

サージングフロント境界層の測定

東北大学工学部 学生員 ○ 石野好寿
東北大学工学部 正会員 後藤智明
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1. 序

ドライベッド上の水流の抵抗則は、津波の打ち上げやダム破壊流れを考えると最も重要な問題であるにもかかわらず、水量の測定が困難なこともあって、未だ実用に供し得るものが確立されていない。

本研究は、サージングフロントの水理構造を調べ、抵抗則に関して若干の考察を行、たものである。測定に用いた水路は底面走行式のもので、この水路によりサージングフロントを定常状態として作り出すことができる。

2. 実験方法

図-1に水路の概略図を示す。水路は鋼製両面ガラス張りのもので、底部に滑面のベルトコンベアを取り付けたものである。

測定した水量は、水面形と流速である。水面形の測定にはポイントゲージを用いている。流速は、3mm超小型プロベラ流速計を用い、底面に沿って5cm間隔、鉛直方向には1mm間隔で測定している。

実験は、ベルトコンベアの速度 U と底面配 θ を変え、表-1に示す4種類について行っている。

3. 抵抗係数

図-1に示す座標系を用いると、底面走行式水路上の水塊は、

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u dy = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\tau}{\rho} = \frac{\partial}{\partial x} \int_0^h u^2 dy + \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{gh^2}{2} \cos \theta \right] - gh \sin \theta \quad (2)$$

なる連続の式と運動量の式で記述できる。ただし、運動量の式では、静水圧分布及び水表面で剪断力零の仮定がなされている。 τ は底面の剪断力であり、 ρ, g はそれぞれ密度、重力加速度である。

式(1)、(2)を波先端($x=0$)から任意の地点 x まで底面方向に積分すると、

$$\int_0^h u dy = 0 \quad (3)$$

$$\int_0^x \frac{\tau}{\rho} dx = \left[\int_0^h u^2 dy + \frac{gh^2}{2} \cos \theta \right] - \int_0^x gh \sin \theta dx \quad (4)$$

を得る。

実験値を用いて式(4)の各項を計算した結果の一例を図-2に示す。図から、波先端付近すなわちレイルズ数 $Re (=Ux/\nu)$ が小さいところでは、圧力 $\frac{1}{2}gh \cos \theta$

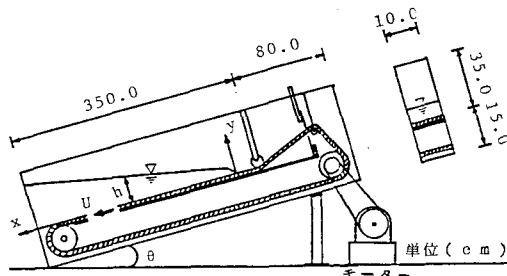


図-1 実験装置

表-1 実験諸元

	CASE.1	CASE.2	CASE.3	CASE.4
ベルト速度	160.9cm/s	229.8cm/s	229.8cm/s	160.9cm/s
底面勾配	4.98°	4.98°	6.20°	6.20°

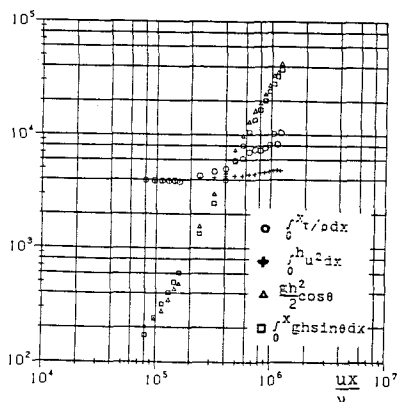


図-2 運動量方程式の各項の大きさ(ケース4)

および質量力 $\int_0^x g \sin \theta dx$ は共に小さく、流速分布による効果 $\int_0^x u dy$ と摩擦力 $\int_0^x \tau dx$ が主に釣り合うことがわかる。

平板境界層理論と同様に、流先端から任意の地点 x までの平均的な抵抗係数を

$$\bar{f} = \int_0^x \tau dx / \frac{1}{2} U^2 x \quad (5)$$

と定義し、レイノルズ数との関係を調べたものが図-3 である。本実験結果は、平板境界層理論

$$\bar{f} = \frac{1.3284}{\sqrt{Re}} \quad (\text{層流}) \quad (6), \quad \bar{f} = \frac{0.074}{Re^{\frac{1}{4}}} - \frac{1700}{Re} \quad (\text{遷移}$$

$$\text{領域}) \quad (7), \quad \bar{f} = 0.074 Re^{\frac{1}{4}} \quad (\text{乱流}) \quad (8)$$

に比べ、レイノルズ数が小さいところで大きく、レイノルズ数が大きくなると徐々に近づくことがわかる。

比較的測定精度が良いと思われるケース 4 の結果を表わした式が、

$$f = 0.074 Re^{-\frac{1}{4}} + \frac{3500}{Re} \quad (9)$$

である。式 (9) から局所的な抵抗係数 f を求めると、

$$f = \bar{f} + Re \frac{d\bar{f}}{dRe} = 0.0592 Re^{-\frac{1}{4}} \quad (10)$$

となる。式 (10) と流速分布の対数則から計算した抵抗係数を比較したものが図-4 である。対数則から求めた抵抗係数は、式 (10) に比べ約半分の大きさである。この別々な方法で求めた抵抗係数が異なる理由は、ベルトコンベアの振動によりカルマン定数が変化することもあるが、プロペラ流速計では底面近くの流速測定が難しく流速の立ち上り勾配を大きめに評価していることに原因があると思われる。

図-5 は、流速分布の相似性を調べたものである。横軸の y は粘性底層の厚さに対応する。流速分布は水表面近くを除き対数則にのっていることがわかる。

4. 結言

本研究では、サージングフロントの抵抗則に関して若干の考察を述べた。抵抗係数は、積分された運動量方程式を用いて比較的容易に計算できることがわかった。しかし、その精度は流速の測定精度に大きく関係する。今後は、レーザー流速計を用い精度の高いものにする予定である。

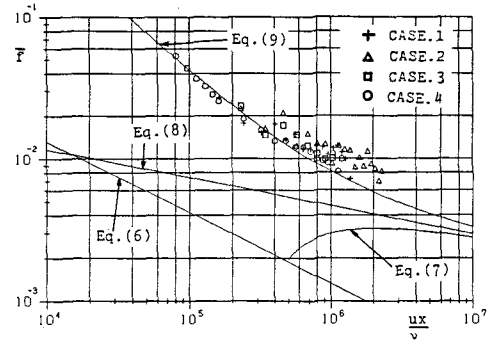


図-3 平均的な抵抗係数

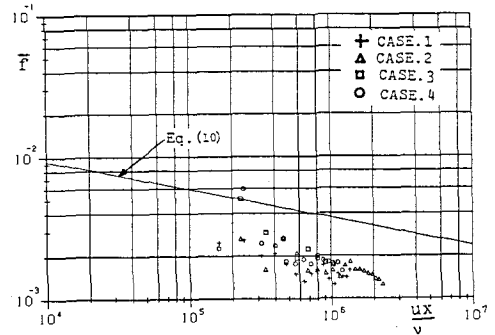


図-4 局所的な抵抗係数

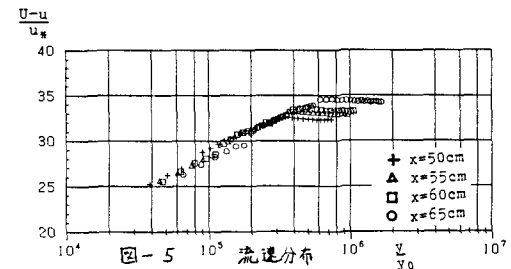
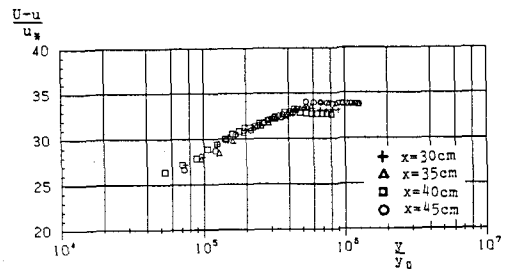
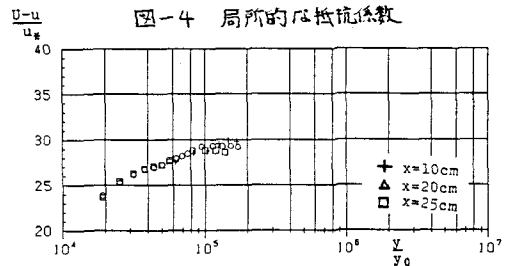


図-5 流速分布