

◆ 環境に配慮した河道計画・設計 ◆

環境保全型護岸ブロックの水利特性評価

川口広司* 日下部隆昭** 末次忠司***

1. はじめに

現在、護岸ブロックの設計は、既往の被災事例だけでなく、力学的検討にも基づいて行われている。護岸の力学的設計法¹⁾の考え方が設計に適用され、護岸ブロックの水利特性試験法²⁾により得られた水利特性値が利用されている。

一方、近年は河道の生態環境や景観を配慮した環境保全型ブロック護岸が増えている。環境保全型ブロックは、平板型、突起型、連結型、ボックス型、ブロック同士のかみ合わせを考慮したものなどがあり、護岸ブロックの形状は多様化している³⁾。これまでに水利特性値が評価されている護岸ブロックは約100種類あるが、その中には、未だ評価法が十分に確立されていない連結・かみ合わせを特徴とするブロックなどもある。

本研究では、環境保全型護岸ブロックの連結・かみ合わせ効果の定量的な評価法を確立し、より多様な護岸ブロックの設計を力学的に可能とすることを最終的な目的としている。本報文では、作用・反作用力により護岸ブロックに作用する力を解析する方法^{4) 5) 6)}を用いて、水利特性としての護岸上流端からのめくれ破壊に対する連結・かみ合わせ効果を検討した結果について記述する。

2. 護岸ブロックに作用する力・モーメントの解析法

図-1は連結部のある護岸ブロック(上流端)及び分力計の計測部に作用する力を全て記述したものである。ここで、護岸ブロックの多くの箇所ですべて連結・かみ合わせられた効果を合力として評価する。連結・かみ合わせによる合力ベクトル(G_x, G_z)及びその作用点(x_G, z_G)は、力・モーメントの釣り合い式を用いて、重力、水路底面がブロックに及ぼす反作用力、流体力から求めることができる。護岸ブロックの連結・かみ合わせ効果は、上流端ブロックが転動して流失することに抵抗するモーメントとして定量的に解析することができる。上流端ブロックのx方向、z方向の力、護岸ブロックの転動の支点(x_M, z_M)まわりのモーメントの釣り合い式は以下ようになる。

$$D - N_x - G_x = 0 \tag{1}$$

$$L - W - N_z - G_z = 0 \tag{2}$$

$$D(z_H - z_M) - L(x_H - x_M) + W(x_W - x_M) + N_z(x_N - x_M) + G_z(x_G - x_M) = 0 \tag{3}$$

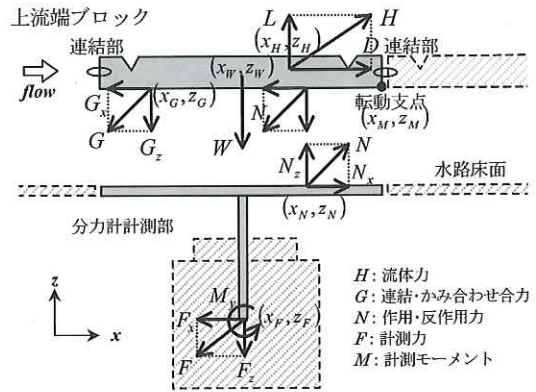


図-1 上流端ブロック及び分力計計測部に作用する力

また、水路底面を構成し、分力計の計測点と接する剛体(分力計計測部)の力と分力計の流体力計測点(原点)周りのモーメントを考えると次式が成り立つ。

$$N_x - F_x = 0 \tag{4}$$

$$N_z - F_z = 0 \tag{5}$$

$$N_x(z_N - z_F) - N_z(x_N - x_F) - M_y = 0 \tag{6}$$

上記の方法により、計測対象とする上流端ブロックと水路底面が離れるまで連結・かみ合わせ合力を評価することができる。

3. 既知の外力を作用させた条件での連結・かみ合わせ効果検討実験

上流端の護岸ブロックがめくれ破壊により流失する際には水路底面と護岸ブロックとの作用・反作用力は0になる。護岸ブロック群が変形していない条件下において、連結・かみ合わせ合力は外力の流体力が作用することにより生じる。そのため、上流端ブロックの連結・かみ合わせ合力の評価にあたっては、流体力及び重力と関係づけることが重要である。そこで、連結・かみ合わせ効果と外力・重力との関係を把握することを目的として、数基ならんだ上流端ブロックの上流面を、既知の全て同じ力で鉛直上向きに引っ張り、水路中央の護岸ブロックに作用する力を解析した。

この引張実験は、図-2のようなボックス型の4角を他のブロックと連結するブロックA、流れ

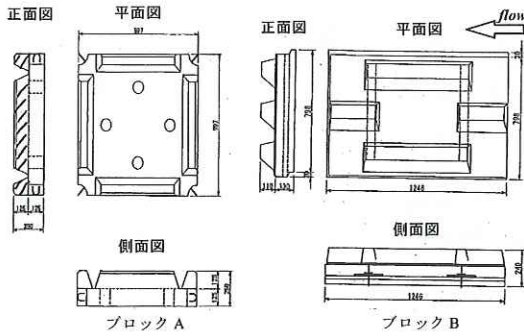


図-2 護岸ブロック A,B 見取り図 (単位: mm)

表-1 ブロック諸元と上流端ブロック水理特性値

	ブロック A	ブロック B
ブロック寸法 (m)	0.997 × 0.997 × 0.250	0.798 × 1.246 × 0.240
重量 (kgf)	351	363
揚力係数 CL	0.341	0.358
抗力係数 CD	1.243	0.399
抗力に対する回転半径 (m)	0.465	0.799
揚力に対する回転半径 (m)	0.411	0.264
相当粗度 (m)	1.405	0.261

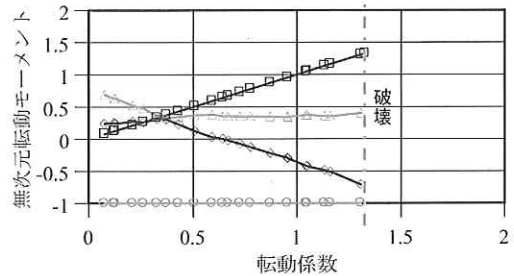
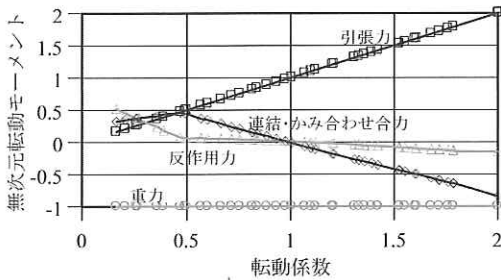


図-3 引張実験における上流端ブロック回転支点周りのモーメント (左: ブロック A, 右: ブロック B)

方向の辺に重ね合わせ用の切欠きを有し、千鳥配置で用いられるブロック B を敷きならべた延長 30m、幅 1m の直線水路で行った。ブロック A,B の諸元は表-1 のとおりである。

実験において連結されたブロック A は引張力を大きくすると上流端ブロックが傾きやがて空中に浮く。ブロック B は千鳥上に配置され、最上流端ブロックと上流から 2 列目のブロックが相互に作用し合う。そのため、ブロック B は引張力を大きくすると、写真-1 のように傾いた後、上流端ブロックが、かみ合わせ効果により曲面をなしていた周辺ブロックから離れ、ブロック群が破壊される。

図-3 は引張実験における上流端ブロックに作用する引張力、重力、水路底面がブロックに及ぼす反作用力、連結・かみ合わせによる回転支点周りモーメントを表している。縦軸は各モーメントを重力によるモーメントで無次元化したもの、横軸 (回転係数) は外力である引張力を重力によるモーメントにより無次元化したものである。回転の支点は図-1 に示すブロック下流端下部であり、図中のある回転係数における全ての無次元回転モーメントの和は 0 となる。ブロック A,B の回転係数が 1 の時を比べると、連結・かみ合わせ合力による無次元回転モーメントは、ブロック A はほぼ 0 であるものの、ブロック B は引張力に対して約 3 割の回転に抵抗しようとするモーメント (以下、回転抵抗モーメント) が作用していることがわかる。また、ブロック B では引張力によるモ

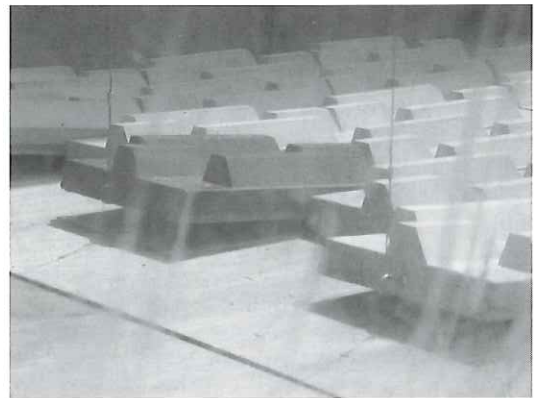


写真-1 護岸ブロック B の引張実験

メントが重力の回転抵抗モーメントより約 3 割大きくなった時にブロック群が破壊された。

4. 流水による上流端護岸ブロックめくれ破壊実験

上述した直線水路に水を流し、流量、ブロックに作用する流体力を増加させ、上流端護岸ブロック A,B のめくれ破壊が起きるまでの力の釣り合いを考察し、流体力作用時の連結・かみ合わせ効果を検討した。

実験は、平均水深を約 0.35m に設定し、流量を 0.250m³/s から徐々に増加させて行った。計測ブ

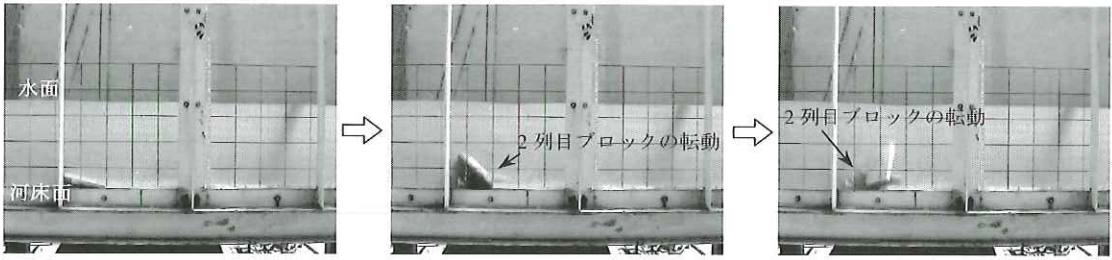


写真-2 護岸ブロック B のめくれ破壊状況

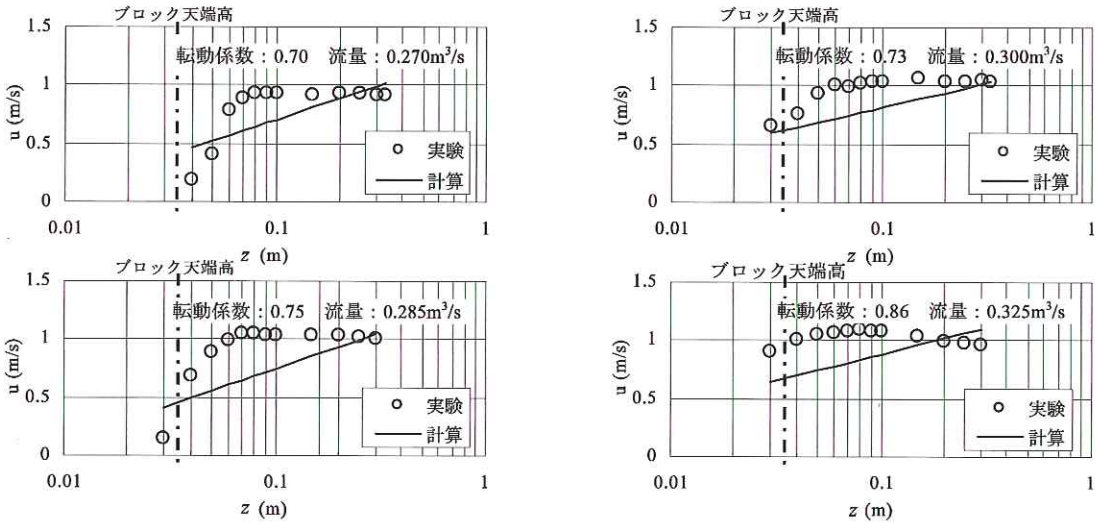


図-4 模型実験における護岸ブロック上の鉛直流速分布 (左:ブロック A、右:ブロック B)

ロック及びその周辺のめくれ破壊が生じたのはブロック A で $0.284\text{m}^3/\text{s}$ 、ブロック B においては $0.265\text{m}^3/\text{s}$ で最上流端ブロックが 1 基流失し、その後も流量増加に伴い上流端付近の数ブロックが流出した。計測ブロックを含む周辺のブロックが流失したのは $0.325\text{m}^3/\text{s}$ であった。ブロック A、B の模型縮尺はそれぞれ $1/7$ 、 $1/7.2$ であった。また、ブロック A、B の模型の比重はそれぞれ 1.85、1.91 と小さくした。写真-2 のブロック B の実験にみられるように、上流端ブロックがめくれて流失する場合には、2 列目のブロックが最上流ブロックとのかみ合わせ効果による力を受けて流失していた。

上流端ブロックの連結・かみ合わせ合力を評価するために必要なブロックに作用する抗力 D 、揚力 L は、護岸の力学的設計法の「めくれ」モデル¹⁾ に用いられている次式から求めることとした。

$$D = C_D A_d \frac{\rho V_d^2}{2}, \quad L = C_L A_b \frac{\rho V_d^2}{2} \quad (7)$$

$$V_d = \frac{[8.5 + 5.75 \log_{10}(h_d/k_s)] + 2}{6.0 + 5.75 \log_{10}(h_d/k_s)} V_0 \quad (8)$$

ここで、抗力係数 C_D などの水理特性値は、既存

の試験により得られた値(表-1)を用いた。 h_d は水路底面からの水深、 h_a は水路底面からのブロック天端高さである。設計流速 V_d は、設計法¹⁾ と同様に乱れの影響が考慮されている。

図-4 は、実験においてめくれ破壊が起こる前に測定したブロック A、B 上の流速分布、水理特性試験時に得られている粗度係数、流体力算出時に用いる対数則を用いて計算した流速分布とを比較したものである。

最上流端ブロック周辺では、ブロック群上流面での圧力上昇に伴う上昇流が発生しており、最上流ブロックの設計流速 V_d 算出位置であるブロック高さ h_a での流速の実験値は、対数則により評価された値と大きく異なる。流体力算出時に用いた設計流速は、ブロック A では大きく、ブロック B では小さく評価される傾向があった。

図-5 は、流体力の増加に伴う上流端ブロックの転動支点周りの流体力、重力、底面からの反作用力、連結・かみ合わせ合力によるモーメントで示している。横軸(転動係数)は流体力によるモーメントを重力によるモーメントで無次元化したものである。

ブロック A の連結合力による転動抵抗モーメントは実験初期で重力による転動抵抗モーメントの半分程度の大きさとなっている。これはブロッ

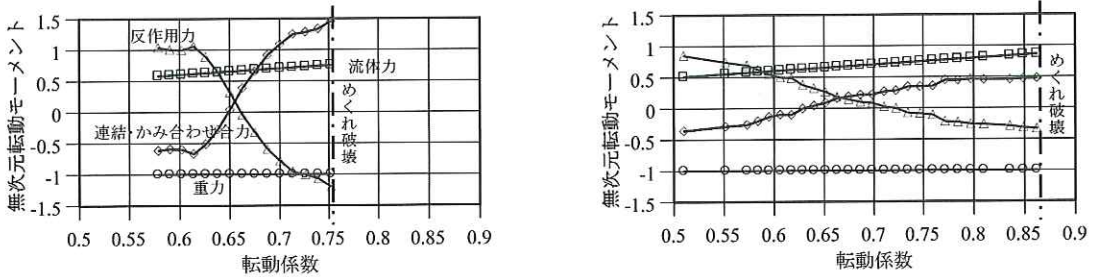


図-5 流体力増加時の護岸ブロックに作用する力の変化 (左:ブロック A、右:ブロック B)

ク A の連結による転動抵抗モーメントは、計測ブロックが設置されている箇所(水路中央付近)の流速が比較的大きいため、中央付近と比較して流速が小さい場に存在する横断方向に隣り合うブロックが計測ブロックの転動を押さえようとするためと考えられる。

一方、ブロック B のかみ合わせ合力による転動抵抗モーメントも実験初期で重力による転動抵抗モーメントの約半分の大きさとなっている。ブロック B の実験では、転動係数 0.57 (0.265m³/s) の時点から上流端ブロックの流失が少しずつ起こっていた。

ブロック A,B の連結・かみ合わせ合力による転動抵抗モーメントは、めくれ破壊を起こしやすい条件に近づくにつれて小さくなっていくことがわかる。

5. おわりに

環境保全型ブロックの水理特性試験として連結・かみ合わせ効果を検討した。既往の作用・反作用力により護岸ブロックに作用する力を解析する方法により、連結・かみ合わせ効果を把握することが可能であること、上流端ブロックの転動めくれ破壊に対する連結・かみ合わせ効果は比較的大きいことがわかった。ただし、流体力の評価に課題を残した。

今後、他の様々な環境保全型護岸の水理特性評価手法を検討し、環境に配慮した護岸の計画・設計の推進に寄与していく予定である。

参考文献

- 1) (財)国土開発技術研究センター：護岸の力学的設計法, 1999 年
- 2) (財)土木研究センター：護岸ブロックの水理特性試験法マニュアル, 1999 年
- 3) (社)全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針, 1998 年
- 4) 川口広司、諏訪義雄、高田保彦、末次忠司：護床工下の河床材料の抜け出し及び下流跳水の非定常性と護床工の応答特性, 河川技術論文集, 第 8 巻, pp.243-248, 2002 年
- 5) 川口広司、諏訪義雄、高田保彦、末次忠司：護床工下流端袋体の応答特性と袋体に作用する力の解析, 第 58 回土木学会年次学術講演会概要集, pp.183-184, 2002 年
- 6) 内田龍彦、田中幸志、福岡捷二：護床工最下流粗度要素の移動限界と破壊の実験, 水工学論文集, 第 48 巻, pp.841-846, 2004 年

川口広司*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室研究官, 工博
Dr. Hiroshi KAWAGUCHI

日下部隆昭**



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室主任研究官
Takaaki KUSAKABE

末次忠司***



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部河川研究室長, 工博
Dr. Tadashi SUETSUGI