

II-10 直線水路の二次流に関する研究

— 表面流速の降下と最大流速について —

京都大学工学部 正員 村本嘉雄

直線水路における二次流は古く Gibson によるその存在が指摘され、その後、数多くの研究者によって観察工められ、現在においても確実な観測手段がなく、二次流の特性はほとんど明らかでない。先¹⁾に、二次流の発生機構に同じく流向測定による実験値と比較して若干の考察を行なったが、本報告では流速分布の測定結果より表面流速の降下現象を検討し、また最大流速について二次元および側壁の影響を加味した二次元の考察結果と比較検討する。

1. 表面流速の降下現象の検討 ; 開水路自由表面の最大流速が降下する現象は二次流の特性と関係的に察知する対象として従来より注目工められている。流水断面の中心線で最大流速 U_0 の水面からの降下距離を z_0 とし、降下率 z_0/H と流水断面比 B/H との関係について検討する。

図1は佐藤氏²⁾による従来の実験値の平均曲線および安室氏³⁾の整理結果を図示し

た。この水路中 B の差量による $z_0/H \sim B/H$ の関係は明らかになり、断面比が同じで

も B が増加するほど降下率が大きくなることか分る。

つぎに、水路中を一定とし、流量の異なるケースについて $z_0/H \sim B/H$ の関係と比較すると図2のような表わされる。同図より明らかなように、同一断面比に対して流量が減少するほど降下率は大きくなる。これは二次流の発生機構に同じく考察¹⁾述べたような Reynolds 数の減少による壁面付近の圧力分布の変化による領域が増加することに関係していると考えられる。

最後に、図3は水路中を一定とし、 B/H の異なる4ケースについて、壁面からの距離 z における最大流速 U_0 の降下距離 z_0 の関係を示したものである。壁面近傍 ($z/H < 1$) では明かな

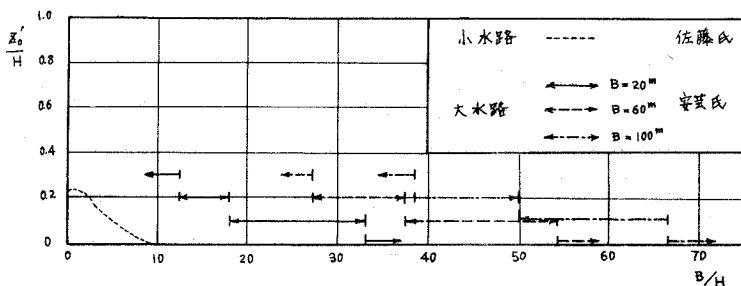


図1. z_0/H と B/H の関係 (B の相違による比較)

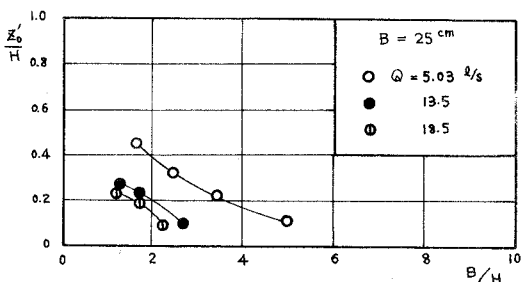


図2. z_0/H と B/H の関係 (Q の相違による比較)

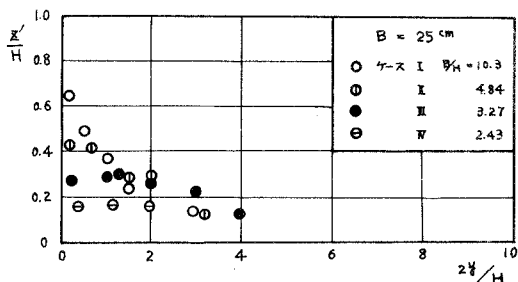


図3. z_0/H と z/H の関係 (B/H の相違による比較)

これ B/H が小さくなるほど表面流速の低下率は大きくなり、中心部に近づくほど B/H の効果は減少する。このことから壁面近傍では二次流の効果が大きく中心部に近づくにつれて減衰し、中心部では $z/H \sim 2/3$ に近い B/H に独立な相似関係が成り立つと考えられる。

以上、定性的な考察にすぎないが、従来考えられていたように一般に「 $B/H \geq 10$ で水路中心部の最大流速は水面に存在し、 $z/H \approx 0.2 \sim 0.3$ 」と想定することは難しく、図1のBの効果、図2のQの効果を見ればよいように思える。すなわち、表面流速の低下は二次流の特性に由来しているため、単なる幾何学的相似関係を把握できなく、BあるいはHに依存するスケールとQに依存する独立した規定が必要であると考える。

2. 最大流速に関する検討；最大流速 U_{max} について断面平均流速 U_m および断面平均の速度偏差 U^* を含む3つの関係が考えられる。

$$\frac{U_{max} - U_m}{U^*} = F_0 \text{ (const.)} \quad \text{あるいは} \quad U_{max} = F_0 U^* + U_m$$

流水断面内の速度の影響が4を考慮して一般化に取り扱う場合には、 F_0 は velocity defect law⁴⁾の式からつぎのようになる。

(i) 対数則に基づく場合； $F_0 = \frac{1}{H} \int_0^H \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z}{H} dz = \frac{1}{\kappa} = 2.5$

(ii) Kármánの仮定に基づく場合； $F_0 = \int_0^1 \frac{1}{\kappa} \left\{ \sqrt{t} + \ln(1-\sqrt{t}) \right\} dt = \frac{5}{6} \frac{1}{\kappa} = 2.08$

(iii) Prandtlの仮定に基づく場合； $F_0 = \int_0^1 \frac{1}{\kappa} \left(\ln \frac{1+\sqrt{t}}{1-\sqrt{t}} - 2\sqrt{t} \right) dt = \frac{2}{3} \frac{1}{\kappa} = 1.67$

ただし、 $t = \sqrt{1 - z/H}$ である。つまり、側壁の影響を加味して一般化に取り扱う場合には F_0 は B/H と他の関係式となると考えられる。長方形断面の滑面水路の場合について、この関係式を Keulegan⁵⁾の対数則を用いて近似的に求めると最終式はつぎのようになる。

$$F_0 = \left[A_0 + A_1 \frac{H}{B} + A_2 \left(\frac{H}{B} \right)^2 + A_3 \left(\frac{H}{B} \right)^3 \right]$$

ここで、 $A_0 = 2.5$ 、 $A_1 = 27 + 55 \frac{U^*}{U_m}$ 、 $A_2 = -5 + 55 \frac{U^*}{U_m} + 151 \left(\frac{U^*}{U_m} \right)^2$ 、 $A_3 = 6.7 - 55 \frac{U^*}{U_m}$ である。

F_0 に関する以上の仮定を用いた表出した4ケースの全測値と比較すると、従来のようにある。いずれのケースも全測値は F_{01} 、 F_{02} 、 F_{03} よりも大きく F_{04} よりも小さい値を示しており、係数を代表量とすると Keulegan の対数則では二次流の特性が十分に把握できないことがいえる。最後に、本研究の全測、整理に協力してくれた上野之君に心から謝意を表します。

	F_{01}	F_{02}	F_{03}	F_{04}	全測値
ケースⅠ	2.5	2.08	1.67	5.55	3.96
ケースⅡ	2.5	2.08	1.67	8.70	5.07
ケースⅢ	2.5	2.08	1.67	11.56	5.24
ケースⅣ	2.5	2.08	1.67	13.99	8.25

- 1) 石原静太郎，村本嘉雄；二次流の発生機構について；第7回水理講演会講演集
- 2) 佐藤精一；水理学（森北出版）
- 3) 水理公式集
- 4) 村本嘉雄；開水路流水の defect law について；第16回年度水理講演会講演概要
- 5) G. H. Keulegan；Law of Turbulent Flow in Open Channel；U.S.N.B.S. Vol. 21，1939