

落石対策

5. 落石対策の実際

内藤 邦夫 (ないとう くにお)

大日本コンサルタント㈱

村西 隆之 (むらにし たかゆき)

東京コンサルタンツ㈱

5.1 落石予防工の概要

5.1.1 予防工の種類と機能・特徴

予防工は落石の発生自体を抑止する対策工である。したがって、後述する防護工より抜本的な対策と言える。予防工には、落石予備物質をあらかじめ除去する工法、

風化・侵食などを防止することにより落石予備物質の安定化を図る工法、抑止力のある構造物やグラウンドアンカーなどで固定・安定化する工法などがある。主な予防工の種類、機能、特徴などをまとめて表—5.1に示す。これらの工法は単独で用いる場合と、同表の最下段にあるように、組合せて用いる場合とがある。組合せ工法は、

表—5.1 主な落石予防工の種類、特徴などの一覧表 (文献2),4),9)を参考に加筆作成)

目的別 対策工種	特徴・機能 ほか	対策工の効果など					工種の略図	工法の概要・機能、ほか	使い分けと景観など
		風化 浸食	発生 防止	方向 変更	信頼 性	耐久 性			
除去工		—	◎	—	◎	◎		不安定な転石などを切土またはクレーンなどにより除去し恒久的に安定を図る。高所や狭い場所での施工はむずかしい。この場合経済的に不利。	切土後の法面にも植生などが必要。用地の制約や交通条件などの良い場合に採用。
風化・侵食・流失防止工	排水工	◎	—	—	○	○		転石周辺の浸食を防止し、斜面などの表面保護、安定化を図ることにより転石を安定化。排水工は表面および浸透水の排除もある。	表面排水も暗渠とすれば周囲との調和が可。湧水の多い箇所や表面集水部に採用。
	吹付け工 (モルタル コンクリート)	◎	○	—	○	○		法面などの表面風化防止と保護を目的とし、効果的であるが、耐久性はやや劣る。狭い場所でも、あらゆる場所に適用でき、施工性が高い。	景観は良くないが、経済的に有利。あらゆる場所に適用できるが、施工高さや吹付搬送距離は限界がある。(100~150 m程度)
	編簀工	○	○	△	△	○		小規模の落石や、小規模表層崩壊の防止として比較的緩斜面での採用が多い。	周景には比較的調和的。緩斜面での土砂状地山に適用。
	植生工 (防止林も含む)	○	○	—	△	○		表層の流化・流失による落石発生を予防することが目的。主に景観を重視する場合に用いられる。	景観を目的として採用されることが多い。緩勾配の土砂斜面が多い。
固定・安定化工法	根固め工	—	◎	—	○	◎		不安定な転石などの下部斜面にコンクリートなどを詰め安定化を図る。多くの転石がある場合は多量のコンクリートを要するなど不経済。	大規模岩塊のときは打設コンクリートが目立つので景観は良くない。コンクリートなどの打設可能な位置で採用(4~50 m)程度。
	接着工	○	○	—	△	△		岩塊や転石の亀裂などに接着剤を用いて一体化し、安定を図る。大規模岩塊には不適である。	景観に配慮する場合は有利。多数の転石を固定する場合は景観が劣る場合もあり。小規模部に採用が多い。
	張工 (コンクリート 石、ブロック ほか)	◎	◎	—	○	◎		表面風化防止・保護を主目的とするが、モルタルやコンクリート吹付けより期待度が高い。鉄筋や鋼材を配置することがあり、抑止力を期待する場合もある。	景観はやや劣るが、安価である。比較的低い斜面部(10 m以下)で採用することが多い。場合によっては20~30 mのこともある。
	枠工(プレキャスト、コンクリート吹付け)	◎	◎	—	◎	◎		軽量法枠や法枠単独では抑止は期待できないが、ロックボルトなどと組合せて使用し抑止を期待。比較的高所、急傾斜面でも施工。	枠内に緑化することで景観が良好。各種法面、斜面に適用。
	ワイヤロープ 掛工	—	◎	—	○	○		ワイヤロープとロックボルトなどで転石を安定化させる。ワイヤなどの防食や耐久性を考慮する必要がある。	ワイヤロープは目立たないので、景観は変化なし。高所でも簡単に施工でき、あらゆる場所で適用可。信頼性にやや欠ける。
	グラウンド アンカー工 ロックボルト 工ほか	—	◎	—	◎	◎		単独ではなく受圧構造物(法枠など)と組合せて大きな抑止力を期待する。恒久的で信頼度も高い。施工性は場合にもよるが比較的良好的ことが多い。	景観は採用する受圧構造物により異なる。広く適用できる。
	擁壁工	◎	◎	△	◎	◎		不安定な転石や岩盤下部に用いて多少の抑止力を期待。	景観は劣るが比較的経済的。8.0 m程度までの高さで適用されることが多い。
	各種組合せ工法 (主に固定 安定化工法を 組合せ)	◎	◎	—	◎	◎		グラウンドアンカーや法枠などの組合せによって比較的大きな抑止力を期待する。各種の組合せによって広く対応が可。施工性などもそれらによって異なる。組合せ例は下記摘要欄参照。	採用箇所は多岐にわたる。
摘要	注) ◎非常に効果あり ○効果あり △場合により効果あり [ロックネット(覆式、ポケット式)については防護工を参照] 組合せ工法の例: ①吹付け工+ロックボルト ②張工+ロックボルト、グラウンドアンカー ③法枠工+ロックボルト、グラウンドアンカー ④落石防護網(覆式)+ロックボルト ⑤擁壁工+ロックボルト、グラウンドアンカー ⑥根固め工+ロックボルト、グラウンドアンカー								

講 座

それぞれの工法の対策効果を相互補完し大きく向上させるという利点がある。落石予防工の大部分は、土砂斜面を含む通常の法面保護工と共通している。

なお、一部の予防工は斜面对策工施工時の安全対策として仮設工にも用いられる覆式落石防護網、ワイヤロープ掛工などがあり、また小規模な落石の場合には繊維製の防護網などの使用例が多い。

5.1.2 予防工の計画・設計・施工

対策工の計画・選定にあたっては、表—5.1 に示した“使い分け”を参考にすると共に対策工の機能、確実性、耐久性、施工性、経済性（現場条件により各個別工法でも大きな差違が生じるので注意が必要）、維持管理などの観点から、予防工と防護工が同列に比較検討される。施工性は予防工では特に重要な要素であり、計画・選定時にこれを考慮に入れておくことが大切である。主な事項として、施工スペースの確保、施工法、施工順序、施工限界（距離、高さ）、資機材の搬入制約、仮設工、安全対策などがある。

一般に、除去工法は落石発生源が限定されており、個別処理が可能な場合に用いられる。風化・侵食・流失防止工法は土砂斜面上に比較的小規模の転石、浮石が散在する場合に用いられる。固定・安定化工法のうち張工および棒工は中規模（径1～3m程度）の転石、浮石が点在あるいは集合する場合に、それ以外の工法は中～大規

模（径3m程度以上）の転石等が限定的に存在する場合に、それぞれ用いられることが多い。

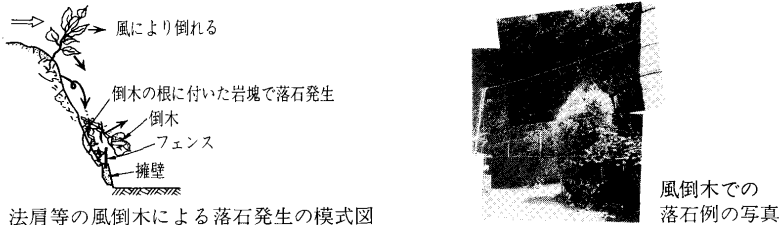
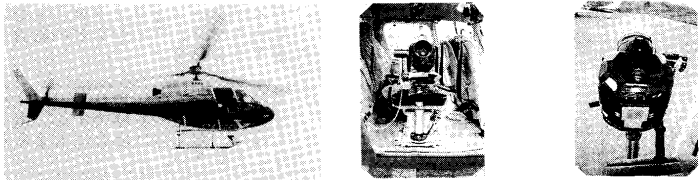
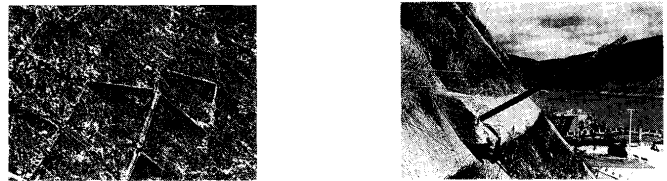
設計は、固定・安定化工法では構造計算などがなされるが、その他工法では経験的に処理されている。固定・安定化工法の設計においては、まず対象とする落石を安定に保つために必要な抑止力を算定し、続いてその必要抑止力に見合った対策工の構造計算が行われる。必要抑止力は、比較的大規模な落石に対しては現状の安全率を1.0と仮定して、計画安全率（例えば1.2）から必要抑止力が算定される例がよく見られる。しかし、一般に確立された算定法はないといってよい。それは、浮石であれば亀裂の発達状況などから不安定性の定量的な評価は容易でなく、また、堆積土砂で埋没した転石では、土砂内部にどのような形状で、どれだけ深く埋没しているのかを調べるのが困難なためである。設計は、設計計算と経験の両者を加味して行われているというのが実態に近い。

施工は、予防工では計画・選定で述べたように重要な要素で、主な検討事項は施工スペースなど、前記したものに加えて施工機械の選定、安全な足場の確保、施工時での使用材料の破損防止対策などがある。

5.1.3 その他留意事項・今後の課題

予防工の計画・設計時に、よく見逃される事項を表—5.2にまとめた。このうち、「高所や急斜面で近寄れない場合」には、不十分な現場調査をもとに安全側の工法

表—5.2 落石予防工の計画・設計時における留意事項

留意事項	概 略 説 明	留 意 事 項 の 参 考 図 ・ 写 真
斜面肩や法肩に高立木がある箇所	斜面肩や法肩付近に高木がある場合は一般に強風時に揺れる事により風倒木となり、その際、根に付いた岩塊により落石が発生することがある。このような場所では、その現象を見込んだ安全な設計が必要。	
土砂や雪崩等を伴う場合	多量の土砂の流動や雪崩などを伴って発生する落石の恐れがある場合、非常に大きな力が作用する。これによって施工した対策工が破損する事があるので、それらを考慮した崩土対策工としての設計対応が必要である。	 本来は落石防護工ではあるが雪崩や土砂流失により破損したポケット式ロックネットの例
高所や急斜面で近寄れない場合	高所や急斜面で近寄れないときは正確な落石形状や質量などの把握が出来ない。このような場合、空中斜め写真を利用した測量でかなり正確に形状などを把握でき設計に反映させることが出来る。	 ヘリコプターでの撮影状況と撮影用カメラの例
寒冷地で凍上する場所	寒冷地では凍結により岩盤劣化や亀裂の拡大などにより落石が発生したり対策構造物が変状したり破損する事がある。このような場合、凍上による膨張量や膨張圧等を配慮した設計をする必要がある。	 凍上による膨張圧等で変状した法棒と破断したグラウンドアンカーの例

表—5.3 予防工に関する最近の主な技術開発状況

工 法 ・ 素 材 等	新知見, 新工法, 方向性などの概略
グラウンドアンカー	グラウンドアンカーは従来引張材として鋼材を使用してきたが, 腐食などを考慮して防食の要らないプラスチックの, アラミド, カーボン繊維が用いられるようになってきてはいる。しかしながら, 経済性, 材料の伸びなどまだ課題が多い。
ロ ッ ク ボ ル ト	自穿孔タイプや, 凍上に対応できるものの開発もなされている。自穿孔タイプは各種提案されているが定着部, グラウト(注入材)の確実性などに課題を残しており, 削孔時の目詰りに関しては改良ビットの開発研究が行われている。凍上については, 凍上時の地山膨張に追従可能なロックボルトの研究開発が行われている。
法 枠 と 大 型 ブ ロ ッ ク	法枠は普及度は高い。法枠の多くは吹付法枠で, モルタルなどの搬送距離や高さに限度(法長で100 m程度)があるが, 最近ではポンプ搬送と組合せて長距離(200 m 以上)も施工されている。また, 枠材(普通はコンクリートなど)として鋼材やワイヤロープを使用するものもある。吹付け枠は低強度(15~18 N/cm ²)なので, 高強度(20 N/cm ² 以上)が期待できる工場生産で高品質大型ブロックの使用も増えているが, 高所やレッカー作業が出来ない場所では施工不能である。
間 伐 材 の 利 用	森林管理により発生する間伐材を利用し, 編柵に利用したり, 十字や井桁状などに組合せた間伐材とロックボルトなどとの組合せ利用工法により, 簡易な枠などを作成し, 落石や小崩壊を防止することも増加している。
削孔方法と削孔用足場	ロックボルトやグラウンドアンカーを打設する際には削孔工を伴うが, 施工能率を上げ, コストを下げるための削孔機の能力向上を目指して各種削孔機が開発されている。能力向上のためには, 機械が重くなるが, 落石対策では高所に対応することが多いため, 削孔機の軽量化や足場を不要とするワイヤロープやレッカー先端に削孔機を取り付けたもの, あるいはレッカーに足場を取り付けた移動足場, レールを利用した移動足場などが開発され研究されている。
そ の 他	切土時の高所作業にアームの長いバックホーを使用。ワイヤロープ掛時などの防食技術や, 腐食しないプラスチック部材(網, 枠等)の使用。モルタルやコンクリート吹付け時の金網を使用する必要のない繊維利用吹付けや長繊維による補強工とロックボルトなどの組合せ。景観に配慮した凝岩などの利用で対策構造物の被覆など。

選定・設計を行うと結果的に不適切・不経済な対策工となることがある。対象範囲や不安定岩塊の規模が大きき場合には, 斜め航空写真を用いることにより詳細に斜面状況(落石の大きさ, 形状, 滑落角など)を把握でき, より適切な対策工の選定および設計が可能となる。ただし, 斜め航空写真では, 深部亀裂や脆弱部の連続性まで把握することは困難である。

そのほか, 前述の表土などで埋没した転石形状や亀裂状態を把握するのに各種の物理探査手法(常時微動探査, 超音波探査, 弾性波探査, 電気探査など)の利用が試みられているが, 結果の信頼性や装置の可搬性を向上させることが今後の課題である。

対策工および施工法の改良, 開発も進められているので最後に, 予防工に関する最近の技術開発事例の概略を表—5.3に示す。(内藤邦夫)

5.2 落石予防工の設計・施工事例

5.2.1 除去工, ワイヤロープ掛工等の設計・施工事例

(1) 対策までの経緯

高速道路新設時に計画切土法面上部の自然斜面に広く多数, 散在する不安定転石があった。切土施工時に重機の振動や降雨などにより斜面から数個の落石が発生し, 既設落石防護柵を破損, 完成切土法面部小段で止まった。供用時の災害防止目的で不安定転石の対策を行った。

(2) 地質状況と調査結果

構成地質は中生代白亜紀である領家帯の花崗岩類が分布し複数の岩体に区分される。岩体生成時期が異なり, 古期岩体は新期岩体により熱変質などで多数の亀裂が発生し岩塊や岩片状に分離したため, 不安定な転石が多数散在した。

転石は番号を付し安定度評価などを行い, 転石を整理区分し, 次項(3)に示す対策工の選定を行った。整理書式例と転石状況を表—5.4, 写真—5.1に示す。

(3) 工法選定, 設計検討, 施工結果

この現場では大規模な不安定岩塊が多く, 防護工による対応が困難と判断されたため, 予防工を主体に工法の選定を行った。各種の予防工を, 対策効果の確実性, 施工性, 仮設道路の設置などを含む工費などの観点から総合的に比較検討した結果, 以下に述べるように複数の工種を選定した。すなわち, 転石密集部や特に危険(不安定)と判定した岩塊はケーブルクレーンでの除去工, 一部の転石集合部は複数個をまとめたワイヤロープ掛工(ロープネット工を含む), コンクリート打設可能部は根固め工を選定した。対策工施工状況などを口絵写真—23に示す。

なお, この現場ではケーブルクレーンによる除去工を採用したが, クレーン設置費用は一般に高いため, これを現場に適用するにあたっては, 除去対象となる転石の数量, 施工能率, 使用するクレーンの吊り上げ荷重容量と大転石の小割り作業費用の関係, 吊り上げ作業時の岩塊落下への安全対策工など, 綿密に施工計画・費用を検討することが大切である。

(4) 今後の課題

当現場のクレーンでの除去工は工期, 工費などで好評価だったが, より経済的で施工性(効率)の良い工法, 例えばクレーン軌道部を外れた部分での転石除去の効率化は今後の課題である。また, 除去時の安全対策用ワイヤロープ掛工などの施工性向上や, これらの安全対策が不要もしくは軽防護で除去できる工法などの開発が望まれる。(内藤邦夫)

表—5.4 転石の整理書式の例（形状，対策工などを記載）

No.	転石状況	対策工法	現 状 略 図	対策工法施工略図	備 考
C 12 C 13	・ C 12 は根が無く，約 1.4 m の空洞となっており小岩体によって支持されている状態である。 ・ 非常に不安定な状態。 ・ C 13 は基盤に乗っているが不安定。	・ ロープネット工(RN) ・ 根固め工(C 12)	正面図 側面図	正面図 側面図	・ 全体を包括する様，ロープネットにて対応する。 ・ C 12 の根固めは，ロープ掛けの後，ロックボルト (RB) 打設後モルタルにて行う。 ・ ロックボルトは C 12 と C 13 を連結する。
C 16 C 17	・ C 16 は基盤岩に乗っている状態である。 ・ C 17 は地山から浮いている状態で，小岩体にて支持されている。	・ ロープ掛工 ・ 根固め工	正面図 側面図	正面図 側面図	・ C 16, 17 の範囲にロープ掛工を行う。 ・ 各根部にはモルタルによる間詰め，根固めを行う。

C 12, 13 の側面全景



C 12 側面近接撮影状況



C 17 の正面からの状況



写真—5.1 転石の状況（記号は表—5.4に対応）

5.2.2 斜め航空写真を利用した設計・施工事例

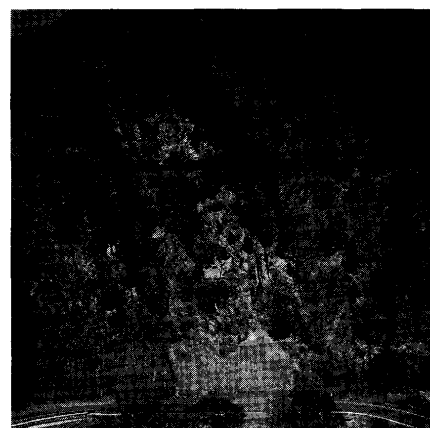
(1) 対策までの経緯

バス路線として重要な一般県道で，沿線には観光地（温泉，ダム，登山など）もある。平成9年度の岩盤斜面緊急点検時，およびその後の点検でポケット式防護網支柱の破損や道路に幾つかの落石跡が確認された。調査の結果，上部斜面に多くの不安定化した浮石があり，落石および一部には岩盤崩壊が発生する危険性が想定され，早急に対策が必要と判断された。

(2) 地質状況と調査結果

四万十層で古第三紀三倉層群の粘板岩，砂岩，輝緑凝灰岩などが分布する。斜面には砂岩が広く分布し，これを貫いて輝緑岩が小規模に存在し，それに接触する砂岩はホルンフェルス化している。

岩盤崩壊想定部は急崖斜面で一部オーバーハングし接近不可能な事から，斜め航空写真にて地形図（1/200の平面，正面）を作成して落石規模，形状などを決定した。地表踏査結果も含めた総合的判断で各浮石などの危険度を評価しランク付けを行った。斜め航空写真，およびそ

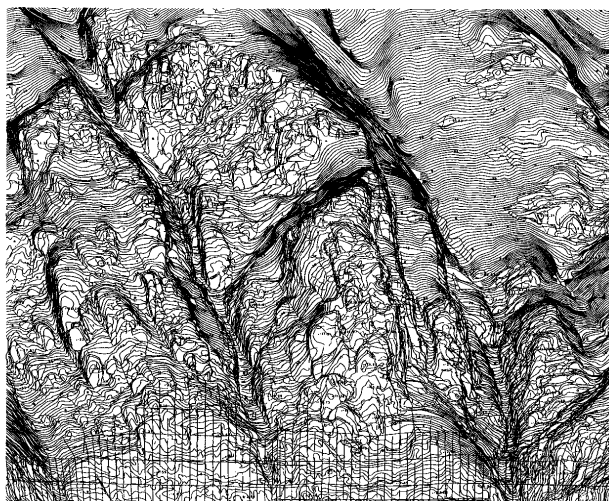


写真—5.2 斜め航空写真で撮影した急傾斜の岩盤部状況

の写真を基に作成した正面図を，それぞれ写真—5.2，図—5.1に示す。

(3) 工法選定，設計，施工

径1.0～2.0 m 程度の浮石（抑止力が100 kN 程度まで）にはワイヤロープ掛工，岩盤接着工，根固め工を，径0.5 m 程度以下の浮石に対してはポケット式防護網工を



図—5.1 斜め航空写真を基に作成した正面図（水平方向から見た図）

採択した。

岩盤崩壊想定部については、斜め航空写真結果から三次元の形状を詳細に図化し、より正確な体積から算出した質量と滑落角から現状安全率（ $F_s=1.0$ ）を計画安全率（ $F_{sp}=1.2$ ）に引上げる抑止力（3 900 kN）を算定した。大抑止力、恒久性などを考慮し、法枠工とグラウンドアンカーとの組合せ工（施工時の安全から仮設ワイヤロープ掛工を事前に施工し、これを被覆する法枠を計画）を採用した。詳細断面図と対策工の配置を図—5.2に、施工状況を口絵写真—24に示す。また対策工完成状況を写真—5.3に示す。

(4) 今後の課題

高所、急斜面で接近不可能なため斜め航空写真を撮影した。これから高精度の測量結果および成果（より詳細な体積、滑落角など）を対策工設計に反映でき好結果が得られた。落石などの対象物が当事例よりさらに大規模の時、斜め航空写真で形状、寸法などはより高精度の成果が得られるが、滑り角や下部基盤岩自体の緩み評価が難しい場合がある。この様な時は評価結果により大きく設計内容が異なる。解決策として高精度調査（例えば弾性波トモグラフィなどの物理探査利用）の裏付けによる設計、検討の必要もあろう。（内藤邦夫）

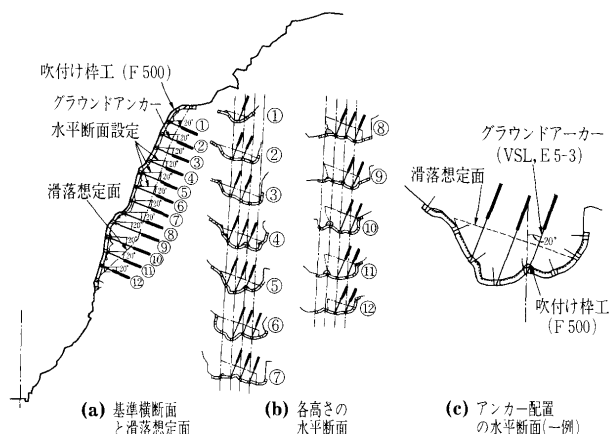
5.2.3 岩塊の状態に応じた対策の選定

(1) 概要

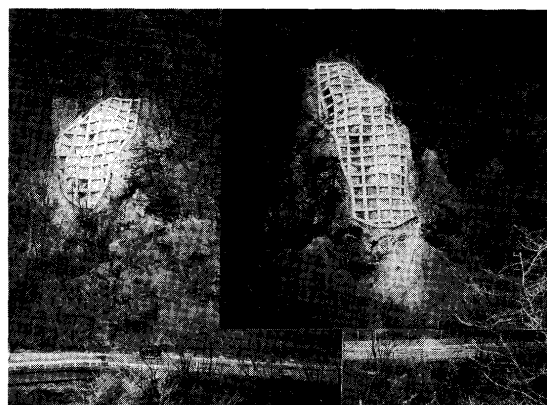
落石が発生しやすい地域が観光名所となっていることも少なくない。これは、落石の恐れがある斜面に対して道路の向い側が観光船の乗船場となっている箇所での落石対策事例である。また、岩塊の状態も発生源から落下した小さな転石から、開口亀裂が発達した大規模な岩盤まで変化に富んでいる。岩塊は道路用地の内外に広く分布し、道路用地の内と外、または岩塊の状態に応じて対策工を使い分けた事例である。

(2) 落石と周辺の状況

この地域の不安定な岩塊は斜面の上部にある落石発生源である直立岩盤からはく離落下して斜面上に止まっている転石と急崖地形に発達した大きな開口亀裂をもつ岩



図—5.2 詳細断面図と対策工配置（斜め航空写真を基にグラウンドアンカーや吹付け法枠を配置した各断面）

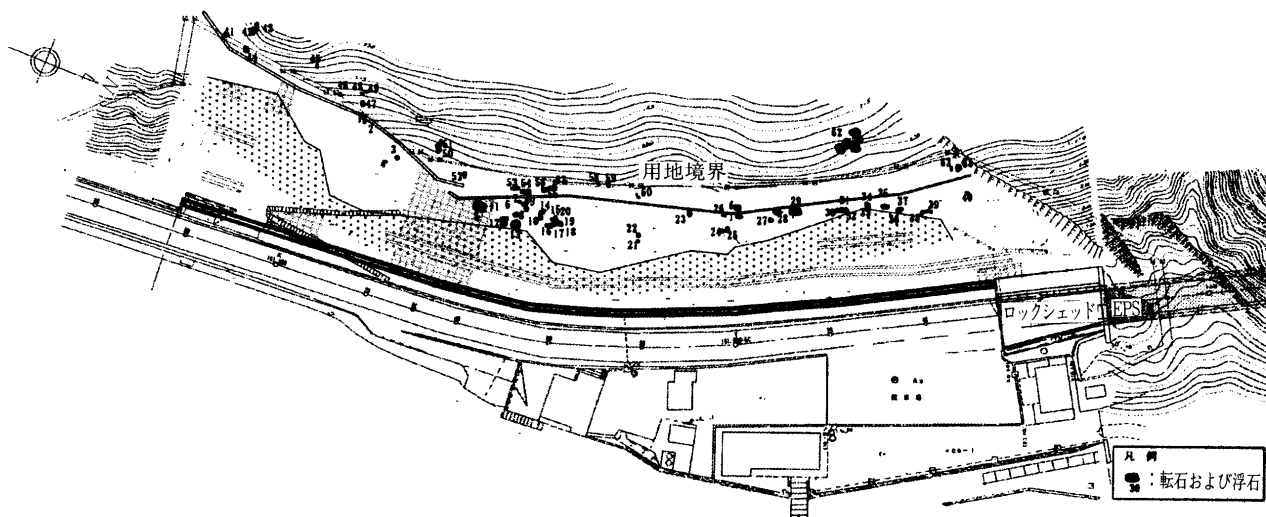


写真—5.3 岩盤崩壊想定箇所での対策工完成状況

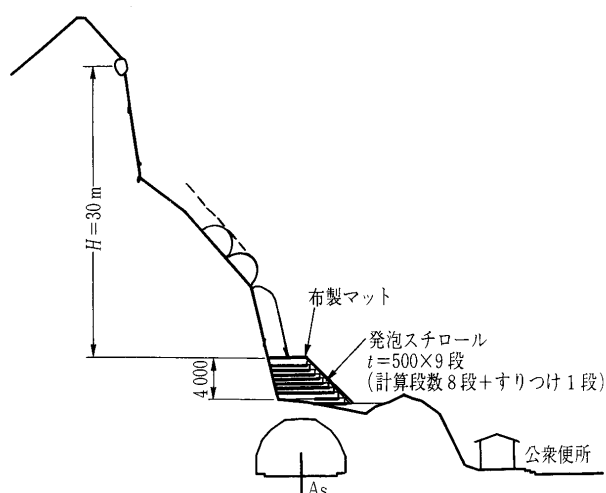
盤からなっている。転石の大きさは小さきまで、融雪時や豪雨時に再落下する恐れが高い。対策工法を検討するにあたり、これらの岩塊と斜面の状況について、道路用地内外を広く調査し、図—5.3のように個々の岩塊の状態を記録した。また、大きな開口亀裂をもつ岩盤はトンネル坑口上に位置しており、トンネル坑口にはロックシェッドが建設されている。ロックシェッドを過ぎ、乗船場付近では、落石防護柵が施されている。道路から落石発生源までの斜面の内、道路用地外には雑木が比較的密に繁茂しており、道路用地内にはほとんど樹木がない。道路用地内では、斜面表層の崩壊跡が見られる。

(3) 対策工法の検討

図—5.3の調査結果から落石に対する安全性を評価したところ、既設対策工を補完する対策が必要となった。大きい岩塊を対象にトンネル坑口に建設されているロックシェッドを延長し、道路上ですべての落石から道路を防護することも考えられるが、落石がロックシェッド上を超えて、乗船場に達することも考えられ、人災となることを危ぶみ採用を見合わせた。そこで、岩塊を個々に評価し、それぞれに対策工を検討した。トンネル坑口上の斜面では30～100 m 上方に開口亀裂をもつ直立岩盤があり、最大5 m×2 m×1 m（質量26 t）のブロックが100 m 上方から崩落すると推定される。しかし、過去の落石記録と亀裂の状態から崩落頻度が高い岩塊は30 m



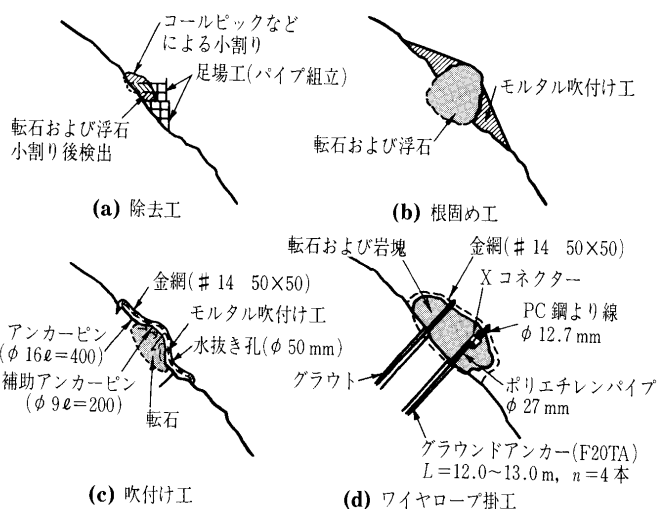
図—5.3 平面地形と転石位置



図—5.4 発泡スチロール材による落石衝撃力の軽減工法

上方にある質量3.7t程度のものと推定される。26tの落石では作用する衝撃力が22 MNであり、落石防護工での対応ができないために、落石検知機により監視を行い、危険回避を促している。3.7tの岩塊の落石衝撃力は3 MNである。ここでは、緩衝材による衝撃力の低下を図り、図—5.4に示すように発泡スチロールを緩衝材とし、構造物の安全性から衝撃力を0.6 MNまで低下した。発泡スチロール単体としたのはできるだけ軽量化するためである。

また、乗船場に面する斜面では、斜面上に表層崩壊跡が見られ、斜面上の転石の除去により表層崩壊を発生する恐れがある。したがって、除去することを前提とするが、除去できないものは、山腹に岩塊を定着する工法を用いることとし、基本的には表層崩壊の防止を兼ねて法枠工を優先し、岩塊の大きさにより根固め工、ワイヤロープ掛工を採用した。使用した対策を図—5.5に示す。ただし、道路用地外では、構造物による対処ができないために、除去工を前提とし、除去できない岩塊に対しては山腹における落石防護柵に設置した検知機による危険



図—5.5 山腹における対策工

回避を促すとともに、監視を行っている。道路の用地内外にかかわらず、防災カルテによる危機管理を行うこととしている。
(村西隆之)

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工—のり面工・斜面安定工指針，1999。
- 2) 日本道路協会：落石対策便覧，2000。
- 3) 地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説，2000。
- 4) 土木学会：岩盤斜面の調査と対策，1999。
- 5) 全国防災協会：災害復旧のり面対策工法事例集，1994。
- 6) 日本アンカー協会：グラウンドアンカー工事事例集，1997。
- 7) 日本道路協会：道路土工—排水工指針，1987。
- 8) 建設省河川局防災課監修：のり面及び斜面災害復旧工法，(山海堂)，1985。
- 9) 鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，1999。
- 10) 全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例(急傾斜地崩壊防止工事技術指針)，1996。