

早稲田大学 大学院 学生員 佐藤 達也  
 電源開発(株) 正員 村重 宏  
 横浜市役所 正員 高瀬 卓弥  
 早稲田大学 理工学部 正員 吉川 秀夫

# 1. はじめに

底面の境界層が十分に発達した流れの場に突堤を設けた場合、突堤の側壁上に新たに境界層が発達し、側壁流入部付近では過大なせん断力が発生すると考えられる。このせん断力による突堤破壊を防ぐためにも、側壁上に働くせん断力を算定することは、重要な意味をもつと考えられる。筆者らは、その基礎的研究として風洞を用いて流れの状況を調べ、境界層理論に基づいて側壁上のせん断力算定を試みてきたが、今回は、それらの結果に基づいて新たに、側壁流入前の流速を与えることによって側壁上の境界層厚およびせん断力を算定した。

# 2. 実験

実験は、図1に示す風洞の実験装置を使用して行った。本研究では、底面の境界層の十分発達した流れを流入させるために、風洞全体にわたって径16mmのビー玉を敷き詰め、上流の送風機の位置から流入位置まで約4mの距離を与えた。送風機は吹出型のものを使用し、整流網を用いて流れを整流した後送風する方法をとった。側壁としては、ベニヤ板にペンキを塗ったものを滑らかな面(RUN 1の実験)ベニヤ板に底面と同じ径16mmのビー玉を密にはり付けたものを粗い面(RUN 2の実験)として、それぞれの場合において測定を行った。具体的測定方法としては、ホットワイヤーを使用することにより乱れを測定し、流下方向の流れの履歴を調べた。

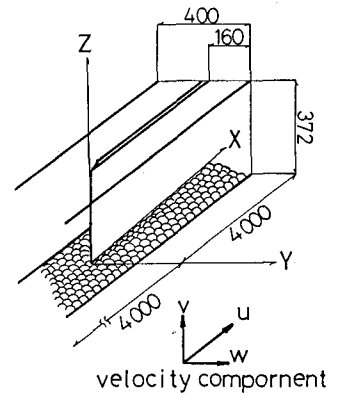


図1. 実験装置

# 3. 側壁上の境界層厚およびせん断力算定

村重<sup>(1)</sup>は、側壁上の境界層厚 $\delta$ およびせん断力 $\tau_0$ を境界層理論に基づいて図2に示す過程で解析を行った。しかし、実河川においては、側壁を設ける以前にあらかじめ $\delta$ ,  $\tau_0$ の値を知る必要がある。そこで筆者らは、流入前の主流速 $U_0$ のみを与えることで、流下方向に $\delta$ ,  $\tau_0$ を算定した。その手順を以下に示す。

プラントルの境界層方程式として知られる2次元流の境界層方程式(1)に、連続の式を代入し、 $0 \leq y \leq \delta$ で積分すると(2)式が得られる。ここで、流速分布としてベキ乗公式を仮定すると(3)式ようになる。(3)式を(2)式に代入し、抵抗則(4)と連立させることにより、 $\delta$ ,  $\tau_0$ を算定する。ここで(3)式の $n$ の値は、RUN 1で $n=7$ 、RUN 2で $n=4$ を代入した。

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (1)$$

$$-2U_s \theta \frac{\partial U_s}{\partial x} - U_s^2 \frac{\partial \theta}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \delta + \frac{U_s}{\rho} - \frac{\tau_0}{\rho} \quad (2)$$

$\theta$ : 運動量厚  $\tau_0$ : 壁面せん断力  $\delta$ : 境界層厚  
 $\tau_s$ : 境界層上のせん断力  $U_s$ : 境界層上の流速

$$\theta = \frac{n}{(n+1)(n+2)} \delta \quad (3)$$

$$\tau_0 = \rho \left( \frac{U_s}{8.5 + 5.75 \log \sqrt{K_s}} \right)^2 \quad (4)$$

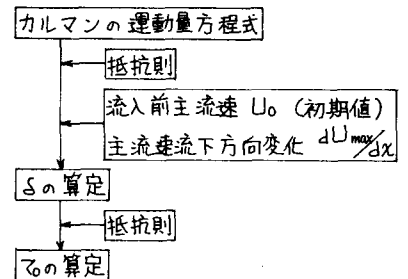


図2.  $\delta$ ,  $\tau_0$ の算定過程図

この方法では、 $\tau_s$ および $U_s$ を算出する必要があるが、筆者らは、

図3に示すように流れの Self-preserving 性を仮定し、流入前流速分布①は境界層外で保存され、セン断力では壁から直線分布しているとした。この仮定に基づくと、 $U_0$ を与えることにより対数則から流入前流速分布およびセン断力分布を仮定することができ、境界層上の流速  $U_\delta$  およびセン断力  $\tau_0$  を決定することができる。以下、図2に示した過程と同様の過程で、 $\tau_0$ を算定したが、ここで(2)式においては、圧力勾配の項があり、この算定がもう1つの問題となるが、筆者らは、圧力勾配が非常に小さい値であろうと予想し、この項を考慮せずに、 $\tau_0$ を算定することを試みた。その結果が、図4である(ここではRUN 1の結果の一部を示す)。この方法では、(2)式のすべての項に  $U_0^2$  が存在し、これが消去されるために、 $\delta$  が  $k_s$  と  $n$  のみによって決定されることになり、主流速の大きさにガガめらず  $\delta$  が  $z$  方向に一定となる。そのため、 $z$  が底面に近い位置では、 $\delta$  が実測値とずれた値となっている。そこで、筆者らは、 $z$  が底面に近い位置においては、実測の流速分布から求めたりが  $\tau_0$  とはなっておらず、しかも流下方向に変化していることに着目し、実測値から求めたりを代入して、 $\tau_0$  の算定を行ってみた。その結果が、図4に破線で示したものである。

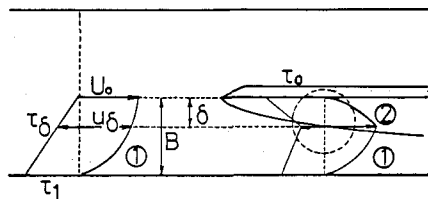


図3. Self-preserving 性の仮定

のすべての項に  $U_0^2$  が存在し、これが消去されるために、 $\delta$  が  $k_s$  と  $n$  のみによって決定されることになり、主流速の大きさにガガめらず  $\delta$  が  $z$  方向に一定となる。そのため、 $z$  が底面に近い位置では、 $\delta$  が実測値とずれた値となっている。そこで、筆者らは、 $z$  が底面に近い位置においては、実測の流速分布から求めたりが  $\tau_0$  とはなっておらず、しかも流下方向に変化していることに着目し、実測値から求めたりを代入して、 $\tau_0$  の算定を行ってみた。その結果が、図4に破線で示したものである。

#### 4. 2次元解析の適用限界

図4では、 $\tau_0$ の値はほぼ実測値に近い結果となっている。このことは、3次元解析を行わなくても、より簡便な2次元解析で流れの状況にある程度把握できることを示している。しかし、 $\delta$ の値に着目すると、底面に近いほど、つまり角付近であるほど、実測値とずれた値となっている。実測の流速分布から求めたりを使うことで、多少その差を縮めることができるが、それでも合わない範囲が生じる。これは、底面に近いほど2次元流の影響などで、2次元解析が困難になるためと考えられる。つまり、 $\delta$ の算出が、解析手法の精度のバロメーターと考えることもできるのである。参考のために、図5に、図4の  $\delta$  の解析結果等から判断して、2次元解析が困難と考えられる範囲の概略を図示した。今後は、この範囲を狭めるように解析を行っていきたいと考えている。

[参考文献]

1) 村重・吉川ら 「側壁上の境界層の発達」(第29回水講演文集)

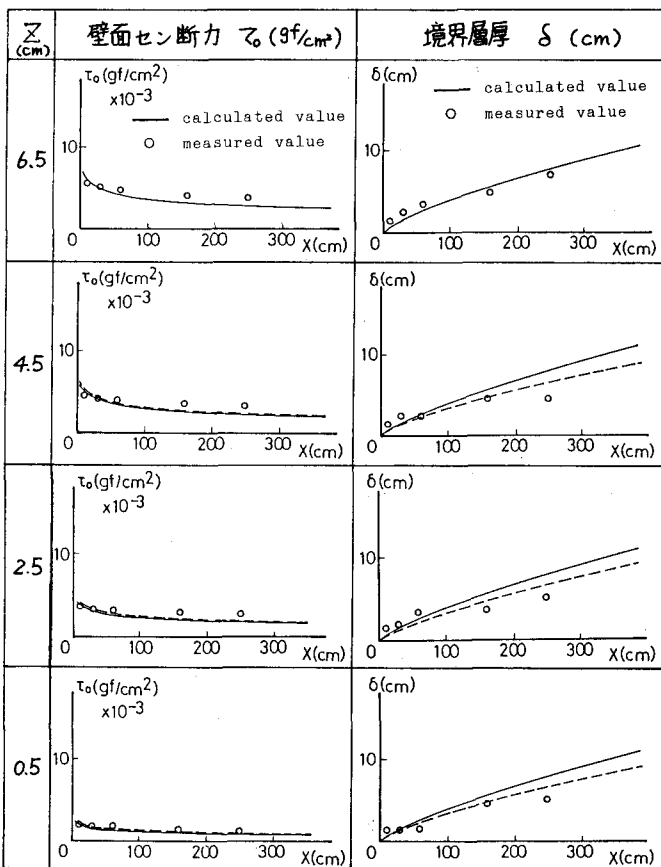


図4. 壁面セン断力および境界層厚の流下方向分布

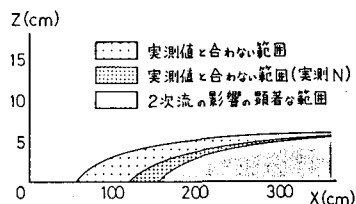


図5. 2次元解析が困難な範囲