

II-178

透過型の水制周辺の流れ構造について

名古屋工業大学 学生会員 黒川 有一
名古屋工業大学 正会員 富永 晃宏

1. はじめに 河川における堤防の保護や河道の安定を目的として、水はね及び減速といった水理的効果を持つ各種の水制が古くより用いられてきているが、近年では環境面で果たす水制の役割が注目されてきている。特に、多孔性を有する透過型水制の水理的効果を明らかにすることは重要である。本研究では、水制の透過率の違いによる水制背後の流動特性の変化について検討したものである。

2. 実験方法 実験には長さ8m、幅30cmの勾配可変型水路を用い勾配は1/1000とした。水制模型は非越流型で透過率の異なる3種類（不透過（SDNP）¹⁾、石詰枠（SDP1）、枠のみ（SDP2））を設定し、上流から3mの位置の左岸に設置角度90°で設置した。水制の形状を図-1に示す。流量は $Q=3.6\text{ l/s}$ とし下流端水深は $h=9\text{ cm}$ とした。流速は2成分電磁流速計を用い、同計測点においてL型電磁流速計で主流速と鉛直流速、I型電磁流速計で主流速と横断流速をそれぞれ計測した。また、移動床として河床変動への影響に関する実験を行い通水時間120分後の最終洗掘形状を計測した。

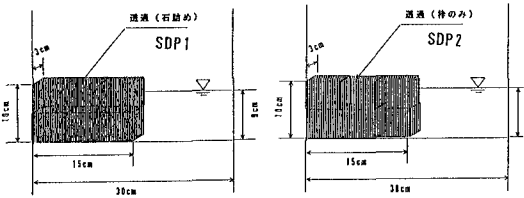


図-1 透過型水制の形状

3. 実験結果 図-2は3ケースの $z=2, 7\text{ cm}$ における (U, V) 流速ベクトルである。不透過、石詰枠については剥離域が存在し底面近くで水制背後に回り込む流れが現れる。この再循環流の再付着点は若干石詰め枠の方が小さいようである。水面近くでは水制の外側に向かう横断方向の流れが現れており、水深規模の縦渦構造があることを意味している。この水制外側への流れは、不透過では水制直後で大きいものに対し、石詰枠では $x=40\sim 80\text{ cm}$ 付近が大きいという相違点が認められる。透過型は浸透流の影響により、この縦渦の発生位置がやや下流に押しやられたものと解釈できる。一方、枠のみについてはこのような縦渦の存在は認められなかった。図-3に $z=2, 7\text{ cm}$ の主流速 U の縦断方向分布を示す。3ケースを比較してみると、透過率の減少に伴ない流速の横断方向変化が大きくなるのは当然であるが、流速の回復過程が異なる点が興味深い。透過率が大きくなるにつれて流速の流下方向変化率は小さくなっていることがわかる。 $x=200\text{ cm}$ において横断方向の最大流速と最小流速の差を比較すると、不透過、石詰枠、枠のみに対してそれぞれ約 7.2 cm/s 、 10.5 cm/s 、 12.5 cm/s と、むしろ透過型の方が大きくなっている。特に枠のみの場合は $x=200\text{ cm}$ においても最大流速差に変化が見られない。

この流速の回復過程には乱流混合とともに縦渦が重要な役割を果たしていると考えられる。水深は水制の上流側では堰上げられ水制の先端から下流にかけて急激に減少し、この水深の変化は透過度が大きくなるにつれて小さくなり、透過構造物が水制上流の圧力上昇を緩和し

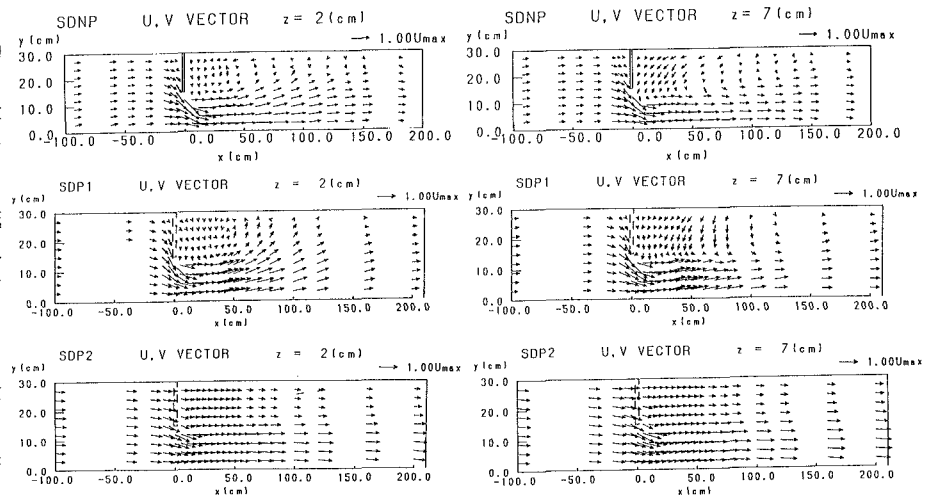


図-2 流速ベクトル図

ていることを示している。水制背後では剥離域で低水深領域を形成し水制直後で水制の対岸から水制側に向かって横断方向水面勾配が形成され、この横断方向水面勾配は透過度の増加に伴い増加し、水制の背後へ向かう2次流の起動力となっていると考えられる。

4. 数値計算 水制周辺の流動はすでに述べたように3次元であり、局所的な河床変動を議論するには3次元解析が必要であるが、水制周辺の水質交換や浮遊砂輸送等を議論するには2次元解析で十分な場合も多い。そこで透過度の影響を見ることを目的として2次元の数値計算を行った²⁾。基礎式として2次元の連続式及び水深平均された浅水流方程式を用いる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uu) + \frac{\partial}{\partial y}(vu) = -g \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial y} - \overline{F_x}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uv) + \frac{\partial}{\partial y}(vv) = -g \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(\tau_{yy})}{\partial y} - \overline{F_y}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial uh}{\partial x} + \frac{\partial vh}{\partial y} = 0$$

ここに、 u は流下方向平均流速、 v は横断方向平均流速、 $H = h + z$ は水位、 z は河床高、 h は水深、 τ_{bx}, τ_{by} は x, y 方向の底面せん断応力、 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ は水深平均されたレイノルズ応力、 ρ は流体の密度、 F_x, F_y は x, y 方向の透過流の抗力である。これらの式をスタッガード格子を用いたコントロールボリューム方で離散化し、SIMPLE 法によって解く。レイノルズ表示横断方向の渦動粘性係数として $\nu_t = \nu_0 h \cdot u$ を与えた。また、2次流の横断方向運動量輸送効果が不明であるため、渦動粘性係数で実験値に一致するように調整した。透過構造物に関しては、 $\overline{F_x}, \overline{F_y}$ を $\overline{F_x} = \frac{1}{2} \alpha \nu \sqrt{u^2 + v^2}$ 、 $\overline{F_y} = \frac{1}{2} \alpha \nu \sqrt{u^2 + v^2}$ とし、係数 α により

透過度を表現した。実験と同条件で計算を行い、渦動粘性係数の定数項 ν_0 を不透過、石詰柵については0.2、柵のみについては0.08とした。また、透過係数は、石詰柵では $\alpha=1000$ 、柵のみでは $\alpha=80$ とした。図-4に主流速 U の縦断方向分布の計算結果を示す。石詰柵に関しては最下流付近については傾向は一致しているが、水制下流付近における再現性はさほど良くない。柵のみについては水制位置周辺での流速の加速、減速の状況がよく再現されている。

6. おわりに 水制周辺の流動特性に関して、透過率の違いによる水制背後の渦構造特性と流速の回復過程が明らかにされた。水制に堤防付近の減速を期待するならば、透過度の大きな水制でもかなり下流までその効果が持続し局所洗掘も小さい。わんどの形成等を期待するならば2次流の果たす役割が大きく、透過率の低いものや越流型が有効と考えられる。数値計算では、不透過型及び透過率の高い透過型の再現性は比較的良好であったが、透過率の低い透過型については透過の表現についてさらに検討する必要がある。

<参考文献>1) 富永・劉・三尾・大橋, 第49回土木学会年講, pp302-303, 1994,
2) Liu, J. et al., JHHE, vol.12, No.2, 85-100, 1994

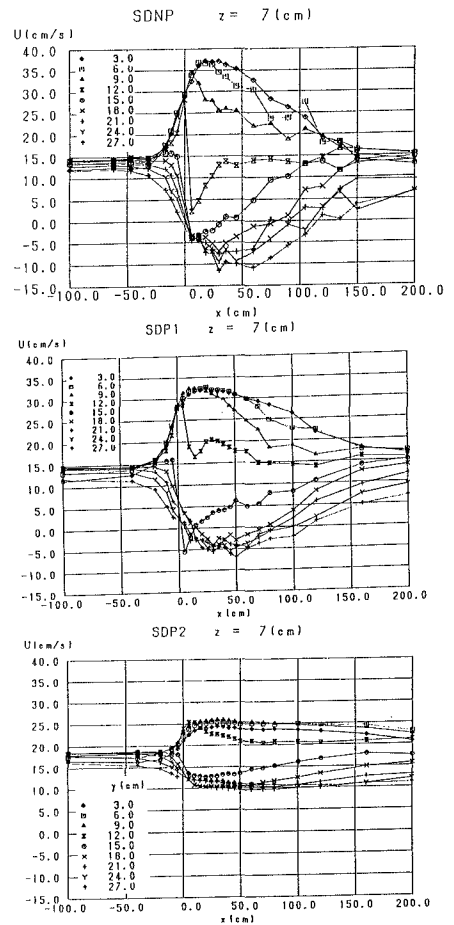


図-3 主流速の縦断変化（実験値）

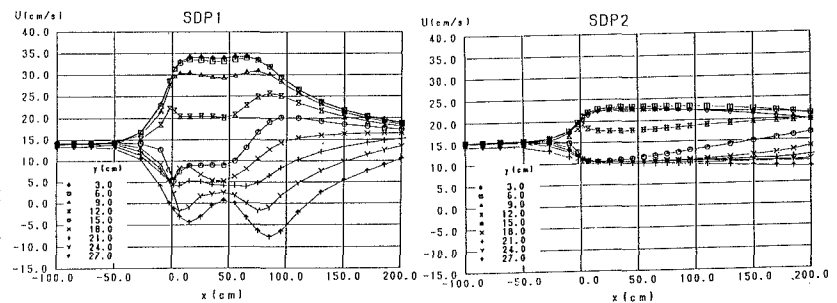


図-4 主流速の縦断変化（計算値）