

## 三郷堰頭首工における護床ブロックの粗度について

前川 勝 朗

(山形大学農学部農業水文学研究室)

### On the Roughness of Riprap Concrete Blocks at the Sangozeki Head Works

Katsuro MAEKAWA

(Laboratory of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture,  
Yamagata University, Tsuruoka, Japan)

#### I. はじめに

筆者らは、三郷堰頭首工の水理模型実験を行い、この頭首工の水理設計を検討してきた<sup>1)</sup>。そして、三郷堰頭首工の上、下流護床工には既成コンクリートブロックのタイプである「三連ブロック」が使用された<sup>2)</sup>。

本報は、三連ブロックを含めた3種類の既成コンクリートブロックの粗度（流水抵抗）について基礎実験を行い、三郷堰頭首工における護床ブロックの粗度について検討したものである。

さて、護床工に要求される主な条件は、護床工全体の安定性（連結性）、減勢効果と局所洗掘の防止（流水抵抗の調節）、屈曲性（沈下適応性）、耐摩耗性、土砂の流下性、吸出し防止である<sup>3)4)</sup>。そして、既成ブロックの選定は、ブロックの滑動・転倒に対する安全性、粗度、経済性等からもなされよう。なお、ブロックの諸元（形状、重量等、ただし一層並べを対象）が既知であると、ブロックの滑動・転倒に關する主因子は、ブロックに作用する流速とブロックと河床間の摩擦係数となる<sup>5)</sup>。

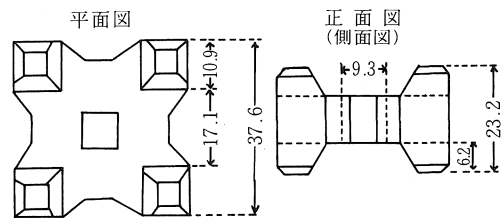
護床ブロックの選定条件のうち粗度については次のような観点が重要であろう。「護床工末端付近の水理量は、これに続く下流河川と同値とすることにより、護床工末端の局所洗掘を防止することができる<sup>6)</sup>とされ、「…粗度の与え方としては、護床工下流側の河川と同程度がよいと思われる<sup>7)</sup>となっている。すなわち、護床工と河川の流水抵抗を等しくすることにより、護床工下流端での局所洗掘を防止しようとするのであり<sup>3)</sup>、局所洗掘上からも護床ブロックの粗度選定は一課題なのである。

#### II. 実験装置と実験方法

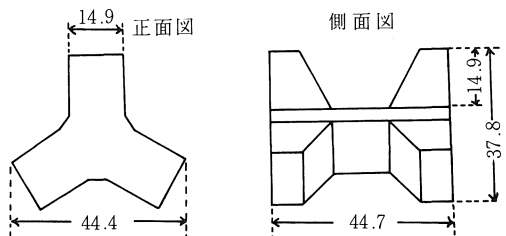
基礎実験は、長さ20m、幅0.76mの片側ガラス張り

鉄製長方形水路の中ほどに既成の護床ブロックを設置して行った。護床ブロックは、護床ブロックの高さだけ水路底を低くした長さ3m、幅0.76m部分（水路全幅）に全面に一層積みで水平に敷並べ接着剤で底部に固定させた。護床ブロックの天端は護床ブロックが未設置の上、下流水路底標高（水路は水平設置）と同高である。

実験に使用した護床ブロックは、「ホロスケヤー」<sup>8)</sup>、三連ブロック<sup>8)</sup>、「コーケンブロック」<sup>9)10)</sup>の3種類である。これらの護床ブロックは原型に対してほぼ相似形のもので、いま原型を1ton型（呼び名）とすると、本実験で使用したブロック形状はホロスケヤー（実重量0.82ton）、三連ブロック（実重量1.044ton）、コーケンブロック（実重量1ton）の順におよそ1/30、1/27、1/30の縮尺のものである。実験に用いたブロックの材質は、ホロスケヤーと三連ブロックは合成樹脂製、コーケンブロックはゴム製である。



図一. 1 ホロスケヤーの模式的形状(単位: mm)



図一. 2 三連ブロックの模式的形状(単位: mm)

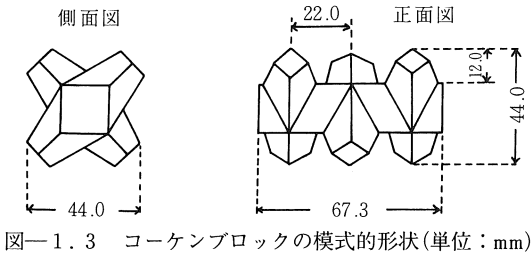


図-1.3 コーケンブロックの模式的形状(単位:mm)

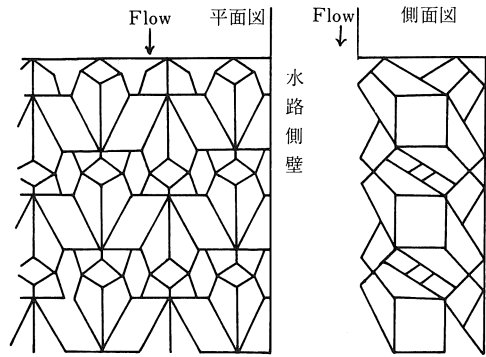


図-2.3 コーケンブロックの配列

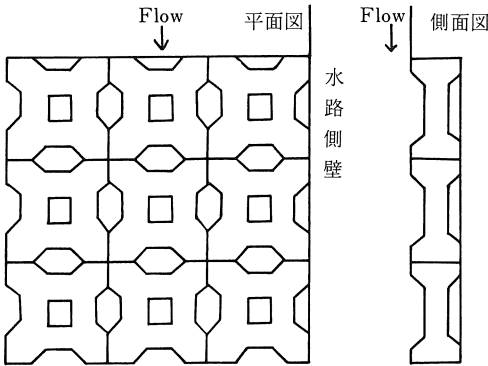


図-2.1 ホロースケヤーの配列

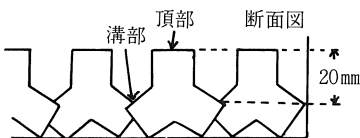
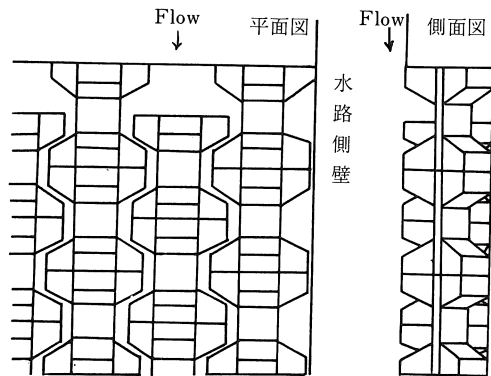
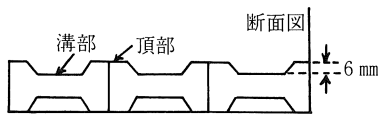


図-2.2 三連ブロックの配列

各ブロックの模式的形状と実験でのブロック配列を図-1, 図-2に示した。使用したブロック個数は、ホロースケヤーは水路幅方向19個, 流下方向76個の計1,444個

であり, 三連ブロックは幅方向22個×64個(流下方向)で計1,408個, コーケンブロックは幅方向33個×103個で計3,399個である(コーケンブロックの個数は1粗度(突起)を1個としたが模型ブロックは数個連らなっている)。

実験は, 最初に図-2のブロック配列状態で, 実験流量10~53 l/sを通水し, 実験水路末端の可動堰を調整して, 護床ブロック上にフルード数  $Fr \approx 0.2 \sim 0.6$  を実現させて水深を測定した。水深の測定箇所は, ブロック配置の始端と末端でそれぞれ2箇所, ブロック配置始端から0.75 m 間隔の水路センターで3箇所の合計7箇所で, ポイントゲージにより入念に測定した。

次に, 流下方向に3 m 敷設した護床ブロックの中間部(幅に対しても中間部)で径2 mmのピトー管を用いて流速分布を測定した。測定した流況は, 実験流量約30 l/sで  $Fr \approx 0.55$ とした場合と実験流量約50 l/sで  $Fr \approx 2.4$ の場合である。なお, 護床ブロック上で射流を実現させるため, 護床ブロック始端の上流約0.5 m地点に底部流出の刃型ゲートを設置した。

流速分布の測定は, 図-2の護床ブロックの頂部と溝部から行った。

### Ⅲ. 実験結果

#### 1. Manningの粗度係数nについて

7箇所の水深測定地点(水深の原点は水平設置の上, 下流水路底とした)でそれぞれ速度水頭を計算し(エネ

ルギ係数 $\equiv 1$ ), この値に水深を加えて各水深測定地点における比エネルギーを求めた. 次に, 各水深測定地点における比エネルギーと護床ブロック始端を原点とした距離の関係を直線式で表わし, データを統計処理して傾き(エネルギー勾配)を求めた. さらに, この勾配を用いて護床ブロックの中間地点の水深を求め(護床ブロック始端から1.5 m 地点の推定水深), この水深を用いて次式により Manning の粗度係数  $n$  を逆算した.

$$n = \frac{Bh}{Q} \cdot \left( \frac{Bh}{B+2h} \right)^{2/3} I^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで,  $B$ : 水路幅(m),  $h$ : 水深(m),  $Q$ : 流量( $m^3/s$ ),  $I$ : 勾配, 通水断面積: 長方形と近似.

なお,  $Fr$  が小さい流れの場合, 水深測定に誤差を伴いやすく(水面勾配が緩い),  $n$  値もばらつくので, ここでは水面勾配がおよそ  $1/1,500$  より急な流況の場合を対象とした.  $1/1,500$  は 3 m (実験での護床ブロック長) で 2 mm の水位差に相当する.

0.020, 三連ブロックが 0.015~0.025, コーケンブロックが 0.015~0.030 であって, それぞれのデータを平均するとホロースケヤーは 0.0156, 三連ブロックは 0.0186, コーケンブロックは 0.0192 であった. いま, 1 ton 型(呼び名)の場合にこれらの  $n$  値を換算すると, 先の順にそれぞれ 0.0275, 0.0322, 0.0339 となる.

一方, ここで対象とした既成コンクリートブロックの粗度係数が示されている<sup>5)8)10)</sup>. 粗度係数は, 護床ブロックの規格と配列, 堆砂状況によって異なるので, ここでは本実験状況に対応するものを選択し, 1 ton 型で示すと次のようである.

ホロースケヤーでは  $n=0.030$  であり, この値は「並列配置」で砂礫が堆積しない場合である<sup>5)</sup>. 三連ブロックでは  $n=0.036$  で, 配列が「縦方向」である<sup>8)</sup>.

コーケンブロックではブロックの高さ  $H_1$  (本実験装置の場合, 図-1. 3 から 4.4 cm) と水深の比によって粗度係数が変化するとカーブを示している<sup>10)</sup>. (1) 式で  $n$  を求める際に使用した水深は, 4.4~23.0 (cm) で平均すると 11.26 cm であった. これより  $h/H_1 \approx 2.56$  となり, 先のカーブ<sup>10)</sup> ( $h/H_1 \approx 0.5 \sim 3.0$  の範囲におけるカーブ) によれば  $n=0.0325$  である. しかし, 実験データの範囲でみると,  $h/H_1 \approx 2.56$  でも  $n \approx 0.03 \sim 0.037$  の幅をもっている<sup>10)</sup>.  $n$  値は, 厳密には水深等によって変化するが, 本実験では水深の変化による顕著な傾向はみられなかった.

以上, ここでは既成コンクリートブロック 3 種類における Manning の粗度係数  $n$  の値を示した. 実験値は既往の値<sup>5)8)10)</sup> と比べ 1 割程度の差異がみられるが, 実験状況によって  $n$  値が異なること等を考えると, ほぼ妥当な値といえよう.

2. 流速分布

護床ブロックの頂部を基準(図-2 参照, 図-4 では縦軸の 0 点が頂部)として, 三連ブロック, コーケンブロックにおける常流時の流速分布, 射流時の流速分布を示したのが図-4, 図-5 である. 図-4, 5 によると, 護床ブロックの流速分布は割合スムーズであり, 特に溝部内において流速が極端に減速することなく連続的に変化しているのは興味深い. そして, ブロック頂部より 1 mm 上の部分の流速をみると, ブロック頂部真上の流速値(○印で記入)は溝部真上の流速値(△印で記入)に比べて小さい. これは, 頂部(壁面)の存在がブロック頂部真上のある区間(図-4 では頂部から約 0.5 cm の区間)までの流況に影響していることを示している. このことは, ブロック頂部真上のある区間までの横断面(流

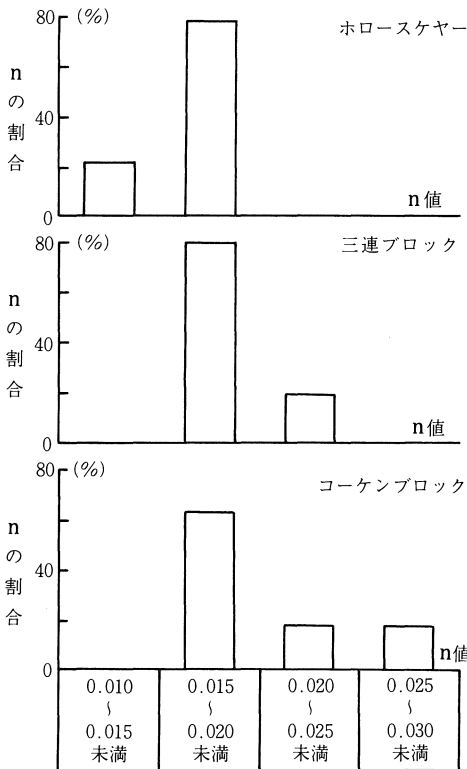
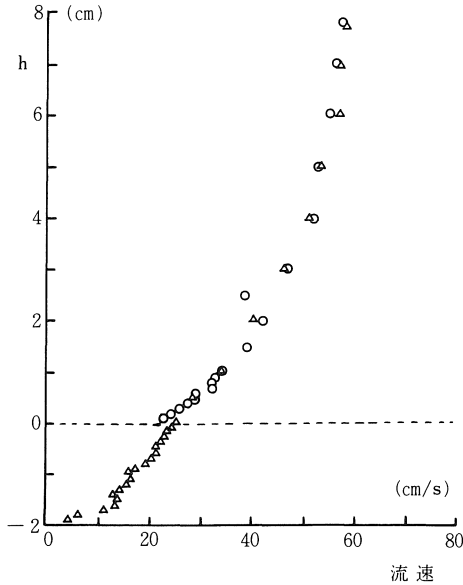


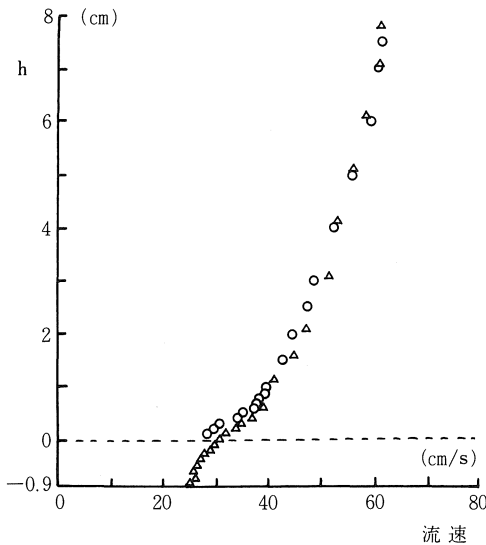
図-3 護床ブロックの粗度係数

各護床ブロックごとに  $n$  値を示したのが図-3 であり, 護床ブロックの  $n$  値は, ホロースケヤーが 0.010~

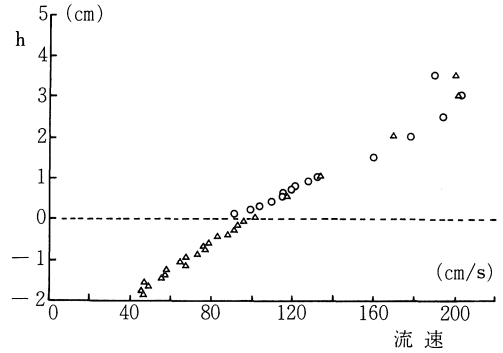
下方向に対する)の流速分布は、頂部が位置するところで凹型、溝部が位置するところで凸型の横断面流速分布となることを意味していよう。



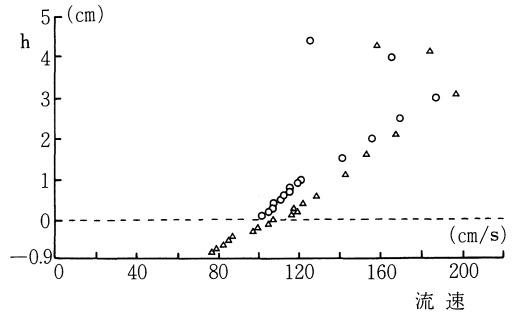
図—4. 1 三連ブロックの流速分布 (常流時で実験流量 30l/s,  $Fr=0.525$ , 水深  $h=8.32$  cm の場合)



図—4. 2 コーケンブロックの流速分布 (常流時で実験流量 30l/s,  $Fr=0.557$ ,  $h=8.00$  cm の場合)



図—5. 1 三連ブロックの流速分布 (射流時で実験流量 45l/s,  $Fr=2.446$ ,  $h=3.91$  cm の場合)



図—5. 2 コーケンブロックの流速分布 (射流時で実験流量 51l/s,  $Fr=2.299$ ,  $h=4.43$  cm の場合)

いま、ブロック頂部より 1 mm 上の部分の流速  $V_0$  と最大流速  $V_{max}$  の比をみると、常流時では  $V_{max}/V_0 \approx 2.4$ 、射流時では  $V_{max}/V_0 \approx 2.1$  であって、射流時の値が幾分小さい。この傾向は、 $V_0$  の代りに溝部真上の同高の流速値を用いても同じであった。一般に開水路の流速分布は常流に比べ射流の場合が一様であるが、水路底に護床ブロックがある場合にも本実験の範囲では同様の傾向であった。

以上、ここではピトー管を用いて護床ブロック付近の流速を測定し、これを基に護床ブロック付近の流況を示した。図—4, 5の傾向は、ホロースケヤーの場合も同じである。

なお、護床ブロックにおける Manning の粗度係数には粗度 (相当砂粒粗度)、径深等の因子が関与し、これらの因子は一般に流速分布との関わりで検討される<sup>11)</sup>。しかし、流況は複雑であり<sup>12)</sup>、かつ計測上のことも関わっ

て護床ブロック付近の内部構造の解明は不十分な段階であり、今後の課題と思われる。

#### IV. 三郷堰頭首工付近の河床粗度について

三郷堰頭首工設置付近における最上川の河床粗度を次のように求めた。

建設省の一連番号 No. 88～No. 95 地点では、河川横断面形状が実測されている。No. 89地点は、およそ三郷堰頭首工設置地点に位置し、番号の数字が大きい方が上流で、各地点間の距離は約 200 m である。

最初に、各地点の実測の横断面形状を用いて、任意の水深に対する各断面の通水断面積と径深を求めた。次に、No. 88断面において河川流量に対する水位を与え<sup>13)</sup>、Manning の粗度係数  $n$  を仮定し、Esoffier の図式解法で上流への水面追跡を行った。次に、順次  $n$  を変え、同様の手順で上流水位を求めた。

一方、No. 88～No. 95地点では水位が実測されている(河川流量約  $30\text{m}^3/\text{s}$  の場合)。各地点における実測水位と計算水位を比較すると、 $n=0.03$ の場合に最も実測水位と計算水位の値が近づく傾向であった。これより、三郷堰頭首工設置付近の河床粗度は  $n=0.03$ とすることにした。

さて、護床工に与える流水抵抗は、一般に河床を構成する平均粒径の移動限界時の値とする<sup>3)4)14)</sup>。この方法による護床工の計算例<sup>4)14)</sup>に従い、三郷堰頭首工付近の水理諸元<sup>2)13)</sup>(河川勾配  $1/1,350\sim 1/1,500$ 、平均粒径  $2.18\text{cm}$ )を用いて計算すると  $n=0.030$ であった。

これらのことから、三郷堰頭首工における護床ブロックの流水抵抗は Manning の粗度係数  $n$  の値で  $n=0.03$ としてよいものと思われる。

#### V. むすびに

本報は、三郷堰頭首工における護床ブロックの粗度について実験的に検討したものである。

最初に、3種類の既成コンクリートブロックにおける Manning の粗度係数  $n$  の値と護床ブロック付近の流速分布を基礎実験によって調べた。

次に、三郷堰頭首工付近における最上川の河床粗度の算出事例を示し、流水抵抗は Manning の  $n$  値で  $n=0.03$ としてよいことを述べた。

I. に述べた護床工に要求される諸条件、粗度、さらに頭首工計画地点付近の実績(三連ブロックは、最上川と寒河江川の合流点直下流の天童堰<sup>3)</sup>に用いられ十分に機能している)等が総合的に検討され、三郷堰頭首工の

上、下流護床工には 5 ton 型(呼び名で実重量は 4.901 ton)の三連ブロックが選定され、施工された。

さて、実験による  $n$  値を 5 ton 型三連ブロックに換算すると  $n=0.035$ である。実際の河川粗度は  $n=0.03$ であり幾分大きめの護床ブロック粗度となっているが、三郷堰頭首工における護床ブロックの配置は水理模型実験によって定めたものであり<sup>2)</sup>、三連ブロックの空隙に砂礫が堆積することを考えると特に問題はないものと思われる。なお、5 ton 型三連ブロック(縦方向配列)の  $n$  値については不明で、4 ton 型(呼び名で実重量 3.885 ton)では  $n=0.056$ となっている<sup>8)</sup>。

実験に際し、山形大学農学部昭和56年卒内山錦一氏の協力をいただいた。研究に際し、山形県山形平野土地改良事務所、三郷堰土地改良区の職員各位にご支援、ご鞭撻をいただいた。記して謝意を表する次第である。

#### 引用文献

- 1) 山形県(1986)：県営鉍毒対策事業三郷堰地区事業誌, pp. 58-166
- 2) 前川勝朗ら(1983)：三郷堰頭首工の水理設計について, 農土誌51(2), pp. 33-40
- 3) 農業土木学会京都支部(1980)：河川構造物とくに頭首工の諸問題について(昭和54年度研修会), 農土誌48(5), pp. 23-25
- 4) 農林水産省構造改善局(1979)：土地改良事業計画設計基準, 設計, 頭首工, pp. 110-112
- 5) 菱和コンクリート K. K. (1978)：ホロースケヤー工法, pp. 1-49
- 6) 川合 享(1971)：頭首工の水理設計に関する研究(Ⅱ)一取入れ口と護床工の水理設計一, 農業土木試験場報告, 9, pp. 133
- 7) 同上 6) pp. 108
- 8) 日建工学 K. K.：消波根固用ブロック, 3連ブロック設計資料, pp. 1-38
- 9) 日本コーケン K. K. (1979)：コーケン Block, pp. 1-47
- 10) 日本コーケン K. K. 技術部(1975)：コーケンブロックの粗度係数, pp. 1-5
- 11) 北海道開発局(1972)：根固工に関する研究, 第15回北海道開発局技術研究発表会, 指定課題 A (河川部門), pp. 91-122
- 12) 足立昭平(1963)：人工粗度の実験的研究, 土木論集, 104, pp. 33-44

- 13) 前川勝朗：三郷堰頭首工の水理に関する研究，山形大学紀要（農学），10(2)投稿中
- 14) 農業土木学会(1982)：頭首工の設計，演習シリーズ No. 1, pp. 81-85

#### Summary

This paper discusses experiments on the roughness of riprap concrete blocks at the Sangozeki Head Works.

Basic experiments were performed on three types of riprap concrete blocks. Manning's Coefficient of roughness was measured for each block type, and the velocity distribution in the vicinity of each block type was investigated.

Next, observed values were used to estimate the river bed roughness in the vicinity of the Sangozeki Head Works and the actual roughness of riprap concrete blocks. It was found that the values for the roughness of both agreed approximately.

On the basis of these results and various conditions of riprap, one of these types of riprap concrete blocks was selected, and was installed in the construction work.