II－3　平衡河床形に関する一考察

K.K. オリエンタルコンサルタンツ　正員　○岩佐　佳治
徳島大学　大学院　　学生員　大沢　泰

1. 緒　言：従来河川の平衡河床形は主として掃流土砂のみに対する静的，または動的平衡理論により計算されてきたが，本文は流砂河川の下流部に対し従来の発表された種々の平衡河床理論を適用し，それらの結果を比較検討するとともに，浮遊土砂と掃流土砂の両者を含んだ場合の平衡河床理論を述べ，実際河川への適用を試みたものである。

2. 従来の静的理論について：杉尾博士の支配流量を導入した方法は，仁淀川，吉野川などで好結果をえている。さて増田博士の方法を仁淀川と吉野川の同じ区間に適用してみると，計画高水量に対して計算を行った結果では，両河川とも平衡勾配は実測勾配より非常に小さく，各断面間の勾配変化がはげしく，実際河床とあまり合わない。試みに前記支配流量に近い値として，仁淀川では $Q=2{,}500\ m^3/s$，吉野川で $Q=3{,}000\ m^3/s$ に対する河床形を計算してみると，かなり実測河床形に近いことがわかる。ゆえに最大洪水流量に対して静的理論を適用するのは一考を要する。また，この方法によると基準点の砂れきが平衡河床形を支配する要素の一因となるようで，図からもわかるように吉野川で粒径変化の大きく異る2地点，すなわち河口より $14\ km$，および $16\ km$ の位置をおのおの基準にとると，平衡河床形は大きな相異をみせている。このことより基準点の水深，川巾，粒径がその上下流で大きく変化する場合にはこの方法は若干問題がある。安芸博士の方法によれば，川巾を一定と考え，Sternbergの法則を根拠としたため，河床形はなめらかな曲線を示すが，長区間に適用するには不適当である。

3. 浮遊土砂と掃流土砂を含んだ洪水流による平衡河床理論：水路巾に比較して水深が小なるときの矩形断面水路において，大洪水時における流送土砂による平衡河床形を神月氏の発表した洪水時における最大運搬土砂量の式を流砂の運動方程式として用い，流砂をともなう流水の抵抗法則を組みあわせて，不等速定流の運動方程式を解き，大洪水による動的平衡河床形の簡単で，かつ合理的な理論式を提案する。神月氏によると，ある勾配，流量，底面の粗度を与えると可能最大運搬土砂量は

$$q_T \leqq u_0^4/4\mu C_s^2 \qquad (1)$$

である。ここに q_T は単位巾あたりの掃流，浮遊する全流砂量，u_0 は土砂を混入しないときのChézyの平均流速 $u_0=C_0\sqrt{h(i-\partial h/\partial x)}$，$\mu=(\rho_s-\rho_w)w/\rho_w$ であり，ρ_s，ρ_w は土砂および水の比重，w は土砂の沈降速度，C_s は土砂を混入しないときのChézy係数である。

(1) 式において，$C_s \fallingdotseq C_0$ と考え，$d(u_0^2/2g)/dx$ を無視すると次式となる。

$$q_T = u_0^4/4\mu C_s^2 = u_0^2 C_0^2 h I_f/4\mu C_s^2 = q^2 I_f/4\mu h$$

ここに，I_f は摩擦勾配（$I_f=u_0^2/gh$）である。河床が平衡であるための条件は $Q_T=B\cdot q_T=Const.$ である。よって

$$Q_T = Bq^2\frac{1}{4\mu}\cdot\frac{I_f}{h} = B_0 q_0^2\frac{1}{4\mu_0}\cdot\frac{I_{f0}}{h_0} \qquad (2)$$

ここに，添字 0 は基準点における諸量である。$\rho_s=2.65$，$\rho_w=1$ とすると (2) 式は次式となる。

$$\frac{Bq^2}{B_0 q_0^2} = \left(\frac{I_{f0}}{I_f}\right)\left(\frac{h}{h_0}\right)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = \left(\frac{h}{I_f}\right)\left(\frac{I_{f0}}{h_0}\right)\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) \qquad \therefore \frac{h}{I_f} = \frac{(Bq^2/B_0 q_0^2)}{(\omega/\omega_0)}\frac{h_0}{I_{f0}} \tag{3}$$

移動床の抵抗法則として $n\sqrt{g}/d^{1/6} = 0.341\Psi^{0.35}$ を用いると

$$n = 0.0914\, h^{0.35}\, I_f^{0.35}\, d^{-0.18} \tag{4}$$

Manning公式より $q = v \cdot h = h \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} I_f^{1/2} \fallingdotseq \frac{1}{n} h^{5/3} I_f^{1/2}$ (5)

(4), (5) 式より　$q = 10.93\, h^{1.35}\, I_f^{0.15}\, d^{0.18}$

さて，全区間で比較的等流に近い地点を基準点にとると，計画高水量に対する平均水深 h_0 は水位一流量曲線より，また河床勾配より I_{f0} が求まる。(3) 式において $h/I_f = K$ とおき，(5) 式に代入すると

$$q = 10.93\,(K I_f)^{1.32}\, I_f^{0.15}\, d^{0.18}$$

$$\therefore I_f = \left(\frac{0.0914\, q}{K^{1.32} d^{0.18}}\right)^{\frac{1}{1.47}} \quad あるいは \quad h = \left(\frac{0.0914\, q K^{0.15}}{d^{0.18}}\right)^{\frac{1}{1.47}} \tag{6}$$

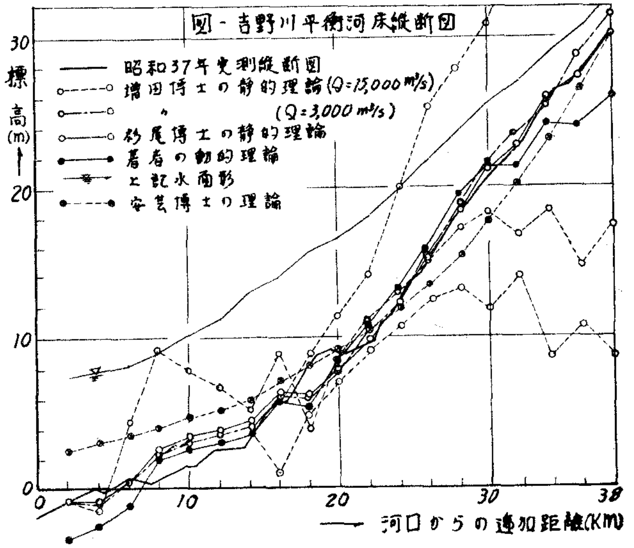
ただし，$K = (Bq^2/B_0 q_0^2)/(\omega/\omega_0) \times h_0/I_{f0}$ (7)

なお，(7) 式の K の値は基準点の水深，摩擦勾配および各断面の既知なる諸量を与えることにより求まる数値である。広巾矩形水路における不等流の運動方程式と連続式より，平衡勾配として次式をえる。

$$i_s = \frac{u_*^2}{gh} + \frac{dh}{dx}\left(1 - \frac{h_c^3}{h^3}\right) - \frac{h}{B}\frac{h_c^3}{h^3}\frac{dB}{dx} \tag{8}$$

上記の方法で求めた h, I_f を (8) 式に代入し，平衡勾配を求め，$z = z_0 + \int_0^x i_s\, dx$ により砂面高を計算する。

この方法により仁淀川，吉野川を例にとり，平衡河床形を求めた。一例として吉野川につき図示する。図から計算値は実測値とかなりよく一致している。このことより河川下流部のような緩勾配で川巾変化の少ない地点に対しては静的理論には及ばないが，ある程度動的理論により平衡河床形を求めることができる。また，水面勾配は18 Km の地点を境にして異なった傾向を示している。このことは芦田博士らが指摘するように，この地点より上流側では掃流土砂が，下流側では浮遊土砂が平衡河床形に影響を与えている思われる。



図－吉野川平衡河床縦断図

4. 結　言：1) 静的平衡理論で河床形を計算するには流量として最大洪水流量の 20% 程度の流量を用いる。2) 河川下流部のような川巾変化が少なく緩勾配の地点ではある程度動的平衡理論が使用可能である。3) 水位－流量曲線より最大洪水流量を与えて平衡河床形を計算する理論式を提案した

参考文献　1) S. Sugio: On the Equilibrium Bed Profiles of Rivers; Bulletin of Faculty of Eng., Tokushima Uni., Vol. 2, No. 2
2) 増田・河村：河川の静的平衡勾配について；土木学会論文集第70号, PP. 17～25, (1960)
3) 神月：土砂を含んだ洪水流の二三の特性について；土木学会論文集第104号, P. 28, (1964)
4) 芦田・道上：浮流砂を伴う場合の河床変動について；第10回水理講演会講演集, P. 47, (1966)