

地震災害後に設置した緊急対策工における被災報告

防衛大学校 ○堀口俊行

日本工営株式会社 西陽太郎

国立研究開発法人土木研究所 伊藤誠記

1. はじめに

令和6年度能登半島地震により輪島市寺地川で斜面崩壊が発生し、河道閉塞が形成された。これに対し、緊急対策としてブロック積砂防堰堤（以下、ブロック積堰堤）が設置された。しかし、写真-1に示すように集中豪雨による河道閉塞の決壊等に伴い、ブロック積堰堤の水通し部と右岸側の上部ブロックが流出する被害が生じた。この原因は、想定を超えた豪雨による流量と地震時および豪雨時の崩壊により発生した土砂の影響でブロック積堰堤の被災が発生したためと考えられる。その際、寺地川の下流部側には強靱ワイヤーネットも設置されており、写真-2に示すように支柱部分から傾き、メインワイヤーの一部が破損していることが確認された。このことから、想定を超える洪水が発生したことで、構造物としての機能すべき緊急対策工としての効果が十分に発揮されていない。よって、対策工法や最適な設置位置についての改善が求められる。まずは、第一段階としてブロック積堰堤における下流部から流出する現象についての基礎的な実験を検討する必要がある。

そこで本報告では、対策工の耐災害性向上に資する知見として、輪島市寺地川で発生したブロック堰堤の被災メカニズムを解明し、実験水路におけるモデル実験を通じてブロック積堰堤の流下現象を明らかにする。

2. 豪雨後におけるブロック堰堤の状況

輪島市寺地川では、豪雨後において谷出口までの堆積域にて大量の土砂・流木が残存しており、河道閉塞の決壊に伴い山間部に堆積していた流木や土砂が流下したものと想定される。氾濫域の末端付近では、流木による2次閉塞も確認されている。氾濫域から谷出口（県道6号沿い）までの区間においても土砂と流木が堆積し、周辺地域の地盤高が上昇していた。特に、谷出口までの堆積域では、流出した土砂が堆積したことで河床位が上昇し、家屋への土砂流入被害も発生していた。

ブロック積堰堤周辺では、右岸側の立木（スギ）に約2.0 mの高さで樹皮剥離痕を確認した。ブロック積堰堤の直下左岸側には崩壊起源と推定される倒木および土砂が堆積していた。さらに、流出したブロックが下流側に点在しており、これらのブロックの下流に設置されていたワイヤーネットは、写真-2に示すように流体力を受けて支柱ごと流出した。

3. ブロック積堰堤の流下現象確認実験の概要

ここでは被災状況を基に、ブロック積堰堤の流下メカニズムを検証する実験を行った。

3.1 実験要領

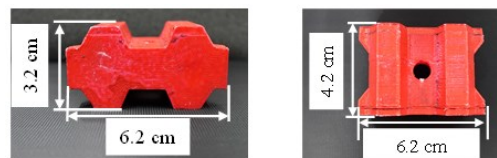
実験水路は長さ4.5 m、幅220 mm、高さ500 mmの直線水路とし、底面には木材を敷設した。水路勾配は、寺



写真-1 ブロック積堰堤（2024/10/18 撮影）

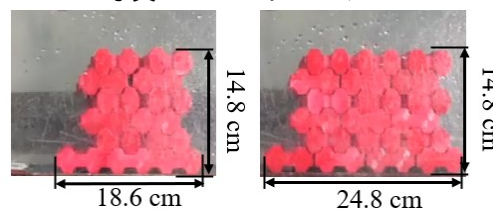


写真-2 ネット構造物の現状（2024/10/18 撮影）



(a) 側面 (b) 上面

写真-3 ブロックモデル



(a) Type-1 (b) Type-2

写真-4 ブロック積堰堤モデル

地川のブロック堰堤上流側の平均河床勾配 ($\theta = 3.6^\circ$) に設定した。ブロック配置部の底面には、紙やすりを敷設し、実際のコンクリート底板の摩擦特性を再現した。水路上流部には、給水タンクを配置し、ゲート開閉の水流を発生させる機構を備えている。写真-3には、ブロックモデルを示す。材質は、ABS-SGで3Dプリンターを用いて1/30スケールで製作した。実際の比重を再現するため、内部にモルタルを充填した。写真-4には、ブロック積堰堤モデルを示す。寺地川でのブロック積を縮小化したもので、写真-4(a)に示すようにブロックを水路幅方向に5個、高さ方向に6個配置した基本ケースとした。これに加え、写真-4(b)に示すように堰堤の総高さを一定に保ちつつ流下方向のブロック数を変化させた。

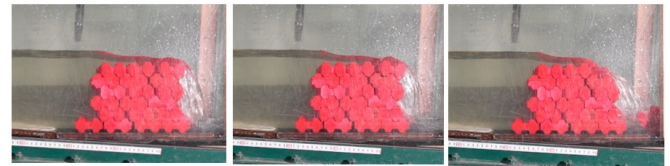
3.2 実験ケース

実験ケースは、流下条件として①定常流、②ダムブレイク方式（一挙放流）の2つのパターンを設定した。それぞれ流出時の流量は1.8 L/sと3.1 L/sとしている。各モデルについて、ブロック流出開始の限界流量を段階的



(a) $t = t_0$ s (b) $t = t_0 + 0.50$ s (c) $t = t_0 + 1.00$ s

図-1 Type-1 の定常流量における流出過程



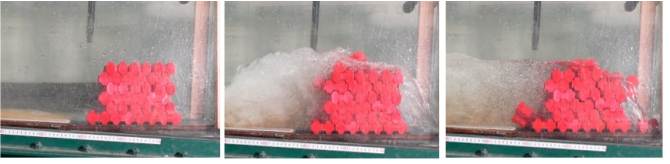
(a) $t = t_0$ s (b) $t = t_0 + 0.50$ s (c) $t = t_0 + 1.00$ s

図-2 Type-2 の定常流量における流出過程



(a) $t = t_0$ s (b) $t = t_0 + 0.83$ s (c) $t = t_0 + 1.17$ s

図-3 Type-1 のダムブレイクにおける流出過程



(a) $t = t_0$ s (b) $t = t_0 + 1.00$ s (c) $t = t_0 + 1.67$ s

図-4 Type-2 のダムブレイクにおける流出過程

に増加させて計測した。ブロックの流出過程を観察するとともに、下流側での移動限界流速を計測・整理した。

4. 流出過程実験の結果

4.1 定常流条件下の挙動

図-1, 2にType-1とType-2の定常流量における流出過程を示す。なお、図-1(a)に示す $t = t_0$ sをブロックが移動する直前としている。Type1では、図-1(b)に示す $t = t_0 + 0.5$ sにおいて上流側から2列目以降のブロックが僅かに下流側に移動するとともに、3列目天端部のブロックが下流側に流出を開始した。図-1(c)に示す $t = t_0 + 1.0$ sでは2列目以降のブロック全体が崩壊した。実験で計測した越流水深を用いた安定計算ではType-1は安定と判定された。この乖離は、砂防堰堤の設計式を準用した場合、ブロックの間隙への水の浸入による不安定化の効果を考慮できないためと考えられる。

Type-2では、図-2(a)に示す $t = t_0$ sをブロックが移動する直前としている。図-2(b)に示す $t = t_0 + 0.5$ sで4列目天端部のブロックのみが流出を開始し、図-2(c)に示す $t = t_0 + 1.0$ sで下流側へ流出した。Type-1と比較してブロック全体の流出が抑制される結果となった。Type-2も安定計算を行うと安定と判定されるが、実際には個々のブロックが流出する現象が確認された。このことから、砂防堰堤の設計式を準用する場合は、個々のブロックの流出に関して個々の塊として検討する必要がある。

4.2 ダムブレイク条件下の挙動

図-3, 4にダムブレイク条件下における流出過程を示す。Type-1の場合、静水の先頭部の流速は1.8 m/sであり、図-3(b)に示す $t = t_0 + 0.83$ sでは、3列目の天端部ブロックが下流側に傾き始め、図-3(c)に示す $t = t_0 + 1.17$ sでは、2列目上部ブロックが流出した後に、2列目以降の全体が崩壊する。Type-1では、ブロックの流出過程において定常流と同様に下流側上部ブロックの流出から全体の崩壊に遷移することが分かる。一方、Type-2の場合、流水の先頭部流速は1.88 m/sで、図-4(b)に示す $t = t_0 + 1.00$ sで堰上げが発生するとともに、2列目上部の下流側ブロックに乗り上げ、5段目のブロックが上流側へ流出した。図-4(c)に示す $t = t_0 + 1.67$ sでは、4列目上部のブロックが下流側へ流出した。Type-2はType-1に比べて流出するブロック数が少なく、流下方向ブロック数を増加させることで、全体崩壊を抑制できる可能性が示された。ただし、越流や堰上げの背水による個々の

ブロック流出は完全に防止できないことが確認された。

5 今後の検討課題

本災害は、緊急対策工における根本的な課題を明らかにした。今後の対策工設計において以下の検討が必要である。

- 1) 安定性の再評価
 - ・堤体滑動防止のため計画規模の適正化
 - ・転倒・滑動・沈下に対する複合的安全率の設定
 - ・想定外流量（洪水等）に対する余裕度評価
- 2) ブロック性能向上
 - ・耐衝撃性を有する鋼製連結金具の開発
 - ・ジョイント部の許容変位量に基づく設計
 - ・部分破損時の連鎖的崩壊防止機構
- 3) 間隙対策
 - ・ブロック形状の最適化（インターロック形状の採用）
 - ・間隙充填材（弾性系樹脂など）の適用評価
 - ・植物根の侵入防止策（フィルター層の設置）

また、緊急対策用における設計思想の転換や性能規定型における設計の考え方が求められ、想定外事象に対するレジリエンスを考慮した緊急対策工について検討が必要である。

6. まとめ

本報告では、能登半島地震後に伴う豪雨による寺地川のブロック堰堤被災メカニズムを現地調査と1/30スケール模型実験により検討した。

- 1) 崩壊過程の特定は、3段階の連鎖的プロセスとして、①下流部ブロックの初期流出、②堰堤全体の死荷重減少に伴う構造全体の剛性低下、③上流側ブロックの水圧によって連鎖的転倒であると推定される。このことから、想定を超える流量を受けた場合、間隙水圧や動的水圧の影響により破壊され得ることが示唆される。
- 2) 耐荷性能の向上策として、流下方向ブロック個数を増加することで崩壊遅延効果を確認した。ただし、局所流出である堰上げ時の浮力作用や越流水によるブロック間の噛み合わせの喪失などは残っている。

参考文献

- 1) 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, pp.11-18, 2023.