

## II-72 移動床水路の抵抗則に関する研究

京都大学 防災研究所 正 芦田和男

舞鶴商専 正 田中祐一郎

京都大学 大学院 学 木村昌弘

I. 緒言 移動床水路の抵抗の問題に関して、抵抗分離法による考察を展開する。著者らや他の研究者の実験の結果、Sand Waves 上の流れは段落ち部の流れと極めて類似性が強いことが知られているので、まず段落ち流れのモデルを用いて、Sand Waves の波長と波高が与えられた場合の抵抗算定式を求めた。ついで、移動床においては、Sand Waves の形状は水量と粒径により規定されるが、従来の研究結果から、その形状が  $\tau_{*} (=U_{*}^2/\sigma g d_m)$ 、こう配  $I$ 、および粒径  $d_m$  の関数になるものと考えられるので、形状抵抗をこれらの諸量の関数として表わし、その関係を、多くの研究者によって従来得られている約3,500個の実験資料を用いて検討した。

2. 抵抗の算定式に関する考察 段落ち流れのモデルを用いれば、Sand Waves の一波長による形状損失水頭  $h_{s2}$  は、運動量の関係により次式で表わされる。

$$h_{s2} = (U_m^2/2g) \cdot f(F_m, K) \quad (1)$$

ここに、 $F_m = U_m/\sqrt{g d_m}$ 、 $K = H/d_m$ 、 $H$  : 波高、 $d_m$  : 水深、 $f$  :  $F_m$  と  $K$  の関数で、その値は文献(1)に示されている。底面剪断力  $\tau_b$  は、wakeの末端から下流へ流下距離にほぼ比例して増加し、Crest 付近では流速分布の対数則がほぼ成立する。このように摩擦抵抗は、河床形状の影響を受けるが、Sand Waves が十分発達した場合には、全抵抗の中での割合は低く、算定方法による誤差の影響は小さい。一方摩擦抵抗の割合が高い河床形状では流速分布形はほぼ対数則に従い、その場合の摩擦抵抗の算定にある程度の精度で平滑河床のそれを適用し得る。(1)にのっとり全領域を通じて、摩擦抵抗として平滑河床の対数則を適用することとする。この場合の相当粗度は  $U_{*c}/U_{*}$  および  $R/d_m$  の関数になることが明らかにされているが、ここでは  $R_0 = d_m$  とみればよいことにすれば、摩擦抵抗に関する  $f_f$  は

$$f_f = U_m/U_{*c} = 6.0 + 5.75 \log_{10}(R/d_m) \quad (2)$$

抵抗の線型性を仮定すれば、全抵抗に関する  $f$  は次のように表わされる。

$$1/f_2 = 1/f_{s2}^2 + 1/f_f^2 \quad (3)$$

$$\text{ここに、} f = U_m/U_{*c}, \quad 1/f_{s2}^2 = (f/2)(R_m/L), \quad 1/f_f^2 = (1 - E \cdot H/L) / (6.0 + 5.75 \log_{10} R/d_m)^2$$

$L$  : 波長  $E \cdot H$  : 発達領域の長さ

Sand Waves の形状が与えられると、(3)式により全抵抗を算出するが、従来の実験資料によりほぼ妥当な結果を与えることが知られた。

3. 移動床の実験資料による検討 上の考察により、形状損失に関する  $f_{s2}$  は、

$$f_{s2} = f(F_m, H/d_m, L/d_m) \quad (4)$$

の関数形で与えられる。従来の研究によれば、 $H/d_m$ 、 $L/d_m$  を規定する重要なパラメーターは、 $\tau_{*I}$  および  $gd_m^3/\nu^2$  である。 $I$  がある程度以上になると水循環の影響が加わり、Lower Regime と Upper Regime の境界が変化し、 $gd_m^3/\nu^2$  がある程度以下になると粘性の影響が現われて、Ripple の発生限界や形状が支配される。また  $F_m$  は、 $f$  と  $I$  により表わされるから、(4)式は結局

$$y_e = f(\tau_*, I, gdm/\rho^2) \quad (5)$$

の形で表わされる。従来の実験資料を用い、 $E=0$  として  $y_e$  を求め、これより  $y_e$  と  $\tau_*$  の関係を  $I$  および  $gdm/\rho^2$  をパラメータとして検討することにするが、 $I$  については、ある限界値より大きくなると  $I$  の影響が現われると考えられるので、 $I=0.005$  より大きいのか小さいかで区別し、 $gdm/\rho^2$  については、従来の研究によると  $d_m < 0.55^{mm}$  程度にすると  $I$  の影響が現われるようなので、この値で区別することにした。結果は右図のとおりであり、次のことが考察される。

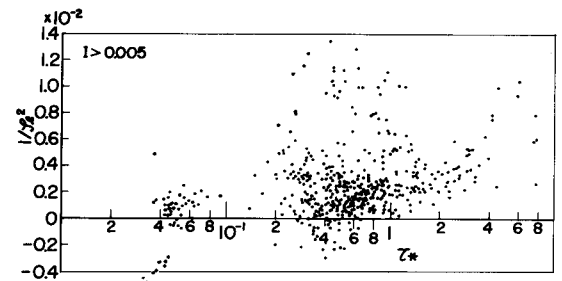
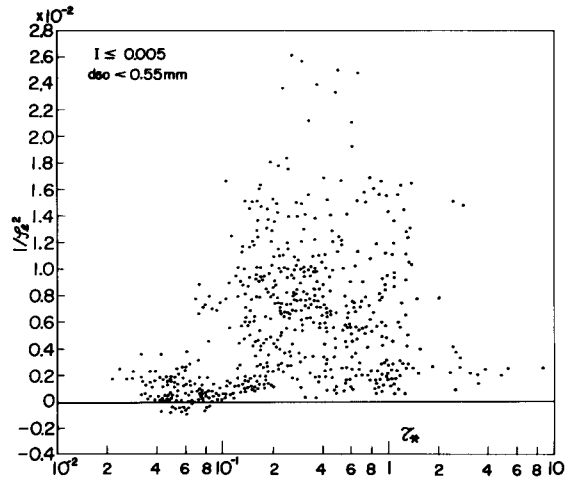
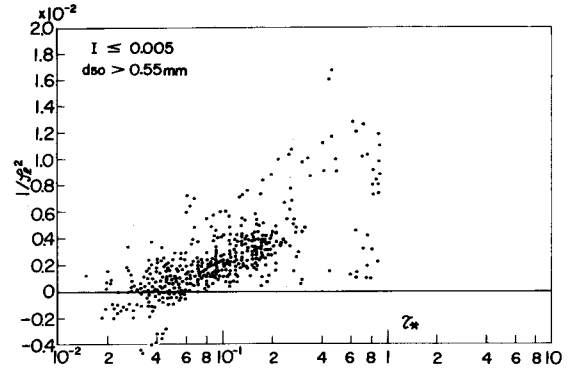
(1) 掃流力が限界掃流力近傍では  $1/y_e^2$  は小さいが、これは摩擦抵抗算定式の妥当性を示している。しかし、かたりのばらつきがあり、さらに  $UR/\rho$ ,  $R/d_{50}$  等の影響を考慮する必要がある。

(2)  $d_{50} > 0.55^{mm}$  の資料では、 $1/y_e^2$  は  $\tau_*$  の増加につれて比較的よい相関を持って増加するが、 $\tau_* = 0.8$  付近において急減して 0 に近づく。これは河床上の dunes が  $\tau_*$  とともに発達するが、 $\tau_* = 0.8$  付近で消失して Upper Regime に遷移することを示している。

(3)  $d_{50} < 0.55^{mm}$  の資料では、 $1/y_e^2$  は掃流力が限界掃流力より大きくなると急激に増大し、 $\tau_* = 0.2 \sim 0.4$  付近で最大となり、それ以後  $\tau_*$  の増加とともに減少する傾向を示す。これは河床形態が崩壊過程にあることを示すものであろう。しかし、点のばらつきは非常に大きい。この粒径範囲では粘性がかたりの影響を持つ。他の条件を一定にして、水温を上昇させ粘性係数を減少させるだけで Ripples が消失した実験例も報告されている。このように粘性の影響も点が相当大きくばらつく原因の一つであらう。

(4)  $I > 0.005$  の資料では、 $\tau_*$  の増加により  $1/y_e^2$  はそれほど増加しない。これは、水深が浅く水面波の影響が顕著に現われて、Ripples や Dunes の発達を抑制し、河床形状は Transition か Flat Bed とすることによる。なお、 $\tau_* > 1.0$  で  $1/y_e^2$  が増加するのは Antidunes の発達による。

参考文献 1) 芦田和男, 田中祐一郎: 移動床間水路の抵抗則に関する研究。京大防災研年報 14号B (投稿中)



$\tau_*$  と  $1/y_e^2$  の関係 (実験資料)