

(財) 河川環境管理財団	正会員	○中西	史尚
立命館大学理工学部	正会員	江頭	進治
立命館大学理工学部	正会員	金	海生
立命館大学大学院	学生員	望戸	昌観

1. はじめに ブラントス川はジャワ島の東部に位置し、流域面積 12,000km²、流路延長 320km である。本河川は、火山を取り巻くように流れているため、支流から供給土砂の影響を受けて大きく変わる。また、本川に築造されているダムの影響で、下流の河床が低下していることも知られている。このように本河川は、土砂供給の不均衡によって河床変動が激しい¹⁾。本研究では、図 1 に示しているように、河口から 125km～136km における、蛇行部を含む流路を対象として、2 次元河床変動計算を行い、流路の弱点部を探ることを目的としたものである。

2. 二次元河床変動モデル 計算においては、図 1 に示す計算区間を流下方向 (ξ_1 方向) に 142 分割、河幅方向 (ξ_2 方向) に 17 分割し、境界適合直交曲線座標系の 2 次元平面流モデル²⁾を使用する。支配方程式を以下に示す。

$$\text{＜流れの連続式＞} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{1}{g_{11}g_{22}} \left[\frac{\partial(g_{22}hu_1)}{\partial \xi_1} + \frac{\partial(g_{11}hu_2)}{\partial \xi_2} \right] = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{＜運動方程式＞} \quad & \frac{\partial u}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{g_{11} \partial \xi_1} + u_2 \frac{\partial u_1}{g_{22} \partial \xi_2} + \frac{u_1 u_2}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{11}}{\partial \xi_2} - \frac{u_1^2}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{11}}{\partial \xi_1} \\ & = -\frac{g}{g_{11}} \frac{\partial \zeta}{\partial \xi_1} + \frac{1}{g_{11}g_{22}h} \left[\frac{\partial(hg_{22}\tau_{11})}{\partial \xi_1} + \frac{\partial(hg_{11}\tau_{21})}{\partial \xi_2} \right] \\ & + \frac{\tau_{1j}}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{11}}{\partial \xi_j} - \frac{\tau_{2j}}{g_{11}g_{22}} \frac{\partial g_{11}}{\partial \xi_j} - \frac{\tau_{bi}}{\rho h} \quad \left(\begin{matrix} i=1,2 \\ j=2,1 \end{matrix} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{＜河床位方程式＞} \quad \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{g_{11}g_{22}} \left[\frac{\partial(g_{22} \sum q_{bk1})}{\partial \xi_1} + \frac{\partial(g_{11} \sum q_{bk2})}{\partial \xi_2} \right] = 0 \quad (3)$$

(流砂の連続式)

ここに、 h は水深、 g_{ij} は座標変換係数、 u_i は流速、 ζ は水位、 g は重力加速度、 τ はせん断力、 τ_b は河床せん断力、 ρ は水の密度、 z は河床位、 q_{bk} は粒径階 k の単位幅流砂量で、これには芦田・道上式を用いて求める。なお、流砂の向きに対する 2 次流の影響を考慮するため、流線の曲率に対応する底面 2 次流速を導入している。

$$\text{＜粒度分布式＞} \quad \frac{\partial f_{bk}}{\partial t} + \frac{1}{(1-\lambda)n_b} \frac{1}{g_{11}g_{22}} \left[\frac{\partial(g_{22}q_{bk1})}{\partial \xi_1} + \frac{\partial(g_{11}q_{bk2})}{\partial \xi_2} \right] = -\frac{1}{n_b} \frac{\partial z}{\partial t} F \quad \left(F = f_{bk}, \frac{\partial z}{\partial t} \geq 0, F = f_{ok}, \frac{\partial z}{\partial t} < 0 \right) \quad (4)$$

ここに、 f_{bk} は交換層において k 粒径が占める割合、 f_{ok} はその下層において k 粒径が占める割合、 λ は砂の空隙率、 n_b は交換層厚である。

3. 計算条件 シミュレーションにおいては、初期河床として、横断方向に平坦化したものを用い、24 時間行った。上流端では、流量 $Q=1000\text{m}^3/\text{s}$ を定常的に与え、給砂量を平衡状態にした。粒度分布には、1994 年に同地点で採取したデータを用い、これを 11 粒径階に分けて全地点一様に与えた。また、この平均粒径は 0.6mm である。表層厚 n_b は 0.2m としている。

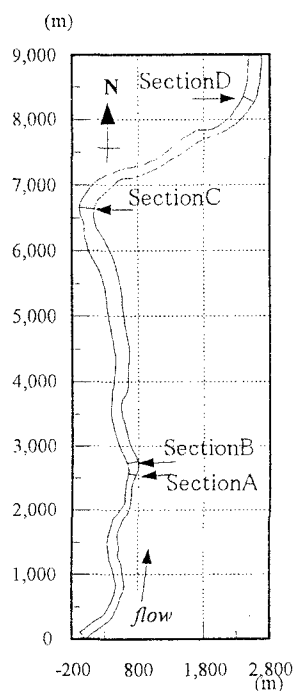


図 1 ブラントス川
(計算区間)

4. 結果 図2は最深部の河床位と水位に関する結果である。これを見ると、断面A、Bおよび断面D付近において著しい河床の侵食が起きている。図1と合わせてみていくと、河幅の狭い領域や断面の漸拡部で変動が激しくなっていることが分かる。図3は、断面A~D 付近における流速ベクトルの変化を示している。断面A、Bは、狭い水路から蛇行しながら漸拡していく領域である。この付近の流速は、相対的に速くなっている。12 時間後には流れの分裂が起きている。断面C の曲率半径は約 800m である。流速は、時間とともに大きくなっている。断面D 付近では、流速が横断方向にほぼ一定で、その大きさが変化している。図4は、A~D 段面の横断形状ならびに平均粒径の変化を示している。断面A では最初内岸側が洗掘されるが、次第に流れが外岸に集中し、外岸が洗掘される。断面B は内岸に堆積、外岸に侵食がみられる。断面C においては、少しずつ内岸に堆積が生じている。断面D は川幅の狭い区間から蛇行しながら漸拡してきた地点であり、内岸寄りに堆積している。平均粒径の変化をみると、堆積部において、やや粒径が小さくなっている。

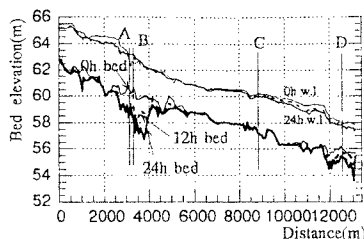


図2 各段面の最深部に関する縦断形状の変化

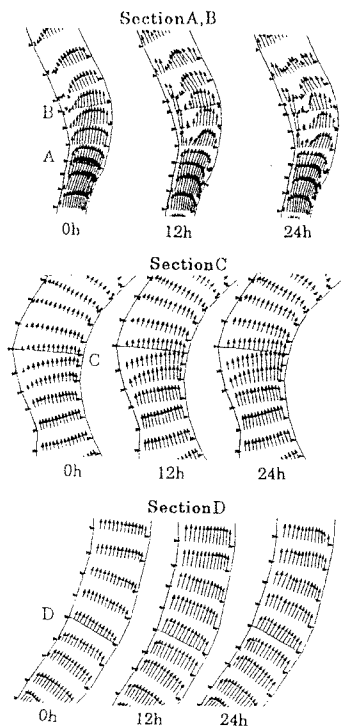


図3 流速ベクトル

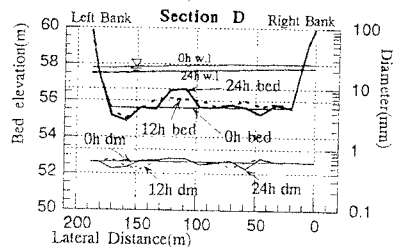
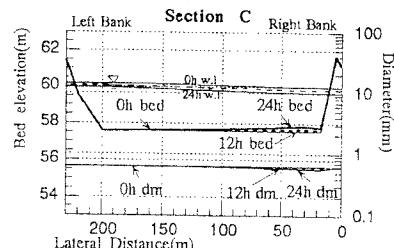
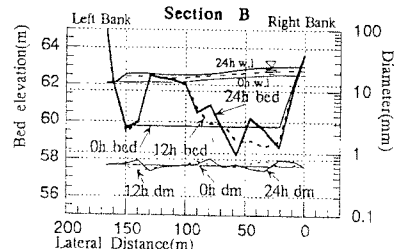
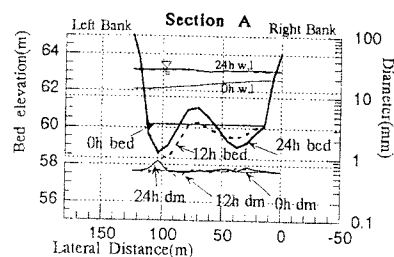


図4 横断形状の変化

5. 結論 河幅が大きく変わり、しかも蛇行部を含む河道を対象として、2次元河床変動計算を行い、その結果について検討してきた。その結果、プランタス川においては断面の急変部や、蛇行部では、河床変動が激しく起こり、場所によっては流れの分裂が起こり、それに伴い砂州の形成が増長される部分がある。このようなところは治水上の弱点となる。今後、さらに現地の条件に合わせるため、ハイドログラフや、浮遊砂を考慮した解析を行い、河床変動を検討していく。

本研究は、一部文部省科学研究費、国際学術研究(代表者:江頭進治)、国際防災10年京都大学防災研究所特別事業の補助を受けて推進しているものであり、ここに記して感謝いたします。

参考文献 1)中西・江頭・藤田:プランタス川中流部の河床変動の実態, 第50回年次学術講演会Ⅱ-238, 1995

2)K. W. CHAW and H. S. JIN:Numerical Solution of Two-layered, Two-dimensional Tidal Flow in Boundary-fitted Orthogonal Curvilinear Coordinate System, International Journal of Numerical Method in Fluids, Vol.21, No.11, 1995