

1. はしがき 護岸の足元の洗掘を防ぐ目的で護岸に傾斜棧をつけて、防止することを試みた。護岸に傾斜棧をつけて上昇流を起こしたとき、洗掘防止の他に二次流の速度、規模、移動床の場合にはsand-ridgeの間隔または河床形態に変化が生じることが予測される。人工的な二次流制御の効果を実験および計算によって調べた。

2. 直線水路において側壁に傾斜棧を付けたときの効果についての実験

2-1 傾斜棧による壁面での上昇流速 w

護岸につける傾斜棧は、目的（例えば護岸近傍の洗掘を防ぐまたは護岸近傍の河床波を制御する）を果たす範囲内で、抵抗を小さくするため規模は小さいのが望ましい。

壁面に傾斜棧を取り付けたとき生じる上昇流速 w と傾斜棧前方の x 方向流速 u との関係は、棧の前面における単位質量について運動方程式および連続式を適用して、例えば一番底では

$$w_i = u \sqrt{\frac{\cos \alpha \cdot \sin \gamma \cdot k_1 \sin \alpha}{1 - \frac{f}{8} \sin \alpha \cdot \sin^2 \gamma}} \quad (1)$$

ここに、 α : 傾斜棧の傾斜角、 γ : 壁面の傾斜角、 f : 傾斜棧表面の摩擦係数、 k_1 は主流 u の運動量の z 方向への寄与率で実験による測定では $k_1 = 0.07$ であった。

棧と棧の間では棧が傾斜している効果から、 x 方向にはほぼ一様な流速を示すので、 x 方向の単位面積当たり式(1)の w の流速をもつ質量の上昇流が期待できる。

2-2 傾斜棧による流向と河床形の変化

直線移動床水路の両側壁に傾斜 45° 、高さおよび幅 $5\text{mm} \times 5\text{mm}$ の角材を取り付けたときと、つけてないときの水路床の横断面形は図1a、bに示す。角材を取り付けていないbでは側壁の足下が洗掘されて水路中央に体積が生じているのに対し、角材を取り付けているaでは逆に壁面の足下が堆積し、水路の中央で洗掘が生じている。

流向の測定値は必ずしも規則的ではない。傾斜棧をつけていないとき、側壁と水路床との隅角部からほぼ 45° の傾斜線にその二次流上昇の観測例が多いが、河床形態から傾斜棧の導入の有無によってbの場合には隅角部から中央へ、aの場合には逆に隅角部の方に二次流が生じて、底の砂を動かしていると判断できる。

図1は B/h が2.3と二次流の循環の横距に近いので、二次流の効果が顕著に表されている恐れがあったので、図2は B/h が12.8で行った例で、河床形に対して、期待している効果が見られる。

2-3 Sand Ridgeの間隔に及ぼす影響

直線水路における二次流は、一般に水深の2倍程度の横距をもつ循環を形成し、移動床の場合には循環の上昇流の部分でSand-Ridgeが生じることが明らかにされている。

側壁に傾斜棧をつけたときの二次流に及ぼす効果を実験的に明らかにする方法として、流速の変化を明らかにする必要があるが、直線水路の二次

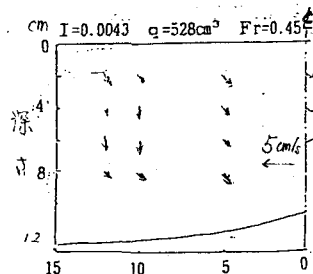


図1b 傾斜棧がないときの二次流の流向と大きさ

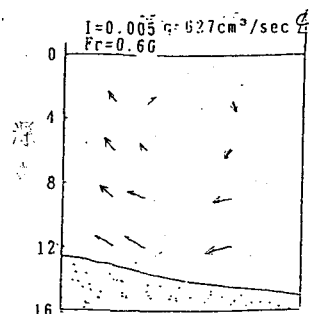


図1a 傾斜棧を付けた場合の二次流の流向と大きさ

流は乱れの y 方向および z 方向の偏倚から生じ、その大きさは主流 u のせいぜい数%で、流速の測定からこれを見出すことは難しい。そこで、幅 6.9 cm の水路で二次流の循環が 10 個程度発生するであろうと予測される水理条件で、Sand-Ridge の発生を調べた。ただ、sand-ridge の発生が顕著に表れるのは、水理条件が限界掃流力付近とみられ、せん断力より大きいとき、砂がフラッシュされて sando-ridge が形成されにくい。かなりの数の実験を行って、明瞭に測定できた例を図 3 に示す。傾斜棧をつけたときは sand-ridge の間隔が大きくなった。河床波はつけていないときもそれなりに小さいことから、つけたときの大きさは計測できないほどに小さく河床が平坦化する傾向が見られた。

3. 傾斜棧をつけたときの影響についての数値解析

直線水路における二次流は運動方程式から圧力項を消去して得られる次式を用いて

$$\frac{\partial^2}{\partial y \partial z} (\bar{v}^2 - \bar{w}^2) = \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \bar{v} w \quad (2)$$

ここに v, w はそれぞれ y, z 方向の乱れで、左辺の発生項と右辺のレイノルズ項との関係に横断方向に平均流速の y 方向の周期を与えて解く方法がとられるが、棧によって y 方向の周期が変われと予測できるので、この方法は使えない。

そこで、辻本ら⁷⁾によって用いられている三次元の $k-\varepsilon$ モデルによって解析を試みた。

$$\frac{\partial}{\partial x} (U^2) + \frac{\partial}{\partial y} (VU - \Gamma \frac{\partial U}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (WU - \Gamma \frac{\partial U}{\partial z}) = g \sin \theta - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (UV) + \frac{\partial}{\partial y} (V^2 - \nu \frac{\partial V}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (WV - \nu \frac{\partial V}{\partial z}) = g \cos \theta - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P'}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (UW) + \frac{\partial}{\partial y} (VW - \nu \frac{\partial W}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (W^2 - \nu \frac{\partial W}{\partial z}) = - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{P'}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{zz}}{\rho} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (Uk) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ Vk - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ Wk - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right\} = P_k - \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (U\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ V\varepsilon - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ W\varepsilon - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right\} = \frac{\varepsilon}{k} (C_{\varepsilon 1} P_k - C_{\varepsilon 2} \varepsilon) \quad (7)$$

ここに、 (U, V, W) : 時間平均の流下方向 (x)、鉛直方向 (y)、横断方向 (z) の流速成分、 P, P' : 断面平均圧力 (静水圧近似) とそれからの圧力偏差、 ρ : 水の密度、 g : 重力加速度、 k : 乱れエネルギー、 ε : 乱れエネルギーの散逸率、 ν : 動粘性係数、 $\nu_t = C_{\mu} k^2 / \varepsilon$: 渦動粘性係数、 $\Gamma = \nu + \nu_t$ 、 P_k : 乱れエネルギーの生成率である。計算結果については講演時に述べる。

参考文献

- 1) 大同ら：水工学論文集第37巻 1993
- 2) 今本ら：京大防災研究所年報 1984
- 3) 西谷ら：水工学論文集第37巻 1993
- 4) 林：乱流現象の科学，東京大学出版会
- 5) 村本ら：京大防災研究所年報第20号B-2 1977
- 6) Ikeda, S: ASCE, 107: HY-4:389-406 1981
- 7) 辻本ら：水工学論文集、第36巻 1992

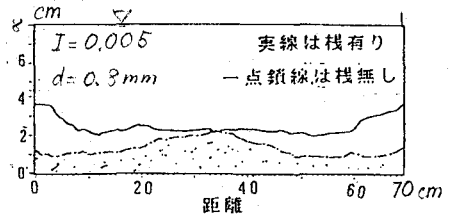


図-2 傾斜粗度の有無による河床形の比較

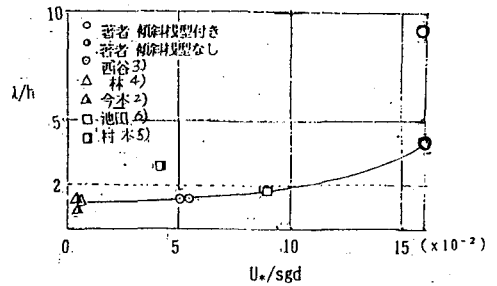


図3 二次流の間隔