

弾塑性解析を用いたケーブルロープの衝突実験の再現シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○坂本琢磨 学生会員 宮原邑太 正会員 堀口俊行
株式会社エスイー 正会員 竹家宏治 非会員 萬徳昌昭

1. 緒言

日本は、国土の7割が山地丘陵地であり局地的な豪雨による土砂災害が多く発生している。特に、近年では、比較的規模の小さな無流水溪流による土砂災害の被害が増加している¹⁾。そこで、無流水溪流対策構造物としてケーブルロープ式透過型堰堤（以下、ケーブル式堰堤と呼称する。）が提案されている。これは、既存の堰堤のようなコンクリート基礎を用いずケーブルロープによって堤体を保持する構造である。そのため、土石流捕捉時には堤体が滑動し土石流の衝撃力を緩和させることができると考えられる。堤体が滑動するため、ケーブルロープに対して横からの衝撃的な荷重が作用するものと考えられるが、ケーブルロープの横衝撃応答に関する研究は少ない。

そこで本研究は、落錘実験によりケーブルロープの衝撃応答を検討するものである。併せて、弾塑性解析により実験の張力～時間関係の再現性を検討する。

2. 落錘実験

2.1 実験の概要

図-2に実験装置を示す。ケーブルの上には偏向具を介して載荷台が置かれている。偏向具とは、ケーブルに局所的な曲げモーメントが発生することを防ぐものである。重錘が載荷台に衝突し載荷台が下へ移動したことにより発生するケーブル張力を測定する。

重錘は、高さ2.25 mまでの範囲で任意の高さから自由落下させることができる。実験は、質量300 kgの重錘を落下高さ1.0 m、2.25 mから落下させ、ケーブル両端に設置したロードセル（BL-200TE）により張力を計測した。各高さにおいて、ケーブルが破断するまで実施した。

実験は、写真-1に示すケーブル（F10TD）を用いて実施した。表-1に静的な引張試験より求められたケーブルの諸元を示す。このケーブルは通常落橋防止装置等に使用されるPCケーブルであり、1×7のPC鋼より線の周りをポリエチレン樹脂で被覆されている。

2.2 実験結果

図-3に落下高さ1.0 mの実験結果を示す。この時の衝突速度は約4.4 m/sである。1.0 mの場合、3回目の衝突時に写真-2のように破断した。各回とも最大張力は110 kNほどであり、静的な試験と大きな変化は見られない。

2回目の衝突時では、時刻 $t = t_0 + 0.03$ sにおいて再度引張力が上昇し、その後荷重が落ちている。これより、ケーブル外部では破断が見られないものの、衝突時点でひずみ硬化を起こし、終局状態にあったものと考察できる。

図-4に落下高さ2.25 mから衝突させた結果を示

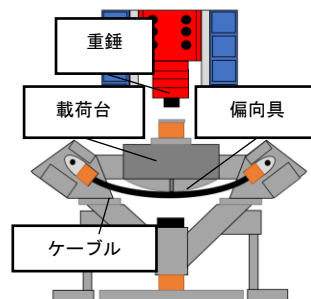


表-1 F10TD 諸元

断面積(mm ²)	54.84
引張荷重(kN)	108
降伏点荷重(kN)	100
ヤング率(kN/mm ²)	193

図-1 ケーブルロープ衝突実験装置

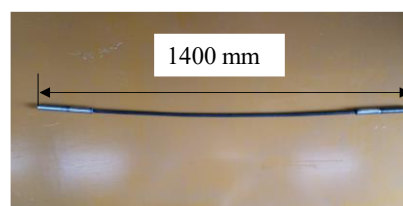


写真-1 F10TD



写真-2 ケーブルの破断

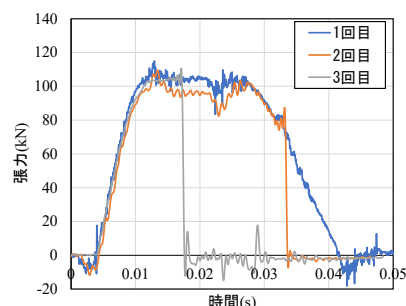


図-2 張力～時間関係（落下高さ1.0 m）

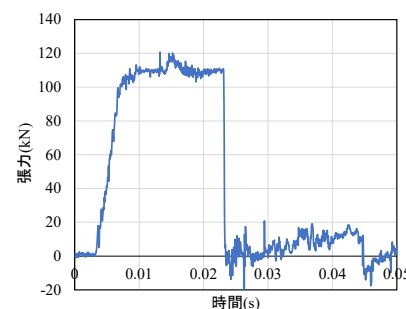


図-3 張力～時間関係（2.25 m）

キーワード 無流水溪流, ケーブルロープ, 透過型砂防堰堤

連絡先〒239-8686 神奈川県横須賀市走 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL:046-841-3810 Email:s67305@ed.nda.ac.jp

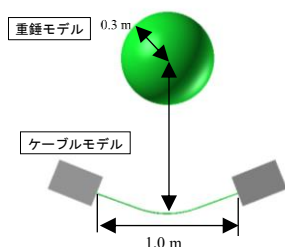


図-4 解析モデル

表-2 解析諸元

ケーブルモデルの諸元	
ケーブル長(mm)	940
断面積(mm ²)	54.84
直径(mm ^φ)	12.5
ヤング率(kN/mm ²)	193
伸び(%)	7.2
引張強度(kN)	102
降伏強度(kN)	86.8

す。この時の衝突速度は約 6.6 m/s である。落下高さ 2.25 m では 1 回目の衝突時に破断した。最大張力は 116 kN であり、静的な試験よりも 7% 高い値を示した。

以上よりケーブルの破断には約 2.0 m の落下高さによるエネルギーが必要であると考えられる。これはエネルギーにして 5.8 kJ になる。また、ケーブル軸方向の载荷速度の増加に伴う強度上昇が研究されている²⁾。同様に、横からの载荷においても衝突速度が大きくなると引張強度が上昇することもわかった。

4. 実験の再現シミュレーション

4. 1 解析の概要

本研究では、動的弾塑性解析用の数値解析プログラムを用いて実験結果への適用性を検討した。

図-5 に解析モデルを示す。解析で使用したモデルは実験のケーブルを 100 個の円柱要素でモデル化したものである。解析諸元を表-2 に示す。ケーブルの諸元は、表-1 の静的引張試験の結果を基に設定した。また、球の半径は载荷台とケーブルの接触範囲に適合するように設定した。

実験の条件を再現するため、ケーブルと载荷台が接触する範囲には载荷台の自重 ($W = 1.0$ kN) を等分布荷重として与えている。重錘衝撃力は、球要素を自由落下させ、球と円柱要素が接触した際の接触量および設定した要素のばね定数から算出した。ここで、ばね定数は計算が収束するような値を用いた。

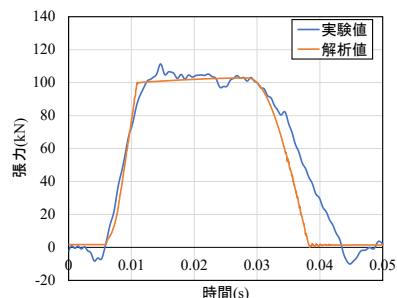
4. 2 解析結果

図-5 に落下高さ 1.0 m の解析結果と実験結果の比較を示す。衝突後に残留変形が生じていることが分かる。1 回目の衝突は破断することなく、概ね実験値を再現できている。2 回目の衝突時には実験結果を概ね再現できているものの、局所的な破断は再現できていない。これは、7 本の素線で構成されたケーブルを 1 本の円柱要素で表現しているため素線の破断が解析結果に反映できていないと考えられる。3 回目の衝突時には張力の継続時間が実験値より短いものの、概ね再現できており、破断も確認できた。

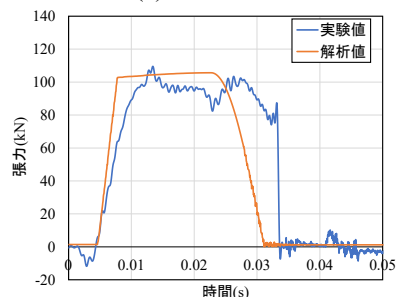
図-6 に落下高さ 2.25 m の解析結果と実験結果の比較を示す。概ね実験結果を再現できている。この際、ひずみ速度効果を考慮し、引張試験より得られた伸び率を 1.5 倍にする。その結果、破断点の実験値に近い値を示すことが確認できた。

5. 結 言

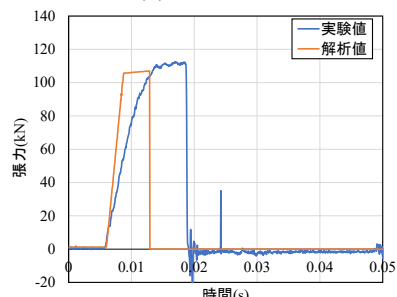
本研究は、落錘実験によりケーブルロープの横衝撃応答を検討し、動的弾塑性解析の数値解析プログラムによる実験の再現性について検討したものである。得ら



(a) 1 回目



(b) 2 回目



(c) 3 回目

図-5 張力～時間関係 (落下高さ 1.0 m)

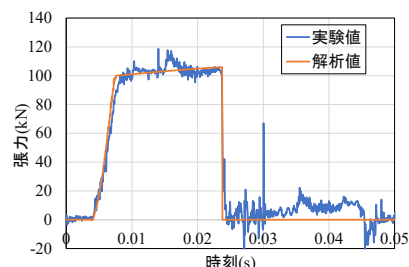


図-6 張力～時間関係 (落下高さ 2.25 m)

れた成果をまとめると以下のようになる。

- 1) 弾塑性解析により、ケーブルの実験結果を概ね再現できている。張力の継続時間が短いものの、ケーブルの終局状態が確認できるため重錘衝突によるケーブル応答を解析により評価可能である。
- 2) 今後は、堰堤モデルに対して土石流荷重を作用させた際のケーブルロープと透過型堰堤の性能評価を、数値解析プログラムを用いて実施予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省・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（試工案），[muryuusukeiryuu_ryuuizikou_r0403.pdf](#), 2022.3.（参照 2022-12-26）
- 2) 木納利和, 永谷秀樹, 和田均：PC ケーブルを用いた落橋防止構造の静的・動的耐荷力実験（その 2），土木学会第 55 回年次学術講演会，I-B238, pp. 476-477, 2000. 9.