

サージングフロントにおける抵抗則

東北大学工学部 学生員 ○浅田信孝

東北大学大学院 学生員 藤間功司

東北大学工学部 正 員 首藤伸夫

1. 序

砂浜を遡上する波や急激なダム破壊流の様に、ドライベッドに接触する先端部を有する現象では、先端部においては通常の波や流れよりも大きなエネルギー散逸が起、ていると考えられる。従、て、先端波形や流速を正確に算定するためには、先端における摩擦係数を、通常の流れのものを流用するのではなく、合理的に設定する必要がある。本研究の目的は、その第1段階として、先端部に大きな破波を伴わないサージングフロントの摩擦係数を、水理実験によ、て決定することである。また流速測定の際の誤差が、摩擦係数の値と大きな誤差を生ずる要因になるので、LDVを用いて精度を上げることにした。

2. 実験

実験には、Fig. 1 に示す底面走行式水路を使用した。これにより、本来非定常である波先端の運動を定常状態で見ることが可能となる。ただし、波形が変形しないで一定速度で進行する様な特殊な場合を造り出していることになり、非定常性の影響は見る事ができない。実験は、ベルト進行速度 U_B を変えて2ケース行、た。(ケースA: $U_B = 320 \text{ cm/s}$, ケースB: $U_B = 245 \text{ cm/s}$) 底面は滑面であり、水路勾配は 6.26° である。測定区間は $x = 10 \sim 50 \text{ cm}$ まで、各測線ごとに水深 h と x 方向流速 u の y 方向分布を測定している。流速の測定間隔は底面近くの水速勾配の大きな領域では $1 \sim 2 \text{ mm}$ 、表面近くの流速のあまり変化していない領域では $2 \sim 10 \text{ mm}$ である。なお、ケースAでは後方散乱、ケースBでは前方散乱式で測定している。Fig. 2 にケースAの実験結果の一部を示す。図中に描かれている水面形は、後述の式(3)によるものである。Fig. 2 から、流速分布は水表面近くではほぼ一様であり、底面近くで大きな速度勾配を持つことが明らかである。また、表面流速 U_s は先端に近づくほど大きくなることも分る。各測線での流速分布を、

$$\frac{U_B - u}{U_B + U_s} = f(\eta), \quad \eta = y \sqrt{\frac{U_B}{\nu x}} = \frac{y}{x} \text{Re}^{\frac{1}{2}}, \quad \text{Re} = \frac{U_B x}{\nu} \quad (1)$$

としてプロットしたものがFig. 3 である。(ν : 動粘性係数) これから、ほぼ流速分布の相似性が成り立つことが分る。図中の曲線は

$$f(\eta) = \begin{cases} 1 & \eta > 52 \\ 0.28 \log_{10} \eta + 0.52 & \eta < 52 \end{cases} \quad (2)$$

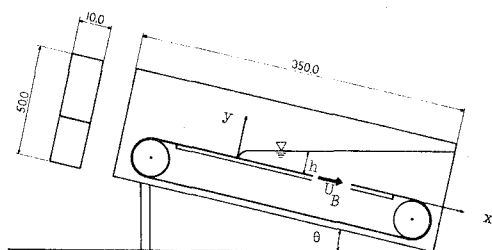


Fig.1 Experimental setup [unit:cm]

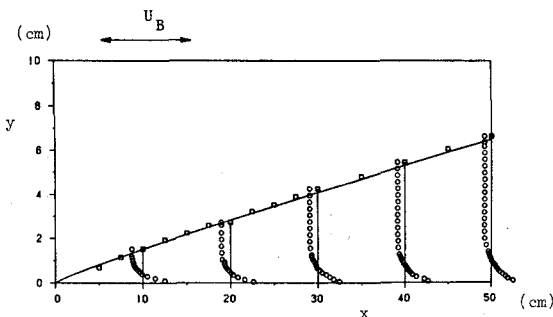


Fig.2 Experimental results

であり、良い近似であると言えよう。そこで、流速の評価には式 (1), (2) の相似則を用いることにする。

3. 摩擦係数の評価

連続方程式、運動量方程式（静水圧を仮定、 $\partial \bar{u}^2 / \partial x$ を無視）と流速分布の式 (1), (2) から

$$h = 6.3 \left(1 + \frac{U_B}{U_s} \right) \sqrt{\frac{\nu x}{U_B}} \quad (6.3 \text{ は式 (2) の係数から決まる定数}) \quad (3)$$

$$\frac{\tau_o}{\rho} = \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u^2 dy - gh \sin \theta + gh \cos \theta \frac{\partial h}{\partial x} \quad (4)$$

と求まる。（ τ_o : 底面せん断力, ρ : 密度, g : 重力加速度）従って, U_s が求まれば底面せん断力を求めることが可能になる。本来, これはエネルギー方程式から求まるべきだと思われるが, レイノルズ応力が定かでないので, 今のところエネルギー方程式の適用は困難で, ここでは実験値から回帰的に式 (5) の様に定めた。(1) ~ (5) の式群から, 式 (6) で定義される局所的な摩擦係数が計算できる。

$$\frac{U_s}{U_B} = 0.06 Fr^{0.7}, \quad Fr = \frac{U_B}{\sqrt{ghx}} \quad (5), \quad f = \frac{\tau_o}{\frac{1}{2} \rho U_B^2} \quad (6)$$

以上の結果から f を評価した結果を Fig. 4 に示す。Fr によるパラメタ表示になっているのは, 式 (5) に Fr が含まれているというだけの理由ではなく, 例えば式 (4) 右辺第 2 項から,

$$\frac{gh}{U_B^2} \sim \frac{g}{U_B^2} \sqrt{\frac{\nu x}{U_B}} = Fr^{-2} Re^{-\frac{1}{2}}$$

という項が出ることにより, 本質的に f が Re のみでは決まらないことによる。今, 任意の U_B と x が与えられれば, Fr と Re を通じて Fig. 4 から f を評価できる。図中の点線は, 例として, ケース A で造られた波での摩擦係数の分布を描いたものであり, 乱流平板境界層のものとあまり変らない。

4. 結論

本研究の手法により, サージングフロントの摩擦係数を計算することが可能である。また, 結果は, 任意の U_B と x が与えられた時に f を評価できる形になる。しかし, 実験のケースが少ないため, より広範な θ , U_B に対して式 (2), (5) が適切であるという保証はなく, 今後さらに実験ケースを増やす必要があろう。また, 応用に供するためには粗面での実験も必要であらう。

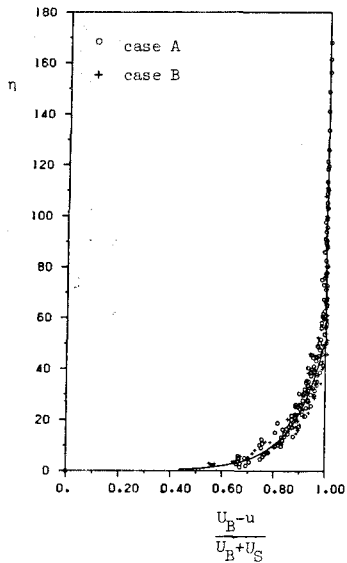


Fig. 3 Velocity distribution

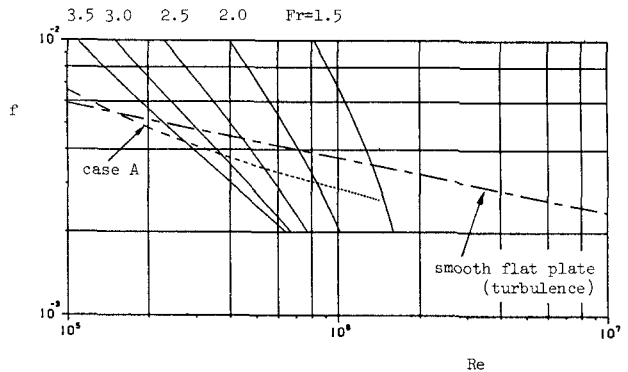


Fig. 4 Friction coefficient