

徳島大学大学院

学生会員

○伊藤守己人

徳島大学

フェロー会員

岡部健士

ニタコンサルタント(株)

正会員

三好学

1.はじめに：河道内樹木は、河床の深掘れを助長し、護岸や堤防などの安全性を損なわせ、洪水では安全な流下に必要な河積を減少させるといった問題を引き起こす。また、環境面においても河川特有の自然環境を形成しているため、植生域の伐採などにより生態系を変化させてしまう恐れがある。治水面、環境面の相互作用を考え、河道管理計画を立てる上で植生による河床変動を予測する事は重要である。本研究では、2次元河床変動計算モデルを構築し、2ケースの実験結果と再現計算を通して、計算モデルの適合性を検証した。

2.計算モデルの概要：計算モデルは、流

れ計算と河床変動計算からなる。流れ計算の基礎式は、連続式(1)と運動方程式

(2), (3)からなる。河床変動計算の基礎式は、連続式(4)と河床せん断力が作用

する方向に、芦田・道上の式(5)、それ

と直交する方向に長谷川の式(6)を用いた。無次元限界掃流力は、斜面勾配を考

慮したものとなっている。計算格子はデ

カルト座標系における定型直交格子、変

数配置はスタッガード配置を用いた。離

散化方法として、移流項は、CIP法を基

に考案された計算を安定させるための特別な方

法を用いた。この離散化方法では、流速の時間

ステップが1ステップ前での流量フラックスの

値をそのまま1メッシュ先に移流させるという

ものである(図1)。その他の空間微分項は、2

次精度の中央差分、時間については陽的な

leap-frog法を用いた。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Mu + \frac{\partial}{\partial y} Mv = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bedx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) - F_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Nu + \frac{\partial}{\partial y} Nv = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{bedy}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) - F_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \left(\frac{\partial q_{b,x}}{\partial x} + \frac{\partial q_{b,y}}{\partial y} \right) = 0 \quad (4)$$

$$q_s = 17\tau_*^{3/2} \left(1 - \frac{\tau_{*sc}}{\tau_*} \right) \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{*sc}}{\tau_*}} \right) \sqrt{sgd^3} \quad (5)$$

$$q_n = q_s \left(-\sqrt{\frac{\tau_{*sc}}{\mu_k \mu_k \tau_*}} \frac{\partial z}{\partial n} \right) \quad (6)$$

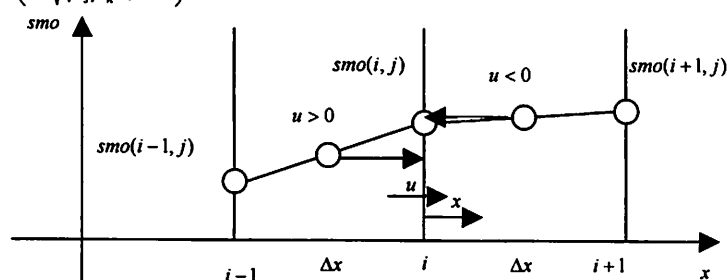


図1 離散化方法

3.実験概要：前節で述べた計算モデルの適合性の検証を行うため

に実験を行った。実験には、長さ 5.65m, 幅 1.0m, 勾配 1/200 の

直線水路を用いた。まず、この水路に、図2に示すような樹木群

模型を図3、4に示すような2種の様式で配置したのち、平均粒

径 1mm の一様砂で平坦な移動床を作成した。樹木群模型は直径

2.0mm, 長さ 10cm の竹ひごを図2のように縦断方向に 5.0cm 間

隔、横断方向に 4.0cm 間隔で配置した。樹木群模型の配置間隔を

50cm, 25cm としたものをそれぞれ CASE1, CASE2 とした。こ

の水路に定常流量 5.0 l/s, 無給砂で通水した。通水 5 時間後の河床形状を測定した。

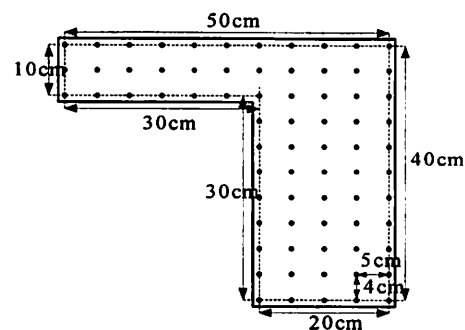


図2 樹木群模型図

4.適合性の検証：各ケースについて、数値計算の結果と実験終了時の河床変動量の平面分布と最深河床位の縦断分布に着目しながら計算モデルの適合性を検証した。CASE 1 での河床変動量を図 3，CASE 2 での河床変動量を図 4 に示した。それぞれ，上図に実験結果，下図に数値計算結果を示した。CASE1 での最深河床位の縦断分布を図 5，CASE2 での最深河床位の縦断分布を図 6 に示す。

4.1.河床変動量：図 3，図 4 より，数値計算結果では，植生域での堆積が確認できる。実験結果と比較すると，各植生域での堆積の再現性は高いといえる。洗掘に関してみると，上流から中流では実験結果は兩岸沿いでの洗掘が見られるが，数値計算結果では水路中心で洗掘される結果となっている。しかし，広域において洗掘が見られ洗掘についても再現されている。中流から下流では，洗掘箇所が異なり水みち形成も見られず再現性は低い。

4.2.最深河床位：図 5，図 6 より最深河床位を比較すると，各ケースとも，数値計算結果が実験結果よりも洗掘量が少ない。数値計算による結果では，上流から下流にかけての洗掘量が初期河床から 10mm 程度であり，最深河床位は縦断方向で見ても大きな変化はない。しかし，実験結果では，各ケースともに 3.0m 地点からの洗掘量が増えており，最深河床位も 1.0m～1.5m 下流地点まで深くなっていく傾向が見られる。実験結果と数値計算結果では，最も深いところで約 4～5 倍の洗掘量の差が見られる。

5.まとめ：実験結果と数値計算による結果では大きな差異が見られた。これは，実験では，樹木群模型により縦渦が発生していたと考えられる。その後の実験において，縦渦の発生が確認された。本研究で用いた数値計算モデルの Engelund の経験式では，湾曲に伴う 2 次流しか考慮できないために，今回のような直線水路における，らせん流，縦渦が表現できないために河床変動量が少なかったと考えられる。今後，このようならせん流，縦渦の効果を考慮した 2 次元河床変動計算モデルの構築が必要となる。

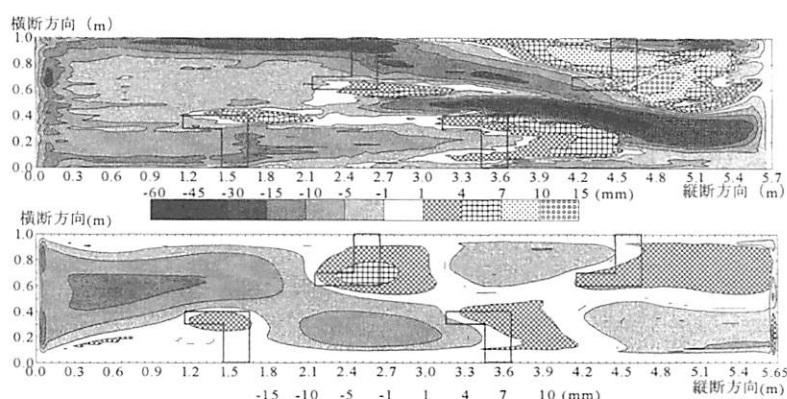


図 3 CASE1 河床変動量図

(上図：実験結果，下図：数値計算結果)

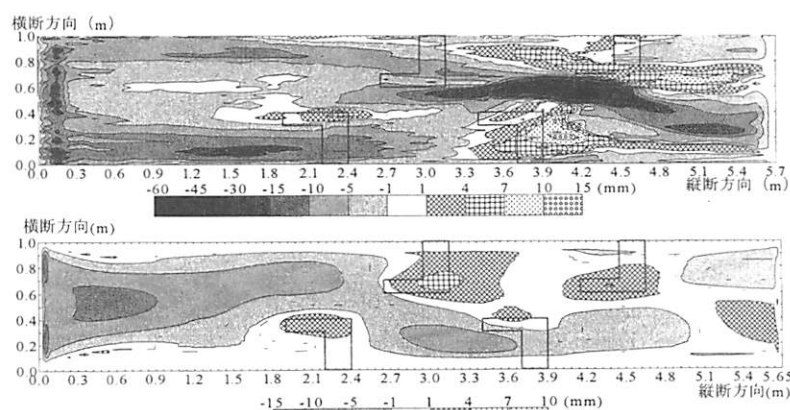


図 4 CASE2 河床変動量図

(上図：実験結果，下図：数値計算結果)

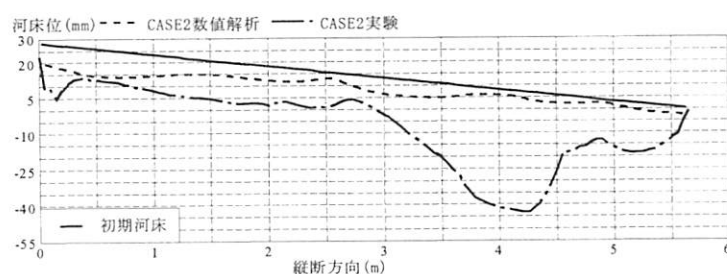


図 5 CASE1 最深河床位

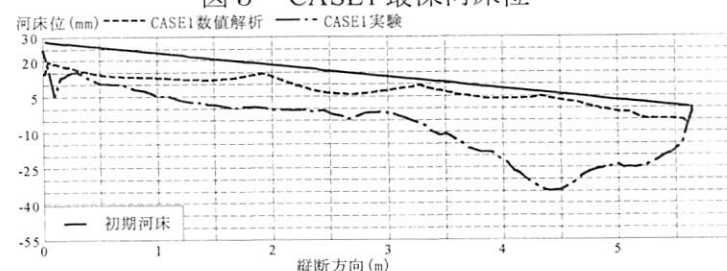


図 6 CASE2 最深河床位