

護岸の棧粗度に関する実験的研究
Experimental Study on the Revetment with Roughness of square timber

早稲田大学大学院 木村 賢二 Kenji KIMURA
早稲田大学理工学部 金子 功 Isao KANEKO
早稲田大学理工学部 吉川 秀夫 Hideo KIKKAWA

The purpose of this experimental study is to measure the fluid force acting on the square timber laid on a revetment. By the orifice installed through the square timber, the heads of fluid, surface pressure, are measured to calculate the drag force and shearing stress. It's ascertained the drag coefficient C_D is almost constant on it throughout entire span. So, it's possible to estimate the drag force and flow resistance by determining the drag coefficient.

Keywords : square timber, surface pressure, drag force, shearing force, drag coefficient C_D

1. はじめに

河川の氾濫は人的、経済的に非常に大きな被害を与える。したがってこれを防ぎ堤防を保護するための護岸の役割は重要なものがある。しかし流れの複雑さから護岸に対する水理は未解明な部分が多い。そこで護岸の設計の手助けになるように水路側壁近傍の流れの様子、せん断力分布の様子を知ることが意義があると考えられる。本研究では護岸粗度の変化による影響を長方形断面の水路で調べた。棧粗度については、多数研究がなされているので、それらを参考にし、棧表面に孔をあけ、圧力を微差圧計で測定することで、抗力、壁面せん断力を求めることを試みた。

2. 実験概要

実験は、長さ15m、幅93.5cmの長方形断面の水路の、片壁のみに3X3cmの棧を中心間隔30cmに取り付けて行った(水路概形、図1)。各実験条件は、表1に示す。なお、R3については、図1における、測定用棧をA、Bの2種類で行い、それぞれR3(A)、R3(B)とする。圧力測定用の棧には、直径0.7mmの孔をあけ、その部分が鉛直方向にスライドするようにした(図2)。この棧の向きを上流側、水路中央側、下流側の3方向に変え、棧のついていない側の側面近傍に設置したピトー管の静圧管との差圧を、微差圧計を用いて測定した。そして同じ高さの、棧の上流側と、下流側の孔から得られた圧力の差圧から、抗力を計算した。更にこれを棧と棧の間隔30cmの間で分担しているとして、壁面せん断力

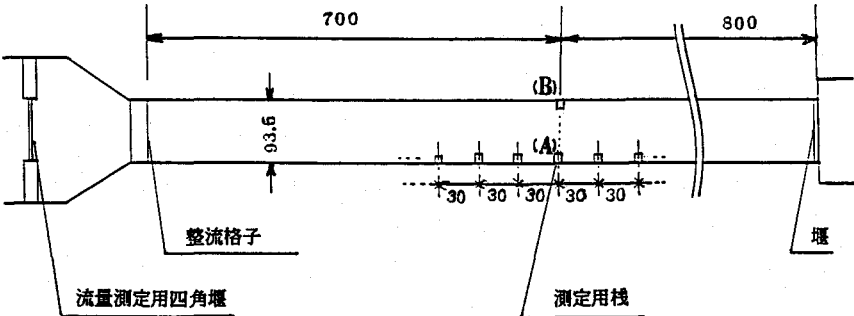


図-1 水路概形(単位cm)

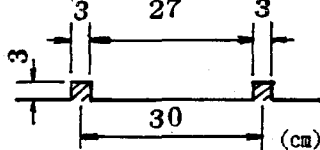


図-2 測定用棧

を求めた。流速は、プロペラ流速計、ピトー管を用い測定した。これらから得られた速度分布から、棧のついた面については、粗面の対数分布式、それ以外の面については、滑面の対数分布式を用い、摩擦速度 U_* 、せん断力 τ 、相当粗度 k_s 、抵抗係数 C_D 、排除厚 δ 、運動量厚 θ 等を求めた。

表一 実験条件

ケース	水深cm	棧粗度	流量 l/s	$Re \times 10^{-4}$	Fr	$i \%$	n
T 1	21.2	なし	81.0	5.96	0.284	0.026	0.0109
R 1	12.4	3×3cm	106.2	8.98	0.831	0.250	0.0116
R 2	22.8	30cm間隔のみ	106.2	7.64	0.333	0.100	0.0182
R 3	33.3	30cm間隔のみ	106.2	6.63	0.189	0.038	0.0191

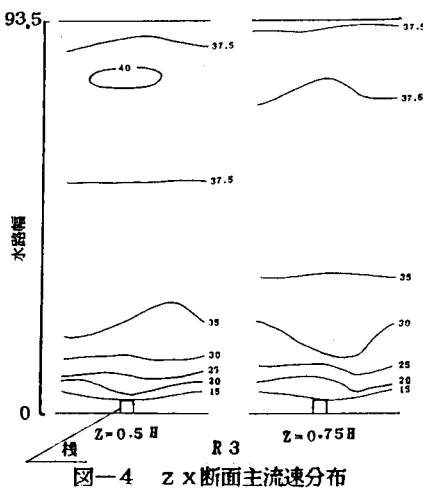
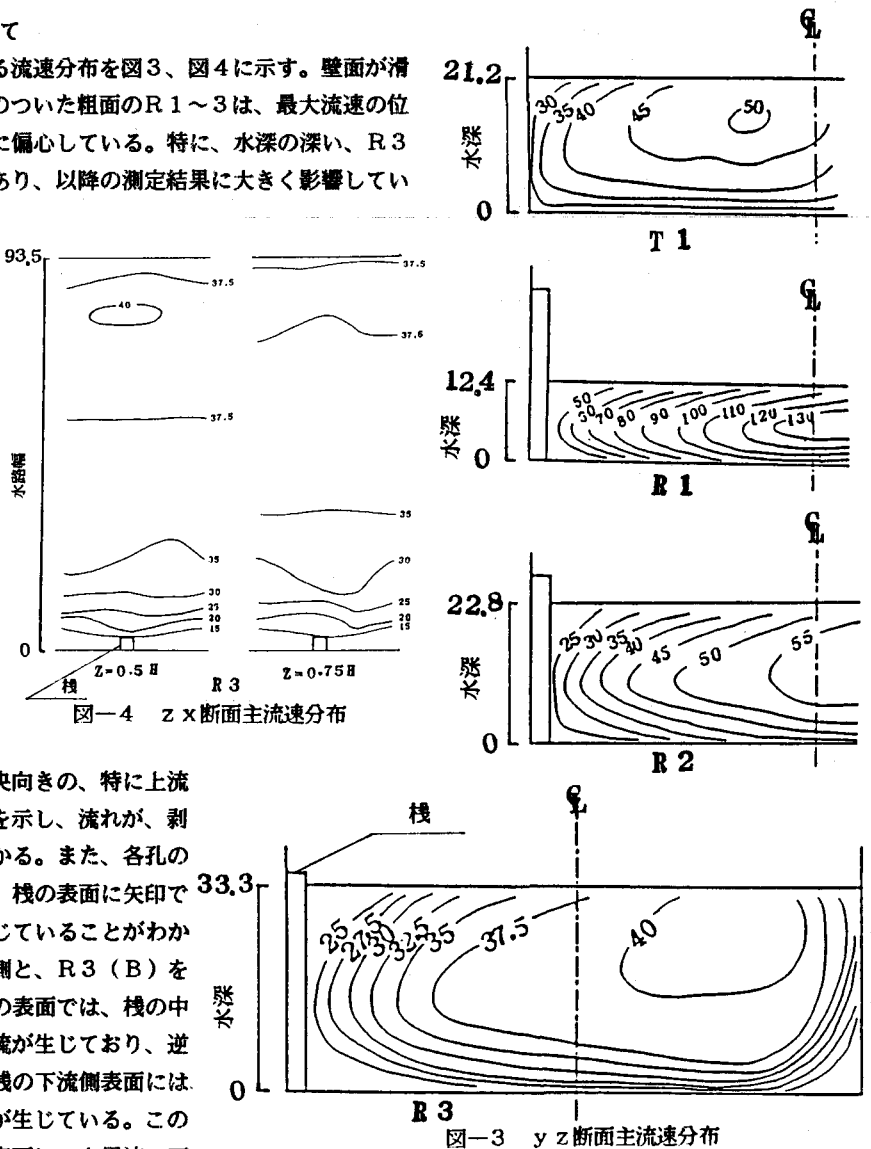
3. 実験結果と考察

3.1 流速分布について

各実験条件における流速分布を図3、図4に示す。壁面が滑面のT 1に比べ、棧のついた粗面のR 1～3は、最大流速の位置が棧のない壁面側に偏心している。特に、水深の深い、R 3の場合それは顕著であり、以降の測定結果に大きく影響していると考えられる。

3.2 棧表面圧力について

図5に棧表面の圧力分布を示す。これらは、棧を図2のように工作して得られた圧力と、棧のついていない壁面側に設置したピトー管の静圧管から得られた圧力を基準にその差圧の分布図である。R 1における上流側は、大きな正の差圧を示



図一 4 z x断面主流速分布

した。逆に、水路中央向きの、特に上流側の孔は、負の差圧を示し、流れが、剥離していることがわかる。また、各孔の圧力の測定結果から、棧の表面に矢印で示すような流れが生じていることがわかる。すなわち、上流側と、R 3 (B)を除く水路中央側の棧の表面では、棧の中程から上昇流、下降流が生じており、逆にR 3 (A)を除く棧の下流側表面には、棧の底部から上昇流が生じている。このように、1つの棧の表面に、上昇流、下

降流の両方が存在することは、結果的に棧の根の洗堀の原因になり、また、棧粗度の面内で流速分布を一様化する効果を示している。R3 (A) については、他のものと比べてやや異なる結果となった。

3.3 抗力、抗力係数について

この棧表面の圧力分布結果を用いて抗力を求めたのが、図6である。図3の流速分布図と比べてみてわかるように、その棧近傍の流速分布と似た分布を示した。これは、壁面からある距離の流速分布に、この抗力が関係していることを示す。この距離と水深等との水理量との関係がわかれば、抗力が見積もれる。しかし、ここでは、ある一定の流速を与えて、抗力係数を求めることを考えた。(3)式より、各ケースごとに、それぞれの断面の最大流速を用い C_D を計算したものを図7に示す。

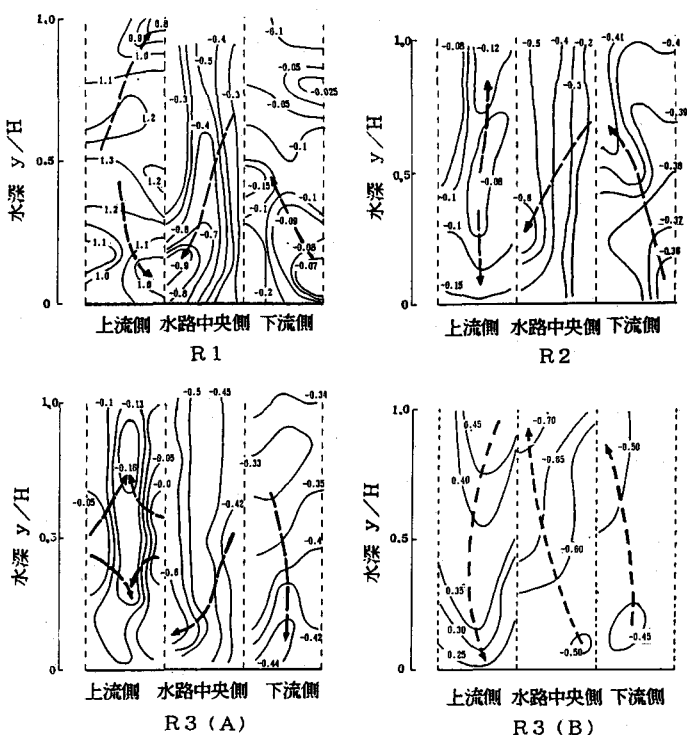


図-5 棧の差圧水頭分布

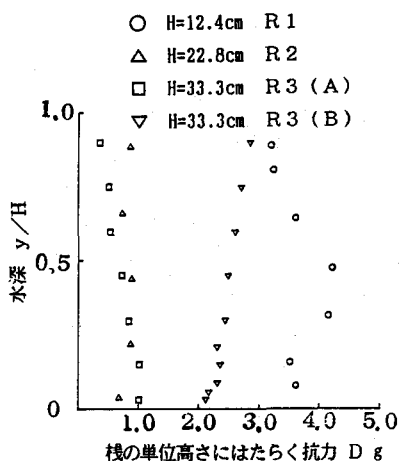


図-6 抗力

$$D = \frac{1}{2} C_D a \rho U^2 \quad (3)$$

ここで、 $\rho: 1.019 \times 10^{-3} [\text{g} \cdot \text{sec}^2 / \text{cm}^4]$
(15°C)

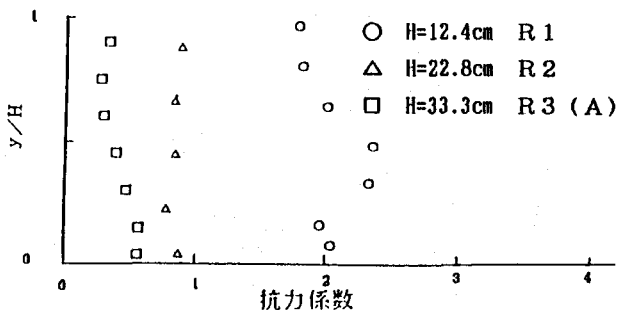


図-7 抗力係数

C_D は棧にそってほぼ一定になっている。流速は、棧の中程で大きいにもかかわらず、抵抗係数がこのようなほぼ一定値を示すということは、抗力を一様化しようとするような二次流がこの中程から、棧の上下方向に発生していることを示す。棧は、この二次流を上下の方向へ、より分断するようにはたらいっている。また逆に、抗力係数を見積もることができるなら、棧にはたらく抗力を計算できることを示している。R3 (A) のケースのみ、やや異なる結果となった。これは、流速も遅く、何か別の要素が測定されているのではない

かと思われる。R3(B)のケースは、棧を並べて設置したときの最も上流がわのものと似た状態を示すと考えられる。流速が小さいにも関わらず、比較的大きな抗力を示した。

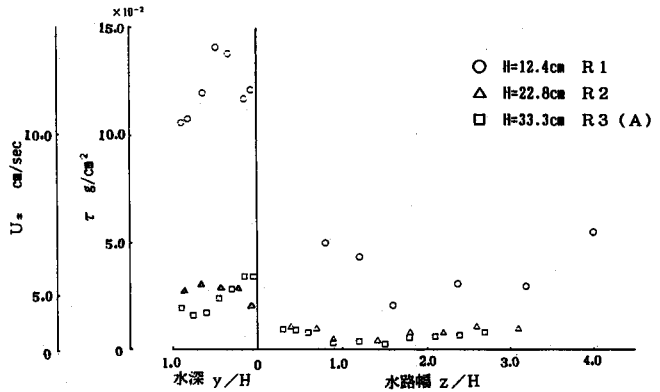
3.4 せん断力分布について

次に、せん断力を求めたのが、図8である。棧のある壁面のせん断力は、底面に比べ、R1~3のいずれの場合も2~5倍の値を示した。ここで底面のせん断力は、図3の流速分布図から、滑面の対数分布式(1)より求めたものである。

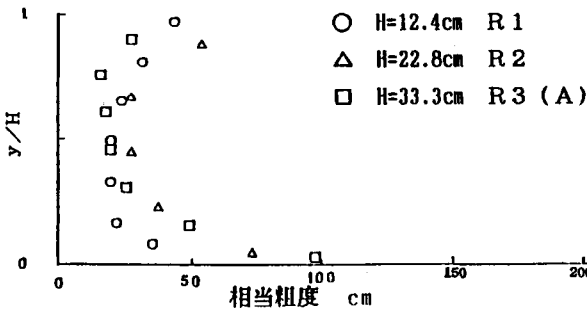
$$\frac{U}{U_*} = 5.5 + 5.75 \log_{10} \frac{U_* Z}{\nu} \quad (1)$$

$$\frac{U}{U_*} = 8.5 + 5.75 \log_{10} \frac{Z + Z_0}{K_*} \quad (2)$$

ここで、 Z_0 は、棧の一辺3cmとし、 $Z_0 = -3$ である



図—8— せん断力分布



図—9— 相当粗度

Z_0 として、粗面の対数分布式(2)を、主流速が、横断方向に成り立つと仮定して、相当粗度 k_s を求めた(図9)。水面、水底付近を除き、ほぼ、 $k_s = 20 \sim 30$ cmとなっているが、これは、Jonassenによる $k_s = 15$ cm前後というものよりやや大きい。しかし、全体としては、せん断力と逆の分布を示し、水深中程で、小さな値を示す。これは、抵抗自体は水深中程の方が大きいのであるが、付近の流速と比べたとき、底面付近のほうがより大きく影響を受け、境界層厚が大きいためだと考えられる。

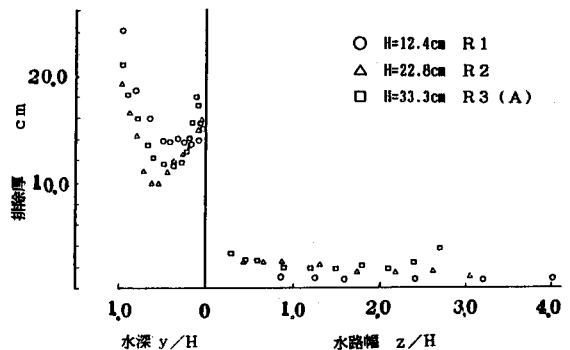
3.6 排除厚、運動量厚について

さらに境界層の影響を調べるために(4)(5)式

底面についてはあまりはっきりとした特徴がみられない。R3(A)のケースのみ特異であるが、棧のある壁面のせん断力は抗力同様、図に示すように流速の大きなところで大きく、底面近付くにつれて小さくなり、底面近傍では十分小さくなって、底面のせん断力分布線となめらかに接続している。

3.5 相当粗度について

さらにこの棧のある壁面のせん断力より、摩擦速度を求め、棧の高さ3cmを仮想底面厚



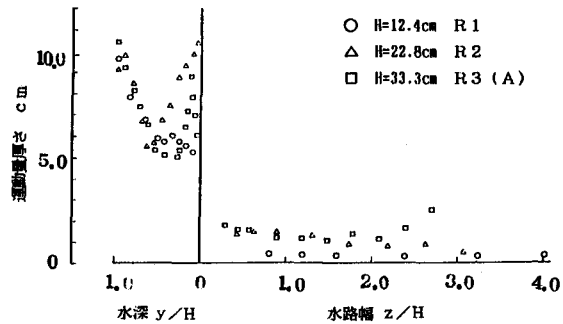
図—10— 排除厚

により排除厚 δ 、運動量厚 θ を求めてみる(図10, 図11)。

$$\delta = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{u}{U_{\max}}\right) dy \quad (4)$$

$$\theta = \int_0^{\infty} \frac{u}{U_{\max}} \left(1 - \frac{u}{U_{\max}}\right) dy \quad (5)$$

ここで、 $U_{\max}$ は、各断面での最高流速の
約99%を示す



図—11 運動量厚

これらは境界層の存在のための、流量、運動量の減少量を表す。いずれもせん断力と逆の分布を示し、水深中程で、小さな値を示した。これも相当粗度の場合と同様の理由によるためと考えられる。

4. まとめ

- 1) 棧にはたらく圧力を差圧計を用いて測定することで、水路の壁面せん断力の算定ができる。
- 2) C_D を用いて棧のせん断力が見積もれ、棧による流水抵抗を見積もることができる。
- 3) これらの観点から、棧のまわりの流れが、棧の根を洗掘するような流れであることがわかる。

参 考 文 献

- 1) 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，No.81，pp.17～24，1962.
- 2) 足立昭平：人工粗度の実験的研究，土木学会論文集，No.104，pp.33～44，1964.
- 3) S. N. Ghosh, N. Roy：BOUNDARY SHEAR DISTRIBUTION IN OPEN CHANNEL FLOW, Proc. ASCE, vol.96, HY4 pp.967～994, 1970.
- 4) 馬場洋二：河川護岸近傍の水理に関する考察，土木研究研究所報告，pp.25～49，1973.
- 5) 萩原義孝：護岸の水理特性に関する実験的研究，1989.