

## II-167

## 透過水制工の水理特性に関する実験的研究

株式会社 大林組 正 員 三井 和久  
北海道大学工学部 正 員 長谷川和義

1. はじめに：透過水制の機能に関する研究は少ない。実物水制ブロックの1/50縮小模型実験を行なって、抵抗特性・透過流の性質につき興味ある事柄を見いだしたので報告する。

2. 水制ブロック形状・設置方法・通水条件：幅30cm、長さ10mの鋼製可傾斜水路の底に粗度 $k_s=0.3\text{cm}$ の砂をはりつけ、図1のような1/50の3連ブロック模型を図2のように組合せて並べた。三連ブロックの空隙率 $\lambda_B$ は、これを囲む直方体の体積に対する空隙体積の比率で表して $\lambda_B=0.64$ である。既設水制を参考に、設置間隔を水制高の10倍の25cmとした。流れの条件として表-1を与えた。流速測定は水路長のほぼ中央において、透過流の強弱の異なる $Y=0\text{cm}$ 、1.5cmの2測線上で、縦断方向に $X=0\text{cm}$ から16.25cmの間でピトー管により行った。

3. 流れの性質・抵抗特性：不透水制上の2次元流れに対する抵抗特性は、棧粗度上の流れに対するそれにほぼ等しい。足立(1964)の棧粗度抵抗に対する半理論式(1)と実験値を比較すると図-3となる。

$$\frac{U}{U_*} = 1.50 \log_{10} \frac{S}{k} - 1.91 + \left\{ 5.75 + 0.12 \left( \frac{S}{k} \right)^{0.8} \right\} \log_{10} \frac{H}{k} \quad \dots (1)$$

ただし、 $s$ =棧間隔、 $k$ =棧高、 $H$ =水深、 $u_*$ =摩擦速度、 $u$ =平均流速

同一条件の $s/k$ に対する透過水制の抵抗は、同一傾向を示しつつも明らかに減少している。本実験の結果が不透水制の特性とそれほど違わず、しかも透過流の存在が抵抗を減じていることは重要であり、定式化への示唆を与える。

4. 流速分布の特徴：図4～6は、RUN2、3、4の $Y=0$

における流速分布の縦断変化を示したものである。興味深いことに、これらの三つのケースはほぼ同じ水理条件にありながら異なる流速分布をみせている。すなわち、RUN2は水制上の流速分布がまっすぐに立ってポテンシャルフローの様相を呈しており、水制下流の剥離域が不明瞭で逆流が見いだされない。RUN4の流速分布は対数分布に近く、境界層が水面にまで達しており、剥離域が6cmと長めになっている。

RUN3は前二者の中間的流速分布をみせ逆流域が存在するものの2cmと短めである。これらの差は誤差ではなく、同一平均水理条件下の異なる流れのパターンである。

5. 透過流速の性質：ブロック上流端 $X=0$ の天端上の流速分布からブロック上の流量を求め、全体の流量からこれを除くことにより透過流量を算定する。表-2にこれを透過面積で割って得た透過速度を示す。RUN2から11まではほぼ同

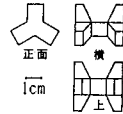


図-1 三連ブロック模型

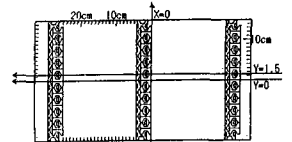


図-2 ブロックの配置と軸の定義

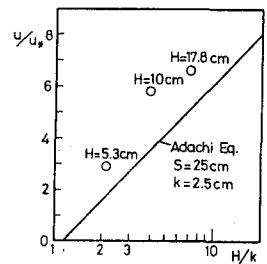


図-3 透過水制の抵抗特性

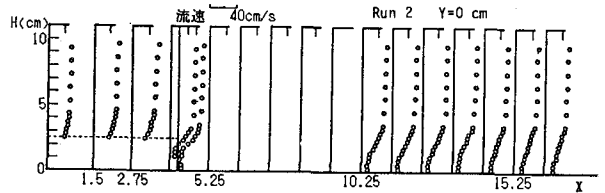


図-4 Run2の流速分布

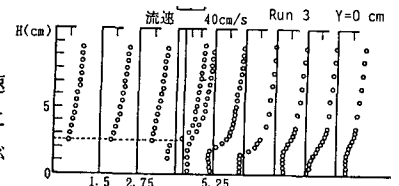


図-5 Run3の流速分布

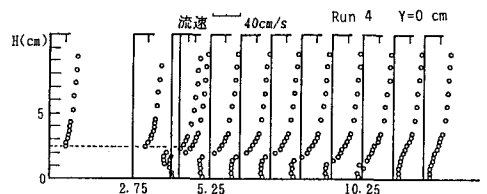


図-6 Run4の流速分布

一の通水条件にもかかわらず流速分布の違いに対応して透過流速が大きく異なっている。ここで、図-7のモデルを考える。水制の上流側では流れがよどみ相対的に圧力が高くなる一方、水制天端上及びこれを越えたところで圧力が下がる。透過流は、この圧力差によって発生するものと考えることができる。水制上下流点の間でベルヌーイの定理を用いると式(2)になる。

$$p_0(=p_3)=p_1+\frac{\rho}{2}v^2+\frac{\rho}{2}f_0\frac{t}{nk}v^2 \quad \dots(2)$$

ただし、 $p_0, p_1, p_3$  = 静水圧と位置ポテンシャルの和からの圧力の変動分、 $v$  = 平均透過流速、 $f_0$  = 透過ブロックの摩擦係数、 $n$  = 平均透過面積率

次に剥離域に対して運動量式を適用すると式(3)をうる。

$$\rho V(u_1-v)nk = p_1k - \frac{1}{2}(p_1+p_3)k + \tau L \quad (3)$$

ただし、 $u_1$  = 剥離域境界線における流速、 $\tau$  = 剥離域境界に働くせん断力、 $L$  = 剥離長

式(2)を式(3)に代入して整理すると式(4)のごとく、透過流速 $v$ に関する2次式が得られる。 $v$ に正の2実根が存在する条件は式(5)で与えられ、 $f_0=0$ とみなしたときには、 $n>0.25$ がその条件となる。

$$v^2 - \frac{u_1 n}{\left\{n - \frac{1+f_0 t/(nk)}{4}\right\}} v + \frac{\tau L}{\left\{n - \frac{1+f_0 t/(nk)}{4}\right\}(\rho k)} = 0 \quad \dots(4)$$

$$n > \frac{1}{8}(1 + \sqrt{1 + 16 f_0 t/k}) \quad \dots(5)$$

本実験の場合、透過率として空隙率 $\lambda_B=0.64$ を採用することによれば、 $v$ が2根存在することになる。図-8は、横軸に $u_1$ 、縦軸に $v$ をとり、 $\tau L$ をパラメータに式(4)を描いたものである。 $\tau L$ と $u_1$ の組合せによって様々な $v$ の生じうることが分かる。表-2の流速が2価性のあらわれと解釈して $u_1$ と $\tau L$ を逆算すると、 $v$ のいずれの組合せであつても妥当な値を示す。このことから式(4)で説明される事象が、異なるパラメータのもとで生じていると解釈することができる。実際RUN5以降の実験はRUN4までの実験から数週間あいだを置いて実施されたが、この間にブロックの目詰まりが生じ、レベルの異なる2価をとるに至っている。ただし、今回の実験条件では2価のうち大きい方の値の実現する頻度が高かったが、いずれの値が実現するかの判定条件とともにその原因は不明である。また、剥離形態の違いにもかかわらず $\tau L, u_1$ が同じという仮定には問題もあり、むしろ多価性を認めるべきかもしれない。

6. おわりに：透過流が2価（多価）性を示すという事実は、学問的に極めて興味深いことがらであるが、透過水制がどの程度の流砂量を通すかという現実の問題にとつても非常に重要である。今後、実験例を増すとともに境界層内の流れを詳しく調べ、2価（多価）性の発生要因、発生条件を明らかにしたいと考える。参考文献：1）秋草勲・吉川秀夫・坂上義次郎・芦田和男・土屋昭彦：水制に関する研究，土木研究所報告，1954 2）足立昭平：人工粗度の実験的研究，土木学会論文報告集，1964 3）長谷川和義・三井和久：透過水制工の流速減少要因に関する実験的研究，土木学会北海道支部論文報告集，第45号，II-15



図-7 記号の定義

|       | 流量 (l/s) | 水面勾配  | 水深 (cm) | 平均流速 (cm/s) | Re    | Fr   |
|-------|----------|-------|---------|-------------|-------|------|
| RUN1  | 1.48     | 1/500 | 5.29    | 9.33        | 3768  | 0.13 |
| RUN2  | 7.53     | 1/500 | 9.96    | 25.2        | 19164 | 0.25 |
| RUN11 | 8.00     | 1/500 | 10.14   | 26.7        | 20381 | 0.27 |
| RUN12 | 25.52    | 1/333 | 17.75   | 47.9        | 64903 | 0.38 |

|                | RUN2 | RUN3 | RUN4 | RUN5 | RUN6 | RUN7 | RUN8 | RUN9 | RUN10 | RUN11 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 透過流速<br>(cm/s) | 22.0 | 21.4 | 13.0 | 13.9 | 12.9 | 10.2 | 10.0 | 6.1  | 22.0  | 16.5  |

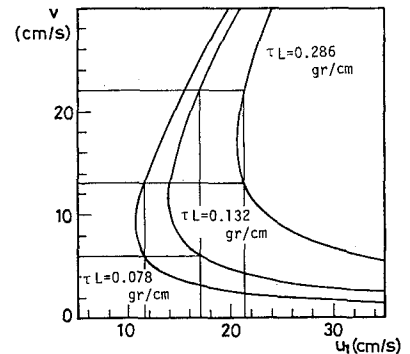


図-8 透過流速の性質