

第 11 章 落石対策工の設計・施工

第 11 章 落石対策工の設計・施工

11.1 総 説

11.1.1 目的および一般的留意事項

落石対策工は落石の発生が予想される斜面において、これによる災害を防止するために設置するものである。斜面においては、落石のみの発生だけが予想されるような場合は少なく、一般には斜面崩壊防止施設に付属して落石防止施設が設置される場合が多い。

落石対策工は大別すれば落石予防工と落石防護工に分けられる。落石予防工は転石や浮石の除去や固定により落石の発生を未然に防ぐものであり、落石防護工は落下してくる落石を斜面下部あるいは中部で止めるものである。

落石対策工計画の原則はまず落石予防工による落石源の除去であるが、それが困難な場合または不適當な場合には落石防護工を計画する。

落石防護工の設計法は設計条件を明確にしうる場合には、計画による詳細な設計法が用いられることが望ましい。しかし、一般には落下が想定される落石の大きさ、落下経路、斜面状況（凹凸、植生被覆状況等）、落下位置などの落石の落下速度や衝撃力の算定に必要な諸条件を明確にすることが困難な場合が多い。このような場合は近隣地等での成功例や標準的タイプ図等を総合判断して設計を実施している。

H29 年 12 月に改定された日本道路協会の落石対策便覧では、性能設計の枠組みが導入されている。落石予防工については定量的な性能評価は困難であることから、過去の経験に基づく慎重な設計を行うことで所定の性能を満足するものと考え、従来の設計方法を用いることが基本とされている。一方、落石防護工については定量的な性能評価が可能であるとして、落石の作用に対する安定性や部材の強度、変形等について、施設の状態が要求性能を満足することを照査することが原則とされている。ただし、落石防護施設の従来の設計方法（慣用設計法）に関しては、従来の適用範囲を大きく超えない範囲で、従来の落石防護施設と同様の応答特性や破壊特性を有すると認められる場合には、適用を妨げるものではないとされている。本指針では、落石防護工は表層崩壊を対象とした他の工種と併用されることも多く、その外力については定量的に評価することが難しいことから、従来の慣用設計法を示すこととする。

落石対策工の施工に関しては以下の点に特に留意すべきである。

落石対策工施工箇所は急峻な斜面で風化が進み、亀裂、節理が発達している。また、浮石も多い箇所で地形的に拘束されており、さらに人家も近接していることなど作業条件が悪い。このため工事内容も人力施工による部分が多くなり、作業上危険性も高く施工性からも制約を受けるので、これらを踏まえた安全対策が必要である。

アンカーやワイヤーロープ等の施工においては、所定の引抜試験や張力試験を実施すること。

11.1.2 落石の運動

(1) 落石の発生形態

落石の発生形態を大まかに分類すると、①抜け落ち（転石）型落石、②剥離（浮石）型落石、③その他の3種類に分けられる（表 11-1 参照）。これらは、それぞれの発生機構や誘引も異なるため、この分類は落石の危険性を判断したり対策工を計画するための前提となる。

① 抜け落ち（転石）型落石

段丘、火山砕屑物などの斜面基質が礫を含むルーズな土砂である場合（表 11-1、A①）と、基岩風化や風化生成物質の移動により岩盤上に表土や崖錐などの土砂が存在する場合（表 11-1、A②）がある。これらのタイプの落石は土砂中の礫のみが運動を開始する場合と、土砂の崩壊に伴って落石が発生する場合とがある。

② 剥離（浮石）型落石

主として岩盤斜面で発生する。流れ盤斜面（表 11-1、B①）においては板状の浮石が形成されやすいが、節理、層理、片理、硬軟層の境界などの不連続面の方向が単一でなく複数の場合も多い。流れ盤と受け盤の複合斜面では単純な板状の浮石のみでなく、くさび型の浮石も形成される。不連続面がほぼ水平（表 11-1、B②）の場合は、不連続面の間の層の侵食の度合いの差異によりオーバーハングが形成されて、それが落石となることが多い。

表 11-1 落石の分類

落石の種類	解説	模式図	代表地質	備考
A, 抜け落ち型 (転石型)	① 礫を含む土砂斜面 上の礫が抜け 落ちるタイプ。		段丘、火山砕屑物など。	岩盤と土砂の位置関係によつては浮石型落石も複合して発生する場合がある。
	② 岩盤上の土砂中 の礫が転落する タイプ。		崖錐、崩積土、山腹斜面 や切土のり面上の強風 化岩など。	
B, 剥離型 (浮石型)	① 岩盤中の不連続 面に沿って剥離 するタイプ。		亀裂の多い、または亀 裂が連続する岩盤全 般。	斜面と亀裂の方向によつてすべり、転倒、落下などのさまざまな形態を示す。緩みの度合いに注意。
	② 風化・侵食しやす い岩盤の表面が 剥離するタイプ。		新第三紀以降の風化し やすい軟岩、硬軟互層 など。	
C, その他	① 風化・侵食で残留 した尾根上の巨 礫などが不安定 化するタイプ。		風化花崗岩など。	頻度は小さいが規模は大 きい場合が多い。

③ その他

風化花崗岩地帯で風化・侵食に強い岩塊や風化し残った部分が、また凝灰角礫岩地帯でも侵食されなかった礫が不安定な状態で残存する場合がある。これらも特殊なケースではあるが、落石の発生原因の一つである。

(2) 落石の運動形態

落石の運動形態は次のように分類される (図 11-1 参照)。

- ① すべり運動：岩塊、玉石、礫などが斜面上をずり落ちる形態で下方へすべってくるもの。
- ② 回転運動：岩塊、玉石、礫などが斜面上を転がりながら下方へ移動してくるもの。
- ③ 飛跳運動：空中を飛跳しながら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。

抜け落ち型の落石には円礫、亜円礫、角礫などの形が多く、浮石型の落石では塊状および扁平な形が多い。一般に球状の石と角ばった石ではころがりのエネルギーが異なり、角ばった石では転がる運動から飛跳運動に変わることがある。

落石の運動形態は落石の形状や寸法・岩質とともに落石斜面の地形・地質・植生状況によって上述のいずれか、またはこれらの組み合わせの形態をとることになるので、調査結果に基づいて落石の運動形態を落石斜面ごとに推定しなければならない。

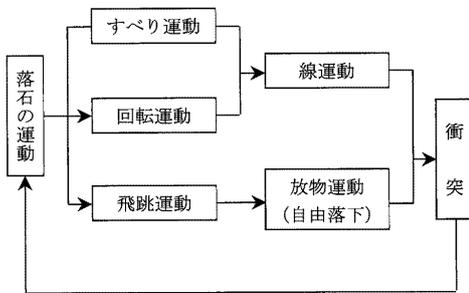


図 11-1 落石の運動形態分類

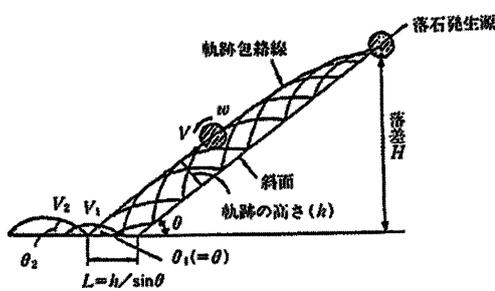


図 11-2 落石の挙動

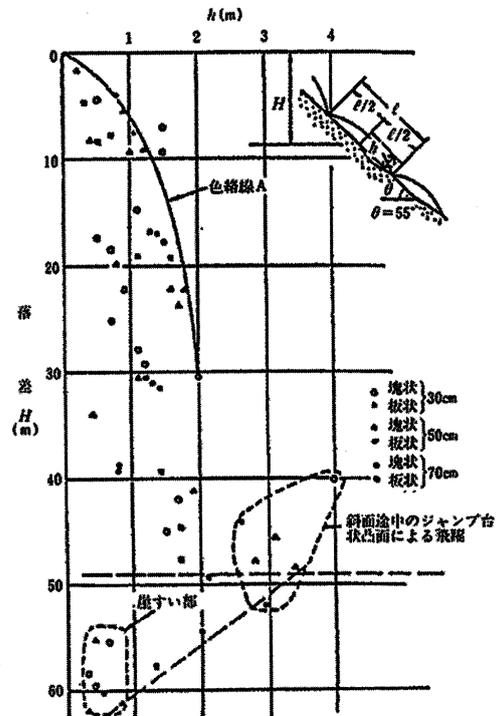


図 11-3 落石の縦断方向の軌跡 (藪原 A)
(日本道路公団実験結果)

(3) 落石の跳躍量

落石現象を巨視的にみると、平面的軌跡は斜面の最大勾配に沿って等高線に直角方向に落下するが、斜面の横断面内では図 11-2 に示すような挙動を示す。したがって落石防護工の設計外力の作用位置や必要高さとしては同図に示す軌跡の高さ (h) をとればよいことになる。

既往の実験結果 (図 11-3) によれば、軌跡の高さ (h) は一般的な斜面形状の場合には落石の形状によらず 2m を超えないことが多いが、斜面に突起があると 2m を超えることがある。

11.1.3 落石対策工の分類

落石対策工には落石の発生が予想される斜面内の浮石や転石を取り除いたり斜面に固定する落石予防工と、斜面から転落あるいは落下してくる落石斜面下部、あるいは中部に設置した施設で防護する落石防護工とがある。

(1) 落石予防工の種類と機能

落石予防工は主として落石発生源および落石予備物質を対象としてとられる工法であり、落石対策としては直接発生源に対して次のような効果を期待して実施される。

- ① 転石の周辺の侵食を防ぎ、根が洗われてすべり落ちるのを防ぐ。
- ② 凍結融解、温度変化、乾湿繰り返し、風力などによる風化の進行を防止する。
- ③ 落石の発生源に直接的に抑止する。
- ④ 落石を除去・整理する。
- ⑤ 斜面崩壊に伴う落石を防止する。

これらの効果を単独または複合したのものとして、各種予防工を示したものが図 11-4 である。

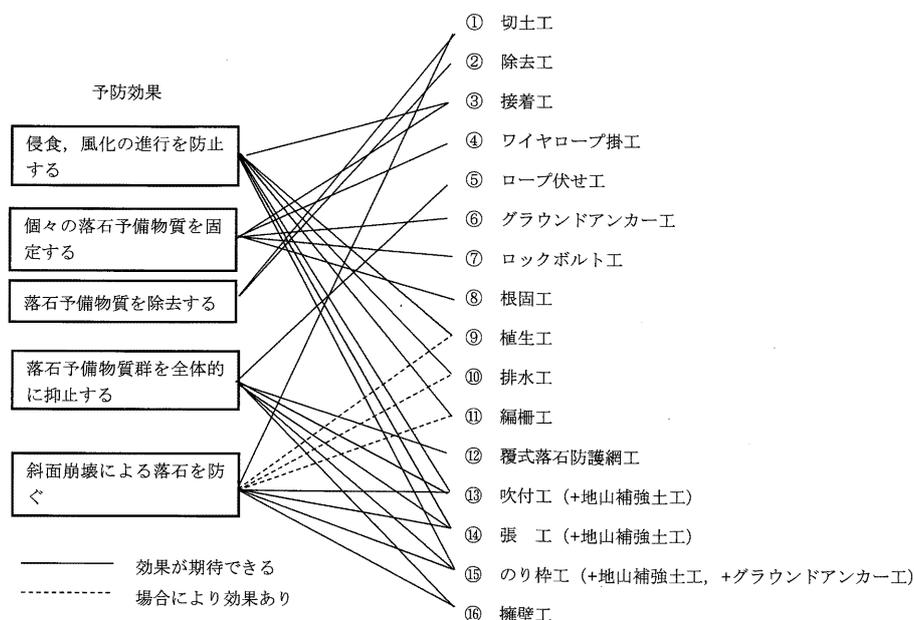


図 11-4 落石予防工の種類と効果

工法の選定にあたっては各工法の特性を考慮するとともに、現地の社会的条件、地形、地質と道路の位置関係および施工性、経済性等を考慮する。なお斜面上に繁茂している樹木は落石を抑止する効果があり、これらを伐採する場合は十分に注意する必要がある。

(i) 根固工

根固工は、不安定な浮石や転石の除去ができない場合に（例えば除去するには大きすぎる場合や、1個の転石を除去することでほかの転石などの安定を損なったり、掘削などで斜面が不安定化し、かえって崩壊を誘発助長する場合など）、浮石・転石をそのままの状態ですべてコンクリートなどで間詰めなどをして固定する方法である（図 11-5 参照）。

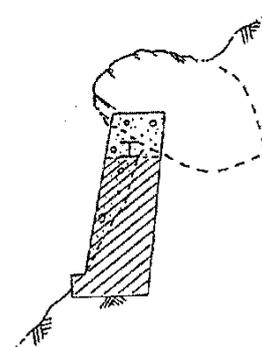


図 11-5 根固工

(ii) 排水工

長大斜面の谷筋や急勾配の溪流部分では地表水の集中によって落石を生じるため、このような箇所では排水路の設置が効果的である。

水の侵食に弱い砂質土の斜面では、これに含まれる転石などの基礎が侵食で損なわれて落石の引き金となる。そのため地表水を集中させないように水路を設ける。

湧水は長時間にわたって岩の風化を促進させ、また落石の埋没している基礎を侵食、弱化させ、すべりを生じやすくする。湧水を地中から速やかに地表に導き、地表面を乾燥させた状態にしておくために地下水排除工が重要である。特に積雪寒冷地では融雪水の地中浸透と表面侵食による落石が多く、これを防止する意味で排水工は有効である。

(iii) 吹付工

コンクリートやモルタルを吹付けて、落石の発生を予防する工法で、表面の侵食防止、岩石の風化防止、亀裂の拡大防止、部分的抜け落ち防止を図るものである。吹付背面の水圧上昇を抑制するため、原則として水抜き孔を設置する。抑止効果を増すために吹き付けを厚くしたり、金網、ロックボルトを併用する方法もある。

(iv) コンクリート張工

現場打コンクリートによる張工であり、節理の多い岩盤斜面で侵食、風化、部分的崩壊を防止するために用いられる。コンクリート張背面の水圧上昇を抑制するため、原則として水抜き孔を設置する。抑止効果を増すために配筋を行ったり、ロックボルトを併用する方法がある。

(v) のり砕工

急斜面での規模の大きい落石に対処する予防工である。格子状の RC 梁を組むことでコンクリート吹付工、コンクリート張工と比較して大きい抑止力・支持力をもたせることができる。必要により格子間を張コンクリートで被覆する（図 11-6 参照）。落石の重量を支えるのに必要な基礎支持力が必要である。

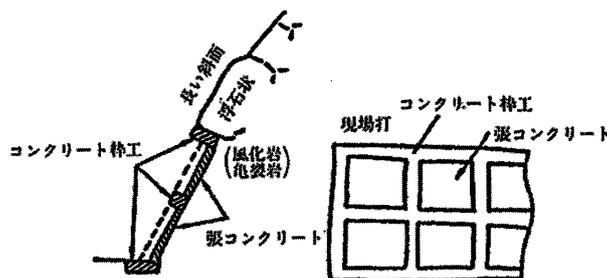


図 11-6 のり砕工の例

(vi) グラウンドアンカー工

グラウンドアンカー工は比較的大規模な浮石や転石が転動しないよう基盤に定着させるものである(図 11-7)。アンカー力が大きいため定着基盤の確認が重要であり、抑止力を落石全体に分布させるために根固工、のり砕工、ワイヤーロープ掛工などを併用する。

(vii) ロックボルト工

ロックボルト工は比較的小規模の落石を対象とし、亀裂岩と一体化し固定するものである。この場合浮石群を全体的に固定するために斜面と吹付工、張工、のり砕工および落石防止網で被覆しロックボルトと一体化する組み合わせが効果的である(図 11-7 参照)。

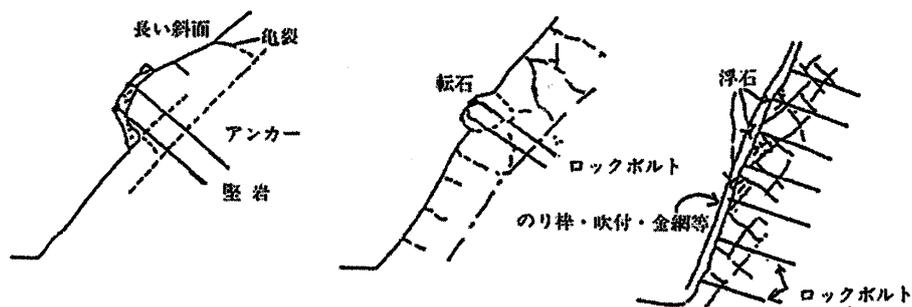


図 11-7 ロックボルト工、グラウンドアンカー工の例

(viii) 編 柵 工

編柵工は表土の流出防止を図るために、斜面中に小規模な柵を複数列設けるものである。斜面の表層部を安定させることで、ここに点在する落石の発生を防ぐことと、小落石を落差の小さい範囲に止める効果が期待される(図 11-8 参照)。

編柵工は転石型斜面に有効である。また、表層の安定工法として、(ii)の排水工と併用するのが効果的である。大型の落石を対象とするには抑止力が不足しているが、斜面の表層崩落によって引き起こされる落石を防止する意味で経済的な工法といえる。また、表土の移動を防ぐことにより、植生の自然導入も期待できる。

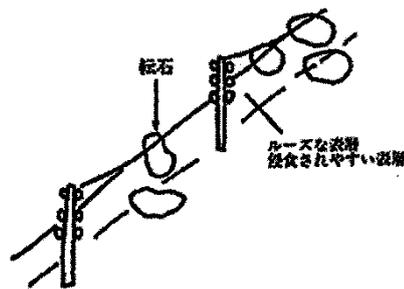


図 11-8 編柵工(転石型)の例

(ix) 切 土 工

落石のある斜面を安定勾配に切土するもので、斜面高の比較的低い場合に適用され、最も基本的な予防工のひとつである。(図 11-9 参照)。

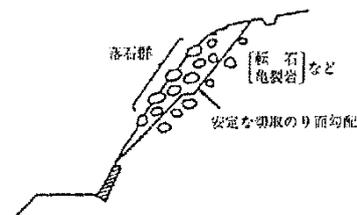


図 11-9 切土工

(x) 除去工

落石の可能性のあるものを除去して安定させ、落石を予防する方法である(図 11-10 参照)。大きな転石を除去する場合には、ブレーカーあるいは薬剤等により小割りしてから除去する方法が用いられる。

一般的に落石の発生する斜面は 35° 以上の傾斜があるので、除去工を実施するには困難な作業条件であるが確実な予防工である。



図 11-10 除去工

(xi) ワイヤロープ掛工

浮石や転石が滑動や転動しないようにワイヤロープを格子状に組んだり、数本のロープでその基部を覆ったり、ひっかけたりして斜面上に固定させる工法である(図 11-11 参照)。

ワイヤロープの両端はアンカーボルトなどで堅固な基盤に設置する必要がある。

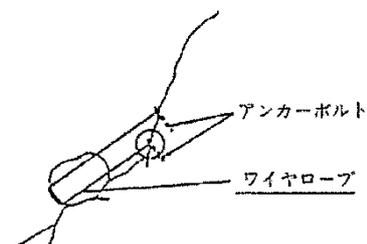


図 11-11 ワイヤロープ掛工の例

(xii) ロープ伏せ工

斜面上に一定の広がりをもって分布する比較的小径の浮石・転石群を対象に、格子状のワイヤロープの張力で斜面に固定する工法である。ワイヤロープ掛工と同じく、ワイヤロープの両端はアンカーボルトなどで堅固な基盤に設置する必要がある。

(xiii) 擁壁工

落石とともに斜面の崩壊を生じるおそれのある急斜面に用いる。擁壁の形状はもたれ型となる場合が多い。壁高が大きくなる場合は抑止力が大きくなるためにグラウンドアンカー工を併用する。グラウンドアンカー工の定着は地山の安定な層にとるものであり、定着層の確認が必要である。

(xiv) 植生工

落石対策としての植生工の効果は、凍結融解による亀裂、浮き上がりの進行の防止および地表侵食による転石、浮石の不安定化の防止であり、寒冷地や地表侵食を受けやすい斜面での落石発生防止に効果がある。

植生工は気候、植生基盤、傾斜角、日当り等の条件を吟味して植物種を選択する必要がある。編柵工等の併用により基盤を安定化するのも効果的である。

(xv) 覆式落石防護網工

小規模の落石が発生しやすい斜面、または基盤岩から浮石が剥離、剥落しやすく、落石の危険性がある斜面に適した工法である。覆式落石防護網工は落石の発生、危険が予想される斜面を網で覆い、落石の発生を防止する

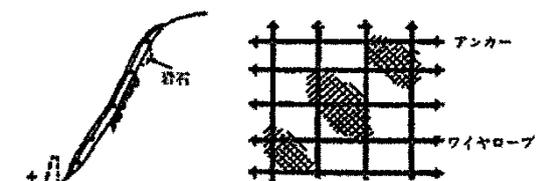


図 11-12 覆式落石防護網工

(図 11-12)。なお、本工法は吹付工法と併用することもある。この特徴は以下のとおりである。

- ①軽量である。
- ②設置が容易であり迅速に施工できる。
- ③補修が容易である。
- ④斜面に密着し自然感を損わない。
- ⑤灌木等の伐採を伴う。

(2) 落石防護工の種類と機能

落石防護工は落石予防工を設置しない軟岩、または礫混じり土砂等の斜面において、雨水の洗掘等によって礫片等の落下が予想される箇所、もしくは予防工だけでは不十分な箇所に用いられる。

落石防護工の種類は設置する位置によって次のように分類される。

- ① 発生源から人家等に至る中間地帯（斜面中）に設ける落石防護工には落石防護柵工・落石防護擁壁工・落石誘導工等がある。
- ② 斜面下部に設けるものには、落石防護擁壁工、ポケット式落石防護網工、落石防護柵工等がある。

(i) ポケット式落石防護網工

斜面上方からの落石を取り込むための開口部（ポケット）を設けた防護網を設置するもので、落石を金網と地山との間に誘導して網裾まで導く工法である(図 11-13)。小規模の落石が発生しやすい斜面、または基盤岩から浮石が剥離・剥落しやすく、落石の危険性がある斜面に適した工法である。構造の選定に際しては、工法および設計法の特徴、エネルギー吸収のメカニズム、適用性、耐久性等について十分吟味する必要がある。特に耐久性については、網、アンカーボルトの防錆という観点からの配慮が必要である。さらに高エネルギー吸収タイプにおいては、緩衝装置の機能が安定しているかという観点も大切である。また、落石の衝突時に防護網が変形して保全対象の安全性を侵さないようにしなければならない。

ポケット式落石防護網工の特徴は以下のとおり

である。

- ① 軽量である。
- ② 設置が容易であり迅速に施工できる。
- ③ 補修が容易である。
- ④ 灌木等の伐採を伴う。

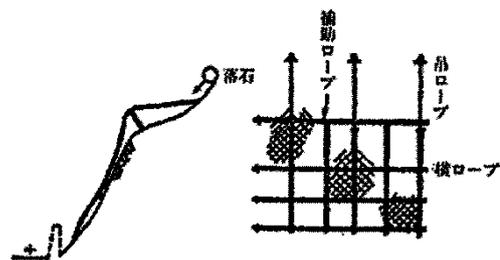


図 11-13 ポケット式落石防護網工

(ii) 落石防護柵工

落石防護柵工にはいろいろなタイプのものがあり、既製の鋼材を基礎の上に組み立てるのが一般的である。

(図 11-14 参照)。また、擁壁の天端に支柱（普通 H 鋼または鋼管）を建て込み、それにワイヤロープまたは鋼板を張ったものも多い。最近ではポケット式落石防護網と同様に、緩衝装置や高強度・高たわみ性の金網等を用

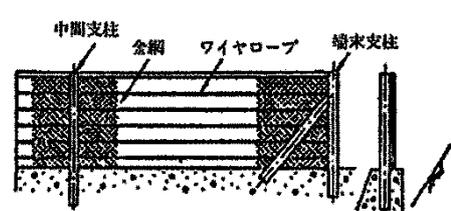


図 11-14 落石防護柵工一般図

いて落石エネルギーの吸収能力を高めた各種の工法が開発されている。

通常は、斜面の最下部に設置するが、長大斜面の場合には落石エネルギーが増大しないように多段式に設置するのが効果的である（多段式落石防護柵）。

この工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 基礎が他の構造物に比較して小さい。
- ② 維持補修が容易である。
- ③ 堆積土砂の除去が容易である。

また、高エネルギー吸収タイプを適用する場合は、そのエネルギー吸収能力を十分に発揮できるようにするために、適切な維持管理が重要である。落石衝突の際、変化が大きく生じるものがあるため、設置位置等を十分に検討する必要がある。

(iii) 落石防護柵擁壁工

斜面を転がりながら、あるいはすべりながら落下する落石を防護するために斜面中部、または斜面下部に設置するもので、待受式擁壁と同様のものである。特に落石対策としては壁面背後のサンドクッションなどで落石の衝撃力を分散・減少させて落石を防護することが多い。一般には防護壁の背後にポケットを設ける構造にしている。

この工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 斜面中部に設置の場合は地盤を固定し斜面の安定に役立つ。
- ② サンドクッションなどにより衝撃力を分散・減少させる。
- ③ ポケットに落石を堆積させることができる。
- ④ コンクリート擁壁タイプのものは落石防護柵との併用が可能である（図 11-15 参照）。

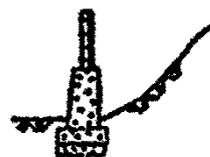


図 11-15 コンクリート擁壁工と落石防護柵工を組み合わせたもの

(iv) 落石誘導工

落石は一般に大きなエネルギーを持っており、落石を止めるには大規模な施設が必要となる場合がある。落石を受け入れる適当な空間が近くにある場合は、落石誘導工により落石の落下方向を変えてその空間に誘導するほうが有効である。配置、構造等については現地の地形等に適したものとすることが必要である。

(v) 落石防護土堤および溝工

斜面下部に比較的平坦な落石のポケットを確保できるような余裕がある地形条件の地域に防護土堤を設置し、落石エネルギーを吸収・分散させる工法である。（図 11-16 参照）。

この工法の特徴は以下のとおりである。

- ① 施工に十分な用地の確保が必要。
- ② 地盤が安定地盤であることが必要。
- ③ 掘削、切土による発生土を土堤材料として活用できるので経済的である。



図 11-16 落石防護土堤の例

11.1.4 落石対策計画の留意事項

落石対策の計画を立てるにあたっては、落石斜面に関する調査結果や危険度判定の結果に基づくべきであることはいうまでもないが、落石斜面の習慣性について考慮をはらうことも重要である。

落石予防工、落石防護工として用いられる各種の工法はそれぞれ被害の防除に対する構造的な限界を有していることを認識して、工種の選定、配置計画を立てることも必要である。そのため落石予防工や落石防護工などの施設による落石対策を計画するに際しては、調査の結果により浮石の安定性、落石の規模、落下経路、運動形態などを推定し、必要箇所にも最も有効な工法を選定する。

落石の規模や運動形態などの落石現象を推定することはかなり困難な場合も多いが、一般に用いられる程度の規模の落石防護柵では 100kJ を超えるような落石エネルギーには耐えることができない事例が多い。

現在市販されている高さ 1.5～2.5m 程度の落石防護柵を用いる場合に防ぎ得る落石エネルギーの限界は約 100kJ であると考えられる。100kJ のエネルギーとは、例えば 10.3.2 で述べる (10.1) 式を用いると、勾配 45° の軟岩斜面を重量 500kgf の石が高さ 25m の地点からバウンドして落下する場合の斜面下端におけるエネルギーに相当する。したがって、落石防護工の施設の計画にあたって、このような工種のもつ機能限界に考慮を払う必要がある。

また、既往の研究事例によれば斜面を転がる落石は一般に斜面に垂直な方向に 2m 以上バウンドしないことが多いが、斜面途中にジャンプ台状の凸面や突起がある場合にはこれを大きく上回ることもあるので、施設規模や配置計画を立てるときには斜面状態に関する調査結果を十分考慮しなければならない。施設計画に際しては、単独の工種のみによるよりも、いくつかの工種を組み合わせるほうが有利な場合も多い。

以上に述べた施設による落石対策計画の基本的な考え方を次にまとめる。

- ① 落石斜面の調査結果を活用する。
- ② 施設対策は発生源対策が最も効果的であるが、施工性も考慮する。
- ③ 各工種にはそれぞれ機能的な限界があることを考慮する。
- ④ 各工種を単独で用いるよりも組み合わせて用いることのほうが効果的な場合が多い。

11.1.5 工法選定の流れ

落石対策工は保全対象物と斜面との近接状況や、斜面状況に最も適したものでなければならない。そのためには斜面状況を十分に調査し、各種の対策工の機能、耐久性、施工性、経済性、維持管理の方法等をよく検討して工種を決定しなければならない。

この点について各種の対策工法の特徴を表 11-2 に示す。

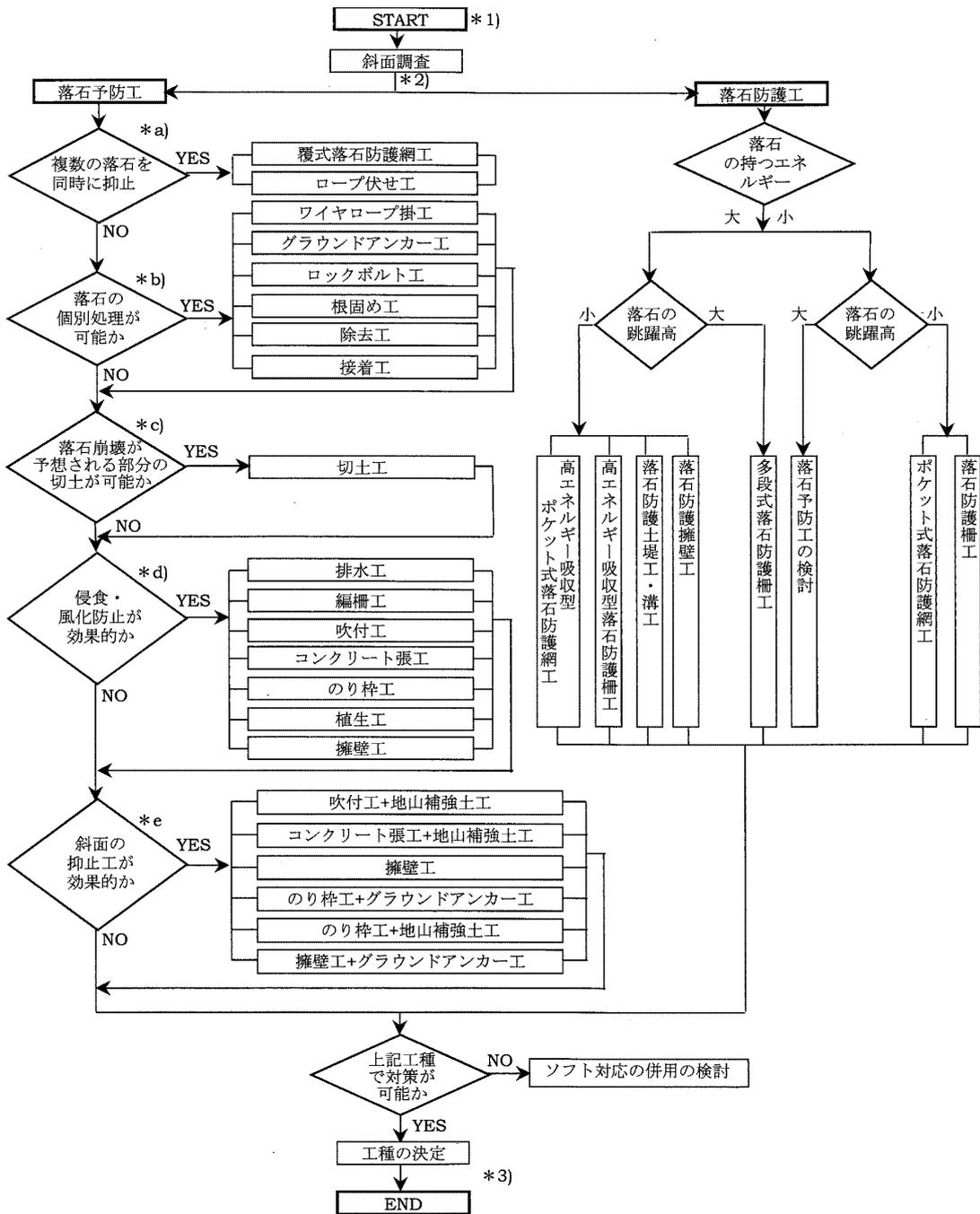
工法の選定は 11.1.4 の留意事項および表 11-2 を参考として、一般には以下のような流れに沿って実施される (図 11-17 参照)。

- ① 対象が落石のみか崩壊を伴うかを検討する。
- ② 浮石・転石の整理、斜面への固定の可能性の検討、崩壊を伴う場合にはその対策の可能性を検討する。

- ③ ②で対策が可能であるなら、表 11-2 等を参考として最適な落石予防工を選定する。
- ④ 落石防護工の選定にあたっては落石および崩土のエネルギーを推定し、表 11-2 および近隣地帯等での成功例等を参考として最適な落石防護工を選定する。
- ⑤ ④の段階で単独の工種では不十分な場合には、予防工も含めていくつかの工種の組み合わせを検討する。
- ⑥ 以上のように落石予
- ⑦ 防工と落石防護工、およびその組み合わせを並列して比較検討し、耐久性、施工性、経済性、維持管理上の問題等をよく検討して工法を選定する。

表 11-2 落石対策の適用に関する参考表（日本道路協会「落石対策便覧」を修正）

分類	特徴 凡例	落石対策工の効果					耐久性	維持管理	施工の難易	信頼性	経済性
		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					
		◎	非常によい								
	工種	○	よい				よい	やや手がかかる	やや容易	よい	場合による
		△	場合によりよい				落石で破損	手がかかる	むずかしい	場合によりよい	高い
落石予防工	切土工		◎				◎	○	△	◎	○
	除去工		◎				○	○	△	○	○
	接着工	○	○				△	○	◎	△	△
	ワイヤロープ掛工		◎				○	○	△	◎	◎
	ロープ伏せ工		◎				○	○	△	○	◎
	グラウンドアンカー工		◎				○	◎	○	◎	○
	ロックボルト工		◎				○	◎	○	◎	○
	根固め工		◎				◎	○	○	◎	○
	植生工	○	○				○	◎	◎	△	○
	排水工	◎	○				○	○	○	○	◎
	編柵工	○	○	△			○	○	◎	△	◎
	覆式落石防護網工		◎	○	○		○	○	◎	○	◎
	吹付工	◎	○				○	○	◎	○	◎
	張工	◎	◎				◎	◎	○	○	◎
	のり砕工	◎	◎				◎	◎	◎	◎	○
	擁壁工	◎	◎	△			◎	◎	○	◎	○
	吹付工+地山補強土工	◎	◎				○	○	○	◎	◎
コンクリート張工+地山補強土工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○	
のり砕工+地山補強土工	◎	◎				◎	◎	○	◎	◎	
のり砕工+グラウンドアンカー工	◎	◎				◎	◎	○	◎	○	
擁壁工+グラウンドアンカー工	◎	◎				◎	◎	○	◎	△	
落石防護工	ポケット式落石防護網工			○	○	○	○	○	◎	○	◎
	落石防護柵工			◎	○	△	○	○	◎	○	◎
	多段式落石防護柵工		△	◎	◎		○	○	◎	○	◎
	落石防護擁壁工			◎	○	△	◎	○	◎	○	◎
	落石防護土堤工・溝工			◎	○	△	◎	○	◎	○	○



- *1) フローに従い、適用可能な工種を並列的に抽出し、その中から実際に施工する工種を決定する。
- *2) 防護工で対応可能な場合であっても、落石予防工の可能性（併用に含む）について併用検討し、適用可能な場合は並列的に比較し、必ず両者とも検討する。
- *3) 工種の決定に表 10-2 を参考にするとよい。また、落石予防工間、落石防護工間および落石予防工と落石防護工間の組み合わせについても考慮する。
- *a) 風化侵食防止では抑止できない状況にある浮石、転石の落石発生抑止に適した工種である。
- *b) 落石・崩壊が独立的に存在する斜面に適した工種である。
- *c) 勾配が緩く、除去した石・土砂の搬出が容易な斜面に適した工種である。
- *d) 比較的小規模な落石等が広範囲にわたり予想される斜面に適した工種である。
- *e) 落石予防工と落石防護工を組み合わせることでより比較的大規模な落石・崩壊が広範囲にわたり予想される斜面に適用可能な工種である。

図 11-17 工法選定の流れ

11.2 落石予防工の設計・施工

11.2.1 一般的留意事項

落石予防工はこれ自体で完全に落石を阻止することは困難な場合もあり、落石の頻度と規模を極力低減させる工法と考える方がよいことが多い。したがって防護工との併用で採用される例が多い。また、予防工は、複数の工法と併用されることも多い。

落石予防工法を選定する場合に必要な要因としては次のようなものがある。

- ① 予想される落石の大きさ（岩盤の亀裂と亀裂の間隔、転石の大きさ）と必要抑止力の大きさ。
- ② 予想される落石のタイプ（浮石型か転石型か）。
- ③ 落石の起こりやすさ（危険性の大小）。

以上のような要因を考慮すると、落石予防の目的およびその目的に適する工法例は以下のよう整理される。

- ① 落石予備物質（浮石・転石）を事前に除去する工法：[例] 不安定な浮石・転石の除去（除去工）、または安定勾配に切り直す工法（切土工）。
- ② 浮石・転石の不安定化を抑制する工法：[例] 排水工、プレキャスト枠工等の礫間充填物（マトリックス）が流失するのを抑制する工法、あるいはコンクリート吹付工等岩盤の風化、剥離を抑制する工法。
- ③ 浮石・転石を斜面に固定させる安定化工法：[例] 根固工、グラウンドアンカー工等個々の石を対象とする工法、あるいはグラウト工、もたれ擁壁工等不特定多数の石を対象とした工法。

このうち①は最も確実な工法であり、可能な限りこの工法を採用するのが望ましい。②は比較的安価な工法であるが、確実性に多少の不安が残る。また、抑止力が作用する場合は不適である。③は、予想される落石の危険度が大き、しかも規模（大きさ）が大きい場合、切土などの安定化ができない場合、抑止力を伴う場合などに適用されることが多い。しかし、工費は高いものが多い。

以上は、あくまでも一般的に考えられる工種選定例を示したものであり、実際に工種を決定する場合には現場周辺の過去の実施例や地形地質などを調査するとともに、施工例、将来の管理上の問題点、景観、気象条件等を考慮して総合的な判断を行う必要がある。また、これらの工法は複数併用して採用されることも多い。例えば、コンクリート吹付工などの上に落石防護網を施工したり、さらにこれに加えて、ロックボルトなどの打設が併用されることが多い。これらの設計に関しては外力などが働く場合はその大きさ、地下水などの有無などを考慮して設計する必要がある。

落石予防工を施工する箇所は一般に急峻で危険度が高く、また家屋が近接しているため施工条件が極めて悪い。このため施工計画策定にあたっては、近隣地域も含めた安全管理・環境保全に配慮しなければならない。また急傾斜地崩壊防止工事は人家近接地における工事であるから、地域住民に工事内容を周知させ協力を得ることが必要である。

なお排水工・切土工・植生工・張工・のり砕工・吹付工・擁壁工・グラウンドアンカー工・杭工・編柵工の設計・施工については本書の関連章節を参照されたい。また、不安定な浮石・転石を除去する除去工と接着工については、落石対策便覧に基づくものとする。ただし、接着工に関しては、施工効果の力学的な評価が難しく、経年劣化または耐震性等に関する点検等による実績データは蓄積段階にある。したがって、接着工の選定には適用実績を考慮するとともに、施工後の維持管理にも配慮する必要がある。

11.2.2 根固工の設計・施工

コンクリート根固工は斜面上にある大きな浮石・転石が動き出さないようにコンクリートで浮石・転石の基部や周囲を固め、斜面上に固定させる工法である。簡単に除去できない浮石や転石が大量に集中し、斜面勾配が比較的緩い場合に適する。

なお、浮石の重みが根固工に加わった場合、根固工が浮石とともに転動や滑動を生じないようにするためにこの基部は安定した基盤に置く必要があり、斜面表面を整形したり堅固な基盤まで掘り込むことが望ましい。

根固工から浮石や転石が抜け出すことのないようにコンクリートの厚さを十分に確保し、浮石等の基部のみでなく周囲を包むように設置することが望ましい。斜面を流下する雨水などによって根固工基礎部が洗掘を受けると根固工の効果が著しく減少するので、根固工の周囲の斜面表面の整形、排水などに注意を払う必要がある。コンクリートの打設に際しては、石の表面の泥や砂などの付着物を除去し、コンクリートの付着なじみを良くするように十分注意して施工する。

11.2.3 ワイヤロープ掛工の設計・施工

ワイヤロープの掛工は、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ワイヤロープで直接浮石などの基部を覆ったり引っ掛けたりして、斜面上に固定させる工法である。

浮石や転石が巨大な場合とか、土地の制約条件等で応急的に斜面上に固定しなければならないときによく用いられる。施工自体も他の工法と比べ簡易であるが、永久的な構造物でなく、仮設構造物として取り扱うことが望ましい場合が多い。

ワイヤロープで浮石などを覆ったり引っ掛けたりする場合、このワイヤロープから抜け出すことのないように、十分にその安定性を確保しなければならない。また浮石等の重みに十分耐えられるように、ロープの支持力部はアンカーボルトなどを用いて、しっかりした基岩に取り付けなければならない。図 11-18 にワイヤロープ掛工の実例を示す。

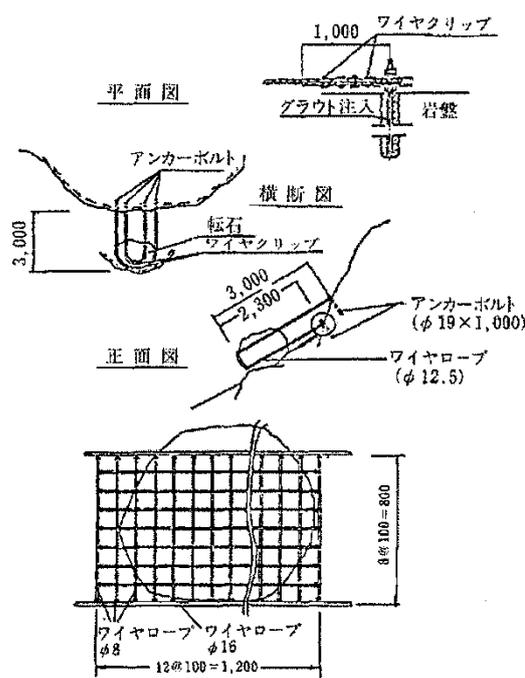
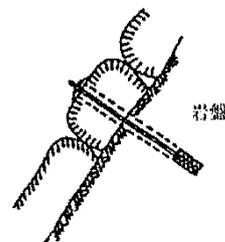


図 11-18 ワイヤロープ掛工の実例(単位:mm)

また、ワイヤロープやアンカーボルトは腐食しないよう防食処理を行う必要があり、腐食が進行していることが判明したならば、新たに張り替えや打設するなどの処置が必要である。

11.2.4 ロックボルト工の設計・施工

ロックボルト工には、斜面上にある浮石や転石を直接貫通して基岩へ定着する方法（図 11-19）と、ワイヤロープやのり枠工などを介してそれらを止める方法とがある。直接基岩へ浮石や転石を定着する場合でも、浮石や転石が割れたり、動き出したりする危険性があるため、あらかじめロープや、ワイヤモックにより固定した後に行われることが多い。



ロックボルトは単独で落石予防工として使用されること 図 11-19 ロックボルトによる固定は少なく、単独の場合でも、コンクリートの支承版や鋼板などの併用で採用されており、また落石防止網を縫い付け落石防止の期待度を高める方法もある。

亀裂の多い岩盤の剥離による落石の危険性がある場合などは、配筋したモルタル吹付工やコンクリートの吹付工あるいはのり枠工との併用工が多く用いられている。

また最近では補強土工を兼ねて崖錐部などの土砂部分の転石や落石を防止する使用法もとられ、この場合には、配筋した吹付コンクリートが主に併用されている。ロックボルトも、このような箇所では、穿孔した孔壁が崩壊するので、ロックボルト材でそのまま穿孔し、建て込む自穿孔タイプのものも多く開発されている。

ロックボルトの定着方式にはいくらかの種類があるが、第 11 章、11.1.2 に述べられているため、それらを参照されたい。

ロックボルトの設計については、補強土工法の考え方として、擬似擁壁を想定し、ロックボルト長の 1/3 を擬似擁壁としての土塊量として計算する方法や、グラウンドアンカー工と同様に考えて計算する方法等があり、その他多くの図書があるので、これらを参照されたい。

11.2.5 ロープ伏せ工の設計・施工

ワイヤロープ掛と基本的な材料の構成は同じであるが、斜面上に一定の広がりをもって分布する比較的小径の浮石・転石群を、同規格（ロープ径・間隔、ロープ交点のアンカー規格）で格子状に配置したワイヤロープの張力で斜面に固定するものをロープ伏せ工と呼ぶ。岩塊を覆うワイヤロープは、安定した斜面に着実に固定する必要があり、岩盤用アンカーボルト、アンカーブロック、打込み式アンカー等に定着する。

ワイヤロープの強度については、覆式落石防護網の設計に準じ、ワイヤロープに作用する張力は、端部に設置するアンカーを介して安定した地盤に伝達する。アンカーの定着部は、確実な安定地盤で必要な反力の得られる箇所とし、アンカーの形状や寸法は地質状況に応じて適切なものを選定する。

11.2.6 覆式落石防護網工の設計・施工

覆式落石防護網工とは、地山との結合力を失った岩石をネットの張力および落石と地山の摩擦によって拘束するもので、地形、落石の規模や形態に応じてその種類や形式を選定する。

落石防護網が計画される場所は、吹付工との比較検討がなされなければならないが、長期的な安全対策としては吹付工に及ばない。しかしながら、吹付工のように一挙に自然景観を変えることがないので、自然景観の保持にも格別な配慮をしなければならない地域については斜面条件を考慮して防護網を検討計画する。

覆式落石防護網の設計は、近接地の成功例や図 11-20、表 11-3 に示すような標準的タイプ等を参考にして実施されることがある。設計計算を行って抑止力を求める場合は、「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」参考編第 11 章を参照されたい。ワイヤロープ間隔は横方向では 4m 以下、縦方向は 5~10m のものが多い。部材間の連結部は部材の性能をできる限り発揮させるように、必要な耐力と延性をもっていなければならない。

各部材の連結部の主なものを示すと、図 11-21 のような結合コイルを結束するか、結束線で連結するものとし、図 11-22 に示すような器具を使用すればよい。

施工にあたっては、支持用のアンカーは信頼できる層に固定する必要がある。

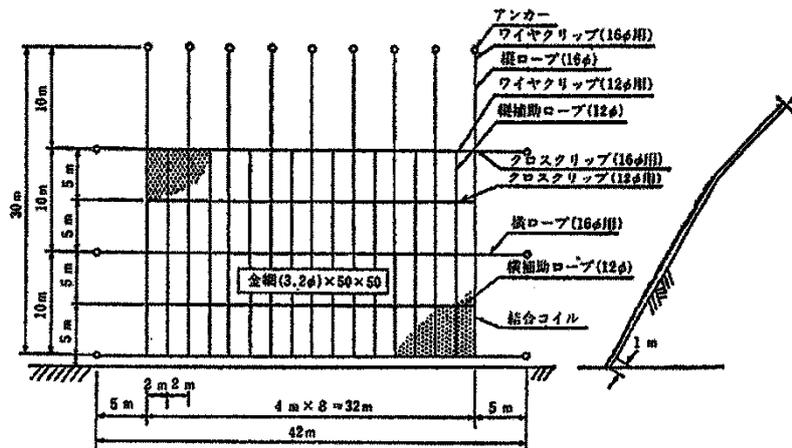


図 11-20 金網製落石防護網標準的タイプ図の一例

表 11-3 落石防護網工（金網）の標準タイプの一例

タイプ	網目 (mm)	線径 (mm)	ワイヤー 径 (mm)	ロープ保 証 破断力 (kN)	アンカーボルト	
					径 (mm)	長さ (mm)
A	50	2.6	12	68.6	22	1000
B	50	3.2	16	118	25~32	1000
C	50	4.0	16	118	25~32	1000



図 11-21 ワイヤロープと金網

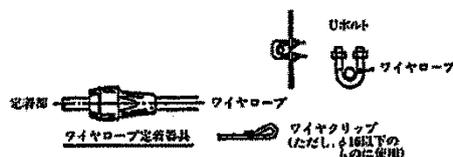


図 11-22 ワイヤロープ定着部

11.3 落石防護工の設計・施工

11.3.1 一般的留意事項

落石防護工の設計法に関しては、11.1.1にも述べたように、近隣地帯での成功例や標準的タイプ図等を基本としている。設計条件を明確にしうる場合には、詳細計算による設計法が用いられることもあるが、一般には落下が想定される落石径の決定法をはじめ、落下位置、落下経路、斜面表層状況等設計諸定数にかかわる条件をすべて明確にすることが困難な場合が多く、また樹木等によるエネルギーの減勢効果等不明な点も多い。したがって現状では近隣地等での成功例や標準的タイプ図等を基本とし、場合によってはそれに計算による設計を参考として加え、技術的総合判断により設計を実施している。落石防護工においても、これ自体で完全に落石を阻止することは困難な場合が多く、予防工および他の防護工との組み合わせで採用されるのが理想的である。

防護工法を決定する場合に必要な要因としては次のようなものがある。

- ① 予想される落石の大きさ。
- ② 予想される落石の位置、落下形態、落下経路。
- ③ 落下速度、跳躍量。
- ④ 崩土を伴うか否か。

落石防護工の施工にあたっての留意点は、11.2.1で述べた落石予防工での施工の留意点と共通するが、さらに落石防護施設は、据え付けにあたり部材に内部応力を生じさせないように据え付ける。例えば、部材の締付部分は1回で行わず、全体でバランスをとりながら締め付ける。

11.3.2 計算による設計法の問題点

(1) 設計外力の推定

落石防護工の設計にあたっては、構造物が安全に受け持つべき外力を推定することが重要となる。落石防護工をエネルギー計算によって設計する場合、最初に斜面を落下してくる落石の運動エネルギーを計算する必要がある。落石の運動エネルギーは落下の経路を詳しく追跡計算して求めることもできるが、その最終的な運動エネルギーは落下途中の斜面の性状に著しく左右される。したがって実験によって十分裏づけされた運動エネルギー推定式を用いるのが望ましい。

一般には、以下の式で推定されることが多い。

$$E = (1 + \beta) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) W \cdot H$$
$$(1 + \beta) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta} \right) \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots (11.1)$$

ここに

- E : 落石のエネルギー (kJ)
- β : 回転エネルギー係数 (0.1としてよい)
- μ : 等価摩擦係数 (表 11-3 に示す μ を用いてよい)

θ : 斜面勾配 (°)

W : 落石の重量 (kN)

H : 落石の落下高さ (m)

表11-4 斜面の種類と等価摩擦係数(μ)の値

区分	落石および斜面の特性	設計に用いる μ	実験から得られる μ の範囲
A	硬岩、丸状、凹凸小、立木なし	0.05	0~0.1
B	軟岩、角状~丸状、凹凸中~大、立木なし	0.15	0.11~0.2
C	土砂・岩崖錐、丸状~角状、凹凸小~中、立木なし	0.25	0.21~0.3
D	岩崖錐・巨礫混じり岩崖錐、角状、凹凸大~中、立木なし~あり	0.35	0.31~

この場合、予想される落石等の重量、落石速度および防護工への作用方向、作用位置等については現場ごとの地

形、地質、斜面の風化度、植生および他の予防工または防護工との併用の有無等によって著しく異なる。したがって落石防護工の設計にあたっては、現場における過去の落石等の経験および実験等をもとに、最も妥当と思われるこれらの値を推定する必要がある。

(2) 設計計算方法

落石防護工の設計方法の例は「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」参考編第 11 章を参照すること。

11.3.3 ポケット式落石防護網工の設計・施工

(1) 概 説

ポケット式落石防護網とは、吊ロープ・支柱・落石防護網・ワイヤロープからなり、上部に落石の入口を設け、落石防護網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。落石防護網は地形、落石の規模や形態に応じてその種類や形式を選定する。

覆式落石防護網工と同様に落石防護網が計画される場所は、吹付工との比較検討がなされなければならないが、長期的な安全対策としては吹付工に及ばない。しかしながら、吹付工のように一挙に自然景観を変えることがないので、自然景観の保持にも格別な配慮をしなければならない地域については斜面条件を考慮して防護網を検討計画する。

(2) 設計・施工

落石防護網を構成する各部材の性能を、その限度いっぱいまで同時に発揮させるようにすることによって可能吸収エネルギーを最大とすることができる。しかし、各部材の性能差、市場性、保守性等を勘案して、金網以外の諸部材が金網より先に破壊しないように金網の吸収エネルギーを基準として、落石防護網の設計を考えることを基本としており、通常市販のものはそのような考え方で設計してある。一般に、対象とする落石の重量としては、1,000kgf 以下が考えられている。なお、上部からの落石エネルギーが防護網の可能吸収エネルギーより大きいと想定される場合には、落石防護柵、落石防護擁壁などと併用するのがよい。

設計にあたっては、覆式落石防護網工と同様に、近接地の成功例や図 11-23 に示すような標準的タイプ図を参考にして実施することがある。この場合、ネットに落石が衝突することを考慮して、各部材の断面を大きくしたり、アンカーを強化するなどの処置がとられることが多い。その他の構造細目については、覆式落石防護網工とほぼ同様である。また設計計算を行う場合

は「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」参考編第 11 章を参照されたい。

施工にあたっては、次の点に留意する。

- ① 支持用のアンカーは信頼できる層に固定する。
- ② 網の張り方は、落石を跳ねさせず網に沿って落とすので、斜面の下部では余裕をもたせて落石の堆積に備える。
- ③ 網の余裕いっぱい堆積したらときどき取り除く必要がある。

【仕様】

- ① 支柱 H 形鋼または溝形鋼
- ② 形状 (一般図)
- ③ 金網 線径 $\phi 3.2\sim 5.0$ mm
目合 50 mm \times 50 mm
- ④ ロープ 外径 12 \sim 18 mm
構造 3 \times 7G/O
- ⑤ アンカー $\phi 22\sim 25$ mm
長さ 1.0 \sim 1.5m

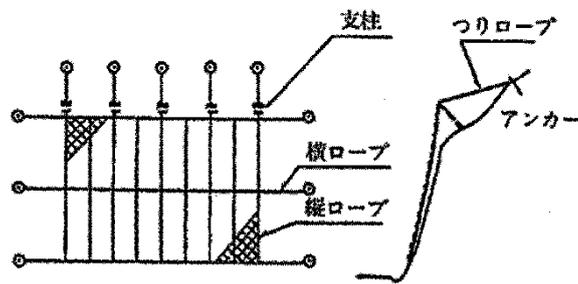


図 11-23 ポケット式落石防護網標準的タイプ図の一例

11.3.4 落石防護柵工の設計・施工

(1) 概説

落石防護柵は比較的小規模な落石対策として有効であり、斜面の状況に応じてその種類・寸法を決定する。

落石防護柵は落石の発生しやすい斜面の最下部または中段に設置され、落石を阻止する構造物である。現在市販されている落石防護柵には次のような種類がある。

(表 11-5・図 11-21)

表 11-5 落石防護柵の種類

	(阻止画)	(支持部材)+(基礎)
①自立支柱式	・ 網状部材+ワイヤロープ ・ 高強度網状部材	・ 支柱(剛結)+基礎
		・ 基礎-体型支柱
②ワイヤロープ支持式		・ 支柱(下柱ヒンジ)+ 控えワイヤロープ+基礎
③H 鋼式	・ H 鋼	・ H 鋼+基礎

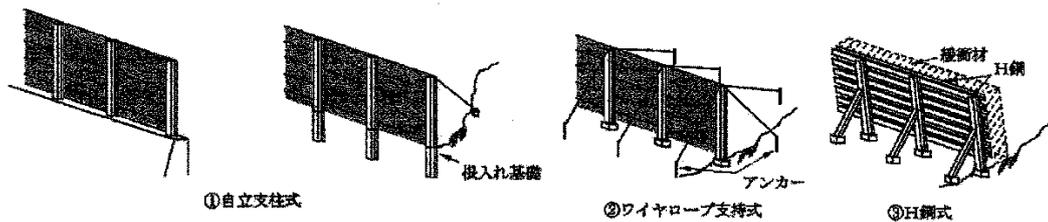


図 11-24 落石防護柵の種類

① 自立支柱式

H 鋼や鋼管等の支柱がコンクリート基礎や地盤に直接根入れされ、自立する構造である。通常の支柱は直柱であるが、有効高さを稼ぐための曲柱式もある。阻止面は、金網等の網状部材とワイヤロープを用いるものや高強度網状部材を用いるもの等がある。

② ワイヤロープ支持式

支柱頭部を山側に設けたアンカーとワイヤロープで結び、落石荷重を山側地盤の抵抗で支えるものである。支柱下端はヒンジ構造とし小規模な基礎とすることができる。支柱基礎の水平抵抗を補うために、支柱上端と山側アンカーをワイヤロープで結ぶことがある。また、支柱の位置を安定させるために谷側にもアンカーを設置することが一般的である。

③ H 鋼式

H 鋼を支柱として H 鋼の横バーおよびエキスパンドメタルを取り付けたものであり、通常、砂あるいは古タイヤの緩衝材をつける。

(2) 落石防護柵工の設計・施工

ワイヤロープ金網式落石防護柵工の設計は、近隣地の成功例および図 11-25 に示すような標準的タイプ図、および表 11-3 に示す市販されている各種柵工例を参考にして実施されることがある。一般にワイヤロープ間隔は 35cm 以下が望ましい。

できるだけ落石源の近くに設置するという本工法の趣旨から、斜面中腹に設置する 경우가多いが、勾配が 40° 以上になると、柵の基礎の設置が困難な場合が多く、柵自体不安定となり、また落石の捕捉効果も少ない。

落石とともに土砂の崩落も予想されるような場合、斜面下端に擁壁を設け、これを基礎として柵を設ける場合があるが、落石エネルギーの減衰および飛越防止からも柵と斜面との間にできるだけポケットを確保し、緩衝用の平場を設けるのが望ましい。また、長大斜面に対しては、落石エネルギーが増大しないように落石防護柵を数段設置することが望ましい。特に急斜面に設置する場合は、落石防護網と併用することが望ましい。

柵工の設置にあたっては、斜面を必要以上に傷めてはならない。

落石エネルギーはワイヤロープを介して支柱に伝えられるため、コンクリート基礎に大きな力がかわり、支柱のコンクリート部分が破損する可能性がある。したがって、支柱のかぶり厚さおよび建込深さについて十分留意する。一般にかぶり厚さは 20cm 程度以上必要である。実際の落石による防護柵の被害においては落石が支柱に衝突し、変形することが多い。したがって、支柱が曲がる例が多く、このような支柱の弱点を補うために、中間支柱にステーあるいはアンカーを付けたり、H 鋼の剛性を高めることは防護柵全体の可能吸収エネルギーを増加

させるうえで有効である。

エネルギー吸収装置や高強度・高たわみ性のネットを用いた落石エネルギーの吸収能力を高めた各種の落石防護柵が用いられているが、これらは落石衝突時に阻止面が大きく突出するので、斜面下の保全対象の安全性を損なわないことに注意する。

【仕 様】

支柱：H形鋼または溝形鋼

形状：(一般図)

金網 線形：最低φ3.2mm

目合：50mm×50mm

ロープ 外形：18mm

構造：3×7G/O

破断荷重：157kN

ワイヤロープ留め金具：

M12mm以上のUボルト

アンカーおよび締結金具：

破断荷重以上のもの

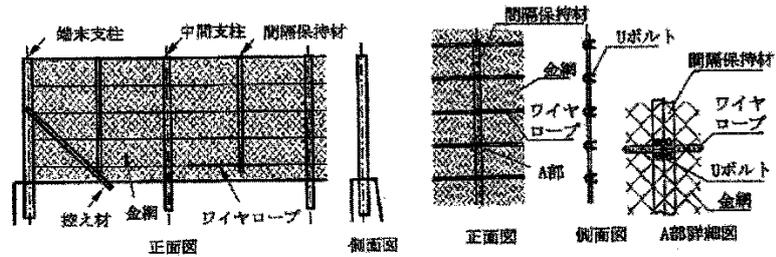


図 11-25 落石防護柵の標準仕様と鋼製部材

H鋼式落石防護柵工の設計は、ワイヤロープ金網式落石防護柵工と同様に、近隣の施工実態および標準タイプ図等を参考として実施している。

急斜面の安定に関しては、特に転倒に留意する必要がある。落石エネルギーに対して、柵工への衝撃を和らげるため柵の背面にクッションとして盛土したり、古タイヤを張ったものもある。

これらの落石防護柵を設計計算により設計する方法は、「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」参考編第11章を参照されたい。

落石防護壁の設置長さは、地形およびこれまでの落石実態などを勘案して定める必要があり、十分な安全性が確保できる範囲を考えなければならない。

なお施工に関しては第8章9.を参考にされたい。特に、ポケット容量を確保するために地山を切土して崩壊を誘発させることのないよう、十分留意する必要がある。

11.3.5 コンクリート製落石防護擁壁工の設計・施工

コンクリート製落石防護擁壁は、落石が斜面下端に落下することを防止する最終的な防護工として用いられるもので、主として家屋の側近に設置される。また、落石防護擁壁は、その背後にポケット部を設け、ある程度の落石や崩土を堆積させることができる構造とすることが望ましいことから、対象とする背面地形は斜面勾配が緩やかである場所や、あるいは斜面下端に余裕のある場所が好条件となる。

コンクリート製落石防護擁壁は、通常マッシュな重力式コンクリート擁壁としてつくられ、落石のもつ運動エネルギーを防護擁壁躯体および支持地盤の変形エネルギーに換えて吸収することにより、落石を停止させる機能を有するものである。したがってその構造および設置場所は図11-26が基本となるが、図11-27に示すようにコンクリート擁壁と落石防護柵を併用する場合は多い。

落石防護擁壁の設計は地形・地質のほか、落石にあつては予測される落石の重量・落下高さ、

防護擁壁の安定および躯体断面の補強について検討を行う必要がある。しかし剛性の高い構造物に落石が衝突する場合の設計手法は現在のところは確立していないのが実情であり、多くは近隣地での成功例等を参考にして実施している。計算により外力を考慮して設計する場合は第9章 9.6 や、「新・斜面崩壊防止工事の設計と実例」参考編第11章 11.4 を参照されたい。

落石防護壁の設置長さは、地形およびこれまでの落石実態などを勘案して定める必要があり、十分な安全性が確保できる範囲を考えなければならない。

なお施工に関しては第8章 8.4.4 を参考にされたい。特にポケット容量を確保するために地山を切土して崩壊を誘発させることのないよう、十分留意する必要がある。

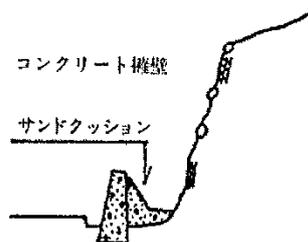


図 11-26 落石防護壁

コンクリート擁壁と落石防護柵を組み合わせたもの。



図 11-27 柵と併用されたコンクリート擁壁

11.3.6 落石防護土堤および溝の設計・施工

落石防護土堤の設計の考え方は次の3つに大別される。

- ① 落石を溝底面や土堤背後の平坦地または溝や土堤ののり面で反復バウンドさせることによって、そのエネルギーを吸収・消散させる。
- ② 落石の落下方向を土堤で転向・誘導し、道路および近傍施設に無害な沢部または河川に落下させる。
- ③ 図 11-28 に示すような補強土等を用いた急勾配の土堤により、落石の衝突による土堤自体の変形により落石のエネルギーを吸収・消散させる。

なお、斜面上の落石防護土堤の一例を図 11-29 に示す。また、視距の確保を応用した落石防護溝の例を図 11-30 に示す。

落石防護土堤および溝は、地表水が流入する沢地形や湧水箇所を避けるのが望ましい。また、そのような箇所に設置する場合には、排水施設を設置するなど、排水に対する十分な配慮し、その維持管理にも留意する必要がある。

落石防護土堤および溝の形状寸法の設計は、落石の衝撃荷重に対する耐力および落石のかけ上り、飛越しに対する安全性に対して検討を行うとともに、土堤としての安全性や、必要に応じてのり面侵食等に対して検討を行う必要がある。

落石防護土堤および溝の高さ（深さ）および幅は、設計対象となる落石の落下速度、跳躍高、または斜面地山および土堤・溝の反発係数を考慮して決定する。1つの研究例として表 11-6 がある。

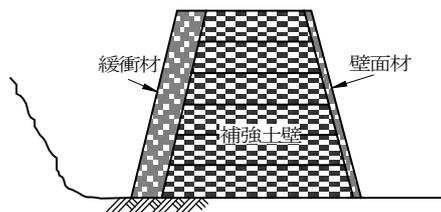


図 11-28 補強土壁を用いた落石防護土堤の例

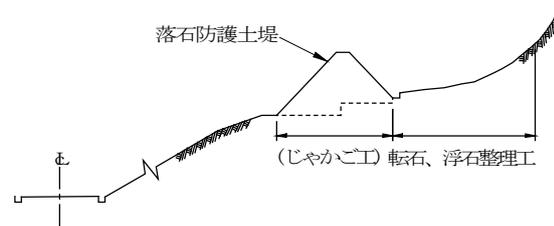


図 11-29 斜面上の落石防護土堤の例

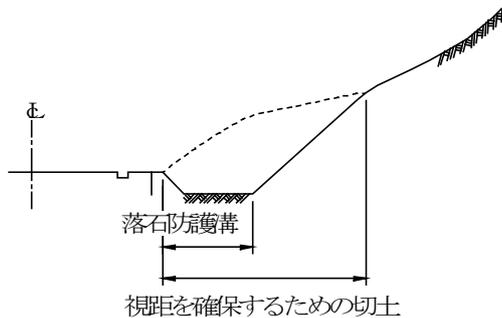


図 11-30 視距の確保を応用した落石防護溝の例

表 11-6 落石防護溝の寸法

斜面の勾配 β	斜面高 H(m)	溝の幅 W(m)	溝の深さ D(m)	備考
ほぼ直角 90°	5~10	4	1.0	
	10~20	5	1.5	
	20~	6	1.5	
1:0.25~0.3 $76^\circ \sim 73^\circ$	5~10	4	1.0	
	10~20	5	1.5	
	20~30	6	2.0	
	30~	8	2.0	
1:0.5 63°	5~10	4	1.0	
	10~20	5	2.0	
	20~30	6	2.0	
	30~	8	2.5	
1:0.75 53°	0~10	4	1.0	
	10~20	5	1.5	
	20~	5	2.0	
1:1.0 45°	0~10	4	1.0	
	10~20	4	1.5	
	20~	5	2.0	

11.3.7 落石誘導工の設計・施工

落石誘導工は、表 11-2 に示した落石防護工の方向変更の効果を用いて、被害の生じない安全な場所へ落石を誘導する工法であるため、各工種の設計・施工による。

11.4 他工種との関連

11.4.1 擁壁工に併用される落石防護柵工

第8章にも述べているように、擁壁工に落石防護柵工が併用されることが多い。

一般に、ある程度の規模の崩壊に対して、重力式およびもたれ擁壁工等で対策がなされても、図 11-31 に示すように、斜面の一部の小規模な崩壊および落石の発生に危険性が残る場合がある。このような場合には、一般的にはのり面保護工や落石予防工等に対応することが多い。しかし、環境等の問題により、そのような対策がとれないことも多く、落石防護柵工が擁壁工上に併用される。また擁壁工より上部斜面にのり面保護工等が施工されたとしても、例えばのり枠間詰め土砂や石等の小崩落が発生する可能性が皆無とはいえないので、このような場合にも、一般的には転落防止柵と兼用の形で落石防護柵工(ストーンガード)を設置することが望ましい。

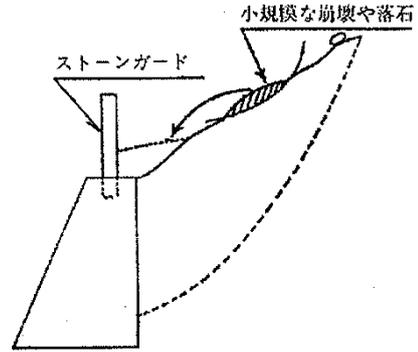


図 11-31 擁壁天端に設置されるストーンガードの機能

ストーンガードの設計は、斜面状況等を考慮して 11.3.4 の落石防護柵工の設計・施工に準じて考えればよいが、一般には落石の規模および跳躍高等を考慮して高さ 1~3m のものが多く設置されている。

なお、待受擁壁工で擁壁工上に落石防護柵工を併用した一例を図 11-32 に示す。また、もたれ擁壁工に併設した防護柵工の例を図 11-33 に示す。

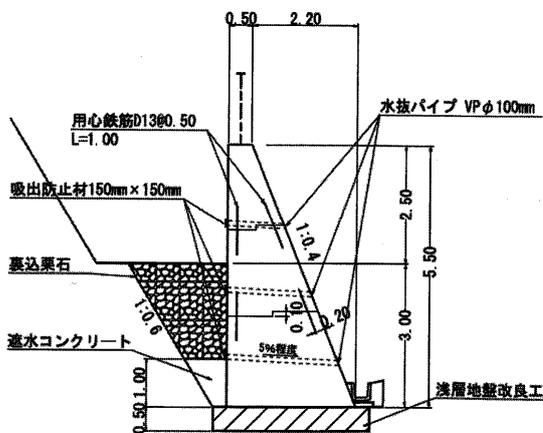


図 11-32 待受擁壁工に併設された落石防護柵工の例
(単位：m)

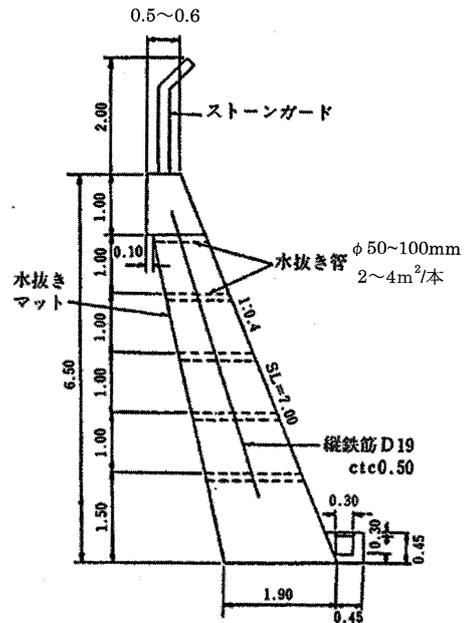


図 11-33 もたれ擁壁工に併設された落石防護柵工の例 (単位：m)

柵の支柱部分のコンクリートかぶり厚さはできるだけ厚くし、少なくとも 20cm 程度が望ましい。また擁壁高が低い場合の支柱部の構造は、山側の天端幅を厚く張り出し、かぶりを確保することがある（図 11-34 参照）。なお、図 11-33 の例でのストーンガードは図 11-32 の直線型ではなく、かぎ型になっているが、これは、ストーンガードの有効柵高を相対的に増すように工夫したものである。なぜなら、斜面の勾配（ θ ）が急になるにつれて、直線型のストーンガードの場合、柵高（ h ）の落石跳躍高（ h ：斜面に垂直）に対する有効高（ $h_v := h \cos \theta$ ）が相対的に小さくなるためである。

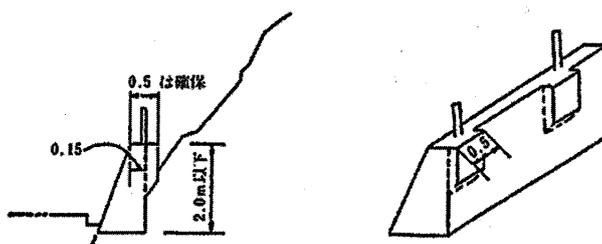


図 11-34 擁壁高が低い場合の支柱部の構造（単位：m）

〔第 11 章 参考文献〕

- 全国治水砂防協会：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例 本編、令和元年 5 月