

流れの平均流速に及ぼす側壁の影響

立命館大学理工学部 正員 大同淳之

1 はしがき 開水路の長方形断面の流速分布および抵抗法則は、乱れの三次元的取扱いの難しさから厳密には解析されていないが、諸賢の努力によって次第に解析されつつある。特に最近のE. S. の研究は、誘導の過程で若干の仮定を用いるが、平均流速および壁面のまじり応力が計算されつつある。これらの結果は、今後、河床に作用するせん断力の分布を人工的に制御する糸口として、大きな意義があるものと思われる。本文は水路側壁の粗さを変えることで河床のせん断応力を制御する可能性を検討する一歩として、異種の壁材を組合わせて作った水路の平均流速の測定値と既往の理論との比較を行なう、従来の解析の妥当性を検討したものである。

2. 既往の研究

Einsteinは、流路の中心面における運動量の交換は平均的に零で、この面を境としてその両側の速度分布は独立であるという Von Kármán の推論を受けて、断面分割法を提案し、足立は、断面分割の境界線上ではそれぞれの領域のまじり速度 U_* と壁面粗度で規定される流速が等しくなるように断面をかけた。馬場は、Tracy の実験結果を参照して、基礎式中の諸項の大きさを比較して、取捨し、その解を、

$U = C_1 \ln(M_1 z) \ln(M_2 y)$ 、ここに z, y はそれぞれ底面および壁面からの距離、 M_1, M_2 は流速が零になる壁面からの高さ、 C_1 は係数、とおき、境界線上では両者のまじり速度が等しいとおいて、断面内の平均流速を、

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{K_*}{K} (\ln M_2 b - 1 + \frac{1}{M_2 b}) (\ln M_1 h - 1 + \frac{1}{M_1 h}) \quad (1)$$

$$K_* = \sqrt{1 + \frac{h}{b} \left\{ (\ln M_1 h)^2 - 2 \ln M_1 h + 2 - \frac{2}{M_1 h} \right\} + \frac{b}{h} \left\{ (\ln M_2 b)^2 - 2 \ln M_2 b + 2 - \frac{2}{M_2 b} \right\}}$$

と表わした。木村は、断面内の任意の点の流速は、底面および側壁のいずれから求めても同じであると、結果として、壁面上の位置で異なる壁面せん断力の和は、全断面についてせん断力に等しいという仮定で、

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{K_*}{K} (\ln M_2 b - 1) (\ln M_1 h - 1) \quad (2)$$

$$K_* = \sqrt{1 + \frac{h}{b} \left\{ (\ln M_1 h - 1)^2 + 1 \right\} + \left\{ (\ln M_2 b - 1)^2 + 1 \right\}}$$

という結果を得ている。

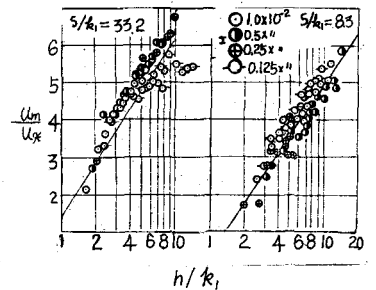


図1. 平均流速(底面にのみ粗度)

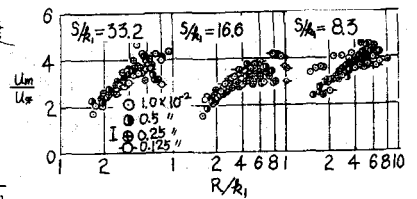


図2. 平均流速(全面に粗度)

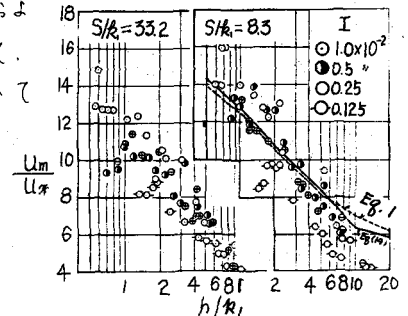


図3. 平均流速(側壁のみ粗度)

3. 異種の粗面を組合わせた水路の平均流速の測定

幅 30 cm の滑面水路を用いて、水深比 h/b が 0.06 ~ 0.5 の範囲でそれぞれ底面、全面および側壁のみに、高さ 1.9 cm 角の稜型粗度をある一定の間隔においた場合について平均流速を測定した。図 1 は底面のみ粗度がある場合で、 $K=0.4$ が成立つことから、側壁の影響は小さいとみなされる。図 2 は全面に、図 3 は側壁のみに粗度がある場合で次に側壁の影響が大きくなっていると予想されるが、その影響は見掛けのこう配 $1/K$ の減小となって示される。

4. 既往の研究との比較

① 解析的方法との比較

平均流速式および式中の係数が具体的に示されている馬場および木村の式と実験値の比較を、全面に粗度がついている場合について、図 4 に示す。両者の式は、仮定がかなり違うにもかかわらず、結果的にはほぼ同じ値を示すが、実験値は $h/b > 10$ で、流速が低下する傾向を示すのに対して、理論値はほぼ同じ値を保つ。側壁の影響が理論的取扱よりもう少し大きいといえる。側壁のみ粗度がついている場合の比較を図 3 の一部に示したが、実験値のほうが見掛けのこう配が急であることから、同じように結論することができよう。

(1) および (2) 式より、見掛けのこう配は、馬場および木村についてそれぞれ $1/K = (K_0/K) \{ \ln M_{2b} - 1 + (1/M_{2b}) \}$ 、 $1/K = (K_0/K) (\ln M_{2b} - 1)$ 、と示される。この関係を図 5 に示す。側壁にのみ粗度があるとき、平均流速が対流水深に対して見掛け上、負のこう配を示すが、 $1/K$ は常に正で、対数則式中の A_1 が変化するためとみなせる。(1) および (2) 式にしたがって、Manning の n を求め、実験値と比較した 1 例を図 6 に示す。しかし n による比較は種々の要素が関係するため、正確な評価はできないといえる。

② 断面分割法との比較

図 3 において、大胆に、最小水深の資料は底面の滑面粗度を、最大水深の資料は稜型粗度を表わし、それぞれ、 $K=0.4$ の線上にあると考えて、 A をきめ、足立の考え方によつて粗度係数 n を求めた結果を図 7 に示す。壁面せん断力の分布を対象とせず、断面平均の粗度係数を求めるのには、断面分割法も有力であることを示す。

① 足立昭平：長方形断面水路の側壁効果に関する研究，土木学会論文集 81，1962
② 馬場洋二：河川護岸近傍の水理に関する考察，土木研究所報告 甲 144 号
③ 木村義治：長方形水路における流れの近似解，土木学会論文集 1976

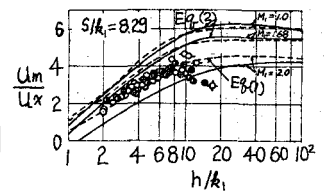


図 4 理論値との比較(底面に稜型粗度)

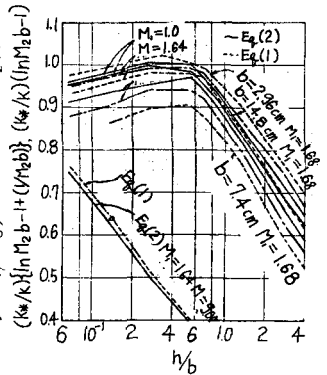


図 5 見掛けの $1/K$ の値

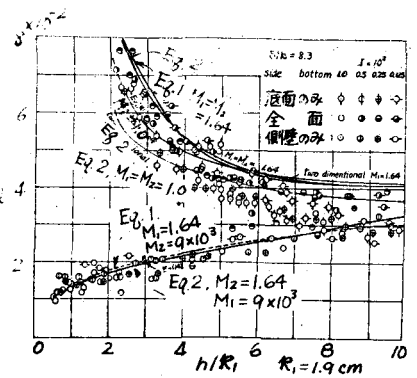


図 6 Manning 粗度係数の比較

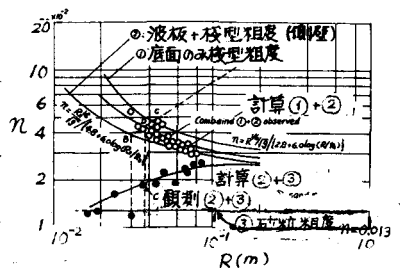


図 7 足立法によつて求めた n の比較