

MCC Technology Report

2023 年 土砂・流木対策特集号 No.45



CONTENTS

技術紹介

- ・ 土砂・洪水氾濫に伴う流木対策における効果的な施設整備に関する研究
- ・ 道路盛土における区域外から流入する土砂・流木等
に対する対策工の設置事例に関する報告
- ・ 変形地盤上におけるブロック積砂防堰堤の屈撓性能に関する基礎的な実験

研究紹介 1 土砂・洪水氾濫に伴う流木対策における効果的な 施設整備に関する研究【水工・砂防分野その1】

MCC 研究所、水工・砂防 西日本事業部

近年、土砂・洪水氾濫による被害発生時において、土砂と共に流出した大量の流木が確認されており、これらの流木が土砂・洪水氾濫による被害を増大させている報告がある。本稿では、最下流に設置した流木捕捉工における流木の捕捉機能に関して、コンクリートスリットの越流に伴う影響や効果について、基礎的な実験により検証している。

キーワード：土砂・洪水氾濫、流木、実験、谷底平野

1. はじめに

近年、土砂・洪水氾濫による被害発生時において、土砂と共に流出した大量の流木（写真-1）が確認されており、これらの流木が土砂・洪水氾濫による被害を増大させている報告がある¹⁾。これを受けて、土砂・洪水氾濫時に流出する流木に対する取り組みが求められている。しかしながら、現在、流木流出量の推定や想定される被害に応じた施設配置計画を検討する手法等が十分でなく、今後の施設整備に向けた更なる議論が課題である。

土砂・洪水氾濫対策の事業化においては、下流域での基幹堰堤や遊砂地等による対策が期待されている。ただし、これらの施設を新たに構築する場合、用地の確保や維持管理等が一般的に困難になると考えられる。一方、山地河川の掃流区間等においては、谷底平野地形の中央付近を流下している河川が多く存在している。そこで、筆者らはこのような地形を有効に活用した新たな出水時のみ機能させる堆積工等による土砂や流木の対策工を提案している（図-1）。図-1 に示すとおり、コンクリートスリット幅等を変化させて、堆積工内上流では巨礫の捕捉（調節）を、中流では細粒土砂の捕捉を期待している。さらに、流木と土砂との比重の違いの影響を受けて流下途中にそれぞれ分離し、最終的に流木が構造物を越流して流下する特性²⁾に着目し、堆積工の下流部に流木捕捉工を設置している。なお、この分離構造は、捕捉性能や維持管理（例えば、捕捉後における除去等の効率性）等においても有意であると考えられる。

本稿では、最下流に設置した流木捕捉工における流木の捕捉機能に関して、コンクリートスリットの越流に伴う影響や効果について、基礎的な実験により検証する。

2. 流木捕捉工の捕捉機能に関する基礎的な実験

実験に用いた流木捕捉工（捕捉杭）を設置した水路を図-2 に示す。図-2 に示すとおり、実規模に対して約 1/100 程度の縮尺を想定して傾斜させた水路（長さ 3m、幅 20 cm）の上流から水（ Q_1 ）、流木（ただし、円形材料、流木長 l_1 : 8 cm、乾燥状態での比重：約 0.75、手動により



写真-1 土砂・洪水氾濫に伴う流木の被害事例¹⁾

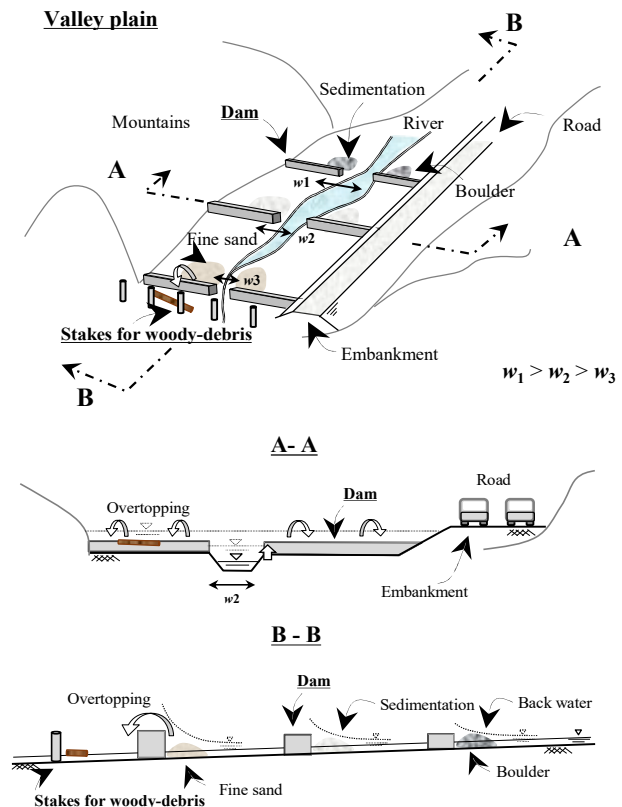


図-1 谷底平野地形を活用した土砂・洪水氾濫の対策案（連続スリット堰堤による堆積工と最下流流木捕捉工）

1本ずつ投入：計 200 本）を供給し、水路下流部に設置した流木捕捉工（捕捉杭：高さ h_1 10 cm、径 ϕ 15 mm）によりそれぞれ捕捉された流木等の本数を計測している。流木の投入については、流木の供給条件（初期の投入方向）の違いが捕捉率に影響を与えないように配慮するため、流木の方向を流れの水平面内において全方向にほぼ同じ割合となるように留意して投入している。水路（捕捉杭：高さ h_1 ）の間隔（ h_2 ）は、技術指針³⁾を参考に、

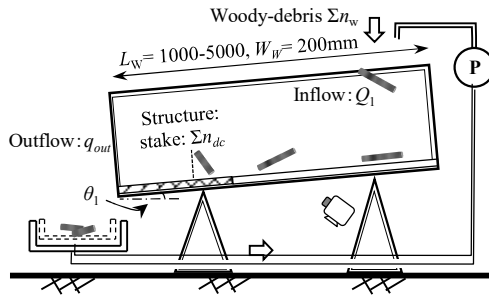


図-2 実験に用いた水路

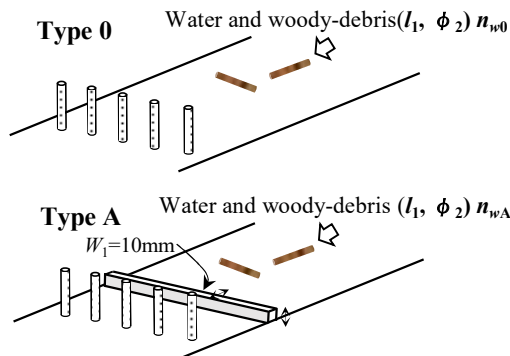


図-3 実験条件（越流スリット構造の有無）

流木長 (l_1) の 1/2 を標準としている。なお、予備実験において、流水への土砂混入、流木への枝の付加、水路長 (1mから5m間) ならびに流木投入速度の違い等による影響について事前に確認している。

本研究において、谷底平野の地形を活用した堆積工下流の流木対策工における捕捉機能に関して、流木の回転を制御させることにより、コンクリートスリット（土砂捕捉・調節）の越流時における影響（効果）について着眼している。なお、越流堰は捕捉工より直上流側に配置するものとし、この越流堰の設置有無の違いが捕捉機能に与える影響について把握する（図-3）。また、越流堰の高さ (h_3) は、前庭部における水深程度としている。

各条件の違いが流木の回転や捕捉機能に与える影響を把握するため、上部からの供給流量 Q_1 、流木供給本数 n_w 、鋼材の杭間隔 l_2 、流木径 ϕ_2 を変化させて、それぞれの条件での流木捕捉量 n_{dc} を比較している。一方、供給流量 Q_1 (0.5、1.0、1.7ℓ/s) に対して、フルード数は、水路勾配 θ_1 (5、10、15度) に応じて、それぞれ、0.8～1.2、0.8～1.5、1.3～1.8 程度であった。また、手動での流木投入による影響等を低減するため、実験は同じ条件にて3回実施して平均化している。

実験結果における流木捕捉工による流木捕捉率 f_c は、

$$f_c = n_{dc} / n_w \quad (1)$$

と表される。ここに、 n_{dc} は捕捉杭で捕捉された流木の本

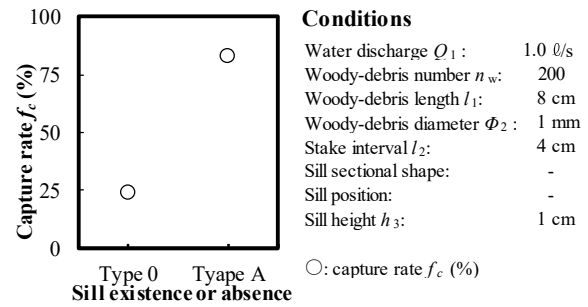


図-4 越流スリット有無が流木捕捉機能に与える影響

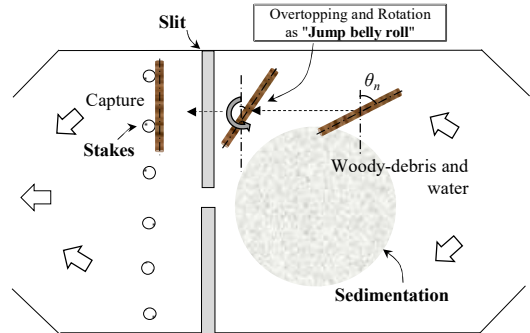


図-5 越流堰により期待される流木の回転挙動と流木捕捉機構

数、 n_w は流木の供給本数である。以降に主な結果を示す。

提案する越流堰の設置有無の違い（図-3）による捕捉率 f_c の変化を図-4 に示す。図-4 に示すとおり、捕捉杭に越流堰（図-3：下）を組み合わせで設置した場合（Type A）、単独で捕捉杭を設置した場合（Type 0）と比較して、捕捉率 f_c が顕著に向上（3 倍以上）することが確認された。ここで、実験中の観察結果を参考に、土砂調節を目的としたコンクリートスリットの越流により期待される流木の回転挙動及び流木捕捉機構の概要を図-5 に示す。図-5 に示すとおり、堆積工の上流側（図右側）から流入した流木の角度 θ_n （水平面内の流れ直角方向に対する角度）は、堆積工内上流では角度があまり変化せずそのまま流下する。そして、越流堰を通過する場合、その堰直上流における背水の影響を受けて流木は流れに対して越流時に横断方向 ($\theta_n \ll 90^\circ$) に回転し、越流後にそのまま捕捉される効果が確認された。

参考文献

- 1) 国土交通省：気候変動を踏まえた砂防技術検討会資料，2023。
- 2) 原田紹臣・里深好文・水山高久他：流木の流出特性を考慮した流木対策に向けた提案，河川技術論文集，Vol.24，2018。
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針 解説，国総研資料第905号，2016。

謝辞：本研究に際し、立命館大学 里深好文教授、京都大学 水山高久名誉教授、アジア航測株式会社ご支援及び協力を得た。

研究紹介 2 道路盛土における区域外から流入する 土砂・流木等の対策工（設置事例）【道路分野その1】

MCC 研究所、道路・橋梁事業部

近年、道路区域外から流入した土砂・流木に伴って、顕著な被災を受けている。これを受けて、道路盛土における土砂災害防止対策（国土強靱化）に向けた取り組みとして、区域外からの大規模な土砂流入等に対する更なる効果的なハード対策工法の提案が求められている。本稿ではこれまで筆者らが取り組んできた新たな対策工の設置事例について、構造の概要等について報告する。

キーワード：道路防災、土石流・流木、対策工、国土強靱化

1. はじめに

令和4年8月に発生した大雨に伴って、道路区域外から流入した土砂・流木により、国道113号（新潟県）で顕著な被災を受けた。近年、これらの被害を軽減することを目的に、災害に強い国土幹線道路ネットワークの強化対策のための道路リスクアセスメント要領（案）¹⁾の考え方が新たに示された。これを受けて、道路盛土における土砂災害防止対策（国土強靱化）に向けた取り組みとして、区域外からの大規模な土砂流入等に対する更なる効果的なハード対策工法の提案が求められている。

そこで、本稿ではこれまで筆者らが取り組んできた新たな対策工の設置事例（国内初）について、構造の概要や適用事例について報告する。

2. 提案する道路盛土における土石流対策構造の特徴

現在、土石流発生のおそれのある溪流等を横過する高速道路の盛土では、図-1に示す盛土の上流側に盛土横断排水工の閉塞軽減対策を目的とした構造の設置が求められている^{2) 3)}。なお、この対策工は上流の道路区域外から流入する土砂や流木による盛土横断排水工の閉塞や、それに伴う盛土内への流入水の浸透による盛土崩壊等を防止する構造でなければならない^{2) 3)}。しかしながら、この閉塞軽減工の詳細な構造や形状等に関して、マニュアル等において示されていない。また、小型砂防堰堤等の対策工を盛土構造の上流側に設置する場合、別途の対策工設置のための追加用地取得や、日常的な維持管理（点検含む）等の更なる負担が懸念される。

そこで、筆者らはこれらの課題を解決するために、海外で設置された土（盛土）で構築された土石流対策施設における排水対策工（写真-1：中央）⁴⁾を参考に、図-2に示す道路盛土横断排水工における閉塞軽減構造を新たに提案している⁵⁾。図-2に示すとおり、本構造は盛土法尻部内（道路用地内）に構築できるため、追加の用地取得が不要である。なお、提案に際しては、確実な排水機能の確保するために、水路実験により検証している⁶⁾。実験結果⁶⁾によると、図-3（下）に示す閉塞構造（水平

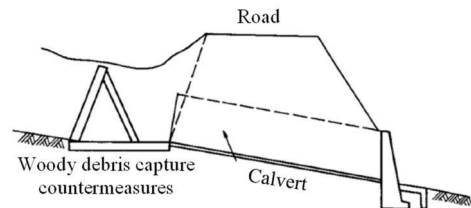


図-1 道路盛土カルバート上流に設置する対策工の概要図^{2), 3)}



写真-1 溪流に設置された盛土形式の土石流対策工の外観
（カナダ；チャールズ・クリーク）⁴⁾

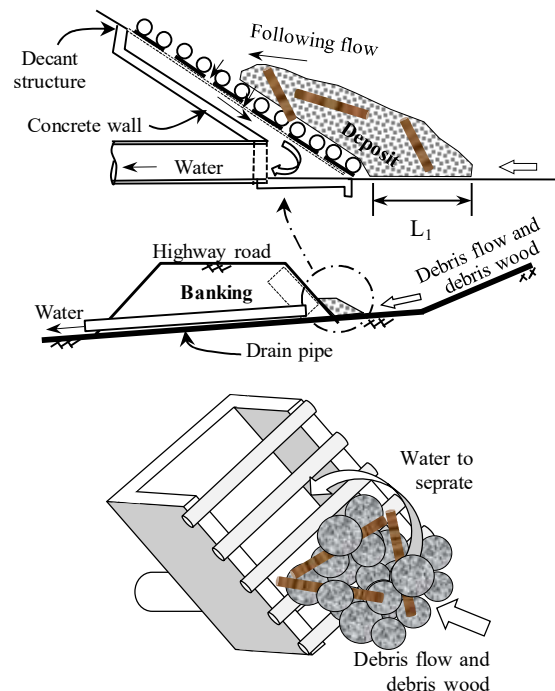


図-2 提案する道路盛土横断排水工における閉塞軽減構造⁵⁾

部材による透過部）の下流背面に存在する壁体（背面体：Backboard wall）の効果より、細粒土砂等の捕捉機能が、

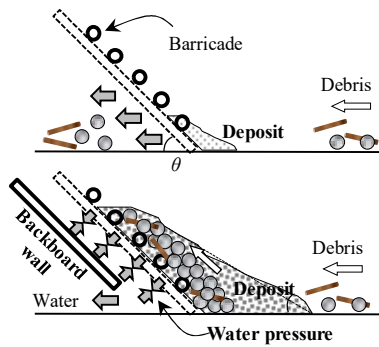


図-3 閉塞軽減構造における背面板が捕捉機能に与える影響⁶⁾

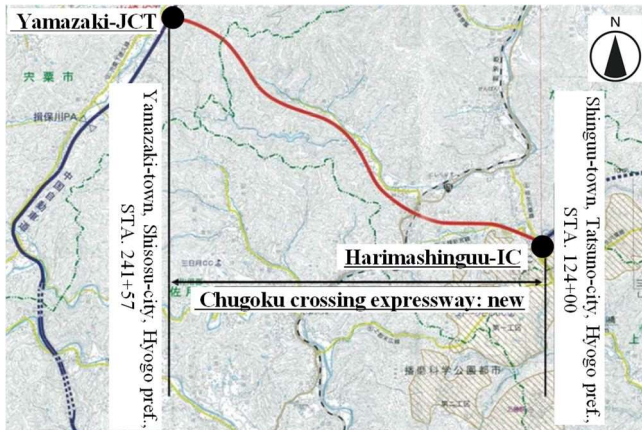


図-4 対象区間（中国横断自動車道：姫路鳥取線）



図-5 対象流域の平面図（流域面積 A=0.018km²）

図-3（上: No-wall）の構造と比較して、約4倍程度に向上することが分かっている。また、本構造の主部材はコンクリートと鋼材であり、期待する耐荷性能は土石流等の外力を想定している。なお、本対策工については、近年に報告された事例集⁷⁾等においても紹介されている。

3. 提案する対策工の適用（設置）事例の報告

令和4年3月に開通した中国横断自動車道（播磨新宮～宍粟間：図-4）において、前述までの提案する盛土横断排水閉塞軽減対策構造が複数箇所設置された。なお、その一例として、流域平面図と設置状況を図-5と写真-1にそれぞれ示す。また、盛土や溪流条件を表-1に示す。表-1に示すとおり、盛土高は8.1m、横過する溪流の

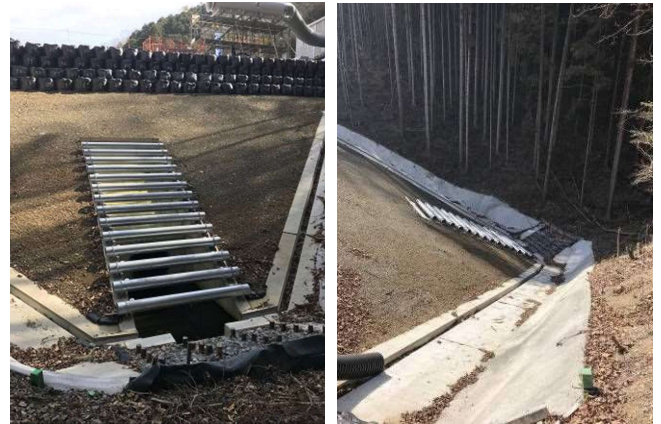


写真-1 施工された道路盛土における土石流対策工の設置状況

表-1 対象となる高速道路と横過する溪流状況

Basin conditions		Value
Embankment height		8.1 m
Basin area		0.018km²
Riverbed slope	Watershed average	10 deg.
	crossing point	6 deg.

流域面積は0.018km²、横過する地点の溪流勾配は6度、上流域の平均溪流勾配は10度である。なお、これらの条件は、山間部の道路が横過する平均的な溪流条件と同じ規模である³⁾。また、写真-1（右）は盛土天端からの状況に示されるとおり、路側帯からの点検により、閉塞や堆積状況の把握が容易であることが推測される。今後、盛土規制法⁸⁾に基づく沢に埋められた宅地盛土等における排水対策に向けて、改善していく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：道路リスクアセスメント要領（案），2022。
- 2) 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針，2009。
- 3) JH日本道路公団：土石流対策の手引き，2017。
- 4) Price, J.: Debris torrent control facilities (Vancouver, BC, Canada), *LABSE structures* C-38, No.3, pp. 60-61, 1986。
- 5) 原田紹臣・内藤秀弥・中谷加奈・里深好文・水山高久：道路盛土横断排水構造物の高機能化に関する研究，土木学会論文集B1(水工学)，Vol.72, No.4, pp.871-876, 2016。
- 6) 坂本良祐・原田紹臣・里深好文・吉田一雄・中谷加奈・水山高久：道路盛土横断排水工における閉塞軽減構造の土石流及び流木捕捉機能に関する一考察，砂防学会研究発表会，2018。
- 7) 宮武裕昭・宮下千花他：道路横断排水カルバート流入工の閉塞軽減施設事例集，土木研究所資料，Vol.4405，2020。
- 8) 盛土規制法（令和4年法律第55号），2021。

謝辞：本研究に際し、立命館大学 里深好文教授、京都大学 水山高久名誉教授、中央復建コンサルタンツ株式会社、土木研究所、NEXCO 西日本株式会社にご支援及び協力を得た。

研究紹介 3 変形地盤上におけるブロック積砂防堰堤の屈撓性能に関する基礎的な実験【水工・砂防分野その2】

MCC 研究所、水工・砂防 西日本事業部

火山砂防計画策定指針の策定を受け、今後、火山の影響を受けた変形する地盤上における遊砂地や導流堤等の工事において、屈撓性、迅速性、軽重量、再設置の容易性等が有意と考えられるブロック積砂防堰堤の更なる活用が期待される。そこで、本研究では、ブロック積砂防堰堤の変形地盤上における屈撓性及び今回新たに提案する変位抵抗性能に関して、基礎的な実験を行っている。

キーワード：ブロック堰堤、実験、屈撓性能、変位抵抗性能

1. はじめに

現在、ブロックを活用した砂防堰堤や治山堰堤等の採用実績が、全国的に多く報告¹⁾されている。また、ICT 施工等の無人化施工による堰堤工事における、ブロック積砂防堰堤の活用が期待されている。特に、ブロック積砂防堰堤は、緊急性を要する火山砂防において大規模に変化する地形等に対して、備蓄されたブロックを柔軟に組み合わせることによる迅速な対応が可能であると考えられる。これより、近年の火山砂防計画策定指針の策定を受け、今後、火山の影響を受けた変形する地盤上における遊砂地や導流堤等の工事において、屈撓性、迅速性、軽質量(空げき)、再設置の容易性等が有意と考えられるブロック積砂防堰堤の更なる活用が期待される²⁾。ただし、砂防関係施設点検項目において示されている変形地盤上におけるブロック積砂防堰堤の屈撓性能³⁾に関する挙動については、殆ど知られていない。一方、砂防堰堤や導流堤の機能において、構造物の天端高さの保持は重要である。ここで、上下面に凹凸の噛み合わせを有したブロックは、変形地盤への追従とともに、一定の天端高さを確保する変位の抑制が期待される。そこで、本研究では、この凹凸の噛み合わせを有したブロック積砂防堰堤の変形地盤上における屈撓性及び今回新たに提案する変位抵抗性能に関して、基礎的な実験を行う。

2. 実験概要

実施した実験の概要を図-1 に示す。図-1 に示すとおり、1/25 程度の縮尺を想定し、高さ 10 cm、幅及び長さ 50 cm の水槽に一般的な珪砂(2 及び 5 号)を敷き詰め、その上にブロック積砂防堰堤(堰堤)を設置した。そして、ブロック堰堤の基礎部の変形に伴うブロック堰堤の挙動(ブロック天端の沈下量: $\Delta\delta$)について把握するため、水槽底部に設けた穴(Hole-in, out)より、土砂を排出させて観察した。

ブロック堰堤の本体を構成するブロックの種類や積み方で堰堤形状等の違いによる影響を把握するため、表-1 に示す 2 種類のブロック(a, b)を用いた。なお、

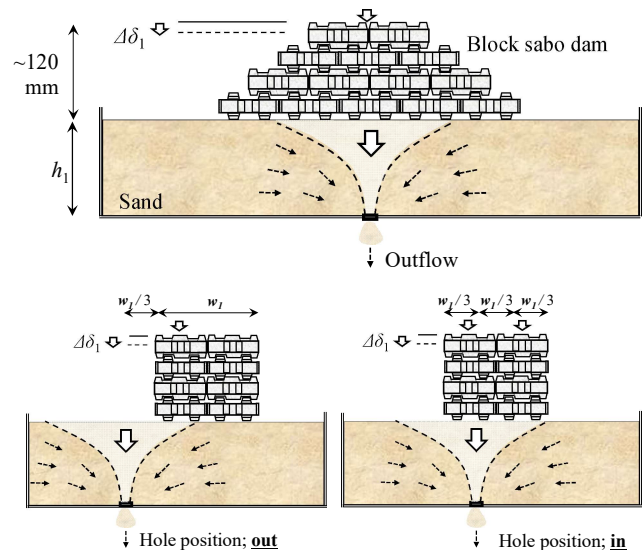


図-1 実験の概要(上:正面, 左下:側面-穴外, 右下:側面-穴内)

表-1 実験に用いたブロック(a, b)の概要

Block type for sabo dam		Width w (mm)	Height h (mm)	Mass M
Block-a:	Actual	1,630	940	3,015 kg
	Model	65.2	37.6	0.193kg
Block-b:	Actual	1,630	500	3,054 kg
	Model	65.2	20.0	0.195kg

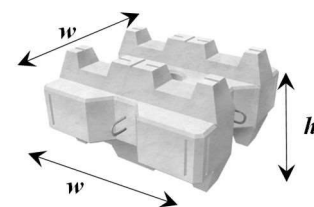


写真-1 今回対象とした二次製品ブロック(ブロック a)⁴⁾

ブロック a (65.2×65.2×37.6 mm ; 0.193 kg) は、ブロック上下面に設けられた凹凸による噛み合わせと、その隙間(余裕)による屈撓性や変位抵抗性能が期待される汎用性のある二次製品ブロック⁴⁾(写真-1)とした。一方、ブロック b は、ブロック a とほぼ同じ質量(0.193 kg)及び平面形状(65.2×65.2 mm)となるように、高さを調整させて構築した直方体のブロック b (65.2×65.2×

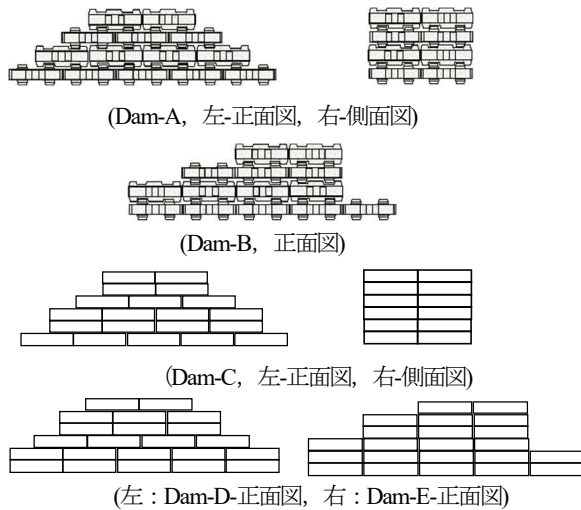


図-2 ブロック積砂防堰堤の形状

20.0 mm ; 0.195 kg) とし、ブロック間においては噛み合わせが期待できない凹凸の無い構造体とした(表-1: 下)。また、ブロックを用いて構築した堰堤の形状を、それぞれ図-2 に示す。本実験では、図-2 の上半分に示す堰堤(堰堤 ; A、 B) は、噛み合わせが期待できるブロック a (表-1: 上) を用いて、堰堤の上下流における法勾配や天端の厚みを変化させて積み上げた。ここで、堰堤 A は横断方向(図-1: 上) のみに噛み合わせが期待できる形状(積み方)とし、堰堤 B は噛み合わせを有しない積み方とした。また、図-2 の下半分に示す堰堤(C、 D) は、直方体のブロック b (表-1: 下) を用いて、同様に、堰堤の天端の厚み等を変化させて積み上げた。また、参考として、ブロック a における凹凸平面形状の違い(写真-1)を考慮して、堰堤 A に対して各ブロックを 90 度回転させて積み上げた堰堤 A' を対象とした。さらに、基礎部の条件による影響を把握するため、土砂の材料(silica ; No. 2 or 5)、土層厚 h_1 及び水槽底面の穴の位置(hole、図-1 参照)を変化させた。なお、実験は同じ条件にて 3 回実施して平均値を用いた。

実験条件に対してそれぞれ得られた堰堤天端高さの沈下量 $\Delta\delta$ に関する結果を表-2 に示す。表-2 に示すとおり、ブロック a を用いた噛み合わせによる変位抵抗が期待できる堰堤 A (写真-2) は、噛み合わせの無い堰堤(C、 D) と比較して、顕著に沈下量 $\Delta\delta$ が低減する傾向であることが分かった。ただし、Case 1-4 (ブロック a の噛み合わせが無い場合: 堰堤 B) については、ブロック b を用いた堰堤の傾向と同じ程度に沈下していることがわかり、沈下に対する噛み合わせの重要性が確認された。また、Case 3-1 や 3-2 の実験結果に示されるとおり、底面穴の位置(基礎変形位置: Hole) の変化や個々のブロックの平面向きの違い(堰堤 A') による影響については、

表-2 実験結果

Case	Block type	Dam type	Sand; silica	h_1 (mm)	Hole	$\Delta\delta$ (mm)
1-1	Block-a	Dam-A	No.2	80	In	18
1-2			No.5	80		12
1-3			No.2	50		11
1-4		Dam-B	No.2	80		41
2-1	Type-b	Dam-C	No.2	80	In	35
2-2		Dam-D				41
2-3		Dam-E				48
3-1	Type-a	Dam-A	No.2	80	Out	19
3-2		Dam-A'			In	18

A': Rotate the arrangement of A blocks at right angles



写真-2 観察されたブロック積砂防堰堤における屈撓性能の状況

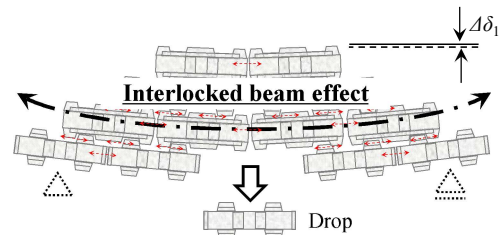


図-3 ブロック積砂防堰堤のインターロック・ビーム効果による変形地盤上における柔軟で粘り強い屈撓性能と変位抵抗性能
殆ど見られないことが分かった。

これらの結果より、凹凸を有したブロック間の噛み合わせにより、変形する地盤上における屈撓性能と、今回新たに提案するインターロック・ビーム効果(図-3)による最上段ブロックの変位抵抗性能が期待できることが分かった。今後、更なる検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 一般社団法人 建設コンサルタンツ協会：ブロック積砂防堰堤 活用事例集, 2023 (公開予定)。
- 2) 原田紹臣・藤本将光・里深好文・水山高久他：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 (投稿中)。
- 3) 国土交通省砂防部：砂防関係施設点検要領, 2022。
- 4) 新技術情報提供サービスNETIS登録番号, CB-150012-VR。

謝辞：本研究に際し、立命館大学 里深好文教授、京都大学 水山高久名誉教授、一般社団法人 建設コンサルタンツ協会、共和コンクリート工業株式会社にご支援及び協力を得た。

MCC Technology Report

2023 年 土砂・流木対策特集号

2023 年 11 月 1 日発行

三井共同建設コンサルタント株式会社 MCC 研究所

〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目 11 番 1 号

☎ TEL 03-3495-1321 (代)

<http://www.mccnet.co.jp>



MCC は、MITSUI CONSULTANTS Co.,Ltd.の略称です

表紙写真：只見川（福島）