

## (39) 立山有料道路における巨岩対策工について

富山県道路公社	土 肥	行 雄
同	清 水	靖 彦
同	○佐 伯	滋
(株) エイ・シー・デイ	吉 田	博
同	細 川	豊

### 1. まえがき

立山有料道路の桂台～美女平間は、溶岩と火砕岩によって形成された台地（ブナ平）と称名川の下方侵蝕によって形成された急崖地形によって特徴づけられている。桂台から美女平へは、立山有料道路が第1線から第3線へと急崖斜面を連続して通過するルートとして建設された。

平成元年7月に発生した福井県越前海岸での落石事故を契機に行なわれた落石危険箇所の一斉点検で、この立山有料道路の第2線上細谷橋より約250m東側の既設ロックシェッド上の斜面の標高980m～1020m付近にかけて凸状に張り出す不安定岩塊があり、崩壊した場合、最大2.5m×2.5m×2.5m程度の重量約40tfの岩塊として落下する可能性があることが明らかとなった。

既設ロックシェッドまでは標高差211m、水平距離259mであるが、重量約40tfの巨岩の落下に対し、既設ロックシェッドの設計荷重は90tfであることから、本ロックシェッドの安全対策が必要となった。

落石対策便覧<sup>1)</sup>によれば、斜面上を落下する落石の運動エネルギーは、標高差に相当する高さからの自由落下速度に、斜面の土質、岩質、凹凸、勾配、ならびに岩石の形状によって定まる残存係数を乗じて得られる落石速度を用いて算出できるとしている。また、斜面が長大となって落下高さが40mを越えると落石速度は一定値（終端速度）に達する傾向にあるとされているが、本斜面のような長大斜面を重量約40tfの巨岩が落下する場合に対する適用性については、未だ明らかにされていない。

そこで、本ロックシェッドの対策の検討に当たっては、落石シミュレーションを使用した。長大斜面上を落下する巨岩に対する落石シミュレーションの適用性については、別途、検討が行なわれている<sup>2)</sup>。

本報告は、このロックシェッドに対して行なった対策工法の検討経緯について報告する。

### 2. 落石シミュレーション

標高差211m、水平距離259mの斜面を巨岩が落下する場合、巨岩が既設ロックシェッドに到達するかどうか、また、到達した場合にロックシェッドにどれほどの衝撃力が作用するかを推定するために、落石の落下軌跡のシミュレーションを行なった。シミュレーションに当たっては、検討対象斜面において、落下予想縦断面図を作成し、座標設定した後に設計対象落石のシミュレーションを行なった（図-2）。

シミュレーションに用いる各種の係数として、吉田らの広島での1.0tf以上の落石実験データに基づいて提案されている係数を採用した<sup>2,3,4)</sup>。落石の落下挙動を確率論的に推定するために、シミュレーションでは落石を250回落下させた。シミュレーション結果は以下のとおりである。

#### (1) 運動形態

第3線の恒性寺トンネルの前後および第3線と第2線の中間部の砂防ダム後方で大きい跳躍が生じており、他の部分では、小さい跳躍と回転運動の繰り返しとなっている。

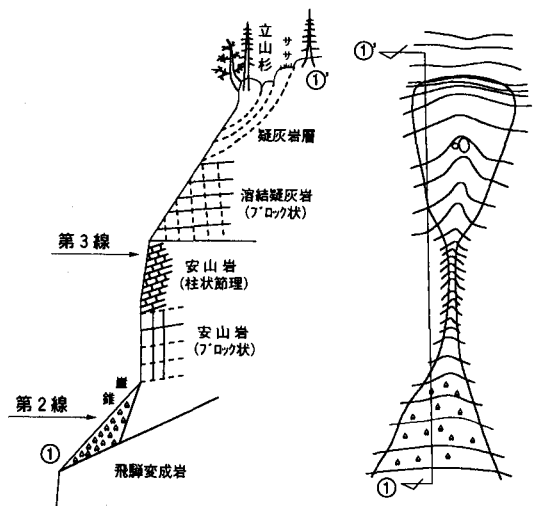


図-1 検討崩壊地の模式図

シミュレーションの結果、250回中28回が最終斜面上（第2線ロックシェッド上）に落下し、残り222回が斜面途中で停止している。

当該斜面は、斜面下方に比較的緩やかな部分（いわゆるポケット部）があり、その位置でほとんどが停止しており、最終斜面に到達したのもこの緩斜面でのエネルギー吸収が大きく、減速した後に到達している。図-3は250回中の25回の落下軌跡を示したものである。

### (2) 速度

最終斜面に到達した28回の落石の有する速度は、2.0～18.8m/secであり、自由落下速度に換算した落下高さ（以後、等価落下高さという）は、0.2～18.1mであった。

### (3) 落下位置

ほとんどがロックシェッドの山側擁壁天端部より上方の緩斜面部で停止しており、ロックシェッドはりの支間中央付近に落下するものは2回であった。

### (4) 衝撃力

ロックシェッドのはりの支間部に落下する落石のシミュレーションより得られた落下速度から、落石対策便覧式に基づいて計算した衝撃力は最大731tfであった。

本ロックシェッドの落石に対する設計荷重は約90tfである。しかし、シミュレーション結果より得られた荷重は、サンドクッション材をそのまま使用した場合約730tfとなり、何らかの対策を必要とすることが明らかとなった。

## 3. 対策工法

既設ロックシェッドに対する対策工法としては、ロックシェッドに及ぼす衝撃力が最小限となるよう斜面を整形し、落石を流す工法（A案）、既設ロックシェッドの補強（B案）、待受け式防護工（C案）の3通りの方法が考えられる。表-1はこれら3案の比較を行なったものである。

## 4. 防護柵の設計

斜面の途中で落石を停止または落石エネルギーを減衰させる落石防護工には、落石防止擁壁と落石防護柵がある。

### (1) 落石防止擁壁

落石防止擁壁は、落石の持つ運動エネルギーを擁壁本体および支持地盤の変形エネルギーに換えて吸収しようとする構造物である。比較的、小規模の落石に対しては効果が期待できるが、今回のように検討の対象としている落石規模が大きい場合には、落石防止擁壁の構造規模が極めて大きくなり、その自重が下部工に及ぼす影

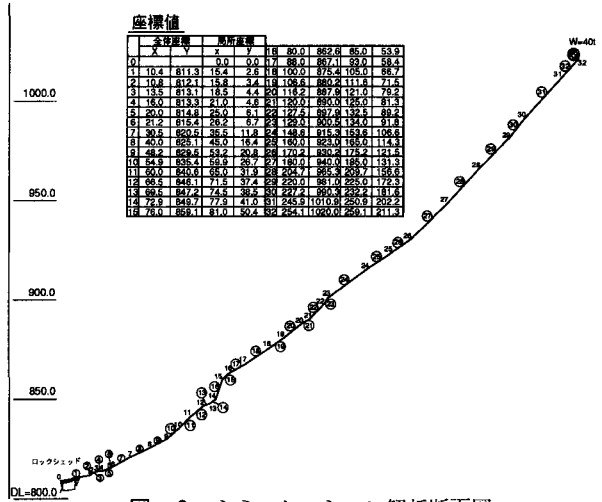


図-2 シミュレーション解析断面図

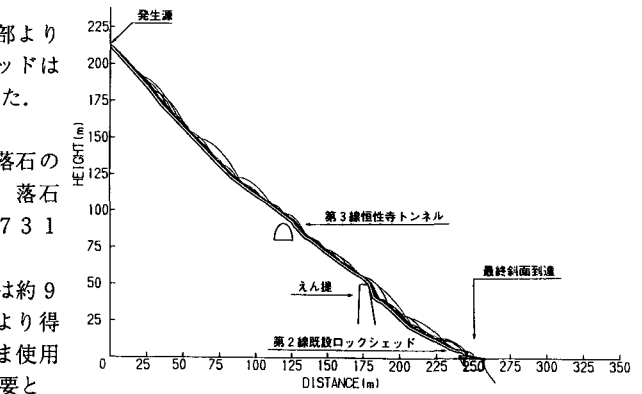


図-3 当該斜面のシミュレーション

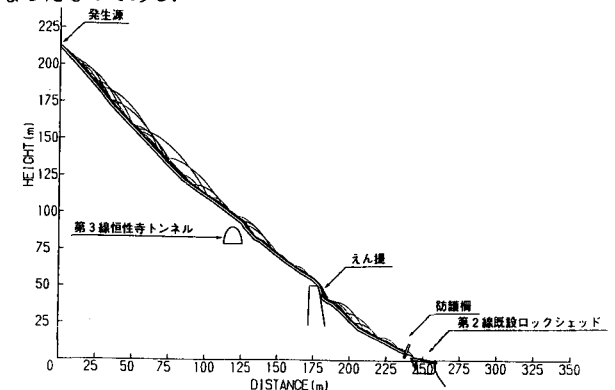
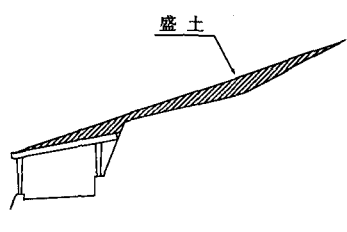
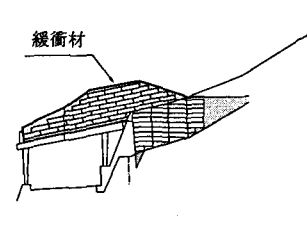
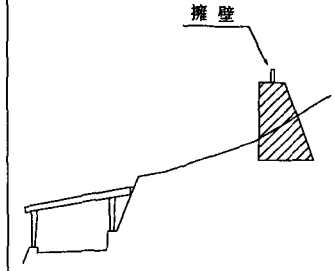


図-4 対策工設計シミュレーション

表-1 対策工法比較検討一覧表

	A案 流す工法	B案 既設対策工の補強	C案 待ち受け式防護柵
概 要	ロックシェッドに到達する可能性のある落石を積極的に下方に流れるように盛土を行なう工法である。盛土に際しては、勾配を安定勾配以下とし、ロックシェッドに及ぼす衝撃力を最小限に抑えるように配慮する。既存ロックシェッドの死荷重の増加が著しい場合には、発泡スチロールを用いる。ロックシェッド背面のポケット部が小さく、その上方斜面が急勾配である場合には経済的に利用できる。	ロックシェッドの耐力の増加を図る工法で、2つの方法が考えられる。 (1) サンドクッションを一旦除去し、既設ロックシェッド屋根にジベル筋を差し、その上にコンクリートを打設することにより屋根のはりを合成ばりとして強度の増加を図る。 (2) 落石の落下が予想される位置付近に発泡スチロールを敷くことにより大きい緩衝効果を期待し、落石の衝撃力自身を小さくおさえる。	ロックシェッドに落石が到達する以前に落石の有するエネルギーを減少させ、ロックシェッドに作用する衝撃力を設計値以内におさめるようにする。既設ロックシェッドの山側背面は比較的緩斜面となっており、この位置での落石の減衰効果が期待できることから、この位置に待ち受け式の防護壁を設置する工法である。
問 題 点	1) 本ロックシェッドでは、盛土区間がかなり大きくなり、自然を大幅に変更することは環境対策上よくない。 2) 盛土材料の種類にもよるが、長期間にわたり、流水による侵蝕により下方に流出する可能性がある。 3) ロックシェッドを飛び越した落石が、第1線に落下する可能性がある。 4) 盛土によりロックシェッド上の死荷重が増加し、下部工の安定に問題が生じる。	1) 既設のロックシェッドの架設に際し、山側受台を当時既存の落石防護壁を利用しており、設計荷重の限界で設計されていること。 2) シミュレーション結果より、落石の落下位置が山側受台の背面に落下する可能性が高く、その衝撃力による大きい土圧が山側受台に作用し、その軽減処置が必要である。土圧の軽減には山側受台の背面を掘削し、背面土砂を発泡スチロールで置き換えることも考えられるが、掘削に際してはかなりの危険を伴い、現実的とは言いがたい。 3) 既存の山側受台の補強を行なうためには、かなり大規模な工事を必要とし、巨額の工費と長期間の工期を必要とし、さらに、かなりの危険を伴うこと。	1) 既設ロックシェッドのポケット部での落石エネルギーの減衰を期待するためには、できる限りロックシェッド背面に近づけて防護壁を設置することが好ましいが、防護壁の重量および落石の衝突時の衝撃力による反力がロックシェッド山側基礎に及ぼす影響が大きいことが予想される。したがって、防護壁の重量をできる限り軽くし、設置位置は影響が小さくなる位置まで離す必要がある。 2) 落石が防護壁を飛び越さないようシミュレーションで確認する必要がある。跳躍高さが高い場合には、防護壁の高さを高くする必要がある。その場合には、防護壁の地耐力が問題となる。
概 略 図			

響も無視できないものとなることが考えられる。したがって、ここでの検討は除外することにする。

(2) 落石防護柵

現場打ちの基礎工上にプレキャスト部材を組み立てるもので、以下のような特徴を有している。

- a) 比較的軽量の部材からなっており、運搬・架設が容易で、短期間での施工が可能であり、本現場での作業に適している。
- b) 上部工の部材が工場製品であり、品質管理が行き届いており製品に信頼性がある。
- c) 万一破壊した場合の補修が容易である。

既設ロックシェッド背面での待ち受け式防護柵の設置に対し、再度シミュレーションを行なった。図-2に示すモデル斜面上のNO.4地点に高さ4mの防護柵を設け、これに衝突した落石はこの設置位置で停止するものとし、衝突するときの落石の速度、衝突高さ、衝突エネルギーを求めた。

(A) シミュレーション結果

(1) 運動形態

シミュレーションを250回行なった。その結果、250回のシミュレーションのすべてが防護柵までで停止した。なお、防護柵への衝突回数は101回であり、他の139回は斜面途中で停止した。250回のシミュレーションの内の25回分の落下軌跡を図-4に示した。

(2) 速度

防護柵に衝突する落石の最大等価落下高さは11.2m (落石エネルギー  $E_w = 449.1 \text{ tf}\cdot\text{m}$ ) であり、以下、10.0m, 8.6mとつづいている。

(3) 衝撃力

緩衝材として発泡スチロールを用いると、落石重量40tで各種の自由落下高さに対し、70%ひずみに対応する必要発泡スチロール厚およびそのときの発生衝撃力を計算すると表-2の通りとなる<sup>5)</sup>。

表-2 必要発泡スチロール厚さおよび衝撃力

落石重量 (t)	落下高さ (m)	発泡スチロール厚 (m)	衝撃力 (tf)	落石エネルギー(tf·m)
40	11.2	3.5	268.5	448.0
40	10.0	3.0	269.1	400.0
40	10.0	3.5	256.0	400.0
40	8.5	3.0	251.5	340.0
40	6.0	2.0	245.9	240.0
40	4.0	2.5	198.0	160.0
40	3.0	1.0	189.9	120.0
40	3.0	2.0	189.1	120.0
40	3.0	2.5	179.4	120.0
40	3.0	3.0	171.8	120.0
40	2.0	2.0	166.0	80.0

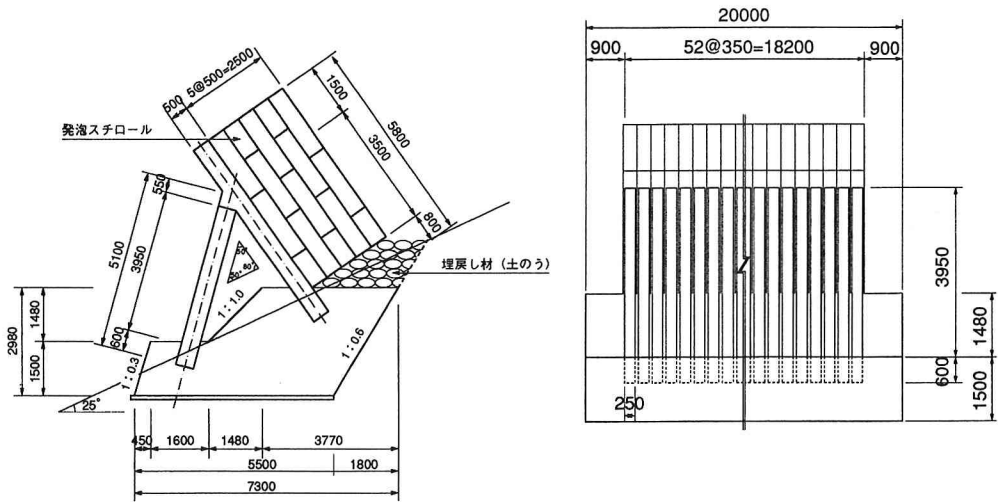
シミュレーションより得られた全ての落石エネルギーに対し許容応力度設計することは経済的ではなく、また、確率論的にもその必要性がないと考えられる<sup>9)</sup>ことから、施工可能な防護柵の最大設計耐力200tf、重量40tf、落下高さ4m (落石エネルギー  $E_w = 160 \text{ tf}\cdot\text{m}$ ) までを許容応力設計できる限界と仮定する。

このときの必要発泡スチロール厚さは2.5mであるが、この厚さの発泡スチロールがほぼ貫通するときの発泡スチロールの吸収エネルギーは、534.1tf·mとなる<sup>5)</sup>。このとき防護柵に発生する衝撃力は約300tfとなる。防護柵の終局耐力が300tfとなるように設計されるならば、250回のシミュレーションのすべてのケースに対し防護柵は破壊することなく停止させることができる。また、許容応力度を越える確率が2%程度におさえることができる。

このようにして設計された防護柵の構造形式一覧表を表-3に、構造の横断図および正面図を図-5に示す。

表-3 構造形式一覧表

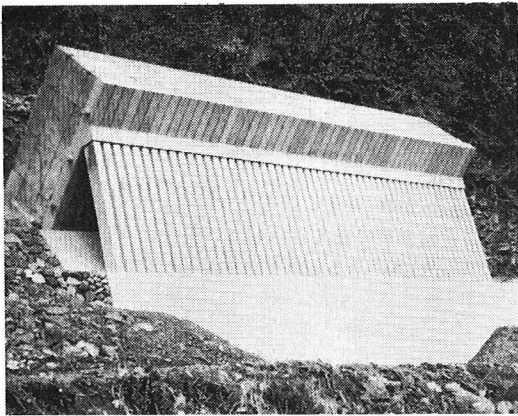
項目	内容	選定理由	備考
延長	L = 20.0m	<ul style="list-style-type: none"> <li>崩壊値のボトルネックにおいて設置する。</li> <li>現存する落石分布や現場地形を考慮した延長</li> </ul>	落石の設計衝撃力200tfの上部反力は、下部工の延長の1/2 (L = 10m) で受け持つものとする。
柵高	H = 4.0m	<ul style="list-style-type: none"> <li>シミュレーションの結果、予想落石が飛び越えない高さ。</li> </ul>	法面整形時における落石実験の結果、シミュレーションとの整合性が確認された。
形式	PC材による	<ul style="list-style-type: none"> <li>工期短縮、経済性、維持管理性からPC構造とする。</li> <li>既設ロックシェッド山側擁壁への負荷土圧軽減のため自重の軽い柵構造とする。</li> </ul>	柵前面には、緩衝材として発泡スチロールを敷設。



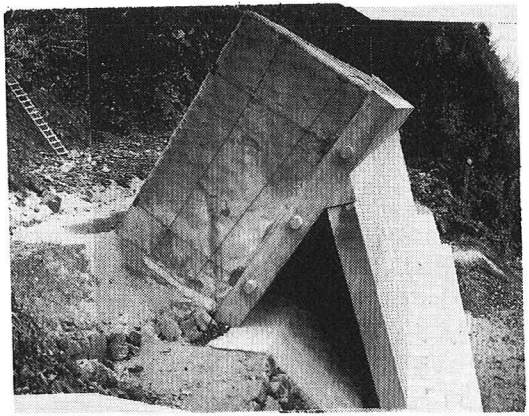
(a) 横断面図

(b) 正面図

図-5 標準横断面図および正面図



(a) 完成正面



(b) 完成側面

写真-1 完成した防護柵

## 5. あとがき

本報告では、長大斜面上を落下する巨岩に対する対策工法を、落石のシミュレーション法を用いて検討した結果について述べた。落石に対する対策を検討する場合、最も問題となるのが落石エネルギーの推定である。落石の発生自体極めて不規則性の強いものであり、さらに、落石および斜面の物理的性質、幾何学的性質、斜面の植性などが相互に影響しあい、経験的には落石エネルギーの推定は困難な場合が多い。

本報告では、標高差211m、水平距離259mの斜面上を重量約40tfの巨岩が落下することを想定し、巨岩が落下する場合の挙動の推定のためのシミュレーションに用いる係数に対し、以下の手順で検討を行なった。

- (1) 既往の落石実験からは、重量が1.0tf以上の落石の数値データが得られていないことから、吉田ら<sup>3)</sup>が広島で行なった落石実験データよりシミュレーションに必要な係数の修正を行なった。
- (2) 高低差約290m、水平距離約400m、斜面長約515mの斜面を落下し、立山有料道路の第1線で停止した約40tfの巨岩の痕跡調査を行ない、(1)で得られた係数を用いてシミュレーションを行なった。その結果、確率は小さいものの、この巨岩の落下の可能性が実証された。
- (3) 巨岩除去の発破作業により落下した岩塊の停止位置の調査を行ない、シミュレーションによる落石の停止

位置の比較を行なった。その結果、停止位置の分布に対する傾向が両者の間でよく一致することが確認された。

これらの検討結果から、少なくとも当該斜面に関しては、シミュレーション結果に基づいた落石エネルギーの評価は合理的性を有するものと考えられる。

平成元年7月に発生した越前海岸での落石事故以来、巨岩対策が大きい問題となっている。しかし、これまでの巨岩に対する対策工法として、根固め工法、ワイヤー掛け工法、アンカー工法、接着工法など予防工が行なわれてきたが、施工の困難さ、施工時の危険性から、それ以外の工法の検討が望まれていた。しかし、巨岩が落下する場合の挙動の推定が困難であることから、防護工法の検討はほとんど行なわれなかった。

しかし、ここで用いた落石シミュレーション法は、必ずしも確立したものとは言いが、これまでの数多くの落石記録と照合されており、ある程度の信頼性は期待できるものと考えている。

防護柵の設計に際しては、落石エネルギーの98%の期待値に対しては許容応力度設計され、それを越える落石エネルギーに対しては終局限界状態に対する照査が行なわれている。このような設計の考え方は、不規則性の強い落石に対する対策工の設計には合理的であり<sup>9)</sup>、かつ、経済的であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧，1983年7月。
- 2) 土肥行雄，清水靖彦，佐伯滋，吉田博，四藤勝彦：立山有料道路における巨岩処理と落石エネルギー評価，第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム，土木学会，1993年6月。
- 3) 吉田博，右城猛，榎谷浩，藤井智弘：斜面性状を考慮した落石覆工の衝撃荷重の評価，構造工学論文集，Vol. 37A，1991年3月。
- 4) 勘田益男，右城猛，吉田博：斜面上を落下する落石のエネルギー評価法，第2回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム，土木学会，1993年6月。
- 5) 吉田博，松葉美晴，法貴貫志郎，久保田努：発泡スチロールの落石に対する緩衝効果に関する実験的研究，土木学会論文集，第427号，pp. 51 - 60，1991年3月。
- 6) 吉田博，榎谷浩，右城猛，柴田健次：落石覆工の設計の現状と合理的設計へのアプローチ，土木学会論文集，第412号，pp. 213 - 222，1990年9月。