

三次元個別要素法による落石防護網の落石捕捉解析

防衛大学校 学生会員 ○高橋利延 正会員 山本佳士
正会員 香月 智
東京製綱株式会社 高森 潔

1. 緒言

近年、道路等に面する斜面において写真-1に示すような、ワイヤロープを用いたネット構造によって道路等への落石侵入を防止する落石防護網¹⁾が建設されている。落石防護網は主にワイヤロープや金網といった、曲げ剛性が小さく柔軟性に富む要素からなり、構造全体の柔変形によって衝撃力を受け止めることを期待された構造物である。しかしネット構造物は自立形状を有しないほどの柔性構造であり、落石衝突による応答形状は初期形状とは全く異なる、いわゆる大変形解析を要するものである。そのため、原木ら²⁾は大変形問題への適用性が高い個別要素法を応用し、球形要素と円柱形要素、連結ばねにより落石防護網をモデル化して準実物大実験の解析を行っている。ただし、実形状や実物における比較はされていない。

そこで、本研究は実物大の防護網を用いた落石衝

突実験を行い、個別要素法を用いてその解析を行うことにより、その再現性について検討するものである。

2. 重錘衝突実験

実験は、写真-2および図-1に示す延長21.0m×高さ17.5mの実物大の落石防護網に対して、10kNの重錘を落差40mの斜路を用いて加速させ、斜め落下状態で衝突させたものである。実験では前方、斜め上方、側方からビデオ撮影により変位を記録した。衝突速度は26m/s、衝突垂直角度は水平線に対して25度であり、図-1に●で示すところへ衝突させた。また、図-1の○中番号で示す、吊ロープの片端、横ロープの両端の12点においてロードセルを用いてロープ張力を計測した。図-2に計測点ごとの発生張力の最大値を示す。横ロープは、同一ロープの左右端では同程度の張力となっているが、ロープごとに見ると差が出ている。また、計測点7、8、11、12では



写真-1 落石防護網

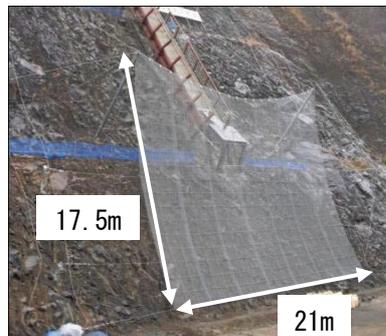


写真-2 重錘衝突実験供試体

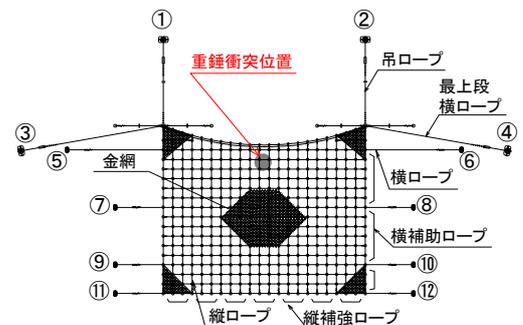


図-1 張力測定位置

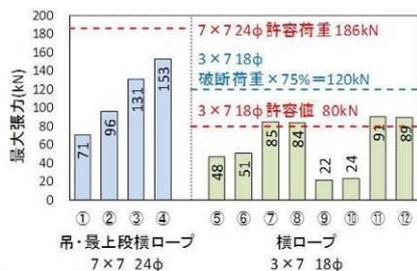


図-2 張力測定値

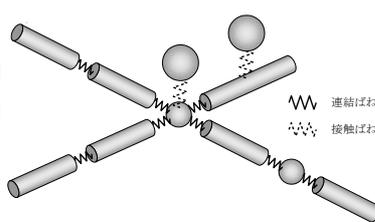


図-3 構造のモデル化

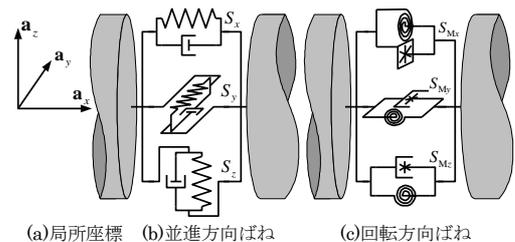


図-4 ばね要素

キーワード 3次元個別要素法, 落石防護網, 重錘衝突実験

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校理工学研究科 TEL : 046-841-3810

わずかに許容値を超えている、ただし、いずれも降伏荷重(破断荷重×0.75)以下であり、弾性域内での変形となっている。

3. 個別要素法による解析

3.1 解析法

個別要素法では、一般的に球形要素が用いられることが多いが、本研究で対象としているような実物大構造物を球形要素のみでモデル化すると、計算負荷が膨大になる。そこで本研究では、原木らが提案²⁾している円柱形要素を導入した個別要素法を用いた。円柱形要素を導入することにより、細長い形状の構造に対する計算効率を高めることができる。図-3に本解析手法によるネット構造および落石衝突現象のモデル化の基本概念を示す。なお、定式化等の提案個別要素法の詳細については文献2)に記している。本解析では、ワイヤ構造を適当な長さに区分し、その実長に相当する長さを有する剛体の円柱形要素、もしくは球形要素を設け、これらを、ワイヤの剛性を表現する並進方向および回転方向成分を有する連結ばね(図-4)によって結びつけることでモデル化している。

図-5に解析モデルの概要を示す。要素分割およびばね係数等の解析パラメータは、原木らによって行われた、落石防護網の準実物大実験の解析²⁾を参考に決定した。モデルは、図のように球形要素396個、円柱形要素2172個を用いてモデル化した。縦ロープと横ロープの交点には球形要素を配置し、交点間は2つの円柱形要素でモデル化した。また、金網部はロープで囲まれた領域を代表するものとして、ロープ交点を斜めに結ぶように円柱形要素を配置した。また、実験においてロープの降伏が確認されていないことから、全ての要素においてばねは弾性と仮定し、モデルの簡略化のため、ワイヤの初期張力の影響は無視した。

3.2 解析結果

図-6に実験と解析により得られたネットの挙動を時系列にして示す。図-6(a)はネットと重錘が接触する直前の状態を示している。図-6(b)はネットの張出が最大変位に達した時点のものである。実験においては、衝突部を中心にネットが大きく変位しているのに対し、解析結果においても同様の結果が得られることがわかった。その後、図-6(c)に示すように

破線で囲んだネット下部においても前方に膨らむ挙動が見られるが、解析結果においても同様の変位を表現できている。さらに、図-6(d)の状態ではネット中央部では後方に変位しているのに対して破線で囲んだ側部付近では反対に前方へ変位しており、解析においても同様のことを確認できる。ただし、その発生時間は、解析結果の方が早く、実験結果とのかい離が見られる。

4. 結言

実物大の落石防護網に対して個別要素法で挙動を再現解析し、衝突実験結果と比較した。提案解析法は落石防護網の変形性状を概ねシミュレートできるものの、重錘を補足した後の振動特性に実験とのかい離が見られた。今後は、ネットの初期張力および初期形状のモデル化について検討する必要がある。

5. 参考文献

- 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2010.1.
- 2) 原木大輔，香月智，田代元司：円柱形要素を導入した個別要素法による落石防護網の衝撃応答解析，土木学会論文集 A，vol.65 No.2，pp.536-553，2009.6.
- 3) ワイヤロープ便覧編集委員会：ワイヤロープ便覧，1967.

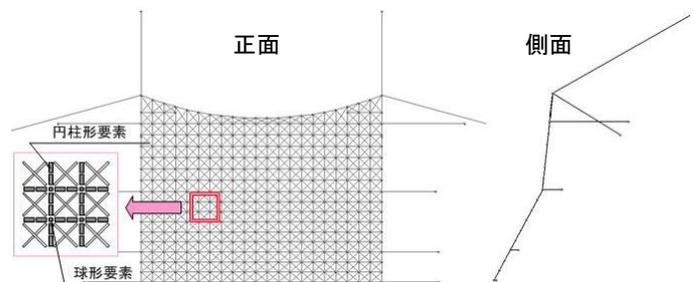


図-5 ロープ交点解析モデル

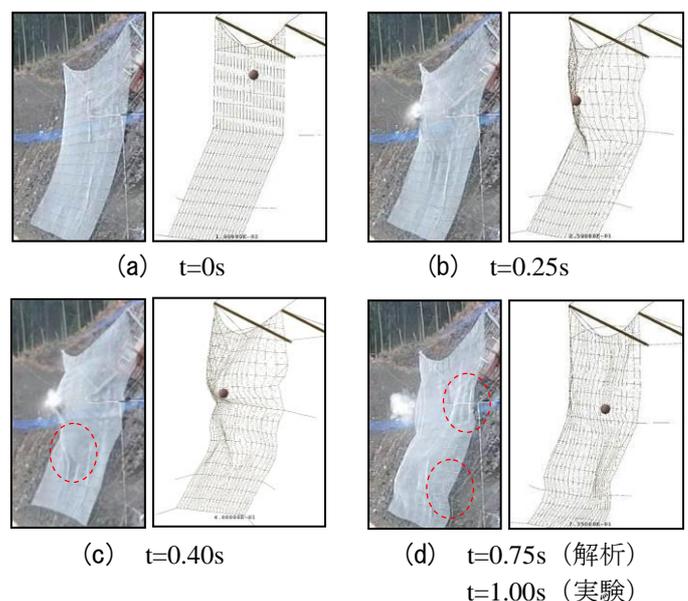


図-6 落石防護網の挙動