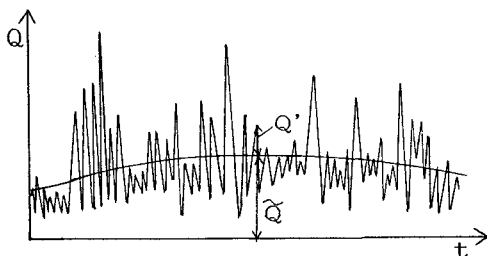


II-286 河床縦断面形状の長期変化に関する研究

中央大学理工学部 正員 山田 正
水資源開発公団 学生員 大前智敬

1.はじめに 河床の縦断面形状は一洪水期間中といえども流量、流砂量の変化により細かに変動する。ここではそのような細かな変動を議論するのではなく、数10回の洪水の間に河床縦断面の平均的な形状がどのようにして決定されるかを検討した。この中で河床縦断面形状の長期予測を行うにあたっての水理・水文諸量の果たす役割を明らかにしている。

2.基礎式の導入 河床高の基礎式は流砂の連続条件より一般に(1)式のように表される。ここに z は基準水平面からの河床高、 B は掃流幅、 Q_B は流砂量、 λ は空隙容積の全容積に対する割合、 q_{Bz} は単位幅、単位時間当りの横流砂量である。ここで擬似等流の仮定より流量と流砂量の関係式は(2)式ようになる。ここに Q は流量、 s は砂粒の水中重量、 ϕ は流速係数、 K は流砂量式中の係数である。ここでは s 、 ϕ 、 K は一定値として扱う。これを(1)式に代入すると(3)式を得る。

図-1 変動の長期成分 $\tilde{}$ ・短期成分 '

次に Ferguson, C. が提唱した河幅 B と流量 Q に関する経験式⁽¹⁾ $B=4.88Q^{0.5}$ ($m, m^3/s$) および池田・Parker, G.・千代田・木村の理論式⁽²⁾の結果を考え、さらに河道長 L と流域面積 A の間の Hack の経験法則⁽³⁾ $L=0.475A^{0.6}$ (m, m^2) を用い、流量 Q と幅 B を一般的な形におく。まず流量 Q と流域面積 A の間の関係を一般によく知られているように $Q=\alpha_1 A^n$ とおく。ここに α_1 は係数である。ここで Hack の経験法則を用いることにより流量 Q は一般的な形として(4)式となる。ここに $\alpha(t)$ は時間に関する関数で $\alpha(t)=3.458^n \alpha_1$ 、 $m=(10/6)n$ 、 $L=x+x_0$ で x_0 は山地部の川の長さである。次に Ferguson の経験式を一般に $B=4.88Q^\beta$ とおき(4)式を代入すると幅 B の一般的な形として(5)式を得る。ここに $\beta(t)$ は時間に関する関数で $\beta(t)=4.88\alpha(t)^\beta$ である。さらに横流砂量として、(2)式と同様に擬似等流の仮定を用いて $q_{Bz}=-C_z q_z (K/(s\phi)) (\partial z/\partial x)$ とおく。ここに q_z は横流入量、 C_z は横流砂量に関する係数である。また $q_z=dQ/dx$ であるから横流砂量は(6)式のように表現することができる。よって(4)式、(5)式および(6)式を(3)式に代入すると(7)式のようにとなる。ここに $\gamma(t)$ は時間に関する関数で $\gamma(t)=a(t) \cdot K/(\beta(t) \cdot (1-\lambda)s\phi)$ 、 $p=m(1-\ell)$ である。次に河床高 z および $\gamma(t)$ の変動成分を図-1に示すようにそれぞれ長期成分 $\tilde{}$ と短期成分 ' に分ける。さらに変動成分の平均移動 $\langle \rangle$ をとる。ここで $\langle \gamma' z' \rangle$ に関して $\langle \gamma' z' \rangle = -D(\partial \tilde{z}/\partial x)$ なる仮定を用い、また $\langle z' \rangle = 0$ 、 $\langle \gamma' \rangle = 0$ を考慮すると(7)式は(8)式となり河床高の長期変動を表す基礎式を得る。ここに D は拡散係数である。

3. $\gamma(t)$ の推定 Ferguson, C. の経験式と Hack の経験法則を用いて $\gamma(t)$ を流量 $Q(m^3/s)$ と流域面積 $A(m^2)$ で表示すると(9)式となる。

いまここで実河川の流量と流域面積の関係を用いておよその $\gamma(t)$ の値を推定してみる。図-2は1975年の石狩川のピーク流量と流域面積の関係⁽⁵⁾を示した図で

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B(1-\lambda)} \frac{\partial Q_B}{\partial x} = \frac{1}{B} q_{Bz} \quad (1) \quad Q_B = -Q \frac{K}{s\phi} \frac{\partial z}{\partial x} \quad (2)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{1}{B(1-\lambda)} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ -Q \frac{K}{s\phi} \frac{\partial z}{\partial x} \right\} = \frac{1}{B} q_{Bz} \quad (3)$$

$$Q = a(t) (x+x_0)^m \quad (4) \quad B = \beta(t) (x+x_0)^{m\beta} \quad (5)$$

$$q_{Bz} = -C_z \frac{mKa(t)}{(x+x_0)^{(1-m)\beta}} \frac{\partial z}{\partial x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial z}{\partial t} - \{p - C_z m(1-\lambda)\} \frac{\gamma(t)}{(x+x_0)^{(1-p)}} \frac{\partial z}{\partial x} = (x+x_0)^p \gamma(t) \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \quad (7)$$

$$\frac{\partial \tilde{z}}{\partial t} = \frac{p - C_z m(1-\lambda)}{(x+x_0)^{(1-p)}} \tilde{\gamma} \frac{\partial \tilde{z}}{\partial x} + \left[(x+x_0)^p \tilde{\gamma} - \frac{\{p - C_z m(1-\lambda)\} D}{(x+x_0)^{(1-p)}} \right] \frac{\partial^2 \tilde{z}}{\partial x^2} - (x+x_0)^p D \frac{\partial^3 \tilde{z}}{\partial x^3} \quad (8)$$

$$\gamma(t) = \frac{K}{4.88(1-\lambda)s\phi} \left(\frac{1}{0.475} \right)^p \frac{Q^{0.5}}{A^{0.6p}} \quad (9)$$

ある。この図より $A=4000(\text{km}^2)$ のときピーク流量はおおよそ $Q=4000(\text{m}^3/\text{s})$ である。また $K=1$ 、 $\lambda=0.4$ 、 $s=1.6$ 、 $\phi=10$ という一般的な値を用いる。Ferguson の経験式および Hack の経験法則で用いられている指数値を参考にして $p=5/6$ ($m=10/6$ 、 $l=0.5$) とすると $\gamma=0.00004$ となる。また $p=1$ とすると $\gamma=0.000005$ となる。以後これらの値を参考にして計算を行う。

4. 解析結果 図-3は支川からの土砂流入がないとき(8)式を基にして計算した縦断面形状である。縦軸に河床高の長期変動成分 $\tilde{z}$ 、横軸に上流からの距離 x をとり 10 年ごとに 100 年までの縦断面形状を示している。境界条件としては最上流端および最下流端を固定している。また図-4は $\tilde{\gamma}$ の値の違いおよび支川からの土砂流入の違いによる 100 年後の縦断面形状を比較したものである。

これらの図より以下のことがわかる。(1) $\tilde{\gamma}$ の値が大きいほど $\tilde{z}$ は高くなる。(2)支川からの土砂流入を考慮した方がしないときと比べて河床が高くなる。(3)支川からの土砂流入量(C_L の値)が大きいほど河床は高くなる。またこれらの他に解析の結果次のことがわかった。(4)各パラメータの値が同じであれば初期形状にかかわらず最終形状は同じになる。(5)山地部の川の長さ x_0 の値が大きい程河床は高くなる。(6)パラメータ p の値が小さいほど河床は低くなる。以上より、流量が大きくなると河床は高くなるといえる。このことは流量が増えた分、土砂を多く運んでくるということが出来る。また、そのときの流量に適應する安定縦断面形状が存在するといえることができる。

5. 結論 本研究で得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1)河床は流量が大きいほど高くなる。
- (2)縦断面形状を考えるにあたって、そのときの流量に適應する安定縦断面形状が存在する。

これらのことより、河床はそのときそのときの流量に適應する安定縦断面形状になろうとして河床は上昇したり低下したりする。各水理・水文諸量および各パラメータに適当な値を用いることにより、河川の今後の変動を予測することができるとことがわかった。

謝辞 本研究は、文部省科学研究費・重点領域(1)および一般研究C(代表 山田正)の補助のもとに行われている。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献 (1)Leliavsky, S. : An introduction to fluvial hydraulics. pp.133~135, Constable, 1955. (2)池田駿介・Parker, G.・千代田将明・木村善孝: 直線礫床河川の動的安定横断面形状とそのスケール、土木学会論文集、第375号、pp.117~126, 1986. (3)Hack, J.T. : Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland. U.S.G.S. Prof. Paper, 294B, pp.45~97, 1957. (4)高山茂美: 河川地形、共立出版. (5)山田正・豊田康嗣: 洪水におけるハイドログラフの特性とその形成過程に関する研究、水工学論文集、第35巻、pp.143~148, 1991. (6)山田正・大前智敬: 砂礫河川の粒度分布構成における粉砕・摩耗効果、土木学会北海道支部論文集、第47号、pp.413~418, 1991.

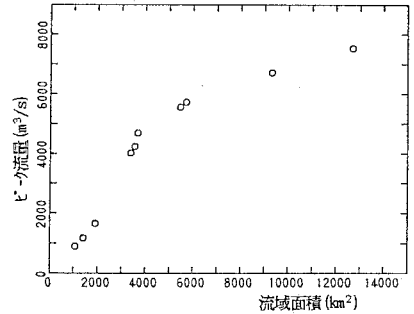


図-2 石狩川におけるピーク流量と流域面積の関係 (山田・豊田、1991)

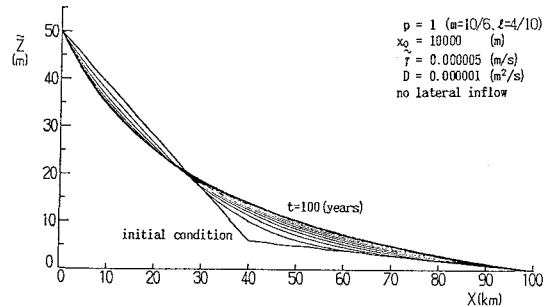


図-3 支川からの土砂流入なしのときの縦断面形状

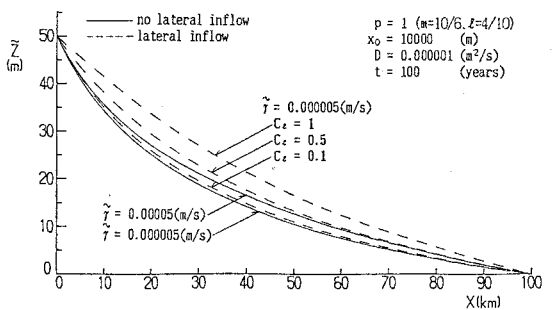


図-4 100 年後の縦断面形状の相違