

— 落岩発生源対策 —
ワイヤーネット被覆工法

(NETIS登録技術:CG-110030-A, 特許第4615203号)

クラッシュネット工法

(特許第4615203号)

圧入マット式根固工法

(特許第5800765号)

— 表層崩壊(土砂・岩盤)対策 —

アンカーネット工法

(特許第4615203号)

設計・施工マニュアル



松江高専名誉教授
工学博士 **浜野 浩幹** 監修

平成30年4月

斜面对策研究協会

巻頭言

落石対策に関する文献に「落石対策便覧：社団法人日本道路協会」があり、関連技術を詳細に網羅したものとしては、ほぼ唯一のものとなっている。その初版（1983年）のまえがきに“本書は、指針、要綱とは異なる位置づけである便覧として…設計方法などを事例も含めてとりまとめたものである”と記されている。改訂版（2006年）でも“…本便覧の内容は決して「基準」ではないことを理解し…”とし、落石対策の体系化や取り扱いの困難さを強調したうえで、いっそうの技術開発を促している。

落石対策には、静止した岩塊を固定する発生源対策と転落する岩塊を受け止める待ち受け対策がある。前者では、落石の危険性とその規模を予測することは比較的可能であり、所要の抑止力等を合理的計算に基づいて求めることが、一応できる。後者では、転落ルートや跳躍量等の予測が困難であるため、より安全側の視点に立つ必要があり、その分工事費も増大しやすい。以上の観点から、落石対策の基本は発生源対策におくべきであり、待ち受け対策は小規模でかつ予測困難な落石に対して、面的に幅広く受け持つといった手法が適当と思われる。

一方、諸問題を解決する過程において、その不都合な現象を招く原因究明が第一である。落石の場合、不安定な岩塊の脚部侵食、凍結による剥離、表層すべりや地震、倒木による外力等がその要因としてあげられる。発生源対策では、これらを踏まえた設計がなされなければならないが、現状では必ずしも一貫した設計手法が確立されているわけではない。

今回開発されたワイヤーネット被覆工法およびクラッシュネット工法は、いずれも発生源対策であり、特に“ワイヤーネットで不安定な転石群を、一体化するように包むことで安定化を図る”といった、従来工法にない概念を採り入れている。これらは、ともに地震時の滑動や転倒に対する安定度を求め、必要に応じてアンカーによる抑止を行うものである。

本マニュアルは、先人たちが築きあげた諸技術を踏まえたものであり、落石対策の一助となるとともに、落石対策技術全般のさらなる飛躍を願うものである。

平成 24 年 9 月

松江工業高等専門学校名誉教授
工学博士 浜野 浩幹

はじめに

我が国は世界有数の変動帯にあり、これまで斜面災害を克服するための多くの施設が構築されてきた。しかし、依然として地震や倒木による落石が頻発し、今後も国土保全に持続的投資を必要としている。既往施設の更新が本格化することなども踏まえ、品質や施工の安全性を確保した上で、いっそう効率的な事業展開を行うことも喫緊の課題となっている。

落石対策では、発生源対策と待ち受け対策をセットで行うことが基本である。本マニュアルで取り扱う発生源対策では、足場条件等の悪い環境でも軽微な設備で施工できること、作業の安全性を高めるための“逆巻き施工”が可能なことなどが重要と考える。

取り扱う工法の特徴として、ワイヤーネット被覆工法は、不安定な岩塊（群）をワイヤーネットで密着状に被覆（一体化）し、安定化を図るものである。上記逆巻き施工を可能とするほか、安定計算に基づく合理的な設計や“工場製品の現地組立て”による作業負担の軽減等を狙いとしている。クラッシュネット工法は、“小割整形による安定化”という新しい概念を採り入れている。圧入マット式根固工法は、コンクリートマットを利用した間詰工であり、基礎地盤を確保するための床堀やコンクリート打設型枠を不要とする。

使用する部材はステンレスおよびダクタイル製とし、防食性をいっそう高めている。固定用アンカーの定着は岩用のみとし、長期耐久性に優れたくさび方式を採用している。

設計は、近年活発化する地震力を考慮した“滑動および転倒”計算に基づいている。倒木等による外力を考慮すべきという立場から、これらも一律地震力に含めることや、面的に広がる落石源では、地すべり対策と同様の安定解析断面に基づく設計手法を採り入れ、調査・設計の簡便化を図るようにしている。

今回、現場実態を踏まえ、一部設計・施工基準の改訂を行った。特に、表層すべりや崩壊による落石に対し、新たに抑止力の大きいアンカーネット工法を加え、対応できるようにした。

これらの工法が、永久構造物としての耐久性や高齢化社会における作業負担軽減といった時代の要請に応えると共に、斜面災害防止にいっそう貢献できるよう、さらに改良を加えていきたい。

平成 30 年 4 月

斜面对策研協会 スタッフ一同

目 次

(はじめに)

1. 総 説	
1.1 工法概要	1
1.2 適用範囲	2
1.3 用語・記号	2
2. 材 料	
2.1 ワイヤーリング(共通)	3
2.2 連結金具(共通)	4
2.3 ワイヤーロープ端止具(共通)	5
2.4 アンカーピン, ショートアンカー(共通)	6
2.5 深層アンカー(共通)	7
2.6 根固マット(根固工)	8
2.7 頭部固定金具(アンカーネット工)	9
2.8 簡易受圧版(アンカーネット工)	10
2.9 不陸調整マット(アンカーネット工)	10
3. 調 査	
3.1 ブロック区分	11
3.2 落石要因の特定	12
3.3 落石の危険度判定方法	16
3.4 岩塊諸元の測定方法	17
3.5 安定解析断面の設定方法	18
3.6 簡易測量(調査平面図, 対策工検討断面図)	18
4. 設 計	
4.1 ワイヤーネット被覆工法	
4.1.1 工法の考え方	19
4.1.2 設計手順	19
4.1.3 設計条件	20
(1)安定計算, (2)ワイヤーネット, (3)アンカーピン, (4)固定用アンカー, (5)連結補助ワイヤー	
4.1.4 設計計算	
(1) 安定解析式	34
(2) 所要引張り力 P	35
(3) 設計設計例	
【設計例1:単体の岩塊】	37
【設計例2:複数の岩塊】	42
4.2 クラッシュネット工法(小割整形工)	
4.2.1 ワイヤーネットを用いた小割の考え方	47
4.2.2 小割による安定化の目安	47
4.2.3 小割後の安定化対策	48
4.2.4 小割時の仮設用アンカー	49
4.3 アンカーネット工法	
4.3.1 工法の考え方	50
4.3.2 設計手順	50
4.3.3 設計計算例	51

5. 施工	
5.1 ワイヤーネット被覆工法	
5.1.1 施工手順	57
5.1.2 ワイヤーネット敷設	57
(1)目的, (2)ワイヤーリングの種類とネットの組み方, (3)ガイドロープの取り付け方, (4)立木等の障害物の処理方法, (5)特殊地形での敷設方法, (6)ワイヤーネットの弛み, (7)小岩塊対策	
5.1.3 アンカーピンの設置	61
(1)目的, (2)設置場所の選定, (3)設置方向, (4)定着手順, (5)穿孔器具, (6)グラウト 材, (7)アンカーピンの所要埋設深さ	
5.1.4 固定用アンカー(深層アンカー/ショートアンカー/アンカーピン)の設置	63
(1)目的, (2)構造と仕様, (3)削孔径, (4)グラウト材, (5)定着地盤と削孔方向, (6)アン カー材(深層アンカー)の延長方法, (7)定着部のグラウト方法と漏出する場合の対策, (8) 固定用アンカー頭部設置方法, (9)固定用アンカーとワイヤーネットの連結方法, (10)固定 用アンカーの設置間隔について, (11)穿孔システム	
5.2 圧入式根固マット工法	70
5.3 クラッシュネット工法(小割整形工・小割除去工)	
5.3.1 施工手順	71
5.3.2 ネットの組み方	71
5.3.3 アンカーピンの目的と取り付け位置	72
5.3.4 小割整形要領	72
5.3.5 小割除去要領	72
5.4 アンカーネット工	
5.4.1 施工手順	73
5.4.2 アンカー地点の選定	74
5.4.3 ワイヤーネット敷設	75
5.4.4 アンカー設置	75
5.4.5 簡易受圧版設置	76
6. 施工管理	
6.1 出来形管理	77
6.2 品質管理	78
6.3 写真管理	78
7. 試験工	
7.1 基本調査試験	
7.1.1 試験概要	79
7.1.2 実施例(解析例)	80
7.2 確認試験	83

(参考資料)

参 1. 落石発生源対策の選定と現状における課題	
参 1.1 工種分類と選定方法	
参 1.1.1 工種分類.....	85
参 1.1.2 工種別経済性比較.....	86
参 1.1.3 発生源対策と待ち受け対策の組み合わせ.....	86
参 1.2 ワイヤロープ掛工の留意点.....	87
参 1.3 落石対策用アンカーの留意点.....	88
参 1.4 部材の防食について.....	89
参 1.5 目標安全率について.....	89
参 1.6 安定計算の検討項目について.....	91
参 1.7 根固工について.....	92
参 2. 開発工法の考え方	
参 2.1 ワイヤネット被覆工法	
参 2.1.1 落石の初動現象.....	93
参 2.1.2 発生源対策における所要抑止力.....	93
参 2.1.3 ワイヤネット被覆工法による抑止の考え方.....	93
参 2.1.4 ワイヤネットで一体的に被覆された岩塊の挙動.....	94
参 2.1.5 滑動に対する岩塊の連結効果.....	94
参 2.1.6 転倒に対するネットの抑止効果.....	94
参 2.1.7 覆式と被覆式の違い.....	94
参 2.1.8 固定対象の大きさ(目安).....	96
参 2.2 クラッシュネット工法(小割整形工)	
参 2.2.1 小割除去工の問題点.....	97
参 2.2.2 小割整形工.....	98
参 2.3 クラッシュネット工法(小割除去工).....	99
参 2.4 圧入マット式根固工法.....	100
参 2.5 アンカーネット工法	
参 2.5.1 適用範囲.....	101
参 2.5.2 鉄筋挿入工との違い.....	101
参 2.5.3 アンカーネット工の考え方.....	103
参 2.5.4 模型実験による確認.....	104
参 3 施工事例	
参 3.1 ワイヤネット被覆工法.....	107
参 3.2 クラッシュネット工法(整形工).....	109
参 3.3 クラッシュネット工法(除去工).....	110
参 3.4 圧入マット式根固め工法.....	112
参 3.5 アンカーネット工法.....	113
参 4 実証実験	
参 4.1 ワイヤネット被覆工法.....	114
(1)滑動実験, (2)転倒実験, (3)吊り上げ試験, (4)落下試験	
参 4.2 アンカー材引張曲げ実験(深層アンカー).....	121
参 4.3 アンカーピンの所要埋設深さ.....	126
参 4.4 深層アンカー等のくさび式定着実験.....	129

参 5 経済性比較のポイント	
参 5.1 ワイヤーネット被覆工法	131
参 5.2 クラッシュネット工法	133
参 5.3 圧入マット式根固工法	133
参 5.4 アンカーネット工法	134
参 6. 落石の危険度判定方法(案)	
参 6.1 落石の危険度判定と課題	135
参 6.2 転倒計算による危険度判定方法(案)	136
参 7. 設計基準値(資料による基準値または設計例から抜粋)	139

(巻末貼付図)

ワイヤーネット被覆工法標準構造図

補強用アンカー標準構造図(アンカーネット工法)

1. 総説

1.1 工法概要

1.1.1 工法分類と使用目的

本マニュアルで取り上げる工法は、次表のものであり、詳細は巻末参考資料の“参2 開発工法の考え方”等に示す。

関連工種 ^{※1)}	工法	目的等	類似工法	
落石発生源対策	落石防護網工 + ロックボルト工	ワイヤーネット被覆工法	不安定岩塊／群をワイヤーネットで巾着状に被覆し、アンカーで固定。工場製品を現場で組み立てる方式のため、資材運搬や施工が容易。	ロープ伏工，ワイヤーロープ掛工
		アンカーネット工法	不安定岩塊を含む表層すべり／崩壊をワイヤーネットと補強用アンカーで面的に固定。逆巻き施工が可能のため、安全性を確保しやすい。	地山補強土工（鉄筋挿入工+ワイヤーネット）
	除去工	クラッシュネット工法	作業の安全性を高めるため、不安定岩塊をワイヤーネットで巾着状に被覆し、付近の立木等に固定した状態で小割りする。ネットは仮設材として再利用可能。	ワイヤーモッコ等を利用した方法
	整形工 ^{※2)}		不安定岩塊をワイヤーネットで巾着状に被覆し、安定形状に小割整形した状態で、そのまま残置（搬出するための労力や費用の大幅な削減）。	—
	根固工	圧入マット式根固工法	不安定岩塊脚部の侵食箇所等に、コンクリートマットで間詰めを行い、転倒安全率を確保。床堀やコンクリート打設型枠が不要なほか、軽微な設備で施工可能。	もたれ擁壁工 モルタル吹付工 岩接着工

※1)：落石対策便覧（社団法人日本道路協会，平成22年1月）による区分。 ※2)本マニュアルで設ける新工種。

1.1.2 主要資材

主要資材は、以下のようであり、各工法とも概ね共通する。

主要資材	規格・材質	寸法	使用目的等	
ワイヤーリング	φ8mm ステンレス	φ35cm φ60cm φ80cm	ワイヤーリングを連結して形成するワイヤーネットを、固定対象の凹凸に合わせて密着状に被覆し、その変位を抑止する。リング径は、敷設面積やネットに作用する負担荷重に応じて選定。	
連結金具	ダクタイル		ワイヤーリングを連結し、ネット状に組み立てるための部材。	
アンカーピン (くさび式定着)		0.287m	ワイヤーネットを、岩塊や露岩面に固定するための部材。設置地盤が安定している場合は、固定用アンカーとしても使用可能。	
ショートアンカー (くさび式定着)		SA 600	0.697m	地盤状況が悪く、アンカーピンでワイヤーネットを固定できない場合に、その代替材として使用。地盤条件によっては、固定用アンカーとしても使用可能。
		SA 1300	1.312m	ワイヤーネットで巾着状に被覆された岩塊（／群）を、固定するためのアンカー（設計荷重 17.5kN/本以下）。設置地盤の被りが1m未満の場合に使用。
	SA 2100	2.132m	同上，設置地盤の被りが1mを越え1.7m以下の場合に使用。	
深層アンカー (くさび式定着)	PC鋼より線 (二重防錆)	(定尺) 1.55m, 1.75m	設計荷重が大きく、ショートアンカーで対応できない場合、あるいは設置地盤に緩みがあり、アンカー材の“曲げ破壊”が懸念される場合に使用。	
補強用アンカー (くさび式定着)		任意長	グラウンドアンカーと同様に、固定対象の規模に応じてアンカー材長を調整し、緊張力を与えることでこれを抑止（基本構造は深層アンカーと同じ）。	
補強用アンカー 頭部固定部材	“§2 材料” 参照		アンカー力に応じた所要地盤支持力を確保するための装置。グラウンドアンカーに準じた水密性を保持。	
根固マット	ポリエステル 2000N	0.3×0.5×0.15m (出来形)	不安定な岩塊脚部の侵食箇所を、根固めするためのコンクリートマット（内部にセメントミルクを圧入）。	
不陸調整マット		0.45×0.45×0.1m (出来形) 他	簡易受圧版下の、不陸調整を図るためのコンクリートマット（内部にセメントミルクを圧入）	

1.2 適用範囲

工 法		適用範囲（巻末：「参3 施工事例」参照）
ワイヤーネット被覆 工 法		抑止力が 100kN/m 以下の不安定岩塊（／群）の固定。落石の原因が地すべりや崩壊によるものであり、将来的にもその影響が予想される場合は適用外とする。 …目標安全率は平常時 $F_p=2.00$ ，地震時 $F_{pe}=1.00$ とする。
アンカーネット 工 法		落石の原因が地すべりや崩壊によるもので、その固定が必要な場合に適用。固定対象の層厚は 3m～5m 程度以下であるが、グラウンドアンカーを併用することで、通常規模の地すべり対策とすることも可。…目標安全率は地すべり対策に準じて $F_p=1.20$ 。
クラッシュネット 工 法	除 去 工	小割り作業時の岩塊の転落防止等，作業の安全が確保できる場合。 …実績：φ9m，高さ 11m の円筒状剥離岩塊（座掘状態）
	整 形 工	小割り整形することで，安定性が確保できる場合（滑動に対する安全率が不足する場合は，固定用アンカーの併用が必要） …実績：φ3m 大の転石
圧入マット式根固 工 法		固定対象の形状や設置地盤状況などから，根固め効果が期待できる場合。

1.3 用語・記号

落石に関する基本用語¹⁾を以下に示す。

- (1) 落石
落石とは，個数で表現できる少量のものをいう。
- (2) 岩盤崩壊
岩盤崩壊とは，体積で表現される大量のものをいう。
- (3) 落石予防工（発生源対策）
落石発生源での落石発生を防止する工法をいう。
- (4) 落石防護工（待ち受け対策）
発生した落石を待ち受けてその運動を止めたり，あるいは通行車両等に落石が当たらないように，下方または側方へ誘導する工法をいう。
- (5) 抜け落ち（転石）型落石
表層堆積物，火山噴出物，固結土の低い砂礫層の中の岩塊，礫が表面に浮き出して斜面より落下する現象をいう。
- (6) 剥離（浮石）型落石
岩盤の不連続面（岩盤中に発達する節理，片理，層理等の割れ目）が拡大して，岩塊や礫が剥離し落下する現象をいう。
- (7) 落石のすべり運動
岩塊，礫等が斜面上をずり落ちる形態で下方へすべるものをいう。
- (8) 落石のころがり運動
岩塊，礫等が斜面上をころがりながら下方へ移動するものをいう。
- (9) 落石の飛跳運動
空中を飛跳しながら下方へ移動するものをいう。

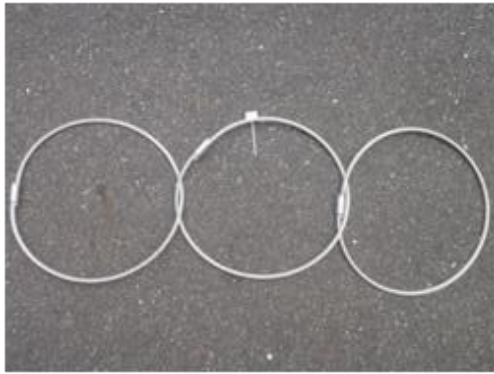
使用する主な記号は，以下のとおりである。

F_S	平常時安全率	a	岩塊の幅（斜面横方向）
F_{SE}	地震時安全率	h	岩塊の高さ（岩塊の奥行面に垂直方向）
F_P	平常時目標安全率（=2.0）	b	岩塊の奥行（斜面最大傾斜方向）
F_{PE}	地震時目標安全率（=1.0）	c	転倒支点からの奥行長さ
T	すべろうとする力	θ	岩塊が地山と接する面の傾斜角
S	すべりに対する抵抗力	β	岩塊前面（谷側）の，鉛直線からの傾斜角（山側+，谷側-）
k_h	地震時水平震度	e	岩塊の露出率
W	岩塊重量	P	目標安全率に対するワイヤーロープの所用引張力
γ_t	岩塊の単位体積重量	P_a	アンカー1本当たりの引張力
μ	岩塊と斜面の摩擦係数		

2. 材 料

2.1 ワイヤーリング(SUS 7×19. 共通資材)

- ①ワイヤーロープ径：φ8mm
- ②ワイヤーリング径：φ35 (0.3kg)，φ60 (0.5kg)，φ80 (0.7kg)
- ③許容引張荷重：ワイヤーロープ 17.5kN/本 (引張強度 35kN 以上)
- ④荷 姿



ワイヤーリング：3連
(基本形)



ワイヤーリング：シングル
(間詰め用)

⑤構造図

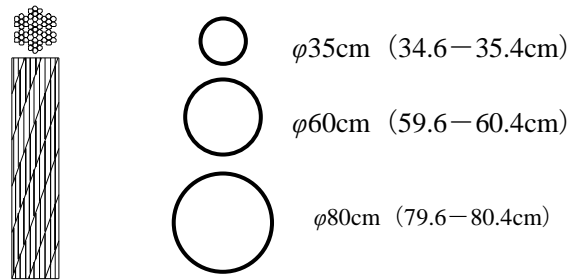


図-2.1.1 ワイヤーリング径

⑥単位面積当たり数量

表-2.1.1 1m²当たり敷設リング数(正円状態での標準値)

リング径(cm)	1m ² 当たりリング数 (nヶ)
35	9.43
60	3.21
80	1.80

⑦敷設面積

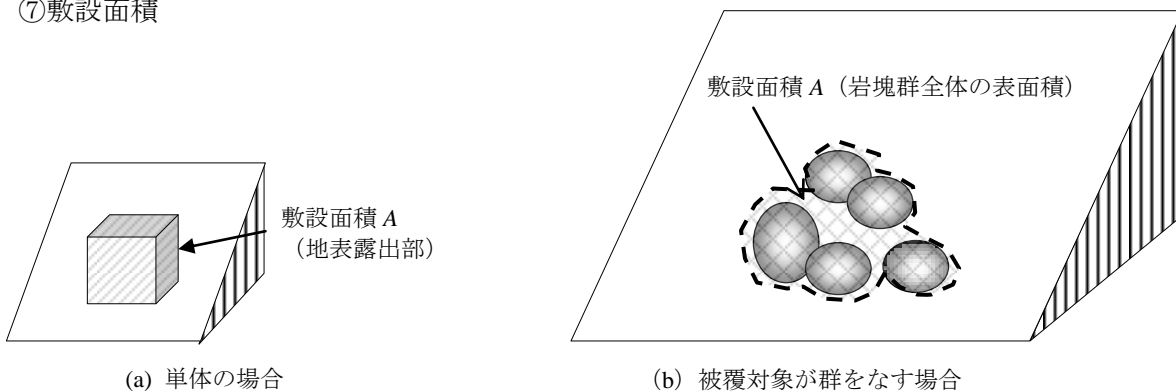


図-2.1.2 敷設面積の考え方

2.2 連結金具(FCMB31-08 亜鉛メッキ. 共通資材)

- ①許容引張荷重 35kN
- ②0.3kg/個
- ③荷 姿



連結金具



ワイヤー連結状態

④構造図

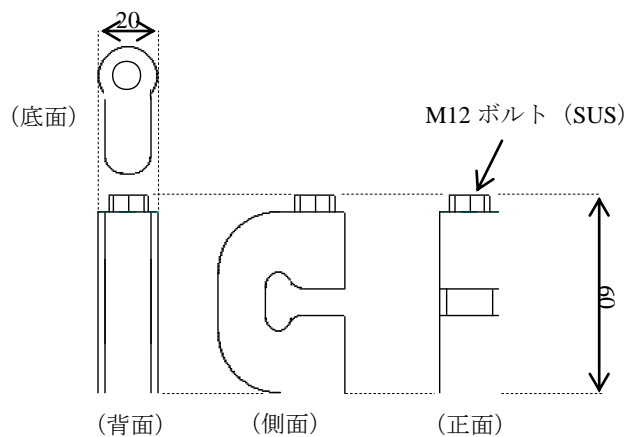


図-2.2.1 連結金具詳細図

⑤単位面積当たり数量

表-2.2.1 単位面積当たり敷設リング数と連結金具数
(正円状態での標準値)

リング径 (cm)	1m ² 当たりリング数 (ヶ)	同左, 連結金具数 (ヶ)
35	9.43	2.35n
60	3.21	
80	1.80	

2.3 ワイヤロープ端止具(FCD450 垂鉛メッキ+三価クロームメッキ. 共通資材)

①許容引張荷重 17.5kN/箇所

②重 量 1.4kg

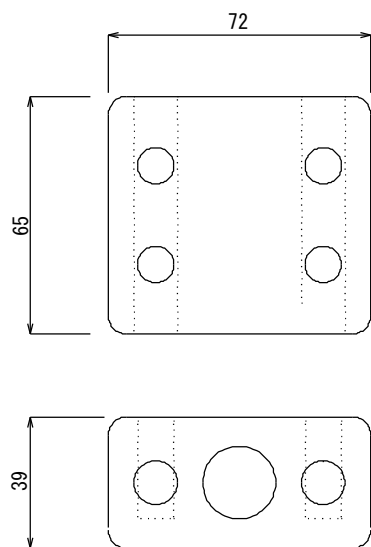


図-2.3.1 端止具構造図

2.4 アンカーピン, ショートアンカー (FCD450 亜鉛メッキ, 共通資材)

①許容引張荷重 17.5kN/本

②重 量

種類	重量 (kg/本)
アンカーピン	1.0
SA600	2.5
SA1300	4.7
SA2100	7.6

③荷 姿



アンカーピン



ショートアンカーSA600



ショートアンカーSA1300

④構造図

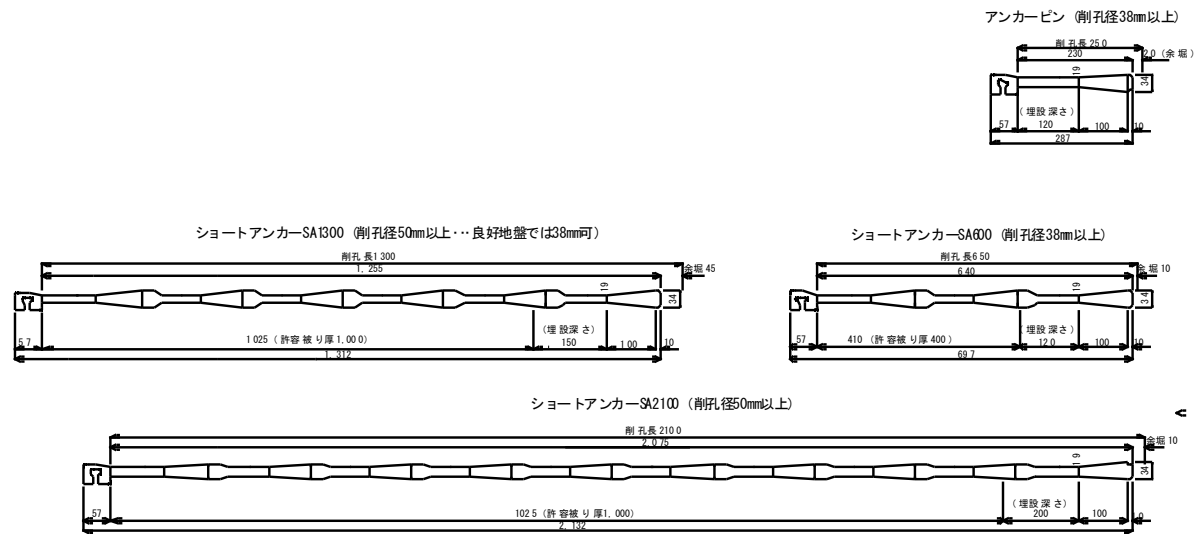


図-2.4.1 寸法図

⑤グラウト材

・アンカーピン, SA600, SA1300 用: ロックボルト用定着材 (C-タイト)

表-2.4.1 定着材可使時間 (20° c)

品 種	可使時間	強度 (10MPa) 発現時間
早強型 (Q)	15 分	3 時間
標準型 (S)	40 分	24 時間
湧水型 (W)	20 分	5 時間

(日油技研工業株式会社カタログより)

・SA1300, SA2100 用: 次項の表-2.5.2 参照

2.5 深層アンカー(共通資材)

①材 質

- テンドン：PC 鋼より線φ12.7mm
- 鋼製部材

部 材	材質	防錆加工
頭部連結具 (φ47mm. 1.8kg) 拘束具 (maxφ40mm. 1.0kg)	FCD450	亜鉛メッキ
先端固定金具 (φ40mm. 0.6kg) 拡径パイプ (maxφ40mm. 0.4kg) 頭部固定金具 (φ47mm. 1.3kg) 延長材 (φ48.6×9. 5kg)	STKM13	亜鉛メッキ+三価クロムメッキ

②許容引張荷重

表-2.5.1 PC 鋼より線許容荷重

ケーブル径 mm	シースパイプ 外径 mm	許容荷重 (永久) kN	降伏荷重 kN	備 考
12.7	16.8 (max)	109.8	156	0.8kg/m

③荷 姿



深層用アンカー荷姿 (F40-20 型. くさび方式, 二重防錆)

④構造図

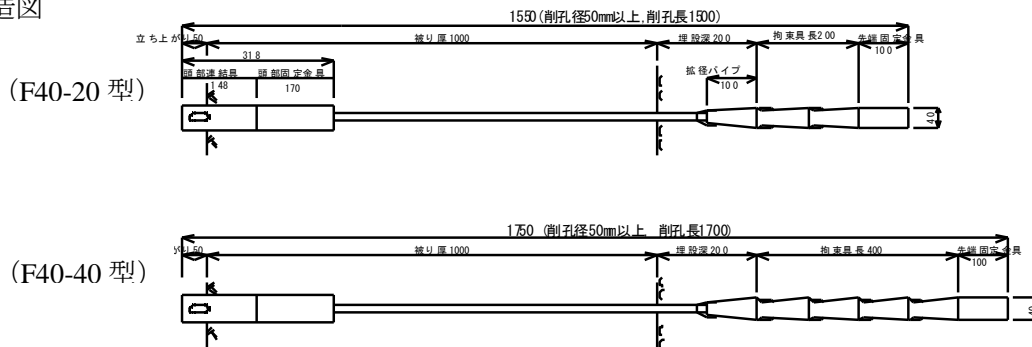


図-2.5.1 寸法図

⑤テンドン延長材 (STKM13 亜鉛メッキ+三価クロムメッキ)



(上) 延長材, (下) 頭部連結具と固定金具を連結した状態

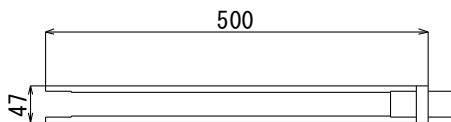


図-2.5.2 寸法図



頭部連結具 (左) と固定金具 (右) 間に延長材を連結した状態

⑥グラウト

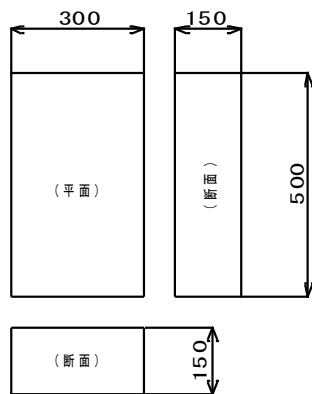
表-2.5.2 セメントペーストの配合例

1m ³ 当たり配合	普通ポルトランドセメント	水セメント比 (W/C)	混和剤
	1,230kg	45~55%	(レオビルド 4000 の場合) セメント重量の 1.5~4.0%

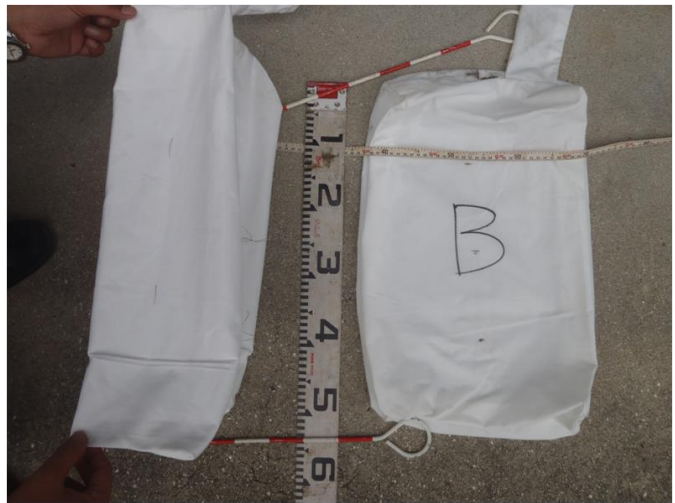
2.6 根固マット(合織帆布 5号生機 TS-5. 根固工用)

①材 質：ポリエステル 2000N (縦・横)

②寸 法



(グラウト後：標準出来形寸法図)



(マット荷姿)

図-2.6.1 根固マット寸法図

③グラウト

配合は前項の表-2.5.2 に準ずる。グラウト圧は1~3MPa.



グラウト後 (2段積み状態)

2.7 頭部固定金具(アンカーネット工用)

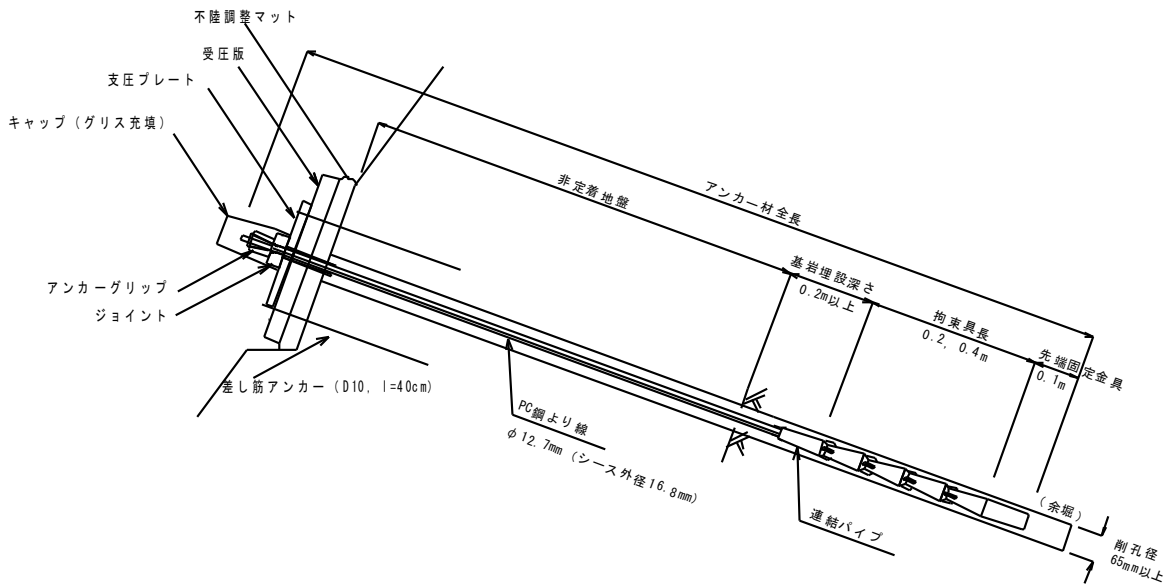
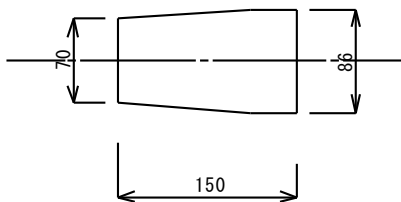
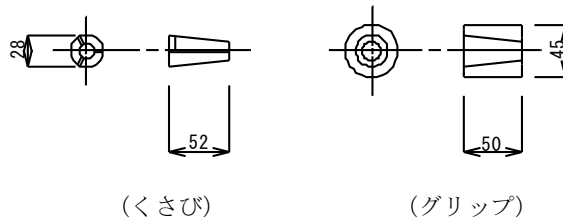


図-2.7.1 アンカーネット標準構造図(受圧版：土砂地盤用)

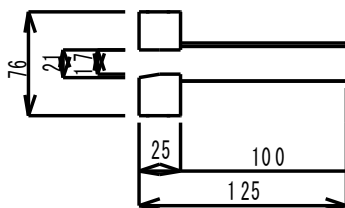
○アルミキャップ



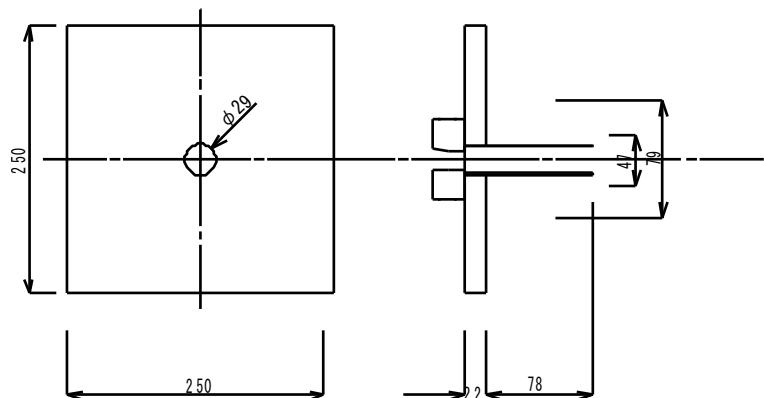
○アンカーグリップ



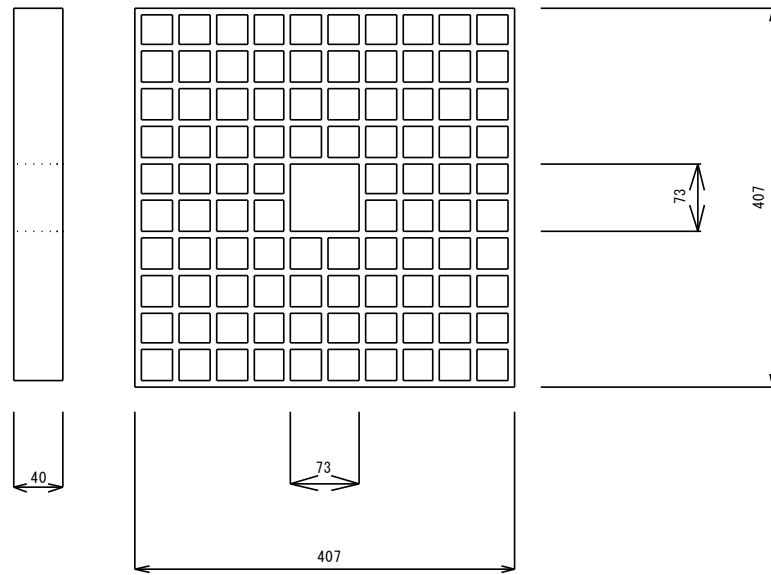
○ジョイント



○支圧版 (SS400, 垂鉛メッキ, 120kN)

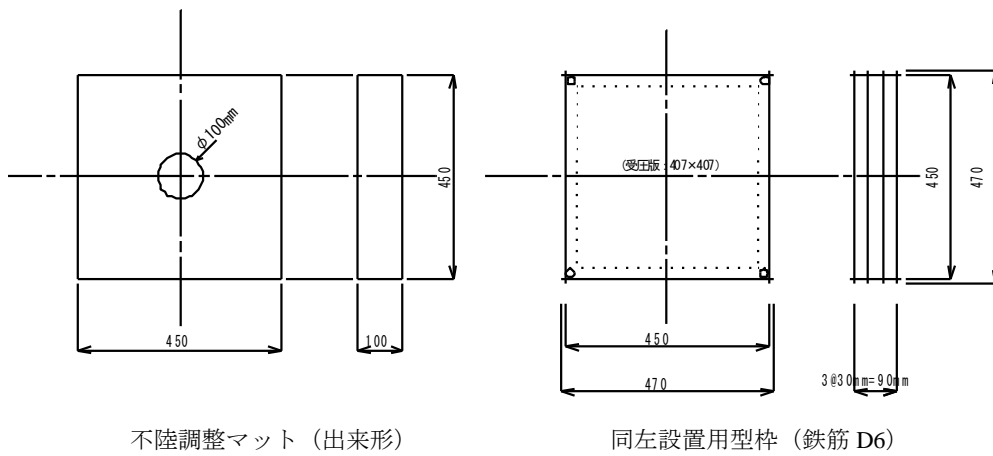


2.8 簡易受圧版(アンカーネット工用. ダイクレ製 FRP ハーフサイズ. Pa=123kN)

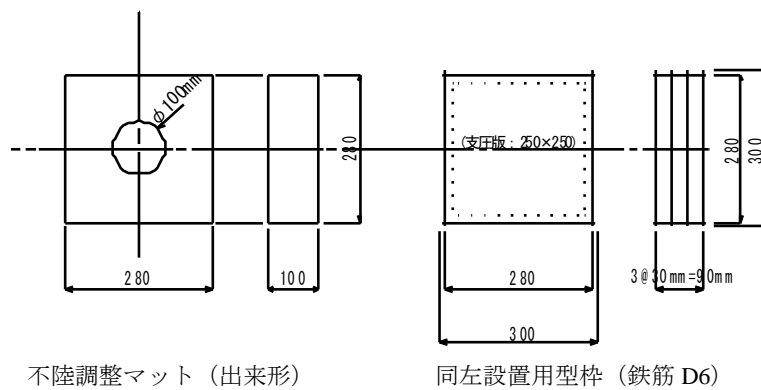


2.9 不陸調整マット(アンカーネット工簡易受圧版用)

○土砂地盤用 (FRP 製受圧版使用. マット標準出来形 45×45×10cm)



○露岩用 (支圧版単独型: マット標準出来形 28×28×10cm)



3. 調査

落石調査では、地質や地すべり等の知識が不可欠であり、対策工法の選定や施工の可否等、基本的に現地で判断すべき点も多い。

無数にある岩塊をすべて調査するのは非効率であり、概査結果に基づき調査対象を絞ることが適当である。ここでは精査段階における調査手法を提案する。

3.1 ブロック区分

調査面積等にもよるが、一般に調査結果の整理や対策を立案する上で、当該斜面のブロック区分が不可欠である。その目的や効果として、

- ①調査岩塊をブロック別にナンバーリングすることで、データ整理がしやすく、第三者にも分かりやすい。
- ②少なくとも溪流斜面と山腹斜面に区分することで、対策工の考え方が整理しやすくなる。例えば図-3.1.1において
 - ・A,C,Eブロック（溪流斜面）
最下流部に規模の大きい防護工を設けることで、当該流域に分布する大半の岩塊を捕獲でき、発生源対策は、これで捕獲できない巨岩および領域（網状ハッチ）のみが対象となる。
 - ・Bブロック（山腹斜面）
落石が分散する形態であり、待受防護工を幅広く設置する必要がある。そのため、規模の大きい岩塊は、できるだけ発生源対策で処理し、防護工の規模を小さくする方が、全体工事費を安価にできる。といった判断が働きやすい。
- ③落石対策は、一般に発生源対策と待ち受け対策をセットで行うことを基本としている。したがって、防護工の規模がある程度決まれば、発生源対策はそれに対応できない大きさの岩塊に限定され、調査対象も少なくすることができる。
- ④特に、Aブロック溪床は保全対象（道路）に至る区間が緩勾配をなし、落石が到達しないと判断されれば、個別岩塊に対する調査も不要となる。

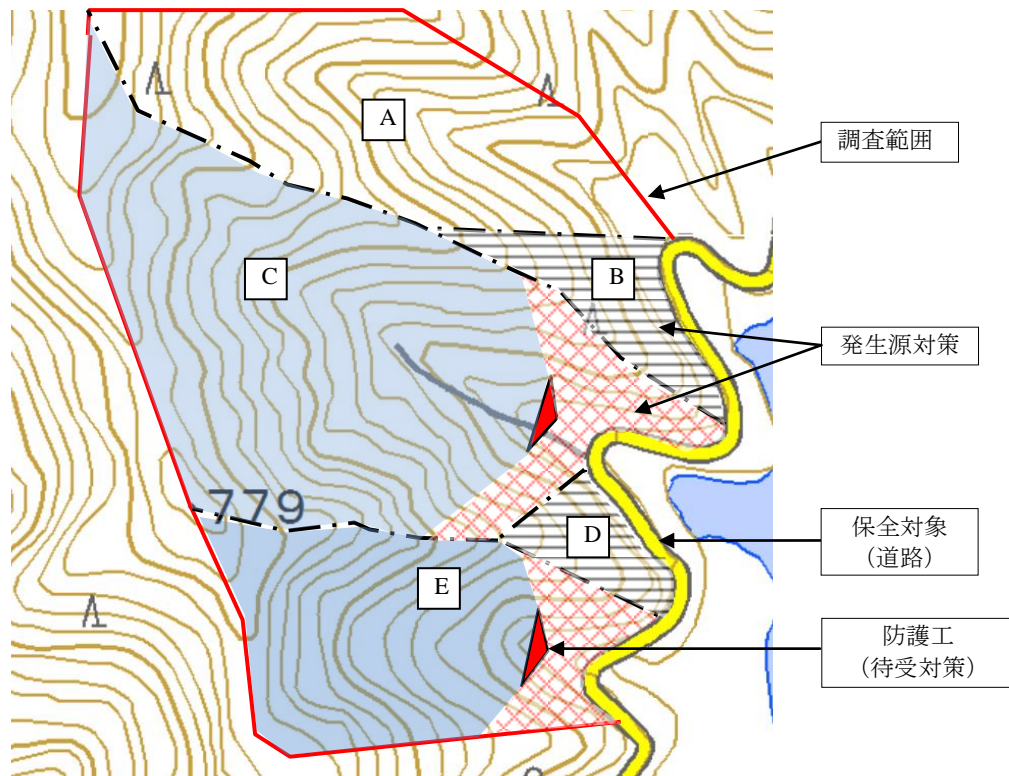


図-3.1.1 調査対象斜面のブロック区分

3.2 落石要因の特定

落石調査では、発生箇所のみならず周辺部の念入りな踏査が重要であり、最終的に“発生要因を究明し、それを踏まえた対策の立案”といった過程が不可欠である。

その主な要因として、地震、倒木、立木根系の発達、強風による樹根の揺さぶり、脚部侵食、地すべり等があり、以下に実例を示す。

①地震による落石

地震の震度が大きければ岩盤崩落等、規模の大きい侵食を受ける。写真右は、滑落というよりは、地震時の水平力により抜け落ちたように見える。すなわち、設計において地震力の導入が不可欠である。



写真-3.2.1 2016年4月熊本地震による落石（震度7. 熊本市北区貢町地内：震源地より北西10km）

②倒木や立木根系による落石

写真-3.2.2は、倒木により剥離した岩塊である。薪炭林としての伐採がほとんどなくなり、近年こうした倒木が多発する傾向にある。これを踏まえ、写真-3.2.3のような状態の岩塊は、“危険”と判断すべきであり、予防対策として、基本的に伐採する必要がある。

すなわち、山腹斜面の森林土壌は、せいぜい数十センチ程度以下と極めて薄く、喬木などは写真-3.2.4, 3.2.5のように岩盤内に根を張ることで、自らを支えるしかない。しかし、巨木化すると同時に根系による割れ目の剥離も進行し、いずれ倒木に至る。それを助長するのが地震や強風、樹冠への積雪である。

現状において、これらの外力を適正に評価するすべが見あたらないことから、本マニュアルでは一律“地震力”に置き換えるものとしている。



写真-3.2.2 倒木による岩塊の剥離



写真-3.2.3 同左、危険を予測すべき浮石



写真-3.2.4 立木根系による節理面の剥離



写真-3.2.5 同左，風化花崗岩内の侵入状況

③脚部浸食

写真-3.2.6は、古い崩壊地側壁部に残る浮石であり、下位地盤が沈下（円内）することで不安定化している。対策は、局部的表層すべりを踏まえたものとする必要があり、例えば土砂用アンカーによる固定（移動層内での、アンカーの定着）は適さない。

写真-3.2.7は、旧滑落崖の退行性浸食であり、その直上斜面における落石対策は、滑落崖全体の固定が前提となる。



写真-3.2.6 脚部浸食による不安定化



写真-3.2.7 旧滑落崖の持続的浸食

④地すべり

写真-3.2.8は、一見、小尾根筋の浮石群先端部における崩落のように見受けられる。周辺踏査の結果、一連の滑落崖を含む冠頭部キレツ（写真-3.2.9）が確認され、シーティング節理に規制される岩盤すべり（斜面長30m、幅15~20m、層厚5m）の末端崩壊であることが判明した。

写真-3.2.10も、古い時代に発生した表層すべりであり、移動層の攪乱により浮き出たと思われる岩塊や、末端部急崖に押し出された岩塊が認められる。

落石対策は、いずれも当該斜面全体の安定化が必要であり、アンカーネット工のような、表層すべりと落石を同時に固定できる工法が適当である。



写真-3.2.8 地すべり末端崩壊にともなう落石
(点線はシーティング節理面)



写真-3.2.9 同左, 冠頭部開口キレツ



写真-3.2.10 表層すべりにより浮き出た岩塊群



写真-3.2.11 同左, 末端部岩塊の押し出し

⑤凍結

写真-3.2.12は、湧水箇所が凍結し、その下位岩盤が剥離することから、主に凍結による浸食と考えられる。このように、凍結の恐れのある斜面では、落石要因として留意する必要がある。



写真-3.2.12 凍結(円内)による剥離

⑥バックリング

柱状節理の発達する垂直壁などでは、バックリング(座掘)による破壊形態を生ずる。写真-3.2.13のケースでは、類似した破断面が複数認められ、基本的に面的固定が必要である。



写真-3.2.13 バックリングによる崩落

⑦トップリング

写真-3.2.14は、トップリングによる剥離跡であり、立木根系がこれを助長している。

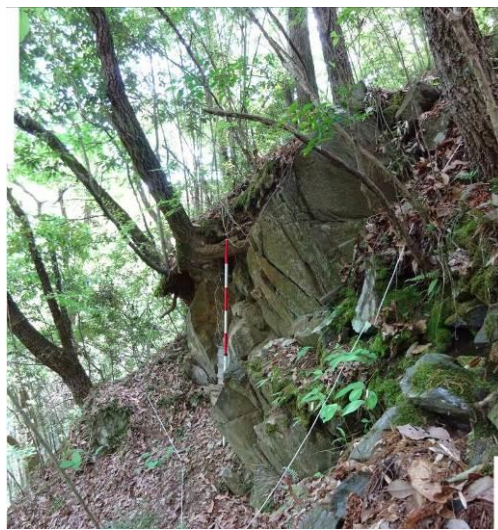


写真-3.2.14 トップリングによる崩落

3.3 落石の危険度判定方法

3.3.1 定性的手法

危険度判定として、図-3.3.1のような評価モデル等が用いられているが、定性的であり個人差を生じやすい。

あるいは、前節で示した落石実態に即応するような“具体的根拠”が示されていないため、利用者にとっては悩ましいものと思われる。

3.3.2 転倒安全率を基準とした判定方法

写真-3.3.1と写真-3.3.2は、いずれも斜面上の転石であるが、“落石運動”として、前者は“すべり”、後者は“転倒”を想定させる状態にある。

一般に、“落石”は地すべり面粘土のような滑材をとまなわないため、仮に滑動してもその運動を持続する危険性は低い。これに対して、転倒運動は徐々に加速する可能性があり、したがって、現場で危険性を感じるのは、一般に“転倒”に対してである。

実態として、落石対策の要否を決めるのは、この“危険性を感じるか否か”であり、したがって、転倒安全率を基にした危険度判定が適当と考えられる。

一方、岩塊の滑動および転倒安全率は次式で示され、転倒安全率には、滑動安全率に必要な摩擦係数 μ といった曖昧な因子がない。そのため、判定結果に個人差を生じにくく、判定手法としても適当といえる（巻末参考資料：参6参照）。

○滑動安全率

$$F_s = W \cos \theta \cdot \mu / W \sin \theta = \mu / \tan \theta \quad (3.3.1)$$

○転倒安全率

$$F_s = \frac{W \sin \theta \cdot h/2}{W \cos \theta \cdot (c-b/2)} \quad (3.3.2)$$

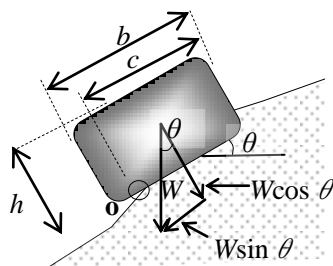


図-3.3.2 岩塊の安定計算

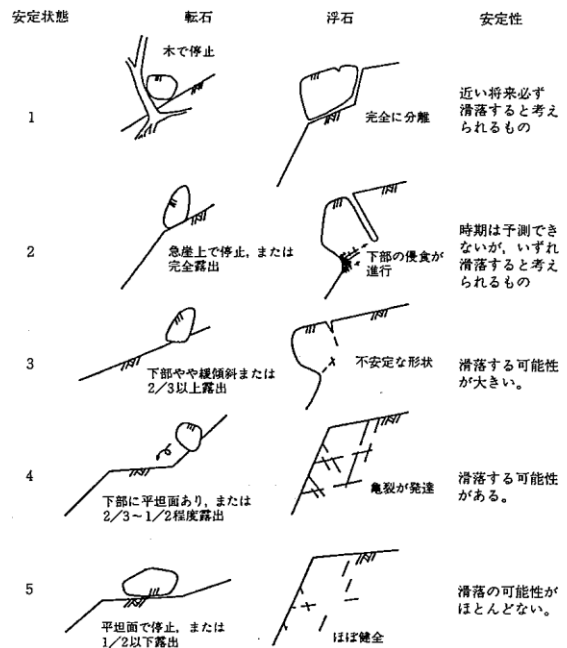


図 2-9 現地観察による安定度評価の一例

岩石の種類（礫岩、砂岩、泥岩等）、岩石の硬さ等

b. 岩盤の割れ目の種類と性質

層理、片理、へき開、節理等の割れ目の性質と分布状況

c. 地質構造

地層の走向・傾斜、しゅう曲構造、岩脈、断層や破砕帯の規模と状態

d. 風化・岩盤のゆるみの状況

岩石の風化・岩盤のゆるみによる岩質の変化の程度と深さ、風化物の

図-3.3.1 落石対策便覧 (p53 図-2.9) より貼



写真-3.3.1 斜面上の転落岩塊



写真-3.3.2 同上、転倒の恐れが高い岩塊

3.4 岩塊諸元の測定方法

(1) 安定計算を前提とした岩塊の測定方法
 落石の初動は、滑動および転倒運動であり、安定計算はこの2つについて行う必要がある。

しかし、いびつな岩塊の転倒計算は容易でない。そのため、現地で岩塊をモデル化（平行6面体）し、これに沿った測定を行う。

幾分アバウトな感がぬぐえないが、現状の“いびつな岩塊を方形や球体として体積を求める”ことと同等である。さらに言えば、後述する目標安全率 F_p を 2.00 と高めに設定することで、“曖昧さ”を補うものとする（巻末参考資料：参 1.5 参照）。

(2) 岩塊底面の傾斜角

岩塊底面の傾斜角は、以下のように測定（推定）する。

① 地表に露出するか半埋没状の岩塊は、地表勾配や周辺の侵食跡の勾配を参考に決定する。

② 写真-3.4.1 では、岩塊下位地盤がルーズであり、将来的にⒹの状態となることを想定する。

③ 写真-3.4.2 のようなバックリングによる崩落の場合

剥離岩塊は、高角度で長軸方向に立った状態にあり、岩塊脚部での主働破壊面を次式により想定する（主働土圧軸は、高角度の剥離面に沿った方向とする）。

$$\alpha = 45^\circ + \varphi / 2 \quad (3.3.3)$$

ここに α は主働破壊角、 φ は地山の内部摩擦角である。

④ 浮石の剥離面が不明瞭な場合

写真-3.4.3 は花崗岩からなる斜面である。多様な不連続面が認められるが、全体としては、地表傾斜に沿ったシーティング節理面で侵食されている。

このように、周辺部の侵食状況や地質構造を踏まえ、推定することができる。

(岩塊の測定箇所)
 幅 a 、奥行き b 、高さ h 、転倒支点からの奥行き c

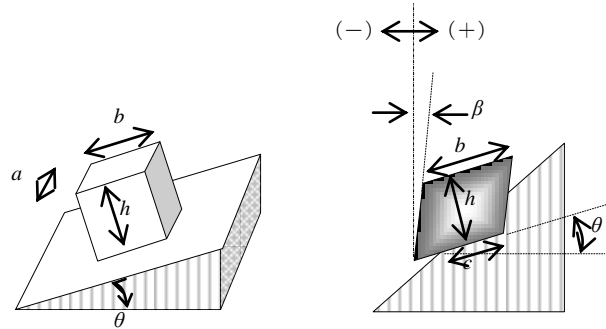


図-3.4.1 岩塊の測定位置



写真-3.4.2 バックリングによる崩落

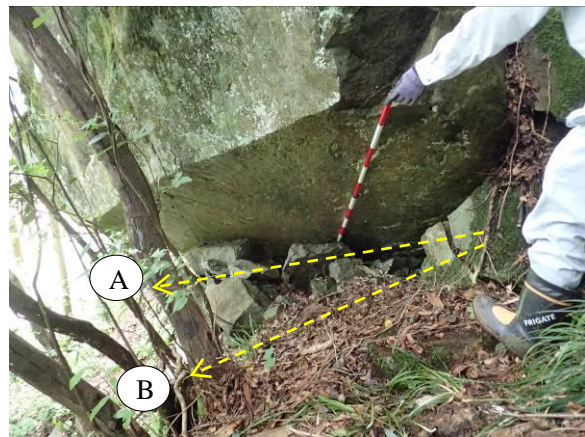


写真-3.4.1 崖錐状の転石



写真-3.4.3 シーティング節理に規制された侵食

3.5 安定解析断面の設定方法

安定解析は、個々の岩塊について行う。群をなす場合は、個数がわずかであればすべての岩塊について行い、全体の抑止力を求める。

無数にある場合は、次図 (a) のように主断面を設定し、これに関わる岩塊およびその検討幅に基づき、単位幅当たりの抑止力を求める。図 (b) のように、群においても、岩塊規模等から細分化することが合理的と判断される場合は、それぞれについて断面設定を行う。

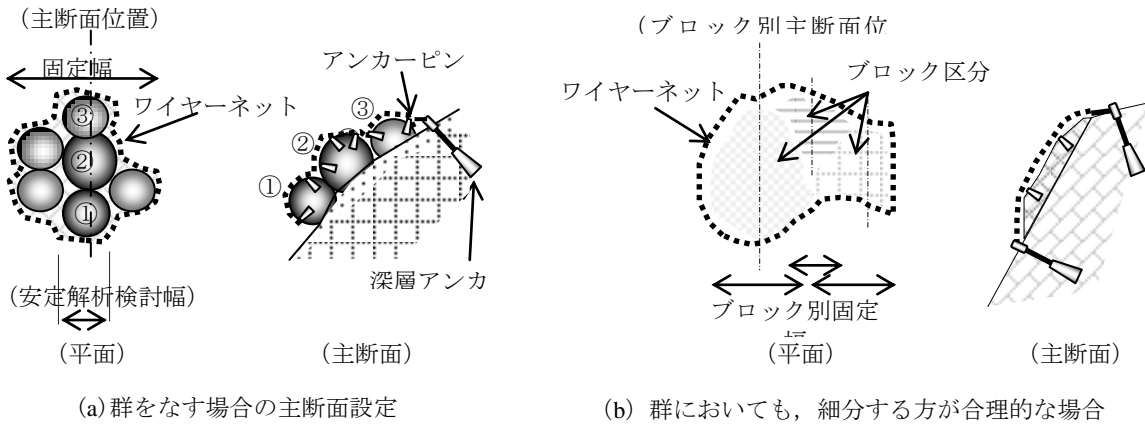


図-3.5.1 設計主断面と抑止力算出の考え方

3.6 簡易測量(調査平面図, 対策工検討断面図)

現地調査では、ワイヤーネットの敷設範囲や固定用アンカーの位置を明示できるように、固定対象を含む周辺地盤の侵食状況や露岩分布状況、施工要件、施工上の留意点等を調べる。

これらを施工側に伝えるための調査俯瞰図(平面図)、検討断面図が必要であり、図のようなスケッチ程度の簡易測量を行う。

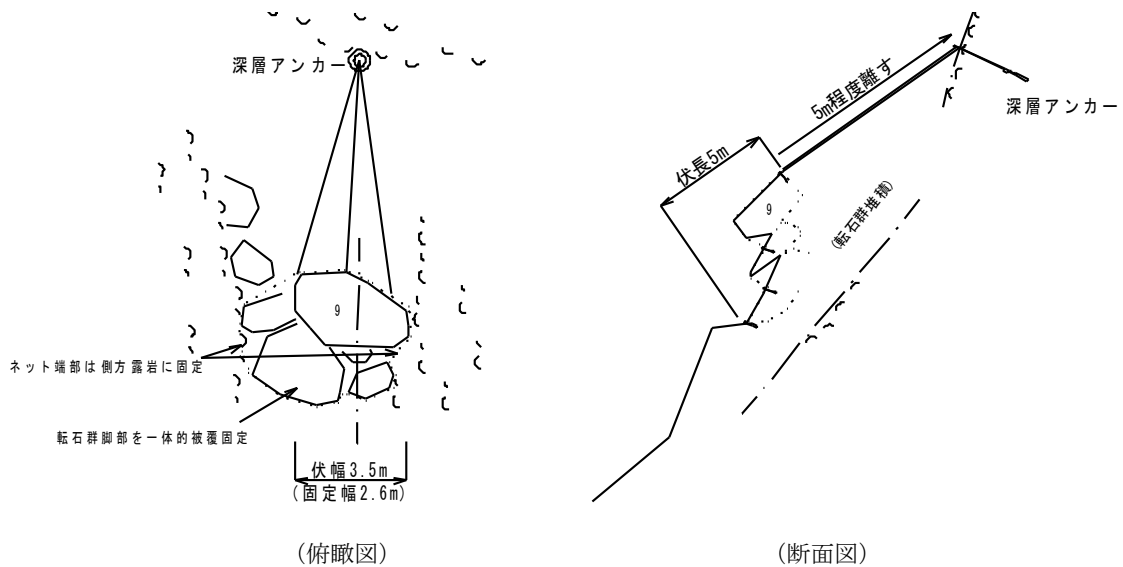


図-3.5.2 調査平面図, 対策工検討断面図