

突起高の大きい護岸ブロックに作用する流体力と流れに関する研究

防衛大学校 正会員 ○林 建二郎
 防衛大学校 学生会員 今野 政則
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 浜口憲一郎
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 阿部 康紀

1. はじめに

護岸ブロックの力学設計においては、ブロックの水力特性値（抗力係数、揚力係数や相当粗度等）を適切に評価する必要があり¹⁾、多くの水力実験が行われブロック形状による整理・分析が行われている²⁾。しかし、その中で水深に対して突起高が大きなブロックの場合、相当粗度があまりにも大きな値となる問題点を生じてきた³⁾。

本研究は、水深に対して突起高の大きなブロックにおける上記問題点の原因を明らかにし、適切な評価法を提案することを目的として、六脚ブロックに作用する流体力とその周りの流速計測を行ったものである。

2. 実験装置および方法

実験には、図-1に示す還流装置付き二次元造波水槽（長さ40m、幅0.8m、高さ1m）を用いた。水槽の一区間を20cm底上げし、長さ8.3mのステンレス板製の水平床を作成した。辺長=3.1cmの立方体を7個組み合わせた六脚ブロックを、水平床の一区間（長さ=6.53m）に設置した。水路横断方向および長さ方向への設置列数は9列と85列である。ブロック一個の水路横断方向幅は8.3cm、水路流れ方向の長さは $l_b=7.7\text{cm}$ である。ブロックの設置間隔は2mmである。河床からブロック上端までのブロック全体高は $h_a=8.6\text{cm}$ である（図-2参照）。

ブロック群の上流端から下流へ4.82mの位置の水路幅中央に設置されたブロック一個に作用する流体力を、水路床下部に設けた3分力計（日計電気(株)；定格容量=9.8N（1kgf））を用いて計測した。ブロックに作用する流体力の流れ方向成分 F_x を抗力 D とする。

ポイントゲージと容量線式波高計を用いて、水平床面と水表面の標高（=水平基準面からの高さ）をそれぞれ計測し、ブロック群内各点における水深 h （=水表面の標高-水平床面の標高）を評価した。本ブロック群上の流れは、流れ方向に水深が緩やかに減少する常流の漸変不

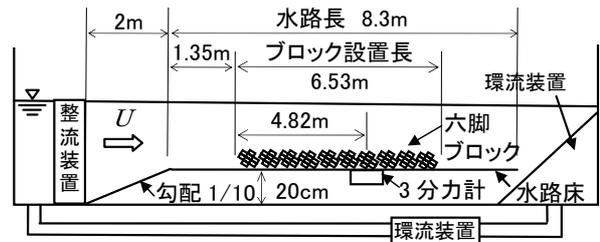
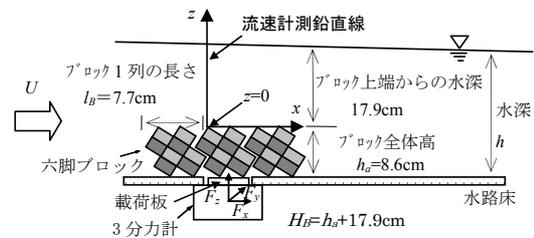
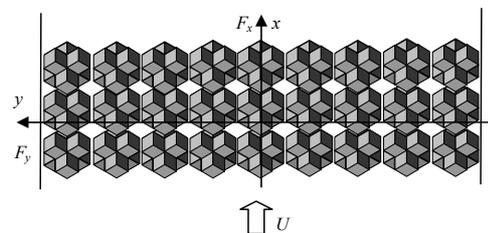


図-1 実験装置の概略図



a) 側面図



b) 平面図

図-2 六脚ブロック群の設置概況図

等流である。全実験ケースにおいて、力計測用の六脚ブロックを設置した場所での水深は $h=26.5\text{cm}$ に調節した。

力計測用ブロック周りの流速分布計測には、二成分レーザー流速計(Dantec社製)を用いた。流速測定体積部の最大寸法は1mm以下である。

3. 結果および考察

六脚ブロック一個の体積は $208.5\text{cm}^3(=3.1\times 3.1\times 3.1\times 7)$ 、重さは2.57N（0.263kgf）である。本ブロック1個の抗力

キーワード 護岸ブロック、流体力、レイノルズ応力、壁面せん断力、相当粗度、水面勾配

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel 0468-41-3810

作用面積(=流れ方向への投影面積)は $A_d=61.2\text{cm}^2$ である。

本実験では、このブロック765個(=9×85)を、長さ6.53m、幅0.8m、高さ8.6mの直方体空間内に設置している。従って、この直方体空間内における敷設ブロック体積の占有率は $0.355(=208.5 \times 765 / (653 \times 80 \times 8.6))$ 、空隙率は 0.645 である。ブロック1個が占める床面積を粗度要素支配面積 A_c と定義すると、 $A_c=68.3\text{cm}^2(=5.224\text{m}^2/765)$ となる。

力計測用ブロックの上流側上端点を流速計測鉛直位置の原点とし、その鉛直上方に z 座標軸、流れ方向に x 座標軸、水路横断方向に y 軸をとる(図-2参照)。高さ z における水平方向(x 方向)流速成分の時間平均値を U 、その乱れ成分を u' とする。鉛直方向(z 方向)流速成分の時間平均値を V 、その乱れ成分を v' とする。 U の、 $z=0$ から水面 $z=h$ までの鉛直断面平均値を U_m とする。

$x=0, y=0$ の位置における U の水深方向分布を U_m をパラメーターとして図-3に示す。本ブロック群内においては、空隙率 $=0.645$ の間隙が存在するために流速が存在する結果、ブロック上端面($z=0$)近傍における流速は $U=0$ に近づかず、変曲点を有しブロック空隙内の流速に接続している。力計測用六脚ブロック近傍における水面勾配 $I=dh/dx$ は、 0.01 ($U_m=73.8\text{cm/s}$ の場合)以下であった。

漸変不等流である本開水路流れの高さ z での全せん断応力は(1)式で表される。 p は圧力、 τ は全せん断応力(= $\mu \partial U / \partial y - \overline{u'v'}$)である。 μ は水の粘性係数である。

$$\tau = -\rho g \frac{\partial h}{\partial x} (h-z) - \frac{\rho}{2} \int_z^{h-h_a} \frac{\partial U^2}{\partial x} dz \quad (1)$$

ρ は水の密度、 g は重力加速度である。

$x=0, y=0$ におけるレイノルズ応力 $-\rho \overline{u'v'}$ の水深方向分布を、 U_m をパラメーターとして図-4に示す。図中に示す実線は、水面勾配($-dh/dx$)と U を(1)式に代入し求めた全せん断応力(= $\mu \partial U / \partial y - \overline{u'v'}$)の計算値である。実測値と計算値の一致は良好である。 x に対する U の変化が緩やかな結果、レイノルズ応力 $-\rho \overline{u'v'}$ は、水面よりブロック上端面まで水深にほぼ比例して増加している。

ブロック上端部($z=0$)における $-\rho \overline{u'v'}$ の計測値より評価した τ_B を τ_{BR} とする。(1)式による τ_{BR} の算定値(積分範囲を $0 < z < h-h_a$ とする)を τ_{BRC} とする。ブロック1個に作用する抗力 F_x の単位床面積当りの大きさを τ_{BD} (= F_x / A_c)とする。(1)式による τ_{BD} の算定値(積分範囲を $-h_a < z < h-h_a$ とする)を τ_{BDC} とする。

これら τ_B の平均流速 U_m に対する変化特性を図-5に示す。 τ_{BR} と τ_{BRC} および τ_{BD} と τ_{BDC} の一致は良好である。

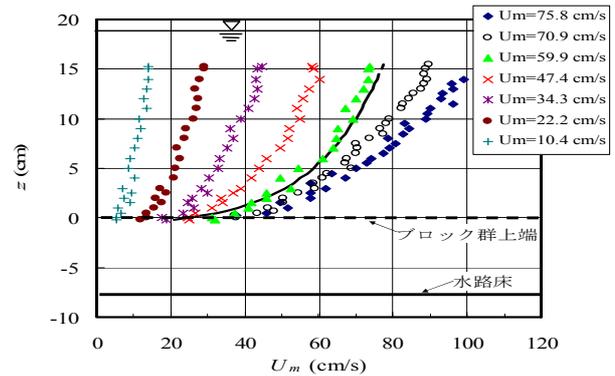


図-3 流速分布

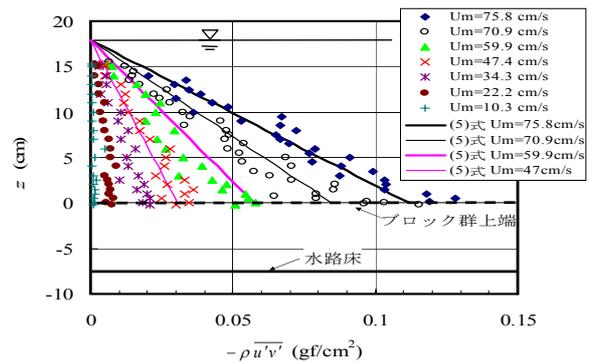


図-4 レイノルズ応力の分布

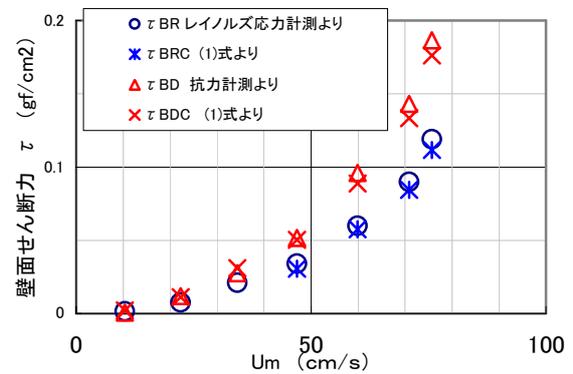


図-5 τ_B の平均流速 U_m に対する変化特性

U_m の実測値とレイノルズ応力計測による τ_{BR} を用いて、本六脚ブロック群の相当粗度 k_s を算定した。相当粗度は、 $7\text{cm} < k_s < 12\text{cm}$ の範囲であった。栈粗度の場合、相対栈間隔(栈粗度の間隔/粗度高さ)が10前後で、相当粗度は粗度高さの4~6.5倍となる結果が報告されている⁴⁾。

参考文献 1) 財団法人国土開発技術開発センター編：護岸の力学設計法，山海堂，2003. 2) 護岸ブロック試験法検討委員会編：護岸ブロックの水利特性試験法マニュアル，財団法人土木研究センター，1999.7. 3) 財団法人土木研究センター：護岸ブロックの試験法，開発研究平成12年度報告書，2001.3. 4) 富永晃宏：栈粗度の相対栈間隔が開水路の乱流構造に及ぼす影響，水工学論文集，第36巻，pp.163-168，1992.