

連結石礫の水利機能評価に関する研究

広島市水道局 正会員 有馬由香
岡山大学環境学研究科博士前期課程 学生会員 ○黄鈺斌
岡山大学環境学研究科 正会員 前野詩朗
日建工学(株) 西村博一 日建工学(株) 山村明

1. はじめに

近年、自然環境への配慮は川づくりの基本となっている。しかし、多自然川づくりは評価されている事例もある一方で、多自然とは言えないような河川構造物が見受けられるなど、多くの課題があるのが現状であり、多自然川づくりに適した工法の開発が必要とされている。そこで、本研究では多自然川づくりの一つの工法として、自然石を連結して用いる工法に着目した。自然石は環境面では優れているが、形状が一定でないため、現段階では施工において確立された設計基準がない。また、自然石を水制工に用いる場合、設計流速は代表流速の1.2～1.5倍とされているが、その根拠が明らかでない。そこで、本研究では自然石を立体的に連結した工法において、流体力を評価し、水制工周辺の流速場を検証することを目的とした。

2. 実験概要

実験に用いた水路は、長さ16m、幅0.6m、高さ0.4m、勾配1/500の循環水路である。水路上流端より10mの位置に長さ1m、幅0.6m、深さ0.16mのピットがあり、水路下流端には水深を調節できるフラップゲートが設けてある。流体力の測定のために、水路のピット内中央部に四分力計（東京計測社製、定格容量： F_x 、 F_y 、 F_z ；20N、 M_y ；4N・m）を設置した。四分力計の出力データは図-2.1の通りである。

本研究では、水利特性値試験と流速分布測定の2種類の実験を行う。実験ケースを示した表-2.1中の全ケースにおいて水利特性値実験を、青字で示すケースにおいて流速分布測定を実施する。写真-2.1に示すようにCase1Sでは一つの模型を四分力計に設置し、Case2Hでは水制工先端部を想定して半横断部分に石礫を設置し、Case3Fでは水制工中央部を想定して全横断部分に石礫を設置する。流体力測定模型の位置に関して、Case2Hは上流端の場合と下流端の場合において、Case3Fは上流端の場合において実験を行う。また、流体力測定用の石礫模型を写真-2.2に示す。



Case1S 単体 Case2H 半横断 Case3F 全横断

写真-2.1 模型の設置方法

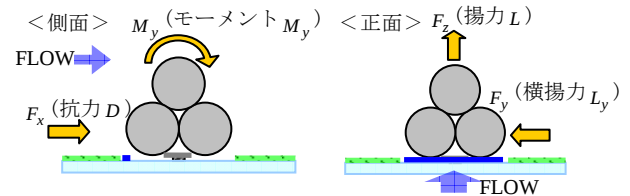
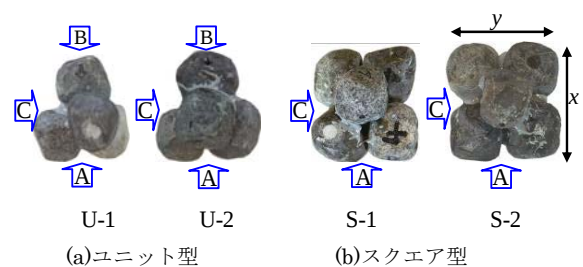


図-2.1 四分力計の出力データ

表-2.1 実験ケース

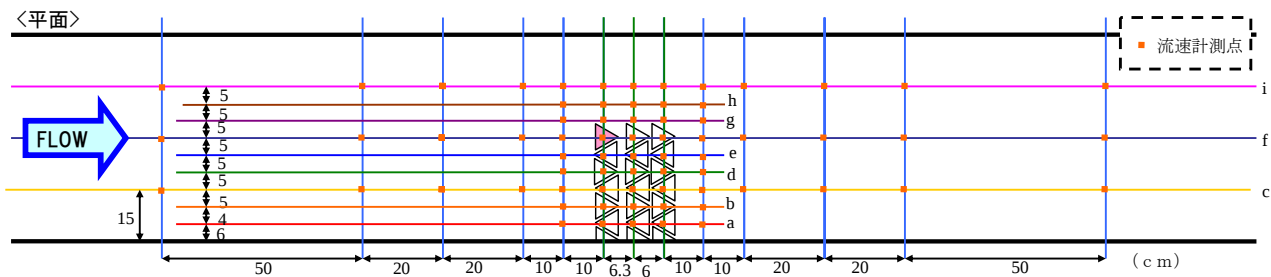
ケース名	設置方法	種類	模型番号	方向
Case1S-U-1-A	単体 (S:Single)	ユニット型 (U:Unit)	1	A
Case1S-U-1-B				B
Case1S-U-1-C				C
Case1S-U-2-A			2	A
Case1S-U-2-B				B
Case1S-U-2-C				C
Case1S-S-1-A		スクエア型 (S:Square)	1	A
Case1S-S-2-A			2	
Case2Hu-U-1	半横断 (H:Half)	ユニット型	1	A or B
Case2Hu-U-2			2	
Case2Hu-S-1	上流端 (u:up)	スクエア型	1	A
Case2Hu-S-2			2	
Case2Hd-U-1	半横断	ユニット型	1	A or B
Case2Hd-U-2			2	
Case2Hd-S-1	下流端 (d:down)	スクエア型	1	A
Case2Hd-S-2			2	
Case3Fu-U-1	全横断 (F:Full)	ユニット型	1	A or B
Case3Fu-U-2			2	
Case3Fu-S-1	上流端	スクエア型	1	A
Case3Fu-S-2			2	



(a)ユニット型

(b)スクエア型

写真-2.2 石礫模型



平面図 (Case2Hu-U-1)

図-2.2 流速計測箇所の一例

次に、それぞれの実験における測定項目を以下に示す。

①水理特性値試験

流量を 80, 85, 90, 95, 100 l/s に変化させ、各流量において、四分力計により抗力 D 、揚力 L 、横揚力 L_y 、モーメントを測定し、流体力計測点より上流 30cm の地点で近傍流速（流下方向）を測定する。

②流速分布測定

流量 90 l/s を与え、3 次元電磁流速計 (KENEK 社製: VM-1001 型) を用いて、模型周辺の流下方向、横断方向、鉛直方向の流速を計測する。流速測定箇所の一例を図-2.2 に示す。

3. 実験結果

3.1 水理特性値試験の結果

実験で測定した抗力 D ・揚力 L ・横揚力 L_y 、近傍流速 V_d を用いて、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L 、横揚力係数 C_{Ly} をそれぞれ式(3.1)、式(3.2)、式(3.3)より算定する。

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D A_D V_d^2 \quad (3.1)$$

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L A_L V_d^2 \quad (3.2)$$

$$L_y = \frac{1}{2} \rho C_{Ly} A_{Ly} V_d^2 \quad (3.3)$$

ここに、 A_D, A_L, A_{Ly} : 抗力、揚力、横揚力作用方向の投影面積、 ρ : 水の密度である。

図-3.1 は Case1S、図-3.2 は Case2H と Case3F の結果である。グラフ右側の図は模型の種類や方向、設置方法を、数値は各々の平均値を示している。

Case1S の C_D については、U-A、U-B において、ほぼ同程度の値を得たが、U-C、S-A においては、若干の差が見られた。 C_L については、-0.03~0.07 の範囲の小さな値を得た。 C_{Ly} については、U-B、U-C において、S-A、U-A に比べ、大きな値であった。このように、ケースに差が見られるが、上流に向ける方向の違いや、自然石が多様な形状をしていることが原因だと考えら

れる。これについては今後の検討が必要である。

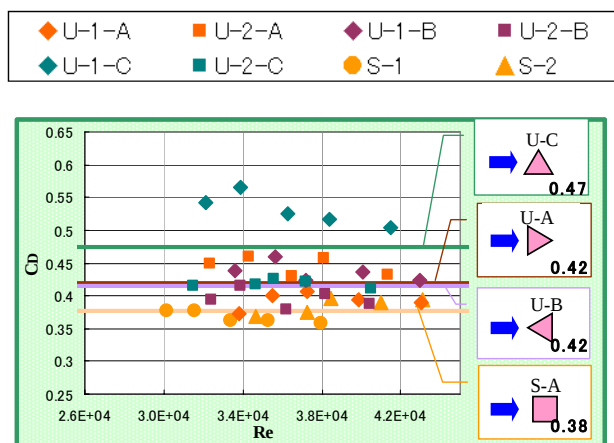
なお、Case2H、Case3F におけるユニット型の石礫模型の方向は、危険側を検討するため、Case1S において A、B 方向のうち抗力係数の大きい A 方向に対して実験を行うこととした。

次に、Case2H、Case3F の結果を模型の設置方法により比較する。水制工の先端を想定した半横断の上流端では流れの変化が大きいため C_D が最も大きくなると予想されたが、単体よりやや大きい程度であり、全横断の C_D が最も大きくなるという結果を得た。この点については、3.2 節の流速分布で述べるが、半横断と比較して全横断の模型上での流速が大きくなるのが原因と考えられる。半横断下流端の C_D 値が小さいのは上流側の石礫によって流速が減衰するため、石礫に作用する抗力そのものが小さくなったためと考えられる。 C_L については、単体、半横断のケースについてはほぼ同程度であるが、全横断の場合に若干大きくなる。 C_{Ly} については、単体、半横断下流端、全横断は、ほぼ同程度の値を得たが、半横断上流端は大きい値であった。これは水制を半横断設置した影響により、流れの方向が水制先端部で変化し、左岸側に力が働いているためだと考えられる。

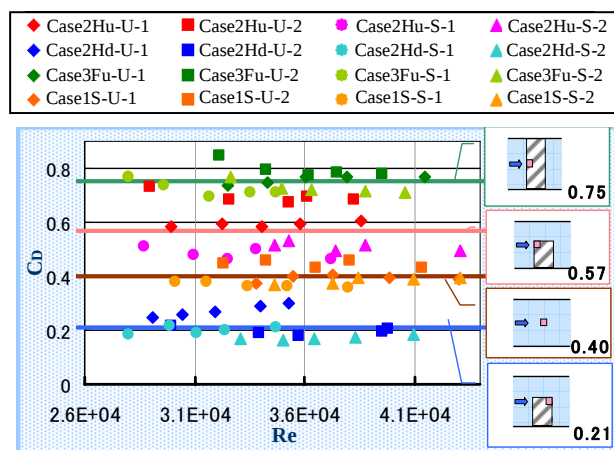
さらに、各係数の同じ模型設置方法について、ユニット型とスクエア型を比較すると、ユニット型の方が大きい値を示す傾向が見られる。ユニット型はスクエア型と比べて間隙が多いため、透過性が高い。したがって、水が模型の上部のみでなく、石礫間を流れやすいので、より力を受けることが原因と考えられる。

3.2 流速分布測定の結果

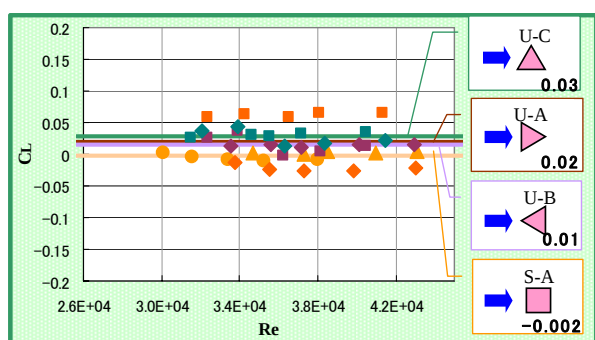
図-3.3 は、Case2H-U、Case3F-U の横断方向の水路中央である断面における各深さ(河床より 0.03, 0.06(模型上は模型の直上), 0.09, 0.18m)での流下方向の流速について、上流端の模型中心からの距離を横軸、模型設置位置から-0.6mを基準断面とした主流速(x 方向の流速)に対する倍率を縦軸としたグラフである。換言すると、基準断面の流速より加速していれば倍率は 1 より大きく、減速していれば 1 より小さくなる。図-3.3



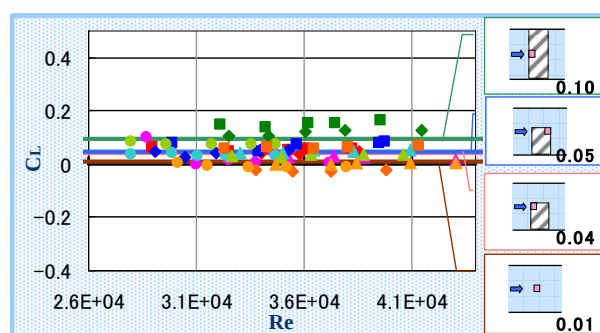
(a) C_D と Re の関係



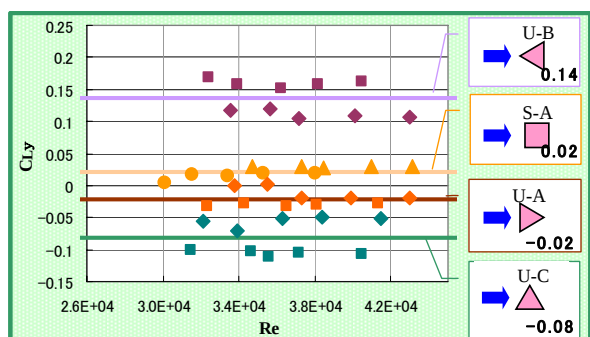
(a) C_D と Re の関係



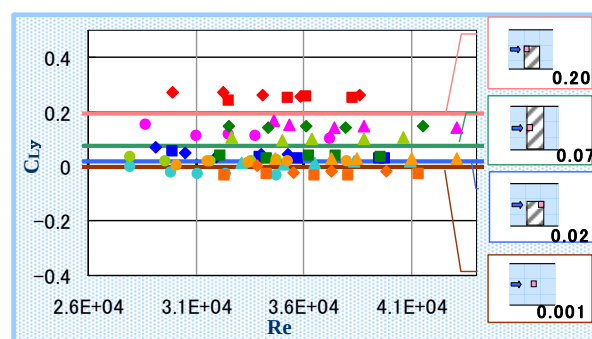
(b) C_L と Re の関係



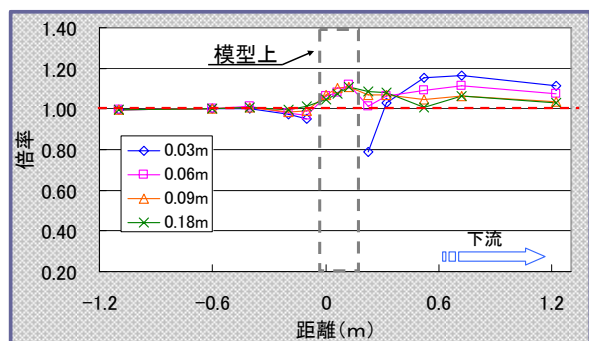
(b) C_L と Re の関係



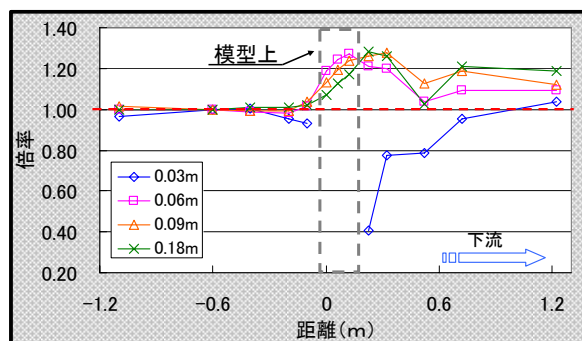
(c) C_{Ly} と Re の関係
図-3.1 Case1Sの結果



(c) C_{Ly} と Re の関係
図-3.2 Case2H, Case3Fの結果



(a) Case2H-U



(b) Case3F-U

図-3.3 水路中央断面の流速の倍率

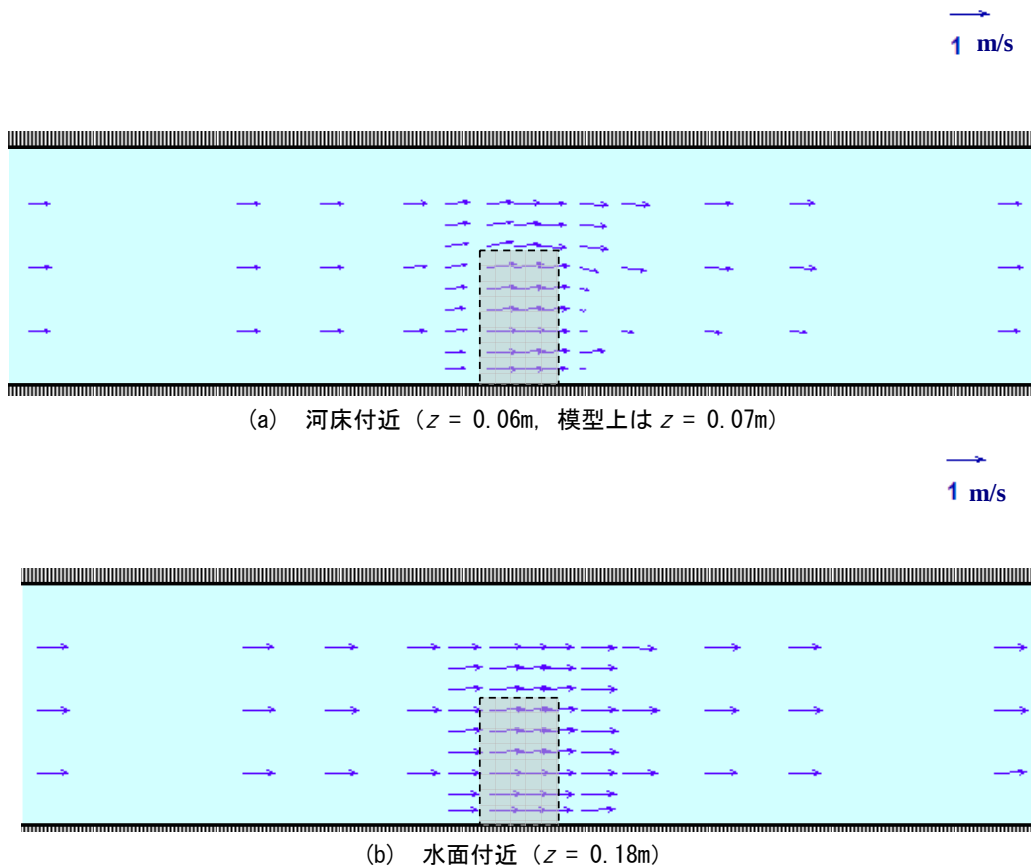


図-3.4 Case2H-U ベクトル図 (x - y 断面)

より、流れは模型直前で一旦減速し、模型を越流する際に加速する傾向が見られる。他のケースにおいても、同様の傾向が見られた。また、Case2H と Case3F を比較すると、Case3F の倍率が大きい。これは、Case3F では、横断方向全体に渡って石礫が設置してあり、Case2H よりも流れが妨げられるため、石礫を越える際の加速が大きいことが原因と考えられる。

次に、図-3.4 に Case2H-U における x - y 平面の河床付近 ($z = 0.06\text{m}$, 模型上は $z = 0.07\text{m}$)、水面付近 ($z = 0.18\text{m}$) の断面の流速ベクトル図を示す。河床付近では水制模型による水はね効果により流向が変化していることが確認できる。一方、水面付近では流れの方向はあまり変化していないことが分かる。

4. 結論

- 1) 水理特性値試験により、単体の抗力係数、揚力係数、横揚力係数を明らかにした。
- 2) 単体試験を応用した水理特性値試験により、水制工先端を想定した半横断と水制工中央を想定した全横断の模型の配置において、抗力係数、揚力係数、横揚力係数を明らかにした。
- 3) 水制工周辺の流速は模型直前で一旦減速し、模型上で半横断では約 1.0～1.1 倍、全横断では約 1.1～1.2 倍

に加速することが分かった。

- 4) 河床付近では水制模型の水はね効果により流向が変化しているが、水面付近ではあまり変化していないことが分かった。

参考文献

- (財)土木研究センター (2003)：護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル (第 2 版)
- 田村正秀, 木下正暢, 浜口憲一郎, 阿部康紀 (2003.1)：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シンポジウム
- 前野詩朗, 藤原実咲, 富田晃生, 山村明, 忒熊公子 (2007.2)：連結石礫の流体力評価に関する研究, 水工論文集, 第 51 巻, pp.679-684
- 道奥康治, 前野詩朗, 羽根田正則, 古澤孝明 (2003.8)：捨石堰を越流・透過する流れの構造と流量解析, 土木学会論文集, 第 740 号, pp.131-142
- (財)国土開発技術研究センター編 (2007)：改訂護岸の力学設計法, 山海堂
- 山本晃一著 (1996)：日本の水制, 山海堂