動する土砂量の算定式を式(1)~(3)に示す。

$$q = q_w + q_c \quad (1)$$

$$q_w = A_w F_D (u_{*m}^2 - u_{*c}^2) u_b / g \quad (2)$$

$$q_c = A_c (u_{*m}^2 - u_{*c}^2) u_c / g \quad (3)$$

ここで、 $q$ 、 $q_w$ 、 $q_c$ はそれぞれ土砂フラックスの総量、波による土砂フラックスおよび流れによる土砂フラックス、 $u_{*m}$ は波・流れ共存場の最大底面摩擦速度、 $u_{*c}$ は移動限界摩擦速度、 $F_D$ は土砂の移動方向を示す係数、 $u_b$ 、 $u_c$ は波による底面軌道流速振幅、海浜流の断面平均流速である。 $A_w$ 、 $A_c$ は、式(4)および(5)で算出される係数である。

$$A_w = \frac{B_w \cdot w_0 \sqrt{0.5 f_w}}{(1 - \lambda) s' \sqrt{s' g D_s}} \quad (4)$$

$$A_c = \beta \cdot A_w \quad (5)$$

ここで、 $w_0$ は沈降速度、 $f_w$ は摩擦係数、 $s'$ は土砂の水中比、 $\lambda$ は土砂の空隙率、 $D_s$ は土砂の粒径であり、 $\beta$ は定数である。

地形高の変化の算定は、地形勾配の影響を考慮した式(6)を用いて計算を行った。

$$\begin{aligned} \frac{\partial z_b}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x} \left( q_x - \varepsilon_s |q_x| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) \\ & -\frac{\partial}{\partial y} \left( q_y - \varepsilon_s |q_y| \frac{\partial z_b}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

ここで、 $q_x$ 、 $q_y$ は、 $x$ 方向および $y$ 方向の土砂フラックスの総量、 $z_b$ は局所的な地盤高、 $\varepsilon_s$ は定数である。

### 2.2 計算ケース

検証ケースとしては、中村ら(2001)の断面実験の再現計算と由良川河口部の実地形を対象とした計算の2ケースを実施した。表-1に各ケースの計算条件を示す。case1は、1/30と1/10の一定勾配を組み合わせた地形の模型実験を再現したもので、その断面の実験結果と比較することで計算モデルの検証を行った。

表-1 計算条件

		項目	設定値
case1	計算領域	$A_x$	x方向 76m
		$A_y$	y方向 1.5m
	計算格子数	$n_x$	152
		$n_y$	3
	計算格子間隔	$dx, dy$	0.5m
	計算時間間隔	$dt$	0.01sec
粒径	$D_s$	0.113mm, 0.338mm	
case2	計算領域	$A_x$	x方向(沿岸距離) 4300m
		$A_y$	y方向(岸沖距離) 2500m
	計算格子数	$n_x$	x方向(沿岸距離) 430格子
		$n_y$	y方向(岸沖距離) 250格子
	計算格子間隔	$dx, dy$	10m
	計算時間間隔	$dt$	0.1~1.0sec
粒径	$D_s$	0.075mm, 0.106mm, 0.250mm, 0.425mm, 0.850mm	
共通項目	波浪計算	海底摩擦	$n$ 0.01m <sup>2</sup> /s
		重力加速度	$g$ 9.81m/s <sup>2</sup>
	土砂移動計算	土砂密度	$\rho_s$ 2650kg/m <sup>3</sup>
		底質の空隙率	$\lambda$ 0.4

case2は、由良川河口部における高波浪時の平均的な波浪条件で計算を行った。

### 3. 計算結果

case1 の計算結果と実験結果の比較を図-1 に示す。図-1 より、計算結果および実験結果は汀線付近で浸食し、1/30 勾配の部分で堆積する傾向が見られる。汀線付近での浸食量は、計算結果の方が大きいが、実験結果の全体的な地形形状を再現できている。

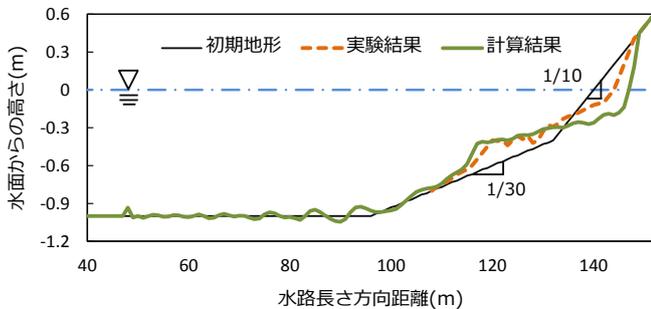


図-1 case1 の計算結果

case2 の地形変化量の計算結果を図-2 に、由良川河口部の 2012 年 11 月から 2013 年 4 月までの地形変化量の現地観測結果を図-3 に示す。図の実線と点線は、観測による砂州形状を示したものである。図-2 に示すように、左岸側の砂州の地点に堆積する傾向が出ている。また、観測結果と計算結果を比較した場合、観測結果では、図-3 の地点 A 付近で堆積が顕著に生じているが、計算結果では堆積していない。これらの結果より、左岸側の発達傾向は、局所的に再現できるが、地点 A 付近のように深く掘れている個所の地形変化は十分に再現できていないと考えられる。

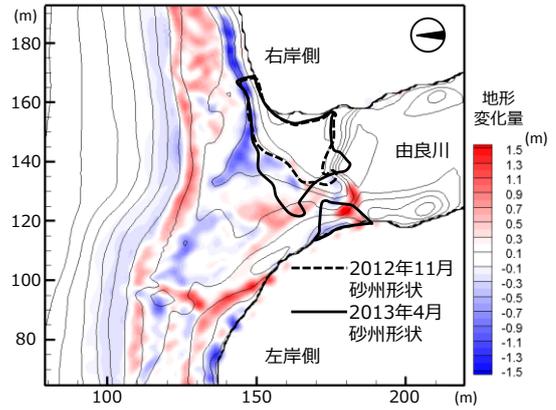


図-2 計算結果(case2)の地形変化量

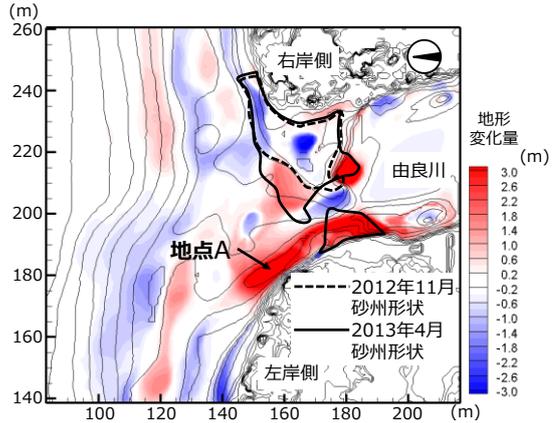


図-3 現地観測結果の地形変化量

### 4. 結論

単純な地形の模型実験の再現と由良川河口部の実地形を対象とした計算を行うことにより、数値モデルの検証を行った。その結果、この数値モデルは、単純な地形の再現は可能であり、由良川河口部の地形に当てはめても、ある程度の傾向は再現できることが分かった。しかし、河口の深く掘れている部分に対する地形変化は再現できないことが分かった。そのため、由良川河口部の実地形においても、全体の傾向を再現できる計算が行えるよう調整していく必要がある。

### 参考文献

- 1) 黒岩正光, 口石孝幸, 松原雄平, 砂川真太郎: 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, 2007
- 2) 中村昭男, 依田眞, 橘川正男, 早瀬松一: 不規則波による混合砂海浜変形についての 2 次元水路実験, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp.571-575, 2001