

### (3) 移動河床の粗度

九州大学応用力学研究所 正員 工博 藤原謹爾  
山口大学工学部 正員 橋東一郎

#### 1 まえがき

固定河床と移動河床との流れの抵抗法則の違いは、前者では、河床の粗度の大きさが流れの条件に無関係にきまつているのに反し、後者では、河床に砂漣等の凹凸が発生して大きな粗度を形成し、しかも、河床の凹凸は水理条件によって発達或いは崩壊することにより、従って、この問題を解明するためには河床を構成する砂礫の性質と水理条件とによってどのような寸法の砂漣がつくられるかということ、及び、河床の砂漣が流れに及ぼす影響を知ることが必要である。このような見地から著者はまず実験水路及び島根県斐伊川において砂漣の観測を行うと共に、H. K. Liu, N. H. Brooks, L. G. Straub 等の実験資料を検討して砂漣の発生限界、大きさ等について調べた。次に実験水路の底面に人工の砂漣形粗度をききならべて砂漣の大きさと相当粗度との関係を探め、さらに、実際の流砂河川の資料からその粗度について若干の考察を行った。

#### 2 底面に形成される砂漣の性質

流れの水深を $h$ 、底面を構成する砂礫の水中比重を $\sigma$ 、粒径を $D$ 、砂粒の混合状態をあらわすパラメーターを $\beta$ 、砂漣の波高及び波長をそれぞれ $H, \lambda$ とすれば、 $H/h$ 及び波形勾配 $H/\lambda$ は次元考察より次のようになる。

$$H/h, H/\lambda = f(\psi, Fr, \frac{u_* D}{\nu}, \frac{\sigma}{\beta}, \beta) \quad (1)$$

$$\text{但し, } \psi = \frac{u_*^2}{\sigma g D}$$

ここに $\psi$ は掃流力の無次元表示、 $Fr$ はFroude数、 $\frac{u_* D}{\nu}$ は砂粒のReynolds数、 $\frac{h}{D}$ は相対水深である。底面がほぼ均一な砂粒から構成されている場合には $\sigma$ を一定として(1)式は

$$H/h, H/\lambda = f(\psi, I, D_n) \quad (2)$$

とかけられる。ここに $I$ は勾配、

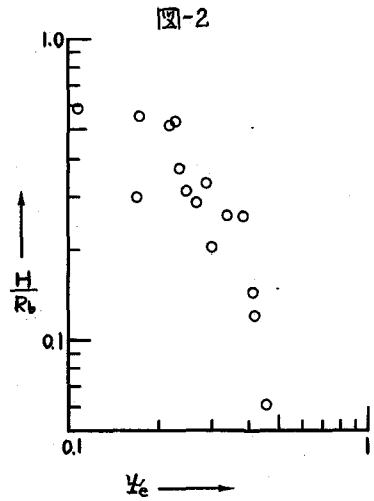
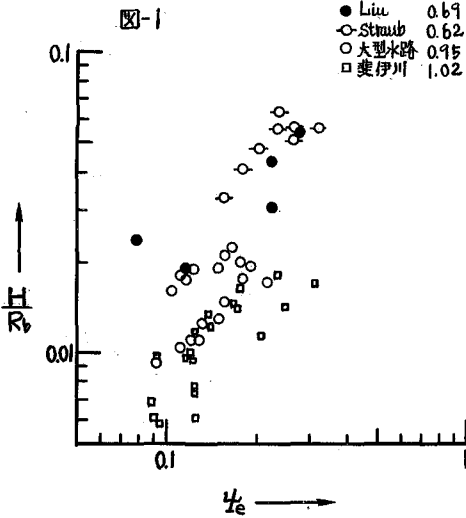
$$D_n = \left\{ \left( \frac{\sigma}{1.65} \cdot \frac{g}{980} \right) / (100\nu)^2 \right\}^{1/3} D$$

である。(1),(2)式における $\psi$ は流砂量の強度 $\tau \equiv \frac{\rho}{\sigma} \sqrt{\sigma g D^3}$ をあらわすものであるが、底面に砂漣等の凹凸が形成されると河床附近の移動砂は河床の全抵抗ではなく凹凸にその境界層の剪断応力に支配される。このような場合にはH. A. Einsteinが提唱しているように $\tau$ を $\psi$ の函数とみなすよりも砂の移動に有効な掃流力 $\psi_e$ を導入する方が都合がよい。流砂量の実験結果から検討して河床附近の砂移動強度を規定する $\psi_e$ として

$$\psi_e = \psi \frac{\rho}{\sigma} = \psi \frac{\bar{u}/u_*}{(6.0 + 5.75 \log \frac{h}{D_{95}})} \quad (3)$$

を用いると、浮流砂量の著しく高い範囲( $\frac{\psi_e}{0.4 u_{*c}} \geq 1.5$ )においては底面の粗度、Reynolds数に無関係に至る $\psi_e$ のみの函数とみなし得ることが知られた。上述のことから実験資料の整理においては(1),(2)式における $\psi$ は $\psi_e$ におきかえた。さて、Liuは砂漣が発生しはじめる掃流力 $\psi$ ( $\equiv \psi_e$ )は限界掃流力にほぼ等しく $\frac{u_* D}{\nu}$ の函数となることを示している。この限

界の $\psi_{el}$ は発生下限を与えらるものであり、今一つの限界として掃流力の大きいところであり掃流力をこえらと砂連が消滅して河床が平滑にならという上限の発生限界が考えらる。この上限の $\psi_{eu}$ は均一砂の場合には下の函数とみはらてよい様であり、砂連は $\psi_{el}$ より $\psi_{eu}$ の範囲において(1)又は(2)式のパラメーターに規定され発達或いは崩壊の過程をたどりものと考えらる。図-1及び図-2は粗い砂及び細かい砂にわけて砂連の波高と掃流力との関係を示したものであり。図-1では $H/R_b$ が $\psi_{el}$ とともにほぼ直線的に増加してゐるのに反し図-2では同じ $\psi_{el}$ の範囲で減少してゐる。砂連に関する実験資料が少ないので今後の研究にまたねは"ならぬ点が多いが、粒度 $D_b$ によつて砂連はその発達、崩壊の過程を異にするようにみえらる。



### 3 砂連の大きさと相当粗度との関係

斐伊川附近の大型水路及び斐伊川本川において砂連の大きさと流速との同時観測を行い、さらに、 $H=1\text{ cm}$ ,  $\lambda=40, 20, 13.5\text{ cm}$  の非対称形の人工砂連の粗度を実験水路にいきはらべ砂連上の流れの機構及び大きさと相当粗度 $k_s$ との関係をしらべた。次元解析によらと $k_s$ の函数形は河床構成物質の見掛け上の粗度を $k_*$ として

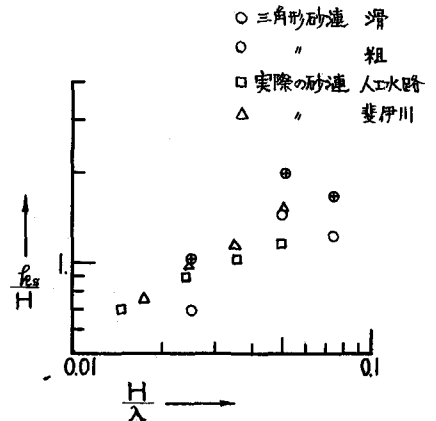
$$k_s/H = f(H/\lambda, H/k_*)$$

となる。図-3は野外観測における観測値の平均及び人工粗度の $k_s/H$ を流形勾配に対してプロットしたものである。

### 4 流砂河川の粗度

流砂河川においては種々の irregularity が介入することが予想されらるが、砂連等の底面の

図-3



凹凸が粗度に対して最も大きな役割を演ずるものと考えられ。前述の考察から砂健の大きさは主として  $\psi_e$  及び  $D_m$  に規定され、 $h_s$  は波高の影響を強くうけるから、平均流速公式

$$\bar{u}/u_* \equiv \varphi = 6.0 + 5.75 \log h/h_s$$

において、 $\varphi$  或いは  $h/h_s$  は限界掃流力附近を除き主として  $\psi_e$  と  $D_m$  との函数となることが予想される。図-4に流砂河川の資料から  $\varphi$  と  $\psi_e$  との関係を示した。若干の例外はあつたが、粗い砂 ( $D_m \geq 0.06 \text{ cm}$ ) の河川では  $\psi_e \leq 0.5$  において  $\varphi$  は  $\psi_e$  とともに減少し、砂健が図-1に対応して発達過程にあり、小粒径の砂の河川では  $\psi_e$  の殆んど全領域において崩壊過程にあることを示すように思われ。

