

落石防護工への落石衝突によって生じる衝撃力特性に関する数値解析的検討

室蘭工業大学 ○岸 徳光, 小室雅人, 瓦井智貴
東亜グラウト工業(株) 鈴木利治, 奥田 峻, 木村佳嗣

1. はじめに

我が国の山岳部や海岸線の急崖斜面に沿った道路沿いには、落石から人命や交通ネットワークを守るために、多くの落石対策工が施されている。最も一般的な構造物には無筋コンクリート製落石防護擁壁（以後、単に擁壁）や従来型落石防護柵（以後、従来型柵）がある。近年は、より大きな落石エネルギーにも対応できる支柱強化型防護柵（以後、支柱強化型柵）やリングネット形式の防護柵（以後、リングネット）も設置されるようになってきている。これらの防護構造物において、擁壁と従来型柵は落石対策便覧¹⁾に即して設計が行われている。しかしながら、その他の構造物の場合には、実証実験による性能検証の下で各メーカー独自に設計が行われており、設計が体系化されていない。

本研究では、種々の落石防護構造物を対象に、同一の入力エネルギーを有する EOTA²⁾ 型のコンクリート重錘を衝突させた場合における、最大衝撃力や荷重継続時間に着目して、数値計算的に検討を行った。対象とする構造物は、擁壁、従来型柵、支柱強化型柵、リングネットとし、基準構造物として剛体壁に関しても実施した。なお、数値解析

には、動的構造解析用汎用コード LS-DYNA³⁾ を用いた。

2. 数値解析手法

図1には、本数値解析に用いた各防護構造物の有限要素モデルを示している。剛体壁モデルの形状寸法は、後述の擁壁を参考に、高さ3 m、幅200 mm、延長を8 mとし、基部は完全固定とした。擁壁の場合は、高さ3 mの実擁壁と同様に、上下端幅をそれぞれ60 cm、180 cm、延長を8 mとし、基礎コンクリート上に設置している。なお、基礎コンクリート上面の擁壁前面端位置にはL型アングルを設置し、擁壁が回転可能となっている。従来型柵は柵高×延長を4×9 m（3 m×3 スパン）とし、基礎コンクリート上に設置している。なお、支柱の根入れ深さは1 mとした。ワイヤロープは、上段から300 mm 間隔に13本を配置しており、柵端金具を用いて端末支柱に定着している。各支間中央部には間隔保持材を配置している。支柱強化型柵の形状寸法は、4×15 m（5 m×3 スパン）であり、基礎コンクリート上に設置している。支柱には鋼管を用い、内部にはH形鋼材を配置している。ワイヤロープは、上段から300 mm 間隔に14本を配置し、端部に衝撃緩衝装

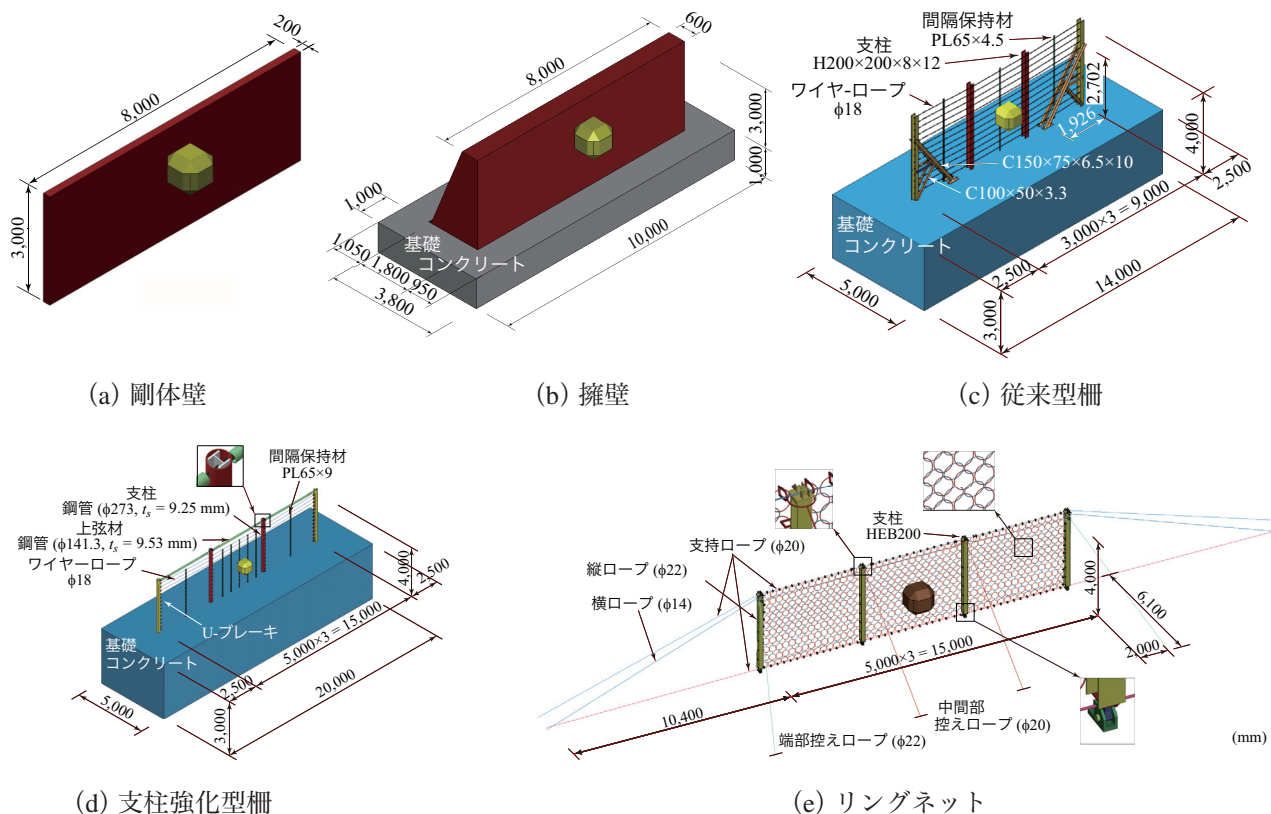


図1 各種防護構造物の FE モデル

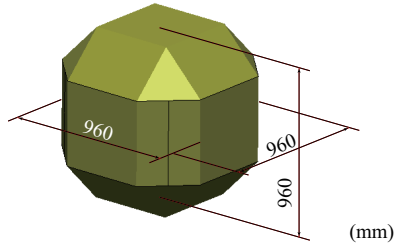


図2 1.5 ton 用 EOTA²⁾ 型重錘

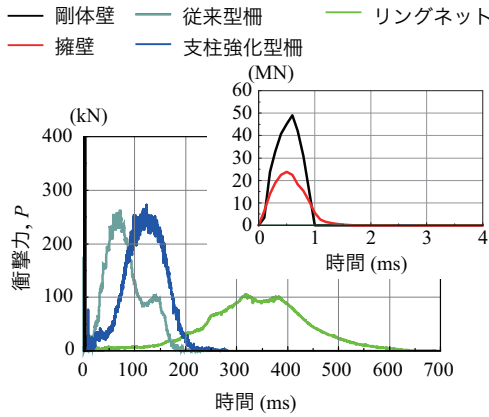


図3 衝撃力波形の比較

置である U ブレーキが接続されている。また、上弦材には鋼管を配置し、支柱に取り付けられた鋼板と高力ボルトを介して接続されている。

一方、リングネットの形状寸法は支柱強化型柵と等しい。各支柱には H 形鋼を用い、基部はヒンジ構造になっている。上下端にはサポートロープ、ラテラルロープをそれぞれ 2 本、1 本配置し、端末支柱には鉛直ロープを 1 本ずつ、さらに各支柱に控えロープを山側に 1 本ずつ配置している。各ロープの端部には緩衝装置であるブレーキリングが設置されている。その数は各サポートロープ、控えロープにそれぞれ 2, 1 個である。阻止面には素線径が $\phi 3$ の高強度硬鋼線を用い、直径が 300 mm になるように 12 本束ねて成型した鋼製リングが用いられている。リングネット上端はワイヤロープとシャックルで接続され、カーテン状にスライドする構造になっている。重錘には、図 2 に示されるような EOTA²⁾ 型の 1.5 ton 重錘を用い、速度 10 m/s で衝突させることとした。

コンクリート、鋼材(H 形鋼、鋼管、間隔保持材、鋼板、シャックル)には 8 節点固体要素、ワイヤロープとリングネットには 2 節点梁(ケーブル)要素、ブレーキリングと U ブレーキには 2 節点バネ要素を用いてモデル化している。接触面には剥離と滑りを考慮し、摩擦係数を 0.4 と仮定した。支柱とコンクリート要素間は完全付着を仮定している。

3. 数値解析結果

図 3 には、各防護構造物に関する重錘の衝撃力波形を比較して示している。図より、剛体壁と擁壁の場合に

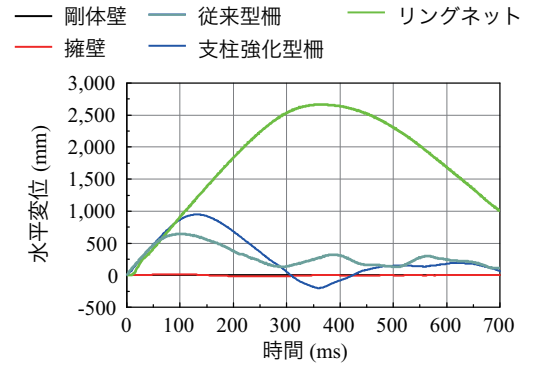


図4 重錘の水平変位波形の比較

は、最大衝撃力がそれぞれ 49, 24 MN 程度を示し、継続時間が 0.9 ms, 1.6 ms 前後の正弦半波状の波形を示していることが分かる。それに対して、従来型と支柱強化型柵の場合には、最大衝撃力は 275 kN 程度であり、荷重継続時間は 200 ms 前後となっている。一方、リングネットの場合には、最大衝撃力が 100 kN 程度と従来型あるいは支柱強化型柵の 1/2 以下に小さい。荷重継続時間も対応して長く 650 ms 以上の値を示す。これより、剛体壁に衝突する場合を基準にすると、最大衝撃力は擁壁にすることによってほぼ 1/2 程度、従来型柵の場合には支柱強化型と共に 1/180 程度、リングネットの場合には 1/400 以下に低減されることが明らかになった。

図 4 には、重錘重心における水平方向変位波形を比較して示している。擁壁の重錘衝突方向への最大変位は 100 ms 以上経過後に生じ 15 mm 程度と非常に小さい。一方、従来型及び支柱強化型柵、リングネットの場合には、最大衝撃力発生時近傍において生じ、それぞれ 650, 950, 2,700 mm 程度を示している。

以上より、柵やリングネット構造の場合には、剛体壁や擁壁と比較して最大衝撃力は大きく低減されかつ荷重継続時間も 200 倍以上と長く、また大きく変形することから、衝撃応答への慣性力の影響は小さいことが推察される。

4. まとめ

本研究では、各種落石防護構造物に等しい入力エネルギーを有する EOTA²⁾ 型 1.5 ton 重錘を数値解析的に衝突させた場合の衝撃力波形特性等について比較検討を行った。従来型や支柱強化型柵の最大衝撃力は剛体壁の場合の 1/180 程度、リングネットの場合には 1/400 以下に低減され、荷重継続時間も十分長く変形も大きいことから、衝撃応答への慣性力の影響は著しく小さいことが推察される。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧, 2017.
- 2) ETAG 027, Guideline for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kit, 2013.
- 3) Ansys, Inc.: LS-DYNA R15 Manuals, 2024.