

第12-1章

道路防災

---

## 第12-1章 道路防災工 目次

第1節 総 則 .....	12-1-1
1. 適用の範囲 .....	12-1-1
2. 定義 .....	12-1-1
第2節 工法の選定 .....	12-1-2
1. 工法選定の考え方 .....	12-1-2
2. 落石予防工の種類 .....	12-1-2
3. 落石防護工の種類 .....	12-1-4
4. 対策工選定のフローチャート .....	12-1-5
第3節 落石対策施設の留意点 .....	12-1-6
1. 落石対策施設の設計における配慮事項 .....	12-1-6
2. 落石対象施設の照査 .....	12-1-6
2.1 経験・実績に基づく照査手法 .....	12-1-6
2.2 落石予防施設の性能照査 .....	12-1-6
2.3 従来型以外の落石防護柵、ポケット式落石防護網の採用における留意点.....	12-1-6
第4節 落石予防施設の設計 .....	12-1-7
1. 覆式落石防護網（県仕様） .....	12-1-7
1.1 設置基準 .....	12-1-7
1.2 設計 .....	12-1-7
1.3 構造細目 .....	12-1-11
第5節 落石防護施設の設計 .....	12-1-12
1. 落石防護柵 .....	12-1-12
1.1 従来型落石防護柵の定義 .....	12-1-12
1.2 従来型落石防護柵の設置基準（県仕様） .....	12-1-12
1.3 従来型以外の落石防護柵の必要高の設定 .....	12-1-14
1.4 設計一般 .....	12-1-15
1.5 標準設計（県仕様） .....	12-1-16
2. ポケット式落石防護網 .....	12-1-19
2.1 従来型ポケット式落石防護網の定義 .....	12-1-19
2.2 設計の考え方 .....	12-1-19
2.3 設置基準 .....	12-1-20
2.4 設計 .....	12-1-21

## 第1節 総則

### 1. 適用の範囲

この要領は、岐阜県県土整備部が実施する、落石に対する防災事業の設計に適用する。定めのない事項については、表 12.1.1 の指針等による。

表 12.1.1 関係指針・図書等

示方書・指針等	発行年月	発行者	備考
道路土工構造物技術基準・同解説	H29. 3	日本道路協会	
道路土工 擁壁工指針（平成 24 年度版）	H24. 7	〃	
〃 カルハート工指針（平成 21 年度版）	H22. 3	〃	
〃 仮設構造物工指針	H11. 3	〃	
〃 切土工・斜面安定工指針（平成 21 年度版）	H21. 6	〃	
落石対策便覧	H29.12	〃	
落石対策便覧に関する参考資料－落石シミュレーション手法の調査研究資料－ポケット式落石防護網の設計について	H14. 4	〃	
道路震災対策便覧（震前対策編）	H18. 9	〃	
〃 （震災復旧編）	H19. 3	〃	
〃 （震災危機管理編）	R1. 7	〃	
道路構造令の解説と運用	H27. 6	〃	
国土交通省河川砂防技術基準同解説 設計編Ⅰ・Ⅱ	H9.10	日本河川協会	
道路設計要領～設計編～	H26. 3	国土交通省 中部地方 整備局 道路部	
設計要領（道路編）	R2. 4	国土交通省 北陸地方 整備局 道路部	
新・斜面崩壊防止工事の設計と実例	R1. 5	全国治水砂防協会	
治山技術基準解説 総則山地治山編	H21.10	日本治山治水協会	
コンクリート標準示方書〔基本原則編〕	2012 年制定	土木学会	
コンクリート標準示方書〔設計編〕〔施工編〕	2017 年制定	土木学会	
コンクリート標準示方書〔維持管理編〕〔規準編〕	2018 年制定	土木学会	
岐阜県建設工事共通仕様書	R2. 4	岐阜県農政部・林政部・ 県土整備部・都市建築部	
落石発生源対策基準（案）	H22 年度版	岐阜県林政部治山課	

### 2. 定義

落石対策施設は、道路土工構造物の中の切土・斜面安定施設のうち、落石対策を目的とした施設である。

落石対策には、発生源を除去、固定及び発生を抑止することを目的とした落石予防工と、発生した落石による被害を抑止することを目的として落石防護施設を設ける落石防護工がある。

（道路土工構造物技術基準・同解説 H29-P13～15, P55）

## 第2節 工法の選定

### 1. 工法選定の考え方

落石対策工は、発生源対策を行う落石予防工および発生した落石の対策を行う落石防護工の2種類があり、その効果はそれぞれ次のように要約される。

落石予防工：①発生の原因となる風化浸食を防止する。

②落石の発生を止める。

落石防護工：①落下エネルギーを吸収する。

②落下方向を変えて無害なところに導く。

③衝撃に抵抗して落石運動を止める。

④なだれ防止の効果を兼ねる。

対策施設の機能、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、現地の道路状況、斜面状況に最も適した工種とその組み合わせを選択する必要がある。(落石対策便覧 H29-P98～99 参考)

### 2. 落石予防工の種類

落石予防工は、落石の発生が予想される斜面内の落石予備物質（浮石、転石）を対象に次の効果を期待して実施する発生源対策である。

①地表水、凍結融解、温度変化、乾湿の繰返し、風力等による浸食・風化の進行を防止する。

②個々の落石予備物質を固定する。

③落石予備物質を除去する。

④落石予備物質群を全体的に原位置で直接的に抑止する。

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ものとして各種予防工を示したものが、図 12.1.1 である。工種の選定にあたっては各工種の特性を考慮するとともに、現地の社会的条件、地形、地質、植生と道路の位置関係および施工性、経済性等を考慮する。(落石対策便覧 H29-P82 参考)

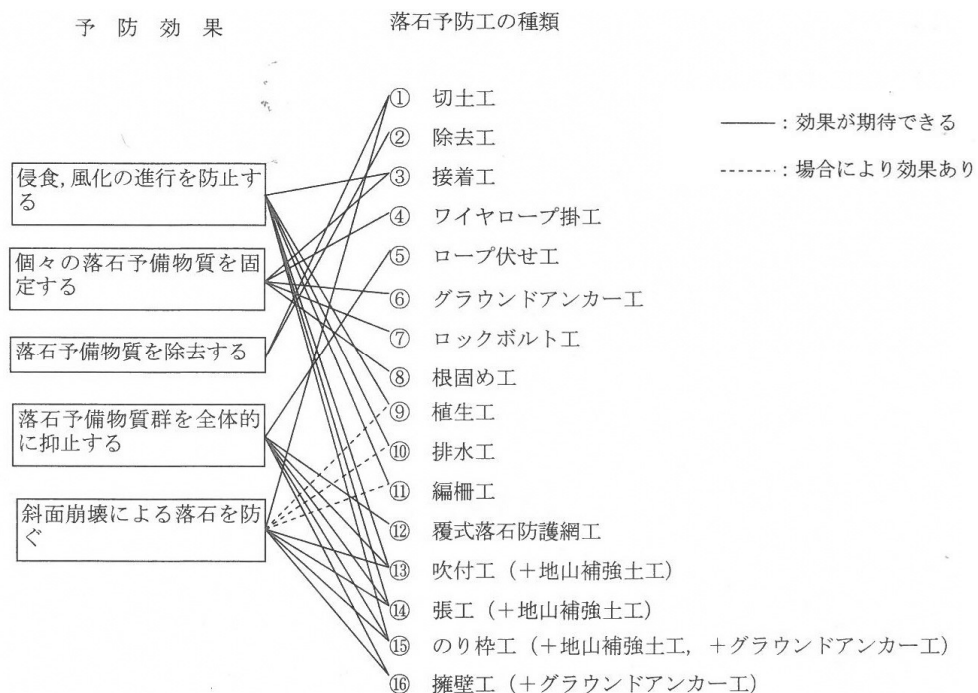


図 12.1.1 落石予防工の種類と効果（落石対策便覧 H29-P83）

表 12.1.2 落石予防工の種類

名称	説明
切土工	<ul style="list-style-type: none"> <li>法面や斜面に分布している落石の危険性のある浮石や転石を切土または小割りすることによって除去し、法面の安定を図る工法。</li> <li>地形上の制約を受ける場合が多く、施工性や安全性、経済性について十分吟味が必要。</li> </ul>
除去工	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面にある浮石、転石を直接取り除く工法。</li> <li>搬出と安全確保に十分な仮設の検討を要する。</li> </ul>
接着工	<ul style="list-style-type: none"> <li>岩盤斜面上の不安定な岩塊を、接着剤を用いて安定した基岩に固定し安定化を図る工法。</li> <li>景観等に配慮する必要がある場合に用いられることがある。</li> </ul>
ワイヤーロープ掛工	<ul style="list-style-type: none"> <li>浮石や転石が滑動や転動しないよう、ワイヤーロープを格子状に組んだり、数本のロープでその転石を覆ったり、ひっかけたりして斜面上に固定させる工法。</li> </ul>
ロープ伏せ工	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面に散在する浮石や転石が滑動や転動しないよう、ワイヤーロープを格子状に組むなどしてネット状にしたもので浮石や転石を覆い、ワイヤーロープの交点にアンカーを打設し斜面上に固定させる工法。</li> </ul>
グラウンドアンカー工	<ul style="list-style-type: none"> <li>比較的大規模な浮石や転石が転動しによる基盤に定着させる工法。</li> <li>抑制力を浮石や転石全体に分布させるため、根固め工、法枠等を組み合わせて用いることが多い。</li> </ul>
ロックボルト工	<ul style="list-style-type: none"> <li>比較的小規模な落石を対象とし、亀裂岩等を一体化し固定する工法。</li> <li>浮石群を全体的に固定するために斜面を吹付工、張工、法枠工等により被覆し、ロックボルトと一体化する組合せが効果的である。</li> </ul>
根固め工	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面上における特定の浮石及び大径の転石が滑動や転動を生じることのないように、その基部や周辺を固め支持する工法。</li> </ul>
植生工	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面崩壊に対し安定が確保されている土砂斜面に対し植生を施す工法。</li> <li>植物の根茎発達による地表土砂の緊縛効果で、浸食による浮石、転石の不安定化を防止。</li> </ul>
排水工	<ul style="list-style-type: none"> <li>地表水や地下水の斜面内への流入防止等のための排水施設を設置する工法。</li> </ul>
編柵工	<ul style="list-style-type: none"> <li>表土の流出防止を図るために斜面中に小規模な柵を設ける工法。</li> <li>落石予備物質のある斜面の表層部分を安定させることと、点在する転石を落差の小さい範囲に止める効果が期待される。</li> </ul>
覆式落石防護網工	<ul style="list-style-type: none"> <li>落石の発生が懸念される斜面全体を金網とワイヤーロープで覆う工法。</li> <li>万一落石が発生した際には金網と地山との間で落石を誘導し斜面下方に導くものであるが、網裾まで誘導した落石が道路空間の安全性を侵さないようにしなければならない。</li> <li>小規模の落石が発生しやすい斜面または基礎岩盤から岩塊がはく離、はく落しやすく、落石の危険性がある斜面に適した工種である。</li> </ul>
吹付工	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートやモルタルを吹き付けて、落石の発生を予防し、表面の浸食、岩石の風化の防止を図る工法。</li> <li>常時法面に湧水がないことが原則であるが、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け、必要に応じて水抜きボーリング等の排水工を併用する。</li> <li>抑止効果を増すため吹付を厚くしたり、金網、ロックボルトを組み合わせることもある。</li> </ul>
張工	<ul style="list-style-type: none"> <li>斜面の表面にコンクリートを打設するもので、落石の誘因となる表層の流出防止や節理の多い岩盤斜面での剥離や抜け落ちを防止するとともに、浸食や風化に伴う軽微な崩壊を防止するために用いられる。</li> <li>基盤部が良好な地盤であることが必要で、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け、必要に応じて水抜きボーリング等の排水工を併用する。</li> </ul>
法枠工	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート製の格子状の枠を斜面に設置する工法。</li> <li>浮石が滑動や転動のおそれがある箇所の斜面を安定化し崩落しないようにする場合に用いられ、枠内は吹付けやコンクリート張とするのが一般的。</li> <li>法枠の種類には、吹付法枠、現場打ちコンクリート法枠、プレキャスト法枠があり、斜面の状況、浮石の状況等により適宜選定する。</li> </ul>
擁壁工	<ul style="list-style-type: none"> <li>落石とともに斜面崩壊を生じることがある急斜面に擁壁を設置するもので、もたれ式擁壁となる場合が多い。</li> <li>壁高が高くなる場合は、グラウンドアンカーを組み合わせることもあるが、その際はグラウンドアンカーを安定な地山に定着させるための定着層の確認が必要。</li> </ul>

(落石対策便覧 H29-P82～90 をもとに作成)

### 3. 落石防護工の種類

落石防護工は、斜面から落下してくる落石を防護するための施設を斜面の途中、道路際あるいは道路上に設置する待ち受け対策工である。

落石防護施設は、設置する位置によって次のように分類される。

- ① 発生源から道路等に至る中間地帯（斜面の途中）に設けるもの：

落石防護柵、落石防護擁壁 等

- ② 道路際（斜面下部）に設けるもの：

ポケット式落石防護網、落石防護柵、落石防護棚、落石防護擁壁、ロックシェッド、

落石防護土提 等

（落石対策便覧 H29-P91 参考）

表 12.1.3 落石防護工の種類

名称	説明
ポケット式 落石防護網工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・斜面上方からの落石を取り込むための入口となる開口部（ポケット）を設けた防護網を設置するもので、落石が防護網に衝突することで落石エネルギーを吸収したのち、落石を金網と地山との間に誘導して網裾まで導くもの。</li> <li>・最近では多様な工法（製品）が開発されており、その選定に際しては、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。</li> </ul>
落石防護柵工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石を待ち受けて停止させるための、金網、ロープ、支柱等軽量部材から構成される柵を道路際または斜面の途中に設置するもの。</li> <li>・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いて落石エネルギーの吸収能力を高めた各種の工法（製品）が開発されている。</li> <li>・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。また、落石衝突の際、変位が大きく生じるものもあり、設置位置等を十分検討する必要がある。</li> </ul>
落石防護棚工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石を待ち受けて停止させるための、斜面と直角に近い勾配を有するコンクリート製や鋼製の壁面（棚）を道路際に設けるもの。</li> <li>・ロックシェッドの補完的役割を果たすもので、落石防護柵では対応できない質量や落下高さの落石が予想される場合に用いられる。</li> </ul>
落石防護 擁壁工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・道路際に落石を受け止めるための擁壁を設けるもので、擁壁に落石が衝突した際に、主にその慣性抵抗により落石のエネルギーを受け止め、停止させるもの。</li> <li>・落石の跳躍高を包含できる空間（ポケット）を斜面との間に確保できる場合に用いられ、落石防護擁壁の背後に設けたポケットに受け止めた落石や崩土を堆積させるもので、落石防護柵と併用されることが多い。</li> <li>・擁壁は通常コンクリート製で、類似の防護工として補強土を用いた落石防護土提がある。</li> </ul>
ロック シェッド工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石を待ち受けて停止あるいは谷側に受け流し落下させるため、鉄筋コンクリート（RC）製、プレストレストコンクリート（PC）製、鋼製の道路を覆うシェッドを構築するもので、構造上は箱形式、門形式、逆L式、単純梁式に分類される。</li> <li>・一般に道路際に余裕がなく、落石が発生しやすい連続する急傾斜面下の道路で、落石規模が大きく落石防護柵等他の工法では防げない場合や、跳躍高が高く、柵を設けても落石がその上を飛びこすおそれがある場合に用いられる。</li> </ul>
落石防護 土堤工・溝工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・落石のエネルギーの吸収・消散を図り、落石を防止するため、道路際に土堤および溝を構築するもの。</li> <li>・道路際に比較的平坦や余地があり、安定した地盤である場合に用いる。</li> </ul>

（落石対策便覧 H29-P91～97 をもとに作成）

#### 4. 対策工選定のフローチャート

対策工選定の標準的なフローチャートは、図 12.1.2 に示すとおりである。

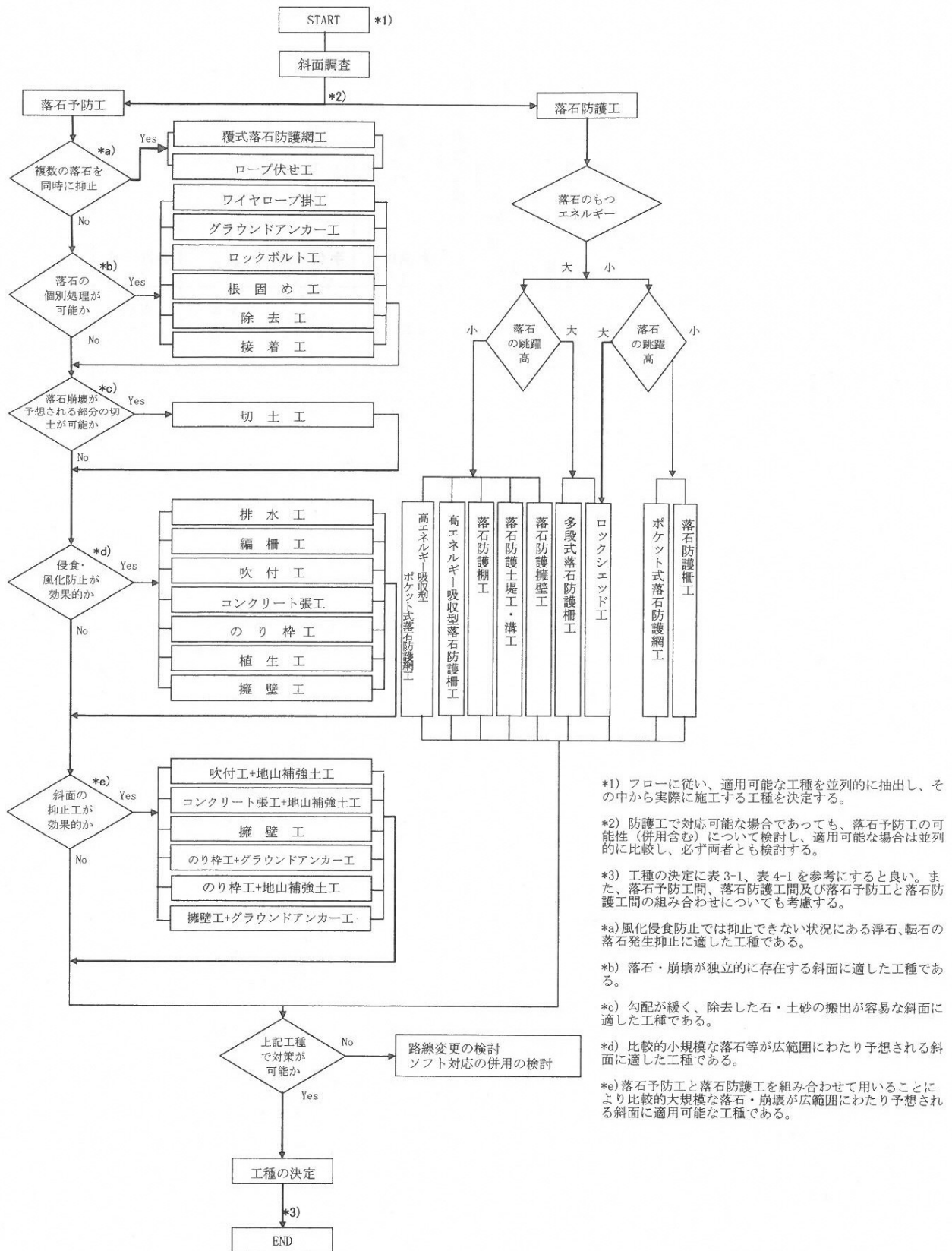


図 12.1.2 落石対策工の選定フローチャート (落石対策便覧 H29-P102)

## **第3節 落石対策施設の留意点**

### **1. 落石対策施設の設計における配慮事項**

落石対策は、交通車両の安全かつ円滑な走行を確保することが第一の目的であるとともに、降雨、地震等の自然現象によって生ずる落石によって道路の受ける被害、ならびに道路周辺の人命、財産に及ぶ被害を、建設時から供用期間中の長期間にわたり最小限にとどめる役割が課せられている。

施設による落石対策を実施するにあたり、以下事項を常に考慮しなければならない。

- ① 使用目的との適合性
- ② 構造物の安全性
- ③ 耐久性
- ④ 施工品質の確保
- ⑤ 維持管理の確実性および容易さ
- ⑥ 環境との調和
- ⑦ 経済性

(落石対策便覧 H29-P103～104 参考)

### **2. 落石対象施設の照査**

#### **2.1 経験・実績に基づく照査手法**

これまでに十分な実績のある従来型ポケット式落石防護網及び従来型落石防護柵の設計にあたっては、これまでの経験・実績等を踏まえて、「落石対策便覧 H29 5-2～5-4」の規定、5-5、5-6に示された慣用設計法に従って設計・施工し、「落石対策便覧 H29 第6章」に基づいて維持管理を行えば、落石防護施設の性能照査を行ったとみなしてよい。(落石対策便覧 H29-P146 参考)

#### **2.2 落石予防施設の性能照査**

落石予防施設に関しては、供用中に点検等により対策効果が維持されていることを確認するとともに、予防施設に変状等が生じた場合には必要に応じて通行規制や補修・補強等が行われることを前提に、各工種の特性を踏まえ適切な工種を選定し、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てよい。(落石対策便覧 H29-P105 参考)

#### **2.3 従来型以外の落石防護柵、ポケット式落石防護網の採用における留意点**

従来型以外の落石防護柵およびポケット式落石防護網を採用する場合は、所定の要求性能を満足するよう、落石対策便覧 H29 「5-1-6 照査方法」により照査を行う。



## 第4節 落石予防施設の設計

第2節2.で示したとおり落石予防施設には様々なものがあるが、ここでは、落石の発生に対して予防的な機能を発揮する施設として従来から広く採用されている落石防護網について示す。

### 1. 覆式落石防護網（県仕様）

近年では部材の開発や改良、ワイヤーロープ掛けとの組み合わせによる対策等も提案されてきているが、ここでは、従来用いられているひし形金網とワイヤーロープから構成され、形状寸法もほぼ定型化している覆式落石防護網について示す。

#### 1.1 設置基準

- (1) 覆式落石防護網の標準については、図 12.1.3 のとおりである。
- (2) 斜面最下部のサブアンカーは、地形に応じて必要な箇所に設置する。
- (3) 覆式落石防護網の型式は、Ⅰ～Ⅲの3型式とし、幅 4.0m×法長 10.0m=40 m<sup>2</sup>当りの想定落石重量、法長、法勾配により決定する。
- (4) その他の事項については、「落石対策便覧 H29 4-16 覆式落石防護網」によるものとする。

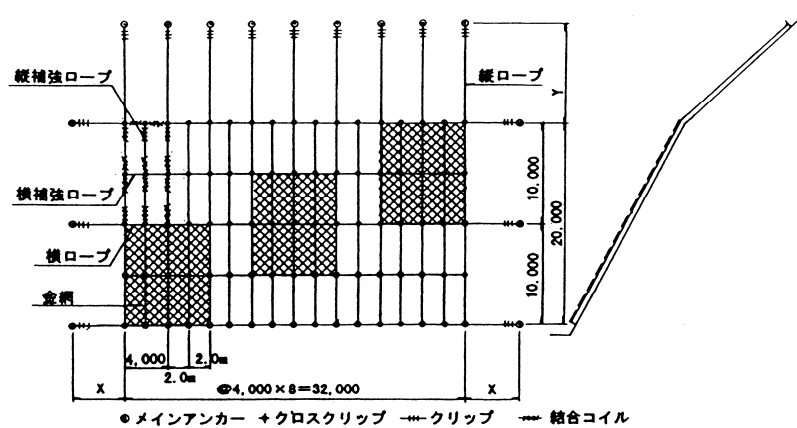


図 12.1.3 概略図（参考図）

#### 1.2 設計

- (1) 設計フローチャート

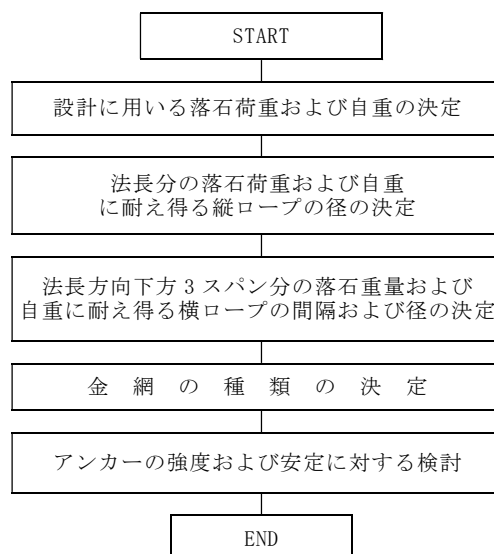


図 12.1.4 設計フローチャート（落石対策便覧 H29-P132 参考）

(2) 型式の選定

幅 4.0m×斜面長 10.0m=40 m<sup>2</sup>当りの想定落石重量より、型式の選定を行う。

表 12.1.4 落石重量と型式

型 式	想定落石重量 (40m <sup>2</sup> 当り)
I 型	14.70kN
II 型	9.80kN
III 型	4.90kN

(3) ロープに作用する荷重

1) 縦ロープに作用する荷重

$$W_1 : \text{落石荷重 (kN)} \quad (W_1 = W_1 a \times \frac{H}{10})$$

$$W_2 : \text{覆式落石防護網自重 (kN)} \quad (W_2 = W_2 a \times l \cdot H)$$

$W_1 a$  : 40m<sup>2</sup> 当りの落石重量 (kN)

$W_2 a$  : 覆式落石防護網の単位重量 (表 12.1.7)

$l$  : 縦ロープ間隔 (4.0m)

$H$  : 斜面長 (m)

$$W_I : \text{縦ロープにかかる荷重 (kN)} \quad (W_I = K (W_1 + W_2))$$

$K$  : 斜面勾配による補正係数 (表 12.1.8)

表 12.1.5 覆式落石防護網の自重( $W_2a$ ) ※参考

型 式	標 準 重 量
I 型	69N/m <sup>2</sup>
II 型	48N/m <sup>2</sup>
III 型	30N/m <sup>2</sup>

表 12.1.6 斜面勾配による補正係数(K)

法勾配 (角度)	補正係数 (K)
1 : 1.0 ( 45° )	0.354
1 : 0.8 ( 51° 20' )	0.468
1 : 0.7 ( 55° )	0.532
1 : 0.6 ( 59° 02' )	0.600
1 : 0.5 ( 63° 23' )	0.670
1 : 0.4 ( 68° 12' )	0.743
1 : 0.3 ( 73° 18' )	0.814

$$K = \sin \theta - \mu \cos \theta$$

$\theta$  : 法勾配 (角度)       $\mu$  : 落石と地面との摩擦係数 (=0.5)

2) 横ロープに作用する荷重

横ロープは法長方向の 3 スパン (10m×3=30m) の荷重を等分布荷重として受ける値を最大荷重と考える。

$$w = \frac{W_{II}}{l}$$

$$W_{II} = W'_1 + W'_2$$

$$V_A = V_B = \frac{wl}{2}$$

$$H_A = H_B = T_C = \frac{wl^2}{8f}$$

$$T_A = \sqrt{V_A^2 + H_A^2} = \sqrt{\left(\frac{wl}{2}\right)^2 + \left(\frac{wl^2}{8f}\right)^2} = \frac{wl}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2}$$

w : 等分布荷重

l : 縦ロープ間隔 (4.0m)

$W_{II}$  : 横ロープにかかる荷重 (kN)

$W'_1$  : l の幅と 3 スパンの長さで囲まれる斜面内の落石の重量 (kN)

$W'_2$  : l の幅と 3 スパンの長さで囲まれる斜面内の落石防護網の重量 (kN)

$T_A, T_B$  : 横ロープ端部の張力 (kN)

$T_C$  : 横ロープスパン中央の張力 (kN)

$H_A, H_B$  : 横ロープ端部張力の水平分力 (kN)

$V_A, V_B$  : 横ロープ端部張力の鉛直分力 (kN)

f : 横ロープのスパン中温位置での垂下量 (m) (f≒0.11 と仮定する)

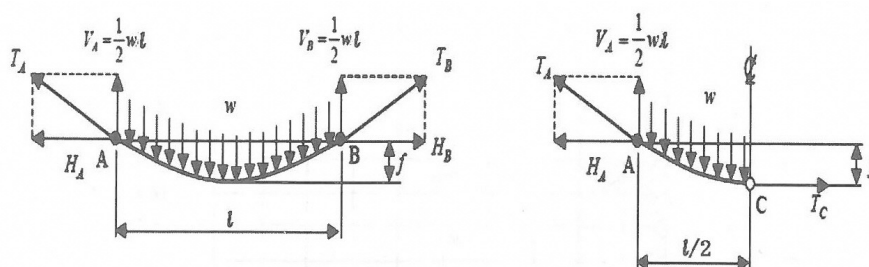


図 12.1.5 横ロープの受ける荷重 (落石対策便覧 H29-P134)

3) ワイヤロープの強度

ワイヤロープは、斜面内の落石の重量および自重に耐えなければならず、その安全率は表 12.1.7 に示すワイヤロープの破断荷重に対して2以上とする。(落石対策便覧 H29-P132 参考)。

表 12.1.7 ワイヤロープの破断荷重 (T<sub>b</sub>)

ロープ径 (mm)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	破断荷重 (kN)
18	129	157.0
16	101	118.0
14	78	98.1
12	59	68.6

(4) 金網に作用する荷重

金網には横ロープにかかる等分布荷重が作用するものとする。金網の安全率は 1.5 とする。(落石対策便覧 H29-P135 参考)

$$P_a = 2P_o \cdot \cos 42.5^\circ \times 1/1.5$$

$$P_o = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \sigma_a$$

$$n = 1/2 S \cdot \sin 42.5^\circ$$

P<sub>a</sub> : 線交差点強度 (N) (1.5 は安全率)

D : 素線径

P<sub>o</sub> : 金網素線の許容引張強度 (N)

S : 金網目合 (mm)

σ<sub>a</sub> : 素線の許容引張応力 (145N/mm<sup>2</sup>)

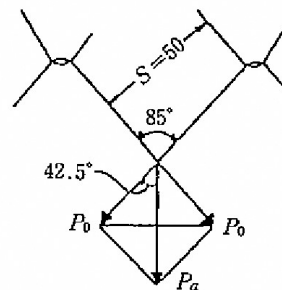


図 12.1.6 金網の形状

表 12.1.8 金網強度、張力

D 素線径 (mm)	P <sub>a</sub> 線交点強度 (N)	n 1m 当たりの 線交点数	P <sub>a</sub> · n 金網張力 (kN/m)
2.6	760	14.8	11.2
3.2	1,150	14.8	17.0
4.0	1,790	14.8	26.5
5.0	2,799	14.8	41.4

### 1.3 構造細目

- (1) 控長については、縦ロープ、横ロープとも 5m を標準とする。
- (2) 縦・横ロープ用アンカーは原則として良質な岩盤部を選定し岩用アンカーボルトを使用し、85 cm 以上岩碇着として角座金ナットにてワイヤーを地盤まで締付け、極力、せん断力で抵抗するよう設置するものとする。
- (3) せん断で抵抗させる場合の岩用アンカーボルトの許容せん断応力度については、施工の不確実性や衝撃的な荷重作用等を踏まえ、構造用鋼材および鋳鍛造品の許容応力度（短期）の 7 割程度とする。（落石対策便覧 H29-P168）
- (4) 土砂部で用いる打込アンカーの種類については、十分に検討を行い決定する。原則として現地で引張試験を行い実際の耐力を把握する。土砂中にコンクリートアンカーブロックを埋設する必要がある場合には、ロックネットで覆われる部分の高さ、法勾配、落石の大きさに応じてロープにかかる荷重が変化するため、コンクリートアンカーブロックの設計計算を行い決定する。
- (5) 金網重ね長は 20 cm を標準とし、許容範囲は -10 cm 以内とする。ただし、局部に凹凸があり部分的に許容範囲を超える場合は、補強を行わなければならない。
- (6) ロープ端の処理は巻付きグリップにて行う。
- (7) 結合コイルは最上段横ロープでは 1m に 3 個取り付け、縦横補助ロープでは共に 1m に 1 個取り付ける。なお、最上段横ロープについては、金網を 20 cm 折り曲げて結合させる。また金網の折り曲げ箇所は、亜鉛メッキ鉄線の  $\phi 1.2$  mm 以上で 30 cm 間隔にて緊結するものとする。
- (8) 堆石の除去等の維持管理上ないし下端横ロープ等の腐食抑制の観点から、金網の下端は 50cm 程度法尻位置より高くしている事例が多い。（落石対策便覧 H29-P131）

## 第5節 落石防護施設の設計

第2節3.で示したように落石防護施設には様々なものがあるが、ここでは、従来から多数構築されてきた落石防護柵、ポケット式落石防護網について示す。

### 1. 落石防護柵

落石防護柵には通常のワイヤーロープ金網タイプから高エネルギー吸収タイプなど様々な種類があるが、ここでは「落石対策便覧 H29-P171～172」に記載の従来型落石防護柵を県仕様の従来型落石防護柵として示す。

従来型落石防護柵以外の落石防護柵については、「落石対策便覧 H29 5-6」によるものとする。

#### 1.1 従来型落石防護柵の定義

自立支柱式（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、阻止面をひし形金網と多段のワイヤーロープで構成し、H 鋼の支柱を用いたものをいう。（落石対策便覧 H29-P172）

#### 1.2 従来型落石防護柵の設置基準（県仕様）

(1) 落石防護柵の高さは、落石の跳躍高さが一般的に 2m 以下（斜面直角方向）であるといわれている（落石対策便覧 H29-P175～176）。

落石防護柵の必要高  $h$  は、落石が柵天端付近に衝突した場合、支柱の傾斜や落石の回転等により柵を飛び越す現象も考えられるため、落石衝突高に対して最低柵高の 1/2 程度の余裕高を設けるのが良い（落石対策便覧 H29-P176 参考）

また、斜面勾配が斜面の途中で変化している場合あるいは斜面の凹凸が大きい場合などは、落石が落石防護柵を飛び越える可能性があるため、当該箇所における落石の発生実態や落石シミュレーション等の結果を踏まえて柵高を検討する。

(2) 中間支柱は H-200×100×5.5×8 を基本とし、支柱間隔は  $a=3.0\text{m}$  とする。

落石防護柵基礎の選定においては、設計計算上で中間支柱を H-200×100×5.5×8 の他に H-175×90×5×8、H-150×75×5×7 および H-125×60×6×8 を使用した場合を仮定して、それぞれの可能吸収エネルギーに対応した基礎形状を採用するものとする。この場合の設計には、落石防護柵の支柱、ロープおよびネットの荷重を考慮しないものとする。（県仕様）

(3) 落石エネルギーが県仕様標準設計の落石防護柵の可能吸収エネルギーを超える場合には、高エネルギー吸収タイプの防護柵工、落石予防工及びその組み合わせによる対策工を、別途検討するものとする。

(4) 落石防護柵の基礎形式は連続基礎とする。

地中連続基礎においては、延長 10m、あるいは施工継ぎ目地で区切られた区間を一体とみなしてよい（落石対策便覧 H29-P192 参考）

(5) ブロック積み天端に連続基礎タイプの落石防護柵を設置する場合の基礎形状は、基礎の前面勾配をブロック積みの前面勾配に合わせるものとし、ブロック積み擁壁の高さは、落石防護柵の基礎を含む高さとする。この場合、基礎の高さは原則として  $h_a=1.0\text{m}$  とし、標準の落石跳躍量 2.0m（斜面直角方向）に対して柵高が不足する場合には、柵高の変更あるいは基礎高の変更を検討し経済的な柵高と基礎高の組合せを採用する。

- (6) 標準設計の採用にあたっては、図 12.1.9 基礎タイプ選定フローチャートに基づき、表 12.1.13 基礎タイプ選定表より選定する。ただし、該当する基礎タイプがない場合には、設計条件に基づき別途検討するものとする。
- (7) 柵は連続構造とし、1 ブロックの長さは 60m 程度を限度とする（北陸地整 H24-P11-67）。なお、将来、土砂の堆積が想定される場合は、必要に応じて排土口等の土砂排出施設を設置することができる。また、柵の設置範囲や形状等については、将来の維持管理・点検作業が可能なよう留意して設計するものとする。
- (8) 落石防護柵の背面には、1.0～2.0m 程度の土砂溜を設けることとする。また、落石防護柵基礎の安定検討においては、背面土圧を含めた基礎の安定を確保するものとし、原則として裏込め土のすべり線が法面後方の地山にまでおよばないように柵背面の平場 W1 を確保するものとする（図 12.1.8 参照）。
- (9) 積雪地域においては、M16U ボルト付き中間支柱を使用し、最上段ロープと金網とを結合コイル（ $\phi 3.2 \times 50 \times 300$ ）を 1 個/m に用いて補強することを基本とする。ただし、積雪量が多く上弦材が必要と思われる箇所は、担当事務所との協議により設置できるものとする。
- また、積雪荷重の影響を無視できない場合は、積雪やなだれ等を必要に応じて考慮すること。この場合、積雪荷重と落石荷重は同時に考慮しなくてもよい。（落石対策便覧 H29-P178 参考）
- (10) 擁壁上の縦断勾配に沿って落石防護柵を設置する場合、縦断勾配の変化点に建て込む中間支柱のロープ止め金具にせん断力が作用するため、端末支柱を設けるか、ないしはロープ止め金具での補強等を考慮すること。また、内カーブ区間に落石防護柵を設置する場合、ロープ止め金具に引張力が作用するため、補強する必要がある（落石対策便覧 H29-P174～175 参考）
- (11) 端末支柱は、落石防護柵に落石が衝突した時にワイヤーロープ設置方向への張力をそのまま受けるので控え材（斜材）を設けて補強することを検討すること。（落石対策便覧 H29-P188 参考）
- (12) その他の事項については、「落石対策便覧 H29 5-6 落石防護柵」によるものとする。

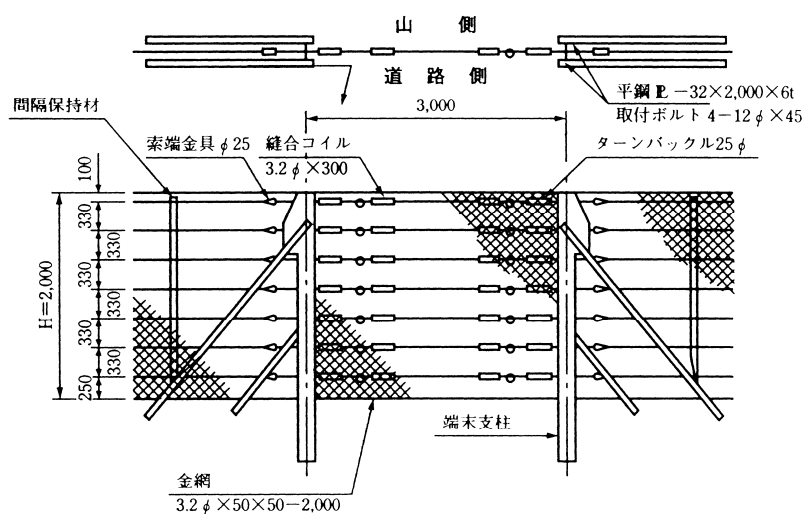
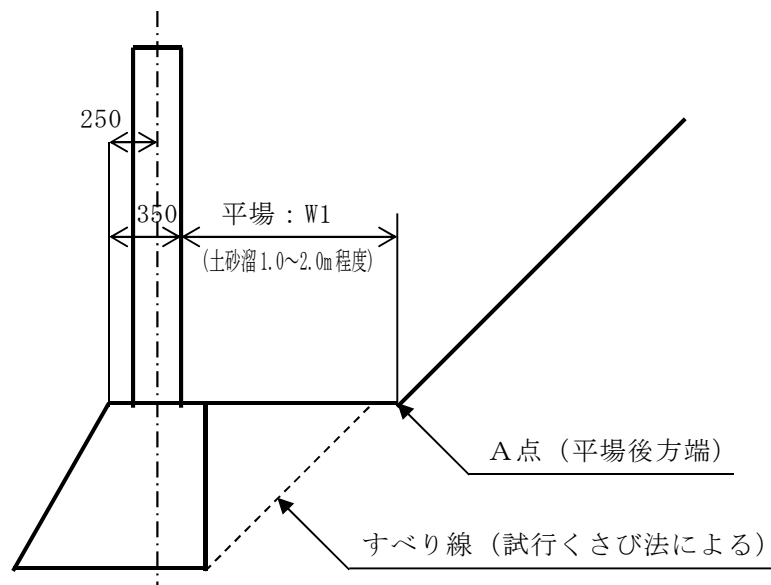


図 12.1.7 落石防護柵（ワイヤーロープ金網式）排土口参考図（端末支柱式）



※ 試行くさび法によるすべり線が、A点より後方に外れないように、平場を確保する。

図 12.1.8 防護柵背面の平場（県仕様）

### 1.3 従来型以外の落石防護柵の必要高の設定

従来型以外の防護柵については、落石衝突高に落石半径以上、かつ少なくとも 0.5m 程度の余裕高を設けるのが良い。ただし、斜面勾配が斜面の途中で変化している場合あるいは斜面の凹凸が大きい場合などは、落石が落石防護柵を飛び越える可能性があるため、当該箇所における落石の発生実態や落石シミュレーション等の結果を踏まえて柵高を検討する。（落石対策便覧 H29-P176 参考）



## 1.4 設計一般

### (1) 落石エネルギーの算定

(落石対策便覧 H29-P21 参考)

$$E = (1 + \beta) \cdot (1 - \mu / \tan \theta) \cdot W \cdot H \quad (\text{単位: kJ})$$

$\mu$  : 斜面の等価摩擦係数(下表参照)

$\theta$  : 斜面勾配 (°)

$\beta$  : 回転エネルギー係数 (0.1 としてよい)

注) 落石対策便覧 H29-P21 では、上式中の W を

$$W = m \cdot g \quad (m : \text{落石の質量(t)}, g : \text{重力加速度 (m/s}^2))$$

と表記している。

表 12.1.9 斜面の種類と等価摩擦係数  $\mu$  の値

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

(落石対策便覧 H29-P20)

### (2) 落石重量

落石の形状はさまざまであり、現地調査の結果により、体積、重量を算定するものとする。形状が球体として近似できる場合の算定式は、次式のとおりである。

$$W = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{R}{2} \right)^3 \gamma_s$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{6W}{\pi \gamma_s}}$$

ここで W : 落石重量(kN)

R : 落石直径 (m)

$\gamma_s$  : 落石の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

単位体積重量 ( $\gamma_s$ ) は現地で測定した値を用いて算出するのが望ましいが、測定が困難な場合は、単位体積重量を 26 kN/m<sup>3</sup> (2.6 t/m<sup>3</sup>) として算出してよい。(落石対策便覧 H29-P222 参考)

## 1.5 標準設計 (県仕様)

### (1) 設計フローチャート

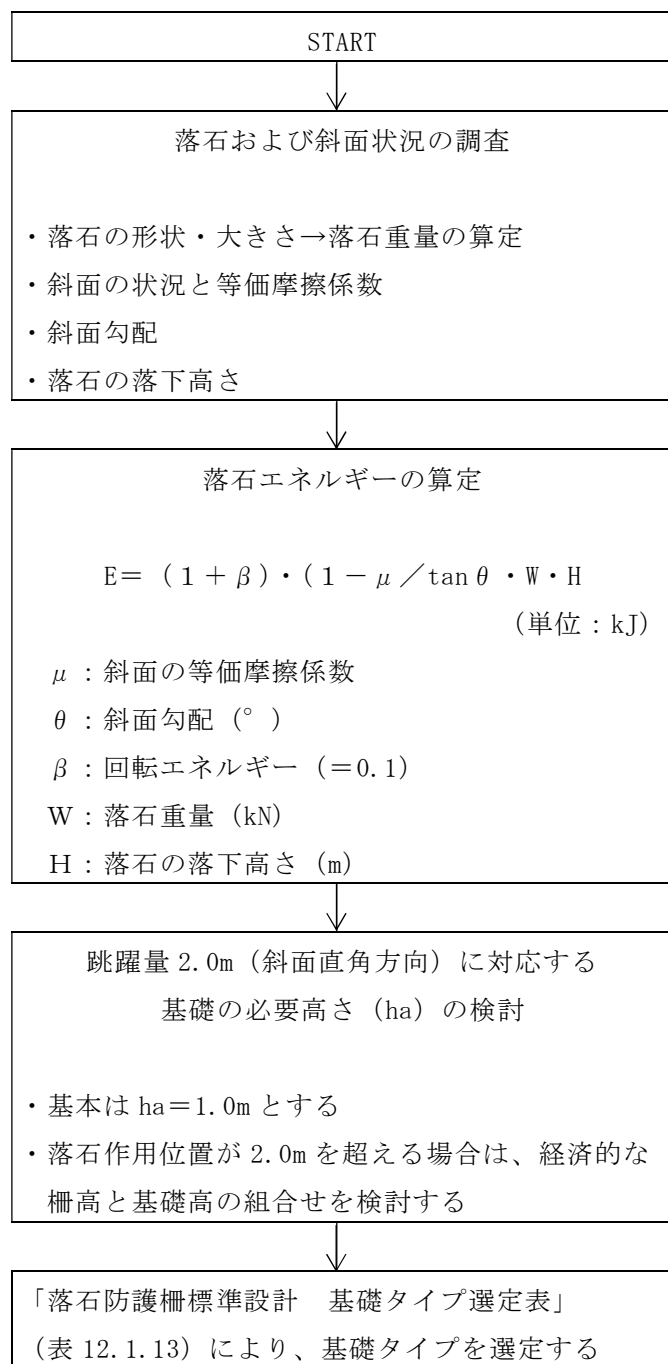


図 12.1.9 基礎タイプ選定フローチャート

(2) 適用範囲

標準設計は、柵高  $h=3.0\text{m}$  の従来型落石防護柵について、それぞれの落石エネルギーおよび落石跳躍量に対応した基礎形状を選定できるようにしたものである。

(3) 適用条件

本標準設計作成における設計条件は下記のとおりである。

1) 落石防護柵

柵高： $H=3.0\text{m}$ 、 支柱間隔： $a=3.0\text{m}$

一連の長さ（ロープ全長）： $L=9\text{m}$

2) ワイヤロープ

ロープ径： $\phi=3\times 7\text{ G}/0-18\phi$

弾性係数： $E_w=100,000\text{N}/\text{mm}^2$

3) 中間支柱

中間支柱全体	弾性係数	$E_H=200,000\text{ N}/\text{mm}^2$
	降伏点応力度	$\sigma=235\text{ N}/\text{mm}^2$
H-200×100×5.5×8	断面係数	$Z=181.0\text{ cm}^3$
	断面二次モーメント	$I=1810.0\text{ cm}^4$
H-175×90×5×8	断面係数	$Z=138.0\text{ cm}^3$
	断面二次モーメント	$I=1210.0\text{ cm}^4$
H-150×75×5×7	断面係数	$Z=88.8\text{ cm}^3$
	断面二次モーメント	$I=666.0\text{ cm}^4$
H-125×60×6×8	断面係数	$Z=65.5\text{ cm}^3$
	断面二次モーメント	$I=409.0\text{ cm}^4$

4) 基礎地盤

擁壁底面の摩擦係数： $\mu=0.60$

許容支持力度（常時）： $q=150\text{kN}/\text{m}^2$

5) 裏込め土

単位体積重量： $\gamma=19\text{kN}/\text{m}^3$

内部摩擦角： $\phi=30^\circ$

粘着力： $C=0\text{kN}/\text{m}^2$

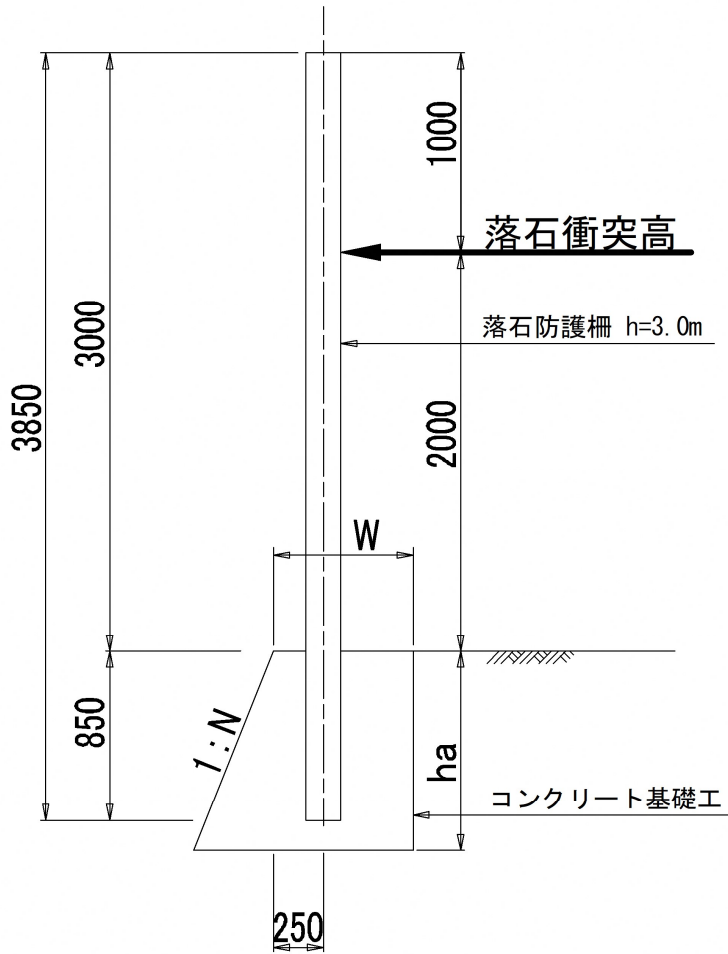
6) 基礎接合部

防護柵の根入れ長： $d=0.850\text{m}$

許容圧縮応力度： $\sigma_{ca}=6.75\text{N}/\text{mm}^2$

許容せん断応力度： $\tau_a=0.50\text{N}/\text{mm}^2$

表 12.1.10 落石防護柵標準設計 基礎タイプ一覧表



■ 検討条件

基礎底面の摩擦係数 :  $\mu = 0.60$

許容支持力度 :  $q = 150 \text{ kN/m}^2$

裏込め土 :  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$

$\phi = 30^\circ$

$C = 0 \text{ kN/m}^2$

有効抵抗長 :  $L = 10 \text{ m}$

基礎タイプ	柵高 (m)	ha (m)	W (m)	N	可能吸収エネルギー
A	3.0	1.0	0.5	0.4	33 kJ まで
B		1.0	0.6		37 kJ まで
C		1.0	0.8		44 kJ まで
D		1.0	0.9		50 kJ まで

基礎タイプ A : 中間支柱を H-125×60×6×8 (E=33.94 kJ) と仮定した場合

基礎タイプ B : 中間支柱を H-150×75×5×7 (E=37.23 kJ) と仮定した場合

基礎タイプ C : 中間支柱を H-175×90×5×8 (E=44.28 kJ) と仮定した場合

基礎タイプ D : 中間支柱を H-200 × 100×5.5×8 (E=50.54 kJ) とした場合

※ 基礎高を高くすることよりも、支柱を高くすることが経済的であることから、本構造を基本構造とした。

※ 基礎の高さは  $h_a = 1.0 \text{ m}$  を基本とし、落石衝突高が  $2.0 \text{ m}$  を超える場合や、現地条件に応じて柵と基礎の高さを検討し、経済的な柵高と基礎高の組合せを採用する。

## 2. ポケット式落石防護網

ポケット式落石防護網には通常のワイヤーロープ金網タイプから高エネルギー吸収タイプなど様々な種類があるが、ここでは「落石対策便覧 H29-P154」に記載の従来型ポケット式落石防護網について示す。

従来型ポケット式落石防護網以外のポケット式落石防護網については、「落石対策便覧 H29 5-5 ポケット式落石防護網」によるものとする。

### 2.1 従来型ポケット式落石防護網の定義

阻止面がひし形金網とワイヤーロープ、支持部材が H 鋼支柱、ワイヤーロープ及び基礎から構成され、形状寸法がほぼ定型化している構造のもの。(落石対策便覧 H29-P154 参考)

### 2.2 設計の考え方

主部材の弾性変形による吸収エネルギーの他、その他部材の吸収エネルギー及び残存する振動等によるそれ以外の吸収エネルギーを、落石の衝突前後のエネルギー差  $E_L$  により便宜的に代表させ、これらを合算するものである。この可能吸収エネルギーが、落石の持ち込む運動エネルギーを上回ることを確認することで、安全性の照査とする。

可能吸収エネルギー  $E_T$  は 150kJ 以下、落石の衝突前後のエネルギー差  $E_L$  の算出に用いるポケット式落石防護網の質量として有効とする範囲は、幅 12m 以下×高さ 12m 以下とする。(落石対策便覧 H29-P161～162 参考)

## 2.3 設置基準

- (1) 従来型ポケット式落石防護網の標準については、図 12.1.10 のとおりである。
- (2) 斜面最下部のサブアンカーは、地形に応じて必要な箇所に設置する。
- (3) ポケット式落石防護網の型式は、Ⅰ～Ⅲの3型式とし、設計計算により決定する。ただし、積雪地域については、支柱の規格を上げた積雪仕様とする（その他については、標準仕様と同一）。また、標準地仕様の形式Ⅲは、積雪地には使用しないものとする。（表 12.1.14 参照）
- (4) ポケット式落石防護網の支柱基礎はヒンジ式を原則とする。なお、埋込式を採用するに当たっては、十分に検討し、選定を行う。
- (5) 落石の作用位置は図 12.1.10 に示すとおり、高さ方向は上端横ロープと2段目の横ロープのネット中央とし、縦ロープ方向は支柱間隔中央とする。一方、落石の衝突方向は阻止面（金網）に直角とする。（落石対策便覧 H29-P162 参考）
- (6) 堆石の除去等の維持管理上ないし下端横ロープ等の腐食抑制の観点から下端は 50cm 程度法尻位置より高く設置している事例が多い。（落石対策便覧 H29-P156 参考）
- (7) その他の事項は「落石対策便覧 H29 5-5 ポケット式落石防護網」によるものとする。

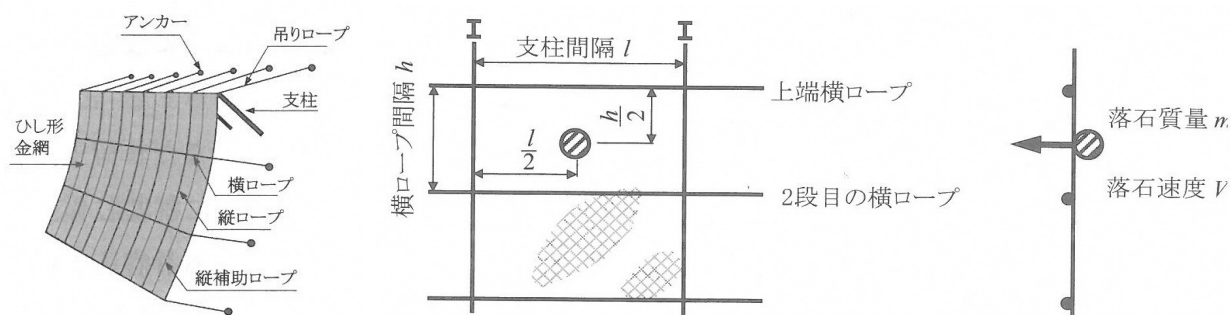


図 12.1.10 従来型のポケット式落石防護網 概略図（落石対策便覧 H29-P154、P163 参考）

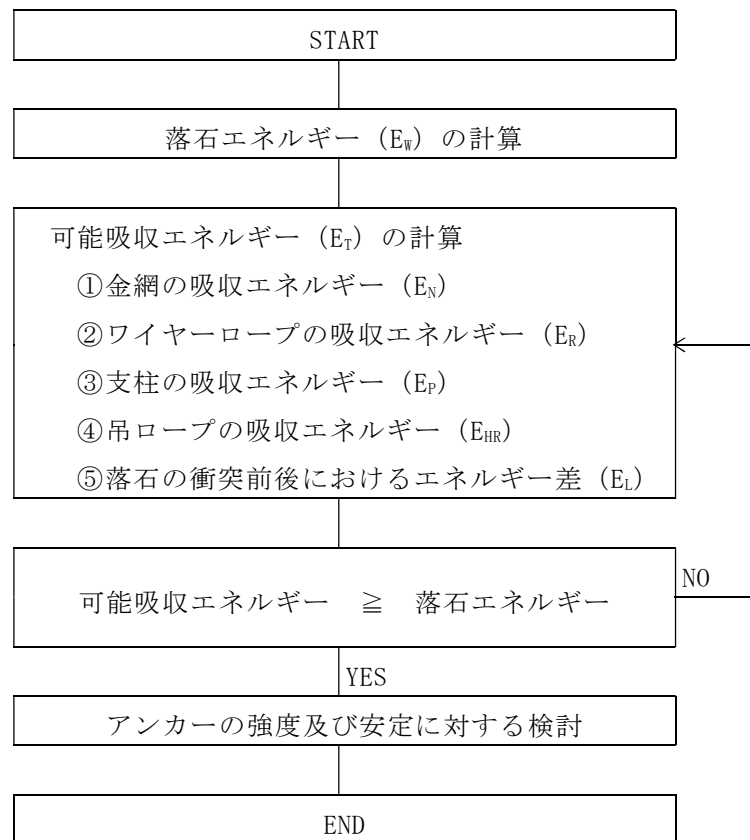
表 12.1.11 ポケット式落石防護網の型式別部材（岐阜県仕様）

部材名		型式	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型
金網			φ 5.0×50	φ 4.0×50	φ 3.2×50
結合コイル			φ 4.0	φ 4.0	φ 3.2
縦ロープ			φ 18	φ 16	φ 14
横ロープ			φ 18	φ 16	φ 14
吊ロープ			φ 18	φ 16	φ 14
補助ロープ			φ 14	φ 12	φ 12
支柱 (ヒンジ式)	標準地		H-100×100 ×6×8	H-100×100 ×6×8	H-100×100 ×6×8
	積雪地		H-125×125 ×6.5×9	H-125×125 ×6.5×9	—

※ 部材は原則として亜鉛メッキ仕様とする。

## 2.4 設計

### (1) 設計フローチャート



(2) 設計計算

(落石対策便覧 H29-P162～167 参考)

1) 落石エネルギー ( $E_w$ ) の算定

$$E_w = (1 - \mu / \tan \theta) \cdot W \cdot H$$

ここに、

$E_w$  : 落石エネルギー (kJ)

$W$  : 落石の重量 (kN)

$H$  : 落石発生源から衝突位置までの落差 (m)

$\mu$  : 等価摩擦係数 (表 12. 1. 12 参照)

$\theta$  : 落石発生源から衝突位置までの平均斜面勾配 (°)

2) 可能吸収エネルギー ( $E_T$ ) の算定

$$E_T = E_N + E_R + E_P + E_{HR} + E_L$$

ここに、

$E_N$  : 金網の吸収エネルギー (kJ)

$E_R$  : 上端横ロープ及び 2 段目の横ロープの吸収エネルギー (kJ)

$E_P$  : 支柱の吸収エネルギー (kJ)

$E_{HR}$  : 吊ロープの吸収エネルギー (kJ)

$E_L$  : 衝突の前後におけるエネルギー差 (kJ)

3) 落石の衝突前後のエネルギー差 ( $E_L$ )

$$E_L = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot E_w$$

ここに、

$E_w$  : 落石の持ち込む運動エネルギー

$m_1$  : 落石質量

$m_2$  : ポケット式落石防護網の質量

※ $E_L$ を算出する際の $m_2$ として有効となる範囲は幅 12m×高さ 12m 以下とする。

(3) 材料強度

1) ワイヤロープ・金網の強度

ワイヤロープの安全率について、横ロープは 2 以上 (落石対策便覧 H29-P165)、吊ロープは構造全体を支える重要な部材であるとともに、落石の直撃を受ける可能性も高いことから 3 以上とする (落石対策便覧 H29-P166)。ワイヤロープ、金網の強度は表 12. 1. 7、表 12. 1. 8 を参照。

2) アンカーの強度

① 岩盤用アンカー

せん断で抵抗させる場合のアンカーボルトの許容せん断応力度については、施工の不確実



性や衝撃的な荷重作用等を踏まえ、構造用鋼材および鋳鍛造品の許容応力度（短期）の7割程度とする。（落石対策便覧 H29-P168）

②土砂用打込みアンカー、コンクリートアンカーブロック

土砂用打込みアンカー、土砂中に埋設されるコンクリートアンカーブロックは本章第4節、1.3(4)に準じる。

③支柱（ヒンジ式）アンカー

a)岩部用

D22×1,000      2本

b)土砂用

本章第4節、1.3(4)に準じる。

(4) 積雪地仕様

積雪地のポケット式落石防護網工については、金網と法面の間に雪が入込み金網への影響が大きいため、支柱を緩斜面に設置し、極力空間を少なくする。

また、近接斜面における積雪・堆雪状況等を踏まえ、必要に応じて積雪荷重を考慮する。（落石対策便覧 H29-P157 参考）

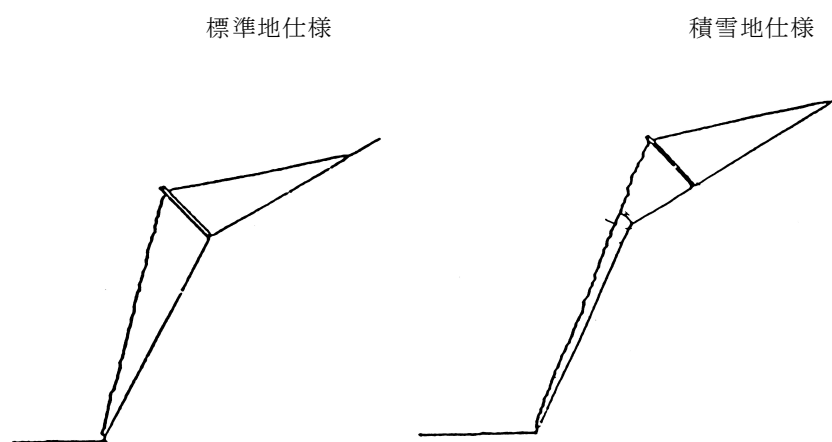


図 12.1.11 積雪地仕様の概略図