

落石災害と対策工事について

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 大沼 国弘
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 桐山 晶
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 伊藤 彰則
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 庄子 公崇

1. はじめに

日本の国土面積の約60%は、新生代の地層であり、他の大陸に比べ地質年代が新しい。また、急峻な山地や断層が多く、地質的に脆弱である。

鉄道創成期の鉄道建設の特徴として、長大トンネルや橋梁の建設を避け、山間部では渓谷を縫うように線路が敷設されている。線路構成は、土構造物が大部分を占めている。

これらの鉄道環境から、自然外力の影響を受けやすい土構造物や自然斜面に対し、防災工事等を実施して災害発生を低減化を図っている。しかしながら、自然外力をすべて予想したり排除することは不可能であるため、気象や環境変化に対する適正な把握が不可欠となる。

本文では、急峻な山岳線区において発生した落石災害とその対策工事について述べる。

2. 落石災害発生概況

ある急峻な山岳線区において、自然斜面上部の露岩帯から複数の落石（1.6m×1.5m×1.5m）が発生した。落石止擁壁の上部背面に衝撃し、擁壁天端付近の一部が破損した（写真-1）。

落石発生源は国有林内にある斜度45～60°の急斜面で、上部に基岩が広く露出していた。その露岩帯は、風化や樹木根茎の侵入により開口亀裂が拡大し、岩塊は積木状に重なり合っていた。

今後、更に崩落する危険性が予測され、斜面下方における作業員への安全確保と列車運転保安を図るため、早急な対策が必要であった。



写真-1 擁壁に衝撃した岩塊

3. 災害現場の調査と対策工の検討

落石災害箇所の現地調査の結果を以下に示す。

(1) 斜面構成状況

被災箇所は、トンネル間の瞬き区間に位置し、両端が尾根に挟まれた谷状の斜面である。斜面下部から中部には崖錐が広がり、上部に基岩である凝灰角礫岩が露出点存在している。落石の到達域（斜面下部）には、防護工として擁壁工および立木利用柵が既設されていた。

(2) 被災状況確認

斜面を発生域・落下域・到達域に分割し、露出岩帯を3群帯に区分した調査結果を示す（図-2）。

発生域の状況

- ・斜面中部の積み重なったブロック状岩塊から足元が抜け落ちている。（第2群）
- ・屏風岩背面の露岩に開口亀裂が多発し、屏風岩が支えている状態である。（第2群）
- ・風化が進み、岩塊が浮いている状態である。（第3群）
- ・樹木の根茎が侵入した岩塊の足元が流下している。

落下域の状況

- ・落石の衝撃により転倒傾斜した樹木が多数ある。
- ・尾根側方からガリー侵食が進行し、浮石の不安定化が著しい。

到達域の状況

- ・落石止擁壁背面には、直径2m大の転石が存在する。

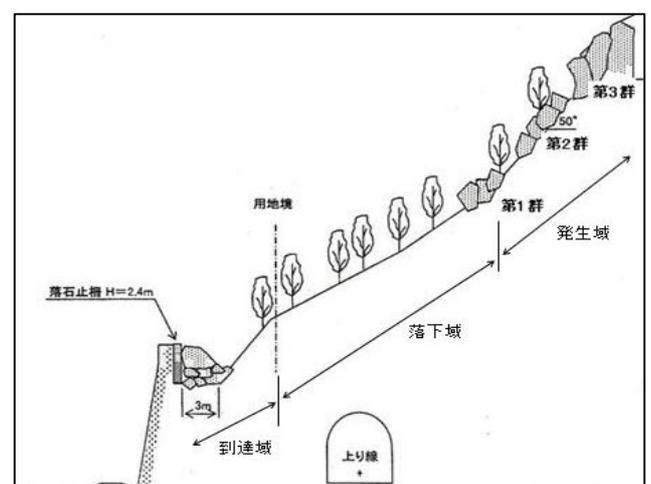


図 2 落石災害箇所の断面図

keywords: 発生域 落下域 到達域 ガリー侵食 剥落型 転石型 リングネット工(落石エネルギー吸収型ネット)

連絡先: 〒983-0853 宮城県仙台市宮城野区東六番町 31-2 仙台土木技術センター Tel 022-266-2397

（3）総合所見と考察

斜面には、剥落型、転落型の露岩が分布している。転落型の落石は既設の防護工で対応できるが、剥落型の落石に対して防護しきれないと判断した。

本災害の原因は、第2群の露岩帯からブロック状に積み重なった一部が足元から抜け落ちたことによるものと判明した。発生源の屏風岩背面は、風化が著しく、バランスを崩した危険な状態である。背後に開口亀裂が多発しており、ワイヤーモック工を設置し、初動を抑えることを最優先とした。これらの露岩は、既存の対策工での対応が困難であり、恒久対策が必要であると判断した。

転落型の落石対策として根固め工を検討したが、危険度が高いうえ効果が低いと判断し、ネットで覆う対策とした。到達域では既存の擁壁の機能を生かし、背面のポケット容積を確保した。さらに、落石の跳躍に対応する落石止擁壁の高上げが必要であると判断した。

4. 対策の実施

（1）対策実施上の考え方

豪雪地域のため冬季の施工は、困難が予想され、積雪時期までに完了する必要がある。

当該線の重要性を考慮し、列車の運休をせずに列車間合で不安定な岩塊を撤去し、斜面全体の安定化を図ることを基本とした。

（2）落石防護工の比較検討

不安定な第2群、第3群の岩塊群のうち、ネット工から抜け落ちる岩塊を想定した検討条件を表-1に示す。

表-1 検討条件

項目	検討条件
設計斜面勾配()	45°
対象落石形状	2.0m × 1.0m × 0.5m
捕捉可能落石	2.37 (球状 1.655m)
等価摩擦係数(μ)	0.25

当該斜面は、積雪による静的荷重を受けるため、既設の擁壁背面のポケット高さとの静的荷重に対する設計積雪深2.4mを考慮し、落石エネルギーを算出した。

$$E = (1 + \dots) \cdot (1 - \mu / \tan \dots) \cdot m \cdot g \cdot H$$

ただし、(1 + ...)・(1 - μ/tan ...) 1.0

E：落石の運動エネルギー(kJ)

：回転エネルギー係数(=0.1としてよい)

μ：等価摩擦係数

：斜面勾配(°)

m:落石の質量(ton)

g:重力加速度(=9.8m/sec²)

H:落石の落下高さ(m)

算定の結果、想定落石エネルギーは841kJを得た。岩塊厚さ0.5mについては不確要素が多く、風化浸食の進行や複数の岩塊落下にも対応するため、落石エネルギーを2倍とした。また、機械施工が困難で制約の多い作業環境を考慮した比較検討を行ない、リングネット工法を選定した(表2)。

表-2 工法の比較検討

種類	対応落石 E補正	工期	工費	総合 評価
ロックフェンス	×			不可
落石防護柵	×			不可
リングネット工				採用
落石防護壁	×		×	不可
落石覆工		×	×	不可

（3）恒久対策工

斜面の安定化処理後、風化が著しい不安定な第2・3群の露岩は、ロックネットで覆い、発生源対策を施した。

ロックネットから抜け落ちる落石を捕捉する目的で、斜斜面中部にリングネット工を設置した。

さらに、落石止擁壁背面のポケット容積を確保した。(写真-2)。ソフト対策として、監視カメラおよび落石検知装置を設置し、常時モニタリングできる監視体制を構築した。さらなる安全確保のため、落石覆工を設置する計画とした。



写真-2 対策工状況

5. 終わりに

本災害対策は、積雪期までに対策を終える必要があったため、既設の落石対策工では捕捉できない岩塊の処理が主体となったが、列車の安全輸送の確保が図られた。発生源は、なだれ防止保安林に指定されていることから、所轄の林野庁と速やかな対応を図り、対策を推進する所存である。