

水路の側壁浸食式と拡幅過程に関する研究

北海道大学 工学部 正 員 長谷川和義
同 上 学生員 長田 京司

1 はじめに

沖積河川の低水路護岸や人工水路の安定化にとって水路側壁の浸食問題は、非常に重要な問題である。著者らは、既報¹のように側壁からの浸食砂量を直接測定できる水路を試作し、勾配と流量を適宜にかえた30数例の実験を行って、これまでに提案されてきた浸食量式の検討を行ってきた。このたびこれらの実験値をまとめて従来の式の修正を試み、あわせて側壁の浸食拡幅過程に関して解析を行ったので報告する次第である。

2 従来までの研究

従来、河道の安定断面形に関してはレジーム公式をはじめとする数多くの経験式が、提案されてきたほか Lane や Carlson らによって斜面上の砂粒子に働く力の平衡から斜面上の限界掃流力式が提案され、土屋は、潤辺全体に渡って静的な安定状態になる断面形を求めている。しかし多くの沖積水路は、断面形の変動をくりかえしているのが一般であって動的な解析が要求される現象は、多数存在する。

最近、平野²は流路側壁上の砂粒子の移動径路を解析して、河床に移動する砂の方向角を求めこれを斜面の効果を考慮した掃流砂式に乗ずることによって、横断方向の流砂式を決定し、更に横断形状の相似性を導入して流路の拡幅過程を明らかにした。又芦田・村本・奈良井³は、大規模な水路によって河道形状の変動過程を詳細に追跡するとともに、流路拡幅過程に一次元解析を試みており、村本・藤田⁴は斜面上の掃流力に評価を加えて流下方向の流砂式を定め、方向角の変化を実験から定めて横断面形の形成過程を明らかにしている。

一般に、側壁の浸食過程は次のような特徴をもっている。

- 1) 側壁上の砂粒に働く掃流力及び限界掃流力は、斜面勾配によって重要な影響を受け流砂式も一般とは異なった形をもつ。
- 2) 水際から河床へ移動する砂粒子は、横断形状に対応した複雑な方向変化をとげる一方、横断形状そのものに変化をもたらす。
- 3) 特に流路幅や流積の小さな流路では、流れの非定常性が無視できない。
- 4) 側壁上では流入流砂量と流出流砂量は、バランスしておらず非平衡状態にある。このことは、水際近傍で特に著しいと考えられる。
- 5) 水際における河岸の欠壊は、土質力学的な現象であって時間的にも場所的にも間欠的な発生が普通である。

上述の研究は、考え方が異なるがこれらのうち特に 1), 2), 3) に関して考慮がはらわれており、河床変動の解析を横断方向にまで広げたことにおいてこの分野の研究に大きな成果をもたらした。しかし、解析に最も重要な役割を果す 1), 2) に関する提案式は、いまだ概念的に組み立てられた面や少数の実験による面は否めず、なお多くの検討を必要としているし又、4), 5) の問題が未解決であるために横断面形状を何らかの関数形で近似することにより流路幅の変化のみを問題とせざるを得ないことも残された課題となっている。後者の問題に関して村本・藤田は、前述のように河床から水際までの流砂の方向変化を実験式によって与え、横断形状の変化過程の解析を行っているが、水際近傍における不一致が大きく 4), 5) の解明の必要を示している。著者らは、このような研究の現状にかんがみ側壁から河床に移動する砂流子を直接測定することに努力し 1), 2) に関する従来式の検討を行うとともに、これらの実験値をまとめて実験式を提出した。又、式の適合性をみるために流路幅の変化過程を解析した。しかし 4), 5) に関する検討は未着手であり、したがって断面形の変動過程までは論ずることができなかった。

3 実験および結果

3-1 実験装置と方法

実験は、図-1に示すような全長4m、幅60cm、高さ30cmの塩化ビニール製可変勾配水路によって、中央粒径0.43mm、比重2.66の砂を使用しておこない、流量と勾配を適宜に変えて30数回おこなった。

各実験は、水路右岸に傾斜角30°の側壁を設けた後、一定水量を通水し、水路中央に沈下する砂の重量変化と水深変化を連続記録して、側壁からの浸食砂量を求めるとともに、所定位置における水面こう配、エネルギーこう配、平均流速、側壁傾斜角、横断面形状を測定した。断面形状の測定は、現象の非定常性を考慮して、掃流力の大きな実験では1~5分間隔に、掃流力の小さな実験は10分程度の間隔で、2~5回測定した。装置および方法についての詳細は、文献1)に述べてある。

3-2 実験の結果

所定断面に設定された流路に通水すると、ごく初期の段階で、急激な浸食がおこるが、その後の変化は比較的 ゆっくり進行する。この現象は、斜面上の限界掃流力に関係していると考えられ、浸食量はそれほど多くはないが、従来の静的安定の考えの重要性を示唆しているともみられる。また、観測区間の上下流部では、運びだされた側壁砂が流路床上にひろがり、観測部とのあいだに流積の違いを生ずるようになり、水面こう配が負になる実験例も生ずるが、側壁の浸食状況は上下流全体で大きな違いはない。しかし、このようなケースにおけるエネルギーこう配の測定値は、信頼性にとほしく、順こう配の実験よりえられる粗度の平均値から逆算した値を用いることとした。また、観測区間における流路床の条件が、一般の流路と異なることによる影響を調べるために、採砂口の幅を1cmに縮小した実験、および採砂口に粗度つきの金網をかぶせた実験を並行しておこなったところ、両者とも浸食砂量がやや減少する傾向をみせたほかは、現象に本質的な違いは認められず、河床波の発生する場合以外は、河床条件の違いが側壁の浸食にあまり影響をあたえないものと判断された。今回の実験は、上下流部に小規模なリップルの発生がみられたものもあったが、大部分は平坦な状態のままであり、一般の流路の側壁浸食現象と同様な状態を保ちえたものと考ええる。

図-2、図-3、図-4は、得られた実験値をすでに提案されている側壁浸食量式に、比較して載せたものである。図-2は、斜面こう配のゆるやかな場合について、平野が導いた(1)式に関して、また、図-3は、村本・藤田によって提案された(2)式に関してプロットしてある。

$$\frac{q_{BY}}{u_* d} = \frac{K}{\mu} \tan \theta \sqrt{\frac{\tau_* \cos \theta}{\tau_*}} \left(\frac{\tau_*}{\cos \theta} - \tau_{*c} \right) \cdots (1) \quad \frac{q_{BY}}{u_* d} = M_1 (\cos \theta)^{\frac{3}{2}} (\tau_* - \tau_{*c} \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}}) (-0.3 \log \frac{b}{B+b}) \cdots (2)$$

ただし、 q_{BY} ：横断方向流砂量、 u_* ：摩擦速度、 $\tau_* = u_*^2 / sgd$ 、 τ_{*c} ：限界時の τ_* 、 θ ：斜面傾斜角、 s ：砂の水中比重、 μ ：砂の摩擦係数、 M_1, K ：比例定数、 g ：重力加速度 ϕ ：砂の水中安息角 d ：砂の粒径

(1)式は、斜面上の砂粒子に働くいくつかの力を考慮して運動方程式をたて、移動速度が定常になった場合の方向角を加味したものであり、(2)式は、斜面上の局所掃流力を $\tau_* \cos \theta$ とし、斜面上の限界掃流

図-1 実験水路及び装置

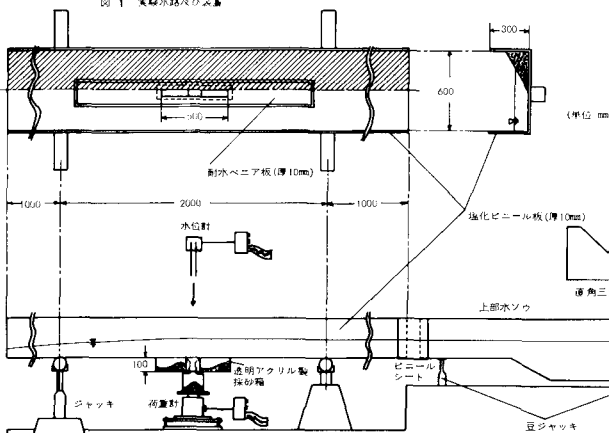


表-1 実験条件

Run	流量 Q (L/s)	下流側水深 h_d (cm)	水面勾配測定位置 上流側水深 h_u (cm)	水面勾配測定位置 下流側水深 h_d (cm)	断面形状測定位置 上流側水深 h_u (cm)	断面形状測定位置 下流側水深 h_d (cm)	流砂採砂口 砂量 (g)	Symbol
1	500	12.50	4.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
2	700	11.15	4.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
3	700	6.85	4.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
4	700	11.00	4.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
5	700	12.00	4.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
6	700	8.30	3.5	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
7	300	12.54	0.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
8	500	9.30	0.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
9	500	5.22	0.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
10	0	13.93	2.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
11	0	8.32	2.0	1.5 ~ 2.5	1.5 ~ 1.8	2.0 ~ 2.5	5	●
12	0	12.05	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
13	100	5.15	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
14	200	10.45	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
15	300	7.62	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
16	200	6.05	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
17	200	12.39	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
18	0	13.98	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
19	0	7.12	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
20	100	3.65	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
21	100	4.55	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
22	500	10.65	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
23	500	4.95	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
24	800	7.20	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
25	800	11.42	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
26	270	7.75	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
27	270	13.25	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●
28	200	8.70	0.0	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	1.85 ~ 2.15	5	●

力に、Lane Carsonの式を用いて斜面上流砂量を求め、方向角を実験的に定めたものである。両者とも、概念的には重要な内容をもっていると考えられるが、実験値はかなり散乱する。これは、両式とも、砂粒の運動が定常となるような、ゆるやかで θ の局所の変動が問題にならないような斜面を対象にしているのに対し、今回の実験では、局所的、一時的な θ の変動が大きく、これを直接ふくませたことが、原因と考えられる。そこで、(1)式について、 $\cos\theta=1$ 、 $\tan\theta=\frac{H}{b}$ (注) とした(3)式に関して比較をおこなうと、図-4を得る。

$$\frac{q_{By}}{u_*d} = \frac{K}{\mu} \frac{H}{b} \sqrt{\frac{\tau_{*c}}{\tau_*}} (\tau_* - \tau_{*c}) \quad \dots\dots (3)$$

実験値は、式の直線よりもはやく立ちあがるが、まともな方は驚くほどである。この結果は、平均的な横断方向流砂量が、場所場所の局所的な斜面こう配に直接影響を受けるのではなく、斜面全体の平均的なこう配によって規定されることを、端的にものがたっている。パラメータ H/b のより正確な関数形をみるために、(3)式左辺を適当な τ_* の関数で割ってみる。(3)式のままだでは、流砂量が τ_* の0.5乗に比例することになり、低く見積りすぎるきらいがあるので、 $(\tau_* - \tau_{*c})^2$ に比例するものとして H/b との関係をみると、図-5の右上図をうる。これより実験式(4)がえられる。

$$\frac{q_{By}/u_*d}{(\tau_* - \tau_{*c})^2} = (25 \sim 50) \left(\frac{H}{b} \right)^4 \dots (4)$$

側壁浸食量に対する、側壁斜面の平均傾斜角の影響は、予想以上に大きく、斜面保護のためには、なるべく斜面こう配をゆるく保つことが重要である。なお、図-5の下図は、(4)式の関係を描きなおしたものであり、実験値が係数の異なる二つの部分にわかれていることがわかる。係数の大きい実験値は、流量の大きいものに多いが、この場合には、水面こう配が負になることが多いので、その要因についてはさらに検討が必要であろう。

注) b, H はそれぞれ、側壁と流路底の交点における水際までの水平距離と、水深を表す。

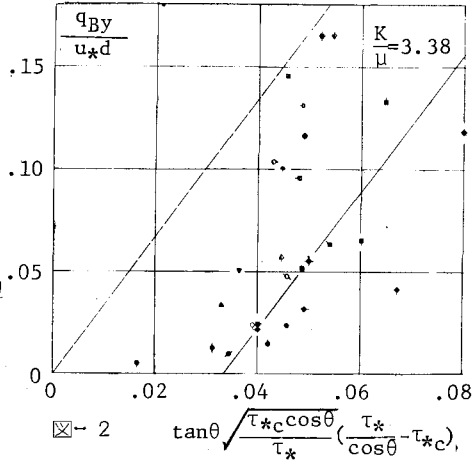


図-2

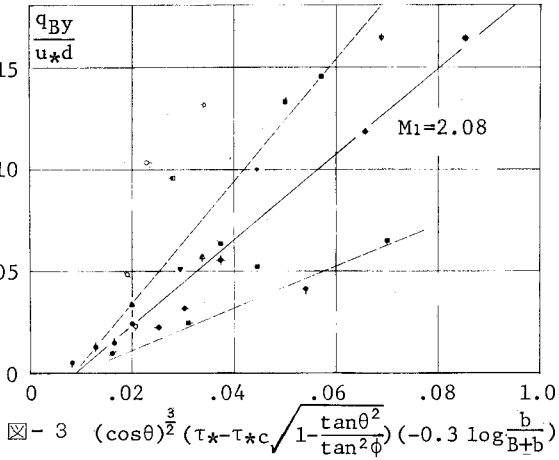


図-3

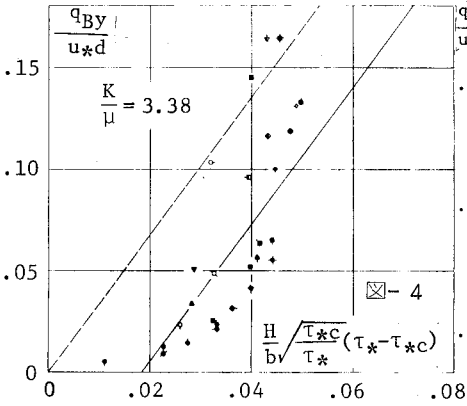


図-4

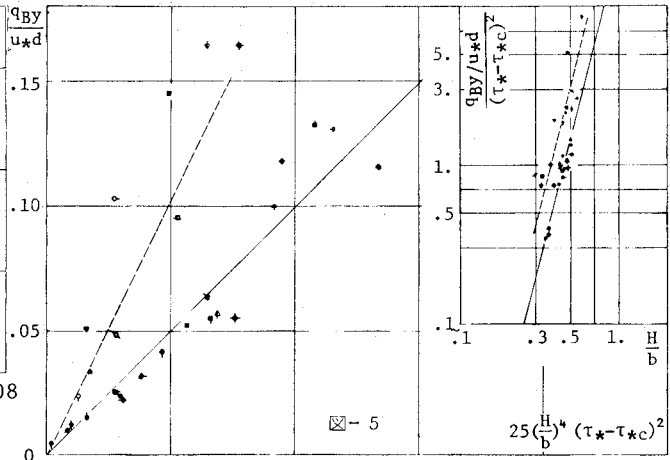


図-5

4 流路の拡幅過程

いま、図-6に示すように、側壁と流路底の境界(採砂箱の縁)を原点とし、流路底にそって横断方向にy軸、これに垂直上向きにz軸をとり、水深をH、z軸から水際までの幅をb、流路底からの側壁高をZ、それぞれの初期値を H_0 、 b_0 、 Z_0 と表わす。初期の側壁斜面は、傾き θ_0 の平面をなしているので、

$$H_0/b_0 = \tan\theta_0 \quad Z_0 = \tan\theta_0 y \quad (y \geq 0) \quad \dots (5)$$

横断方向流砂量式(4)式は、すでに述べたように図のy-z軸の原点において測られた流砂量と掃流力の時間平均値を実験ごとに求めてプロットし、関係をあきらかにしたものである。したがって斜面全域にわたって(4)式を拡張しうるか否かは不明であるし、また実際に次のような限界をもっている。

(4)式を拡張して

$$q_{By} / u_{*s} d = K(\tau_{*s} - \tau_{*cs})^2 \{ (H-Z)/(b-y) \}^4 \quad \dots (6)$$

ただし、 $u_{*s} = \sqrt{g(H-Z)} I_e$, $\tau_{*s} = u_{*s}^2 / sgd$, τ_{*cs} : 斜面上の限界掃流力

のように表示すれば、斜面上任意の位置の流砂量をうることができ、もしこれが正しければ横断形状の変化過程を追跡することができて、実測断面との照合も可能である。しかし、(6)式を水際近傍にまで適用しようとする、 $y \rightarrow b$ において $Z \rightarrow H$ であり、しかもこのとき $(H-Z)/(b-y) \rightarrow \tan\theta_c$ (θ_c は水際における斜面の傾斜角で、砂の水中安息角に近いと考えられる) また、 $y \rightarrow b$ において $u_{*s} \rightarrow 0$ 、 $\tau_{*s} \rightarrow 0$ となるので、結局 $y \rightarrow b$ において $q_{By} \rightarrow 0$ ということになる。ところが、側壁の浸食が進めばこれにともなって水面より上にある側壁が崩落し続けるので、 $y=b$ においては、条件(7)式が成立しなければならぬ。

$$q_{Bb} = (1-\lambda_w)(Z_w - H) \frac{db}{dt} \quad \dots (7)$$

ただし、 q_{Bb} : 水際における横断方向流砂量、 λ_w : 水面上側壁砂の空隙率÷100、 Z_w : 流路底から側壁崩落面の上端までの高さ

以上から(6)式を斜面全域に適用するには無理があり、すくなくとも水際近くでの q_{By} については、2において述べたように4)、5)の特徴をふまえて別途に検討する必要があることがわかる。

一方、流砂の連続式を図の断面に適用し、これをy方向に積分すれば、側壁の境界にあたる原点と水際での流砂量式(4)式と(7)式のみから、流路幅の広がりやを推定することができる。(この場合、側壁斜面の形状を実際にあわせて仮定する必要がある。)以下、この方法によって解析をすすめることにする。一連の実験は、観測区間内では流れ方向に一樣な現象とみなせるので、流れは近似的に等流とみなすことができ、流れ方向の流砂量の変動はないものとして十分であろう。また、浸食された側壁砂は水路下に沈下するので流路水平部の変動は存在しない。したがって基礎式は、

$$\text{流砂連続の式: } \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{\partial q_{By}}{\partial y} = 0 \quad (y \geq 0) \quad \dots (8)$$

$$\text{運動の式: } Q = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{S} \right)^{2/3} I_e^{1/2} A \quad \dots (9)$$

原点における流砂量式:

$$q_{B0} = -K(\tau_{*s} - \tau_{*cs})^2 u_{*s} d \left(\frac{H}{b} \right)^4 \quad \dots (6)'$$

水際における境界条件:

$$q_{Bb} = -(1-\lambda_w)(\tan\theta_0 b - H) \frac{db}{dt} \quad \dots (7)'$$

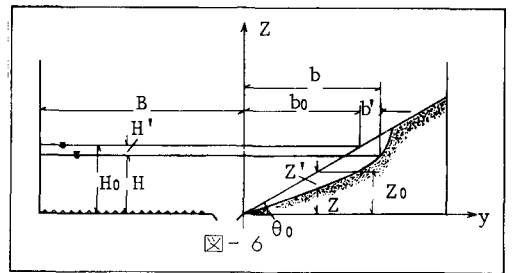


図-6

このほかに、側壁斜面の形状を仮定する必要がある

が、図-7に示すように、浸食後の形状もほぼ平面とみなすことができるので、

$$Z = \frac{H}{b} y \quad (y \geq 0) \quad \dots (10)$$

$$A = BH + \frac{1}{2} bH \quad \dots (11)$$

$$S = B + \sqrt{b^2 + H^2} \quad \dots (12)$$

ただし、 λ : 側壁砂の水中における空隙率÷

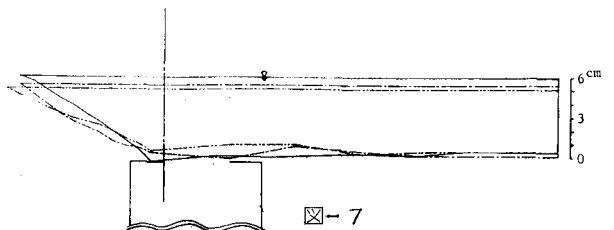


図-7

100、Q: 流量、n: 粗度係数、Ie: エネルギーこう配、A: 流積、S: 潤辺であり、(12) 式の表示は実験条件が一般の台形断面水路の半分を考えていることに対応している。さて、H、b、z についての初期値からの変動量を、 $-H'$ 、 b' 、 $-z'$ とし、これらの無次元量を、 $H_* = H'/H_0$ 、 $b_* = b'/b_0$ 、 $z_* = z'/H_0$ とするとこれらはより小さいと考えられ、 $H = H_0(1 - H_*)$ 、 $b = b_0(1 + b_*)$ 、 $z = H_0(Y_* - z_*)$ 、 $y = b_* Y_*$ などの関係を有する。また、時間tに対する無次元量を、 $t_* = t \cdot q_{B00} / \{(1 - \lambda) H_0 b_0\}$ ただし q_{B00} は q_{B0} の初期値であり、 $q_{B00} = -K(H_0/b_0)^4 (\tau_{*0} - \tau_{*c}) u_{*0} d$ 、 $u_* \sigma = \sqrt{g H_0 I_e}$ 、 $\tau_{*0} = u_{*0}^2 / sgd$ とする。

以上をもちいと、基礎式は無次元量で表示できるが(6)'式に関しては、 b_* 、 H_* の高次項を省略して

$$q_{B0} = q_{B00} (1 - 4 \frac{H_* + b_*}{1 + b_*} - \gamma H_*) \quad \text{ただし} \quad \gamma = \frac{1}{2} \frac{5\tau_{*0} - \tau_{*c}}{\tau_{*0} - \tau_{*c}} \quad \dots (13)$$

のように簡略化することにする。(8) 式をyについて0からbまで積分し、(6)'式、(7)'式、(10) 式の関係をもちいて整理すれば、

$$-(1 - \frac{1 - \lambda \gamma}{1 - \lambda}) \frac{db_*}{dt_*} \frac{1}{2} (2b_*^2 + H_* b_* + 3b_* + H_* + 1) \frac{db_*}{dt_*} + \frac{1}{2} (b_*^2 + 2b_* + 1) \frac{dH_*}{dt_*} - 1 - 3b_* - (\gamma + 4) H_* - \gamma b_* H_* \quad \dots (14)$$

上式において、 $(1 - \lambda \gamma) / (1 - \lambda) \neq 1$ と考えられるから、左辺第一項は無視してもかまわない。以下この場合をあつかう。一方、(9) 式を変形したのち、(11) 式、(12) 式を代入すると、

$$nQ / \sqrt{I_e} = (BH + \frac{1}{2}bH)^{\frac{5}{2}} (B + \sqrt{b^2 + H^2})^{-\frac{5}{2}} \equiv F(b, H) \quad \dots (15)$$

$b = b_0 + b'$ 、 $H = H_0 - H'$ をいれてFのテーラー展開により、

$$F(b, H) = F(b_0 + b', H_0 - H') \approx F(b_0, H_0) + (b' \frac{\partial}{\partial b} - H' \frac{\partial}{\partial H}) F(b_0, H_0)$$

Qが一定のもとで、nとIeが状態によって変化しなければ、 $F(b, H) \neq F(b_0, H_0)$ となるので、結局

$$H' = \left\{ \left(\frac{\partial F}{\partial b} \right)_{b_0} / \left(\frac{\partial F}{\partial H} \right)_{b_0} \right\} \cdot b' \quad \text{となる。} \quad \text{一方、(15) 式から微分量を求めて整理し、無次元化すれば}$$

$$H_* = \frac{5(B_* \cos \theta_0 + 1) / (2B_* + 1) - 2 \cos^2 \theta_0}{5(B_* \cos \theta_0 + 1) - 2 \sin^2 \theta_0} b_* \equiv \epsilon b_* \quad \dots (16) \quad \text{ただし、} B_* = B/b_0, \epsilon \text{ は } b_* \text{ に}$$

かかる定数をあらわす。この関係を(14) 式にいれて、拡幅量に関する方程式(17) 式が最終的に求まる。

$$\frac{1}{2} (\epsilon + 1) (2b_*^2 + 3b_* + 1) \frac{db_*}{dt_*} = -\epsilon \gamma b_*^2 - \{\epsilon(\gamma + 4) + 3\} b_* + 1 \quad \dots (17)$$

$t_* = 0$ のとき $b_* = 0$ の初期条件のもとで、上式を積分すれば、

$$t_* = -\frac{\epsilon + 1}{2} [2I_2(b_*) + 3I_1(b_*) + I_0(b_*)] + \frac{\epsilon + 1}{2} \left[\frac{\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}^2 + 2\gamma\epsilon}{(\gamma\epsilon)^2} - \frac{3\epsilon(\gamma + 4) + 9}{2\gamma\epsilon} + 1 \right] I_0(0) \quad \dots (18)$$

$$\text{ただし} \quad I_0(x) = \frac{1}{\sqrt{\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}^2 + 4\gamma\epsilon}} \log \frac{[2\gamma\epsilon x + \{\epsilon(\gamma + 4) + 3\} - \sqrt{\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}^2 + 4\gamma\epsilon}]^2}{|\gamma\epsilon x^2 + \{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}x - 1|}$$

$$I_1(x) = \frac{1}{2\gamma\epsilon} \log |\gamma\epsilon x^2 + \{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}x - 1| - \frac{\epsilon(\gamma + 4) + 3}{2\gamma\epsilon} I_0(x)$$

$$I_2(x) = \frac{x}{\gamma\epsilon} - \frac{\epsilon(\gamma + 4) + 3}{2(\gamma\epsilon)^2} \log |\gamma\epsilon x^2 + \{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}x - 1| + \frac{\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}^2 + 2\gamma\epsilon}{2(\gamma\epsilon)^2} I_0(x)$$

以上が、側壁浸食式(4)式を用いた場合の流路拡幅の解であるが、陽な形にはならない。(18) 式によれば b_* は t_* の増加とともにゆるく増加し、

$$b_{*a} = [-\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\} + \sqrt{\{\epsilon(\gamma + 4) + 3\}^2 + 4\epsilon\gamma}] / 2\epsilon\gamma$$

に漸近する。 b_{*a} は(13)式が0となるときの b_* の値にほかならない。図-8は、(18)式に対して、Run6 8, 13, 25の4ケースについて初期値をいれ、実測値との比較をおこなったものである(表-1 参照)。採砂装置の容量の関係上、実測値の数が少く、十分な比較はできないが、大略の傾向はあっているといえよう。しかし、Run6については、 b_* が途中から急激に増加しており、理論式からのはずれが大きい。

この原因として、水際における斜面の大きな崩壊が考えられるが、水際における現象の解明が不十分である以上、実験値との不一致はさげられない。ただ、このような崩壊がおこった後は、浸食後退が停滞するので、実際には(18)式のまわりに変動するようになると考えられる。なお、(18)式は、実験装置にあわせて解析されており、とくに側壁浸食砂が河床にもちこまれない点在实际の水路と大きく異なる点である。しかし、あまり激しい浸食が、おこなわれない場合には、側壁からの浸食量は河床の流砂量に比して十分に小さいと考えられるので、次のような点に注意をすれば、实际水路への適用も可能であろう。すなわち、(18)式は、等流状態を対象としているので、流量変動の大きな水路や、流れ方向に大きく幅の変化する水路には適用できず、また、一般の水路では、側壁と流路底の交点必ずしもあきらかでないので、横断面図などから適当な点をみいだす必要がある。この点から水際までの距離を b_* としたとき、水面幅が W なる水路では、(16)式にふくまれる B_* が $B_* = (W - 2b_*) / 2b_*$ であらわされる。

5 まとめ

1. 図-1に示す水路を用いて側壁浸食量の測定実験をおこない、次のような結果をえた。

- 1) すでに提案されている浸食式(1)、(2)との比較では、式と実測値の不一致が大きく、この原因として、側壁の局所的な傾斜角を直接式中にいれたことが挙げられる。
- 2) 掃流力のはかに浸食量を規定するパラメーターとして、側壁斜面の平均こう配 H/b がふさわしいことをみいだした。浸食量が、このパラメーターの4乗に比例しており、斜面の保護のためには、側壁のこう配をなるべくゆるくすることが重要である。
- 3) 側壁浸食量をあらわす式として(4)式が比較的よい一致をみせたが、係数については検討する必要がある。

2. (4)式を用いて、等流状態における流路幅の拡幅過程を解析し、(18)式をえた。実験値との比較では、実験時間が短かく十分な比較はおこなえないが、側壁崩落時をのそいて大体の一致をみた。(18)式は、流路底の変動が無視できる等流状態の水路では実際に適用できる。

参考文献

- | | | |
|--------------|------------------|--------------------------|
| 1) 長田・長谷川 | : 側岸浸食式に関する実験的検討 | 第30回土木学会年講概要集, 昭和50年10月 |
| 2) 平野宗夫 | : 拡幅を伴う流路変動について | 土木学会論文報告集 No.210, 1973-2 |
| 3) 芦田・村本・奈良井 | : 河道の変動に関する研究(2) | 京大防災研究所年報 第14号B, 昭和46年4月 |
| 4) 村本・藤田 | : 河床横断形状の形成過程 | 第29回土木学会年講概要集, 昭和49年10月 |

