

II-131

浮遊砂流路の横断面形成機構

北海道大学工学部 正員 長谷川和義
大成建設 正員 望月 明彦

1. はじめに

浮遊砂流路の平衡断面に関する理論は、Parker¹⁾の先駆的な研究があるものの実際現象を説明できるまでに至っていない。われわれは²⁾³⁾動的平衡が無条件には生じないことを示し、この種の流路の浸食パターンがさまざまなことを指摘してきた。本報告はこれらの理論を現実の河川にあてはめて数値的に解き、断面形成機構の検討をおこなったものである。

2. 横断面形成の素過程

直線的な流路も蛇行流路も河幅は余り変わりがない。曲がりによる断面の変化や流路の移動は、主流よりも横断面内および平面内の二次流によって支配される。逆に、横断面の基本形状は平均流によって形成されるものといえる。したがって、縦断的に平衡した直線流路をとりあげることは一般性を損なわない。

浮遊砂の濃度方程式を水深にわたって積分すると、式(1)、(2)、(3)となる。ただし、水面の境界条件を与えている。右辺第一項は横断方向の浮遊砂拡散フラックスの出入りの差を表し、第二項は巻き上げ量、第三項は沈降量を表す。これらの総計が左辺を規定するが、この項はゼロに近いので結局左辺の釣合から断面濃度が決まる。注目すべきは式(2)、(3)中の波線を施した部分で、地形（底面傾斜）効果を表す。式(2)においてこの項がなければ、全断面が等濃度の場合にもフラックスが生じるという不合理が生ずる。式(3)右辺の第一項は一次元拡散の巻き上げ条件を与えるが、第二項は底面の横断フラックスが鉛直方向に持ち上げられる効果を表している。これらの項の働きにより、底面濃度が平衡濃度を上回ったり下回ったりして堆積浸食を呼び起こす。掃流砂もまた傾斜角によって支配される。一方、流砂の連続式(4)によって断面形状が変化し、流砂の動きとの間に連立関係を構成する。浮遊砂が岸側で堆積し、掃流砂がそれに見合う浸食を行う場合に、動的な平衡に達する。

$$\int_{\zeta}^{\zeta+h} \frac{\partial c}{\partial t} dz = - \frac{\partial J_y}{\partial y} + q_u - w_0 c(\zeta) \quad (1)$$

$$J_y = -\epsilon_y \frac{\partial}{\partial y} \int_{\zeta}^{\zeta+h} c dz - \epsilon_y c(\zeta) \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (2)$$

$$q_u = -\epsilon_z \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{\zeta} + \epsilon_y \left. \frac{\partial c}{\partial y} \right|_{\zeta} \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda} \left\{ \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + q_u - w_0 c(\zeta) \right\} \quad (4)$$

ζ : 河床高, c : 浮遊砂濃度, J_y : 横断拡散フラックス,

q_u : 巻き上げ量, w_0 : 沈降速度, h : 水深,

ϵ_y, ϵ_z : y, z 方向の拡散係数, q_{by} : 横断掃流砂量

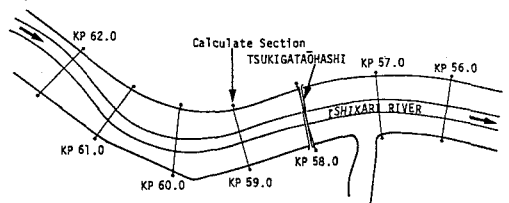


図-1 月形大橋付近の流路平面形状

3. 計算法

濃度分布として指数関数をあたえ、巻き上げ量に板倉式、横断方向掃流砂式に従来我々が提案してきた式を使って(1)、(4)の連立式を解く。今の場合、時間ステップ内では流量を一定と考え、流れの連続関係を考慮する。拡散係数は一定と見なし、計算手法にはRunge-Kutta-Gill法を用いる。境界条件は次のように取る。

流路中央で：河床が水平。濃度の横断方向勾配ゼロ。

水際で：水深ゼロ。側岸傾斜角一定で、浸食により急

になった場合は同一角を保つように崩落する。

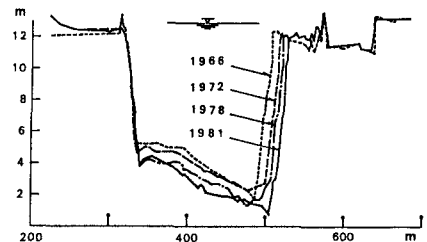


図-2 59km地点の浸食横断面図

4. 石狩川での結果と考察

図-1は石狩川月形大橋付近における新川の平面形状を示す。既往の洪水により浸食を受けて広がりがつつある。図-2は、59K地点の断面変化を見たものである。上流蛇行の影響により右岸が削られている。上述の観点にたち、この断面を対象に昭和56年8月洪水による浸食を計算する⁴⁾。

図-3は、流路構成材料の径を0.016cmとしたときの計算結果である。初期に進行した浸食がピーク時にはやみ、その後再び削られている。拡散フラックスの向きに注目して計算内容を検討すると、洪水初期には中央に向かうが、ピーク時には側岸に向き、浮遊砂堆積を引き起こしていることが判る。図-4は、径を0.036cmにした場合の結果である。この場合には洪水ピーク時においても拡散フラックスが中央を向いており浸食がやまない。前者の幅のひろがり、一時的な動的平衡の実現により実測に近いものになっているが、後者は静的平衡に至るまで止まらず、著しく広がっている。このように、ある条件下でのみ動的平衡が生じる。われわれは、さきに近似的な扱いにより発生条件を示した²⁾が、本数値解析によれば、図-5のように $u_{*0}/w_0 > 20$ が目安になる（ただし、拡散係数の見積りをさらに正確にする必要がある）。粒径による劇的な違いは沈降速度の違いの反映であり、詳しい分析のためには混合粒径の取扱が必要なようである。

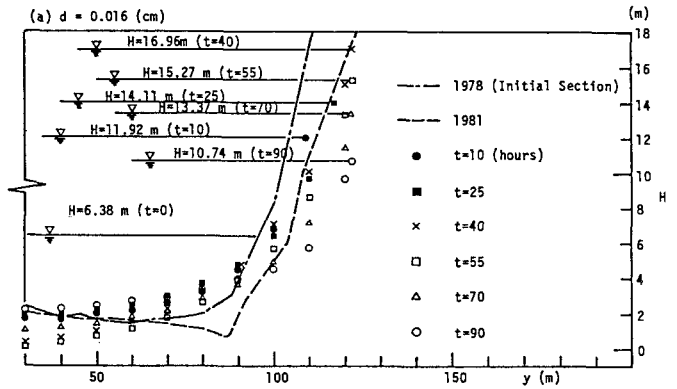


図-3 浸食過程の計算結果と実測断面 ($d=0.016\text{cm}$)

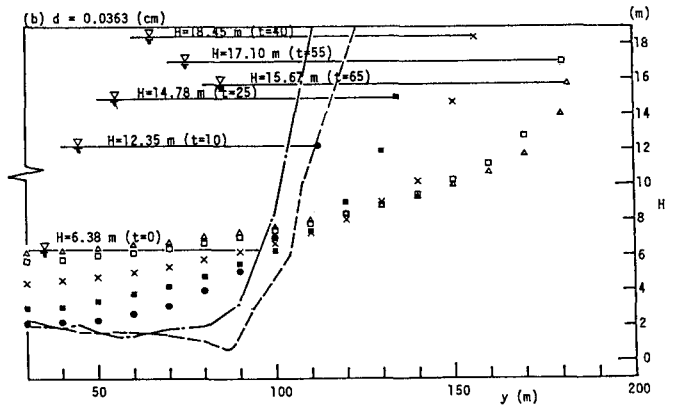


図-4 浸食過程の計算結果と実測断面 ($d=0.036\text{cm}$)

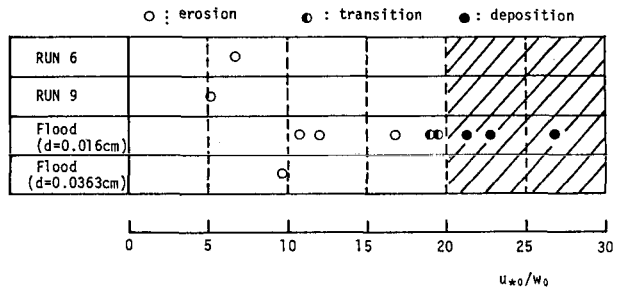


図-5 側岸浮遊砂堆積の生起条件

5. おわりに

混合粒径の効果、彎曲部における断面形成の理論化が今後の課題である。

【参考文献】

- 1) Parker, G : J. F. M. Vol. 89, part1, pp109-125, 1978
- 2) 長谷川, 望月 : 第31回水理講演会論文集, pp725-730, 1987, 2
- 3) 長谷川, 望月 : 第32回水理講演会論文集, pp401-406, 1988, 3
- 4) 長谷川, 望月 : 土木学会42回年講概要集, pp294-295, 1987, 9