コンクリートブロックを用いた溶岩流対策について

(一財)砂防・地すべり技術センター　○池田暁彦　吉田真也
大日本コンサルタント（株）　小尾　亮

１．緒　論

「火山砂防計画策定指針（案）」（平成４年），「河川砂防技術基準案 計画編」（平成 31 年３月）および「火山砂防計画策定指針（試行案）」・「火山噴火緊急減災対策砂防計画策定ガイドライン（試行案）」（令和４年３月）では，火山噴火に起因して発生する降灰後土石流，火山泥流，溶岩流，火砕流を計画の対象としている．また，「河川砂防技術基準 施設配置等計画編」（令和 3 年 4 月）ではこれらの現象に対する施設配置や構造に関する考え方を示している．しかし，溶岩流は流出頻度が少ないためにその流動特性が解明されていない場合が多く，火山（岩質）ごとにも異なる．その上，溶岩流は降灰後土石流や火山泥流に比べて相対的に流出規模が大きく，流下継続時間も長いことから，有効な対策がまだ確立されておらず，平常時からの対策（噴火対応火山砂防計画における基本対策）がほとんど実施されていないのが現状である．これまでには伊豆大島大宮沢における導流堤（導流工），ハワイ島マウナロア火山観測所における導流堤（分流堤）などの事例があるにとどまる．一方，噴火後に実施された溶岩流に対する緊急対策（噴火対応火山砂防計画における緊急減災対策）としては，ヘイマエイ島（アイスランド），ハワイ島マウナロア・キラウエア（アメリカ），エトナ山（イタリア），三宅島，伊豆大島などで実施された事例がある．これらの緊急対策としては，人工流路の掘削，コンクリートブロックの投入，溶岩堤防の爆破による人工流路への導流，土堤（堰堤，導流堤）の配置，溶岩流への注水などがある[1)-6)]．

こうした溶岩流に関する知見や対策事例，さらには火山噴火以外の土砂災害発生後における緊急対策事例等を踏まえると，溶岩流に対する緊急対策工として，短期間で施工可能なコンクリートブロックを用いた堰堤工や導流堤などが有効だと考えられる．しかし，溶岩流は高温であるとともにその流動特性が明らかでないため，コンクリートブロックの熱に対する耐久力などが明確ではない上，溶岩流の流体力により構造物全体もしくは一部が浮いて流出することが懸念される．

本研究は，国内外における溶岩流の流動特性や対策に関する研究事例を整理した上で，コンクリートブロックの専門家に対するヒアリングを実施し，コンクリートブロックにより堰堤工を構築した場合の溶岩流に対するコンクリートブロックの安全性と構造物全体の安定性の考え方や課題等について考察するものである．

２．溶岩流の流動特性や対策に関する研究事例

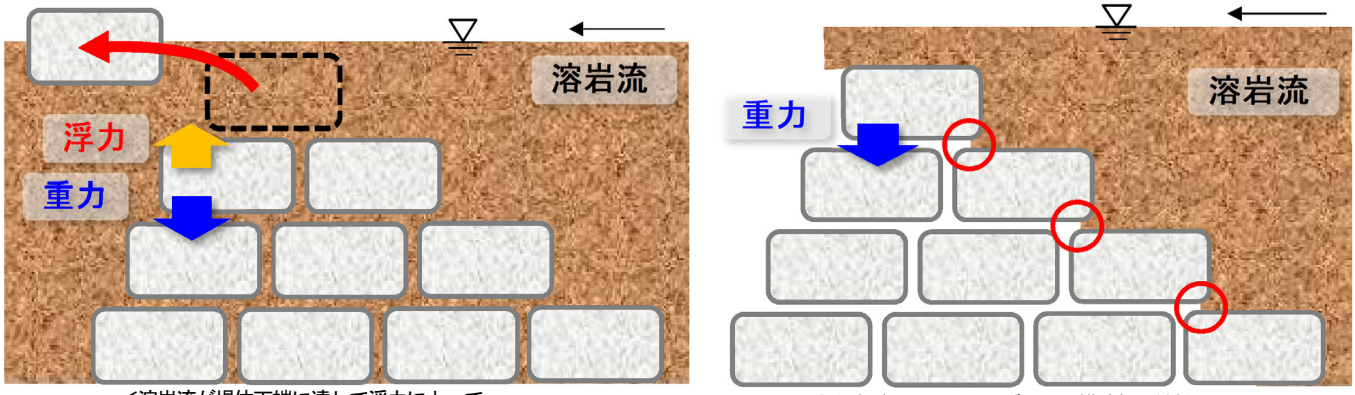
これまでの溶岩流に関する研究から，一般的に溶岩流の流動特性としては，噴出・流出規模が大きいため広範囲に流下，　高温・粘性・密度が大きい，相対的に流下速度が小さい，流下後は冷えて固まるため除去が困難などがある．永野ら[7)]は，溶岩流の挙動を適切に評価することを目的に小型流路による溶岩の流動実験と 1 次元モデルによる解析を行い，溶岩表面と路床内の温度変化から溶岩流内部の温度変化を推定し，流動特性の評価を試みている．この結果，溶岩流の流下速度が 80mm/sec から指数関数的に低下して停止すること，溶岩流の温度が 1000℃から低下し，路床面では 200℃程度となることを報告している．シラキュース大学における溶岩流プロジェクト[8)]では，玄武岩溶岩を用いた溶岩流の挙動と対策工（Lava Barrier）の効果を把握することを目的に実物実験を行っている．この実験では採取した玄武岩溶岩を傾斜回転炉で 1200℃まで加熱して川砂を敷いた緩傾斜の路床に溶岩流として流し，その挙動と対策工として見立てたコンクリートブロック（ブロック塀用）の効果を評価している．この結果，溶岩流の挙動はほぼ再現でき，コンクリートブロックは路床に置いただけでは下方に移動（滑動）して倒れることが確認できた（図-1）．なお，鉄筋を用いてコンクリートブロックを固定した場合は一時的に溶岩流を貯留することはできたものの，時間が経過するとコンクリートブロックの両脇を流下することが確認できた．

図-1　溶岩流実験の様子
(https://www.youtube.com/channel/UC09Oh1y9oDzXb9SoprP30GO/featured)

３．コンクリートブロックの耐久力

砂防事業においては，コンクリートブロックは堰堤工やその前庭保護工，導流堤などに用いられているが，溶岩流の熱や外力に対する耐久性に関する知見はない．そこで，コンクリートブロックメーカーを対象に，a)溶岩流の浮力による流出，b)溶岩流の熱による強度低下・変成，c)溶岩流を想定した外力に対する安定性，d)コンクリートブロックが被災した事例や緊急施工に必要な時間等についてヒアリングを実施した．ヒアリングの結果により得られた知見は以下の通りである．

- コンクリートブロックに対する溶岩流の影響はこれまで検討したことはない．
- 想定ではあるが，溶岩流よりコンクリートブロック構造物（堰堤工など）の部分的な変形・破壊の可能性はあるが，構造物全体としては安定性を保つので



<溶岩流が堤体天端に達して浮力によって
コンクリートブロックが流出するイメージ>

<溶岩流がコンクリートブロック構造物に接触して
冷え固まって空隙内に侵入しないイメージ>

図-2　溶岩流に対するコンクリートブロックの安定性のイメージ

はないか.

- コンクリートブロックの種類により構造物としての空隙率は異なるが，溶岩流の粘性を考えると空隙に入り込んでコンクリートブロックが浮いて流出することは考えづらい（図-2）
- 熱によるコンクリートブロックの強度低下については，火災による建物への影響を想定して 700℃での実験結果はあるが溶岩流に対するものはない.
- 溶岩流の想定温度である 1200℃までコンクリートブロックが熱せられると，骨材の融解や膨張，セメントペーストの収縮等が同時に発生し，ひび割れが多発するものと考えられる．ただし，骨材の変成やひび割れは部分的なものであり，コンクリートブロック全体がせん断破壊を起こすとは考えにくい.
- 溶岩流のように高密度で流下速度が遅い場合は，構造物の上流側から乗り上げる（越流する）ので，外力としては土圧・静水圧と同じような考え方でよいのではないか.
- これまでコンクリートブロック構造物が破壊・流出した事例の大部分は流水による河床等の洗掘が原因であるが，溶岩流は河床等を洗掘する可能性は低いので破壊しないのではないか.

4．コンクリートブロックを用いた溶岩流対策の考え方

溶岩流の流動特性に関する研究事例と溶岩流に対するコンクリートブロックの耐久性に関するヒアリング結果に基づき，コンクリートブロックに対する溶岩流の影響として，以下のような知見が得られた.

①溶岩流の密度が大きく，コンクリートブロックの空隙に溶岩流が侵入した場合は浮力が作用し，コンクリートブロックの一部が流出する可能性がある.

②高温の溶岩流がコンクリートブロックに接触すると熱伝導によりコンクリートブロックが高温となり，熱による変成・強度低下が発生する．その結果，かみ合わせ部でせん断破壊が生じてコンクリートブロックが流出する可能性がある.

③堤体に対する溶岩流の外力は静的な圧力が作用するものと考えられる.

こうした知見については現状でも不明な点が多いが，現状においては，以下に示すようなコンクリートブロックを用いた溶岩流対策の考え方ができる.

- ➢ 従来のコンクリートブロック堰堤と同様な構造で十分だが，可能な限りコンクリートブロック堰堤の空隙を小さくすることが望ましい.
- ➢ 熱伝導率を下げつつ，堤体の安定性を向上させるため，コンクリートブロック堰堤の上流側に盛土（土砂，砂防ソイルセメント）を配置して一体化を図る.

5．おわりに

今後は引き続き溶岩流の流動特性に関する研究事例を収集するとともに，コンクリートブロックの堤体の空隙を小さくしながら構造物としての一体化が図れるようなブロック形状の開発が望まれる.

最後に，コンクリートブロックの安全性と構造物全体の安定性の考え方に関するヒアリングにご協力いただいた日本コーケン（株），技研興業（株），（株）三柱，共和コンクリート(株)，(株)不動テトラ，日建工学(株)の関係各位に謝意を表します.

参考文献

1) 脇田ら：エトナ火山の溶岩流制御作戦，科学，Vol.62，1992，2) 河村ら：溶岩流対策工の海外事例の紹介，平成11年度砂防学会研究発表会概要集，1999，3) Barberi et.al.：Earthen barriers to control lava flows in the 2001 eruption of Mt. Etna，Journal of Volcanology and geothermal Research，123，2003，4) 溶岩流国際シンポジウム2004実行委員会：溶岩流の制御と防災 報告書，2004，5) 権田ら：アメリカ・ハワイ州における溶岩流対策に係る土砂管理手法の運用実態等に関する調査，令和2年度砂防学会研究発表会概要集，2020，6) 厚井ら：溶岩流による火山災害とその対策の方向性ーキラウエア 2018 年噴火時の溶岩流流出実態とその対応を踏まえてー，砂防学会誌，Vol.73，No.6，2021，7) 永野ら：小型流路を用いた溶岩流の流動特性評価に関する実験的研究，令和元年度砂防学会研究発表会概要集，2019，8) Syracuse Univ.：Lava Project，https://lavaproject.syr.edu/