

無流水溪流に対応するケーブル式透過型砂防堰堤の保有性能評価

防衛大学校 ○宮原 邑太 堀口 俊行
(株) エスイー 竹家 宏治 萬徳 昌昭

1. 緒言

近年、流域面積が 0.05 km² 以下と比較的規模の小さな無流水溪流による土砂災害被害が増加している。無流水溪流は、写真-1 に示すように谷出口まで宅地開発が進んでいるため、土石流等の発生は人的被害に直結しやすい¹⁾。特に、平成 30 年 7 月豪雨災害における土砂災害による死者は 119 名に上り、このうち人的被害のあった溪流の 7 割が無流水溪流であった²⁾。また、昨今の気候変動の影響により、同時多発的な土石流の頻発化が懸念されていることも相まって、国土交通省において無流水溪流対策の必要性が提言されている³⁾。

無流水溪流は、宅地開発が進むことで人家が密集し、施工ヤードが狭いことが多く、施工が困難である。そのため、施工性が高く、コスト削減可能な工法による迅速な整備が望まれている。そこで、対策構造物としてケーブル式透過型砂防堰堤（以下、ケーブル式堰堤。）が提案されている。この構造は、従来のようなコンクリート基礎ではなく、ケーブルで堤体の安定性を保つものである。よって、鋼材とケーブルを組み上げるだけの施工容易な構造であると考えられる。しかし、このように柔な部材で剛な構造を支持する恒久的な土石流対策構造物は今までになく、その性能は不明確であるため検討が必要である。

そこで本研究は、弾塑性解析により現行の設計荷重をケーブル式堰堤に作用させることで性能評価を行い、無流水溪流におけるケーブル式堰堤の適用性を検討するものである。また、異なる载荷速度に対する堰堤の応答を検討し、ケーブル式堰堤の構造特性を確認した。

2. 解析の概要

解析では、動的な弾塑性解析プログラムを使用した⁴⁾。これは、陽解法により節点の運動を時々刻々と計算することで大変形問題も解くことができる。

図-1 に堰堤モデルを示す。幅 5500 mm、高さ 3000 mm の堰堤を 469 個の節点と 493 個の梁要素によりモデル化した。堰堤の底面は x 軸方向にのみ自由度を持つ。また、完全弾塑性要素を配置することで摩擦の抵抗を表現した。横材は、鋼管 φ406.4 mm、板厚 t12.7 mm、フレームは、H 鋼 200×200×8×12 で、それぞれの性能は材質 SS400 とし、図-2 のようなトリリニアモデルとした。上段ケーブルは PC ケーブルの F50T とし、下段ケーブルは左右に 1 本ずつ F20TD を配置した。ここで、上段ケーブルは堰堤の滑動に対する安定性を保つ主ケーブルであり、下段ケーブルは堰堤の回転を抑制する補助ケーブルである。それぞれのケーブルの性能は、図-3 のようにモデル化した。

図-4 に現行設計に基づく荷重分布モデル (α = 1.0) を示す。荷重の算定には、無流水溪流の特徴を参考に、表-1 に示す諸元を用いた。ここで、計画流出土砂量は



写真-1 無流水溪流の景況 1)に加筆

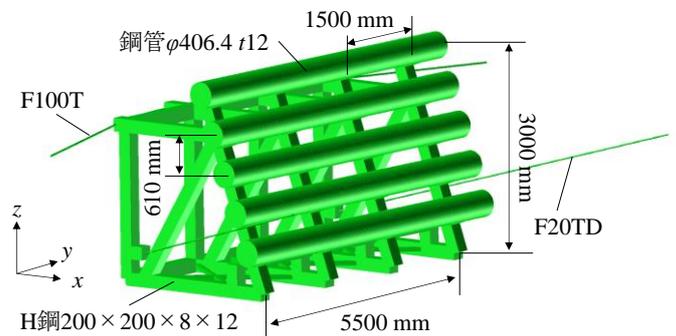


図-1 堰堤モデル

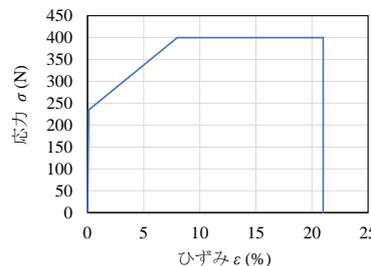


図-2 鋼材諸元

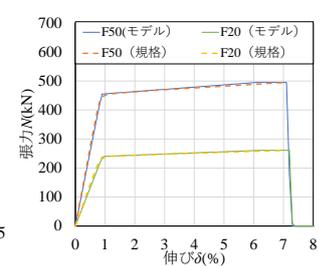


図-3 ケーブル諸元

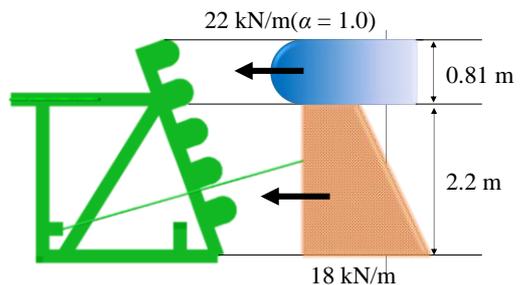


図-4 荷重分布モデル

表-1 溪流諸元

渓床勾配 θ (deg)	12
計画流出土砂量 V _d (m ³)	1000
一波の土石流により流出する土砂量 V _{dis} (m ³)	1000
流れの幅 B _{da} (m)	5.5
土石流ピーク流量 Q _{sp} (m ³ /s)	17
土石流流速 U (m/s)	4.0

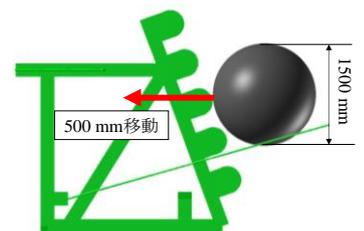


図-5 礫载荷モデル

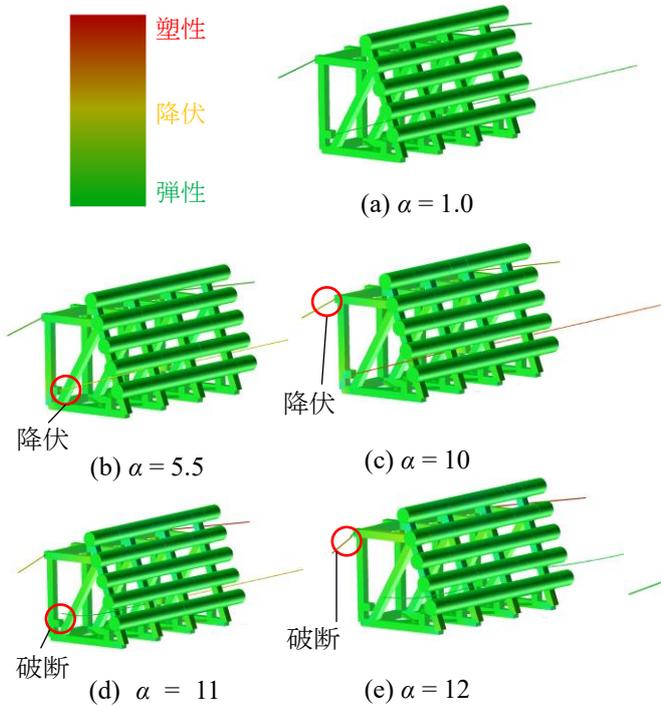


図-6 荷重係数に応じた堰堤の応答

現行の指針²⁾に従い 1000 m³としている。本解析では、土石流流体力を荷重係数 α ($\alpha = 1.0$: 現行の設計荷重) により漸増させ、堰堤の耐荷性能を評価した。

図-5 に礫による漸増载荷モデルを示す。直径 1500 mm、密度 2600 kg/m³ の礫を速度 0.1 m/s および 10 m/s の 2 ケースで流下方向に 500 mm 強制変位させることで、载荷速度の違いによるケーブル式堰堤の応答の違いを検討した。

3. 解析結果

図-6 に、荷重係数に応じた堰堤の応答を示す。部材の色は相当応力の分布を示している。 $\alpha = 1.0$ の現行の設計荷重では、全ての部材が弾性域内にある。続いて $\alpha = 5.5$ において下段ケーブルが降伏し、 $\alpha = 10$ で上段ケーブルが降伏した。ケーブルが破断するのは、下段ケーブルが $\alpha = 11$ 、上段ケーブルが $\alpha = 12$ であった。下段ケーブルが弾性限界に達するのは現行設計荷重の 5.5 倍の荷重であり、その後破断するまでも余裕があるため、現行の設計において安全な構造であると考えられる。

図-7 に荷重係数と堰堤の変位の関係を示す。実線は上段ケーブル破断前、破線は破断後である。 $\alpha = 0.5$ を超えると外力が摩擦力を超過し変位が生じ始める。堰堤は、下段ケーブルが降伏する $\alpha = 5.5$ まで弾性的な応答を示しており、以降は弾塑性応答となる。 $\alpha = 10$ で上段ケーブルが降伏するまで堰堤の耐力は増加しているが、以降は耐力の変化が小さくなる。つまり、ケーブル式堰堤は、現行設計荷重の 10 倍の耐力を保有している。

図-8 に、礫を 500 mm 強制変位させた際の堰堤の応答を示す。载荷速度 10 m/s では、鋼管部材に大きな変形が生じており、ケーブルは弾性応答であることがわかる。载荷速度 0.1 m/s では、鋼材の変形はほとんど見られずケーブルが破断した。つまり、ケーブル式堰堤は、動的な作用は鋼材が負担し、静的な作用はケーブルが

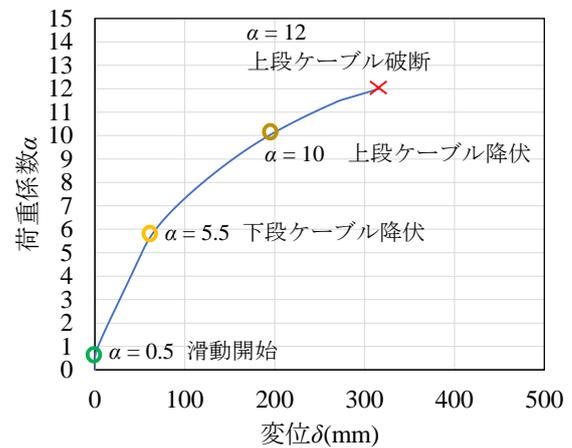


図-7 荷重係数～変位関係

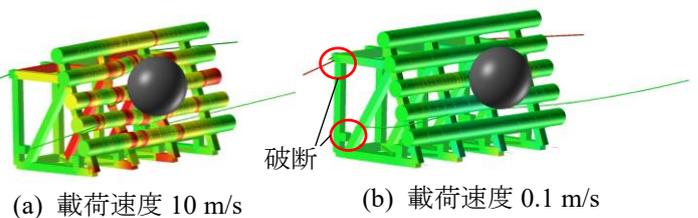


図-8 堰堤の応答 (礫 500 mm 移動時)

負担する構造である。このことから、礫の衝突等の作用は鋼管の変形によりエネルギーを吸収し、土石流流体力等の作用はケーブルの伸びによりエネルギーを吸収するものと考えられる。

以上のことより、ケーブル式堰堤は、無流水溪流における対策構造物として適用可能であると考えられる。

4. 結 言

本研究の成果を以下のように示す。

- 1) ケーブル式堰堤は、無流水溪流による現行の設計荷重の 10 倍の耐力を持つ。
- 2) ケーブル式堰堤は、動的な作用は鋼材が負担し、静的な作用はケーブルが負担する構造である。
- 3) ケーブル式堰堤は、無流水溪流における対策構造物として適用可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 国土地理院：地理院地図 (GSIMaps), https://maps.gsi.go.jp/index_m.html#18/34.363232/132.543543/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m (2023 年 3 月 30 日閲覧)
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部：無流水溪流対策に係る技術的留意事項 (試行案), https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/sabo/muryuusukeiryuu_ryuuizikou_r0403.pdf (2023 年 4 月 3 日閲覧)
- 3) 国土交通省：気候変動を踏まえた砂防技術検討会 (第 5 回) 資料 4 「その他」, https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo/20422/06siryou4.pdf (2023 年 4 月 3 日閲覧)
- 4) 小松喜治, 堀口俊行, 香月智：鋼製透過型砂防堰堤の二段階設計に対応する補強効果解析, 土木学会論文集 A2 分冊 (応用力学) 特集号, (応用力学論文集 Vol. 22), I_361-I_370, 2019.2.