

落石防護網の衝撃応答に及ぼす落石回転の影響解析

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

1. 緒 言

近年, 道路に面する斜面等において写真-1 に示すような, ワイヤロープ等で構成されるネット構造によって道路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. 落石防護網はワイヤロープや金網といった, 曲げ剛性が小さく, 柔性に富む要素から構成されるため, 大変形構造解析を必要とするが, 未検討な問題がいくつかある²⁾.

本研究は, その一つである実物大の防護網を用いた重錘衝突実験に対して, 個別要素法を用いた解析を行う際に, 重錘の回転がネットの応答に与える影響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, 水平線に対して 25 度の衝突角度で衝突させたものである. 重錘の衝突速度は 26m/s であり, 図-1 に●で示す位置に衝突させた. この際, 落石は約 5 回/秒の速度で回転していた. また, 重錘は角張った形状 (14 面体) であり, ネットにくい込みながら衝突する.

図-1 の P1~P12 で示す吊ロープおよび各横ロープの端部にロードセルを付けてロープ張力を計測した.

3. 個別要素法による解析

本研究では, 原木ら²⁾が提案している円柱形要素を導入した個別要素法を用いて解析する. 解析において,

衝突時の落石の回転によるネットとの摩擦の影響を分析するために, 落石に回転を与えない場合と回転を与える場合について比較した.

図-2 に, 実験と解析の各ロープの張力応答を比較して示す. 性能設計的観点では, 防護網にとって致命的破壊に結びつく, 展張ロープの破断推定に用いる最大張力の予測精度が重要である. 図-2 に, 各ロープの張力応答について, 実験と解析を比較して示す. まず, 解析は図-2 (e) の P9 を除いて, 落石回転の有無にかかわらず, 概ね実験結果を再現できている. 解析の最大張力と実験値の一致度から見ると, 図-2 (b) の最上段横ロープでは, 実験が 131kN に対して, 落石回転無では 104kN, 回転有では 131kN となり, 落石回転無が過小推定となる. 図-2 (d) の中段横ロープは, 実験が 84kN に対して, 落石回転無は, 157kN, 回転有は 114kN といずれも過大推定であるが, 回転無は, 約 2 倍も過大になっている.

図-3 (a), (b) にはそれぞれ 0.17 秒と 0.36 秒の落石回転有無の解析における全体変形を比較して示す. ここで, 0.17 秒は最上段横ロープが最大張力を示した時刻であり, 0.36 秒は中段横ロープが最大張力を示した時刻である. これらの相互比較から, 次のようなことがわかる. ①落石の回転はネットとの摩擦力によって, 落石を持ち上げる方向の力を生じさせるため, 落下運動を遅れさせる. ②一方, 水平方向にネットを押し込む水平運動にはあまり影響しない. ③このため,



写真-1 落石防護網

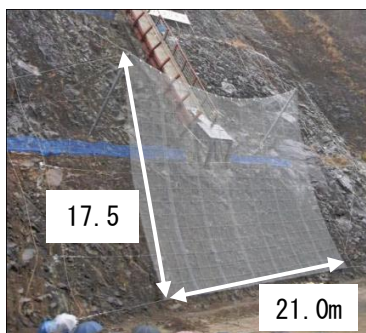


写真-2 重錘衝突実験供試体

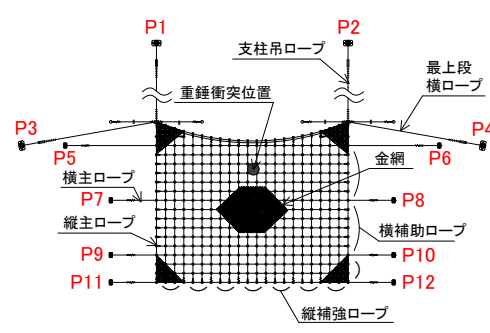


図-1 張力測定位置

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

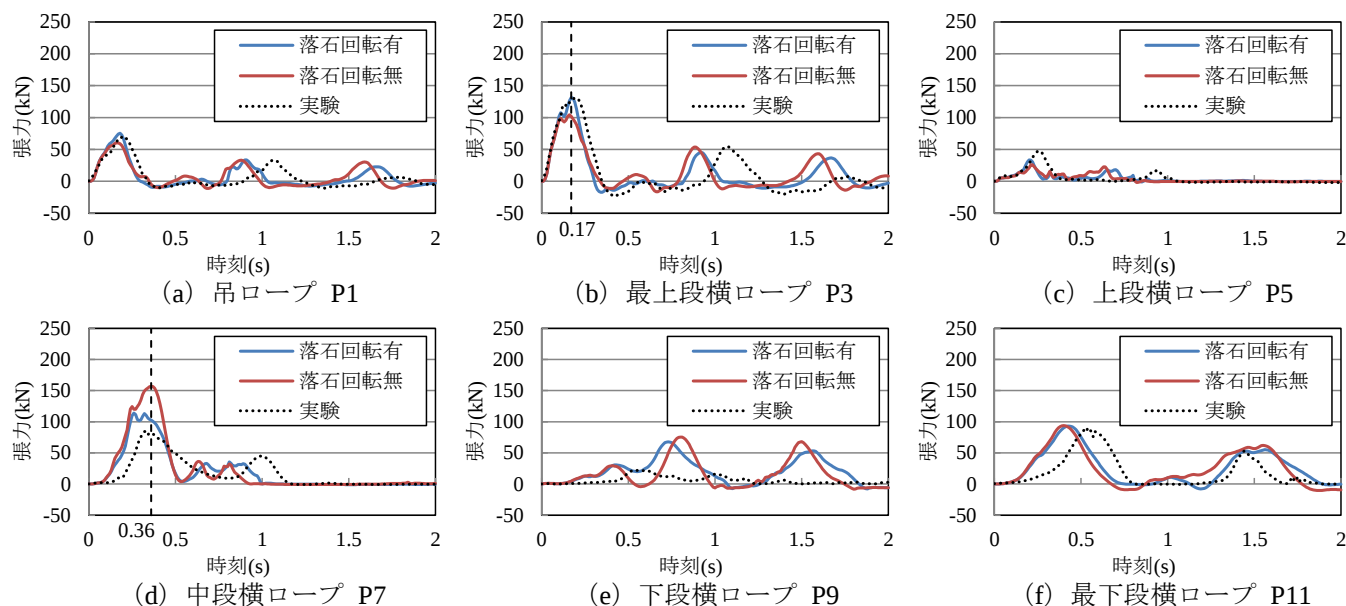


図-2 各ロープの張力応答

落石回転無の場合には、実験に比して中段横ロープに近い位置で落石の水平方向の最大変位を迎える。このため、中段横ロープ周辺のネットで、局所的な変形応答を強制することになる。これが、中段横ロープの張力を過大に推定させる。④また、この局所応答は、最上段横ロープから離れているため、最上段横ロープの張力の推定値は過小となる。⑤一方で、落石回転有の場合は、中段横ロープに近づく前に、水平方向の離反運動に移行しているため、上述のような過程に陥らず、スムーズに中段横ロープを避けて落下する。これは実験と一致しており、張力推定も合うことになる。

4. 結 言

個別要素法を用いた落石防護網の重錘衝突解析において、重錘の回転が防護網の応答に及ぼす影響を検討した。

- (1) 最上段横ロープおよび中断横ロープの張力応答の第1ピークは、重錘回転有のケースの方が回転無のケースより実験値に近い値となる。
- (2) 重錘回転有のケースでは、重錘の鉛直方向の落下速度がネットとの摩擦により低減され、中段横ロープにかかる負荷を正しく推定した。
- (3) 以上のことは、落石の回転によるネットとの摩擦応答が水平引張ロープの応答に与える影響が大きいことを示している。また、落石に角があると網の隙間に絡み、この影響がより顕著になると考えられるため、その点を設計予測において考慮する必要がある。

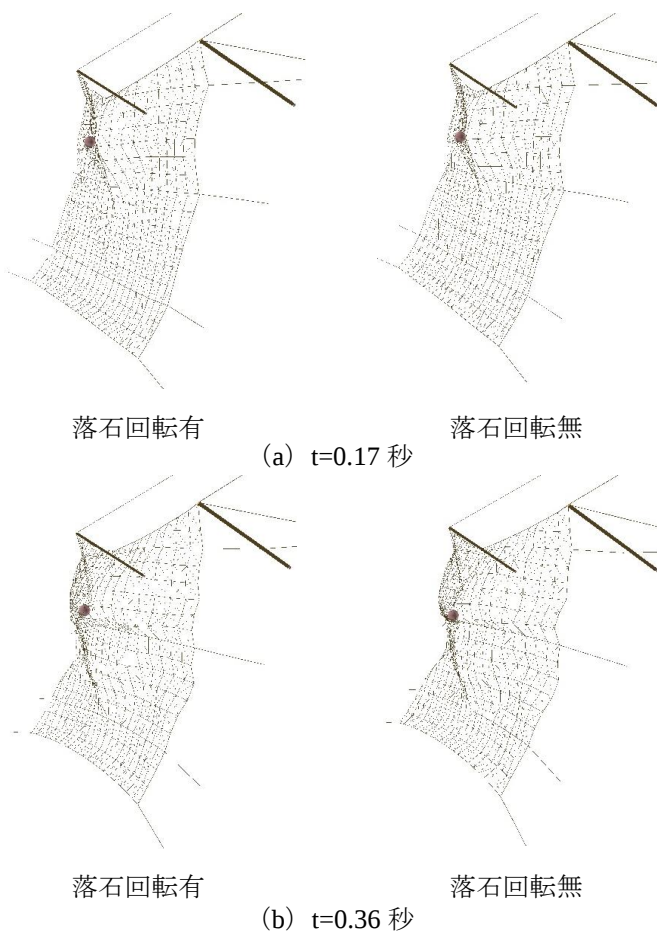


図-3 変形応答の比較

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.