

裸地斜面における流路の形成過程に関する研究(II)

京都大学防災研究所 正 員 芦田和男

大 学 院 学 生 員 〇田中健二

要 旨 裸地斜面における流出土砂量を予測するための1つの段階として、前報¹⁾では実験にもとづき、斜面全幅のうち流路の占める割合を与えた上で侵食量を算出した。

その後、個々の流路の形状や蛇行特性に関するいくつかのパラメータを含んだ、合流モデルによる確率的シミュレーション²⁾で、流路配列の形成過程を模擬してきたが、本報では、そのパラメータと水理量の関係を見出すために行なった実験について報告し、側方侵食性流路の基本特性である平衡横断面形状について考察する。

1. 急斜面上の流路の形成に関する実験 幅1cmの長方形断面をもつ直線平坦流路に定常流を与え、流路の縦断、横断、ならびに平面形状の変化を測定した。河道材料は1mmの均一砂とベントナイトと水の混合物(重量比9:1:3)で、透水性はきわめて小さい。

表-1に示すように、条件によっては河床波や蛇行が顕著に現われるが、蛇行波長が河床波長の倍以上あったり、蛇行が下流に伝播するにもかかわらず河床波が上流に伝播したり、Run3のように河床波が卓越しているときに蛇行がほとんどみられないなど、両者には相違点が多い。またSand Wavesの特性が $L/W = 7 \sim 15$ 、 $A/D = 5$ 、 $\Delta/D \approx \frac{1}{6}$ 、 $A/\Delta = \frac{5}{3} \sim \frac{10}{3}$ と表わされるの³⁾に対し、本実験では L/W や A/Δ は類似の値をもつが、 $A/D = 10 \sim 20$ 、 $\Delta/D = 1 \sim 3$ となっており、図-1の縦断図にみられるような淹れ階段状に連うねた河床波の特徴が現われている。これには淹れほにおける跳水が大きく関与しているものと思われる。

以上は波長や振幅がほぼ一定になった後の特性であるが、図-1からわかるように、このような状態が達成されるにはかなりの時間を要する。これに対して横断面形状はきわめて速く平衡状態を形成し、しかもそれが全く異なった条件下で経験的に知られた、流路幅が流量の平方根に比例するというregime theoryに、係数まで含め一致することは、きわめて興味深い。図-1の横断図によれば、Run5は初期流路幅が平衡流路幅にくらべて著しく過大であったため流路がまず二分され、それぞれ半減した流量に対する平衡断面を形成した後、蛇行が生じて上流で合流し、元の流量に対する平衡断面を形成したものとみられる。

表-1 実験概要

	流量	こう配	時間	水面幅	水深	河床波長	河床波高	蛇行波長	蛇行幅
	Q	I	t	W	D	Δ	Δ	L	B
	cc/s		min	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Run1	5	0.225	180	1.33	0.32	8.86	0.93	17.2	0.8
Run2	9	0.225	180	1.20	0.32	6.26	0.97	17.4	1.0
Run3	20	0.225	120	2.20	0.63	5.48	1.15	62.9	0.7
Run4	2	0.438	210	0.90	0.27	3.58	0.34	13.5	1.2
Run5	5	0.438	120	1.26	0.34	4.44	0.79	7.8	2.0
Run6	10	0.438	90	1.68	0.36	4.74	0.96	11.9	1.0
Run7	1	0.707	18			deposition			
Run8	2	0.707	105	0.83	0.21	4.22	0.58	12.7	0.7
Run9	5	0.707	75	1.20	0.35	2.58	0.58	11.9	1.1

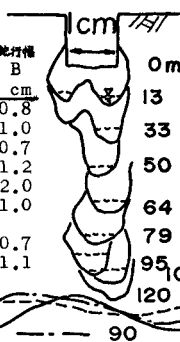


図-1 横断・縦断

ならびに平面形状の
時間的变化

2. 侵食が卓越する流路の平衡横断面形状 前節で述べたように通水断面形状は急速にある平衡状態に収束し、蛇行や河床波とは一応独立したものと考えられるので、等流における平衡断面形状として図-2に示すように、侵食は進行するが一定の通水断面を保ちながら鉛直に低下する流路を考える。壁面に垂直な侵食速度を E とすれば、この条件は $E/\cos\theta = \text{一定}$ となる。 E の値は土質と水流の両方に依存するが、ベントナイトに関する限り、掃流力の大きい範囲で $E \propto U_*$ となることがわかっており、この場合には平衡断面の条件は $\gamma/\cos^2\theta = \text{一定}$ となる。

任意の断面形状における掃流力の分布を求めることはきわめて困難であるが、ここでは左右対称断面を考え、図-2に示すように対称面・水面・壁面およびそれにたてた垂面によって囲まれる流体部分の断面積を周辺に沿って微分し、 $\gamma = \rho g (dA/ds) I$ と近似する。図-3に円弧断面の掃流力をいくつかの方法で求めたものを示すが、この方法は $\gamma = \rho g R I \cos\theta$ とするのにくさばるかに精度がよい。

図-4は実験結果から $f = 0.5$ 、 $E/U_* = 0.75 \times 10^{-4}$ として、流量 $10 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、この割合の場合の流路の変形過程と、上のモデルの差分化によって数値的に模擬したものである。初期断面を広くとすると中央部で、狭くすると周縁部で侵食が卓越し、最大水深が水面幅の約 $1/3$ となる断面に急速に変形していき、様子は、実験と一致する。

一方、上に述べた掃流力の分布と平衡断面の条件式に代入すれば、つぎの微分方程式が得られるが、流路中央における掃流力と2次元流れの掃流力 $\rho g D I$ との比を表わす C の値に任意性が残っており、図-4にみられる平衡断面が初期条件に依存して、ある範囲に分布するかどうかという問題を提起している。

$$\sqrt{1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)^2} \left[1 + \left(\frac{dY}{dX}\right)^2 - \frac{1}{2} \frac{d^2Y}{dX^2} L \right] L = C, \quad L = \min \left\{ D - Y, X \frac{dY}{dX} \right\}, \quad \left. \begin{array}{l} Y=0 \\ \frac{dY}{dX}=0 \end{array} \right\} \text{ at } X=0$$

ここに、各記号の意味は図-5に示すとおりである。

あとがき 以上、斜面における単一流路の形成過程について実験ならびに理論的に考察してきたが、これを流路配列の問題にまで発展させるには、蛇行幅に関する研究を進めねばならず、前節までに挙げた問題と合わせて、2次元流の影響に着目したいと考えている。

なお、本研究の数値計算にあたっては、京都大学防災資料センター計算機を利用した。

参考文献

- 1) 芦田・田中・坪香: 裸地斜面における流路の形成過程に関する研究, 昭49. 関西支部
- 2) 芦田・田中: 裸地斜面における流路形成過程の確率的シミュレーション, 昭49. 全国大会
- 3) 水理委員会: 移動河床流における河床形態と粗度, 土論20号, p.74, 1973.

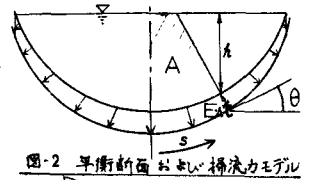


図-2 平衡断面 および 掃流力モデル

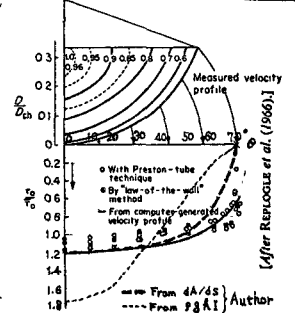


図-3 円弧断面の掃流力分布

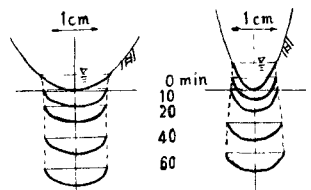
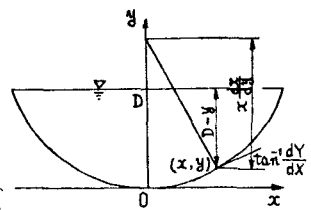


図-4 平衡断面の形成過程



$$X = x/D, \quad Y = y/D$$

$$L = \min \{ D - Y, X \frac{dY}{dX} \} / D$$

$$\left(\frac{dY}{dX} \right)_0 = \begin{cases} 2(1-C) & (C \geq \frac{1}{2}) \\ 1/(2C) & (C \leq \frac{1}{2}) \end{cases}$$

図-5 平衡断面の記号説明