

II-183

連続湾曲部の二次元河床変動に関する数値シミュレーション

鳥取大学工学部 正 員 道上 正規
鳥取大学工学部 正 員 〇 檜谷 治
鹿島建設（株） 正 員 山根 正樹
鳥取大学大学院 学生員 松ヶ下伸介

1. はじめに 数値シミュレーションによる河床変動の予測は、従来より盛んに行なわれており、ダム築造や床固めなどの河川改修に起因する河床縦断方向の河床変動を把握する手段として、河川計画上大きな役割をはたしている。しかし、この一次元解析による河床変動予測は、河床縦断形状の議論にとどまるため、河川湾曲部あるいは構造物周辺など、その河床形状を平面的に予測しなければならない場合には、一次元解析では不十分である。本研究では、流れに関する3次元解析結果から平面二次元河床変動を計算する方法を提案し、従来行なわれた連続湾曲部の河床変動実験に適用して、その計算方法の妥当性について検討する。

2. 計算方法 本研究の河床変動計算では、まず流れを3次的に解く必要があるが、その計算方法については省略し（参考文献〔1, 2〕参照）、河床変動計算方法のみについて説明する。まず、図-1に示す*i*、*j*メッシュの河床変動計算は次のように行なわれる。まず、3次元流計算結果の河床からΔ*l*の位置の流速u（流下方向）および*v*（横断方向）をもとに、次式により摩擦速度u*を算定する。

$$u_*^2/\rho = \varepsilon_v \sqrt{\{(u_{i+1,j}+u_{i,j})/2\}^2 + \{(v_{i,j+1}+v_{i,j})/2\}^2} / \Delta l \quad (1)$$

ここに、 ε_v は底面流速地点での鉛直渦動粘性係数、Δ*l*は河床から底面流速位置までの鉛直距離である。なお、河床の流速は0である。

つぎに、u*を用いて芦田・道上の流砂量式より全流砂量 $q_{Bsi,j}$ を算定し、底面流速比より流下方向流砂量 $q_{Bsi,j}$ を算定する。また、横断方向流砂量 $q_{Bni,j}$ は長谷川の提案式〔3〕を用いて次式から求める。

$$q_{Bni,j} = (\tan \delta_{n,m} - \sqrt{\tau_{*c}/\mu_s \mu_k \tau_{*m}}) q_{Bsm}, \quad \tan \delta_{n,m} = v_{ij}/u_m \quad (2)$$

ここで、上式中、添字*M*のつく諸量は、*i*、*j*点の流速 v_{ij} の流向により、次のように決定される。

$$v_{ij} > 0; u_m = (u_{i+1,j-1} + u_{i,j-1})/2, \quad \tau_{*m} = \tau_{*i,j-1}, \quad q_{Bsm} = q_{Bsi,j-1} \quad (3)$$

$$v_{ij} < 0; u_m = (u_{i+1,j} + u_{i,j})/2, \quad \tau_{*m} = \tau_{*i,j}, \quad q_{Bsm} = q_{Bsi,j} \quad (4)$$

これは、 v_{ij} 点を通過する流砂量は、その風上の流砂量に支配されるという概念に基づくものである。以上より決定される流砂量を用い、流砂の連続式を q_{Bs} は流下方向*s*軸に対して後退差分、 q_{Bn} は横断方向*n*軸に関して中央差分となるように差分化して、任意の*i*、*j*点の河床変動量Δ*Z_{ij}*を求める。

また、上流端での境界条件は、計算初期では、平衡状態での流砂量に近い値を横断方向一定で与え、計算が進行した後は、下流端の横断平均流砂量を流入流砂量とし、平衡状態への接近の促進をはかった。下流端での境界条件は河床変動に関しては自由とし、側壁では、側壁での侵食等は発生しないと考え、流砂量の出入りはしないものとした。なお、計算の手順は、流況と河床変動量を交互に計算して行くものであるが、計算の安定化のため、1回の河床変動計算後（Δ*t*=6 sec）流況の計算（Δ*t*=0.03 sec）を8回行ない、河床変動後の流況とした。

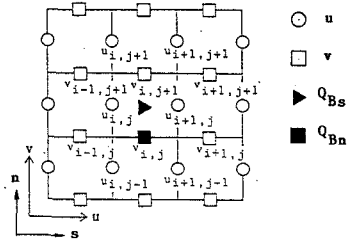


図-1 記号図

表-1 実験結果〔3〕

水路形状	sine-generated-curve
蛇行角	30°
水路幅	30 cm
蛇行長	220 cm
平均河床勾配	1/300
流量	1.87 l/s
平均水深	2.58 cm
断面平均流速	24.16 cm/s
河床材料平均粒径	0.043 cm
河床形態	ripple

3. 計算結果 本研究では、長谷川の行なった河床変動実験〔3〕に、本計算法を適用した。実験条件を表-1に示す。実験水路の平面形状は、その中心線が sine-generated-curve で表される蛇行形状となっている。計算メッシュ及び断面番号を図-2に示す。メッシュ間隔は、流下方向に5cm、横断方向3cmの等間隔とした。

計算は初期状態を実験と同様に平坦として行なわれた。図-3は、この河床変動計算開始時点の流速ベクトル、水深分布及び河床せん断力分布を示している。初期の実験値がないので比較はできないが、図によると、流れは湾曲部で内岸側が若干速いものの、最大偏角が小さいため蛇行による影響が少なく、全体としては一様な分布に近いものとなっている。また、水深及び河床せん断力の分布についても、従来の研究〔4, 5〕で得られている蛇行流れの特徴を良好に再現できていると思われる。

図-4は平衡状態での河床変動量及び平均流速ベクトルを実験値と比較したものである。河床変動量について見ると、計算の深掘れ及び堆積の範囲、位置はいずれも実験値とほぼ同傾向を呈している。深掘れ及び堆積の位置は、流速ベクトル図における水衝部および水裏の位置と一致しており、主流速の偏奇と河床変動は、相互に干渉していることが分かる。また、流速ベクトルに関しては、湾曲部の前半の内岸側から湾曲の後半の外岸側へと向かって流速の速い部分が遷移しており、深掘れ部から次の深掘れ部に向かう経路に流れが集中していることがわかる。その結果、水衝部は曲頂部よりやや下流にずれた地点となっている。また、水衝部の対岸側、すなわち曲頂部の下流内岸側では、流速が非常に遅くなり、ここに堆積が生じている。全体的に見ると、計算値は湾曲部河床変動の特徴をよく再現しており、実験結果ともほぼ一致している。

参考文献

- [1] 檜谷ら：水工学論文集、第34巻、1990。
- [2] 道上ら：第42回中四講演概要集、1990。
- [3] 長谷川：北海道大学博士論文。
- [4] 玉井ら：土木学会論文報告集、第331号、1983。
- [5] Yen: Institute of Hydraulic Research, University of Iowa, 1965。

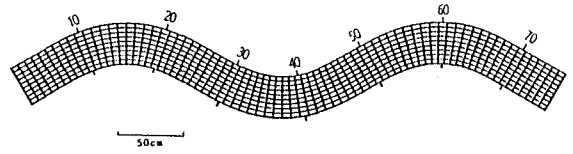


図-2 解析メッシュ

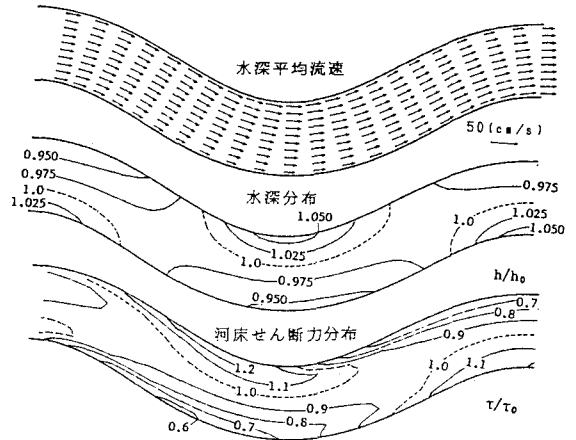
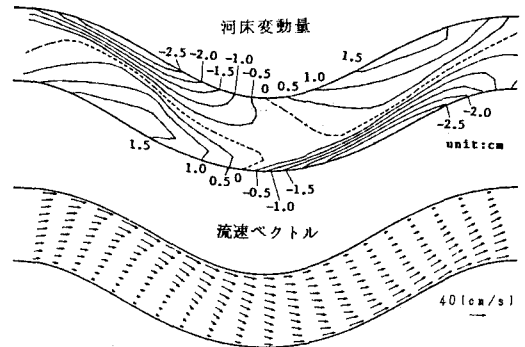
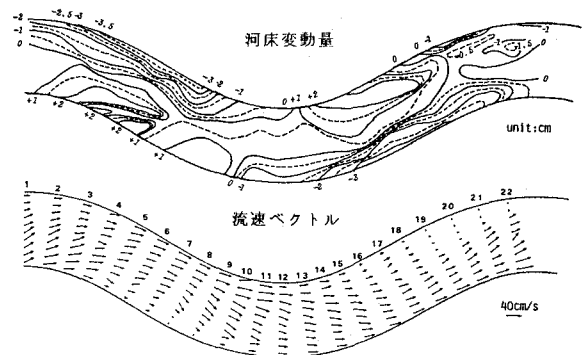


図-3 初期状態に対する計算結果



(a) 計算値



(b) 実験値（長谷川）