

流路の拡幅現象に関する二、三の検討

京大防災研 正員 村本嘉雄 京大防災研 正員 藤田裕一郎

1. はしがき ; 河道の変動過程での主要な現象の一つに流路の拡幅現象があり、最近この現象と河床変動との関連機構の水理学的研究がなされているが、その水理学的解析法としては平野¹⁾の研究と著者^{2,3)}のものがある。両者はともに流路側壁固定の河床変動の一次元解析法を拡張したもので、水流の連続式と運動式、流砂の連続式および流砂量式に側岸の連続式と侵食量式を加えて連立させて解析する方法である。側岸侵食量 $g_s/(1-\alpha)$ を著者らは側岸付近の摩擦速度 U_* (ϵ : 摩擦速度分布の補正係数) を用い、Black Box的に $g_{sf} = \epsilon(1-\alpha)N(\epsilon^2\tau_* - \tau_{*c})$ 、 $g_{sf} = g_s/U_*d$ 、 $\tau_* = U_*^2/(\rho g d)$ 、 $\tau_{*c} = U_{*c}^2/(\rho g d)$ と示したが、平野は斜面上の流砂量とその方向を考察して、 $g_{sf} = K/\mu \cdot 2h/b \cdot \sqrt{\tau_{*0}/\tau_{*c}} (\tau_* - \tau_{*c})$ としている。ここに、 N, K は定数、 μ は砂の摩擦係数、他は慣用の記号に従う。この解析法の問題点は、流水の抵抗則、流砂量式、側岸侵食量式等の仮定、断面形近似ならびに河床と側岸の連続式のさせ方、側岸付近の水理条件の明確化、境界条件の設定および式の近似化等にある。本文では、給砂条件に対応した流路の拡幅過程と流路の平衡状態について考察するとともに、それを上流端で給砂する場合の境界条件に適用して上述の解析を行ない、結果と実験値との対応を検討する。

2. 一定給砂条件下での流路の拡幅過程と平衡状態 ; 側壁固定の場合から類推して流砂量を $Q_b = M_1(\tau_* - \tau_{*c})B U_* d$ 、抵抗則を $U = Q/Bh = C U_*$ とすると、 $B = 3QI_0/C U_*^3 \cdot \{1 - (\rho g d) C Q_b / M_1 Q I_0\}^{3/2}$ となり、この関係を Q_b をパラメーターとして図-1 に示す。側岸侵食量に著者らの式を用いれば、拡幅は $\epsilon U_* = U_{*c}$ のとき停止し、さらに $U_* = U_{*c}$ で $Q_b = 0$ になる。これらの条件はそれぞれ $B = \epsilon^3 Q I_0 / C U_{*c}^3$ 、 $B = 3Q I_0 / C U_{*c}^3$ であって図-1 に B_c 条件、 I_c 条件として示される。さて、給砂条件としては、(1) 給砂量 $Q_s >$ 初期流砂量 Q_{b0} 、(2) $Q_s = Q_{b0}$ 、(3) 初期この配 I_0 が保たれるような Q_b 、(4) 初期流路幅 B_0 が B_c 条件を満たす $Q_b = Q_{b0}$ に対し $Q_{b0} < Q_s < Q_{b0}$ 、(5) $Q_s = Q_{b0}$ 、(6) $0 < Q_s < Q_{b0}$ および (7) $Q_s = 0$ が考えられる。拡幅は、(1) では図-1 の径路①のように I_0 を急速に増大して $Q_b = Q_s$ にまで増した後、 $Q_b = Q_s$ を満たすように I_0 を増し

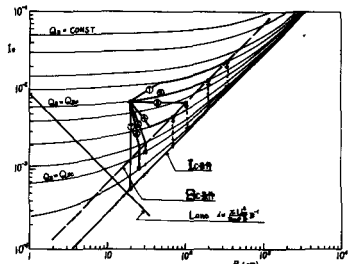


図-1 拡幅過程と平衡状態

て進み、 B_c 条件に達して停止する。このとき B と I_0 とが一定で、河床にも一定の流砂量が存在しているので動的平衡状態が達成されている。ここで給砂がなくなれば B が一定のまま I_0 が減じて I_c 条件で静的平衡状態が形成される。(2) では径路②のように初期から $Q_b = Q_s$ を満たして進み、(3) では当然径路③のように横軸に平行に進んで B_c 条件で停止する。(4) では径路④のように $Q_b = Q_s$ となるまで I_0 を減じながら、 $Q_b = Q_s$ となればそれを満たして I_0 を増しながら拡幅する。(5)~(7) では初期に $\epsilon U_* > U_{*c}$ なのでやがて拡幅するが I_0 を急激に減じて、(5)、(6) は B_c 条件と I_c 条件の間で動的平衡状態を、(7) は I_c 条件上で静的平衡状態を形成すると考えられる。このように、Regime Theory でいわれている側方侵食性流路の平衡状態は一定流量下では B_c 条件、 I_c 条件によってその概念を明確にでき、 ϵ の検討が重要になる。固定床の掃流カ分布より $\epsilon = 0.75$ として、図-1 の関係を実験値より検討したものが図-2 で、上流端 (U) を

印、下流端(D)を○印で示す。実験条件は、 $Q=1\text{ l/sec}$, $d_m=0.42\text{ mm}$ (一様砂), $B_0=30\text{ cm}$, 初期河

岸高 $D=5\text{ cm}$, $I_0=1/200$, Q_s はExp IIで $0\text{ cm}^3/\text{sec}$, Exp IIIで $1\text{ cm}^3/\text{sec}$ であり, $M_1=3$, $C=6$, $U_{*c}=1.67\text{ cm/sec}$ として計算してある。(U)での Q_s の値は給砂量, (D)では図-3の流出土砂量の実測値と考えられる。水面波によるバウウキを考慮すれば, Exp IIでは, (U)はやや振幅するが I_e が急激に減少して静的平衡状態に移行しており, (D)は前半で Q_s の減少に対応して I_e を減じながら振幅し, 後半で $Q_s \approx 1\text{ cm}^3/\text{sec}$ に対応して振幅している。Exp IIIでは, (U)は $Q_0 \approx Q_s = 1\text{ cm}^3/\text{sec}$ で, この線に沿って振幅し, B_e 条件付近で振幅が停止しているよう。図-2 振幅過程と平衡状態の検討であり, (D)は $Q_s \approx 2\text{ cm}^3/\text{sec}$ に対応して振幅していることからわかる。以上のように, 振幅過程と平衡状態の仮定は大体満足されているが, $Q_0=Q_s$ に達するまでの過渡過程はこの検討からだけでは明確にできない。

る境界条件の設定と解析結果の検討; 前述の解析は既述の式の他に $I_e = I_0 - \frac{22}{92}x$, $(1-\lambda)B \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + g_s$, $g_s = (1-\lambda)(D-Z) \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2}$

を連立させる。初期値を基準にした無次元量 $b = B/B_0$, $\eta = 1 - \frac{Z}{D}$ で整理すると, $\dot{z} = \frac{I_e}{I_0} = 1 - \frac{D}{6} \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}$, $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = K_0(1 - \eta) b^{3/2} (1 - \frac{Z}{D})^{1/2} / 6(1 - \eta) b^{3/2} \cdot \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} - \alpha \frac{1}{b}$, $K_0 = (\frac{2}{3} - 1)(3 - \eta) / 3(1 - \lambda) C B_0$, $\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = \epsilon g_s \cdot b^{-5/2} (1 - \eta) b^{3/2} / (1 - \eta) B D \eta$, $\eta = U_e/U_{*c}$ (添字の0は初期値) となり, 式は非線形なので差分化して数値解を求めねばならない。

境界条件は, 下流端では河床高一定, 上流端では給砂のある場合Exp IIIのように $Q_s \approx Q_0$ なる過渡過程が短いので $Q_0 = Q_s$ として, 流砂量式と側岸侵食量式を連立させて求められる。すなわち, 初期値と流砂量式から $Q_0 = Q_s$ とする I_e を収束計算で求め, この値を用いて次の B を決める。河床高も下流側から延長して計算できる。図-4にこうして求めた数値解を曲線で示し, 実験値と比較してある。Exp VI は $I_0=1/100$, $Q_s=2\text{ cm}^3/\text{sec}$ で他の条件はExp IIIと同じで, $N_1=2$ として計算してある。振幅量は, 解析結果では下流側が大きく, 実験では上流側とくに給砂断面の近くが大きくなる傾向があるが, 初期の対応は良好である。この主な理由は, 振幅後の水流の偏りや給砂分布の不均一などの影響で $Q_0=Q_s$ の条件が保たれていないためであろう。

なお, 実験値の整理や解析の数値計算には京大大型計算機センターのFACOM 230-60を用いたことを付記します。

<文献> ①平野; 土木学会論文報告集, 第210号, 1973.

② 芦田・村本・奈良井; 京大防災研年報, 第14号B, 1971.

③ 村本・田中・藤田; 京大防災研年報, 第15号B, 1972.

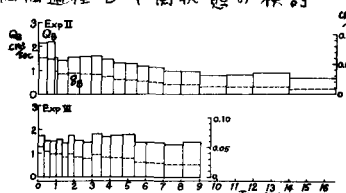
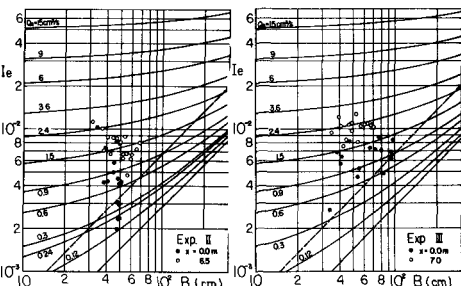


図-3 下流端流出土砂量

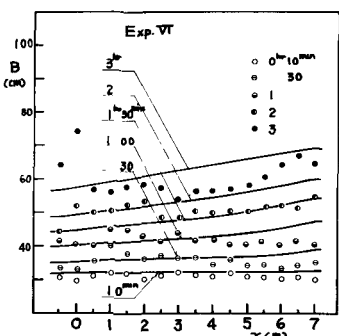
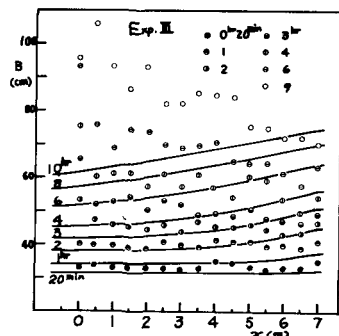


図-3 解析結果の検討