

## ◆ 特集 土砂災害を防ぐ ◆

## 渓畔林を保全するための流路整備手法に関する実験

小山内信智\* 南 哲行\*\* 竹崎伸司\*\*\*

## 1. はじめに

扇状地または谷底平野の渓流区間等で行われる流路整備においては、コンクリート護岸などを用いた単断面の流路工を施工することが一般的に行われてきた。しかしながら、周辺環境に調和した流路整備<sup>1)</sup>が望まれるようになり、そのためには、流路断面に多様性を持たせること<sup>2), 3)</sup>が重要であると考えられた。そのための手法のひとつとして、低水路部分を護岸で固定せず、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形状を造り出し、渓畔林の成立を可能にすることを考えた。そこで、このような手法を積極的に展開するために、渓畔林の保全・導入による洪水流に対する整流効果<sup>4)</sup>を把握するために、水理模型実験を行った。

## 2. 実験方法

急勾配可変水路を用いて幅 100cm、延長 10m の直線流路を作成し、図-1 に示すような袖の長い床固工を連続的に設置した (A は水通し底幅 40cm、B は 20cm)。各実験ケースの条件は表-1 に示したとおりで、Run-1~12 の実験を行った。なお、模型縮尺は S=1/50 程度を想定している。

流路の初期形態は、洗い砂を用いて床固工水通し断面より左右岸方向にそれぞれ 5cm ずつ控えて下幅 50cm (Run-7 のみ 30cm)、側岸勾配 1:1 の逆台形移動床として整形した。床固工位置における落差は、Run-3 が 1.25cm、Run-4, 9 が 5.0cm、Run-8 が 1.5cm、それ以外が 2.5cm である。

給砂は芦田・高橋・水山の流砂量式<sup>5)</sup>

$$\phi = 12 \tau_*^{1.5} \left( 1 - 0.85 \frac{\tau_{*c}}{\tau_*} \right) \times \left( 1 - 0.92 \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} \right) \quad (1)$$

(ここに、 $\phi$ : 無次元流砂量、 $\tau_*$ : 無次元掃流力、 $\tau_{*c}$ : 無次元限界掃流力) で与えられる量とし、実験砂の粒度分布は図-2 に示したとおりであ

A Hydraulic Model Test on the Method of Torrential Conservation with Riparian Trees

る ( $d_m=1.3mm$ )。

また、樹林帯として 1 スパンの袖裏の高水敷部分のみに、右岸 0.4(または 0.5)%、左岸 0.7(または 1.0)% の樹林占有面積率 (P: 樹林設置範囲に占める総樹幹投影面積の割合) となるように  $\phi=5mm$  の木製円柱を千鳥に配置した (図-3)。

給水・給砂条件は図-4 に示したとおりで、パターン a はピークが大規模出水となるようなハイドロを、b は中規模出水を与えた場合、c は d との比較で前期出水があった場合を想定している。なお、 $Q=1\ell/s$  時には無給砂 (大量の土砂移動が始まる以前の河道形状形成期)、 $Q=3\ell/s$  および  $Q=5\ell/s$  時には給砂を行っている。

また、流水をなるべく中央に集中させ、落差を部分的にでも小さくすることを想定して Run-5 では水通し中央部に幅 10cm × 深さ 0.6cm の切り欠きを 1 つ、Run-6 では幅 5cm × 深さ 0.6cm の 2 つの切り欠きに分けて水通し天端左右端より

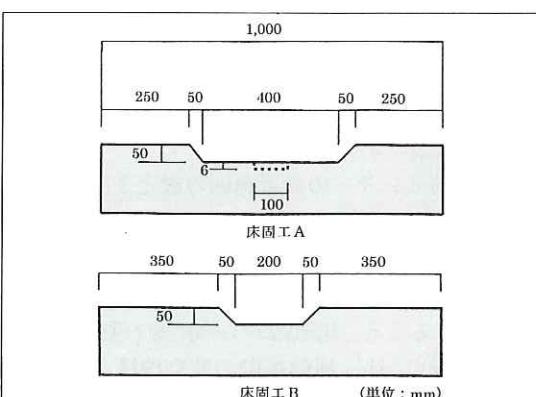


図-1 床固工構造図

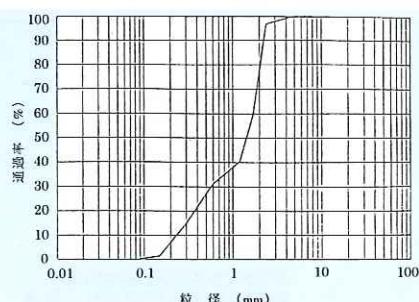


図-2 実験砂粒度分布

表-1 実験条件

Run	勾配河床	床固工間隔 (cm)	樹林占有面積率 (%)	給水・給砂条件	床固工構造
1	1/50	125	樹林なし	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 (切り欠き1つ)
6	1/50	125	R;0.4,L;0.7	a	A (切り欠き2つ)
7	1/50	125	R;0.4,L;0.7	a	B
8	1/50	75	R;0.5,L;1.0	a	A
9	1/50	250	R;0.5,L;1.0	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

\* R は右岸、L は左岸の袖裏部を指す

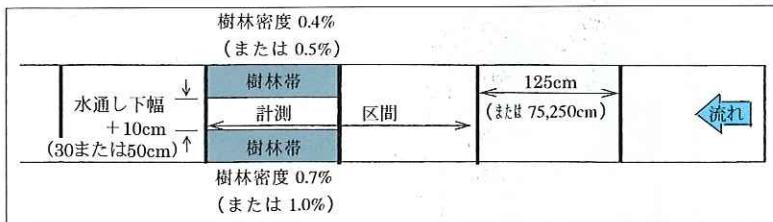


図-3 樹林帯配置説明図

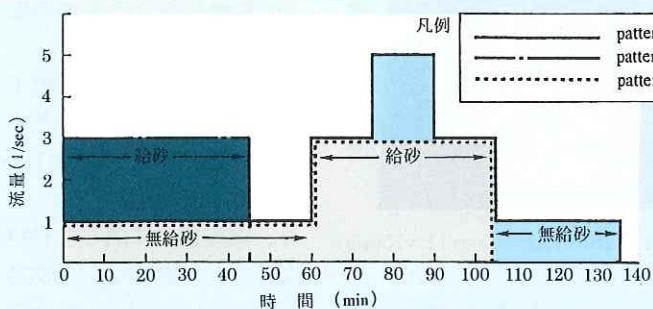


図-4 給水・給砂条件

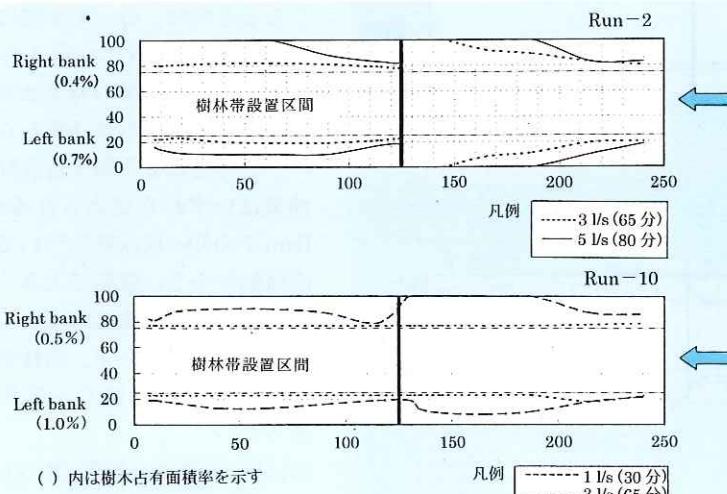


図-5(1) 水みち幅変化図 (樹林帯設置の影響)

10~15cm の位置に設けた。

測定項目は、樹林帯区間およびその上流側の無樹林区間の2スパンについて、各給水パターン中の河床高、水位、流速および流況の観察である。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 側岸侵食状況

図-5に側岸の侵食範囲(水みち幅)の時間的変化を示した。流況観察等により判読できた側岸侵食の進行状況は以下のとおりである。

##### (1) 樹林帯設置の影響

(図-5(1))

河床勾配  $I=1/50$ 、床固工水通し幅  $W=40\text{cm}$ 、床固工間隔  $L=125\text{cm}$ 、給水・給砂パターン a の各ケース (Run-1, 2, 10) の無樹林区間では、 $Q=1\ell/\text{s}$  時には砂の移動そのものが少なく、側岸侵食は小さな砂礫堆の形成に伴って僅かに発生したのみであった。 $Q=3\ell/\text{s}$  時には床固工からの落水により直下流の河床が洗掘され、その下流側に砂礫堆が形成され、砂礫堆の発達とともに側岸は上流側床固工水通しから下流側床固工の左右岸に向かって台形状に広がるように侵食されていった。 $Q=5\ell/\text{s}$  時には流水は床固工の袖によって堰上げされた状態になり、いったん流路全体に広がるが、砂礫堆がフラッシュされると主流は中央部に集中し、側岸への影響は小さくなる。 $T=90\sim105$  分の  $Q=3\ell/\text{s}$  時には、左右岸に  $Q=5\ell/\text{s}$  時に自然堤防的な高まりが形成されているため、砂礫堆の発達は顕著でな

く、したがって再侵食は進行しにくい状況であった。Run-2,10 のように樹林帯を設置すると、樹林帯区間では  $Q=3\text{ l/s}$  時の側岸侵食幅は無樹林区間に比較して明らかに小さく、流水が流路中央に集中するために砂礫堆も発達していない(図-6、写真-1)。したがって、 $Q=5\text{ l/s}$  時の砂礫堆のフラッシュに要する時間も短い。

#### (2) 河床勾配の影響(図-5(2))

河床勾配の小さい Run-3( $I=1/100$ ) の場合は、掃流力が小さく  $Q=3\text{ l/s}$  時にも土砂の移動が活発

でなく、また  $Q=5\text{ l/s}$  時にも流水の直進性が強く、砂礫堆が形成されない。そのため、すべての流量時に側岸侵食量は小さかった。

河床勾配の大きい Run-4( $I=1/25$ ) の場合は、 $Q=1\text{ l/s}$  時にも土砂の移動が活発であり、通水開始後直ちに側岸侵食が始まる。T=15 分時点では無樹林区間の侵食が側壁に達するが、樹林帯区間では侵食が抑制される状況が見られた。しかしながら、砂礫堆がある程度発達することによって左右岸に向かう実際の流路延長が長くなることによって勾配が緩くなり、やがて無樹林区間も中央部が再侵食されて主流路は中央に固定される。 $Q=3\text{ l/s}$  時、および  $Q=5\text{ l/s}$  時の状況は Run-2 とほぼ同様であったが、T=90 分以降の後半の  $Q=3\text{ l/s}$  時には再度砂礫堆が発達して前半の  $Q=3\text{ l/s}$  時と同様の侵食形状となった。

#### (3) 水通し部での流水の集中による影響(図-5(3))

Run-5,7 のように床固工の水通し部分で流水を集中させようすると、小流量( $Q=1\text{ l/s}$ )でも砂礫堆が発達することとなり、溪岸侵食に関して有利にはならない(写真-2)。切欠きを 2 箇所に分けた Run-6 の場合には、 $Q=1\text{ l/s}$  時には蛇行が大きくなるものの、 $Q=3\text{ l/s}$  時には砂礫堆の中央部にも水みちが形成されて砂礫堆の発達は切欠きのない場合とあまり変わらない。樹林帯による側岸侵食抑制効果はいずれも認められるが、Run-7 の  $Q=1\text{ l/s}$  時については流路幅が小さい状態で大きく蛇行するために侵食幅は  $Q=3\text{ l/s}$  時とあまり変わらず、樹林帯の効果が発揮されにくく結果であった。

#### (4) 床固工間隔の影響(図-5(4))

床固工間隔の短い Run-8 の場合は、 $Q=3\text{ l/s}$  の時点でも流水

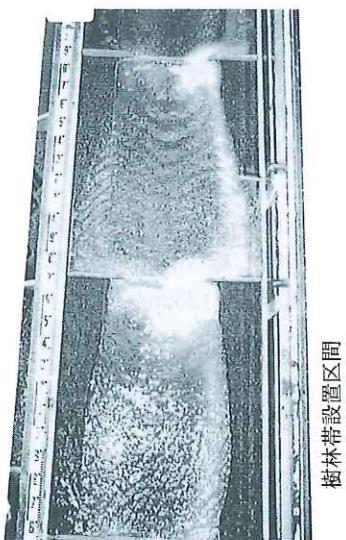


写真-1 Run-2,  $Q=3\text{ l/sec}$  ( $T=75\text{ min}$ )

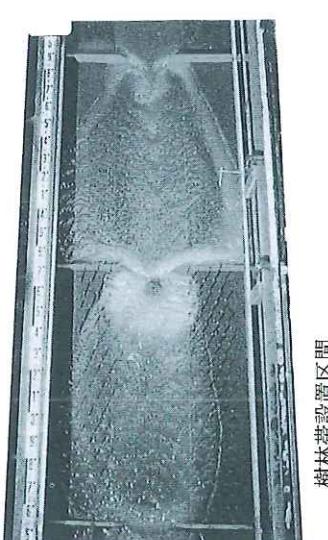


写真-2 Run-7,  $Q=3\text{ l/sec}$  ( $T=75\text{ min}$ )

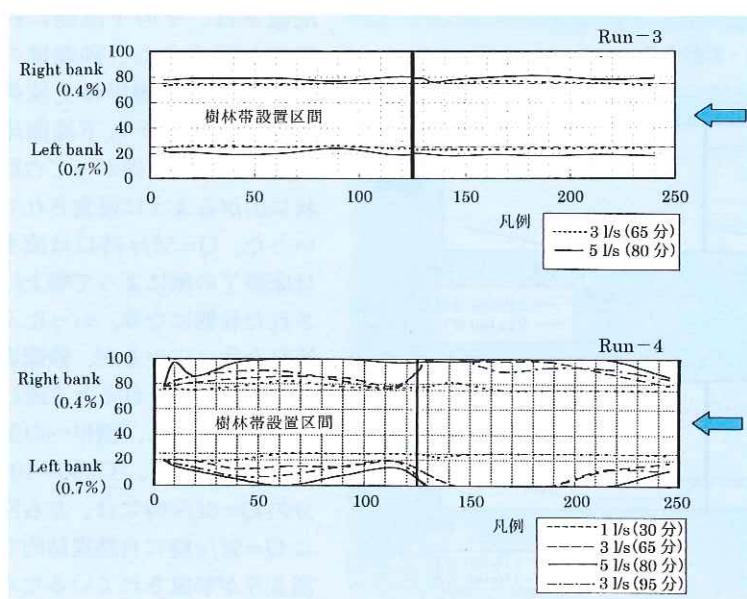


図-5(2) 水みち幅変化図 (河床勾配の影響)

が拡散せず、したがって砂礫堆が発達しないために側岸侵食は進行しない。ただし、床固工付近での流水の乱れが他のケースに比べて大きい。

床固工間隔の長い Run-9 の場合は、 $Q=3\ell/s$  時には両区間とも流路中央部に砂礫堆が細長く形成され、側岸侵食は砂礫堆の周縁部に沿って発生するが、下流側床固工からの堰上げの影響範囲が砂礫堆の長さに対して相対的に小さいこともあり、砂礫堆の幅は増加しにくくなっている。しかしながら、 $Q=5\ell/s$  時には土砂供給が十分に行われ、無樹林区の砂礫堆は流路幅いっぱいに広がる。樹林帯区間では砂礫堆の発達が抑制されている。また、後半の  $Q=1$  および  $3\ell/s$  時には、ピーク流量時に形成された大きな砂礫堆の中央がフラッシュされていないために、左右岸に流路が固定された

状態となり、無樹林区間では側壁の脚部を長時間洗掘することになった。

#### (5) 初期河道形状の影響 (図-5(5))

$Q=3\ell/s$  を与える時点での初期河道形状の異なる Run-11,12 を比較すると、Run-11 の場合は直ちに流路中央部の砂礫堆が発達し、一方 Run-12 の場合は  $Q=3\ell/s$  供給開始直後は砂礫堆の発生が遅れるが、やがて両者は同様の侵食形状を呈する。これは、Run-12 の場合は  $Q=1\ell/s$  時に床固工直下の深掘れが既に進んでいるために砂礫堆を発達させるための土砂の供給が遅れたためと考えられる。

以上(1)~(5)を整理すると、次のようにまとめられる。

渓岸侵食は主に、流路中央部に砂礫堆が形成され、それが成長するに伴って主流路が側方に押し出される(拡散または蛇行する)ことによって側岸の天然渓岸部分に流水が角度を持って衝突し、その結果剝離した砂礫が縦断方向の流れによって運搬されることで発生・進行する(図-7)。

なお、区間ごとの土砂供給条件の相違による影響は給水量を変化させた初期に見られるが、5分程度経過した後には樹林帯区間を狭む無樹林区間の侵食形状はほぼ同様となる。また、Run-9 の樹林帯、無樹林区間を入れ換えた補足実験を行ったが、安定化するまでの時間はやや長く

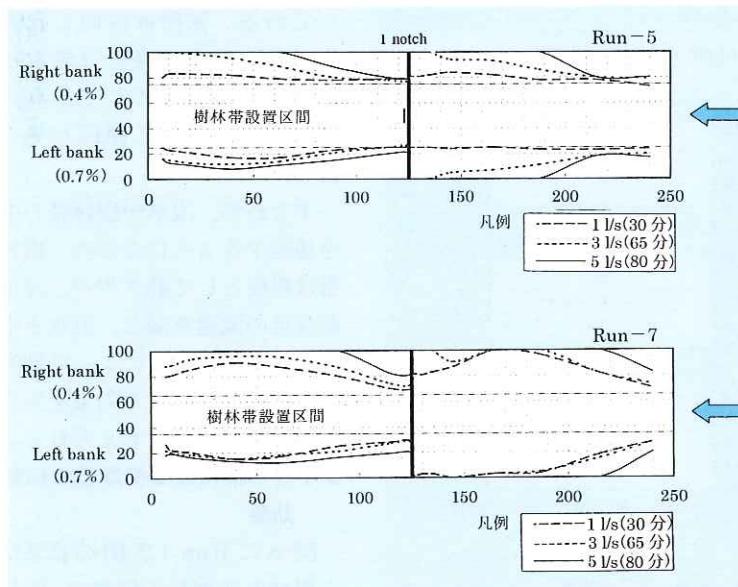


図-5(3) 水みち幅変化図(流水集中の影響)

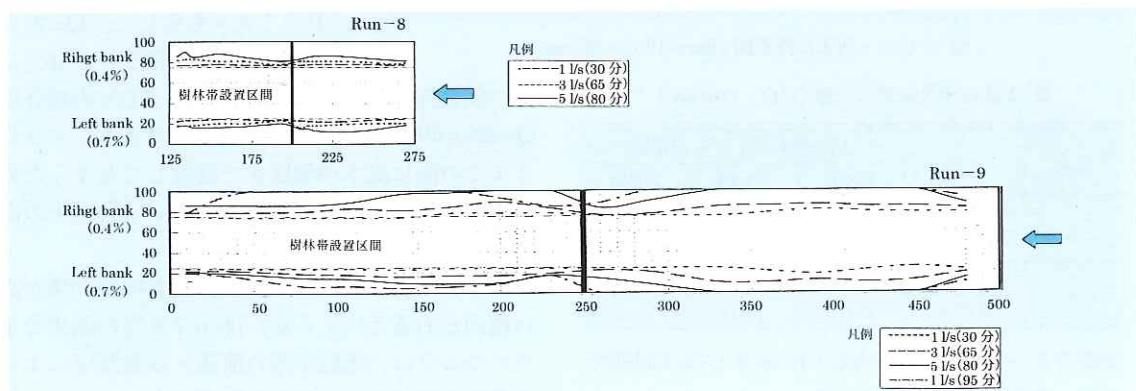


図-5(4) 水みち幅変化図(床固工間隔の影響)

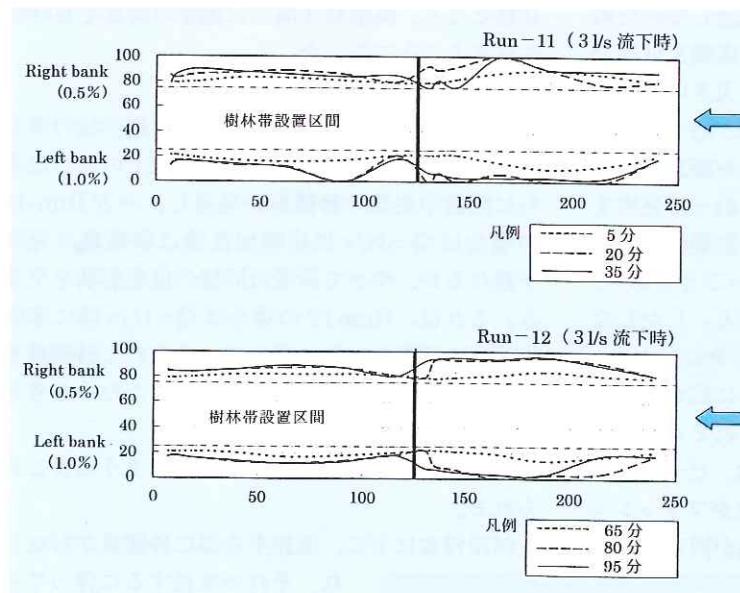


図-5(5) 水みち幅変化図(初期可道形状の影響)

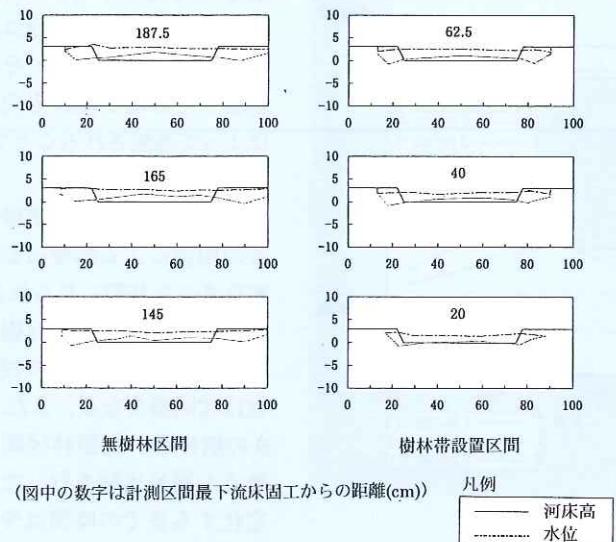


図-6 水位・河床高横断図 (Run-10, Q=3 l/sec)

表-2 流路中央部最大流速 (単位: cm/sec)

Run	区間	下流側床固工からの距離		
		10cm	60cm	95cm
5	無樹林	56.0	66.0	55.7
	樹林帯	72.7	69.0	74.3
7	無樹林	72.3	57.7	66.0
	樹林帯	80.2	82.0	82.2

必要であったが、侵食形状は Run-9 とほぼ同様であり、再現性を確認している。

一方、砂礫堆の形成は床固工間隔によって大き

く影響を受けるが、主流が砂礫堆をフラッシュし得る掃流力をを持つ状況では流水は流路中央部に集中して側岸侵食は進行していく。すなわち、砂礫堆が発達する状態の出水が長時間続く場合が側岸侵食範囲検討の対象流量となると考えられる。

### 3.2 流速平面分布

表-2にRun-5,7のQ=5ℓ/s時(T=90分)の中央部の最大流速を示した。いずれのケースも床固工の袖部直下流の高水敷部分は冠水せず、下流に向かうにつれて流水は側壁まで拡散している。無樹林区間と比較して、樹林帯区間では流水が中央部に押し込まれて中央の流速が大きくなる傾向が見られる。

すなわち、流水が樹林帯の中を通過するようになると、樹林帯は粗度として働き<sup>6),7)</sup>、渓岸部付近の流速を減じ、流水を中心部に集めることによって砂礫堆の発達を抑制する効果を發揮することになるとを考えられる。

### 3.3 樹林帯による側岸侵食抑制効果

図-8にRun-1,2,10の結果から樹林密度別最大侵食率(樹林帯がない区間の最大侵食幅を1.0とした)を示した。Q=3ℓ/sの場合はP=0.4%以上で40%以上

の侵食抑制効果が見られた。Q=5ℓ/sの場合はQ=3ℓ/s時に形成された砂礫堆がフラッシュされるまでの間に流水が側壁まで拡散してしまうため侵食抑制効果が現にくいくが、P=0.7%以上の高密度の範囲では効果が見られた。

樹林帯密度の大きい方が側岸侵食抑制効果が高い傾向があるといえるが、Run-7,8等の結果で示されたように、床固工等の構造・設置間隔による砂礫堆の形成条件に与える影響が大きいため、安全性を確保するために基本的には構造物によって

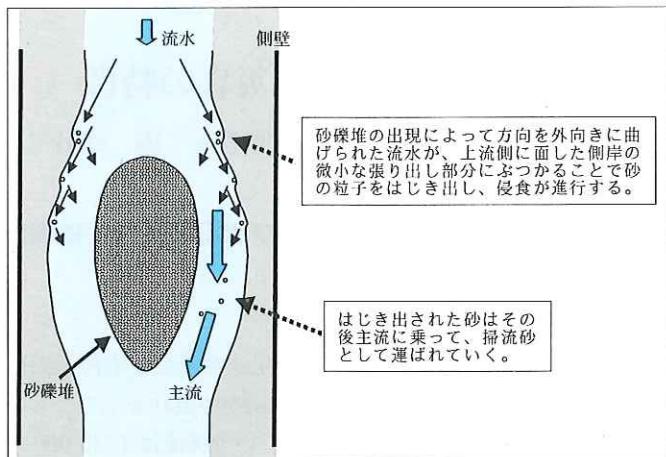


図-7 側侵食進行概念図

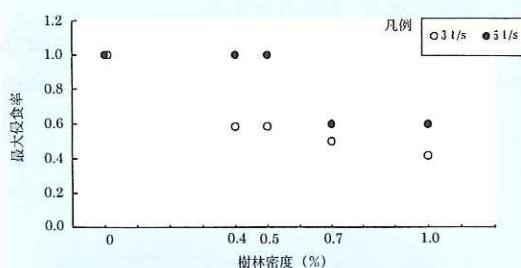


図-8 樹林密度最大侵食率

洪水流を十分制御した上で、渓畔林の機能を活用できる保全・導入形態を検討すべきと考えられた。

#### 4. まとめと今後の課題

本実験は限られた条件のものであるが、床固工群と渓畔林を組み合わせることによる、低水護岸を用いない流路整備の一手法の実用可能性を示すことができた。ただし、対象箇所が段丘等河床との比高差がある地形状況の場合には、側岸侵食は崖状に進行する<sup>3)</sup>可能性があり、渓畔林の安定性を確保するために今回検討した袖の長い床固工

や部分的な護岸工を用いて侵食崖を形成させにくい流路構造としており、また冠水頻度の高い範囲では流木化を防ぐための人口構造物の整備も考える必要がある。

今後は、標準的な施設設計手法を示すために、連続床固工区間における側岸侵食の進行機構と樹林帯の効果等を一般的に表現できる数値シミュレーションモデルを検討する必要がある。そのうえで、渓岸の自然度を失わないための、より効果的な流路保全手法を提案したい。

#### 参考文献

- 1) 太田猛彦：「生態系と調和した砂防」の基本的な考え方、砂防学会誌 Vol.50, No.2, pp.55-60, 1997.
- 2) 崎尾均、中村太士、大島康行：河畔林・渓畔林研究の現状と課題、日本生態学会誌 Vol.45, No.3, pp.291-294, 1995.
- 3) 小山内信智、南哲行、竹崎伸司、小林富士香、溝口昌晴：砂防渓流における渓畔林の成立実態と渓流保全のあり方に関する研究、砂防学会誌
- 4) 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渓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.
- 5) 芦田和男、高橋保、水山高久：山地河川の掃流砂量に関する研究、砂防学会誌(新砂防), No.107, 1978.
- 6) 平野洋一、水原邦夫、大手桂二：植生流路の流水抵抗と掃流砂量に関する研究、砂防学会誌(新砂防) Vol.42, No.4, pp.18-22, 1989.
- 7) 石川芳治、藤田英信、水原邦夫、成富靖：渓畔林を持つ河道における掃流砂量に関する研究、砂防学会誌(新砂防) Vol.51, No.3, pp.35-43, 1998.

小山内信智\*



建設省四国地方建設局  
四国山地砂防工事事務所長  
(前 砂防研究室主任研究員)  
Nobutomo OSANAI

南 哲行\*\*



建設省土木研究所砂防部  
砂防研究室長  
Noriyuki MINAMI

竹崎伸司\*\*\*



同 砂防研究室研究員  
Shinji TAKESAKI