

道路防災対策工事における落石対策工法の比較検討

久保 光¹

¹福井県丹南土木事務所鯖江丹生土木部 道路保全課（〒916-0133福井県丹生郡越前町気比庄3-17）

地形条件、既設構造物の有無・位置から落石対策工法を検討した。落石対策は、発生源対策としての「落石予防工」、発生した落石の対策としての「落石防護工」の2種類を並列して比較し工法を選定した。「予防工」は、予備設計においてアンカー工が選定されていたが、最大高さ80mほどの高足場が必要となりコスト高となることが課題であった。そこで、ワイヤロープ掛工の主ロープピッチを密にし、アンカーを千鳥配置として、あるいは「岩塊固定工法」の設計手法を取り入れることにより予備設計の1/3の費用で落石対策できることが明らかとなった。

キーワード 落石対策, 落石予防工, ワイヤロープ掛工

1. はじめに

我が国の道路は、急峻な地形や脆弱な地質であるうえ、多雨多雪地帯という条件下にあり、更に世界有数の地震国であることから、防災上厳しい環境にある。このような条件のため、落石災害が発生することも少なくない。

本研究では、道路防災点検箇所において実施された道路防災点検結果から、要対策と判定された箇所において落石対策工法の検討を行ったので報告する。

2. 地形・地質概要

写真-1は、対象斜面を示す。地表地質踏査の結果、対象斜面は、地形・地質（露岩）状況から、大きく(1)岩壁斜面、(2)礫岩斜面、(3)崖錐斜面、(4)平地に区分される。各斜面の概況を以下に示す。

(1)岩壁斜面

対象斜面は国道に面しており高低差100m程度、傾斜70~90°の岩壁をなしている。また、岩壁と国道との距離は約30~50mであり、その間は、多くの区間で崖錐斜面、平坦面、一部の区間では、礫岩斜面が分布する。

(2)礫岩斜面

礫岩斜面は、岩盤が露出したやや急斜面であり、既設ポケット式落石防護網が設置されている。

(3)崖錐斜面

崖錐斜面は、岩壁直下に落石などによって形成された崖錐斜面が分布する。トンネル坑口上の崖錐斜面には、ガリー上の沢が形成され、礫岩が露出している。



写真-1 対象斜面

3. 落石対策の検討

(1) 落石エネルギーの算出

現地調査において得られた落石源の安定評価と岩体の大きさから落石エネルギーの算出を行った。落石エネルギーは、落石対策便覧²⁾に示された(1)式において算出した。なお、自重は26kN/m³の値を用い、斜面の種類と等価摩擦係数 μ の値は、岩壁斜面および礫岩斜面からの落石については0.05を用い、崖錐斜面からの落石については0.35を用いた。落石の落下高さが40mを超える落石については、落石便覧に示されるように落下速度が一定となる。よって、本設計では落石高さが40m以上を超えるものについては、落下高さを40mとして設定した。

$$E = (1 + \beta) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) m \cdot g \cdot H \quad (1)$$

ここに

$$(1 + \beta) = \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta}\right) \leq 1.0$$

- E : 落石の全運動エネルギー
- β : 回転エネルギー係数(1.0)
- μ : 等価摩擦係数
- θ : 斜面勾配
- m : 落石の質量
- g : 重力加速度
- H : 落石の落下高さ

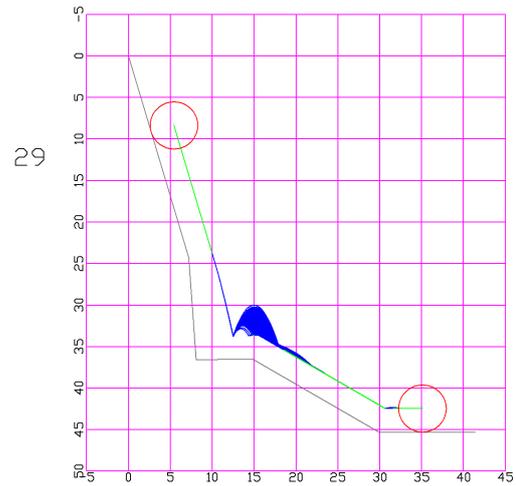


図-1 シミュレーション結果(No.29)

(2) 落石対策工（防護工）の対象落石の抽出

落石エネルギーを算出した結果、2,000kJを超えるものが44個あった（8,000kJを超えるものが32個）。このように落石エネルギーが大きい不安定な浮き石・転石について、落石した場合のシミュレーションを実施し、落石防護工の対象落石を絞り込んだ。シミュレーション手法は、落石便覧を参考に一般的に実施されているトロント大学の手法を用いた。図-1は、シミュレーション結果の一部を示す。

シミュレーションの結果、道路に到達しない落石が15個あることがわかった。よって、これらの落石を除き29個の落石に落石予防工を配置する方針とする。

(3) 落石対策工〔防護工〕の適用範囲

落石エネルギーが極めて大きい場合、防護工の採用は困難となるが、近年、新工法が開発されているため8,000kJ程度まで対応可能である。

(4) 落石対策工〔予防工〕の抽出および比較検討

対象地では、極めて大きいエネルギーを持つ浮き石があるため、予防工による個別処理を併用しなければならない。表-1は、落石対策工〔予防工〕（個別処理）の対象地への適用可否を示す。予防工は概略設計結果に従えば、「アンカー工」である。

表-1 落石対策工〔予防工〕（個別処理）の対象地への適用可否

落石防護工	対象地での課題	適否
ワイヤロープ掛工 (ロープネット工含む)	主ロープ(横ロープ)の配置を密にすることにより採用可能と判断した。両端のアンカーは1m以上離隔させることを条件とする。 ワイヤロープ掛工の設計計算は基本的に『落石便覧』の設計例によるが、詳細設計の段階で対象落石毎に設計計算を行い、是非を判断する。	○
アンカー工	※既往概略設計の選定工種 最大高さ80m程度の高足場が必要(標準仕様は40m以下)。	○
根固め工	岩壁の傾斜角が急で、浮き石状態から効果的な根固め工が配置できない。	×
除去工	浮き石が大きな岩塊で釣り足場での除去は極めて危険。また、仮設防護工の規模が大きくなる。	△
接着工	背面岩盤の緩みが不明確で接着効果が判断できない。	×

4. 落石対策工の詳細設計

(1) 予防工

予防工の工種は、ワイヤロープ掛工とし、各落石について設計荷重を算出し、設計した。落石の状態（大きさ、単体か群か）により、「ロープ掛工」か「ロープネ

ット工」の適用を図-2の選定フローに従い判断した。

ワイヤロープ掛工の設計計算は、落石便覧に従うが、主ロープ(横ロープ)の配置間隔が実績値0.5m以下となる場合は、以下を条件に岩塊固定工法設計・施工要領 2)の計算手法に従い、落石背面の摩擦抵抗や現状での安定状態を考慮した計算手法(2)式を用いた（図-2は概念図）。

- ① 落石便覧の計算手法では、主ロープ間隔が 0.5m 以下となり、施工確実性の確保が困難であること
- ② 落石形状が、幅、高さともに 3m 以上あり、厚さが 2m 以下の扁平形状であること
- ③ 背面の摩擦抵抗を担保するために、対象落石岩塊およびその周囲にモルタル吹付工を施工し、風雨による接合面の劣化を抑制すること

表-2は、この手法を用いた落石を示す。

「岩塊固定工法設計・施工要領」の計算手法を用いて、ロープ掛工を設計した、4つの落石 (№5, №6, №28, №59) には、経年後も背面の摩擦抵抗を担保するために、対象落石岩塊およびその周囲にモルタル吹付工(t=10cm)を施工し、風雨による接合面の劣化を抑制する。施工範囲は、対象落石の前面および周囲地山(岩)1mとした..

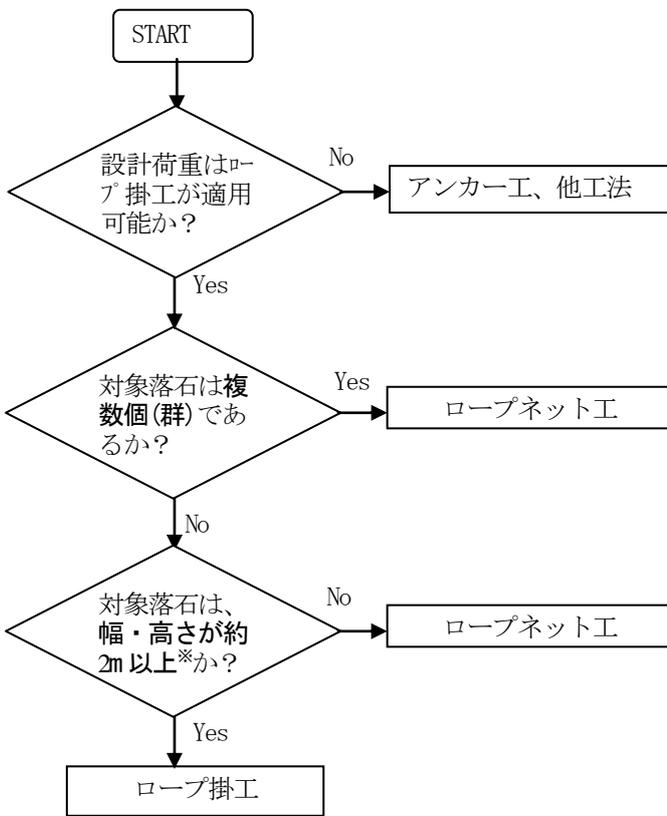


図-3 対象地での「予防工」選定フロー

(2)防護工

落石防護柵は2箇所配置する。

- ① 既設落石防護網の上部の地山中腹部
落石エネルギーは、100KJ 以下である。既設落石防護網の上方にある緩傾斜地を利用して、概ね標高 25m に、新工法の落石防護柵を配置する。防護柵高さは、シミュレーション結果と国道交通の安全性を考慮して、H=3.0m以上とした。

- ② 国道横の平場

落石エネルギーは、100KJ 以下である。平坦地および緩傾斜地を活用し、概ね道路標高に、従来工法の落石防護柵を配置する。防護柵高さは、シミュレーション結果と国道交通の安全性を考慮し、H=2.0m 以上とした。

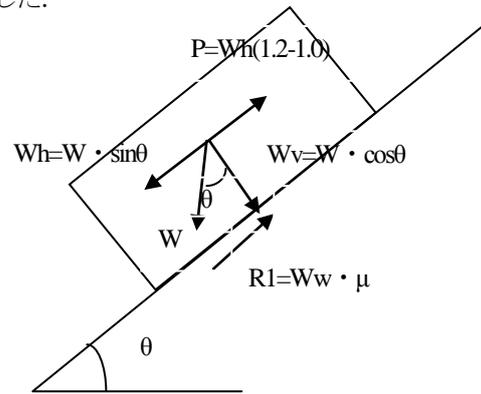


図-2 岩塊固定工法の概念図

$$P=Wh(1.2-1.0) \quad (2)$$

$$R2=1.0 \times Wh \times R1$$

$$C=R2/(w \times h)$$

- P:常時の抑止力
- R2:岩塊と斜面の結合力
- C:岩塊と斜面の粘着力
- Wv:斜面の垂直な分力
- R1:摩擦による抵抗力
- W:岩塊重量
- θ:斜面勾配
- μ:岩塊と崖錐層摩擦係数
- Wh:斜面に垂直な分力
- w:岩塊幅
- h:岩塊高さ

表-2 落石背面の摩擦抵抗・現状での安定状態を考慮した計算手法を用いた落石

岩体No.	大きさ (m)			落石エネルギー (KJ)	「岩塊固定工法」による設計 採用	「落石便覧」による設計 参考
	幅	高さ	厚さ			
59	6.0	8.0	2.0	102,960	φ 18×5 本 配置間隔 1.0m	φ 18×22 本 配置間隔 0.35m
28	3.0	4.0	1.0	13,156	φ 18×2 本 配置間隔 1.0m	φ 18×8 本 配置間隔 0.5m
6	4.0	10.0	1.0	43,770	φ 18×8 本 配置間隔 1.0m	φ 18×40 本 配置間隔 0.25m
5	20.0	20.0	2.0	880,446	φ 12×12 本 配置間隔 1.0m	φ 18×30 本 配置間隔 0.5m

5. 検討結果

落石対策は、地形・地質（露岩）状況から、大きく(1)岩壁斜面、(2)礫岩斜面、(3)崖錐斜面、(4)平地に区分して検討した。落石エネルギーの算出は、落石便覧に従って行った。落石エネルギーを算出した結果、2,000kJを超えるものが44個あり、落石シミュレーションの結果、道路に到達しない29個の落石に落石予防工を配置することとした。落石エネルギー100kJ以下の落石については、落石防護柵を2箇所配置することで対応できることがわかった。表-3は、62群の岩体のうち、設計荷重の大きい4つの落石について、岩塊固定工法の設計方法を取り入

れ、アンカー工、ワイヤロープ掛工、落石除去工を比較検討した結果を示す。ワイヤロープ掛工が、経済的に最も有利なことがわかる。しかしながら、主ロープ（横方向ロープ）のピッチは25～35cmとなるため、メーカーの実績のある最小ピッチ50cm以上隔離することができない。そこで、主ロープは、両端のアンカーを水平方向（投影）に1m以上離隔させて、千鳥配置することで問題を解決した。「岩塊固定工法」の設計手法を取り入れることにより、高足場が不必要となり当初設計の1/3の費用で落石対策できることがわかった。

表-3 落石予防工（アンカー工、ワイヤロープ掛工、落石除去工）の経済比較

落石（岩体№）		6	36	53	59
落石の大きさ					
幅(m)		4.0	10.0	4.0	6.0
高さ(m)		10.0	15.0	6.0	8.0
厚さ(m)		1.0	1.2	2.0	2.0
落石の位置(道路面基準)		69.0m	39.0m	14.0m	39.0m
アンカー工					
アンカー工	数量	8本@L8.0m	10本@L10.5m	3本@L8.0m	5本@L9.0m
	概算費用	2,560千円	4,640千円	960千円	1,860千円
法枠工	数量	28m@F500	54m@F600	10.5m@F500	27.5m@F500
	概算費用	1,010千円	2,670千円	380千円	990千円
足場工	数量	4.5・w10・h37.2m =1,674空 m ³	4.5・w16・h26.5m =1,908空 m ³	4.5・w10・h7.4m =333空 m ³	4.5・w12・h10.6m =573空 m ³
	概算費用	16,330千円	7,160千円	1,250千円	2,150千円
経済性（上記合計）		19,900千円	14,470千円	2,590千円	5,000千円
ワイヤロープ掛工					
ロープ掛工	数量	φ18×40本	φ18×65本	φ18×16本	φ18×22本
	概算費用	W8・h14=112m ²	W12・h17=204m ²	W8・h10=80m ²	W8・h12=96m ²
経済性（上記合計）		2,690千円○	6,120千円○	1,440千円○	1,590千円○
落石除去工					
落石除去工 (静的破砕)	数量	40m ³	120m ³	50m ³	70 m ³
	概算費用	2,790千円	8,350千円	2,320千円	4,870千円
足場工	数量	3.0・w10・h37.2m =1,116空 m ³	3.0・w16・h26.5m =1,272空 m ³	3.0・w10・h7.4m =222空 m ³	3.0・w12・h10.6m =382空 m ³
	概算費用	10,890千円	4,770千円	840千円	1,440千円
経済性（上記合計）		13,680千円	13,120千円	3,160千円	6,310千円

6. おわりに

予備設計において選定されたアンカー工を詳細設計においてワイヤロープ掛工と比較検討した結果、予備設計の1/3の費用で落石対策できることが明らかとなった。

今後、安全に十分配慮し、最初に防護工を設置して国道に落石が影響しないようにしながら、上部の落石から落石予防工の工事を行って行きたい。

謝辞：本研究にあたり、維持管理技術に関する共同研究会のメンバーおよび関係各位に貴重な助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 落石対策便覧：社団法人日本道路協会発行、2001.9.28 改訂版 第3刷
- 2) 岩塊固定工法 設計・施工要領：新落石研究会発行、2011.3.