

高エネルギー対応落石防護網の開発とその安全対策工としての適用性

東亜グラウト工業株式会社 ○下条和史
株式会社 TMS 柔構 渡辺達男

1. はじめに

ポケット式落石防護網は、山岳道路等に多用されてきた一方で急傾斜地崩壊対策の落石防護の一工法（「急傾斜地崩壊防止工事技術指針」）としても位置付けられている。しかし、従来のポケット式落石防護網では、防護網の破損等により落石を捕捉できないケースが発生し、また高い運動エネルギーを有する落石に対しては、その運動エネルギーを吸収したうえで、防護網の下方に誘導して停止させる一連の機能に信頼性が低く、設計の考え方についても一部不明瞭な点が指摘されてきた。特に急傾斜地崩壊対策に際しては直接人家を保全することから安全性の高いものが要求される。そこで、従来の防護網の課題を克服し、適用範囲を拡大するとともに信頼性を高めるため高エネルギー対応落石防護網（以下「ハンガーネット工」という。）の開発を行った。ここでは、「ハンガーネット工」の開発ポイント、構造と特徴、実験概要、適用性について述べるとともに工事中の安全対策工として用いられた例を紹介する。

2. ハンガーネット工の開発ポイント

ハンガーネットの開発について、従来の防護網の対応能力と課題、国内における需要等を考慮した結果、性能・基本構造等は以下のポイントに集約できる。

- ① 高い運動エネルギーを有する落石（1,000kJ）に対し、「ポケット部で落石を受け止め」、「下方へ誘導し」、「法尻部の防護網内で確実に落石を停止させる」3つの機能を有すること。
- ② 信頼性を確保するため実物大実験で性能が確認できること。
- ③ 高強度のネット（金網）を主体とした構造であること。

従来の防護網はロープ構造が主体であったため、ロープ間の金網に落石が衝突した場合、破断しやすい弱点があった。そこで、落石の衝突接触位置の違いによる捕捉性能の低下を防止するため、高強度ネットを主体とする構造とした。

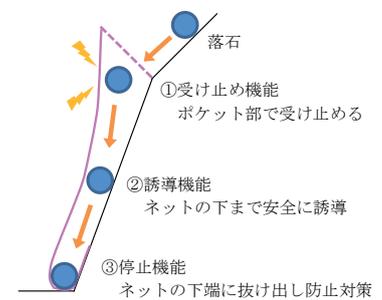


図-1 落石停止機能

3. ハンガーネット工の構造と特徴

ハンガーネット工は、高強度のネットとこれを保持する横ロープ、支柱、エネルギー吸収装置から構成される。その特徴は下記の通りである。

- ① 大きな衝撃力に対し落石を誘導・停止させるため使用する高強度ネットは、素線引張強度 1,770 (N/mm²) のより線を用いた菱形金網とした。
- ② 大きな運動エネルギーを吸収するため、鋼板を用いた特殊なエネルギー吸収装置 (HGN ブレーキ) を横ロープ端に配置した。
- ③ 法尻部において防護網内で落石を停止させるため、抜け出し防止網を配置した。

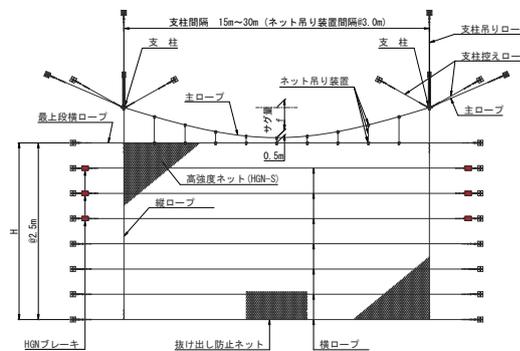
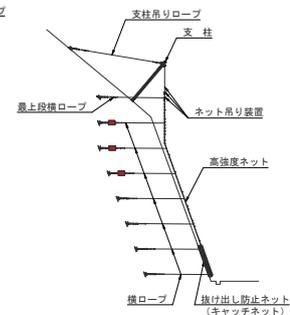


図-2 ハンガーネットの基本構造



4. ハンガーネット工の実験概要

実物大実験は、2つの実験場において異なる性能について確認した。

- ① 高知実験場で実施した実験は、落石の衝突に対し落石の衝突に対し、受け止め・誘導・停止の一連性能確認を 12 回行った。第 1 回目の衝突エネルギーを 400(kJ) としてスタートし、部材の組み合わせ、及びエネルギー吸収装置の制動状況等を確認しながら段階を踏み、回数を重ねる毎に衝突エネルギーを増す形で繰り返し衝突実験を実施した。2011 年 9 月に実施した第 7 回実験では、重量 4,600(kg)、衝突速度 22.5(m/sec)、衝突エネルギー 1,164(kJ) のコンクリート重錘を受け止め、斜面下端までの誘導を確認している。

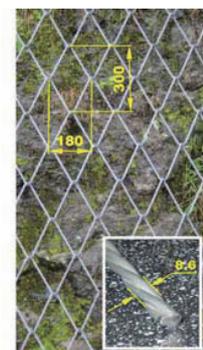


写真-1 高強度ネットの構造

表-1 衝突誘導性能確認実験（高知）主要実験結果概要

実験番号	重錘			重錘衝突誘導停止の可否
	重量(kg)	衝突速度(km/h)	衝突エネルギー(kJ)	
No.3-1	2,400	71.0	467	可
No.3-2	2,400	70.0	454	可
No.4	2,400	69.0	441	可
No.5-1	3,600	67.0	623	可
No.5-2	3,600	71.0	700	可
No.6-1	3,600	70.0	681	可
No.6-2	3,600	76.0	802	可
No.7	4,600	81.0	1,164	可

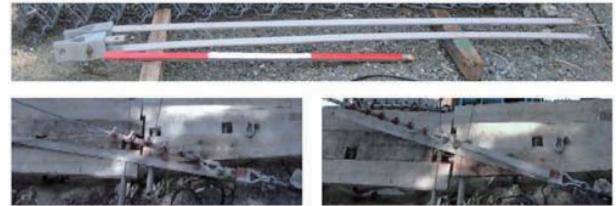


写真-2 HGN ブレーキの全長（上段）と制動状況（下段）

② スイス実験場で実施した実験は、長大斜面における落石誘導性能確認を 12 回行った。スイス実験場は、斜面高さ 40m、斜面長 50m、斜面勾配 52° となっており、高強度ネットの誘導性能を確認するには十分な斜面となっている。実験は、斜面肩部から自然石の重錘を落下させ、高強度ネットの健全性を確認し、誘導性能を把握することを目的とした。最大 1,920(kg)の重錘をネットの損傷がほとんどない状態で、斜面下端まで誘導出来ることを確認している。

表-2 誘導性能確認実験（スイス）
主要実験結果概要

実験番号	重錘重量(kg)	重錘誘導の可否
No.8	1,330	可
No.9	1,920	可
No.10	950	可
No.11	1,190	可
No.12	870	可

高知及びスイスにおける主要実験の結果概要を表-1、表-2に示す。表-1における同一実験番号 No.○-2 は、No.○-1 の実験を実施した後に、使用材料を一切交換せずに実施した 2 回目の実験である。



写真-3 衝突誘導性能確認実験（高知）

5. 安全対策工としての適用性

以上の実験結果より、ハンガーネット工は衝突エネルギー1,000(kJ)以内のレベルの落石については、人家等を保全するための高い機能を有し、さらに 800(kJ)程度以下の落石に対しては、複数の落石に耐えることができると考えられる。また、ハンガーネット工は砂防施設建設工事中の落石安全対策工、並びに工事用道路、砂防施設点検用通路等の落石安全対策工としての能力も、十分に備えているものとする。

高エネルギー吸収落石防護柵（リングネット柵）と比較した場合、補足した落石を法尻部で除去できるという点では、維持管理に優れている。高エネルギー吸収柵は、対応する落石の衝突エネルギーが 3,000(kJ)と大きい、ネットの変形性能より斜面肩部に柵の設置が余儀なくされる場合がある。その場合、落石捕捉後の除石にはモノレールの仮設や重機等の補助工法を併用する必要がある。ハンガーネット工は、対応できる衝突エネルギーが 1,000(kJ)ではあるが、落石を保全対象の脇の斜面下端に確実に誘導し、さらに停止させることが可能であるため、除石は容易に実施することができる。



写真-4 誘導性能確認実験（スイス）

6. 結論と課題

現状の実験結果は、1,000(kJ)の運動エネルギーを有する落石に対してはそれを受け止め、長大斜面においても 1,900(kg)の重錘が誘導可能であることを確認しており、これらに基づき防護網の仕様を決定している。そのため、従来の防護網に比べより安全で信頼性が高く、急傾斜地崩壊対策工や砂防工事の安全対策工として有効に活用できるものとする。今後は 1,000(kJ)以下の適切な材料の組み合わせを工夫して、工事コストを下げることを課題と考えており、実験を継続する予定である。



写真-5 高エネルギー柵の除石作業



写真-6 ハンガーネット設置事例