

II-250

粗度の異なる壁面を持つ水路の流れに関する考察

早稲田大学 大学院 学生員 佐藤 岳晴

早稲田大学 理工学部 正 員 吉川 秀夫

1. はじめに

本研究は、粗度の異なる壁面の影響を受ける流れを考察し、三次元流れ、主に隅角部の流れを考える上での基礎となることを目的とする。三次元流れに関しては、複断面における実験が数多く報告され、また数値シミュレーションの様々な手法が提案されているが、ここでは流れ横断方向に底面粗度が変化する広長方形断面、及び二辺において粗度を異にする三角形断面という単純な断面における流れを基に、マンニングの粗度係数を用いて単純な方法により流れの概況を把握することを試みた。

2. 実験概要

長方形断面水路は図1の通り底面右岸側18cmを粗面、左岸側22cmを滑面としている。粗度は高さ5mmの棧粗度を10cmおきに配置したもので、粗度頂と滑面の高さを等しくした。勾配は1/5000である。三角形断面水路は図2の通り頂角が90°のもので、y軸にあたる面を粗面、z軸にあたる面を滑面とした。粗度は高さ8mmの棧粗度を5cmおきに配置したものである。勾配は1/440である。なおマンニングの粗度係数は、両側滑面、両側粗面の場合の実験結果より、粗面の場合 $n_y=0.024$ 、滑面の場合 $n_z=0.015$ である。表1に代表的な実験条件を示す。

3. 実験結果とその考察

3.1 平板上の流れ

RunF-1について、側壁の影響を無視し、平板上の流れと考える。図3に断面内の平均流速分布、及び底面せん断力分布を示す。底面せん断力はO点付近で滑面、粗面の影響を相互に受け、滑面側では減少、粗面側では上昇している。O点から離れるに従い滑面側、粗面側の底面せん断力はほぼ等しくなる。また $y=+8\text{cm}$ 付近で底面せん断力が歪んでいるが二次流の影響と思われる。図4に滑底面から垂直にとった流速分布を示すが、これより対数分布則がよく成立していることがわかる。これは、底面せん断力が一様でないことや、底面に平行方向に流速差があること（流速の等値線が底面に平行でない）を考慮することなく直下の底面の影響にほとんど支配されていることを示している。

3.2 三角形断面水路の流れ

(1) 図7に水深Hを変えた場合の等流速線図を示す。この断面形状は水深に関わらず相似な形状であるが、この図よりその流れも相似であることがわかる。壁面せん断力分布は、RunT-2の場合を図6に示す。平板上の場合と異なり、粗面側の壁面せん断力が滑面側に比べ数倍大きい値をとっており、流れ全体に対し粗面側の影響が大きいことを示している。また分布形も滑面側は水面付近まで比較的一様なのに対し、粗面側では水面に近づくにつれ徐々に

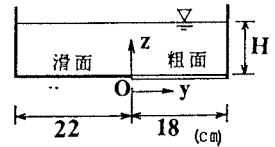


図1. 広長方形断面実験水路

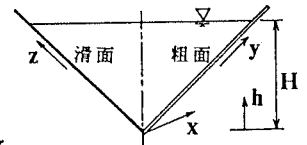


図2. 三角形断面実験水路

表1. 実験条件

Run	Q (l/sec)	H (cm)	U_{mean} (cm/sec)	U_{max} (cm/sec)
三角形断面				
T-1	1.9	8.8	24.8	33.1
T-2	7.3	14.7	34.0	45.7
T-3	16.8	20.4	40.4	54.5
広長方形断面				
F-1	4.1	4.1	24.7	

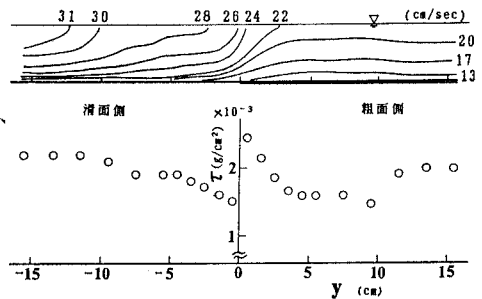


図3. 主流速分布及び底面せん断力分布

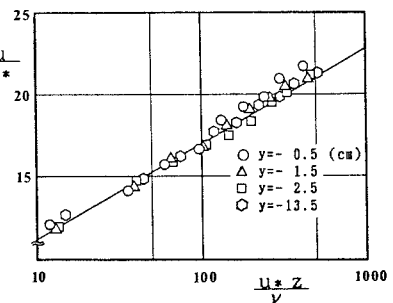


図4. 主流速鉛直分布（滑面）

に減少しているという相違がみられる。

(2) 滑面、粗面の支配領域を考え、粗度の異なる壁面の影響を受ける流れを概算することについて考察した。各々の支配領域を、各壁面に平行な軸の渦度が互いに等しくなる位置までと考える。すなわち

$$\omega_y = -\omega_z \quad \text{— (1)}$$

であり、ここでは簡単のため二次流を無視して

$$du/dz = du/dy \quad \text{— (2)}$$

となる範囲までとする。図7の曲線Aは(2)式を満たす曲線であり、図上では等主流速線が各壁面に対し45°の角をなす点を結んだものである。この各々の領域においては流速の対数分布則がほぼ成立していることや、両側滑面の実験によるとやはり中心線までは対数則がほぼ成立し、またその支配壁面に平行な面をせん断面とするReynolds応力が中心線付近まではほぼ直線分布をしていることなどから、この範囲を支配領域として良いものと思われる。

ここで各壁面から生じる渦度がその支配領域において対数則に従うとすると、(2)式より

$$u_{*y}/z = u_{*z}/y \quad \text{— (3)}$$

となる。壁面せん断力の立ち上がり部分に注目してこれが成立するような比をとると

$$z : y = 1.8 : 1 \quad \text{— (4)}$$

となる。このラインが図8の直線Lである。y軸を1.8倍したときの壁面せん断力分布を図5に示す。曲線の形は若干異なるが、粗面の壁面せん断力は約1.8²倍と考えてよい。

さて、各支配領域において平均流速は等しいと考えられるので、マンニングの平均流速公式より、

$$n_y^{3/2} : n_z^{3/2} = R_y : R_z \quad \text{— (5)}$$

となる。ここに R_y 、 R_z は(支配領域面積)/(支配壁面長)である。各壁面の粗度係数は $n_y=0.024$ 、 $n_z=0.015$ であるので、

$$R_y : R_z = z : y \approx 2 : 1 \quad \text{— (6)}$$

となる。これは(4)式の比とほぼ一致していると考えられ、マンニングの粗度係数より支配領域が求められることになる。この(n_y と R_y)もしくは(n_z と R_z)を用いて u_{mean} を求めると、

$$u_{mean} = 33.6 \text{ (cm/sec)}$$

一方、実測では

$$u_{mean} = 34.0 \text{ (cm/sec)}$$

でありおよそ一致する。すなわち各壁面の n がわかればその流れの概況がわかるわけである。

4. おわりに

流れの各部分の流速はその垂直下の壁面にほぼ支配されて

いる。従って三角形断面の場合、各壁面の支配領域においては壁面垂直方向に対数則がほぼ成立する。また各壁面の粗度係数がわかれば支配領域を考えることにより、流れの概況が把握できる。しかし、水面の影響、及び多数の壁面を持つ断面については今後の検討課題である。

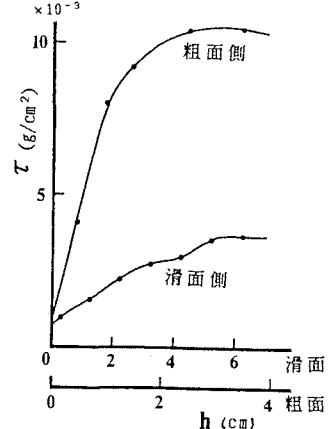


図5. 壁面せん断力分布
(立ち上がり部)

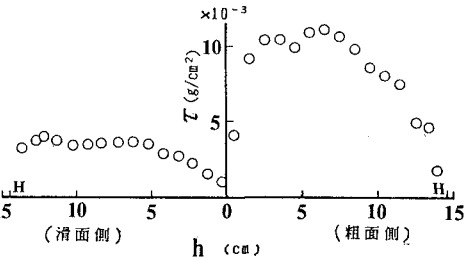


図6. 壁面せん断力分布

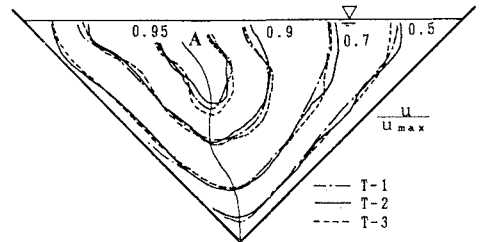


図7. 主流速分布

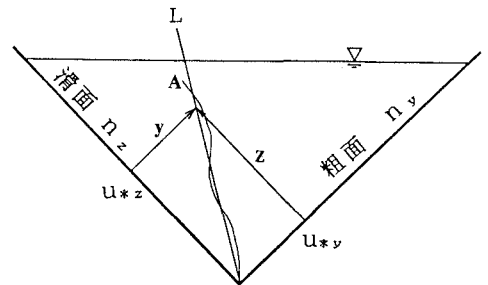


図8. 説明図