

ブランチブロック護岸模型の 枝材配列形状の変化による流れ構造の特徴

CHARACTERISTICS OF FLOW STRUCTURE OVER THE BRANCH BLOCK BANK PROTECTION MODEL CAUSED BY CHANGE OF GEOMETRICAL ARRANGEMENT OF BRANCH PARTS

渡辺勝利¹・吉村隆顕²・原 隆³・福田直三⁴・河内義文⁵
Katsutoshi WATANABE, Takaaki YOSHIMURA, Takashi HARA, Naozo FUKUDA
and Yoshifumi KOUCHI

^{1,3}正会員 博士（工学）徳山工業高等専門学校教授 土木建築工学科
（〒745-8585 山口県周南市学園台3538）

²非会員 ㈱吉工園（〒759-2125 山口県美祢市西厚保町原1675-2）

⁴フェロー会員 工学博士 復建調査設計株式会社（〒732-0052 広島市東区光町2-10-11）

⁵正会員 博士（工学）株式会社ケイズラブ（〒753-0214 山口県大内御堀1667-1）

In this study, characteristics of flow structure over the Branch block bank protection model caused by change of geometrical arrangement of branch parts are examined using velocity measurement and flow visualization techniques. The geometrical arrangements of branch part have two kinds. The one is an upward arrangement in which branch parts are set on the bank as upward steps with flow direction. The other one is a downward arrangement which corresponds to upward arrangement with reversing flow direction. The results of the velocity measurements show that flow over the upward arrangement and the downward arrangement differ remarkably from each other in characteristics of primary velocity profiles and secondary flow profiles. It is inferred that the difference of coherent structure over the both arrangement of block model result in the difference of velocity profiles. On the basis of these results, conceptual schematic of the flow structure over the Branch block bank protection model is suggested.

Key Words: Branch block bank protection, geometrical arrangements, secondary flow, streamwise vortex, flow visualization,

1. 著 論

護岸は、堤防および低水河岸の流水による浸食を防御する目的で設置される重要な河川工作物である。近年、河川法の改正による多自然河づくりの実施に伴い、環境に配慮したさまざまな護岸ブロックが開発されると同時に、その力学的設計法^{1), 2)}や試験法³⁾が提示されている。これまでも、様々な護岸ブロックが提案され、その水理特性が検討されている^{4), 5)}。

本研究の対象としたブランチブロックは、図-1に示すように1本の幹材に、その両端から3方向に枝材を配置した鉄筋コンクリート製ブロックである。本ブロックをハニカム状に配列し、その背後に石材を空積みすることにより、図-2(a)のような擁壁を築造できる。その施工表面は同図(b)のように、鉛直、傾斜した2本の枝材から構成される棧型粗面となっている。3本の枝材の内1

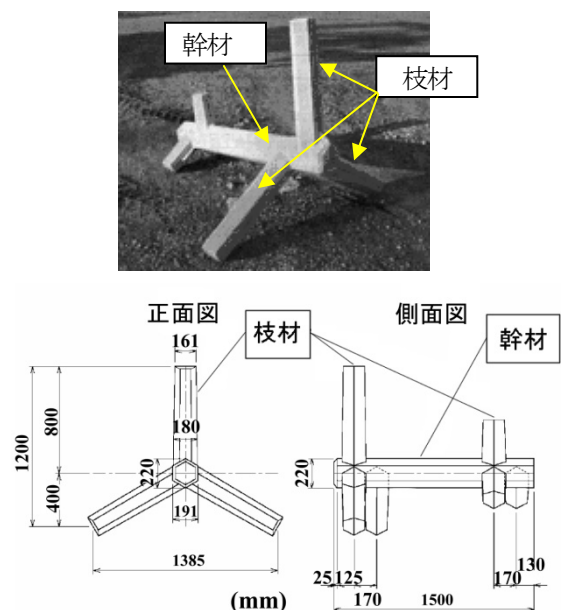
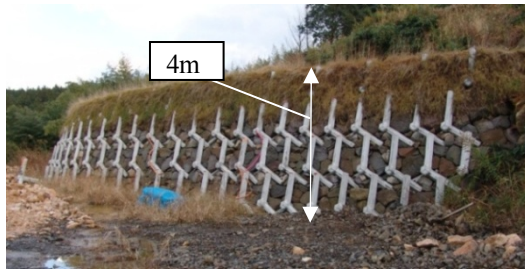
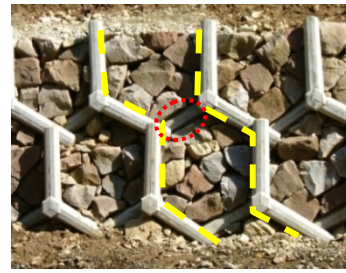


図-1 ブランチブロック外観およびスケール

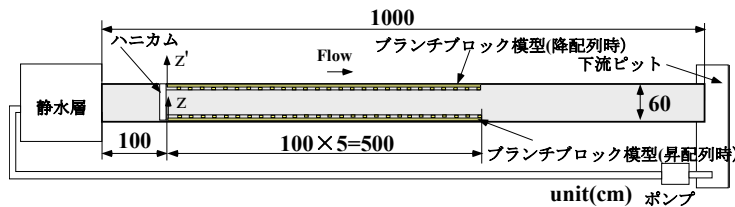


(a) ブランチブロック施工例

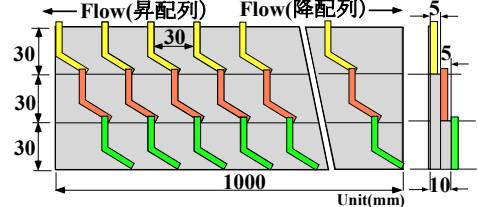


(b) 施工表面

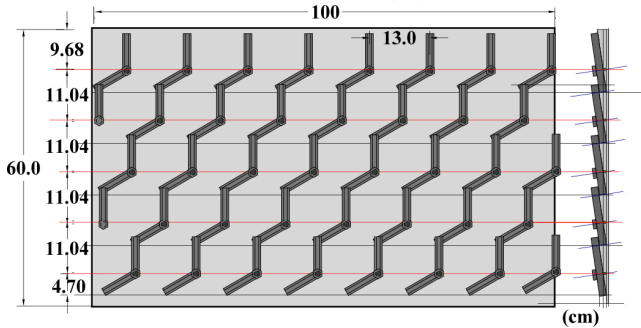
図-2 ブランチブロック施工例と表面形状



(a) 実験水路概略



(b) ブランチブロック模型 (1/40スケール)



(c) ブランチブロック模型設置概略および設置外観(1/10スケール)

図-3 実験水路およびブロック模型概略

表-1 実験条件一覧

Case	B(cm)	H(cm)	B/H	ν (cm ² /sec)	Q(cm ³ /sec)	Um(cm/sec)	Re(Um $\cdot$ H/ ν)	Fr(Um/(gH) ^{0.5})	護岸の状態
A	60	4.3	14.0	0.01204	2150	8.5	3019	0.130	昇配置
B	60	9.1	6.6	0.01204	3250	6.0	4536	0.064	〃
C	60	9.1	7.1	0.01308	2464	4.9	3168	0.053	〃
D	60	4.3	14.0	0.01020	3400	13.3	5602	0.205	降配置
E	60	9.1	6.6	0.01084	3390	6.3	5228	0.067	〃
F	60	8.5	6.6	0.01084	2344	4.3	3614	0.046	〃
G	60	11.4	5.3	0.01204	8800	12.2	11551	0.115	1/10スケール模型

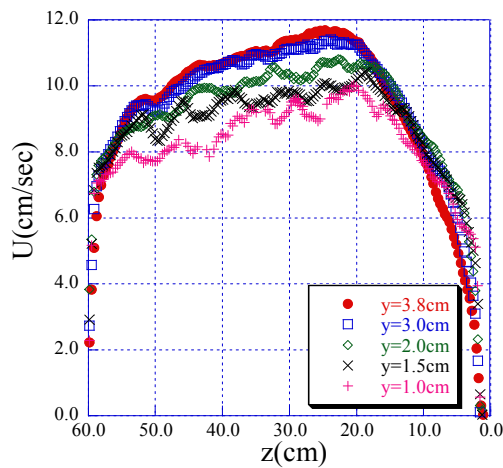
本は後端方向にずらして取り付けられているため、赤破線で示すように表面には現れない。また、鉛直および斜めの枝材によって、黄色破線で示すようにジグザク状の流路が生成される。この流路が流れ方向に対して、水表面に向かって上昇する形態を昇配列、水路底面方向に下降する形態を降配列と呼ぶことにした。著者らは、すでに昇配列における流れ場の流速分布特性および内部流況の特徴を検討した⁶⁾。その結果、護岸模型付近の顕著な減速効果が得られること、枝材によって大規模な渦構造が形成され、それが減速効果に寄与していることを明らかにした。降配列における流れ場については未検討であるが、本ブロックを実河川に施工する際にはどちらかの配列形状を選択する必要がある、両配列における流れ構造の特徴を把握しておくことは必要不可欠である。

本研究では、ブランチブロック護岸模型の枝材の配置

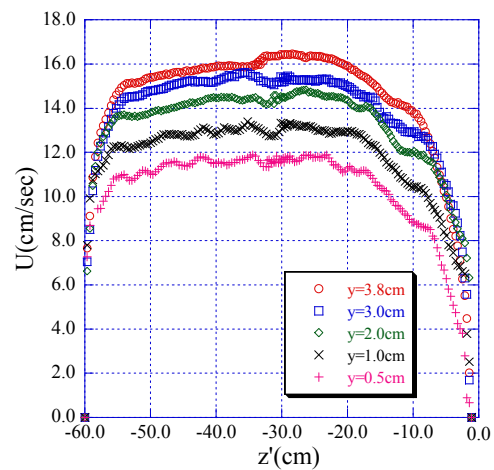
形状の相違による流速分布特性、内部流況特性をPTV (Particle Tracking Velocimetry) および流れの可視化法を用いて検討した。それらの結果を踏まえて、ブランチブロック護岸模型周辺の流れの概念図を示した。

2. 実験装置および方法

実験には、図-3(a)に示すような総アクリル樹脂板製の全長10m、幅60cm、高さ15cmの可変勾配式開水路を使用した。ブランチブロック護岸模型は1/40スケール(同図(b))、1/10スケールの2つを作成した。1/40スケールの模型は、前報⁶⁾と同一の模型を使用し、本水路の上流1mの位置から下流5m区間に、昇配列の場合は右岸、降配列の場合は左岸に設置した。1/40スケールの模

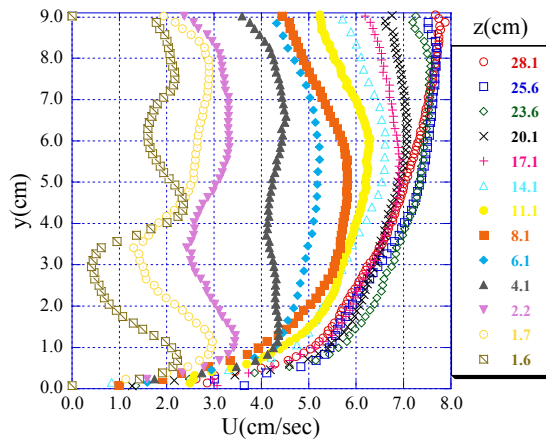


(a) 昇配列 (Case A, $H=4.3\text{cm}$)⁶⁾

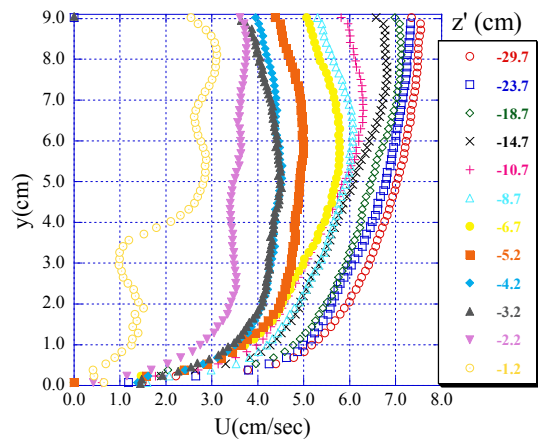


(b) 降配列 (Case D, $H=4.3\text{cm}$)

図-4 主流速横断方向分布



(a) 昇配列 (Case A, $H=9.1\text{cm}$)⁶⁾



(b) 降配列 (Case B, $H=9.1\text{cm}$)

図-5 主流速鉛直方向分布

型では枝材によるジグザグ状の流路内の流速分布の詳細を調べるのが困難と考えられるため、1/10スケールの模型を作成し、同図(c)のように水路床に設置した。

実験では、ブランチブロック護岸模型の上流端から3.5mの位置で流速計測、流れの可視化を行った。流速計測にはPTVを採用した。トレーサー粒子には粒径 $100\mu\text{m}$ のリサン粒子を、照明にはスライドプロジェクター(1Kw)による厚さ2mmのスリット光膜を使用した。撮影にはデジタルビデオカメラ (Sony DVX2000) を使用し、画像を1/30秒間毎に60秒間 (1800枚) にわたってコンピュータに取込み、ソフトウェアFlow PTV (株式会社ライブラリ) を用いて解析した。模型周辺の内部流況の可視化には、蛍光染料注入法を採用し、トレーサーには蛍光染料水溶液 (比重1.005) を、照明には前出のスリット光膜を用いた。横断面視の撮影においては、流れの影響を及ぼさない下流1.5m程度の位置に設置した小さな鏡を介して、前出のデジタルビデオカメラを用いて撮影した。

実験条件は表-1に示すとおりである。表中の B は水路幅、 H は水深、 ν は動粘性係数、 U_m は断面平均流速にそれぞれに対応している。また、 Re はレイノルズ数、 Fr はフルード数を示している。

3. 実験結果および考察

(1) 流速計測結果

図-4には、昇配列、降配列における主流速(U)の横断方向分布を示している。両図とも $z=0\text{cm}$ が模型を設置した側壁位置を示している。昇配列の流れ場においては護岸模型付近における主流速の低減が著しく、その流量欠損を補うために水路中央付近の主流速が加速されていることが分かる。一方、降配列の主流速分布については、護岸模型周辺の低減は認められるものの、昇配列のそれに比べるとその効果は小さいことが明らかである。同様の傾向は水深が大きい場合においても認められた。図-5は昇配列、降配列における主流速の鉛直方向分布を示している。同図(a)の昇配列の主流速分布においては、護岸模型付近の遅速分布と水表面付近の低速分布が特徴として注目される。前者の特徴の低速部分は、鉛直の枝材の先端部から斜めの枝材の位置に相当している。この特徴的な分布は水路中央方向に向かって消失していくが、水表面における低速分布は水路中央付近まで残っている。一方、降配列の流速分布においては、模型付近の特徴的

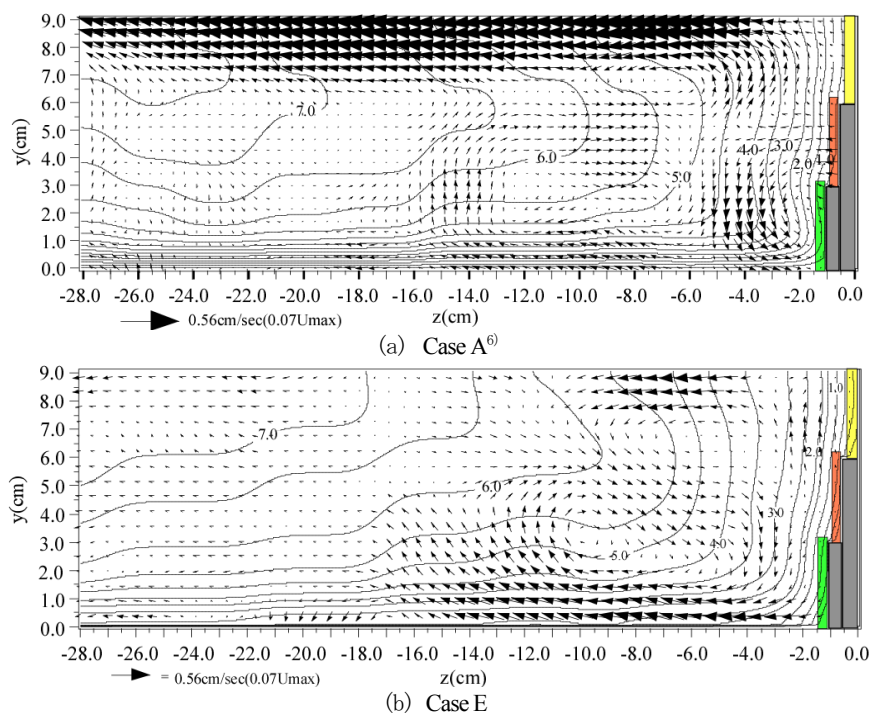
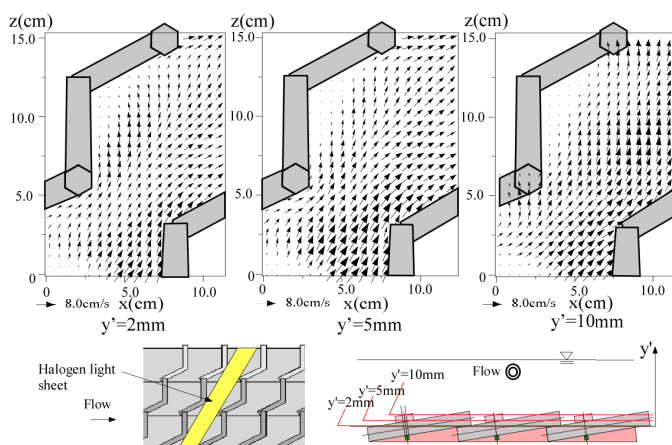
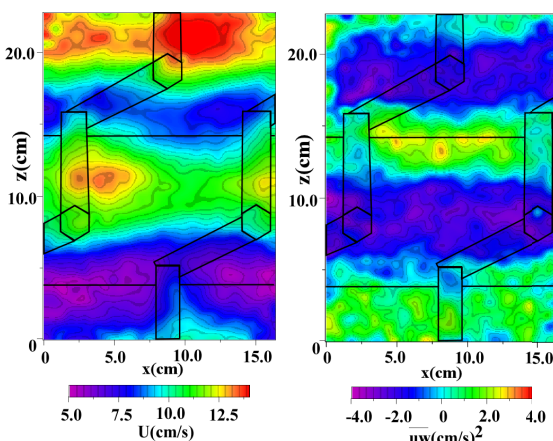


図-6 主流速等値線および二次流ベクトルの重合図



(a) 枝材間の流速分布



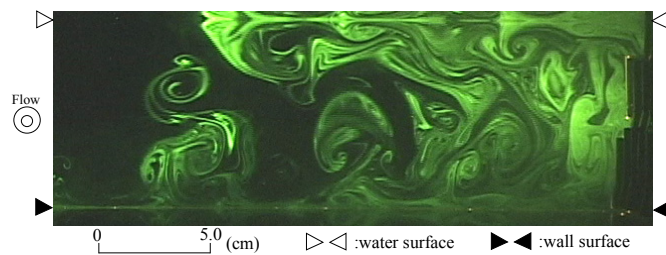
(b) 主流速分布およびレイノルズ応力分布 ($y'=2.1\text{cm}$)

図-7 1/10ブランチブロック護岸模型の流速分布 (Case G)

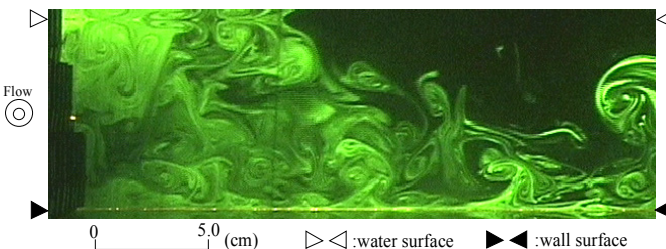
な遅速分布は昇配列に比べて早期に消失し、水表面の低速分布も昇配列と比べてその影響範囲は小さいことが認められる。図-6には、平均主流速(U)分布と二次流ベクトル(V, W)の重合図を示している。(a)は昇配列における流速分布である。昇配列における流れ場では、水表面付近に対岸向きの大規模な二次流れの存在が注目される。この二次流は護岸模型表面の低速流体を対岸方向へ輸送する役割を果たしており、護岸模型周辺の低速化に寄与していると考えられる。この二次流により、主流速分布は水路中央付近まで影響を受けている。一方、(b)の降配列の流れ場では、護岸模型の水表面側には小規模な反時計方向の旋回流、底壁面側には時計方向の大規模な旋回流の形成が認められる。通常の開水路隅角部流れにおいても同様な二次流分布が見られるが、ここでは底壁面の二次流が極端に強くなる特殊な流れ構造となって

おり、移動床であれば局所洗掘の可能性が推測される。このような枝材の配列の方向によって、護岸付近の二次流の構造が全く異なることは非常に興味深い。

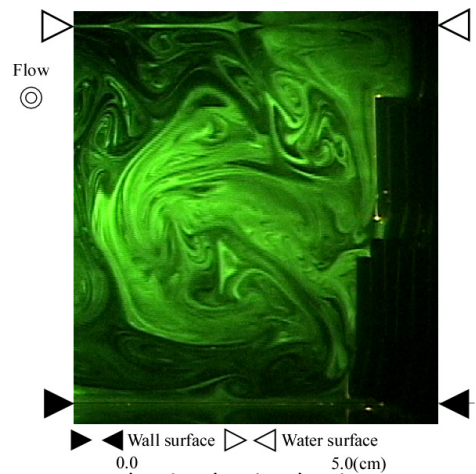
図-7には、1/10スケールの護岸模型を用いた枝材周辺の流速計測結果を示している。(a)は、枝材によって形成されるジグザグ状の流路内の流速分布を示している。流速は1分間の平均値でありベクトル表示している。 y' は模型の底面頂部から計ったスライドプロジェクターの光膜位置である。本図より、ジグザグ流路内にはそれに沿った流れが存在し、その中心部では流路を貫く斜め方向の強い流れが形成されていることが明らかである。(b)には、枝材上面端部から約1cm上部における平均主流速分布(左)、横断方向のレイノルズ応力($-\overline{uw}$)分布(右)を示している。左図より、帯状の遅速分布が並列して分布していることが明らかである。鉛直の枝材上



(a) 昇配列の流れ場の横断面視 (Case C)



(c) 降配列の流れ場の横断面視 (Case F)



(b) 昇配列の護岸模型上に形成された縦渦構造 (Case C)

図-8 ブランチブロック護岸模型周辺の横断面流況

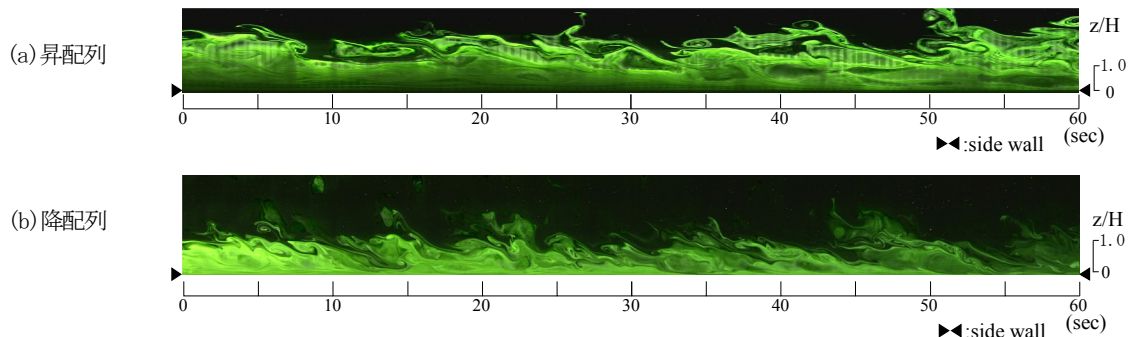


図-9 ブランチブロック護岸模型上に形成された縦渦構造の形成領域の経時変化 ($y=8.9\text{cm}$)

では比較的高速の領域に相当し、斜めの枝材上では低速領域に対応している。図-5に示した平均主流速の鉛直方向における護岸模型周辺の遅速分布とも対応している。右図に示したレイノルズ応力分布は、主流速分布に対応して、これも正負の値が帯状に並列して分布している。これと同様な横断方向レイノルズ応力の分布形状は、開水路底壁面に棧型粗度を等間隔で流れ方向に設置した流れ場でも見られ、渡辺らは、棧型粗度上に安定して形成される縦渦構造がその分布の生成に寄与していることを示している⁷⁾。以下では、ブランチブロック護岸模型周辺の特徴的な流速分布の形成に関わる流れの内部流況の特徴を考察する。

(2) 内部流況特性

図-8には、昇配列、降配列における内部流況可視化の典型例を示している。(a)の昇配列では、(b)のような縦渦構造が護岸模型の表面に形成され、それが流下するにつれて複合・合体して水表面に大規模な縦渦構造が形成される様子が観察された。また、それが対岸方向に顕著な伸縮運動しており、横方向の二次流れを誘起していることが推察された。一方、(c)の降配列においては、昇配列とは対照的に水表面の渦構造の形成領域は比較的小さいことが認められた。また、護岸模型上に形成された

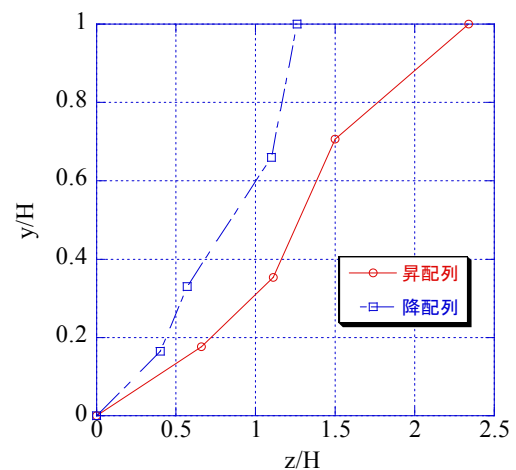


図-10 ブランチブロック護岸模型上の渦領域の横断方向スケール

渦構造は模型表面に沿って底壁方向に移動しているようであり、昇配列と比較して底壁面上に大規模な渦領域が形成され、隅角方向への二次流れを誘起していることが観察された。

図-9には、両配列における護岸模型上に形成された渦構造の水表面における形成領域の経時変化を示している。本図は、横断面画像の水表面部分を微小な厚さで切り取り、その一分間の画像 (1800枚) を時系列につなぎ合わ

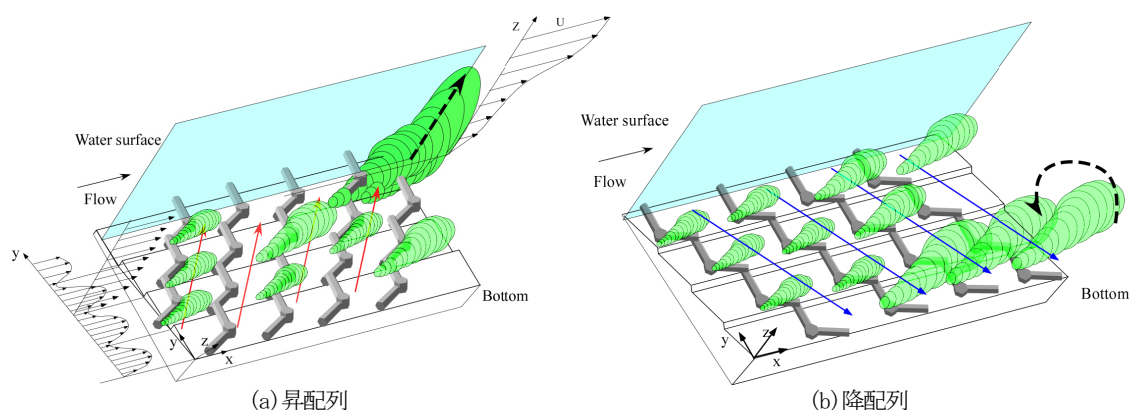


図-11 ブランチブロック粗面上の流れの概念図

せたものである。本図の緑色の領域が渦構造の形成領域に相当する。本図より、両配列とも渦構造の形成領域は帯状を呈し、その水路中央側には鉛直方向を軸とする水平渦の様子が認められる。また、渦構造の水表面における横方向（ z 方向）のスケールは昇配列の方が大きいことが明らかである。この渦構造の形成領域の大きさを表わすために、この図を二値化処理して渦構造の横幅スケールの時間平均値を求めた。図-10は、他の高さにおいても同様の操作を行った結果である。本図より、護岸模型上に形成された渦構造の規模は昇配列の方が大きいことが明瞭である。

(3) ブランチブロック護岸模型周辺の流れの概念図

図-11には、流速計測結果ならびに流れの内部流況の考察の結果を踏まえて、ブランチブロック護岸模型の配列方向による流れの特徴に関する概念図を示した。

ブランチブロック護岸模型表面には、上述のような遅速分布に伴う速度せん断($\partial U/\partial y$)が発生し、同時に主流速の横断方向速度せん断($\partial U/\partial z$)も生成されることから2つの速度せん断が共存している。このような2つの速度せん断の共存は縦渦構造が形成される条件⁷⁾であり、これを有するブランチブロック護岸模型表面では安定した縦渦構造の生成が可能となる。生成された縦渦構造は流下しながら枝材間のジグザグ流路内に発生した強い流れによって、昇配列では水表面方向へ、降配列では底壁面方向へ輸送され、それぞれ水表面、底壁面上に集中する。この縦渦構造は流れの遅速や瞬時の二次流れを誘起することから、その時空間的集中が各配列における大規模な二次流れや平均主流速分布の形成因となると考えられる。

4. 結 論

本研究では、ブランチブロックの配列方向による流れ構造の特徴を流速計測、流れの可視化によって検討した。以下に本研究で得られた結論を述べる。

(1) ブランチブロックによる護岸周辺の主流速の低減

効果は昇配列の方が大きい。

(2) 昇配列では水表面側に対岸方向への強い二次流れが生ずるのに対し、降配列では側壁付近の水表面付近に小規模、底壁面上に大規模な旋回状の二次流れが形成される。

(3) 昇配列、降配列にはそれぞれ水表面、底壁面に大規模な縦渦構造が形成される。これらは、ブランチブロック護岸模型表面の安定した縦渦生成と枝材間の流路内の流れによる輸送によって生成される。

(4) 得られた知見を総合し、ブロック配列形状に伴うブランチブロック護岸模型流れの概念図を示した。

謝辞：本研究は、平成21年度科学研究費補助金基盤研究(C)（課題番号：19560523、研究代表者：渡辺勝利）の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 山本晃一編：護岸・水制の計画 一歩先そして一歩手前，山海堂，2003。
- 2) 国土技術研究センター編：護岸の力学設計法，山海堂，1999。
- 3) 財団法人 土木研究センター：岸ブロックの水理特性試験法マニュアル（第2版）。
- 4) 山本晃一，林建二郎，関根正人，藤田光一，田村正秀，西村晋，浜口憲一郎：護岸ブロックの抗力・揚力係数，および相当粗度の計測方法について，水工学論文集，第44巻，pp. 1053-1058，2000。
- 5) 田村正秀，木下正暢，浜口憲一郎，阿部康紀：護岸ブロックの形状と抗力・揚力特性について，第2回流体力の評価とその応用に関する研究論文集，第2巻，pp. 83-90，2003。
- 6) 渡辺勝利，吉村隆顕，原隆：ブランチブロック護岸模型周辺の流況特性，土木学会水工学論文集，第51巻，pp.739-744，2007。
- 7) 渡辺勝利，佐賀孝徳，國弘 栄司：底壁面に縦向き粗度を設置した開水路乱流に形成された並列らせん流の内部構造，土木学会論文集B，Vol. 62，No. 2，pp.186-200，2006。

(2009. 9. 30受付)