



土砂災害の予知と対策

4. 崩 壊 (その 3)

やす え とも みつ なか の まさ あき
安 江 朝 光* 仲 野 公 章**

4.5 落石の実態と対策

地すべり、崖崩れはその運動時に斜面の一部を構成している土砂や岩石が一体となって運動し、その終末期にこれらがかく乱されたり、分散するのであるが、落石は斜面より一つあるいは数個の固体が分離し転動したり落下する現象をいう。

落石とそれをめぐる自然条件との関係は崖崩れよりも不明確であって、降雨強度にもある程度影響されるが、落石現象そのものは晴天のときにも発生する。また風や地震、凍結融解にも影響されるが、その関係についてはまだ研究段階にあり、数量的にこれを明確化することは困難である。

落石の災害を最もこうむりやすいのは道路、鉄道などの交通機関である。これは、これら交通機関は一般に切土、盛土などの地形の改変を行うため、場合によっては落石の速度を大きくするためである。

4.5.1 落石の分類

落石の素因は、地形と地質にある。地形的にはオーバーハングしたり、非常に急(30°以上)な斜面において発生しやすい。

落石の発生形態は拔落ち型落石(転石型落石)とはく離型落石(浮石型落石)に大別される。

拔落ち型は崖錐、段丘礫層、火山性堆積物、風化花崗岩類などで、岩塊、玉石、礫の周りの部分、特にその下面が風化、侵食されてこれらが抜け出す場合をいい(図-4.28(a)~(d))、はく離型は、岩目が発達し、かつ岩目が密着しておらず、岩目に囲まれた岩塊、岩片が浮いた状態になっている場合である(図-4.29(a)~(c))。

落石の運動を支配するのは斜面の勾配、その形状、地表面の土質、凹凸などである。

運動形式はすべり、回転(転動)、飛跳の3形式に分かれるが、運動中のエネルギーロス(飛跳運動において最も少ないため、大きな加速度が生じ、大きな速度となるため、その衝撃力も大きい。この飛跳運動は特に勾配が急になったり、地表面に若干の突起物のあるときに発生し、ときには大きく飛跳することもある。

表-4.12 危険度判定と調査方法

危険度判定の種類	危険度判定時の調査の精度	調 査 方 法*
ルート全体に対する総括的な危険度判定	概 査	既往資料、空中写真 現地踏査、交通量データ
現地踏査による危険度判定*	精 査	現地踏査、空中写真
特に詳細な調査に基づく危険度判定	精 査	現地踏査、物理探査、ボーリング、 サウンディング、岩石試験、変状調査(クラック、浮石の移動など)

*1. 日常の巡回点検も含まれる。

*2. 各方法が必ずしもすべて用いられることはない。むしろ、すべて用いられるのは現状ではまれである。

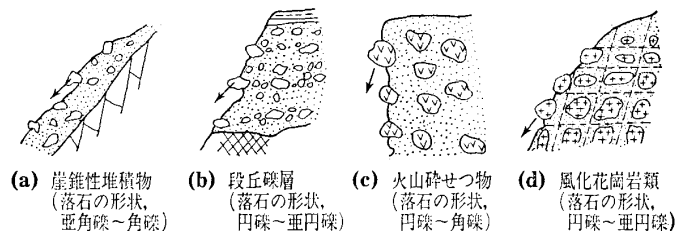


図-4.28 拔落ち型落石の発生形態

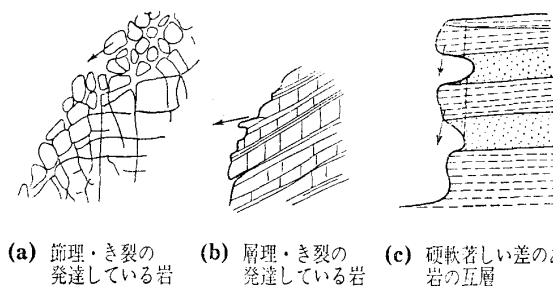


図-4.29 はく離型落石の発生形態

4.5.2 落石の実態

落石による被災の程度は、落石の量、速度および到達距離に関係するが、このうち到達距離に斜面の末端の状態が最も支配的な要因である。すなわち、落石が停止しうる平坦面、緩傾斜面、くぼ地、土堤、落石擁壁などが存在する場合は落石災害は発生しない。

建設省が実施した落石実態調査の結果を図-4.30~図-4.32に示す。この調査の対象斜面数は232、このうち落石発生斜面(過去5年間に1回以上落石が発生した斜面)は89、落石非発生斜面は143である。

落石の誘因は複雑であり、幾つかの因子が重なって起こ

*建設省土木研究所 砂防部部長

**建設省土木研究所 砂防部急傾斜地崩壊研究室研究員

講座

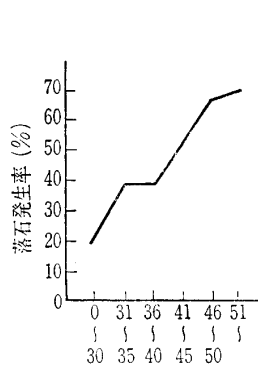


図-4.30 斜面縦断勾配(平均傾斜)(度)

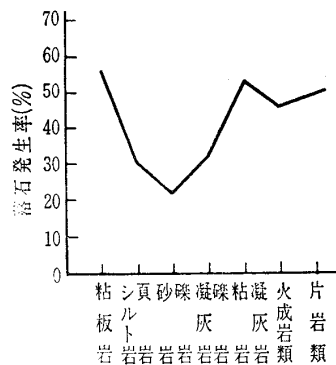


図-4.31 基盤岩地質

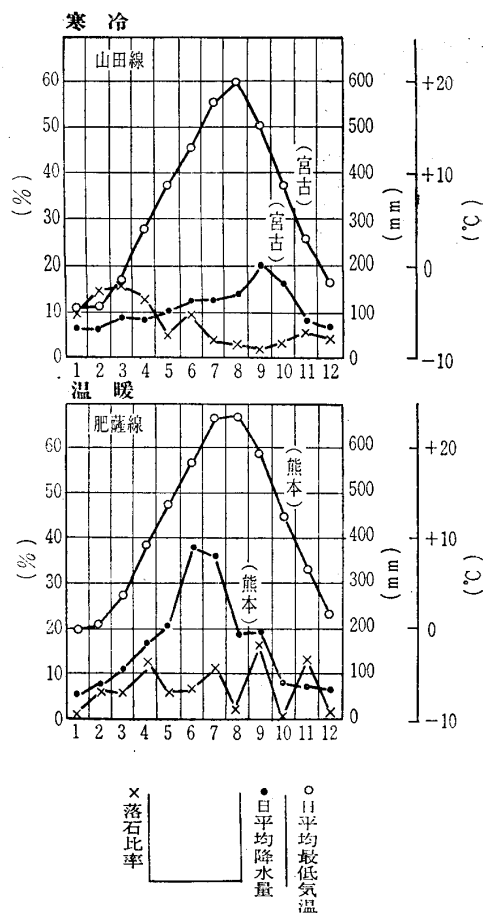


図-4.35 落石と気象条件(国鉄)

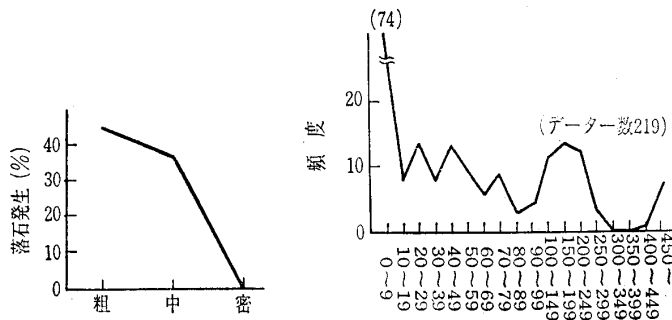


図-4.32 地被物の密度

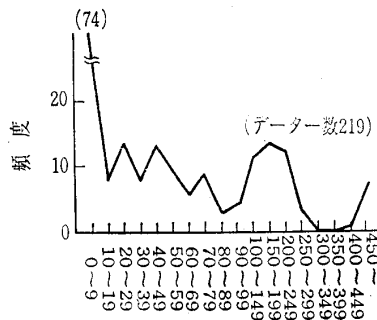


図-4.33 連続雨量

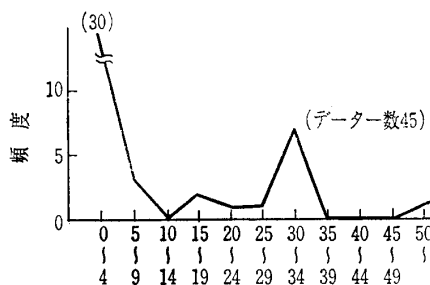


図-4.34 雨量強度

るため、落石災害については、原因を明確にできないことが多い。誘因としては、降雨、積雪、凍結融解、風、地震あるいは人為的誘因などがあげられる。図-4.33、図-4.34は、連続雨量および雨量強度に関する前述の建設省の調査結果を示す。豪雨時にピークが見られるものの、降雨に直接関係がないと思われるものが多数あると考えられる。図-4.35は、国鉄における落石と気象条件を示したもので、日平均最低気温がマイナスになる寒冷地では冬期に落石発生が多くなる傾向がある。

4.5.3 落石の調査と危険度判定

落石の調査と危険度判定は本質的には同じものであり、調査の各段階において、その時点での調査精度に対応した危険度判定を行うことになる(表-4.12参照)。

(1) 地域全体に対する調査

落石は地形、地質などの素因と降雨などの誘因が複雑にからんでいるが、一般に地域特性が見いだせることが多い。すなわち、「第三紀の火山岩地帯では集塊岩などの火山砕屑物からの礫の拔出しが、落石の大部分を占め、またその

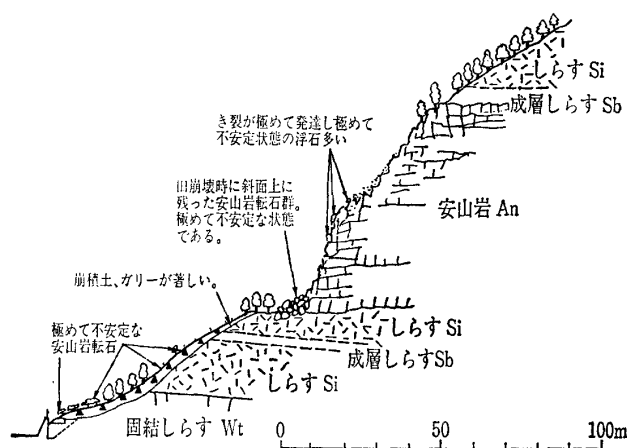
誘因は凍結融解が主たる要因で、したがって発生時期は春先に集中する傾向が見られる」といったことである。この段階の調査は、一般に予備調査に相当するが、落石は建設段階より維持管理段階に問題になることが多く、したがって収集しうる資料も多数にのぼる。これらは、地形図、地質図、空中写真、過去の災害記録などの防災に関する資料、気象記録、工事記録、交通量などであるが、ヘリコプターなどによる大縮尺の斜め写真が効果的であることが特記される。これより斜面の土地条件図を作成する。これには、岩種分布、断層の位置など従来の地質図に表示されるもののほか、地すべり地形、落石錐、崖錐性堆積物の分布、防災施設などを表示することが望ましい。

また、降雨、風、凍結融解などの誘因についても、発生頻度、発生場所との相関がないか調べる。

(2) 現地踏査と危険度判定

この段階では、対岸、河岸など見通しのよい所からの斜面観察を主体とし、大縮尺の空中写真や斜め写真判読で補う。また必要に応じて、落石発生主源近くまで踏査する。

空中写真の判読から落石の発生するおそれのある斜面を抽出することは、ある程度可能であるが、斜面中の浮石の状態、転石の分布などについては1/2000程度以上の大縮尺の写真が必要である。落石の発生条件に関する判読項目は、崖錐およびその背後斜面の状況、急崖部の岩質ないし



図—4.36 現地における工学的地質図の例

節理の方向、ぜい弱な礫岩等からなる斜面、花崗岩や石灰岩などのほか、斜面のガリ侵食部に注目すべきである。

踏査に用いる地形図は対象とする斜面の分水界まで包含する大縮尺空中写真図化地形図(1/1 000~1/2 500)が望ましい。斜面の区分は原則として単一集水斜面として、この図に記入する。この段階では現地踏査時の観察を主体とするが、必要に応じて簡単なサウンディング等の原位置試験も併用することがある。地形(斜面高、斜面勾配、オーバーハング、斜面末端の状況)、地質・土質(斜面の地盤、表土)、誘因(背後地の集水面積、ゆう水、降雨量、地震)、危険度(落石の頻度、落石による過去の被害の程度)、その他(樹木、斜面の異常、変状、斜面安定工の異常変状、斜面に対する有害行為)は特に重要な項目なので、調査もれがないようにする。

(3) 現地精査と危険度判定

大規模な落石発生後の対策のために斜面の危険度判定を行う時などでは、現在研究開発的な目的で実施されている次のような方法が利用できる。

この段階では一般にコード番号がつけられた単一集水斜面が調査単位となる(図—4.36 参照)。過去の落石などの履歴調査、近隣の落石発生箇所の調査、斜面の素因の工学的性質の把握、斜面の局所的な形状の経時変化などを調べるが、斜面の素因の工学的性質の把握は最も重要なもので、次の項目について特に詳細な調査を行う。

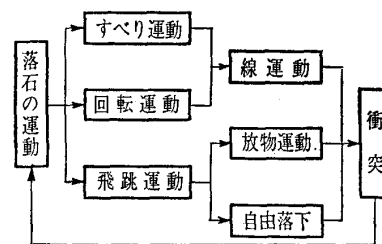
斜面の勾配	地質、土質の状態
表土の状態	気象条件
植生の粗密	降雨時の表流水集中の状況
ゆう水の状況	
岩盤中の割れ目(節理、き裂)、層理面、断層面などの不連続の状態(はく離型)	
礫の状態(抜落ち型)	

4.5.4 落石の運動

(1) 落石の運動分類

落石の運動形態は次のように分類できる(図—4.37 参照)。

- すべり運動 岩塊、玉石、礫などが、ずり落ちる



図—4.37 落石の運動分類

形態で、下方へすべってくるもの。

- 回転運動 岩塊、玉石、礫などが回転しながら下方へ移動してくるもの。

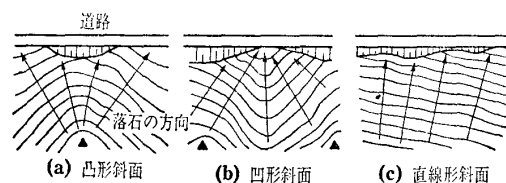
- 飛跳運動 空中を飛跳しながら下方へ移動してくるもので、地面または樹木などでバウンドしながら移動する場合と、発生箇所から道路面または構造物などの停止位置まで、途中バウンドすることなく空中を自由落下する場合がある。

(2) 落石経路の推定

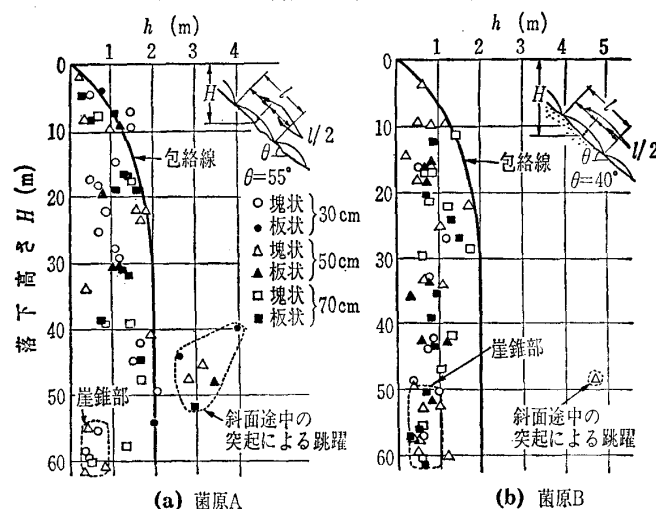
落石経路は運動形態により変わることもあるが、おおむね、地形から推定できる。最も可能性の高い経路は、地形のコンターラインに対して直角な方向、すなわち最大傾斜の方向である。尾根のような凸形の地形では方向が定まらず、推定が困難であるが、谷地形では、谷底に集中し、河川沿いのような平滑な山腹斜面では、最大傾斜角の方向にそれぞれ平行に落下してくる可能性が高いので、おおむね推定できる(図—4.38 参照)。

落石経路の推定は、落下地点と落石の頻度の推定、対策の実施位置の決定のために必要であり、地形図の判読と、斜面、既設防護工背面の転石の状態の観察が必要である。

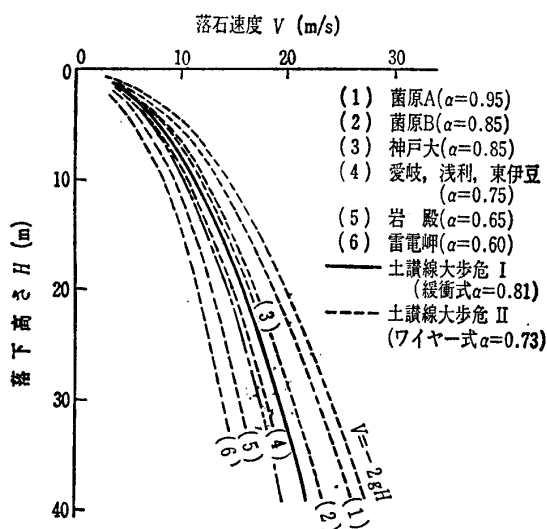
なお、蘭原ダムの落石実験斜面(直線形斜面)の場合、



図—4.38 斜面の平面形状の分類



図—4.39 落石の跳躍量と落下高さ



図—4.40 速度分布の上限値の比較

落石のちらばりの度合いは寸法の小さいものほど大であり、投石地点を頂点として、左右に約 20° (計 40°) の範囲でちらばった (図—4.39)。

横断方向の落石軌跡は、実験結果によると最大バウンドの高さを大きく超えることもある。構造物の設計に当たっては、これらの結論から次のような方針とすることが多い。

- ① 防護施設に対する落石の入力方向は斜面に平行とする。
- ② 入力の高さは 2.0m とする。ただし、斜面によっては状態が均一で、 2.0m とすると大きすぎる場合もあるので、この点を十分考慮する。

また、岩目の状態によっては途中衝撃により破壊し、細片化するものがある。

石が細片化する場合、運動エネルギーは総じて小さくなるが、作用と反作用の法則により、一方の石は減速、停止もしくは逆行し、他方はその分だけエネルギーが加算される現象を考慮する必要がある。したがって、岩目の発達した石については、細片化し、拡散した場合を想定した防護施設の検討を行わなければならない。

(3) 落石速度の推定

落石速度は、落石実験結果を利用して推定することとする。落石実験結果による落石速度と落下高さの関係を図—4.40に示す。この図において測定された落石速度と自由落下速度との関連は、次の式で示される。

$$V = \alpha \sqrt{2g_n H} \dots\dots\dots (4.2)$$

ここに、 V ：測定された落石速度

$\sqrt{2g_n H}$ ：自由落下速度

α ：残存係数

g_n ：重力の加速度

H ：落下高さ

残存係数 α の値は、斜面勾配に影響されることは少ないが、斜面の土質、岩質、斜面の凹凸および落石の形状に影

響されることが多い。落石の等価摩擦係数を μ として、 α との関係を求めると次のようになる。

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{\mu}{\tan \theta}} \dots\dots\dots (4.3)$$

ここに θ ：斜面勾配

したがって、式(4.2)に式(4.3)を代入すると式(4.4)となる。

$$V = \sqrt{2g_n (1 - \mu / \tan \theta) H} \dots\dots\dots (4.4)$$

(4) 落石エネルギーの推定

落石エネルギーは、線速度エネルギーと回転エネルギーの和で示される。計算には、次の式を用いるとよい。

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

ただし、 $(1 - \mu / \tan \theta) \cdot (1 - \beta) \leq 1$ とする。

ここに E ：落石のエネルギー

β ：回転エネルギーに関する係数 ≈ 0.1

μ ：等価摩擦係数 (表—4.13参照)

θ ：斜面勾配

m ：落石の質量

H ：斜面の落差

g_n ：重力加速度

4.5.5 落石対策工の設計、施工

落石対策には、警戒、避難などにより被災を避ける方法と、施設等の設置により対処する方法があるが、降雨等の誘因との相関が少ないこともあって、一般には後者による対策が計画される。

落石対策工は、現地の状況に応じて少ない費用で最大の効果をあげるための検討を十分行って、最もよい対策工を選定して設置しなければならない (表—4.14参照)。

(1) 落石予防工の設計、施工⁷⁶⁾

(a) 浮石、転石の除去工法 落石の可能性のあるものを除去したり、場合によっては除去したものを積石として安定させて落石を予防する工法である。施工に困難を伴う場合が多いが、量が多い場合に有効である。

浮石整理は、動き出すおそれのある転石および割れ目が発達してはく落のおそれのある岩石部分を取り除く工法であり、このような浮石の位置、形状、寸法などが除去作業

表—4.13 斜面の分類と μ の値

区分	落石および斜面の特性	μ	設計に用いる μ
A	硬岩、丸状 凹凸小、立木なし	0~0.1	0.05
B	軟岩、角状~丸状 凹凸中~大、立木なし	0.11~0.2	0.15
C	土砂、崖錐 丸状~角状 凹凸小~中、立木なし	0.21~0.3	0.25
D	崖錐 巨礫まじり崖錐 } 角状石 凹凸大~中、立木なし~有	0.31~(0.6)	0.31~(0.4)

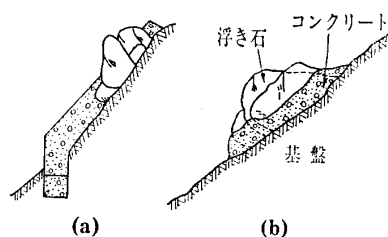
表—4.14 落石対策の適用に関する参考表

分類	特 徴 凡 例 工 法	対 策 工 の 効 果					耐 久 性	維 持 管 理	施 工 の 難 易	信 頼 性	経 済 性	記 事						
		風化侵食防止	発 生 防 止	方 向 変 更	エ ネ ル ギ ー 吸 収	衝 撃 に 抵 抗							雪崩防止兼用					
		◎	非 常 に よ い										非常に よい	手が か か ら ない	容 易	非常に よい	安 い	
		○	よ い										よ い	やや 手 が か か る	やや容 易	よ い	場合 に よ る	
△						落石で 破 損	手 が か か る	難しい		高 い								
予 防 工 法	斜 面 切 取 工 法 浮 石 根 固 め 工 法 ロ ッ ク ア ン カ ー 表 面 被 覆	◎	◎					◎	○	△	◎	○						
		○	◎					○	○	△	◎	○						
			◎					○	○	○	◎	○						
			◎					◎	◎	○	◎	○						
		◎	○					◎	◎	○	◎	○						
防 護 工 法	落 石 防 止 工 法 多 段 式 落 石 止 め さ く 落 石 誘 導 さ く 落 石 防 止 壁 落 石 止 め さ く 落 石 防 止 網 落 石 覆 い 落 石 止 め 擁 壁 落 石 止 め 土 堤	◎			◎	○	◎	○	△	◎	○	◎						
					◎	◎	◎	△	◎	○	◎	○	◎					
				◎		◎	◎	◎	○	△	◎	○	◎					
					○	◎	◎	◎	○	◎	◎	○	◎					
						◎	◎	◎	○	◎	◎	○	◎					
			○			◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎					
				◎			◎	◎	◎	△	◎	◎	△					
						◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○					
						◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○					
						◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○					

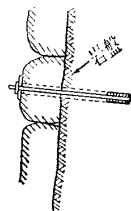
に適する程度のものであり、かつ、周辺の状況が除去作業可能な環境の場合にはよい工法である。ただし、斜面切取りと同様に、上部地山への影響を十分検討したうえ、施工しなければならない。

斜面切取りは、落石の発生源である岩石斜面を切り取ることによって落石の原因を排除するものであり、現地ではまず第一に検討する対策工法である。周辺の環境が切取り施工に適する場合には、切取りを行うことが有効で、小段、ポケットの設置および表面被覆などを十分検討して施工するとよい。

(b) 根固め工 浮石は取り除くことが望ましいが、除去作業が困難な場合およびそれを取り除くことによって更に上部を緩める結果になる場合には、浮石の根固め工を行うとよい。この工法は比較的緩傾斜の斜面にある浮石に適し、岩石風化の進んでいる場合、斜面流水によって根固め工の周囲が侵食される場合などには適さない。根固め工には、コンクリート工または石積工などにより、転石の基部などを固める比較的規模の大きいものまで各種の工法がある（図—4.41）。



図—4.41 根固め工



図—4.42 ロックボルトによる固定

根固め工の基礎は十分確保される必要がある。

(c) ロックアンカー、ロックボルト工 落石発生源の存在する地山に十分堅固な基岩がある場合は、ボーリング機械によって斜面上にある比較的大きな浮石、転石を貫通してせん孔し、ロックボルトを挿入し基岩まで打ち込み定着する（図—4.42）。

ロックボルトやロックアンカーだけは、浮石、転石の固定に十分でないときは、浮石、転石の基部や周囲にコンクリートを打設し、補強する場合もある。また、ロックボルト、ロックアンカーの頭部の腐食防止を兼ね、固定を補強する目的で、コンクリート（モルタル）吹付け工、コンクリート張り工と併用する場合もある。

(d) 表面被覆 表面被覆は、斜面切取りを行ったあとの斜面およびその他必要ある斜面で、表面の侵食防止、岩石の風化防止、割れ目の拡大防止などのために施工すると有効である。表面被覆には、場所打ち格子枠工、張コンクリート工、モルタル吹付け工、コンクリート吹付け工などがある。

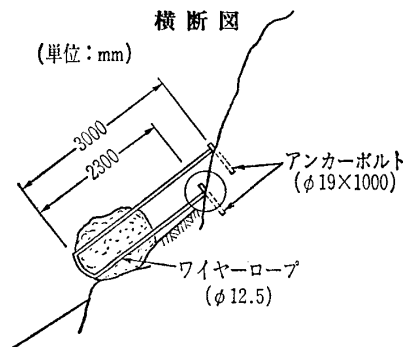
場所打ち格子枠工は、鉄筋コンクリートの格子枠により、斜面全体を押さえる効果と同時に小区画に区切ることによって部分的な侵食の拡大を防ぐ効果を有するものである。表面整理を行った斜面に適し、格子枠内は、必要により張コンクリート工などを行うとよい。

張コンクリート工、モルタル吹付け工、およびコンクリート吹付け工は、岩石の風化防止、のり表面の侵食防止のために施工すると有効な工法である。この工法は、斜面に多少の凹凸があっても、これにならって施工できる工法であるが、斜面にゆう水のある場合には排水について特別な配慮が必要である。

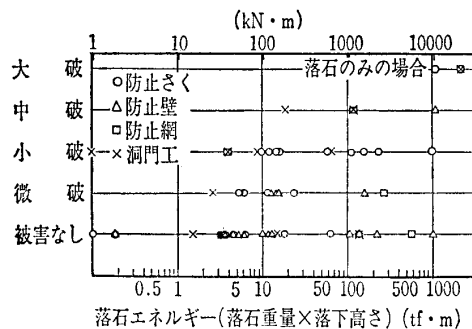
(e) ワイヤロープ掛け工 ワイヤロープ掛け工は根固め工の一種と考えられ、浮石や転石が滑動や転動しないように格子状のワイヤロープや数本のロープ等で直接浮石などの基部を覆ったり、ひっかけたりして斜面上に固定させる工法である（図—4.43）。

(f) 落石防止林 落石防止林には、落石の予防を目的とするものと、防護を目的とするものがある。予防を目的とする落石防止林は、浮石斜面や崖錐斜面の表土保全と根系による浮石の緊縛を行うものである。予防に適する樹種には、けやき、くぬぎ、かしなどがある。

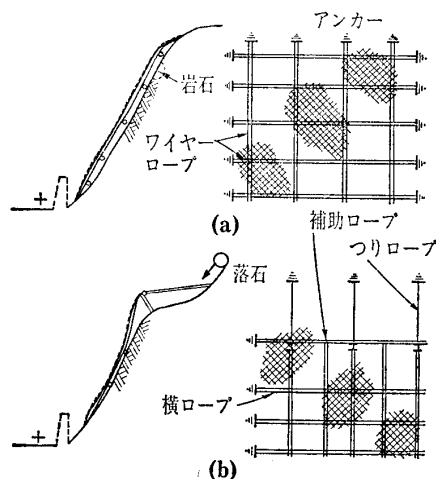
(2) 落石防護工の設計、施工 防護工の設計に当たっ



図—4.43 ワイヤロープ掛け工



図—4.44 既設構造物の被害の実態



図—4.45 落石防止網

では、現地踏査などの結果に基づき、予想される落石の質量、速度、跳躍高さなどを推定し、防護工の強度または吸収エネルギー、安定などを検討しなければならない。なお、参考として、防護工の破壊の程度を落石エネルギーと防護工の種類で整理したものを図—4.44に示す。

(a) 落石防止網 落石防止網はネット、ワイヤロープなどの軽量部材を使用して、落石発生のおそれのある斜面全面を覆い、落石に対処するもので、現在市販されているものには、非ポケット式落石防止網とポケット式落石防止網の2種がある（図—4.45）。

非ポケット式落石防止網とは図—4.45(a)に示すように地山との結合力を失った岩石をネットと地山の摩擦およびネットの張力によって拘束するもので予防工に準じた機能をもつものである。ポケット式落石防止網とはつりロープ、

支柱、ネット、ワイヤロープからなり、図—4.45(b)に示すように上部に落石の入口を設け、ネットに落石が衝突することにより、落石のもつエネルギーを吸収する機能をもつ落石防止網である。また、ネットには鋼製および合成樹脂製のもの2種類が市販されているが、後者は、現在ではあまり使用されていない。

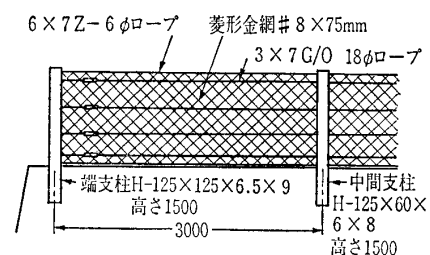
(b) 落石防止さく 落石防止さくは、比較的緩傾斜の斜面で表面に凹凸が少なく、小塊の落石が予想される箇所に適している。近年はケーブル金網式が多く、このほかには、H鋼造、立木利用金網式、緩衝式などがある。

ワイヤロープ金網式には、数種類の市販品がある。一般に高さ1.0～2.0mのH鋼の支柱を間隔3mごとに建て、その間に、径18mmのワイヤを約30cm間隔に数段張りわたし、これに菱形金網を張ったものである。ワイヤロープと菱形金網の代わりにエキスパンドメタルを用いたものもある。一般的なワイヤロープ金網式の例を図—4.46に示す。

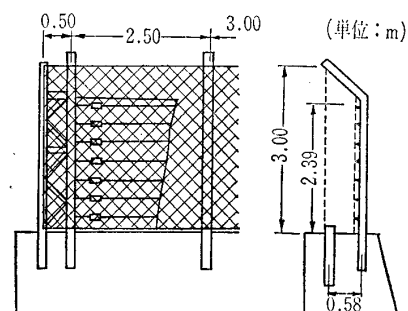
H鋼造または古レール造は、H鋼または古レールの支柱に、同じくH鋼または古レールの胴縁をわたし、これにまくら木を取り付けるとか金網を張るものである。

緩衝式は、従来のワイヤロープ金網式の前面(落石側)に、更に1枚の長スパンの金網を張り、金網の変位によって落石の衝撃エネルギーを吸収するものである。緩衝式の例を図—4.47に示す。この図は、緩衝式とワイヤロープ金網式を組み合わせた例である。小塊の落石を対象とすれば、緩衝式のみでも止められると考えられるが、この例のように組み合わせると緩衝式でエネルギーを吸収し、ワイヤロープ金網式で止めることになり、有効な落石止さくとなる。

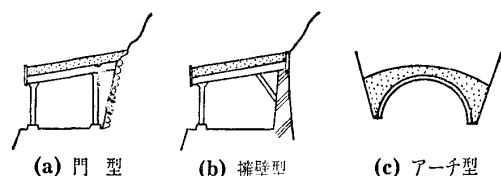
(c) 落石防止擁壁 落石に対して路線側方に余裕があってポケットをつくることのできる場合は、落石止擁壁ま



図—4.46 ワイヤロープ金網式落石止さくの例



図—4.47 緩衝式落石止さくの例



図—4.48 落石覆工

たは落石止土堤が適している。落石防止擁壁は予想される落石の大きさ、落下経路、衝撃力に対応する形状および強度を十分検討のうえ、有効なものを設けなければならない。なお、地形等の状況によっては、中腹地帯の防護工との組み合わせを考慮するとよい。

(d) 落石覆工 通常、コンクリート製の覆工を洞門と称し、鋼製の覆工を落石シェッド、ロックシェッドなどと称している。落石防護工の中でも、地形的制約を受けず、最も効果的な工法である。

材質的に分類すれば、鋼製、RC製およびPC製の3種がある。鋼製は、施工性、構造の選択性、品質管理の面で、RC製およびPC製は維持費の経済性で優れている。

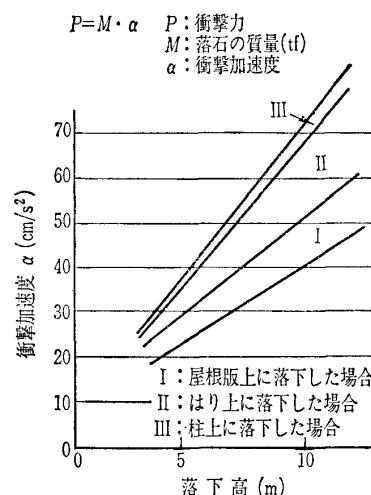
構造別の種類としては、門型、擁壁型、アーチ型がある(図—4.48参照)。現場の諸条件を考慮のうえ、材質別、構造別タイプを選定する必要がある。

落石の衝撃力を緩和、分散させるため、通常、屋根上にはクッション材を置く。クッション材には、その施工性、経済性から、砂が最も一般的に使われている。

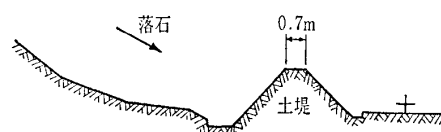
サンドクッションの厚みは大きくとるほど効果が増大するが、それに伴って死荷重が増加し、設計上不経済になる。厚さは90cmを標準とすることが多い。ただし、サンドクッション厚は落石のめり込み深さを考慮し、少なくとも落石を球体と仮定した場合の直径以上としておくのがよい。

設計の対象とする落石の大きさ、および落下高さについては、設置場所ごとに地形、および落石状況が異なるので、現地調査により設計条件を決めなければならない。

対象とする落石荷重は、一般に石の質量重力加速度×落下高(m)で表すが、一般に20tf・m以上に対しては、ほかの防護工あるいは予防工と併用されることが多い。また崩土が落石と同時に荷重として作用する場合は別途検討する。落石による衝撃力の算定は、次の鋼材クラフの実験式によ



図—4.49 落石の落下高さと衝撃加速度の関係



図—4.50 落石止土堤の例

ることが多い(図—4.49参照)。

施工時には次の点に特に留意しなければならない。

- ① 構造的には一般にラーメンであり、不静定構造であることが多いので、基礎の沈下を生じないように基礎工に十分な配慮が要求される。
- ② サンドクッションが生命であるので、十分良質の均一な砂を使用する必要がある。
- ③ サンドクッションの乾燥を促進するため、雨水の排水に十分な考慮を必要とする。

(e) 落石防止堤および溝 落石止土堤および溝も目的は落石止擁壁と同じであるが、路線側方の余裕が特に大きい場合、施工に十分な用地が確保できる場合に適している。落石止土堤の例を図—4.50に示す。

参考文献

- 74) 藤井達也: 道路の防災・震災対策, 道路, 1978-9, 1978.
- 75) 高速道路調査会: 落石防護施設の設置に関する調査報告書, 1974.
- 76) 日本国有鉄道: 落石対策の手引, 1978.
- 77) 日本道路協会: 落石対策便覧, 1983.