

II - 24

開水路流れにおける壁面せん断応力測定についての検討

日本大学工学部 学生員 ○小金 理宏

日本大学工学部 正会員 長林 久夫・木村 喜代治

1. はじめに

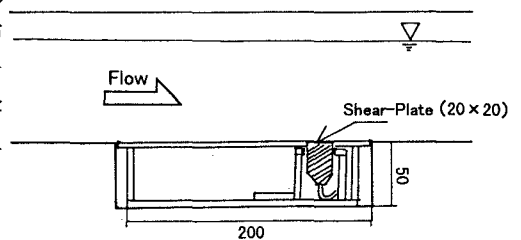
開水路流れにおいて壁面せん断応力分布を精度良く評価することは、水工学上流水抵抗などを考える上で重要な課題の一つである。その評価については流れの抵抗則などに関係して、これまでの研究より多くの成果が上げられており、実験的検討や数値計算などによって非定常流についても検討がなされている¹⁾。しかし、最大流速位置が水面下に生ずる流れにおいて自由水面付近の乱流構造や、壁面せん断応力分布への自由水面の影響についての検討事例は少なく、また、その際の各壁面におけるせん断応力の壁面分担率については不明な点が多い。ここでは、その検討の手始めとして、流速分布に対数則を用いた底面せん断応力の評価と、せん断力計による直接測定の可能性について検討した。

2. 実験概要

実験は、水路長 L = 約 12m, 水路幅 B = 10cm, 深さ 16cm, のアクリル製長方形開水路で行った。流れは等流とし、幅水深比 B/H と底面せん断応力の関係を見るため水深を 5, 10, 12cm と変化させた。水理諸量を表 1 に示す。1 次元レーザー流速計により、水路中央測線において底面付近の主流流速を測定し対数則を適合させ底面せん断応力を評価した。また、壁面せん断応力の直接測定は、㈱三計エンジニアリング製の水用せん断力計 (S10W-01) の Shear-Plate を図 1 のように底面に設置し、流速測定点の下流で底面せん断力を計測した。流速変動と、Shear-Plate にかかるせん断力の変動との対応を見るため、流速分布測定とせん断力の直接測定を同時に約 2~3 分間行い、それぞれ 1024 個のデータをとった。今回はせん断力計の零設定が困難であったため出力電圧の変動量についてのみ検討した。

表 1 水理諸量

水深 H (m)	幅 B (m)	水路勾配 I_0	水温 T (°C)	流量 Q (m³/sec)
0.050	0.100	1/650	16.0	1.73×10^{-3}
0.100	0.100	1/650	15.0	4.40×10^{-3}
0.120	0.100	1/650	14.5	4.88×10^{-3}
平均流速 V_m (m/sec)	摩擦速度 U_{*0} (m/sec)	動粘性係数 ν (m²/sec)	Froude数 F_r	Reynolds数 R_e
0.342	0.020	1.12×10^{-6}	0.486	1.53×10^4
0.438	0.023	1.15×10^{-6}	0.441	3.81×10^4
0.402	0.024	1.17×10^{-6}	0.369	4.12×10^4



単位 (mm)

3. 測定結果および検討

3-1 対数則による底面せん断応力評価についての検討

底面せん断応力 τ_0 は図 2-a に示す主流速分布の片対数表示に対数則を適合させて評価した底面摩擦速度 U_{*0} から求めた。壁面平均せん断応力 $\tau_0 = wRI$ によって無次元化した底面せん断応力と幅水深比の関係を図 2-b に示す。図中の■は実験値を表わしており、実線は D.W.Knight²⁾ による底面における壁面平均せん断応力の分担率に関する実験式である。今回の実験では、中央測線のみ底面せん断応力を評価をしているが、平均値はこれよりも小さな値となることが予想され、幅の狭い開水路では、Knight の関係式と離れる傾向が得られている。

図 1 せん断力直接測定の計測部側面図

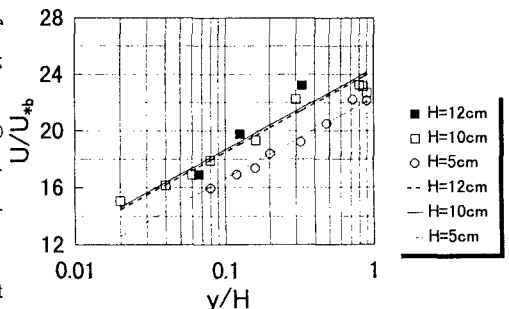


図 2-a 対数則分布

次に、主流の乱流

強度分布を図 2-c

に示す。横軸の h'

は底面の効果が及

ぶ高さで仮定し H

$< 10\text{cm}$ で $h'=3\text{cm}$,

水深 $H \geq 10\text{cm}$ で

$h'=6\text{cm}$ と定義した。

また、 U_{*b} はそれぞ

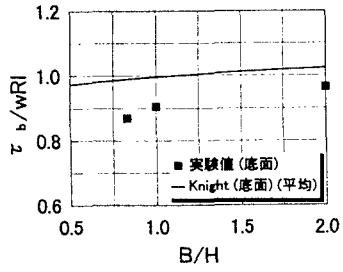


図 2-b せん断力の分担率に関する検討

れ対数則より評価したものである。各水深における分布は、図中の実線の二次元開水路における槽津の普遍分布²⁾に従うのが確認できる。

3-2 せん断力計による底面せん断応力測定についての検討

水深 $H=5, 10\text{cm}$ におけるせん断力計による出力電圧の時間変化

をそれぞれ図 3-a, 図 3-b に、出力電圧のパワースペクトルを図

4-a に、ピーク周期とパワースペクトルの関係を図 4-b に示す。

図 3 における長周期のトレンド成分を除去した変動の分散値は、

$H=10\text{cm}$ の方が大きいことから力の変動量が水深の変化に対応して

いるのがわかる。また、図 4-a のパワースペクトルの分布形状は、

低周波側 (0.1Hz 未満) と高周波側 (0.1Hz 以上) に区分され、

低周波側は滑らかであるが、 0.1Hz 付近で大きく減衰している。

これは、せん断力計内部の構造的な特性に依存したためと推測され

れる。このことから、Shear-Plate に作用するせん断力は高周波側

に対応しているものと考えられる。しかし、図 4-b から倍周期の

スペクトルピークが確認でき、これが渦の cascade down³⁾と似て

いることから、定板と Shear-Plate との隙間からの渦の発生が推測

される。よって、Shear-Plate にはせん断力以外にも、この渦によ

る力が作用している可能性がある。

4. まとめ

- ・ 対数則から評価した底面摩擦速度を用いた場合、底面効果の及

ぶ範囲内では、2 次元開水路の乱流強度の普遍分布に従うが、

底面における壁面平均せん断応力の分担率は、Knight の式より

も小さな値を示す。

- ・ せん断力計の出力電圧のパワースペクトルから、Shear-Plate に

作用するせん断力は高周波の変動と対応しているが、定板と

Shear-Plate との隙間からの渦の発生が推測され、Shear-Plate に

はせん断力以外の力も作用すると考えられる。

<参考文献>

1) Knight W. D. : "Boundary Shear in Smooth and Rough Channels", J

of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 107, NO. HY7, July, 1981

2) 槽津 家久: 開水路乱流の乱れ強度に関する研究, 土木学会論文集, 第 261, pp.67-76, 1977

3) 椿 東一郎 著: 水理学 II, 森北出版, pp.155-159

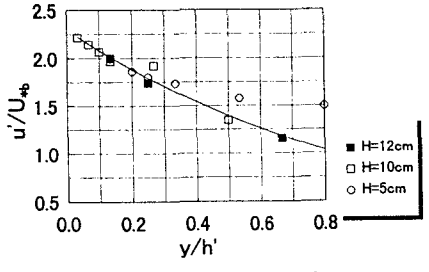


図 2-c 乱流強度分布

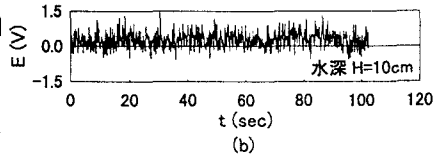
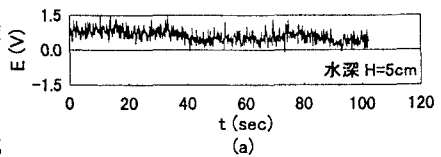


図 3 出力電圧の時間変化

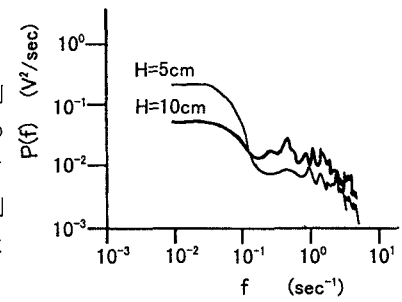


図 4-a パワースペクトル

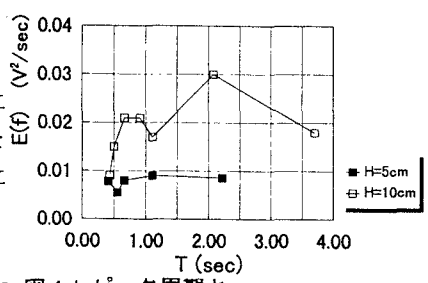


図 4-b ピーク周期と

パワースペクトルとの関係