

立命館大学理工学部 正会員 大同淳之
立命館大学大学院 学生員○矢野定男

1. はしがき 直線河道の護岸上に傾斜棧をつけたとき、護岸に沿う上昇流の発生で、護岸足元の洗堀が防止できる効果および護岸沿いの河床波の波高を小さくできる効果が見出された¹⁾。河床波の波高の1/2の高さは洗堀深さに相当するので、この低減は護岸の安定に有効である。この波高が小さくなる原因には、二次流の影響と、傾斜棧による側壁部の摩擦の上昇に伴う護岸近傍の床面に作用するせん断力の低下によるものが考えられる。本論文は、傾斜棧をつけたときの河床波の波高減少の測定値を述べるとともに、流積の断面分割法によって、側壁の抵抗増加に伴う波高の低下の効果と全体に及ぼす抵抗の増加について述べる。

2. 側壁に設けた棧が側壁近傍の河床波の波高の減少に及ぼす影響

2-1. 側壁近傍の河床波の波高に及ぼす棧の効果

実験は、幅72cm、長さ9.5mの水路で、勾配1/500、1/1000、砂の粒径0.75mmのほぼ均一粒径で行った。直立側壁に高さ5mm、ピッチ5cm、傾斜角45°の傾斜棧をつけたときと、つけていないときの河床波の大きさを測定した。どのケースについても水路中央部（水路中心およびその両側に4cm離れた3測線）と側壁部（側壁から横断方向に4, 6, 8cmのところ）の河床の高さを3cm毎に測定した。

図-1は棧をつけた場合とない場合の側壁近傍の河床波の縦断形状を示す。 τ_* がほぼ等しいもので比較したところ、棧をつけたものはない場合より波高が小さくなっている。図-2は棧のついている場合で、側壁近傍と河道中央とを比較したものである。図-2は中央部で波高が大きく、側壁近傍で小さい。この場合も τ_* は図-1と同じである。図-1と比較しても側壁近傍では、棧のついてない場合よりついている場合の波高が小さくなっている。また中央の平均河床高さも側壁近傍の河床高さより低下している。

表-1 実験条件

棧	水深(cm)	τ_*
無	4.7-9.7	0.06-0.48
有	4.1-12.0	0.18-0.61

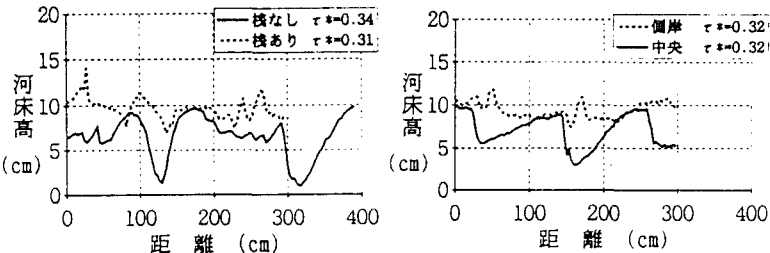


図-1 棧の有無での側壁近傍の河床形 図-2 棧をつけた場合の側壁と中央の河床形

2-2. 傾斜棧が護岸近傍の河床面のせん断力の減少に及ぼす効果

傾斜棧の波高の減少に及ぼす効果として、二次流の影響と護岸の抵抗の増加に伴う床面のせん断力の低下の効果とが考えられるので、本文では、後者について考察した。側壁と床面で、摩擦抵抗の異なるときそれぞれの領域の径深の分割法として、足立²⁾の方法によった。そして床面の局所に作用するせん断力は、断面分割線の下側の縦距 z を用い、 $\tau = \rho g z I$ (I は断面全体のエネルギー勾配)とした。局所のせん断力の算定に、分割線から下側の縦距を用いることは理論的に必ずしも正しくないが、こうして求めた。局所せん断力の分布は、例えば、knight³⁾の測定値とも良く一致するので⁴⁾、これによった。断面分割の計算結果の例を図-3に示す。(a)は側壁が滑面で、(b)は傾斜棧がついているときで、底面は河床波が発生しているときである。側面の荒さを表す指標 M は(a)のとき、 $M_1 = 9u_{*1}/v$ で、 v は動粘性係数であり、(b)のときは棧型粗度の間隔/高さは10であることから、 $k_s/k = 10$ を用いて、

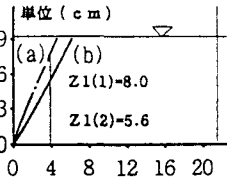


図-4 分割法

$M_1=30/(10 \times \kappa)$ とした。 M_2 は実験値から逆算した $k_s=R \times 10^{(6.0-u_m/u_*)^{0.75}}$ を用いて、 $M_2=30/k_s$ としている。
2-3. 河床波の波高、波長の予測式による傾斜棧の影響の算定

傾斜棧をつけたとき、二次流の流向に影響を与えるのは、側壁からほぼ水深相当分の距離である。それ以上の効果を与える傾斜棧は、抵抗の増加から望ましくない。この実験の水路の規模から、水路中央の波高は、側壁の有無に無関係である。したがって傾斜棧の効果の判定は、波高、波長の予測式で、水路中央の波高、波高が予測できたとき、式(1)の係数を変えずにただせん断力のみ次式によって予測したとき、その程度測定値を説明できるかで、判断する。波高、波長の予測式としては、著者らの式⁹⁾の

$$\frac{u_m}{u_*} = \left[\frac{4}{7} \Pi' \left(\frac{h_m}{k_s} \right)^{-1/4} + \frac{1}{2} C_D \Lambda \right]^{-1/2} \cdots (1)$$

を用いる。ここに、 k_s は相当粗度、 h_m は平均水深、 u_m は平均流速、 u_* は摩擦速度、 Π' は河床波の規模に関する量、 C_D は抗力係数、 $\Lambda = \lambda / (1 + \zeta/2)$ 、 $\lambda = \Delta / L$ 、 $\zeta = \Delta / h_m$ である。 Δ 、 L は河床波の波高、波長である。水路中央での水深、波高及び波長は、図-4に示すとおりである。水深、波高は計算値が実測値をほぼ表している。したがって、式(1)がほぼ水路中央の水深、波高を示すことができる。図-5は側岸近傍での結果を示す。側岸近傍では、足立の方法で求めた側壁から4cmのところの縦距を河床にせん断力を与える水深と仮定し、水路中央と同様な方法で計算したものである。棧なしのものは波高、波長ともに計算値はほぼ実測値を示した。棧ありのものは、波高、波長ともに計算値が実測値を下回った。断面分割による局所せん断力の評価が正しいとするならば、河床波にそれ以上の力が作用していることになる。

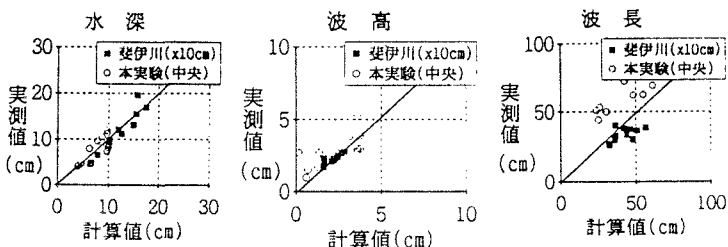


図-4 実測値と計算値の比較（中央）

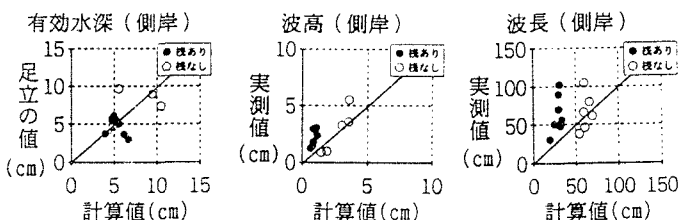


図-5 実測値と計算値の比較（側岸）

3. 側壁の傾斜棧の抵抗の増加の水路全体に及ぼす影響

上述のように傾斜棧が局所洗堀の増加に役立つとしても、水路全体に及ぼす影響をできるだけ小さくする必要がある。この方法で側壁と床面の分割線は、 $y=(M_1/M_2)z$ であって、 α は断面の連続を満たす条件で決められるパラメータである。側壁上に棧の高さの10倍の間隔で棧をつけたとき、相当粗度 k_s は 10κ で一番大きく、この値は河床波の発達したときの k_s に近い。その結果、 $\alpha \approx 1.0$ になり、分割線はほぼ45°である。模型水路では水路幅が限られているので、相対的に側壁の影響が大きくなるが、実際水路では抵抗の増加は無視できる程度である。

参考文献 1)大同淳之、矢野定男:側壁上の傾斜棧が河床形に及ぼす影響、第39回水工学論文集、1995。

2)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、第81号、1962.5。

3)Knight, D. W. and J. A. Macdonald: Open channel flow with varying bed roughness, Proc. of ASCE, vol. 105, HY9, pp1167-1183

4)大同淳之:水路幅が流砂量に及ぼす影響、第31回水理講演会、1987.2, pp719-724

5)三輪 浩、大同淳之:河床波による流水抵抗と流砂量、水工学論文集、第36巻, pp. 123-130. 1992。