

建設省四国山地砂防工事事務所 ○小山内信智  
建設省土木研究所 南 哲行, 竹崎伸司  
大日本コンサルタント (株) 松村 恭一

## 1. はじめに

扇状地または谷底平野で行われる流路整備において、主に環境上の理由から溪畔林を保全することが強く求められるようになってきている。そのための手法のひとつとして、低水護岸で固定せず、床固工群の袖部の延長に余裕を持たせることで自然に近い流路断面を造り出し、さらに溪畔林を保全・導入することでの洪水流に対する整流効果を検討することとし、昨年の水理模型実験<sup>1)</sup>に引き続き、勾配 1/25 の実験および数値シミュレーションによる再現手法の検討を行った。

## 2. 水理模型実験概要

急勾配可変水路を用いて幅 100cm、延長 10 m の直線水路を作製し、表-1 に示した条件の実験で、侵食幅等の測定を行った。給水・給砂条件は図-1 に示したとおりであり、横断工形状の A は水通し下幅 40cm、B は 20cm のものである (実験手法の詳細については参考文献 1) を参照)。

Run-1, 2, 5, 6, 10 から観察された、水路内の基本的な変化は表-2 のようにまとめられる。河床勾配の大きい Run-4 や、水通し幅の小さな Run-7 の場合は  $Q=1$  l/s でも土砂の移動が活発で側岸侵食が進行する。床固工間隔の長い Run-9 の場合は  $Q=3$  l/s 時には砂礫堆が細長く形成され、砂礫堆の長さに対して供給土砂量が相対的に少なくなった状態となり、側岸侵食は進みにくいが、 $Q=5$  l/s 時には土砂供給が十分で砂礫堆は流路幅いっぱい広がる。これらの状況を再現できる数値シミュレーションモデルの検討を行った。

## 3. 数値シミュレーションによる再現

### 3.1 シミュレーションモデルの検討

計算は差分法も含め高橋ら<sup>2)</sup>の方法と同様で、流砂量関数には MPM 式 (式-1) を用いた (メッシュは  $3\text{cm} \times 3\text{cm}$  とした)。樹林帯抵抗モデルには平野ら<sup>3)</sup>による式-2 を用い、これによる  $n_b$  を式-1 で用いた。

$$\phi_B = K \frac{(\tau_* - \tau_{*c})^{1.5}}{\tau_{*c} = U_* / (s \cdot g \cdot d)}, \quad U_* = (n_b/n_s)^{3/4} \cdot U \quad (\text{式-1})$$

(ここに、 $\phi_B$ : 無次元掃流砂量、 $K$ : 係数 (=8)、 $\tau_{*c}$ : 無次元有効掃流力、 $\tau_{*c}$ : 無次元限界掃流力 (=0.047)、 $s$ : 砂礫の水中比重、 $g$ : 重力加速度、 $d$ : 砂礫直径、 $n_b$ : 河床に樹林がある場合の粗度係数、 $n_s$ : 河床に樹林がない場合の粗度係数)

$$n_b = R^{1/6} \cdot \left( \frac{N \cdot C_D \cdot A \cdot \beta^2}{2g} + \frac{n_s^2}{R^{1/3}} \right)^{1/2} \quad (\text{式-2})$$

(ここに、 $R$ : 径深、 $N$ : 単位面積当たりの立木本数、 $C_D$ : 樹幹の抗力係数、 $A$ : 樹幹 1 本当たりの流れ方向の投影面積、 $\beta = U_v/U_m$  ( $U_v$ : 樹幹に作用する代表流速、 $U_m$ : 断面平均流速))

側方に広がる流れが側岸衝突で発生する単位幅単位時間当たり侵食量を式-3 の形で与えた。

$$\text{側岸侵食量} = \text{側岸侵食係数}(ckl) \cdot \text{流れの持つ運動量} \quad (\text{式-3})$$

ところで、実際の側岸侵食は図-2 のように侵食崖が後退する形で進行する。これを計算で表現するために、図-3 のように  $fcd$  (=メッシュ C の河床高 - メッシュ D ~ F の平均河床高)  $< 1\text{mm}$  の時侵食前縁となるメッシュ B から式-3 による侵食量をメッシュ C に移し、 $crd$  (=メッシュ B の河床高 - メッシュ C の河床高)  $< 1\text{mm}$  になった時点で侵食対象がメッシュ A に移るものとした。このモデルでは側岸侵食量は実質上  $fcd$  で決まり、 $ckl$  には十分大きい値を入れて計算を行った。また、樹林帯内の流れのフルード数  $fr$  が 1.0 程度以上の場合は樹林の影響は各樹林近傍に限られると考え、境界フルード数 ( $frs$ ) を設定し、 $fr > frs$  のときは式-2 による抵抗評価を行わないこととした。 $frs$  は 1.0 ~ 0.8 とした。

実験同様の流れの側方への広がりを再現するために、実験で見られた床固工直下の前庭侵食を計算でも強制的に発生させた。侵食深  $d$  は床固工 (落下高  $dh$ ) からの落水の位置エネルギーと関係が強いと考え、 $d = \text{前庭侵食係数}(cdp) \cdot q \cdot dh$  で与えた。 $q$  は単位幅単位時間流量である。 $cdp$  は実験結果から 142 (床固工直下でナップの形成有り)、54 (同、形成無し) とした。前庭侵食範囲は水路横断方向には床固工水通し幅とし、流下方向には実験結果を参考にメッシュ 3 列とした。

### 3.2 シミュレーションからの考察

計算で床固工前庭洗掘を発生させると実験同様の流れの広がりが再現されることから、前庭保護工設置等により側岸侵食が押さえられることが推測される。

Run-2 等の計算結果からは  $Q=5$  l/s 時の樹林密度の違いによる侵食幅の差が小さい。樹林帯抵抗評価方法や  $f_{rs}$  の設定方法について課題が残ると考えられた。

$Q=1$  l/s 時に河床低下すると、その後の流量段階で側岸侵食が抑えられる傾向がある等、 $Q=1$  l/s 時の状況の再現が全体の状況再現のために重要であることが示唆された。

#### 4. 溪畔林を活かした流路整備手法の検討

実験および計算結果から、合理的な流路整備手法に関して以下のように考えられた。

①護岸を用いない場合、床固工間隔が長いと、流路幅は最終的にレジーム則で与えられる程度の幅まで拡大する。初期流路幅が小さいと、小流量時でも側岸侵食が発生し、流下土砂が下流側での河床上昇や側岸侵食を助長する。逆に大きい場合には、偏流の原因となるため計画対象出水規模の検討も含め適切な初期流路幅の設定が必要である。

②床固工間隔を短く設定すると、床固工間の側岸侵食による水路幅の変化やそれに伴う跳水の発生を抑えられ、流路中央部の砂礫堆発達を抑制できる。また、床固工の落差を小さくできるが、工事費および景観上の問題を検討する必要がある。

③砂防河川では樹林帯だけによる側岸侵食抑制効果には限界があり、流路全体の構造で流れをフルード数 1 程度以下の緩やかなものとし、その上で樹林帯による抑制効果を見込むという考え方をすべきである。また、床固工前庭保護工等、最低限の対策施設が必要になる場合があると考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 南哲行・小山内信智・竹崎伸司・松村恭一：連続床固工区間内の溪畔林の流路安定に与える効果に関する実験，平成 10 年度砂防学会研究発表会概要集，(社)砂防学会，1998
- 2) 高橋保・中川一・西崎文能：堤防決壊による洪水危険度の評価に関する研究，京都大学防災研究所年報第 29 号 B-2,p431-450，1986
- 3) 平野洋一・水原邦夫・大手桂二：林内における流れの抵抗則と掃流砂量について，平成 2 年度砂防学会研究発表会概要集，(社)砂防学会，1990

表-1 実験条件

Run	Bed slope	Interval of groundsel (cm)	Occupation ratio of riparian trees (%)	Water and sediment supply	Structure of groundsets
1	1/50	125	no riparian trees	a	A
2	1/50	125	R: 0.4, L: 0.7	a	A
3	1/100	125	R: 0.4, L: 0.7	a	A
4	1/25	125	R: 0.4, L: 0.7	a	A
5	1/50	125	R: 0.4, L: 0.7	a	A with 1 notch
6	1/50	125	R: 0.4, L: 0.7	a	A with 2 notches
7	1/50	125	R: 0.4, L: 0.7	a	B
8	1/50	75	R: 0.4, L: 0.7	a	A
9	1/50	250	R: 0.4, L: 0.7	a	A
10	1/50	125	R: 0.5, L: 1.0	a	A
11	1/50	125	R: 0.5, L: 1.0	b	A
12	1/50	125	R: 0.5, L: 1.0	c	A

表-2 実験における水路内の状況

流量(l/s)	一般的状況
1.0	河道内に複数の砂礫帯を形成する。高水敷き部分の侵食は少ない。
3.0	河道中央に砂礫帯を形成し、流れが側方にやられ、高水敷き部分を侵食する。
5.0	3.0l/s 時に形成した河道中央の砂礫帯を侵食し流下する。側方への流れは少ない。
3.0	5.0l/s 時に形成された河道に沿って流下する。
1.0	1.0l/s 時に形成された河道に沿って流下する。

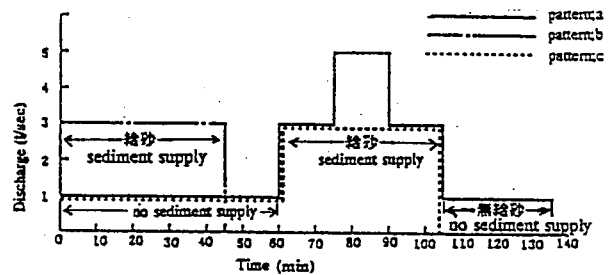


図-1 給水・給砂条件

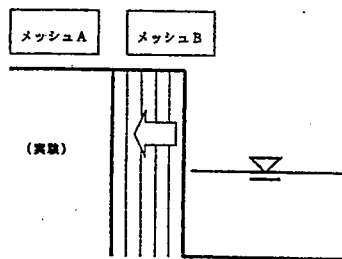


図-2 実験による側岸侵食進行概念図

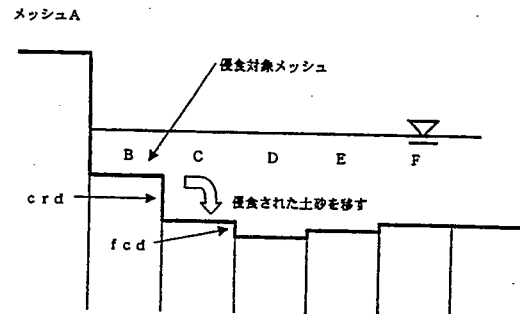


図-3 側岸侵食モデル説明図