

京都大学大学院 学生員 幸道隆治  
京都大学防災研究所 正員 今本博健

### 1. はじめに

開水路流れにおける底面せん断応力は乱れの発生・発達機構のほか土砂輸送の問題などと密接な関連があり、その特性を解明することはきわめて重要であると考えられる。底面せん断応力の計測法としては従来よりいくつかの方法が提案されており、例えば、プレストン管を用いた速度勾配に基づく方法のほかシアープレートを用いて底面せん断応力を計測する直接法<sup>1),2)</sup>などが実施されている。しかしながら、これらはいずれも底面せん断応力の時間平均あるいは空間平均を対象としたものであって、固定点における変動特性の解明には不適当である。本報告は最近実用化されたフラッシュ・マウンティング・プローブを用い、開水路流れの底面せん断応力の変動特性について若干の検討を行なったものであって、いくつかの興味ある結果が得られている。

### 2. 底面せん断応力センサーの特性

本実験に用いたフラッシュ・マウンティング・プローブ(DISA社製 55R46)はセンサーの放熱量から底面せん断応力を知ろうとするものであって、一般に、出力電圧 $E_b$ と底面せん断応力 $\tau_w$ との関係は次のように表わされる<sup>3)</sup>。

$$E_b^2 = A \tau_w^{1/3} + B \quad (1)$$

ここに、 $A$ および $B$ は定数であるが、加熱比、水量などによって異なる。

本プローブの出力特性を知るため、種々の水深 $H$ および路床勾配 $I_b$ の開水路流れにプローブを設置し、

$$\tau_w = \rho U_f^2 = \rho g H I_b \quad (2)$$

によって算出される底面せん断応力 $\tau_w$ と出力電圧 $E$ との関係について検定を行なった。ここに、 $\rho$ ：流体密度、 $g$ ：重力の加速度、 $U_f = \sqrt{g H I_b}$ ：摩擦速度である。ただし、本検定では記録・解析における便宜上の出力電圧 $E$ は実際の電圧 $E_b$ に適當なバイアスおよびアンプがかけている。検定結果の例を示すと図-1のようであり、 $\tau_w$ は $E$ の6次式で近似されることが知れる。なお、プローブの方向特性に関しては流れの方向とセンサーとのなす角度が $\pm 5^\circ$ の範囲内であれば、 $\tau_w$ と $E$ との関係はほとんど変化しないことが確かめられた。

### 3. 開水路流れにおける計測例

図-2は底面せん断応力の変動値 $\tau_w$ に関する確率分布の計測例として常流、限界流および射流の3種について示したものであって、いずれについても対数正規分布によって近似され、バーストの発生周期の確率分布と類似しており、きわめて興味深い。

図-3は流量 $Q$ を一定、すなわち、レイノルズ数 $Re = U_m H / \nu$  ( $U_m$ ：断面平均流速、 $\nu$ ：動粘性係数)を一定に保ち、路床勾配 $I_b$ を変化さ

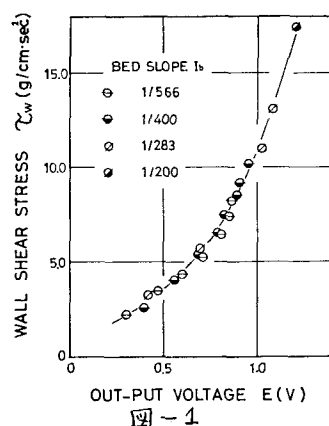


図-1

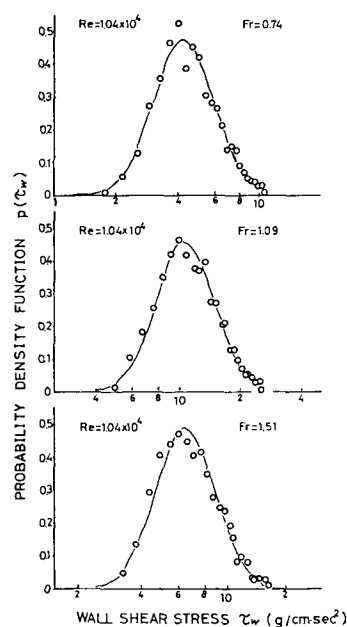


図-2

せた場合の底面せん断応力の標準偏差 $\sigma_c$ と平均値 $\bar{c}_w$ との比 $\sigma_c/\bar{c}_w$ とフルード数 $Fr = U_m/\sqrt{gH}$ との関係を示したものであって、 $\sigma_c/\bar{c}_w$ と $Fr$ との関係を見ると、常流側で極小値を示したのち $Fr = 1$ 付近で小さなピークを示し、 $Fr > 1$ では $Fr$ の増加とともにやや減少する傾向がみられるが、詳細についてはさらに検討を要する。しかしながら、 $\sigma_c/\bar{c}_w$ は $Fr$ によって若干変化するものの、 $0.3 \sim 0.4$ のほぼ一定となり、底面せん断応力の変動は路床付近における流下方向の速度変動の最大値よりもさらに大きいことが知れる。これは底面せん断応力の変動が流下方向の速度変動だけでなく、路床付近における鉛直方向の速度変動の影響も受けることを示し、底面せん断応力の変動にはレイノルズ応力の変動も関係すると考えられる。

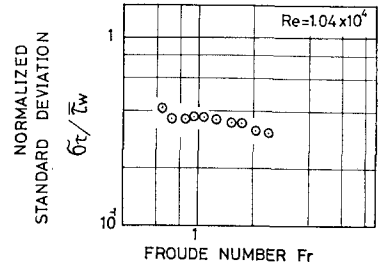


図-3

つぎに底面せん断応力の周波数スペクトル $S(f)$ について示すと図-4 のようであって、周波数 $f$ に無関係な低周波数領域(図では $f$ に比例して増加する領域)、 $f^{5/3}$ に比例して減少する中間周波数領域(図では $f^{-2/3}$ に比例して減少する領域)、 $f^{-3}$  または  $f^{-7}$  に比例して減少する高周波数領域(図では $f^{-2}$  または  $f^{-6}$  に比例して減少する領域)の3周波数領域の存在が認められ、速度変動スペクトルときわめて類似した特性を示しているが、これは次のように説明される。すなわち、せん断応力は粘性応力とレイノルズ応力との和として表わされるから、底面せん断応力の瞬間値は

$$\tau_c / \rho = \nu \frac{\partial u}{\partial z} - u'w' \quad (3)$$

と書ける。ここに、 $u$ は流下方向の速度の瞬間値、 $u'$ および $w'$ は流下方向および鉛直方向の速度変動であって、底面上では $w' = 0$ であるため第2項は無視され、 $\tau_c$ は速度の鉛直勾配のみに支配され、 $\tau_c$ の特性は速度変動スペクトルの特性とほぼ一致するものと考えられる。しかしながら、 $\sigma_c/\bar{c}_w$ が路床付近の流下方向の速度変動の最大値よりも大きいことから、 $\tau_c$ のスペクトル特性は速度のスペクトル特性とレイノルズ応力のスペクトル特性との両者によって支配されるとも考えられる。ただし、この点に関しては不明な点が多いため今後の検討が必要と思われる。

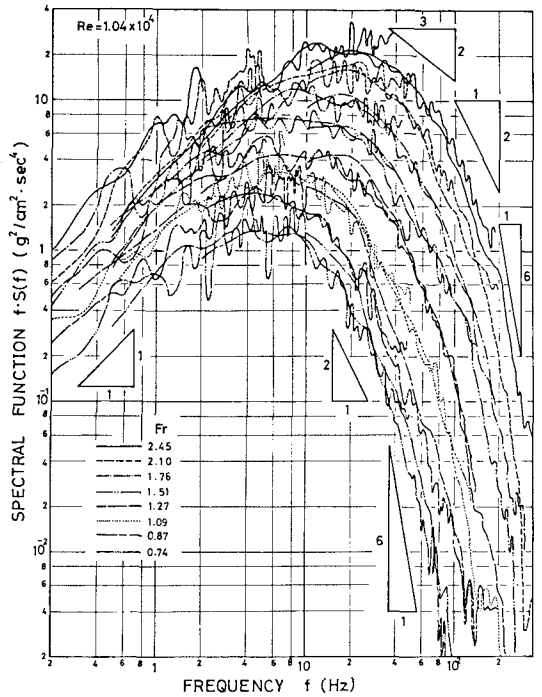


図-4

#### 4. おわりに

本報告は水路中央部における底面せん断応力の変動特性を取扱ったものであるが、とくにスペクトル特性に関してはさらに広範囲な水理条件のもとで検討を行なう必要がある。さらに、底面せん断応力の横断分布特性あるいは側壁面上の鉛直分布特性などについても実験的検討を進める予定である。

#### [参考文献]

- 1) 糸越正一郎・角屋睦: Wall Shearの直接測定, 京都大学防災研究所年報7, 1964.3
- 2) 勝井秀博・花村哲也・田村滋美: 開水路における底面摩擦の直接測定について, 土木学会第32回年次学術講演会講演概要集第2部, II-148, 1977.10
- 3) John O. Geremia: Experiments on the Calibration of Flush Mounted Film Sensors, DISA Information, NO.13, 1972.5