

II-240 2次元的に配置した透過構造物の抵抗特性

北海道大学大学院 学生員 柿崎 恒美
北海道大学 正 員 長谷川和義
秋田大学 正 員 石井千万太郎

(1)はじめに:透過水制の理論的な研究は少なく、施工にあたっては経験的に行われている。本論文は透過水制の再付着点以降に発達する後流層に着目して透過水制の粗度効果について実験と理論の両面からの解析を試みたものである。

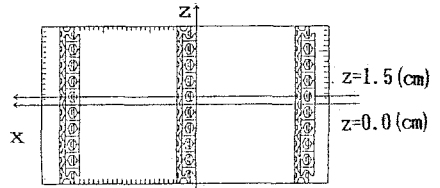
表1 実験条件と主要水理量

実験 No.	流量 (ℓ/s)	平均河床勾配	H (cm)	u_a (cm/s)	v_a (cm/s)	Fr	$Re^{(1)}$	$Re^{(2)}$
Runk1	11.10	1/250	10.05	36.9	14.8	0.37	37085	9225
Runk2	10.23	1/250	10.05	34.0	15.0	0.34	34170	8500
Runk3	19.72	1/250	13.85	47.4	26.6	0.40	65649	11850
Runk4	18.60	1/250	13.51	45.9	20.6	0.40	62011	11475

ただし、H=平均水深、 u_a =平均流速、 v_a =平均透過流速、 k =水制高、 ν =動粘性係数

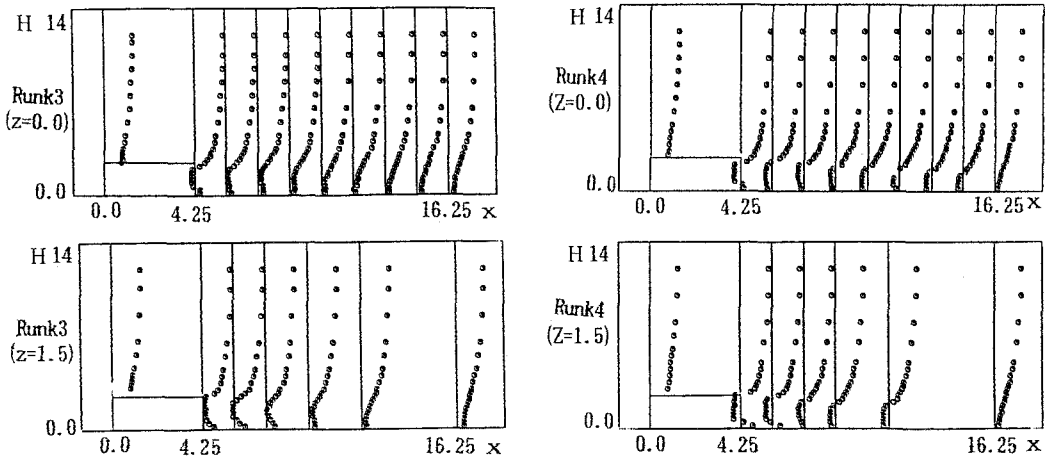
$$Re^{(1)} = \frac{u_a H}{\nu}$$

$$Re^{(2)} = \frac{u_a k}{\nu}$$



図(1) 透過水制の配置図

(2) 模型組ブロックによる実験:図1に示すような水制のブロック模型を幅30cm、長さ10mの水路に横断するように組み合わせ表1の様な条件で二次元実験を行った。水制間隔は水制高の10倍の25cmとし、ピトー管で流速を測定した。図2はRunk3、Runk4の流下方向における流速分布で、三井の報告¹⁾のようにまったく異なるパターンが確認された。両者は水深が僅かに違う他はほぼ同一な条件で実験を行ったが、Runk4では剥離域が発達し逆流が見られ、Runk3では逆流域が見られず透過流速も大きくかなり違った結果となった。

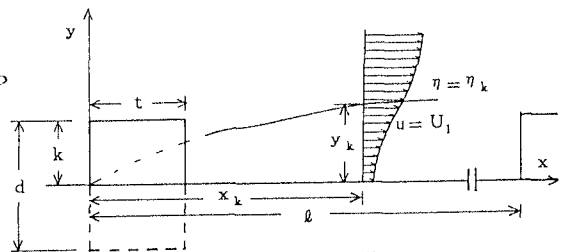


図(2) 流速分布の縦断方向変化図

(3) 後流モデルによる解析:透過水制下流域を2次元段落ち流れとみなせば、再付着点以降は後流領域に近似できる。後流の流速分布が、Schlichting²⁾によって示されているような後流の式に従うものとすれば、

$$\frac{u}{U_\infty} = 1 - \frac{1}{4\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{U_\infty C_D d}{\epsilon}} \left(\frac{x}{C_D d} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\times \exp\left(-\frac{1}{4}\eta^2\right) \quad \text{ただし } \eta = \sqrt{\frac{U_\infty}{\epsilon x}} y \quad (1)$$



図(3) 後流の概念図

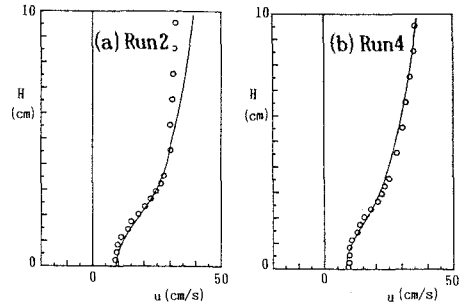
ここで、式中の C_D (見かけの効力係数)、 ϵ (渦動粘性係数) はそれぞれ次式で定義する。

$$\frac{\varepsilon}{U_{\infty} C_D d} = 0.0222 \quad (2) \quad \int_{-\infty}^{\infty} u_1 dy = \frac{1}{2} C_D d U_{\infty} \quad (3)$$

山岡³⁾によれば後流領域の流速分布は変曲点を有しており、この点より上層は対数則に従う。そこで両者の混合距離が一致する点を変曲点とし接続させる。つまり(1)式から ℓ を求め、これがPrandtlの壁法則による混合距離 $\ell = \kappa y$ ($\kappa=0.4$)に等しいと置けば、 $\eta^3 \exp(-0.25\eta^2) - 1.11\sqrt{\pi} = 0 \quad \dots (4)$ となる。式(4)を満たす η を η_k として数値的に解けば $\eta_k=3.52, 1.52$ の2根が得られ、 x と C_D が同一でも対数領域と後流領域の境界が2とおり存在する可能性が示唆される。また次に $y \geq y_k$ (y_k は後流領域と対数領域の境界の y 座標)の領域では、完全疎面の対数分布則に従うとすれば以下ようになる。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{U_1}{u_*} + 5.75 \log \frac{y}{y_k} \quad (5)$$

U_1 は後流と対数領域の境界の流速、 y_k は実測 x_k を用いて式(1)(2)から求めた。図(4)(a)(b)は式(1)、式(5) ($C_D' = 1.38$)を描いたものである。



図(4)後流領域の流速分布

(4)抵抗則:水路面上のせん断応力 τ_0 は、流れ全体の平衡条件から考えて水制の抗力抵抗(D_1)、水制の幅 t における摩擦抵抗(D_2)、再付着点より下流側の河床で発達する渦抵抗(D_3)、対数領域と後流領域の境界での乱流摩擦抵抗(D_4)との合計と考えられ、十分Re数が大となると D_2, D_3 は D_1, D_4 に比べて無視できると仮定すればせん断力の平衡に関する条件は $\tau_0 \ell = \rho \ell u_*^2 = D_1 + D_4 \quad \dots (6)$ となる。 D_1 を真の抗力係数 C_D (C_D の定義:

$$\int_{-\infty}^{\infty} u (U_{\infty} - u) dy = \frac{1}{2} C_D (1-n) d U_{\infty} \text{ を使って表せば、} \frac{u_m}{u_*} = \frac{1}{2} C_D (1-n) k U_1^2 \quad (7)$$

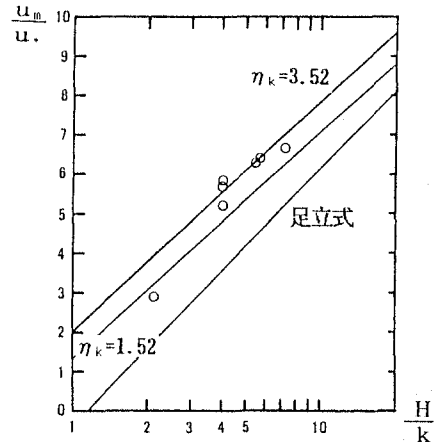
この C_D (抵抗係数)と式(3)との違いは、後流の欠損速度 u_1 が U_{∞} に比べて今回の実験の場合それほど小さくないことによる。また、 D_4 は式(1)の y 微分に ε を乗じ $\eta = \eta_k$ に沿って x で積分することによって得られるので、(6)式を完全粗面に対する平均流速の対数分布則に式(5)とともに代入すれば透過性水制の抵抗則を得る。(ただし $U_{\infty} = \alpha U_1$ 、 $C_D' = \gamma C_D$; $\gamma \approx 1.0$)

$$\frac{u_m}{u_*} = 5.75 \log \frac{H}{k} - 5.75 \log \frac{y_k}{k} + \sqrt{\frac{2\ell}{C_D k} \left\{ (1-n) + \frac{\alpha^2 \gamma}{2\sqrt{\pi}} \eta_k \exp\left(-\frac{1}{4} \eta_k^2\right) \log_0 \frac{\ell}{x_k} \right\}^{-1} - 2.5} \quad (8)$$

ここで x_0 は後流領域の発達し始める x 座標で式(6)のせん断力の平衡条件を満たすように定めた。図(5)は式(8)および足立⁴⁾の棧粗度抵抗式と実測値である。式(8)は透過水制の抵抗特性をよく説明しているようである。

(5)まとめ:透過性媒体の再付着点以降を後流領域と対数分布領域に区分することが可能であり、両者の混合距離が一致する条件から相似軸 η は2通り導かれる。しかし、 η_k が2通りあっても水制上の流れの抵抗は x_0 を通じてうまくバランスされ実験結果をうまく説明できる。

参考文献) (1)長谷川和義、三井和久:透過水制工の水理特性に関する実験的研究、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集、1989 (2)Schlichting, h.: Boundary-Layer Theory (Sixth Ed) Chapt. xxiv (3)山岡勲:河床上の物体が水路の抵抗と流砂に及ぼす効果の研究、北海道大学提出学位論文、1961 (4)足立昭平:人工粗度の実験的研究、土木学会論文報告集、1964 (5)長谷川和義、柿崎恒美、三井和久:透過水制における透過流量と抵抗特性、水工学会論文集、1990 (6)長谷川和義、柿崎恒美:透過質媒体の下流域における流れの構造、土木学会北海道支部論文報告集、1990



図(5)透過水制の抵抗則