第2章　　道 路 防 災

第2章　道 路 防 災

2.1　落石防護柵類 …… 2-2-1
2.1.1　覆式落石防護網 …… 2-2-1
2.1.2　従来型落石防護柵 …… 2-2-6
2.1.3　その他 …… 2-2-12
2.2　雪崩対策施設 …… 2-2-13
2.2.1　雪崩対策施設 …… 2-2-13
2.2.2　予防柵 …… 2-2-15

第2章　道 路 防 災

2.1　落石防護柵類

2.1.1　覆式落石防護網

(1)　適用範囲

覆式落石防護網は、落石および崩落の危険性のあるのり面(地山)を、金網で覆い、上部および周辺部のアンカーに固定したワイヤロープで補強した構造物である。また、落石および崩落の発生を未然に防ぎ、転石となったものをのり面(地山)と金網の間を通して跳石とならないようにのり尻に導くという効果を目的としている。

(2)　設計条件

1)　落石荷重

落石荷重は、現場条件(落石の量、形状等)を勘案し決定するが、網面積１スパン40m^2(網幅4m、のり長10m)につき5,000N、10,000N、15,000Nの3種類とする。

2)　落石防護網の自重

落石防護網の自重は、表2.1.1のように定める。

表2.1.1

型　　式	標準重量 (N/m^2)	素線径(mm)
A型(5,000N)	37 (26※)	3.2 (2.6※)
B型(10,000N)	37	3.2
C型(15,000N)	54	4.0

※2.6mmは仮設工事の場合（法勾配1:1.1より急な場合は3.2mm以上）

（参考　のり長20m、水平距離32m、架設面積640m^{2}を基準として算出したものである。）

3)　ワイヤロープの破断荷重および安全率

縦ロープおよび横ロープに使用するワイヤロープの径、および破断荷重は表2.1.2のように定める。又、計算に当たっての安全率は破断荷重に対して2以上とする。

表2.1.2

ロープ径(mm)	破 断 荷 重(kN)
12	68.6
14	98.1
16	118
18	157

4)　金網用素線の引張り強さは290～540N/mm^2(JIS G 3547)とし、応力計算に当たっては、許容応力度145N/mm^{2}とする。

5)　メッキ処理について

落石防護網を計画する場合、設置位置の環境や設置する落石防護網に要求される耐用年数等を考慮し、表面処理（亜鉛系メッキ、樹脂系塗装等）を検討する。

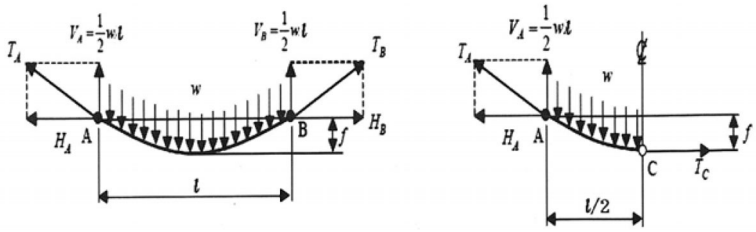
(3)　設計方法

1)　縦ロープの設計

縦ロープは縦ロープ1スパン(4m)ののり長総延長分の落石重量および自重に耐えなければならない。この場合の落石荷重は設計荷重とする。なおロープの最小径は12㎜とする。

2)　横ロープの設計

横ロープはのり長方向下方3スパンの落石重量および自重を等分布荷重として受けるものとし、それに耐えなければならない。なお、ロープの最小径は12㎜とする。



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

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

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

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

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

W'_1：　ℓの幅と3hの長さで囲まれる斜面内の落石の重量（kN）

W'_2：　ℓの幅と3hの長さで囲まれる斜面内の落石防護網の重量（kN）

W_{II}：　横ロープにかかる荷重（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央位置での垂下量（m）（f≒0.1ℓと仮定する）

図2.1.1

3)　金網の設計

①　金網にかかる荷重は横ロープにかかる荷重と同様とし、使用する金網の径、および線交差点強度は表2.1.3、有効張力は表2.1.4のように定める。

又、計算に当たっての安全率は有効張力に対して2以上とする。

表2.1.3

素線径 (mm)	断面積 (mm^2)	許容応力度 (N/mm^2)	線交差点強度 (N)
2.6	5.3	145	760
3.2	8.0	145	1,150
4.0	12.6	145	1,790

金網の目合は図2.1.2に示す諸元となっているので、金網の線交差点強度は次式で求められる。

$P=2P_0\cdot\cos42.5\times1/1.5$　　（ここで、1.5は安全率、Dは素線径）

$P_0=\pi/4\times D^2\times\sigma a$

② 金網の最小線径

短期間の仮設工事に使用するもの以外の最小金網線径は施工性を考慮し、φ3.2mmとする。
尚、短期間の仮設工事においても、法勾配が1:1より急な場合は上記に準ずるものとする。

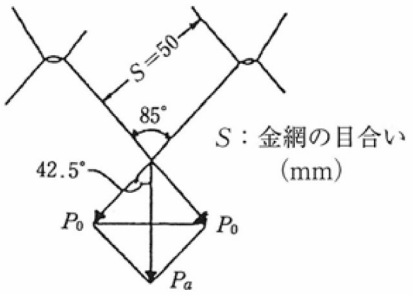


図2.1.2

表2.1.4

素線径(mm)	金網幅	線交差点数	P×n (N)	1m当たりの金網張力
2.6			760×14.8	11.2kN/m
3.2	1.0m	14.8	1,150×14.8	17.0kN/m
4.0			1,790×14.8	26.5kN/m

金網1m当たりの線交差点数

$n=1000/(2\cdot S\cdot \sin\theta)$

$=1000/(2\times 50\times \sin 42.5^\circ)$

$=14.8$

表2.1.5

金網幅	線交差点数
1.0 m	14.8

4) 落石が網と地面の間を動くときに地山と落石との間に摩擦力が働くため、摩擦力および斜面勾配によって次のように補正する。

$W_A=T-\mu R$

$=(\sin\theta-\mu\cos\theta)W$

W_A ：実際に作用する荷重（kN）

W ：落石重量、落石防護網自重（kN）

μ ：落石と地山との摩擦係数(≒0.5)

θ ：斜面勾配（度）

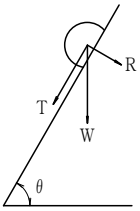


図2.1.3

5) アンカーは、主アンカーと補助アンカーの両方総称である。
アンカーには、縦ロープおよび横ロープの荷重がかかるものとして強度および安定計算を行う。

(4) アンカー

落石荷重(落石防護網の自重を含む)は、縦ロープを通してアンカーに作用するものであり、アンカーはこの荷重に対して充分な耐力を有していなければならない。

この耐力は、アンカーの材質、形状、寸法等のほか、施工箇所の地盤条件(地質、土質、土の力学的性状)によって変化するものであって、アンカーの設定にあたっては、まず支持地盤の判別が必要である。特に土中用アンカーの場合、土のせん断強さによる影響が甚だしく大きいため、その判断には細かい注意を要する。

落石時のせん断許容応力度は、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。

【解　説】

(1) 主アンカー、補助アンカー

1) 主アンカー

落石荷重を支えるものであり、本編はこの主アンカーの選定を目的としている。

2) 補助アンカー

ロープの定着等、施工上必要なものである。

(2) 主アンカーの分類

1) 土中用アンカー

パイプアンカーを使用するものとする。(平均N値に基づきパイプアンカーの長さを決定する)

2) コンクリート･アンカー

作用荷重が土中用アンカーの範囲を超えて大きい場合に適用され､コンクリートブロックを基礎とするものをいう。

3) 岩盤用アンカー

樹脂アンカーを使用する。(本数の決定については現場引抜き試験を行った上確認する)

1.　設計計算例

(1)　落石防護網B型(10,000N)

1)　設計条件

落石荷重　　$40m^2$について10,000N

の り 長　　70m

斜面勾配　　5分＝63°26’

2)　計算

①　縦ロープ(径16mm)

落石荷重	$W_1=10,000N\times\frac{70m}{10m}$	＝70,000N
自重	$W_2=37N/m^2\times4m\times70m$	＝10,360N
補正係数	$K=\sin63°26'-0.5\times\cos63°26'$	＝0.67
縦ロープにかかる荷重	$W_I=K(W_1+W_2)$	＝53,842 N
縦ロープの安全率	$F_1=\frac{T_b}{W_I}=\frac{118(kN)}{53.842(kN)}$	＝2.19＞2･････････････ OK

②　横ロープ(径12mm)

落石荷重	$W'_1=10,000N/1スパン\times3スパン$	＝30,000N
自重	$W'_2=37N/m^2\times4m\times30m$	＝4,440N
補正係数	$K=0.67$	
横ロープにかかる荷重	$W_{II}=K(W'_1+W'_2)$	＝23,075N
分布荷重	$w=\frac{W_{II}}{\ell}=\frac{23,075(N)}{4}$	＝5,769N/m
サグ	$f\fallingdotseq0.1\times\ell=0.1\times4$	＝0.4m
横ロープ端部張力の鉛直分力	$V_A=V_B=\frac{w\ell}{2}=\frac{23,075(N)}{2}$	＝11,538N
横ロープ端部張力の水平分力、横ロープスパン中央の張力	$H_A=H_B=T_C=\frac{w\ell^2}{8f}=5,769(N/m)\times\frac{4^2}{8\times0.4}$	＝28,845N
横ロープ端部の張力	$T_A=\sqrt{(V_A^2+H_A^2)}=\sqrt{(11,538^2+28,845^2)}$	＝31,067N
横ロープの安全率	$F_2=\frac{T_b}{T_A}=\frac{68.6(kN)}{31.067(kN)}$	＝2.21＞2･････････････ OK

③　金網(3.2mm×50mm×50mm)

金網にかかる荷重は横ロープと同様に考えるので

金網にかかる荷重　$W_{II}=23,075N$

金網の有効張力は　68kNであるから、

金網の安全率　$F_3=\frac{T_N}{W_{II}}=\frac{68(kN)}{23.075(kN)}$　＝2.95＞2･････････････ OK

2.1.2　従来型落石防護柵

(1)　一般事項

落石防護柵は、原則として小規模落石対策用に設置するものとし、設計は下記事項に留意する。

1)　型式は、自立支柱式とし、原則として斜面の最下部に設置する。
2)　柵は、鉛直とする。
3)　柵高は、地形状況、設置位置等を考慮して、落石の跳躍量より決定する。
4)　端末支柱は、控え材等により補強する。
5)　柵上部には必要に応じて上弦材を設けてもよい。
6)　柵は連続構造とする。ただし、1ブロック長は60m程度を限度とする。
7)　支柱間隔は、概ね3.0mを標準とする。
8)　使用材料は、表2.1.6を標準とする。

表2.1.6　材料規格

部　材　名	規　　格
支　　柱	H型鋼(SS400)
ワ イ ヤ ロ ー プ	3×7G／0
金　　網	φ3.2×50×50

9)　メッキ処理について
　落石防護柵を計画する場合、設置位置の環境や設置する落石防護柵に要求される耐用年数等を考慮し、表面処理（メッキの種類・規格）を検討する。
10)　材料の許容応力度は第１集第２章を準用する。
11)　間隔保持材を取り付けることを標準とする。

【解　　説】

落石防護柵は、大規模な落石に対処するため、落石防護網と併用して設置される場合あるが、単独で設置する場合は、一般に小規模落石対策用として設置される例が多い。本要領では、後者に対し適用する。

(1) 防護柵には、自立支柱式・ワイヤロープ支持式･H鋼式など各種あるが、吸収エネルギー性能の高い自立支柱式を標準とする。また、設置位置は落石斜面の最下部を原則としたが、斜面が急な場合や落石速度が大きくなる場合は中段に設置することも有効であるので、現場条件および、斜面状況等を十分調査し、検討する。

(2) 柵は、落石防護の効果をあげるため、柵全体を傾斜させたり、曲柱を使用する例もあるが、冬期は柵上に堆雪をまねき、その荷重によって破壊するおそれがあるので、鉛直に設置することを原則とする。

(3) 落石防護柵は、その許容変位量内で落石エネルギーを吸収できるように部材断面、部材配置及び基礎の安定について検討しなければならない。

　落石防護柵の必要高さは、落石の跳躍量により決定される。図2.1.4および図2.1.5に示す跳躍量h_1は、斜面の凹凸が大きい場合を除いて一般的に2m以下であるといわれている。標準としては跳躍高さh_1＝2mとし、最低柵高は、図2.1.5 (b) (c)のようにh_2-d=(2sec θ-d)mとする。ここで、d：基礎の高さである。ただし、同図(d)のように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等には、落石が落石防護柵を飛び越える可能性があるので、設置位置、柵高の設定には注意を要する。このような場合には、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、落石跳躍高の設定を行うのがよい。

　また、従来型落石防護柵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飛び越す現象も考えられるので同図(e)に示すように最低柵高の1/2程度の余裕高を設ける必要がある。

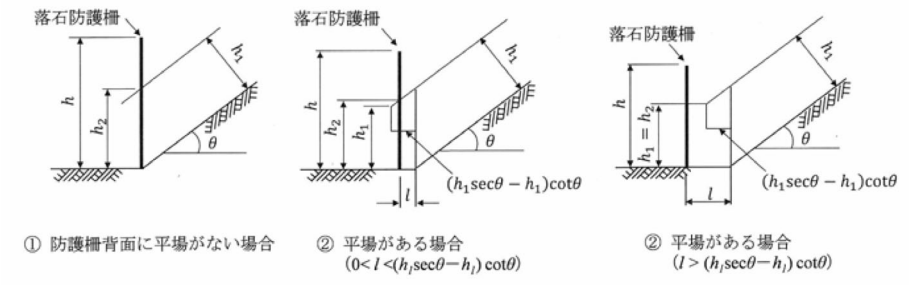


図2.1.4　落石の跳躍高の計算条件

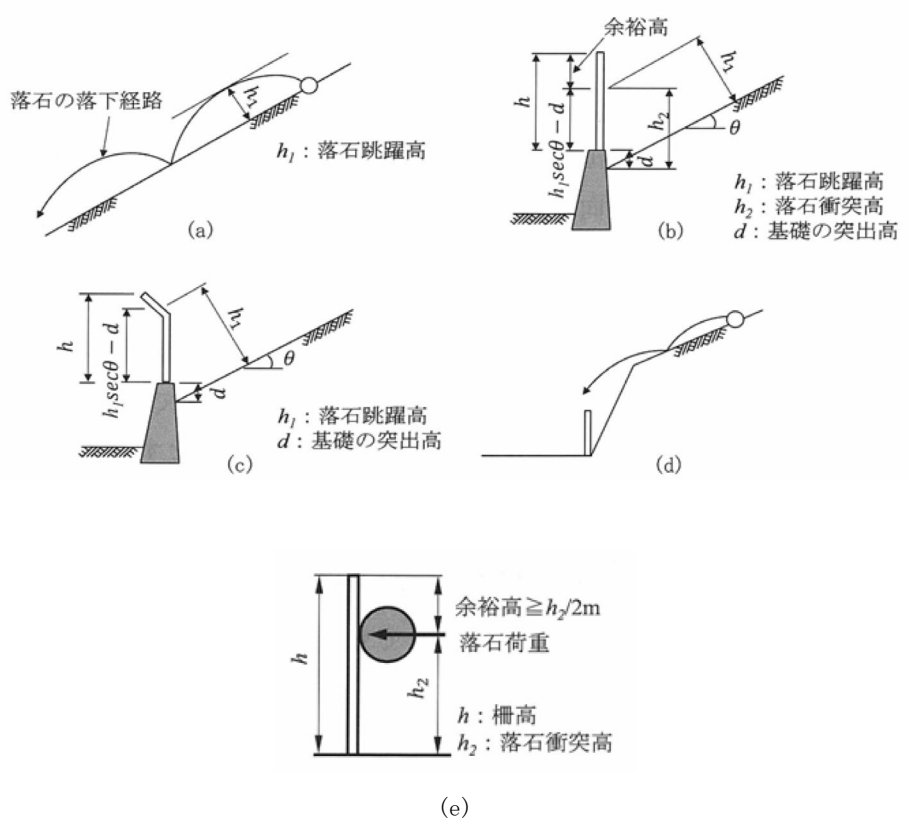


図2.1.5　落石の落下経路と防護柵の高さ

(4) 端末支柱は、柵に落石が衝突した時にロープ方向への張力をそのまま受けることとなるので弱点となりやすい。このため、端支柱には控え材等を設けて補強する。

(5) 落石防護柵を、斜面からの落雪によって破損する可能性が高い箇所に設置する場合は、耐雪型（上弦材付き）の採用を検討する。

(6) 柵の1ブロック長は、端支柱の強度や破損時の取替え等を考慮し、20～60m程度を原則とする。

(7) 支柱間隔は、支柱とロープの合理的組合せから決まるが、落石荷重や部材断面等から合理的スパンと考えられる3.0mを標準とした。

(2)　作用荷重

設計に用いる荷重は下記による。

(1) 落石荷重の作用位置は図2.1.6のとおりとし、衝突方向は柵に直角とする。

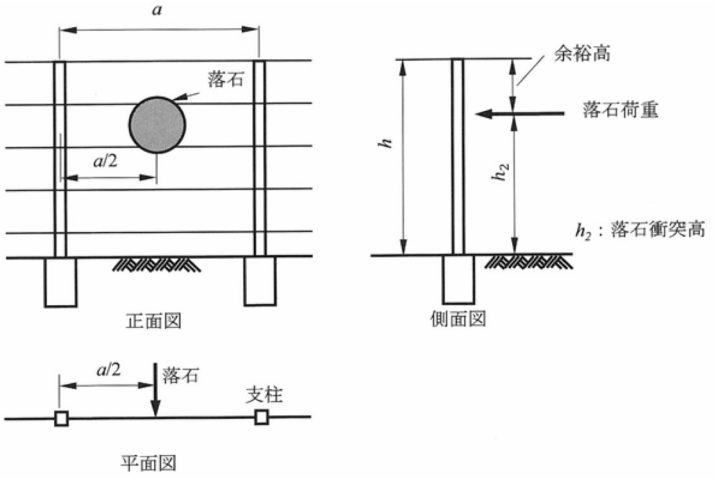


図2.1.6　落石荷重の作用位置

(2) 落石エネルギーは、次式により算定する。

$$E_i = (1+\beta)\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)W \cdot H$$

ここに、

$$(1+\beta)\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right) \leqq 1.0$$

E　：落石の運動エネルギー
β　：回転エネルギー係数(0.1としてよい)
μ　：等価摩擦係数
θ　：斜面勾配
W　：落石の重量(W＝mg)
H　：落石の落下高さ

落　石　お　よ　び　斜　面　の　特　性	μ
硬岩、丸状、凹凸小、立木なし	0.05
軟岩、角状～丸状、凹凸中～大、立木なし	0.15
土砂・崖すい、丸状～角状、凹凸小～中、立木なし	0.25
崖錐・巨礫まじり崖すい、角状、凹凸大～中、立木なし～あり	0.35

【解　　説】

上記内容は、「落石対策便覧」から引用したものである。

◇ 計算例

設計条件

斜面勾配　θ ：1：0.5(63°～26’)＞50°

落石重量　W：5kN

落下高さ　H：10m

落石の等価摩擦係数μ ：0.25(崖すい)

落石エネルギーE_i ：$1.1\times\left(1-\dfrac{0.25}{\tan 63^\circ\sim 26'}\right)\times 5\times 10=48\mathrm{kJ}$

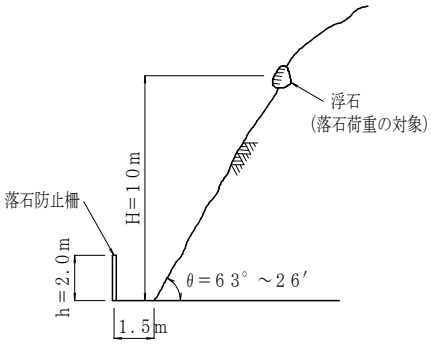


図2.1.7　設計条件

(3)　可能吸収エネルギー

柵の可能吸収エネルギーは、支柱の許容最大変位角を15°、ワイヤロープの許容最大伸び量を5%として次式により算定する。

$E_T=E_R+E_P+E_N$

E_T：落石防護柵の可能吸収エネルギー　(kJ)

E_R：ワイヤ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_N：金網の吸収エネルギー　(＝25kJ)

(注)E_RおよびE_Pの計算は「落石対策便覧」によるものとする。

【解　　説】

落石防護柵は、製造各社で製品販売されており、実際の設計では、それらの製品仕様に示された可能吸収エネルギーを参考に選定することとなるので、算定式の詳細は「落石対策便覧」によることとし、ここでは省略した。

(4)　基礎の設計

支柱の根入れ深さの1/2の点(A点)を中心として回転すると仮定し、その時の曲げモーメントは、

$$M=F_y\cdot\left(h_2+\frac{d}{2}\right)\quad F_y=\frac{\sigma y\cdot Z}{h_2}$$

σ_y：H型鋼の降伏点応力度(N/mm^2)

B点における曲げ応力度σは、

$$\sigma=\frac{F_y}{A}+\frac{M}{Z}$$

A　：支柱の根入れ部の面積(b×d)　(bはH鋼のフランジ幅)

Z　：断面係数（b×d^2/6)

となり、このσがコンクリートの許容曲げ圧縮応力度σ_aより小さければよい。

断面に発生するせん断応力度ｒは、次式で表される。

$$r=\frac{Fy}{2ld}$$

このrがコンクリートの許容押抜きせん断応力度r_aより小さければよい。

M　：曲げモーメント　(N･mm)

f_y　：支柱下端に塑性ヒンジが形成する時の落石荷重（N)

b.l.d.h：図2.1.8参照　(mm)

σ　：曲げ圧縮応力度　(N/mm^2)

A　：支柱の断面積　(mm^2)

Z　：支柱の断面係数　(mm^3)

r　：せん断応力度　(N/mm^2)

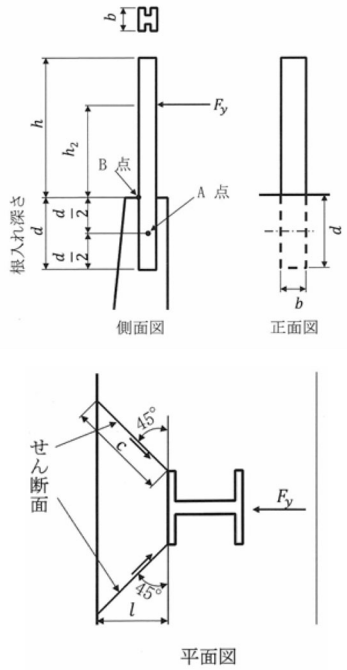


図2.1.8　設計の考え方

【解　　説】

柵の基礎を既往のコンクリート擁壁上に設ける場合は、擁壁自体の安全性を検討のうえ設ける必要がある。

落石荷重の載荷位置は、作用高さの位置とする。

(5)　構造細目

(1) ワイヤロープ
ワイヤロープの径は18㎜、構造3×7G／0とする。
保証破断荷重は157kN以上のものを使用する。

(2) 索端金具
索端金具はワイヤロープの保証破断荷重157kN以上の強さのものを使用する。

(3) 金網
金網はひし形金網で網目寸法は50×50㎜とし、線径は最低でもφ3.2㎜を使用する。

(4) ワイヤロープ止め金具(Uボルト)
ワイヤロープ止め金具はM12㎜のUボルトを使用する。
ただし、縦断勾配の変化点および内カーブ区間に使用する場合においても、同様とする。

(5) 間隔保持材
落石のワイヤロープ間のすり抜け防止のため、間隔保持材（ロープ滑り防止用突起付き）を用いる。

(6) 耐食性の検討
腐食しやすい環境の下では耐食性の高い材料を用いることが望ましい。

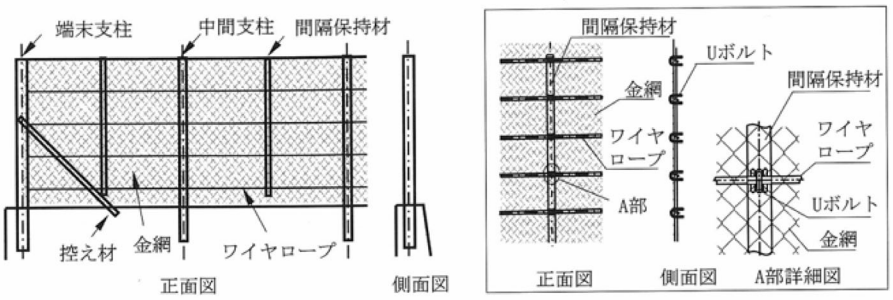


図2.1.9　従来型落石防護柵の構成部材

2.1.3　その他

(1)　その他

これまで述べた落石防護工は、静的な強度計算により設計される工法である。
近年、エネルギー計算により設計される工法のうち、高エネルギー吸収タイプの工法を採用する場合には、実証実験により性能照査が行われているか等を確認し、十分に検討を行う必要がある。
また、落石防護擁壁の要求性能の考え方については、「第１集 道路　第７章 擁壁　7.3.2 擁壁の要求性能」を参照すること。

(2)　設計対象落石径の決定と対策工法の選定

設計対象落石径については、既往資料（過去の調査結果、空中写真、被災履歴等）および現地調査等により適切に決定すること。
設定した設計対象落石径を超過する浮石等がある場合については、個別処理等も含め検討する必要がある。
落石対策工を検討する際、仮道、足場（階段工等）、情報ボックス等の支障物件の移設、浮石の個別処理、排土、将来的な維持計画等も含めた比較設計を行い決定する必要がある。

(3)　仮設落石防護柵

爆破作業現場が鉄道、道路、建物、電話線、送電線に接近しており、飛石により危険が伴う作業は危険防止工法を行わなければならない。
この場合地形、作業条件、岩質を考慮し、安全で経済的なものとする。

2.2　雪崩対策施設

2.2.1　雪崩対策施設

雪崩対策施設の工法選定に際しては、種々の条件を総合的に比較して決めるものとする。

【解　　説】

雪崩対策施設の計画・調査・設計・施工に関する基本的（原則的）な事柄については『除雪・防雪ハンドブック』(平成16年12月　(社)日本建設機械化協会）によるものとする。なお、雪崩対策に関しては、法面の緩勾配化や小段拡幅により対策施設そのものを不要とできる場合があるので熟慮のこと。

以下に、上記以外の参考文献および主な雪崩対策施設について添付する。

その他の参考文献

道路防雪便覧　平成2年5月　　(社)日本道路協会

PC道路防災構造物マニュアル　平成13年3月　北海道土木技術会　コンクリート研究委員会

北海道の地域特性を考慮した雪崩対策の技術資料(案)　平成22年3月(独)土木研究所寒地土木研究所

北海道における道路景観チェックリスト（案）　平成22年4月　(独)土木研究所寒地土木研究所

『除雪・防雪ハンドブック』(平成16年12月　(社)日本建設機械化協会）P117より抜粋

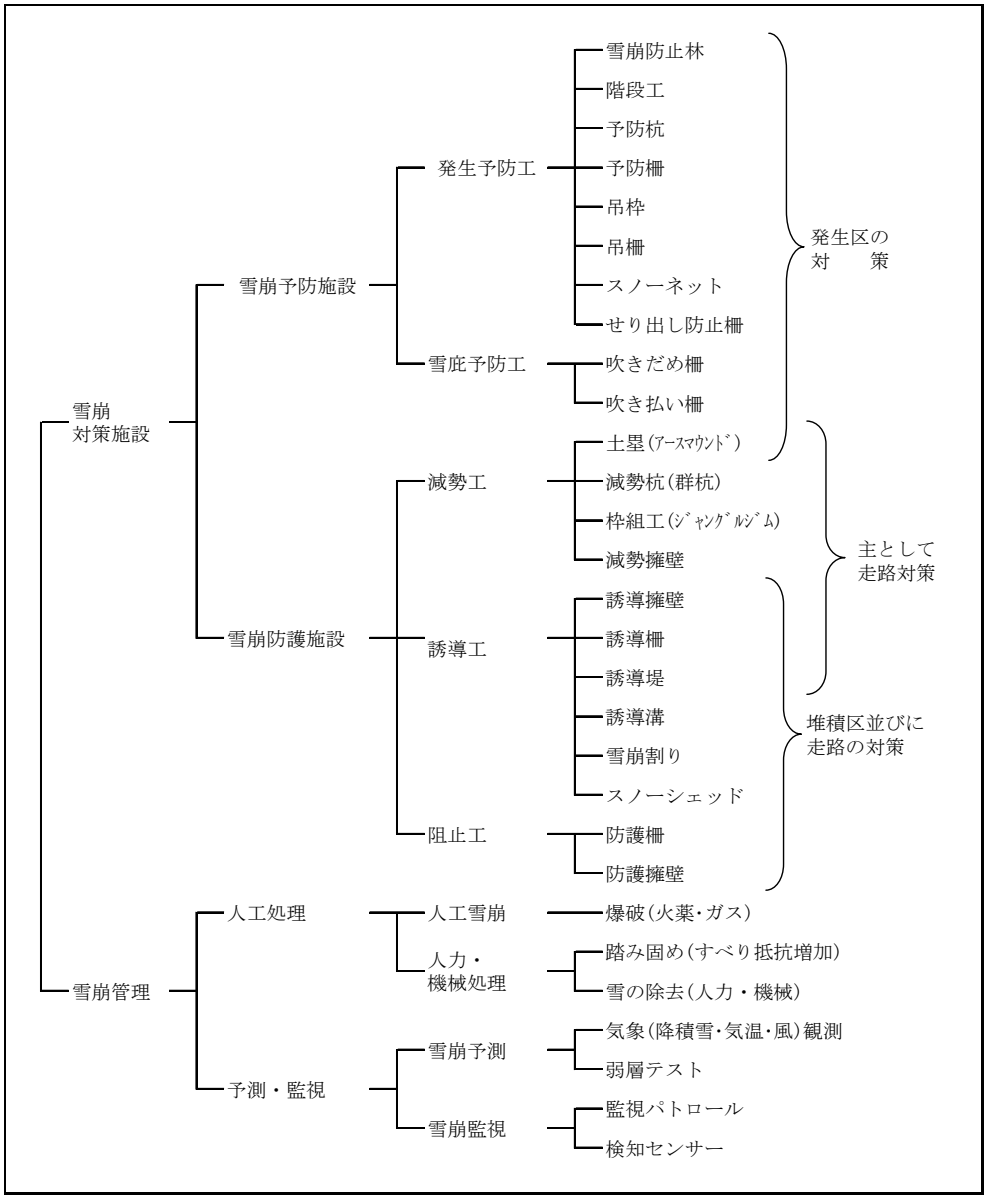


図2.2.1　雪崩対策施設

『除雪・防雪ハンドブック』(平成16年12月　(社)日本建設機械化協会) P167より抜粋

表2.2.1　発生区の対策工

要因 ＼ 対策工		雪崩予防柵							備考
		防止林	階段	予防杭	予防柵	吊枠	吊柵	スノーネット	
雪崩の種類	全層	○	○	○	○	○	○	○	表層雪崩は、積雪の上部の層がすべり出すため対策工は限られる
	表層	×	×	×	○	×	○	○	
積雪深	1～4m	○	○	○	○	○	○	○	予防杭、吊枠は埋設しても全層雪崩に効果がある。6m以上では、道路などの場合、スノーシェエドを用いるか、トンネルを採用する必要がある。
	4～6m	×	×	○	○	○	△	△	
	6m以上	×	×	×	×	×	×	×	
斜面勾配	20°以下	○	○	○	○	△	△	△	50度(8分)以上の斜面ではコンクリート基礎を設けるのが困難である。予防杭、吊枠などは勾配が急な場合、効果が減少する。予防柵などの設置の最下列は30度以下になる所まで設けるのが原則である。
	20～30°	○	○	○	○	○	○	○	
	30～40°	○	○	○	○	○	○	○	
	40～50°	×	△	△	○	△	○	○	
	50°以上	×	×	×	△	×	○	○	
地形	凹凸大	×	×	○	○	○	×	○	凹凸とは流水によって刻まれた溝や転石などの突起を指している。沢地形の所は積雪量が多くなるので強固な構造とする必要がある。
	沢地形	△	△	○	○	○	○	○	
	均一地形	○	○	○	○	○	○	○	
斜面長	15～50m	○	○	○	○	○	○	○	階段工や予防柵を施工する場合、通常設置間隔は15m程度が多い。吊枠、吊柵は1列のアンカーから2～3段が多い。
	50～100m	○	○	○	○	○	○	○	
	100～200m	○	○	×	○	×	×	○	
	200m以上	○	×	×	○	×	×	○	
土質地質	土	○	○	○	○	○	○	△	予防杭、予防柵は支持地盤の深い所は一般に適さないが1m以上深い所では、根かせ式の基礎により設置できる。地すべり地では斜面に基礎が設置できない吊枠か吊柵になる。
	吹岩	×	○	○	○	○	○	○	
	硬岩	×	×	○	○	○	○	○	
	地すべり	○	×	×	×	×	○	×	
摘要		1. 造林は通常階段上に植えるので、階段工が役立つ4m以下の積雪地 2. 樹木は成育が遅いのでその間、他の予防工の併用が必要となることがある。 3. 恒久対策として最も望ましい。	1. 斜面の勾配約30～40°の斜面 2. 容易に掘削できる軟岩程度 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3～4m程度以下 5. 秋には階段の土砂の堆積を取り除く。	1. 斜面勾配約40°以下 2. 容易に掘削できる程度の基岩 3. 全層雪崩の予防 4. 積雪深3～4m程度以下 5. 凹凸の大きい地形では、予防杭、予防柵が適しているが予防柵は、千鳥設置または断続設置とする。	1. 斜面勾配約55°以下 2. 容易に掘削できる程度の基盤 3. 全層、表層雪崩の予防 4. 積雪深5～6m程度以下	1. 斜面勾配が急か土質状態が悪く強固な基礎に不適切な斜面 2. 全層雪崩の予防 3. 積雪深5～6m程度以下 4. 基礎、アンカーに留意 5. 吊枠・吊柵は3段を越えるとワイヤーロープの径が太くなり現場加工が困難になる。	1. 同左 2. 全層、表層雪崩の予防 3. 柵高を積雪深と同じにするので、4m以上は不適切 4. 基礎、アンカーに留意	1. 急斜面、岩盤に適している。 2. 全層、表層雪崩の予防 3. アンカーに留意 4. ある程度の落石にも対応可能	凡例 ○ 採用できる △ やや問題あり × 不適当である

走路および堆積区の対策工については上記ハンドブックを参照のこと

2.2.2　予防柵

(1)　設置計画

雪崩予防柵は、雪崩の発生区域に設置するものとし、設置計画にあたっては下記事項に留意する。

(1) 最上列の柵は、雪崩発生区域最上端の破断線が、柵の背圧領域に入るようにする。

(2) 最下列の柵は斜面勾配が30°以下になるところまで設置する。30°以上の斜面については法尻から列間隔Lを原則とする。(Lの計算式は現行要領(4)に記載されている)

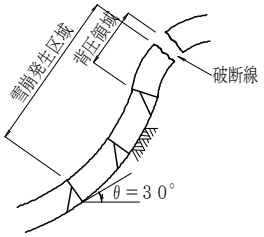
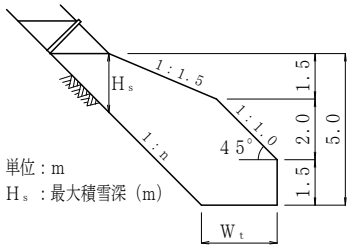


図2.2.2　背圧領域

また、除雪の2次堆雪を考慮し、直高5m以上の位置とする。



〔切土部の堆雪　2005除雪・防雪ハンドブック(防雪編)　P321〕

(3) 柵の配置形式は、断続配置、千鳥配置のいずれかとし、等高線に平行に配列する。

(4) 柵間隔(A)は1.0mを標準とし、柵の列間隔(L)は表2.2.2に示す値以下とする。

表2.2.2　列間隔(L)

H_s(m) ＼ θ	30	35	40	45
2.0	30	14	10	8
2.5	37	17	12	10
3.0	45	21	15	12
3.5	52	24	17	14
4.0	60	28	20	16

注)　θ　：斜面勾配
　　H_s　：設計積雪深

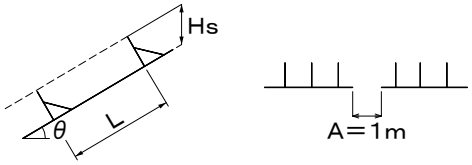


図2.2.3　柵の配列

【解　　説】

柵の配列形式には、連続配置もあるが、地形との整合性、設計の標準化等を考慮し、断続配置、千鳥配置を原則とした。なお、断続、千鳥の組合せ配置は、必要に応じて計画すればよい。

柵間隔(A)は、一般に2m以下とすることで表層雪崩をも予防できると言われているが、柵間隔をあまり大きくすると、柵一基が受ける全雪圧のうち辺縁効果の占める割合が大きくなるため、柵の部材および基礎の断面が著しく大きくなり、不経済となるので1mを標準とした。

列間隔(L)は、次式によって算定している。

$$L=\frac{2\cdot\tan\theta}{\tan\theta-\tan\delta}\times H_s \quad (m)$$

ここで、δとは雪と地面の摩擦角で、tanδは安全側をとって0.5とした。また、上式で示されるLは、概ね柵の背圧領域の最大値を与えるものと考えられる。

設計積雪深(H_s)は、最寄りの観測資料から局地的な気象条件、地形および風向等を考慮するとともに、経済性、安全性等も考慮して決めるものとするが、積雪の再現確率年数は30年が一般的である。(資料参照)

グライド係数(N)は、雪の滑動に関する係数で、表2.2.3に示す値を標準とする。

表2.2.3　グライド係数(N)の値　　(スイス示方書による)

	グライド係数の値	
地表の状態	 北向斜面	 南向斜面
Ⅰ　玉石(30cmφ以上)の斜面、大岩の王凸面	1.2	1.3
Ⅱ　礫(30cmφ以下)の斜面、丈1m以上の灌木地、50cm以上の凹凸地面	1.6	1.8
Ⅲ　小さい灌木地、50cm以下の凹凸地面、草地	2.0	2.4
Ⅳ　平滑岩盤、葉の長い草地、湿地	2.6	3.2

※雪崩柵の配置

雪崩予防柵の配置の種類は、次の4種類の方法がある。

①連続配置
②断続配置
③千鳥配置
④組み合わせ配置

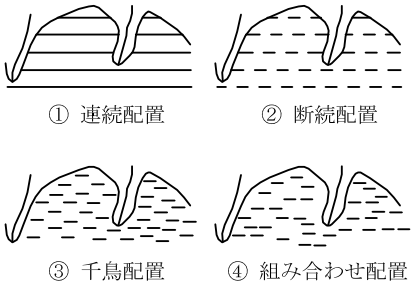


図2.2.4　雪崩予防柵の配置方法
(除雪・防雪ハンドブック(防雪編)P190より)

各配置には、一長一短があり、地形条件、雪質、あるいは経済性から十分に検討し決定しなければならない。表に配置方法の特徴を示す。

表2.2.4　配置方法の特徴（除雪・防雪ハンドブック（防雪編）Ｐ191より）

	地形に対する適合性	辺縁効果	雪　圧（単位長あたり）	設置延長	小規模の雪崩のもれ出し	被害の普及
連　続	不良	両端部のみ	最小	最長	なし	波及する
断　続	良	個々に動く	中	短	もれ出すこともある	単体のみにとどまる
千　鳥	最良	個々に動く	大	長	ほとんどない	単体のみにとどまる

一般的には、自然斜面には、千鳥配置が、人工法面には連続配置が用いられているとされている。

連続配置は、整形法面で使用されることが多く、柵延長がもっとも長くなり経済性に劣ることもある。また、設置柵延長が個々に異なるため、それぞれの柵で部材設計が必要となり標準化が困難である。

断続配置や千鳥配置は、標準幅ｗ＝2.75m，5.5mの柵による配置のため地形に対する適合性に優れ、また、設計の標準化を図ることができる。一方、断続配置では、柵間より小規模の雪崩のもれ出しも懸念される。

組み合わせ配置は、地形変化が著しい箇所に配置する場合に有効となる。

本要領では、地形との整合、設計の標準化、経済性を考慮し、雪崩柵配置形式を断続配置・千鳥配置を標準とし等高線に平行に配置することとした。連続配置や組み合わせ配置は、必要に応じて計画することとする。

(2)　荷重

1)　主柱、支柱および基礎の設計は、斜面雪圧、スノープリズム、辺縁効果荷重による。
ただし、積雪の平均密度は3.5kN/m³を標準とする。

①　斜面雪圧

$S_n = \alpha \cdot H_s^2$

S_n ：雪圧の斜面に平行な成分(kN/m)

α ：表2.2.5による係数

H_s ：設計積雪深(m)

表2.2.5　雪圧係数α

斜面勾配(°) ＼ グライド係数	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.6	3.2
30	1.45	1.57	1.93	2.17	2.42	2.90	3.14	3.86
35	1.58	1.71	2.10	2.36	2.63	3.15	3.41	4.20
40	1.64	1.77	2.18	2.46	2.73	3.28	3.55	4.37
45	1.68	1.82	2.24	2.52	2.80	3.36	3.64	4.48

$S_q = \beta \cdot H_s^2$

S_q ：雪圧の斜面に直角な成分(kN/m)

β ：表2.2.6による係数

表2.2.6　雪圧係数β

斜面勾配(°)	β
30	0.88
35	0.79
40	0.68
45	0.59

②　スノープリズム

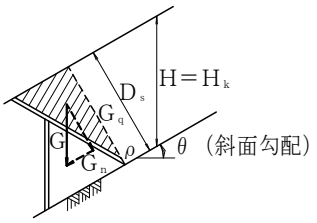
$G_n = \alpha_g \cdot H_s^2$

G_n ：スノープリズムの斜面に平行な成分(kN/m)

α_g：表2.2.7による係数

表2.2.7　スノープリズムα_g

斜面勾配(°) ＼ ρ(°)	10	15
30	0.12	0.18
35	0.12	0.18
40	0.12	0.18
45	0.11	0.17



$G_q = \beta_g \cdot H_s^2$

G_q ：スノープリズムの斜面に直角な成分(kN/m)

β_g ：表2.2.8による係数

表2.2.8　スノープリズムβ_g

斜面勾配(°) ＼ ρ(°)	10	15
30	0.20	0.30
35	0.17	0.26
40	0.14	0.21
45	0.11	0.17

③　辺縁効果荷重

$S_r = f_r \cdot S_n$

S_r：辺縁効果荷重(kN/m)

f_r：表2.2.9による係数

表2.2.9　辺縁効果荷重

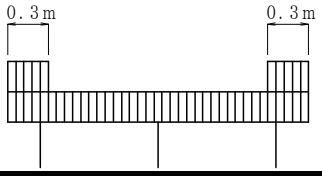
グライド係数(N)	1.2	1.3	1.6	1.8	2.0	2.4	2.6	3.2
f_r	0.85	0.88	0.98	1.05	1.11	1.24	1.31	1.50

なお、作用範囲は柵端より30cm(柵間隔1.0mに対応)の範囲とする。

2)　バーの設計荷重は、下記を標準とする。

①　斜面雪圧およびスノープリズムの荷重は62.5%増とする。

②　辺縁効果荷重は30%増とする。



【解　　説】

(1) 斜面雪圧の式は、次のように基本式を変形して求めたものである。

基本式
$$S_n = r \cdot \frac{H_s^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (kN/m)$$
$$S_q = \frac{a}{N \cdot \tan\theta} \cdot S_n \quad (kN/m)$$

r　：積雪の平均密度(kN/m³)　　3.5

r_0：積雪の平均密度(t/m³)　　0.35

K　：クリープ係数

斜面勾配(°)	30	35	40	45
K	0.69	0.75	0.78	0.80

N　：グライド係数

a　：雪質に関する比

$$a = \frac{1 - 2\nu c}{2(1 - \nu c)}$$

ν_c：積雪の粘性ポアソン比($0.4 r_0$)

θ　：斜面勾配(°)

(2) スノープリズムの式は、次のように基本式を変形して求めたものである。

基本式
$$G_n = G \cdot \sin\theta \quad (kN/m)$$
$$G_q = G \cdot \cos\theta \quad (kN/m)$$

$$G = r \cdot \frac{D_s^2}{2} \cdot \tan\rho \quad (kN/m)$$

$D_s = H_s \cdot \cos\theta$ (m)

ρ＝柵面の傾き(°)　　10°、15°の2種類

(3) 辺縁効果係数(ｆｒ)および作用範囲(Δℓ)は、次式によって算定した。

$$f_r = (0.92 + 0.65N)\frac{A}{2} \text{(ただしA＝1m)}$$

$$\Delta\ell = 0.6\ \frac{A}{2} \text{(ただしA＝1m)}$$

(4) バーの設計では、融雪時の雪の密度増加を考慮し、雪圧を30%割増した。また、沈降力による付加荷重として、地面から柵高の1/4まで斜面雪圧の25%を付加えることになっているが、上部にも小規模雪崩荷重などの配慮が必要なため、柵高全面に付加えることにした。

(3) 設計

1) 一般事項

雪崩予防柵は、下記事項に留意し設計する。

(1) 柵高は、柵面の傾きを考慮し、原則として30年確率積雪深に合わせて決定することとするが、現地の積雪深を勘案の上適宜設定することができるものとする。

(2) 柵の傾き(ρ)は、斜面勾配が30～35°の場合15°、斜面勾配が40～45°の場合10°とする。吊柵の場合は斜面に直角とする。

(3) 基礎工は無筋コンクリート構造とし、主柱と支柱連続基礎を原則とする。吊柵の場合はアンカー方式を原則とする。

(4) アンカー(特にパイプアンカー)の配置は、斜面の状態を考慮し、斜面の不安定化を誘発する恐れがないよう計画を立てることを原則とする。

【解　説】

(1) 柵高は、30年確率最大積雪深以下にしないようにする。

(2) 柵面の傾きを10°と15°に限定したのは、設計の標準化を考慮したことによる。

(3) 予防柵は、基礎の移動による主柱と支柱の結合部の破損が多いので、連続形式の基礎が望ましい。ただし、基礎地盤が岩盤の場合は掘削によって地盤が乱れることがないので独立基礎でもよい。

(4) アンカーの設置位置が密集した場合、斜面頂部に破断面を生じさせるなど、斜面の不安定化を誘発する恐れがある。アンカーの配置については、斜面の状態を考慮した上で計画する必要がある。
　近年、斜面中腹に施工可能な斜面直角打ちパイプアンカーの実績が増えていることから、現場状況に応じて検討すること。その際、地表面付近の地盤の評価には十分注意する必要がある。

2)　鋼製雪崩予防柵の設計

鋼製雪崩予防柵は、下記事項に留意して設計する。

(1) 柵幅は2.75mと5.50mを標準とし、2.75mは2柱形式、5.50mは3柱形式とする。

(2) 使用材料は、表2.2.10を標準とする。

表2.2.10　材料の規格

部　　材	材　　料	材　　質
主　　柱	H　型　鋼	SS400
支　　柱	H　型　鋼	SS400
支 柱 バ ー	丸 型 鋼 管	STKR400
結 合 ボ ル ト	B・N	SS400相当品

(3) 柱と支柱の交点は、ボルト結合とし、リブプレート等で補強する。

(4) バーの固定は、プレート結合、Uボルト接合のいずれでもよいが、側圧を受けるおそれがある場合は、プレート接合とする。

(5) 防錆は、溶解亜鉛メッキを標準とし、JISH8641による。

(6) 鋼材の許容応力度は、「道路橋示方書Ⅱ･鋼橋編」を準用する。

【解　　説】

柵幅は5.5mを標準とするが、自然斜面等においては柵と地面との間に隙間ができて不安定となりやすいので、柵幅2.75mを使用するものとする。

表2.2.11

柵　　幅	条　　件
2750mm	自然斜面
5500mm	整地斜面

巾柵の部材計算およびアンカーの設計にあたっては、「参考資料　13.雪崩予防柵」を参照のこと。