

I-9 Sand wave を伴う流れの粗度について

九州大学工学部 正員 工博 橋 東一郎
 〇 浜村 実
 水資源公団 野 中 榮二

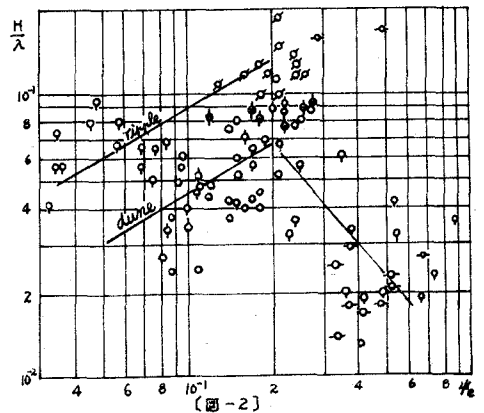
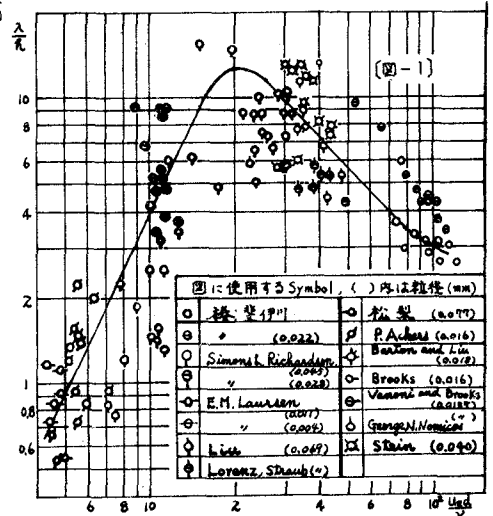
1 最近流砂実験に関連して sand wave の波高、波長の測定結果が特に米国に於て発表されたため、従来の資料とともに観測データがかなり豊富になった。この機会に(1) sand wave のスケール(波長、波高)と底質、水理量との関係、(2)その粗度とスケールとの関係、と流速法則について若干考察を行なった。

2. Sand wave のスケール

平滑にした砂面に水を流すと直ちに2次元的な sand wave が発生し時間の経過とともに波高が増大する。この間 ripple の場合2次元的な wave が3次元的な魚鱗形に変形してゆくが波長入には大きな変化がみられない。従つて Yalina が指適しているように波長入は移動床に於ても Plane bed と同様な水理条件に規定されると考えられるからその関数形として次の式

$$\frac{\lambda}{d} \text{ 或 } \frac{\lambda}{\alpha} = \phi \left(\frac{U_{ed}}{v}, \frac{R}{\alpha} \right)$$

が予想される。ここに図-1は λ/d と roughness Reynolds 数 $\frac{U_{ed}}{v}$ との関係を示したもので $\frac{U_{ed}}{v} \approx 20$ に於て λ/d は極大値をもつ。また $\frac{U_{ed}}{v} < 20$ の場合 sand wave の形は魚鱗形に近いいわゆる ripple とよばれるものであり Yalina の $\lambda \approx 1000d$ の領域にあたる。 $\frac{U_{ed}}{v} > 20$ の場合には2次元的に連続した dune とよばれるもので波長が水深 d に内係づけられるのはこの範囲のものである。次に sand wave の波高、波形勾配の無次元表示 H/λ 及び H/λ に影響する無次元量には掃流力の無次元表示 $\phi = \frac{U_{ed}}{\lambda g d}$ 、流れの Froude 数 $Fr = \frac{v}{\sqrt{gH}}$ 、roughness Reynolds 数などがあげられるが流砂量の強度が重要な役割りをもつであろう。従つて有効掃流力の無次元表示 $\phi = \frac{q}{\lambda g d}$ と H/λ との関係をプロットすると図-2が得られる。実験値のうちばりは極めて著しいがまず $\phi = 0.2$ 程度に H/λ の極値が認められ sand wave の発達過程及び崩壊過程があらわれている。散らばりの原因は sand wave の波高、波長が極めて不規則でその平均値さえ正確に把握する事が困難であるという実験的な制約に加えて流れの Froude 数や砂粒 Reynolds 数等の要素も影響をもつ事に起因するように思われる。実際発生領域に於ても ripple は dune に比べて約2倍の値をもち砂粒 Reynolds 数の



影響を受け、崩壊領域では流れの *Froude* 数がきいてくるように思われる。

3 Sand wave による流体抵抗

対数公式に於ける相当粗度 k_s は、次元的に次の関係

$$\frac{k_s}{H} = f\left(\frac{\lambda}{H}, \frac{\lambda}{\Delta}\right) \quad (2)$$

が期待され、 k_s/H と λ/H との関係プロットしたものが図-3である。

k_s/H の値は λ/H とともに大きくなり $\lambda/H \approx 16$ に於て極大値をとった後 λ/H の増加とともに減少してゆく。このような傾向は水路底に高さ H の矩形粗度をピッチ λ で並べた2次元粗度の k_s/H の傾向と全く同一であり k_s/H の極大の起る λ/H の値もほぼ一致している。このように圧力抵抗が大きな役割をもつことは明かであるから一波长間の全抵抗 τ_0 を圧力抵抗 $\frac{1}{2} \rho C_x U^2 H$ (C_x : 抵抗係数, U : H の高さに於ける流速) と sand wave の背面にそう境界戸抵抗 τ' とにわけ、さらに流速の対数分布式が適用されると仮定すれば

$$\tau_0 = \tau' + \frac{1}{2} \rho C_x \frac{H}{\lambda} V^2 \left[1 + \frac{U_0}{V} (2.5 + 5.75 \log \frac{H}{\lambda}) \right]^2 \quad (3)$$

sand wave の場合 $\frac{U_0}{V} (2.5 + 5.75 \log \frac{H}{\lambda})$ は 1 にくらべて

無視出来る程度であるから近似的に

$$\tau_0 = \tau' + \frac{1}{2} \rho C_x \frac{H}{\lambda} V^2 \quad (3')$$

とおける。 C_x は sand wave の形を λ/H の関数である。又 τ' は砂の移動に寄与する有効掃流力であるから著者の一人が流砂量の式からきめた表現

$$\tau' = \tau_0 \frac{q}{1-q} \quad q_0 = 6.0 + 5.75 \log \frac{H}{\lambda} \quad (4)$$

を用いると $\frac{1}{q} \sqrt{1-\frac{q}{q_0}} = \sqrt{\frac{1}{2} C_x \frac{H}{\lambda}}$

となる。 λ/H は図-2 に示したように主として

して $\lambda/H = \frac{U_0^2}{5.92 \tau_0}$ によって規定されるから

$\sqrt{\frac{1}{2} C_x \frac{H}{\lambda}}$ と q の関係を図-4 に示す。

散らばりは非常に著しいが sand wave の抵抗を表わす $\frac{1}{q} \sqrt{1-\frac{q}{q_0}}$ は $q = 0.2$ に於て極大をもち $q < 0.2$ は sand wave の発達過程に、 $q > 0.2$ は崩壊過程に対応している。

流砂河川について同一の操作を行なった結果を図-4の破線で記してある。

傾向はほぼ同一であるが河川では $q = 0.35$ に於て極大が起り河川の sand wave の方が崩壊過程に入り難くその度合も小さい事がわかる。

これはおそらく実験水路の *Froude* 数が河川のそれより大きいことによるものと考えている。

