

日本建設コンサルタント(株) 正員 朱 木蘭

日本建設コンサルタント(株) 正員 西本直史

1. はじめに

河道計画では、合流点をどのように処理するかが重要な課題の一つである。合流点における洗掘・堆積状況は、本川、支川の流送土砂量と粒径の違いや、流量と流れの違いによって大きく異なる。このような合流点を適切に処理するための評価法の一つとして2次元河床変動解析があるが、河床材料粒度分布やその時間的変化を考慮することが必須である。そこで本論文では、2次元河床変動解析の有用性を明確にするため河床材料の sorting を考慮した河床変動計算モデルを構築し、合流点における河床変化と sorting について支川の河床材料変化による影響も含めた検討を行った。

2. 河床変動計算モデル

流れには定常2次元浅水流モデルを用いる。基礎方程式は以下のとおりである¹⁾。

$$s \text{ 方向の運動方程式} : u \frac{\partial u}{\partial s} + v \frac{\partial u}{\partial n} + \frac{uv}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial s} - \frac{\tau_s}{\rho h} + 2 \frac{\partial}{\partial s} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial n} \left(\varepsilon \frac{\partial u}{\partial n} \right) \quad (1)$$

$$n \text{ 方向の運動方程式} : u \frac{\partial v}{\partial s} + v \frac{\partial v}{\partial n} - \frac{u^2}{r} = -g \frac{\partial H}{\partial n} - \frac{\tau_n}{\rho h} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial s} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial n} \left(\varepsilon \frac{\partial v}{\partial n} \right) \quad (2)$$

$$\text{連続式} : \frac{\partial(uh)}{\partial s} + \frac{\partial(vh)}{\partial n} + \frac{vh}{r} = 0 \quad (3)$$

ここに、 u 、 v は s 、 n 方向の水深平均流速、 r は流路の曲率半径、 g は重力加速度、 H は水位、 h は水深、 ρ は流体の密度である。 τ_s 、 τ_n は s 、 n 方向の河床せん断力、 ε は渦動粘性係数($\varepsilon = \kappa u_* h/6$)である。

流砂の連続式および交換層の粒度分布式²⁾は以下のとおりである。

$$\text{流砂の連続式} : \frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)} \sum_k \left(\frac{\partial q_{bsk}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bnk}}{\partial n} + \frac{q_{bsk}}{r} \right) = 0 \quad (4)$$

$$\text{交換層の粒度分布式} : \frac{\partial P_{bk}}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)E_m} \left(\frac{\partial q_{bsk}}{\partial s} + \frac{\partial q_{bnk}}{\partial n} + \frac{q_{bnk}}{r} \right) + \frac{1}{E_m} \frac{\partial z_b}{\partial t} (\eta P_{bk} + (1-\eta)P_{bko}) = 0 \quad (5)$$

ここに、 z_b は河床高、 λ は河床材料の空隙率、 q_{bsk} は粒径 d_k の s 方向の単位幅流砂量、 q_{bnk} は粒径 d_k の n 方向の単位幅流砂量、 P_{bk} は交換層の粒径 d_k の含有率、 P_{bko} は交換層下層の粒径 d_k の含有率、 E_m は交換層厚、 η は係数で侵食($\partial z_b / \partial t < 0$)のとき $\eta = 0$ 、堆積($\partial z_b / \partial t > 0$)のとき $\eta = 1$ である。流線方向の流砂量には芦田・道上式³⁾、その直交方向の流砂量式には長谷川式⁴⁾を適用して計算を行う⁵⁾。計算ではスタッガート格子(図-1)を用いた。計算手順は、①SIMPLER法⁶⁾により u 、 v 、 h を求める、② $t + \Delta t$ の河床形状と粒度分布を算定する、③所定時間に達するまで②、③を繰り返す、である。

3. 河床変動計算

本川川幅を20cm、支川川幅を10cm(合流後30cm)とする合流点を対象として計算を行った。河床勾配は0.009、粗度係数は0.030、上流端流量は本川2.15ℓ/s、支川1.08ℓ/sで、給砂条件を平衡とした。下流端には等流水深3.6cmを与えた。河床材料の粒径は、5.8mm、3.5mm、1.63mm、0.7mm、0.35mmである。

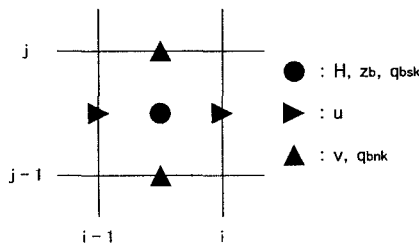
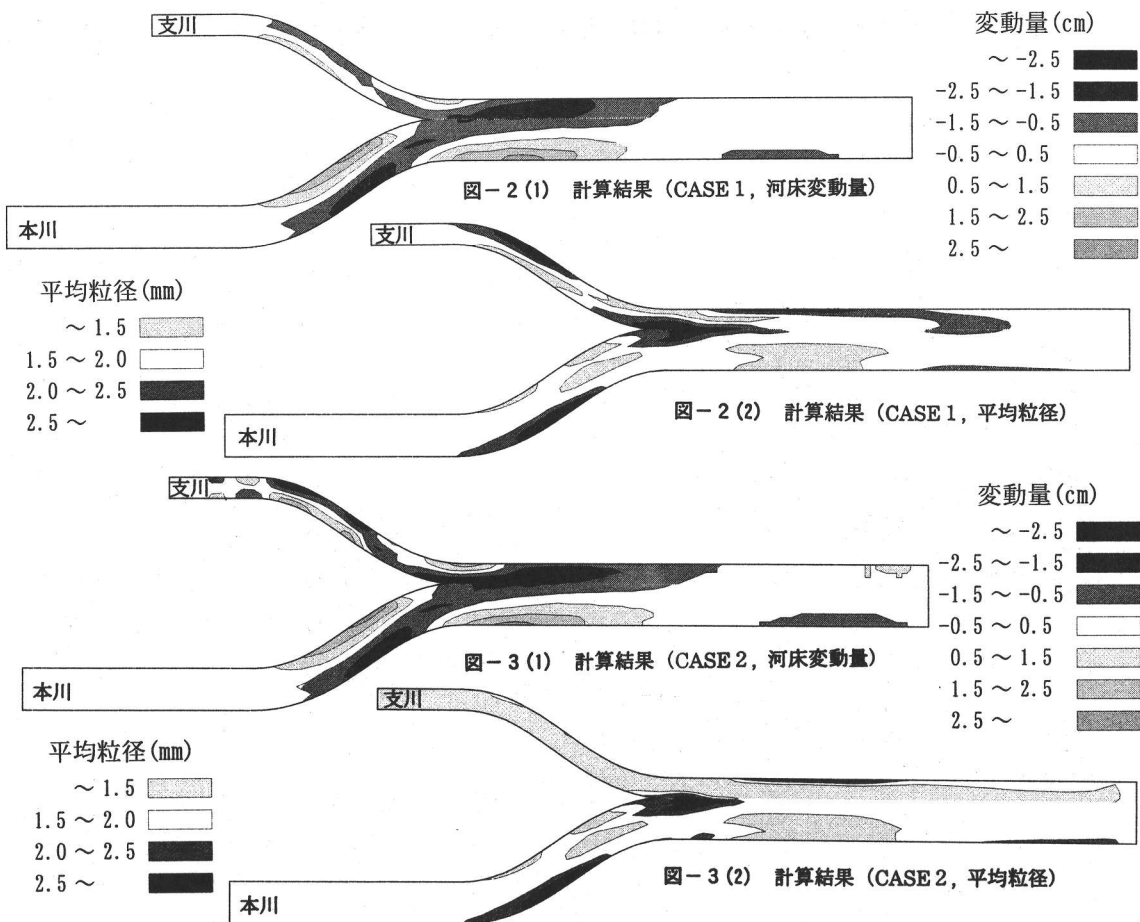


図-1 変数の配置

Key Words : numerical model , river confluence , sediment sorting , bed variation

連絡先：〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19, Tel.03-5405-8151, FAX.03-5405-8161



計算 CASE1 では、本川、支川に同じ河床材料を設定し、各粒径の含有率を 5%, 15%, 40%, 38%, 2% (平均粒径 1.74mm) とした。CASE2 では、CASE1 で支川の含有率を 1%, 5%, 15%, 43%, 26% (平均粒径 0.87mm) としたものを設定した。なお、縦断方向の計算格子間隔は 5cm, 横断方向の格子間隔は 2cm である。

図-2, 3 にそれぞれ通水 2 時間後の河床変動量と平均粒径のコンター図を示す。CASE1 では、本川の流れによる河床変化が卓越する結果、合流点の左岸側で洗掘、右岸側で堆積が生じている。平均粒径については、合流点上流の本川右岸側で洗掘と粗粒化の対応関係が明確となるのに対し、合流点洗掘部ではこのような対応関係は認められない。これは、合流点の河床材料が支川からの流入土砂の影響も受けて変化することによる。そこで CASE2 をみると、支川の河床材料は CASE1 より細かいため支川の河床変動量が大きくなり、合流点に細かい土砂が多く流入した結果、合流点の平均粒径は CASE1 より相当細かくなるとともに、CASE1 とは少し異なる河床変化が現れることが分る。

4. おわりに

今後は実河川も対象として、本川・支川の流量時系列や合流形状を考慮した検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 西本, 清水, 青木: 流線の曲率を考慮した蛇行水路の河床変動計算, 土木学会論文集, No.456, pp.11-20, 1992.
- 2) 芦田ら: 蛇行流路における Sorting 現象及び平衡河床形状に関する研究, 京大防災研年報, 第33号, pp.261-279, 1990.
- 3) 水理公式集[平成11年版]: 第2編河川編, pp.163-165, 土木学会, 1999.
- 4) 長谷川: 沖積蛇行の平面および河床形状と流れに関する水理学的研究, 北海道大学学位論文, 1983.
- 5) 小川ら: 二次元河床変動解析の現地への適用に関する研究, 水工学論文集, 第43巻, pp.701-706, 1999.
- 6) Patankar, S.V.: Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, 1980.