

水深積分モデルによる管路内砂堆の発生・発達過程の数値解析

○細田 尚・木村敏章・LANGHI M. N.

○HOSODA, T., KIMURA, T. and LANGHI, M.N.

1. はじめに

本研究は、自由水面を持たない移動床管路内での砂堆の発生・発達に関して、簡易な水深積分モデルを用いた現象の再現可能性について検討したものである。

移動床を有する管路内での河床波の発生に関しては、これまでColeman等<sup>1)</sup>による実験的研究、関・泉<sup>2)</sup>、平塚・泉・関<sup>3)</sup>による安定解析を用いた実験的研究等が行われており、移動床管路内での砂堆の存在が確認されている。そこで本研究では、移動床管路内の砂堆の発生・発達過程をできるだけ簡易に再現する方法として、移動床開水路流れ中の砂堆・反砂堆の発生・発達や遷移の再現に対する適用性が検討されてきた流れの水深積分モデルを取り上げ<sup>4,5)</sup>、その適用性について検討する。

2. 管路流れのBoussinesq方程式

図-1に示した座標系を参照して、管路流れに適用するための鉛直加速度を考慮した水深積分モデルを記述すると次式となる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^2 D}{\partial x} = & -\frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{1}{2} g D^2 \cos \theta + \frac{p_D D}{\rho} \right. \\ & + \frac{1}{6} D^2 u \left( \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \\ & + D^2 u \frac{\partial u}{\partial x} \left( \frac{1}{3} \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{1}{2} \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) - \frac{1}{6} D^3 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 \left. \right\} \\ & - \left\{ g d \cos \theta + \frac{p_D}{\rho} + \frac{1}{2} u D \left( \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial u}{\partial x} + D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \right. \\ & + u D \frac{\partial u}{\partial x} \left( \frac{1}{2} \frac{\partial D}{\partial x} + \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) - \frac{1}{2} D^2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 \left. \right\} \frac{\partial z_b}{\partial x} \\ & + g D \sin \theta - \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\tau_{ux}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \varepsilon_x D \frac{\partial u}{\partial x} \right) \end{aligned}$$

また、壁面に作用するせん断応力については、摩擦係数 $c_f$ を用いるとともに、路床変動による加速・減速効果を考慮した次式を用いている。

$$\tau_{bx} = c_f u^2 \left( 1 - \Gamma \frac{\partial D}{\partial x} \right), \quad \Gamma = 3.0$$

3. 管路内の砂堆発生・発達に関する数値解析

(1) 路床変動解析モデル

路床変動の解析には、水深積分モデルによる開水路流れの砂堆・反砂堆のシミュレーションと同様に流砂過程の非平衡性を考慮した式を用いる。

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = \frac{1}{1 - \lambda} d(p_d - p_s)$$

これまでに述べてきた流れ及び路床変動の解析モデル

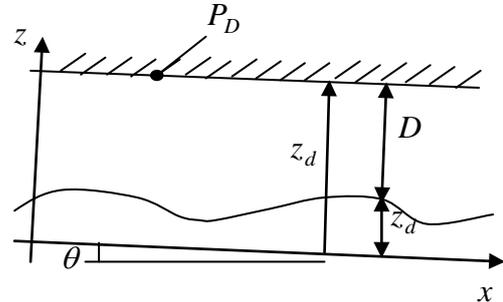


図-1 Boussinesq方程式の導出に用いた座標系

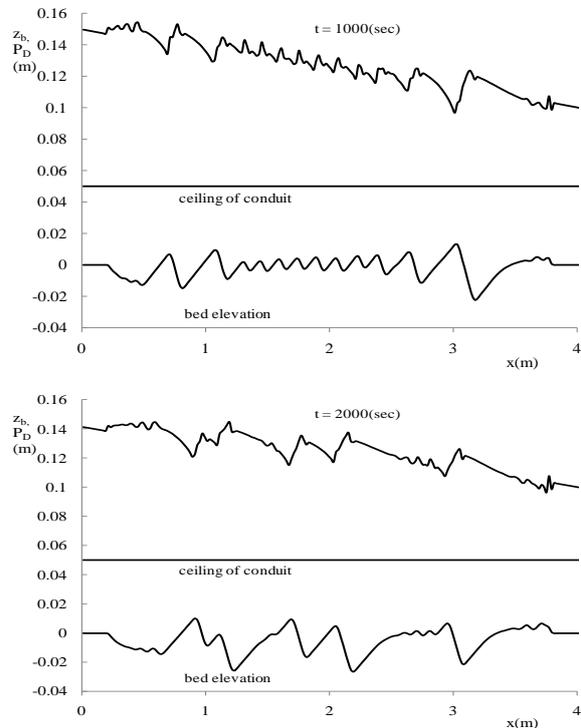


図-2 管路内砂堆の発生・発達のシミュレーション結果

(2) 解析結果の考察

を用いて、粒径 $d=0.5(\text{mm})$ 、単位幅流量 $0.03(\text{m}^2/\text{s})$ 、 $He=0.1(\text{m})$ 、管路長さ $4(\text{m})$ 、管路高さ $0.05(\text{m})$ 、 $c_f=0.01$ 、 $\Lambda=100d$ 、 $\Delta x=0.02(\text{m})$ 、 $\Delta t=0.05(\text{sec})$ の条件で行った砂堆の発生・発達のシミュレーション結果を図-2に示す。

参考文献

1) Coleman, S.E., Fedele, J.J. and Garcia, M.H.: *J. Hydr. Eng.*, 12, pp.956-965, 2003. 2) 関 陽平, 泉 典洋: 土木学会応用力学論文集, Vol.11, pp.753-760, 2008. 3) 平塚智史, 泉 典洋, 関 陽平: 土木学会水工学論文集, 第54巻, pp.721-726, 2010. 4) 細田 尚, 加藤隆彰: 土木学会水工学論文集, 第44巻, 617-622, 2000. 5) 音田慎一郎, 細田 尚: 土木学会水工学論文集, 第48巻, pp.973-978, 2004. 6) 細田 尚, 村本嘉雄, 宮本雅章: 土木学会論文集, No.558/II-38, pp.81-89, 1997.