

波浪による河口部の土砂移動に関する数値計算法

鳥取大学大学院工学研究科 学生員 ○酒井 宏紀 鳥取大学大学院工学研究科 正会員 檜谷 治
鳥取大学大学院工学研究科 正会員 梶川 勇樹 鳥取大学大学院工学研究科 学生員 奥野 裕明

1. はじめに

日本海側に河口を持つ河川は、海流や冬季波浪の影響により、沿岸部に一度流出した土砂が河口部に押し戻されることで堆積が促され、河口閉塞問題を引き起こしている。特に、河口部への波浪の打ち込み時には大量の土砂が輸送され、土砂動態に大きな影響を及ぼしていると考えられる。従来、海域部あるいは河川をそれぞれ個別に取り扱った数値モデルは数多く存在するものの、波浪の影響を含めた河口部を対象とした詳細な数値計算はほとんど行われていないため、河口部の土砂移動についてはそのメカニズムが不明である。そこで本研究では、最終的に河口部における土砂移動メカニズムの把握を目的として、まず河口部の波浪を含めた流れ場の再現を鉛直2次元モデルによって試み、波浪の影響による土砂移動について検討を行った。

2. 数値計算法

(1) 波浪と流れの基礎方程式

本研究で用いる数値計算法には、基礎方程式（連続式・運動方程式）に複雑境界形状を滑らかに表現できる FAVOR 法を導入し、計算格子には Collocated 格子を採用した。右の①、②に流れの基礎方程式を示す。ここに、 A_x, A_z : x 方向および z 方向に垂直な断面で流体の占める面積率、 V : 任意の格子において流体の占める体積率、 u, w : x 方向および z 方向の流速成分、 g : 重力加速度、 ρ : 流体の密度、 p : 圧力、 ν_t : 渦動粘性係数、 ν : 動粘性係数である。渦動粘性係数に関して、河口部では河川流と波浪とが混在する流れ場であるためにそのモデル化が難しい。ここでは、主として河道内での流れ場を見るため、従来から用いられている一般的な③式で与えた。また、水深に関しては、①式を鉛直方向に積分した④式により算定した。ここに δ : 河床位、 η : 水位である。さらに、基礎式の離散化には移流項に QUICK 法を、時間積分に Adams-Bashforth 法を適用し、圧力偏差の収束計算に Collocated 格子上における C-HSMAC 法を適用した。

(2) 境界条件について

- a) 上流端での条件：本研究における計算上の上流端は河川側となる。ここでは、上流端水深は波浪の打ち込みを考慮し、自由流出条件とした。
- b) 下流端での条件：計算上の下流端は、本研究では海域側となる。ここでは、計算条件として表-1 に示す波

【鉛直2次元連続式】・・・①

$$\frac{\partial(A_x u)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z w)}{\partial z} = 0$$

【鉛直2次元運動方程式】・・・②

< x 方向（流下方向） >

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V} \left\{ \frac{\partial(A_x u u)}{\partial x} + \frac{\partial(A_z u w)}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left\{ 2A_x \nu_e \frac{\partial u}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ A_z \nu_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} \right]$$

$$\nu_e = \nu_t + \nu, \quad \nu_t = k u_* z \left(1 - \frac{z}{h} \right) \quad \cdots \textcircled{3}$$

【1次元連続式】・・・④

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int_{\delta}^{\eta} u dz = 0$$

【下流端】・・・⑤

$$\eta|_{x=x_{\max}} = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

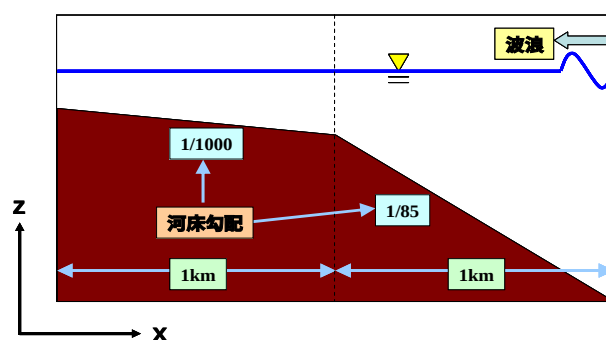


図-1 計算領域

浪の波高および周期を入力し、⑤式により水位を与えた。また、流速については隣接するメッシュと同様の値を与えた。ここに、 $x_{\max}$ ：下流端メッシュの x 座標、 H ：波高、 T ：周期である。

c)自由水面および河床（海底）面での条件：自由水面においては、水平方向のせん断力をゼロとする Free-Slip 条件を課した。また、河床面においては対数則に従う摩擦抵抗を与えた。

3. 計算条件

計算条件を表-1に示す。ここでは、波浪の影響のみによる土砂移動特性を検討するため、河川流量を $0\text{m}^3/\text{s}$ として計算した。計算領域は鳥取県東部に位置する千代川河口部を対象としたモデル領域である（図-1）。図では、河川上流端を 0m 地点としている。また、砂粒子の沈降速度は、現地調査により得られた河口部の平均粒径より、Rubey 式から算定した。

4. 数値計算結果と考察

計算によって再現された波浪内部の流況から、河口部における土砂動態について検討を試みた。結果として図-2に 1500m 地点、図-3に 250m 地点の水位・ u^*/w_f の変化をそれぞれ示す。まず図-2より、沖側では波谷領域で u^*/w_f は正（沖側）、波峰領域では負（岸側）となり、また、 u^*/w_f の正と負の領域がほぼ同じであることが分かる。これは、波浪によって土砂は沖・岸方向に動くものの、その場を行き来するのみで土砂自体は移動してないものと考えられる。次に図-3より、河道内部では u^*/w_f の値が負の値、つまり岸向きの流れが卓越しており、河川に進入した波浪は河床の土砂を巻き上げ、岸側に移動させていると考えられる。ただし、今回の計算では河川流量を考慮していないためこのような結果になったものと考えられ、河川流量を考慮することにより土砂移動は沖方向へも発生するものと考えられる。また、図-4(a), (b)を見ると、(b)の河口付近で通常発生する砕波が十分再現できておらず、今後数値モデルを改良する必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究では、鉛直2次元モデルにより河口部を対象とした詳細な波浪の数値計算を試みた。結果、波浪が土砂に与える影響についてある程度確認することができた。しかし、今回の数値計算では砕波が十分再現できておらず、また、河川流量を考慮していない。したがって、今後は波浪の浅水変形による砕波の再現性を高めるとともに、河床変動を導入した数値計算を実施する予定である。

表-1 計算条件

水路勾配 (海域部)	1/85
水路勾配 (河口部)	1/1000
マンニングの粗度係数: n	0.025
計算時間間隔: Δt (sec)	0.02
メッシュ間隔: Δx (m)	1.5
メッシュ間隔: Δz (m)	0.5
波高: H (m)	3.0
周期: T (sec)	8.0
砂粒子 (0.03cm) の沈降速度: w_f (cm/s)	3.85

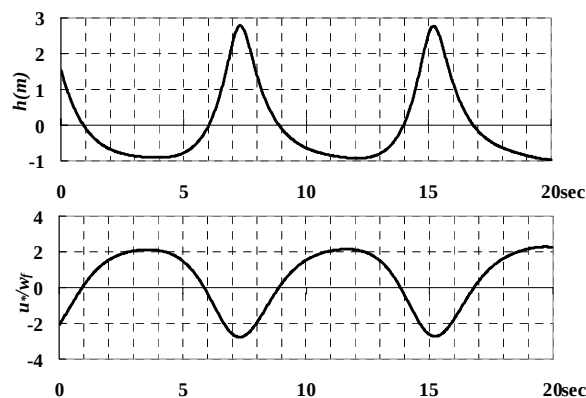


図-2 1500m地点における水位・ u^*/w_f

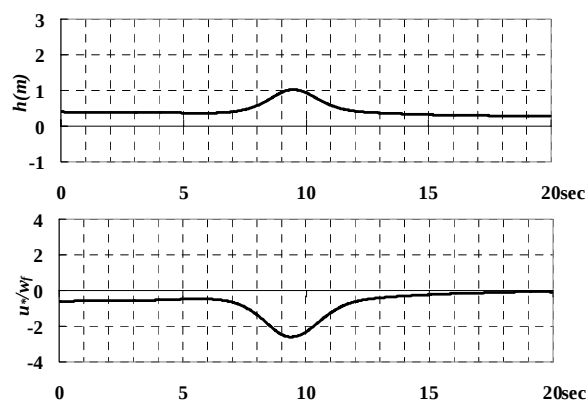


図-3 250m地点における水位・ u^*/w_f

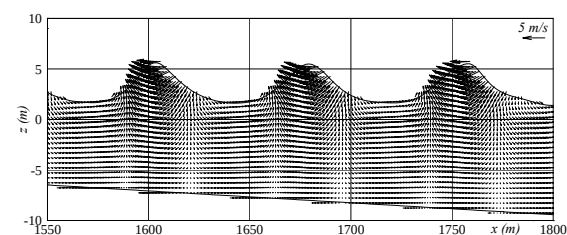


図-4(a) 波形と流速ベクトル（沖波）

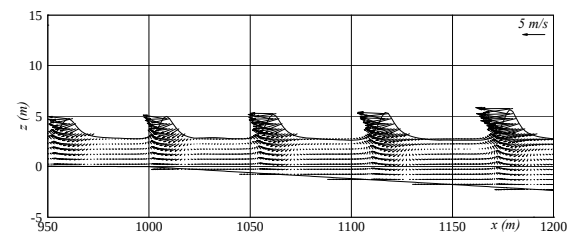


図-4(b) 波形と流速ベクトル（河口付近）