土石流荷重作用下におけるブロック堰堤の抵抗躯体と構造安定性に関する実験的検討

STUDY ON THE RESISTANCE MECHANISM AND STABILITY OF BLOCK SABO DAMS UNDER DEBRIS-FLOW LOADS

齋藤 和樹[1]・堀口 俊行[2]
Kazuki SAITO and Toshiyuki HORIGUCHI

[1]防衛大学校理工学研究科後期課程（〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20）
E-mail: ed24006@nda.ac.jp
[2]防衛大学校准教授　建設環境工学科（〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20）
E-mail: htoshi@nda.ac.jp

***Key Words**: block Sabo dam, debris-flow load, resistance mechanism, load measurement experiment*

1. 緒　言

近年，豪雨の頻発化や地震後の斜面不安定化に伴い，河道閉塞や崩壊土砂の再移動に対する応急的な土砂流出対策の重要性が高まっている．このような場面では，施工性および即応性に優れる対策工として，コンクリートブロックを積み上げたブロック堰堤が用いられる場合がある．一方で，ブロック堰堤は恒久的な砂防堰堤と比較して，根入れ，袖部の嵌入，基礎処理，前庭保護工などが十分に確保されない条件下で設置されることも多く，土石流作用時における構造安定性には未解明な点が残されている．

ブロック堰堤の安定性照査では，現行設計上，堤体を一体構造とみなし，不透過型砂防堰堤に準じた外力評価や安定計算が適用される場合がある．しかし，ブロック堰堤は個々のブロックを積層・配置することにより構成されるため，土石流荷重に対する抵抗機構は，一体構造物とは異なる可能性がある．特に，ブロック形状には直方体形状や凹凸形状などの違いがあり，凹凸形状を有するブロックでは，ブロック相互の噛み合わせにより，荷重伝達，形状保持性能および流出抵抗が変化すると考えられる．また，過去の被災事例においても，堤体全体の滑動や転倒だけでなく，堤体を構成する一部ブロックの流出が確認されている．したがって，ブロック堰堤の安定性を評価するためには，堤体全体を一体構造として扱うだけでなく，ブロック群としての抵抗機構や部分的な流出過程を考慮した検討が必要である．

ブロック堰堤に関する既往研究では，ブロックの積み方，形状，配置条件および外力条件が安定性や捕捉性能に及ぼす影響について検討されている．中村ら[1)]は，水のみが越流する条件において，千鳥状にブロックを配置することで安定性が向上することを示した．原田ら[2)]は，直方体ブロックおよび凹凸付きブロックを対象に，配置条件や外力条件を変化させ，安定性および捕捉性能を評価した．また，最下段ブロック下面の凹凸が透水性，越流水深および基礎洗堀に及ぼす影響も報告されている[3)]．さらに，水野ら[4)]は土砂を含む流れにおいて，ブロック間に礫が挟まり摩擦力が増加することで安定性が保持されることを示した．井上ら[5)]は，ブロック堰堤の安全照査を剛体安定性と形状保持性に整理するとともに，個別要素法により，礫衝突時に抵抗を担うブロック群（抵抗躯体）がブロック形状に応じて変化することを示した．このほか，ブロックの透過性[6)]，耐震性[7)]に関する検討が行われている．

筆者ら[8,9)]は，水路実験により，ブロック堰堤に作用する土石流荷重およびブロックの流出過程を計測した．その結果，ブロック形状の違いは最大作用荷重そのものには大きく影響しない．一方で，ブロッ

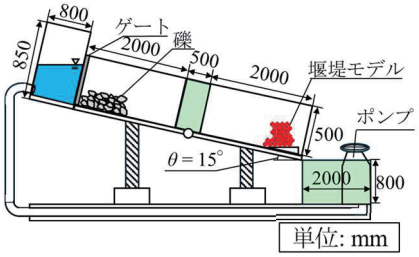


図-1　実験水路

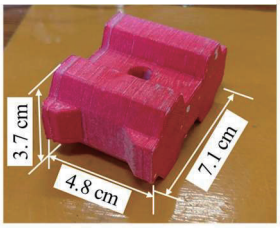


図-2　コンクリート
ブロックモデル

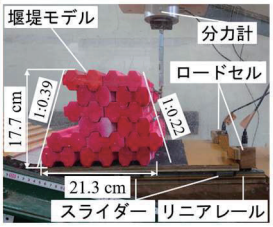


図-3　荷重計測装置

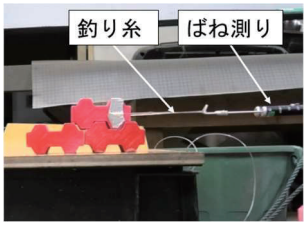


図-4　水平力に対する
抵抗力

ク同士の間隙条件は最大荷重発生後の荷重低減に影響することを示した．具体的には，間隙が大きい条件では，堤体背面に作用する水および土砂が早期に排水・流出するため，最大荷重発生後の荷重低減が早くなる傾向が確認された．また，ブロックの流出過程では，単一ブロックが個別に移動するだけでなく，複数のブロックが一塊となって転倒・流出する挙動も確認された．これらの結果は，ブロック堰堤の安定性が個別ブロックの抵抗だけでなく，ブロック群として形成される抵抗躯体の大きさや形状に支配される可能性を示している．しかし，実験で確認された部分的なブロック流出を対象として，どの範囲のブロック群を抵抗躯体として扱うか，その条件に基づいての安定計算については十分に検討されていない．

そこで本研究は，ブロック堰堤に作用する土石流荷重を水路実験により計測するとともに，ブロックの流出過程を整理し，部分的に一体化して挙動するブロック群を抵抗躯体として安定計算を行う．これにより，ブロック堰堤の構造安定性を，堤体全体の一体安定性だけでなく，部分的なブロック群の流出抵抗の観点から評価する．さらに，堰堤形状の変更が安定性に及ぼす影響を検討し，応急対策として用いられるブロック堰堤の形状保持性向上に資する基礎的実験を行う．

2. 実験の概要

(1)　実験水路

図-1 に示す実験水路は，水路長 4.5 m，水路幅 0.3 m，水路高 0.5 m の直線水路である．水路底面には，石礫型土石流の流下条件を再現するため，木製の底面粗度を配置し，高さ 5 mm，幅 10 mm とし，粗度材間の純間隔 20 mm とした．河床勾配は，石礫型土石流の発生条件を想定し，$\theta = 15°$に設定した．水路上流部には貯水タンクを設け，ゲートを開放することにより，タンク内の水を水路内へ流下させた．ゲートの開放方式は空気圧を用いており，開放時間は 0.24 秒である．

(2)　堰堤モデル

図-2 に，本実験で使用したブロックモデルを示す．ブロックモデルは，実構造物で用いられているブロック堰堤を参考に作成した凹凸形状のブロックである．ブロックモデルは，ABS 樹脂を用い，3D プリンターにより製作した．ブロックモデルはフルード相似則を用いて 1/27.4 とした．実構造物におけるブロック重量を 4.0 t, コンクリートの単位体積質量を 2.3 t/m^3 とすると, ブロック 1 個あたりの相似重量は 194 g となる．実験で使用したブロックモデルの重量は相似則に合わせて 194 g とした．

図-3 に，実験に用いた堰堤モデルを示す．堰堤モデルは，**図-2** に示す凹凸ブロックを用いて，水路幅方向に 6 個，高さ方向に 6 段配置した．流下方向のブロック数は，1 と 2 段目で 3 個，3 から 6 段目で 2 個とした．また，高さ方向の千鳥配置を再現するため，幅方向を縮小したブロックモデルを奇数段目の両端部に配置した．なお，水路壁面とブロックが噛み合うことによって，ブロックの流出挙動が拘束されることを防ぐため，水路幅方向には合計 12 mm のクリアランスを設けた. また, 堰堤の上下流勾配は, ブロック外縁を結ぶ包絡線に基づき定義した.

(3)　荷重計測装置

図-3 に，荷重計測装置を示す．本装置は，堰堤モデルに作用する流下方向の水平荷重を計測するため，水路の流下方向に設置した 2 本のリニアレール上に木製板を固定し，その上に堰堤モデルを設置した．堰堤モデル底面および木製板上面には，ブロックと支持板との摩擦条件を一定とするため，80 番の紙やすりを配置した．

木製板の下流側には，流下方向の水平力を計測する 100 N ロードセルを 2 基設置した．また，堰堤モデルの後方に，流下方向の水平力を計測する分力計を設置した．本実験では，これらの 2 基のロードセルおよび 1 基の分力計により計測された荷重の合計値を堰堤モデルに作用する水平合力として整理した．

荷重データは，サンプリング周波数 1.0 kHz で取得した．実験前には，各計測器のゼロ点補正を行っ

表-1　実験ケース

Case	実験区分	土石流モデル			計測項目
		初期貯水量	定常流	礫モデル	
Case-1	流出実験	段階的に増加	3.8 L/s	総重量: 16.2 kg	流出条件の確認
Case-2	荷重計測実験	14.3 L		各 5.4kg : 5-10 mm，10-15 mm，20-25 mm	水平合力の計測



(a)　t =1.11 s　(b)　t = 1.22 s　(c)　t = 1.57 s　(d)　t = 2.23 s

図-5　流出過程（流出流量：14.3 L）

た．なお，本計測装置は堰堤モデルに作用する水平荷重が，木製板およびリニアレールを介して計測器へ伝達される構造となっている．そのため，計測値は堰堤モデル全体に作用する流下方向水平反力として評価した．

(4)　土石流モデル

土石流モデルには，比重 1.9 の固化石炭灰を用いた．礫径は 5-10 mm，10-15 mm，20-25 mm の 3 区分とし，各粒径区分の質量を 5.4 kg とした．したがって，1 回の実験に用いた礫材の総質量は計 16.2 kg である．固化石炭灰を用いた場合には，粒子群が水流とともに流下し，堰堤前面での堰上げ，礫の越流など，石礫型土石流に類似した流下・衝突過程が確認された．よって，荷重時系列を安定的に計測し，各堰堤モデル間の相対比較を行うため，固化石炭灰を採用した．なお，実験では，礫材を水路上流部にあらかじめ堆積させ，その後方に設置した貯水タンクから水を供給することで，土石流モデルを発生させた．

(5)　ブロックの基礎抵抗特性の事前実験

図-4 に示すせん断試験により，ブロックモデルの基礎抵抗特性として凹凸部の噛み合わせによって生じる水平抵抗力を計測した．

凹凸ブロックの噛み合わせ抵抗は，下側ブロックを支持板に固定し，その上に上側ブロックを配置した状態で，上側ブロックを水平方向に引張ることにより求めた．ここでは，凹凸部の噛み合わせが解除される直前の最大荷重を，噛み合わせによる水平抵抗力として整理した．試験は 3 個のブロックを対象とし，各ブロックについて 3 回ずつ実施した．

凹凸ブロックの噛み合わせ抵抗の平均値は 3.83 N であった．この値を単体ブロックの自重に基づく摩擦抵抗に換算すると，等価摩擦係数は 2.02 に相当する．したがって，凹凸部の噛み合わせは，単なる接触摩擦ではなく，ブロック相互の機械的拘束によって大きな水平抵抗を生じさせることが確認された．なお，ここで示した等価摩擦係数は，材料間の接触摩擦係数ではなく，凹凸部の噛み合わせによる機械的抵抗を摩擦抵抗として換算した見かけの値である．

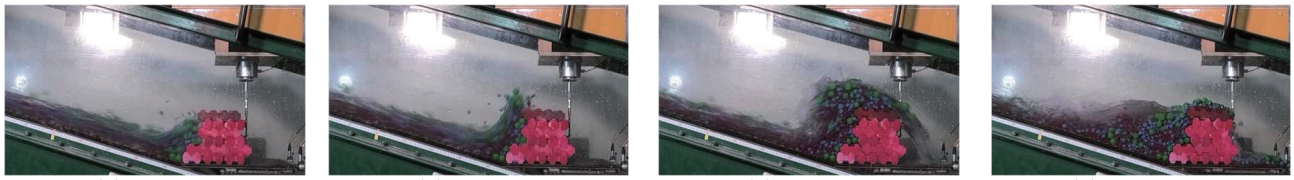
(6)　実験ケース

表-1 に実験ケースを示す．各ケースの実験は 3 回実施し，荷重計測結果および流出挙動の再現性を確認した．

ブロック流出実験では，初期貯水量を段階的に増加させ，ブロックの流出が生じる条件を確認した．本実験では，堰堤モデルを構成するブロックのうち，少なくとも 1 個が初期位置から離脱した時点を流出と定義した．また，流出が確認された条件における初期貯水量および流量を，流出条件として整理した．

荷重計測実験では，堰堤モデルに大きな変形や流出が生じると，計測された荷重にブロックの移動や支持条件の変化が含まれ，堰堤モデルに作用する外力を適切に評価できない可能性がある．そこで，荷重計測実験では流出が確認された初期貯水量 14.3 L を用いる一方で，最上段の上流側ブロックと下流側ブロックを剛結し，計測中にブロック流出が生じない条件とした．この条件において，荷重計測中にブロック流出が生じないことを事前に確認した．

なお，この剛結条件は土石流作用時の荷重履歴を安定的に計測するために設定したものであり，ブロック流出実験とは区別して扱った．まず，給水流量 3.8 L/s とし，給水開始から土石流モデルが堰堤モデルに衝突する直前まで一定流量を供給した．初期貯水量は，水路上流部のゲート後方における貯水深から設定した．給水流量とは，河床勾配 0°の条件で通水試験を行い，水路内に配置した四角せきの越流量公式を用いて算定した．



(a)　t =1.11 s　(b)　t = 1.22 s　(c)　t = 1.57 s　(d)　t = 2.23 s

図-6　荷重計測状況（初期貯水量：14.3 L）

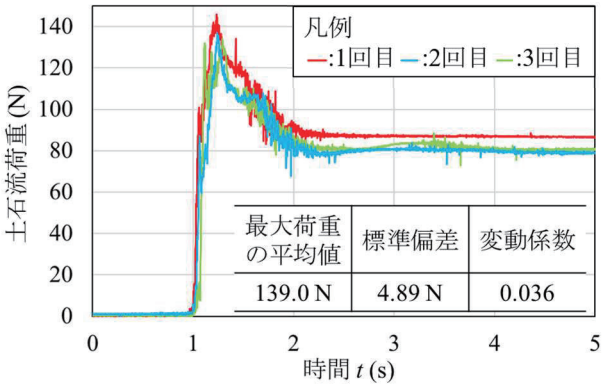
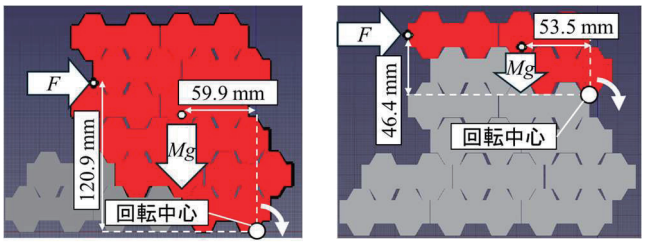


図-7　荷重～時間関係



(a)　1 段目から転倒　(b)　5 段目から転倒

図-8　実験で使用した堰堤の部分安定計算

表-3　ブロック幅（30 cm）あたりの部分安定計算

回転中心	抵抗躯体の自　重	転　倒モーメント	転倒時の作用荷重
1 段目	12.8 kg	7.5 N·m	62.2 N
2 段目	10.5 kg	7.5 N·m	81.0 N
3 段目	8.1 kg	6.1 N·m	93.9 N
4 段目	5.8 kg	3.3 N·m	58.5 N
5 段目	3.5 kg	1.8 N·m	39.4 N
6 段目	1.2 kg	0.4 N·m	43.7 N

3. 実験結果

(1)　流出実験

図-5 にブロック流出過程を示す．ここでは，外力に対して一体として抵抗するブロック群を抵抗躯体，抵抗に寄与しないブロック群を残置躯体とした．また，土石流先端が堰堤モデルに衝突した時刻を t = 1.0 s として整理した．

図-5 (a) に示す t = 1.11 s では，土石流荷重衝突後であるものの，堰堤形状に大きな変化は認められなかった．一方，**図-5 (b)** に示す t = 1.22 s では，土石流の堰上げに伴い，最上段ブロックに浮き上がり挙動が生じた．また，1 段目および 2 段目の前面側に配置された一部ブロックを除き，複数のブロックが抵抗躯体として一体的に転倒を開始した．**図-5 (c)**, **(d)** に示す t = 1.57～2.23 s では，抵抗躯体と残置躯体との間に間隙が形成された．その後，形成された間隙に礫が入り込みながら抵抗躯体の転倒が進行し，最終的に堰堤形状が崩壊した．この結果より，ブロック堰堤の流出挙動は，単一ブロックの個別移動ではなく，複数ブロックが一体化した抵抗躯体の転倒挙動として進行することが確認された．このことは，ブロック堰堤の安定性評価において，堤体全体または単体ブロックのみを対象とするのではなく，実際に一体的に抵抗するブロック群を評価単位として設定する必要があることを示している．

(2)　荷重計測実験

図-6 に荷重計測時の流況を示す．ここでは，土石流先端が堰堤モデルに衝突した時刻を t = 1.0 s として整理した．**図-6 (a)** に示すように，土石流先端が堰堤モデルに衝突した後，堰堤上流側で水および礫が急速に堰上げられた．**図-6 (b)** に示す t = 1.22 s では，堰上げ時の高さが堰堤高さと概ね同程度となり，この時点で最大荷重が発生した．**図-6 (c)** に示す t = 1.57 s では，水および礫の越流が確認された．その後，**図-6 (d)** に示す t = 2.23 s では，堰堤上流側の水面形状が安定し，荷重も準定常的な状態へ移行した．

図-7 に，荷重～時間関係を示す．荷重の立ち上がり開始時刻を t = 1.0 s として整理した．最大荷重の平均値は 139.0 N であった．最大荷重は，土石流衝突直後ではなく，堰堤上流側で水および礫が堰上げられ，堰上げ高さが堰堤高さに近づいた時点で発生した．このことから，本実験で計測された最大荷重は，先端部の直接衝突のみではなく，堰上げに伴う水・礫混合物の蓄積荷重を含むものと考えられる．

以上より，本実験では，土石流作用時には堤体全体が一様に移動するのではなく，複数ブロックからなる抵抗躯体が形成され，残置躯体との境界で転倒・流出が進行することが確認された．また，荷重計測実験では，最大荷重は土石流先端の衝突直後ではなく，堰堤上流側で水および礫が堰上げられた時点で発生した．これらの結果は，抵抗躯体を対象とした安定計算において，抵抗躯体の設定範囲および外力作用条件を定めるための基礎資料となる．

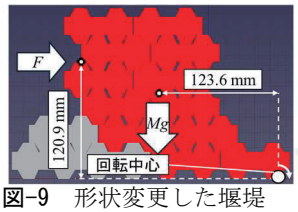


図-9　形状変更した堰堤の部分安定計算



(a)　t =1.22 s　　(b)　t = 1.57 s　　(c)　t = 1.75 s

図-10　形状変更した堰堤モデルの流出実験（初期貯水量：14.3 L）

4. 考　察

(1)　部分的にブロックを一体とした安定計算

本実験で用いた凹凸ブロックでは，凹凸部の噛み合わせにより大きな水平抵抗が発揮されることが確認された．この抵抗は，単なる接触摩擦ではなく，ブロック相互の機械的拘束に起因するものである．そのため，上部ブロックに作用した荷重は，下段ブロックへ伝達され，複数のブロックが一体的に抵抗したと考えられる．実際に，流出実験では個別ブロックの滑動ではなく，複数ブロックからなる抵抗躯体が一体となって転倒する挙動が確認された．

単体ブロックの噛み合わせによる水平抵抗力は3.83 N であり，2 段目と 3 段目のブロックの間における 12 箇所の噛み合わせが荷重に抵抗すると仮定すると，その合力は約 46.0 N となる．このことから，凹凸部の噛み合わせは，個別ブロックの滑動を抑制し，複数ブロックを一体化させる要因になったと考えられる．一方で，実験で確認された堤体の不安定化は，抵抗躯体の転倒として生じた．そこで，流出実験におけるブロック群の挙動を踏まえ，部分的にブロックを一体とみなした転倒安定計算を行った．

図-8 に，堰堤の部分安定計算の概要を示す．図中の赤色で示すブロック群を抵抗躯体，灰色で示すブロック群を残置躯体とした．抵抗躯体は，回転中心となるブロックと，その上方に位置するブロック群で構成されるものと仮定した．また，流出実験では抵抗躯体が一体的に転倒したことから，安定計算においても抵抗躯体を一体構造として扱った．抵抗躯体の重心位置は，抵抗躯体を構成するブロック群の外形寸法から算出した．実験で確認された回転中心は，1 段目最下流部のブロック端部であった．ただし，抵抗躯体の転倒安定性は回転中心の位置に依存するため，比較として，1 段目から 6 段目までの各段における下流側端部を回転中心とした場合について検討した．外力の作用位置については，実験で 1 段目および 2 段目の上流側ブロックが残存したことを踏まえ，1 段目および 2 段目を回転中心とする場合には，4 段目から 6 段目の高さ方向中央に集中荷重が作用するものと仮定した．また，3 段目から 6 段目を回転中心とする場合には，各抵抗躯体の前面高さ方向中央に集中荷重が作用するものと仮定した．なお，本研究で計測した荷重は，堰堤モデル全体に作用する流下方向の水平合力であり，最大荷重発生時における高さ方向の荷重分布は計測していない．堤体全体の安定計算では，分布荷重は合力とその作用位置に置換して評価される．そのため，本研究では，抵抗躯体の安定性を簡易的に評価することを目的として，水平方向の集中荷重としてモデル化した．ただし，本実験では堰堤上流側の堰上げ生起時に転倒が生起した．そのため，堰上げに伴う荷重作用方向の変化がブロックの挙動に影響している可能性がある．これらを考慮した荷重分布および作用方向の評価は今後の課題である．

転倒限界荷重は，回転中心まわりのモーメントのつり合いにより算出した．すなわち，抵抗躯体の自重による抵抗モーメントと，水平荷重による転倒モーメントが等しくなる条件から求めた．以上の仮定に基づいて得られた結果を**表-3** に示す．**図-8 (a)** に示すように，実験時に転倒が確認された 1 段目を回転中心とした場合，転倒限界荷重は 62.2 N であった．一方，**図-8 (b)** に示す 5 段目を回転中心とした場合，転倒限界荷重は 39.4 N となり最小値を示した．

この結果は，上部の小規模な抵抗躯体ほど転倒限界荷重が小さく評価されることを示している．しかし，実験では 1 段目を回転中心とする抵抗躯体の一体的な転倒が確認された．これは，実際の土石流荷重が堤体上部のみに集中して作用するのではなく，衝突直後から堰上げにかけて，下段から中段部の荷重が先行して増加したためと考えられる．その結果，1 段目から 3 段目の回転中心のうち，抵抗モーメントが相対的に小さい 1 段目下流端を起点として，抵抗躯体が一体的に転倒した可能性が示唆される．

したがって，ブロック堰堤の安定性評価では，堤体全体を一体構造として扱うだけでなく，実際に荷重を受けて一体的に挙動するブロック群を抵抗躯体として設定し，その回転中心および外力作用位置を考慮した検討が必要である．

(2)　形状保持性の向上に資する堰堤形状

ここでは，堰堤形状を変更した条件について安定計算および流出実験を行い，堰堤の形状保持性に及

ぼす影響を検討した．前項の結果から，本実験の堰堤形状では，1 段目下流端を回転中心とする抵抗躯体の転倒に対して不安定となることが示唆された．そこで，この転倒挙動を抑制するため，**図-9** に示すように，最下流部にブロックを一つ追加した場合の安定計算を行った．図中の赤色で示すブロック群を抵抗躯体と仮定した．

その結果，転倒限界荷重は 139.9 N となり，形状変更前と比較して大きく増加した．このことから，最下流部にブロックを追加することにより，1 段目下流端を回転中心とする転倒に対して，抵抗モーメントが増加し，安定性が向上することが示された．

図-10 に堤体形状を変更した堰堤モデルの流出実験の景況を示す．初期貯水量は，14.3 L とした．**図-10（a）**に示す t = 1.22 s では，上流側 6 段目のブロックが土石流の堰上げに伴い，上方へ巻き上げられる挙動を示した．その後，**図-10(b)～(c)**に示す t = 1.57～1.75 s では，当該ブロックが堰堤下流側へ流出し，5 と 6 段目のブロックが一体となり流出した．

これらの結果から，堰堤形状の変更により，1 段目下流端を回転中心とする抵抗躯体の転倒は抑制されたものの，最上段上流側ブロックの巻き上げを起点として，上部ブロックの流出が生じることが確認された．すなわち，下部の転倒安定性を向上させた場合でも，越流や堰上げに伴って堤体上部に別の弱部が顕在化する可能性がある．したがって，ブロック堰堤の形状保持性を向上させるためには，下部の転倒安定性だけでなく，上部ブロックの巻き上げや越流時の流出挙動も考慮する必要がある．

5. 結　言

本研究は，ブロック堰堤に作用する土石流荷重を水路実験により計測するとともに，ブロックの流出過程を整理し，部分的に一体化して挙動するブロック群を抵抗躯体として安定計算を行った．さらに，堰堤形状の変更がブロック堰堤の形状保持性に及ぼす影響を検討した．得られた主な知見を以下に示す．

1)本実験条件では，ブロック堰堤に作用する最大荷重は，土石流先端の衝突直後ではなく，堰堤上流側で水および礫が堰上げられ，堰上げ高さが堰堤高さに近づいた時点で生じた．

2)凹凸ブロックの噛み合わせによる水平抵抗力は，単体ブロックの自重に基づく摩擦抵抗よりも大きく，ブロック相互の機械的拘束が個別ブロックの滑動抑制に寄与することが確認された．

3)本実験条件の堰堤形状では，単一ブロックが個別に滑動するのではなく，複数ブロックからなる抵抗躯体が一体となって転倒・流出する挙動が確認された．また，部分的にブロックを一体とみなした安定計算により，抵抗躯体の回転中心および外力作用位置が転倒安定性に大きく影響することを示した．

4)堤体形状を変更し，下流側にブロックを追加することで，1 段目下流端を回転中心とする抵抗躯体の転倒限界荷重が増加した．一方で，形状変更後には，上部ブロックの巻き上げや越流に伴う流出が確認された．

参考文献

1)　中村達也，藤本将光，里深好文，原田紹臣，佐藤哲也，橋口聡太朗，神野忠広：コンクリートブロック積砂防堰堤の機能性に関する実験的検討．令和 5 年度砂防学会研究発表会概要集，p. 653-654，2023.

2)　原田紹臣，藤本将光，中村達也，里深好文，水山高久：透過性を有するブロック積砂防堰堤の捕捉機能に関する基礎的な研究，砂防学会誌，Vol. 76，No. 2，p. 11-18，2023.

3)　日浦啓太，牧輝磨，原田紹臣，藤本将光，里深好文，神野忠広，佐藤哲也，平澤健：移動床におけるブロック堰堤の安定性向上に向けた実験的検討，令和 8 年度砂防学会研究発表会概要集，P-16，2026.

4)　水野秀明，相田和也，山本浩喜，吉村俊一，怜熊公子：サザンロック・ブロックを用いた砂防堰堤の安定性評価手法の開発，令和 8 年度砂防学会研究発表会概要集，P-113，2026.

5)　井上隆太，香月智，梶田幸秀：コンクリートブロック堰堤の礫衝突安定性に関する個別要素法による検討，令和 8 年度砂防学会研究発表会概要集，R2-16，2026.

6)　藤本将光，奥村勇太，里深好文，佐藤哲也，橋口聡太郎，神野忠広：コンクリートブロック堰堤の透水性とその機能に関する研究，2022 年度砂防学会研究発表会概要集，p. 291-292，2022.

7)　菅付紘一，水田洋司，藤田浩一，伊井洋和，佐々木広彦，高橋洋一：コンクリートブロック多段積み構造の耐震性向上対策に関する基礎的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 68，No. 2，I_516-I_521，2012.

8)　齋藤和樹，堀口俊行：ブロック堰堤に作用する土石流荷重の基礎実験，令和 8 年度砂防学会研究発表会概要集，R2-15，2026.

9)　齋藤和樹，堀口俊行，井上隆太：透水性を有するブロック堰堤に作用する土石流荷重の実験的評価（シンポジウム講演概要），第 29 回応用力学シンポジウム講演概要，13011，2026.

（2026.5.29　受付）