

— 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)



## 【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

落石対策には、発生源対策（落石予防工）と待ち受け対策（落石防護工）があり、表一参 1.1.1 のように区分される。これは「落石対策便覧：(社) 日本道路協会」（以下便覧とする）や「落石対策技術マニュアル：(財) 鉄道技術研究所」（以下 JR マニュアルとする）に示されている工法分類のうち、一般的に採用されているものを抜粋し、これに本マニュアルで取り扱う工法（ワイヤーネット被覆工法、クラッシュネット工法、圧入マット式根固工法、アンカーネット工法）を当てはめたものである。

いずれも発生源対策であり、そのうち、ワイヤーネット被覆工法は、多様な状態の岩塊（転石群）をワイヤーネットで一体的に被覆し、その安全率向上を図るものである。目標安全率に達しない場合は、アンカーによる補強を行うなど、設計手順はワイヤーロープ掛工に準じている。

クラッシュネット工法は、不安定な岩塊をワイヤーネットで巾着状に被覆し、扁平状に小割整形することで、転倒安全率の向上を図るものである。従来工法にない概念であり、新たに“小割整形工”として分類した。除去工とする場合は、小割専用ネット（仮設材）として再利用することができる。

圧入マット式根固工法は、不安定な岩塊の脚部等を間詰め（整形）することで、転倒安全率向上を図るものであり、基礎地盤を確保するための床堀や型枠を不要とすることに特徴がある。

アンカーネット工法は、落石の原因をなす表層すべり／崩壊を同時に抑止する必要がある場合に適用するものであり、地すべり、崩壊対策（目標安全率  $F_p=1.20$ ）として取り扱う。

表一参 1.1.1 開発工法の従来工種への当てはめ

工種分類		備考
落石 予 防 工	小割除去工	クラッシュネット工法
	小割整形工	
	根 固 工	圧入マット式根固工法
	接 着 工	
	ワイヤーロープ掛工	ワイヤーネット被覆工法
	落石防護網工+ロックボルト工	アンカーネット工法
	ロックボルト工 <sup>*1</sup>	一般土木で採用されている工法
	吹 付 工	
	張 工	
	法 枠 工	
	擁 壁 工	
	吹付工+ロックボルト工	
	張工+ロックボルト工	
	法枠工+ロックボルト工	
法枠工+アンカー工		
擁壁工+アンカー工		
落石 防 護 工	覆式落石防護網工	
	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	
	落石防護柵工	
	落石防護擁壁工	
	ロックシェッド工	
落石防護土堤・溝工		

※1：「(財) 鉄道総合技術研究所，落石対策技術マニュアル，平成11年3月」より

### 参 1.1.2 工種別経済性比較

表一参 1.1.2 は、発生源対策の施工単価（概算値）を比較したものであり、小割除去工や接着工は相対的に割高である。

除去工は、リスクを完全に削除できるため、その分“工事費が割高となるのは当然である”といった主張もあるが、除去後の斜面が恒久的に安全であることへの保証はない。接着工を含め、これらは他工法でも対応可能であり、リスクバランスのもと、より安価な工法を採用することで、危険箇所を整備率を高めることも重要である。

表一参 1.1.2 単独処理と面的処理の概算比較

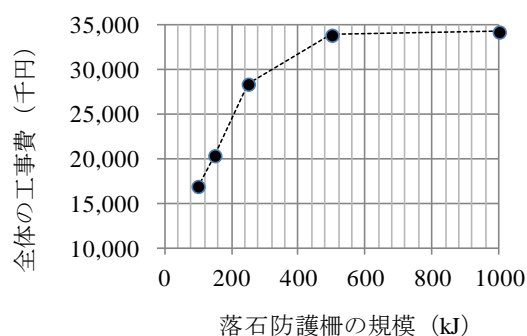
発生源対策	概算工事費 中硬岩 (千円)	経費面以外の理由で 採用されるケース	経費面以外の理由で 採用できないケース	
単 独 処 理	小割除去工（搬出）	280/m <sup>3</sup>	リスク削除が必要な場合  施工後、周辺浸食を助長 する恐れがある場合等	
	小割整理工（野積）			
	小割整形工（残置）	70/m <sup>3</sup>		
	根 固 工		長期耐久性重視 (コンクリート仕様)	基礎を確保出来ない場合
	接 着 工	50~150/m <sup>3</sup>	景観重視	接着効果が期待できない場合
	ロープ掛工		応急対策 抑止力が大きい場合	長期耐久性を必要とする場合
両 方 可	ワイヤーネット被覆工	20/m <sup>2</sup>	抑止力が大きい場合、植生を重視する 場合、長期耐久性を重視する場合 (ステンレス材仕様)	
面 的 処 理	法 枠 工	14/m <sup>2</sup>	抑止力が大きい場合、長期耐久性を 重視する場合	施工段階で重量構造物を設置する ことが適さない場合、植生や景観を重 視する場合
	モルタルき付工	4.7/m <sup>2</sup>		植生や景観を重視する場合

### 参 1.1.3 発生源対策と待ち受け対策の組み合わせ

落石対策は、基本的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。その根拠として、発生源対策のみでは、例えば調査時点で予測できなかった新規の落石に対応出来ないこと、待ち受け対策のみでは、巨岩を設計対象とした場合不経済となりやすいことなどがあげられる。

表一参 1.1.3（図一参 1.1.1）は、待ち受け防護柵（柔構造）の規模と発生源対策（ワイヤーネット被覆工）の組み合わせによる全体工事費の比較事例であり、できるだけ発生源対策で処理し、待ち受け対策の規模を小さくする方が安価となる傾向にある。

工法の組み合わせは多様であるが、イニシャルコストのみならず、耐久性（将来的メンテナンス）等を含めた総合的評価による選定が重要である。



図一参 1.1.1 落石防護柵の規模と全体工事費

表一参 1.1.3 発生源対策と待ち受け対策の組み合わせによる工事費比較

抑止規模	待受け対策（落石防護柵）		発生源対策（ワイヤーネット被覆工） (千円)	工事費計 (千円)
	施工単価 (千円/m)	工事費 (千円)		
~1000kJ	427	29,890	4,287	34,177
~500kJ	402	28,140	5,680	33,820
~250kJ	313	21,910	6,443	28,353
~150kJ	179	12,530	7,836	20,366
~100kJ	110	7,700	9,230	16,930

## 参 1.2 ワイヤーロープ掛工の留意点

ワイヤーロープ掛工（以下ロープ掛工とする）について、便覧（P104）では仮設的取り扱いをする場合が多いとし、森林土木ハンドブック（P553, 1997.6 6版）でも“永久構造物として適さない”と明記している。

その具体的根拠は示されていないが、JR マニュアル（pp.75～77, 1999.3）ではワイヤーロープ掛工の種類を次表のように示し、以下のように概説している。

表-参 1.2.1 ワイヤーロープ掛工の種類

種 類	取 扱 い	略 図
<p>【ロープ掛工】 ワイヤーロープ単体を数本用いて固定。アンカーは岩用（<math>l=1m</math>）および土中用（<math>l=1.5m</math>）。</p>	仮設物として取り扱うことが望ましい	
<p>【ワイヤーもっこ】 ワイヤー製もっこを用いて固定</p>		
<p>【ロープネット工】 （ワイヤーネット式<sup>※</sup>） 格子状に編んだワイヤーロープで固定。岩の大きさ等によりロープ径を変える事ができる。アンカーは岩用（<math>l=1m</math>）および土中用。</p>	比較的長い期間の設置にも十分耐えられる構造となっている。	
<p>【ワイヤーネット工】 覆式落石防護網と類似した構造を持つ。比較的小さな転石がある場合等に適する。</p>		

※) 旧便覧による呼称

### (JR マニュアルの要約)

- ①表に示す“ロープ掛工”および“ワイヤーもっこ”は、既製品を利用することから仮設物として取り扱うことが望ましい。
- ②ロープネット工およびワイヤーネット工は、微地形に応じてワイヤー径等の構造を変えられる自由度があり、比較的長い期間の設置にも十分耐えられるものになっている。
- ③ロープ掛工において最も重要なことは、固定した浮岩塊や転岩塊がワイヤーロープ等から抜け出すことがないように十分安全性を考慮することである。そのため、浮岩塊に掛けるワイヤーロープは、アンカーボルトやピンアンカーで岩体に固定するのが望ましい。メインロープの支持部であるアンカーボルトは、せん断力でロープの張力に抵抗することを基本とし、地山や基岩にしっかり定着させるものとする。

以上の概説から、ロープ掛工を永久構造物とするには、計算に基づき設計されたネット状のもので全体を被覆し、アンカーピン等でワイヤーネットを岩塊に固定することが前提となる。本マニュアルに示すワイヤーネット被覆工法は、これに基づく構造としている。

### 参 1.3 落石対策用アンカーの留意点

落石対策で用いるアンカーに“土砂用”が使用されているケースがあるが、写真のように引き抜けているものがある。あるいは“岩用”でも、節理の発達した露岩では剥離が進行し、初期の性能を発揮できない状況のものがある。

これらの実態を踏まえ、本マニュアルでは以下のように定めている。

- アンカーは岩用のみ使用する。
- アンカー形式は定着地盤の剥離を抑制できるくさび方式<sup>4)</sup> (図-参 1.3.1) とする。



写真-参 1.3.1 土砂用アンカーの引抜け状況 (施工後約 20 年)



写真-参 1.3.2 岩用アンカーの剥離状況 (施工後約 20 年)

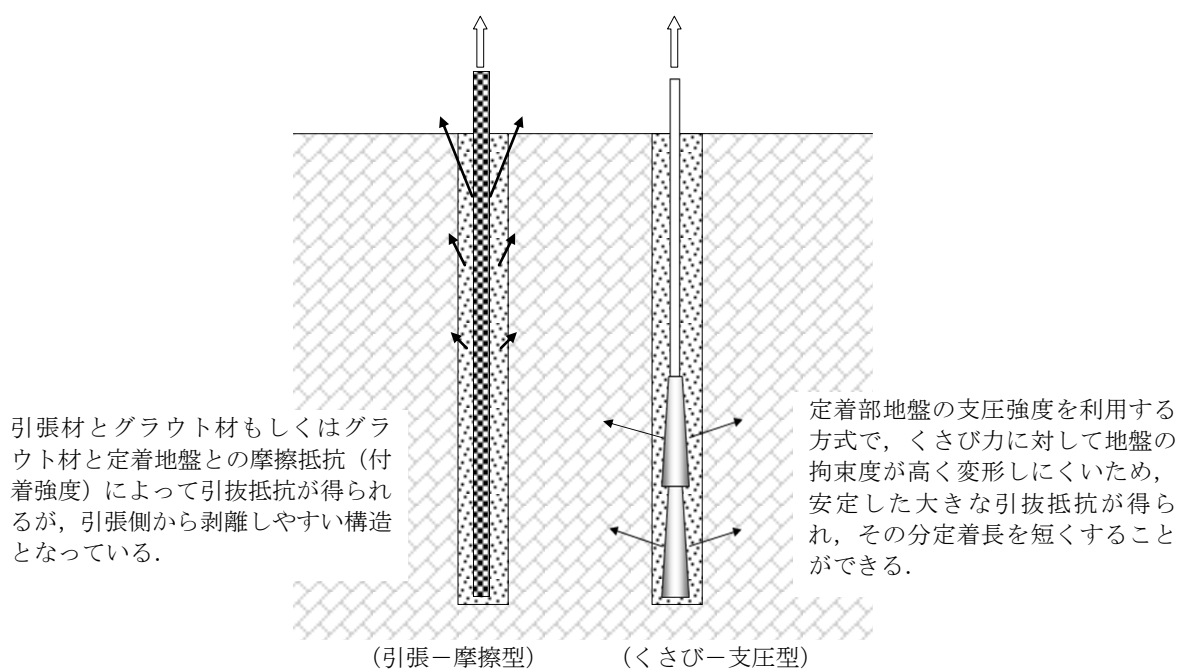


図-参 1.3.1 アンカー形式と支持機構の違い

### 参 1.4 部材の防食性について

施工後 20 年程度経過した土木構造物では、著しく腐食したものがあり、部材の防食性向上が喫緊の課題となっている。これを踏まえ、本マニュアルでは、腐食し難いステンレスおよびダクタイル材を採用している。



写真一参 1.4.1 海岸沿いに設置した H 形鋼の腐食状況 (施工後 20 年程度経過)



写真一参 1.4.1 D22 の腐食状況 (山間部道路法面) (施工後 20 年程度経過)

### 参 1.5 目標安全率について

現状における落石対策での技術基準は、統一されたものがなく、そのため例えば同じワイヤーロープを用いた発生源対策にも関わらず、次表のように目標安全率の設定や計算方法が異なる。

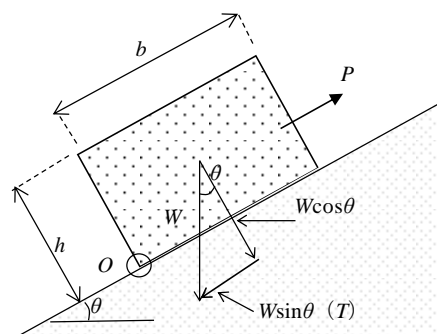
表一参 1.5.1 ワイヤーロープによる発生源対策の設計の違い

工法区分	ワイヤーロープ伏工※1)	ロープ掛工	ワイヤーネット被覆工
滑動に対する抑止力算定方法の違い	<p>所用引張力 <math>P</math> は、便覧に示す覆式落石防護網工と同様に、摩擦係数 <math>\mu=0.5</math> とし、滑ろうとする力 <math>T (=W\sin\theta)</math> から抵抗する力 <math>S (=W\cos\theta \cdot \mu)</math> を引いた値としている。</p> $P = T - S$ <p>これによる目標安全率 <math>F_p</math> は</p> $P + S = T$ $F_p = (P + S) / T = 1.0$	<p>便覧の設計例では、所要引張力 <math>P=T</math> としている。これを覆式落石防護網工の設計式にあてはめれば、</p> $F_p = (S + P) / T = (S + T) / T = 2.0$ <p>所要引張力 <math>P (=T)</math> は、ワイヤーネット被覆工で求められる値の 2 倍となる。</p>	<p>JR のロックボルトによる設計例では、目標安全率 <math>F_p=2.0</math> と明記し、所要引張力 <math>P^{**2)}</math> は滑ろうとする力 <math>T</math> (分母項) から減じている。これに従った場合の目標安全率 <math>F_s</math> は</p> $F_s = S / (T - P) = 2.0$ <p>所要引張力 <math>P</math> は</p> $2P = 2T - S = T(2 - S/T) = T$ $P = T/2$
	ここに、 $T$ : 滑ろうとする力、 $S$ : すべりに抵抗する力、 $P$ : 所要引張力 $F_0$ : 初期安全率 ( $F_0=S/T=1.0$ )、 $F_p$ : 目標安全率 (滑動安全率に対する所要引張力 $P$ の違い)		
目標安全率/所要引張力	$F_p=1.0, P=T-S$	$F_p=2.0, P=T$	$F_p=2.0, P=T/2$
検討項目	滑動のみ	滑動のみ	滑動および転倒
地震力	考慮しない	考慮する	考慮する

※1) 格子状ネットの交点にアンカーを設ける工法 (文献 5, p97)

※2) 岩塊がすべろうとする力  $T$  とワイヤーロープによる引張力  $P$  の関係は、図一参 1.5.1 のように示される。

引張力  $P$  の効果について、便覧に示すロープ掛工では抵抗成分 (分子項) に加味しているが、JR マニュアルでは滑動成分 (分母項) から減ずる取り扱いとしており、本マニュアルもこれにならう。



図一参 1.5.1 滑動力と引張力の力関係



目標安全率を  $F_s=1.20$  とするケース（文献 5, p136）もあり，この値に関して地すべり対策では以下のような考え方がなされている．

- ①地すべりは，極限平衡状態の安全率  $F=1.0$  を境に， $\pm 0.05$  程度の幅をともなって滑動および停止することが経験的に知られている．
- ②対策工の規模が大きいくほど，“0.1”だけ安全率を上昇させるのに億単位の工事費が必要となり，いたずらに目標安全率を高く設定することができない．
- ③これを踏まえて，応急対策等での最小目標安全率  $F_p=1.05$ ，保全対象の緊急度が低い場合  $F_p=1.10$ ，緊急度が高い場合  $F_p=1.20$ ，ダムなどの重要構造物  $F_p=1.50$  とするなどの使い分けがなされている．

一般に地すべり滑動は緩慢なため，相対的に避難するための時間的余裕があることも，このような対応を許容するものといえる．

一方，落石対策では

- 通常目視による調査が主体であり，不可視部分が多い場合はかなり曖昧な設計となりやすい．
  - 保全対象への到達速度はまさしく“瞬時”である．
  - 個々の岩塊に対する工事費は，数万～数十万円であり，地すべり対策に比べ桁違いに小さい．
- といったことから，目標安全率を高めに設定すべきであり，かつ可能である．

このような背景からして，便覧や JR マニュアルの設計例における目標安全率  $F_s=2.0$  は妥当と考えられ，本マニュアルもこれに従う．

### 参 1.6 安定計算の検討項目について

本マニュアルでは以下のような現場事象を踏まえ、地震時を含めた“滑動および転倒”計算に基づく設計としている。

写真-参 1.6.1 は、露頭壁面から転落した岩塊であり、これが仮に転倒することなく“滑動運動”のみに規制されるとすれば、対策の必要性はさほど感じられない。現場で感ずるのは、多くの場合“転倒する危険性”であり、その検討は不可欠である。



写真-参 1.6.1 露頭壁面から剥離し、20m ほど転がった転石

写真-参 1.6.2 は、ワイヤーネットで固定された転石（ $\phi 6.3\text{m}$ ）が地震時に 2.5m 移動した例であり、地震力を考慮する必要性を示すものである。

写真-参 1.6.3 は、半分程度埋没状態の浮石であるが、将来的に倒木による転落が懸念される。倒木による外力の算定は困難であり、本マニュアルでは便宜的に地震力に含めるものとし、JR マニュアルで採用している水平震度係数を、全国一律に与えることとしている。



写真-参 1.6.2 地震により 2.5m 移動した急点付近の転石（ $\phi 6.3\text{m}$ ）



写真-参 1.6.3 倒木による転落が懸念される浮石

## 参 1.7 根固工について

写真-参 1.7.1 は、数十年前に施工されたコンクリート壁による根固工である。安定した基礎地盤を確保するための床堀が必要となるが、二次災害の恐れが高く一般には採用できないケースが多い。

一方、写真-参 1.7.2 は、脚部が浸食された不安定な浮石であり、周囲の岩塊との摩擦抵抗等により、かろうじて転倒を免れているといった様相にある。仮にこの状態でロープ掛工を施した場合、上記摩擦抵抗等が低下した段階で、ワイヤーロープやアンカーに常時転倒力が作用し、長期耐久性に対して不安な状態となる。これを避けるには、少なくとも転倒に対する安定度は、根固工により確保しておくことが適当である。

本マニュアルで提案する圧入式根固マット工法は、床堀を不要にし、崖錐上でも所要の支持力を強制的に確保するものである。



写真-参 1.7.1 根固工の実施例



写真-参 1.7.2 転倒が懸念される巨岩

## 参 2. 開発工法の考え方

### 参 2.1 ワイヤーネット被覆工法

本工法は、不安定な岩塊を自在性の高いワイヤーネットで巾着状に包み、アンカーで固定するものであり、特に複数の岩塊を一体的に被覆することで、全体の安定度を高めることができることに着目したものである。

#### 参 2.1.1 落石の初動現象

落石源の岩塊は、地山との付着や摩擦力により、あるいは転倒に対するバランスにより安定が維持されている。これらの安定要因が失われたとき落石が発生し、その初動形態は以下の四つに区分される。

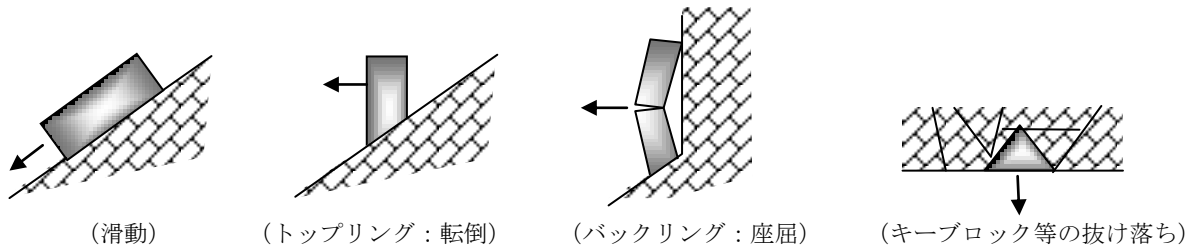


図-参 2.1.1 落石発生源での初動現象

#### 参 2.1.2 発生源対策における所要抑止力

図-参 2.1.1 に示したもののうち、“滑動”や“転倒”に対してはこれらを防ぐだけの抑止力を与えればよい。“バックリング”や“抜け落ち”も“急傾斜面における滑動”と捉えることもでき、究極的にはその自重を支えればよい。

一方、岩塊の安全率に影響を与える因子として、岩塊脚部の侵食や地震力、動物、倒木等による外力がある。脚部侵食はそのおかれた環境から将来的侵食面を与えることが可能である。動物や倒木による外力は算定が困難であり、これらについては地震力に含めて取り扱うことが現実的である。

このように、落石に対する抑止力は滑動や転倒計算を基に、今後予想される侵食面や地震力を与えることで合理的に求めることができる。

#### 参 2.1.3 ワイヤーネット被覆工法による抑止の考え方

図-参 2.1.2 は、斜面上に置かれた球体の挙動を示すものであり、1 個の場合は下方へ容易に転落する。2 個を連結させた状態でも、これが斜面横方向に並んだ場合は容易に転落する。しかし 3 個を連結させた場合は、おのおのが勝手に回転することができず、全体としては滑動運動しかできなくなる。

一般に落石斜面は凹凸があり、あるいは埋没した状態の岩塊も多い。したがって、これらを一体的に被覆すれば滑動や転倒に対する抵抗は飛躍的に高まり、安定化せしめることができる。

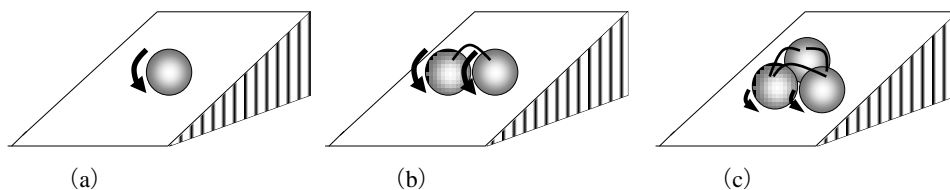


図-参 2.1.2 岩塊の転倒を防ぐための条件

### 参 2.1.4 ワイヤーネットで一體的に被覆された岩塊の挙動

写真-参 2.1.1 は、針金からなるリングで構築した自在性の高いネットで、板上の三個のボーリング球を一体化するように被覆（所々ビス留め）したものである。

この状態で板を傾けると、ネットのたるみ状況から写真に示す方向にそれぞれ回転することが分かる。すなわち、No.1 が下方へ回転すると同時に、これと接する No.2 を上方へ押しやる挙動を示す。No.2 の上方への回転は、これに接する No.3 を下方へ回転させる。そのため、No.1 と No.2 間のネットには引張力が働くが、No.2 と No.3 間ではネットのタルミが生ずる。

このように、斜面上の複数の物体をネットで密着状態に被覆することでそれぞれの挙動を規制し、その分全体の抑止力を軽減することができる。

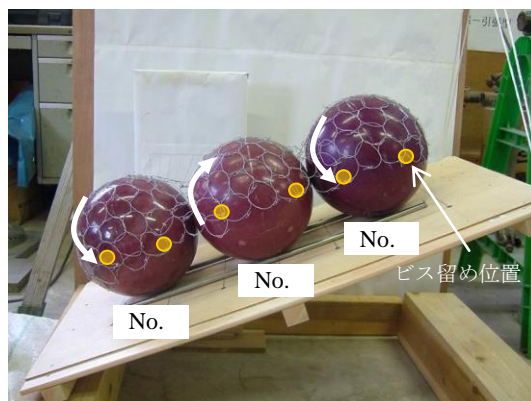


写真-参 2.1.1 ネットで一体化するように被覆されたボーリング球の挙動

### 参 2.1.5 滑動に対する岩塊の連結効果

写真-参 2.1.2 は、写真-参 2.1.1 の状態で、これの上部平坦面に置いた岩塊（円内）と連結したものである。前者より急勾配で不動を保っており、岩塊（摩擦抵抗増）による抑止効果である。



写真-参 2.1.2 ワイヤーネットによる岩塊の連結効果

### 参 2.1.6 転倒に対するネットの抑止効果

写真-参 2.1.3 は、板上のボーリング球 4 個を、前項と同様にネットで一体化せしめた状態にある。

この状態から、板を傾斜させてもボーリング球は転落しない。これはボーリング球全体の重心が安定領域に固定され、かつボーリング球と板材の間に所要の摩擦抵抗が發揮されていることを示す。

このように、不安定な複数の球をワイヤーネット等で一体化せしめるのみで、全体の安定度を高めることができる。

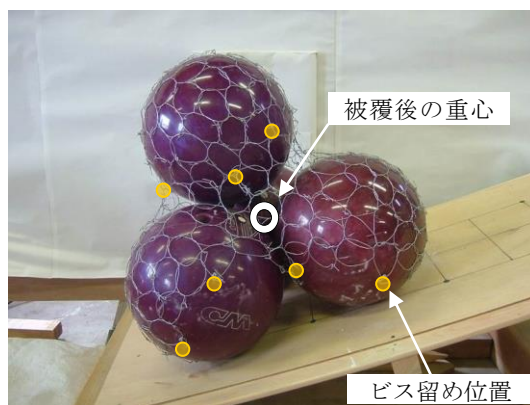


写真-参 2.1.3 ワイヤーネットによる抑止効果

### 参 2.1.7 覆式と被覆式の違い

従来工法に覆式落石防護網工があり、本工法との違いは“覆う”と“被覆する”にある。

写真-参 2.1.4、参 2.1.5 は、その違いを確認するため実験であり、5cm メッシュを記した板材の上にモルタル球を並べ、ネットによる拘束力の比較を行った。

覆式は、針金からなる格子状のネットでモルタル球を覆い、端部を釘で固定した（写真-参 2.1.4）。被覆式は、リング（針金）からなる自在性の高いネットで、モルタル球を一つずつ包むように被覆し、ネット上部（1カ所）に釘で固定した（写真-参 2.1.5）。

この状態で板を傾けた結果、被覆式（写真-参 2.1.5 の 3）は、覆式（写真-参 2.1.4 の 3）に比べモルタル球の変位が小さく、被覆物に対する拘束度が高いことが分かる。

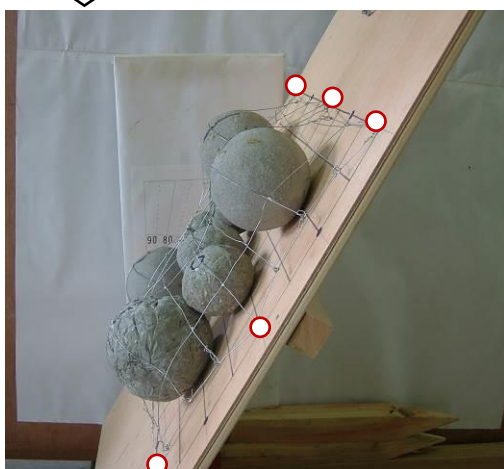


(1) 初期状態

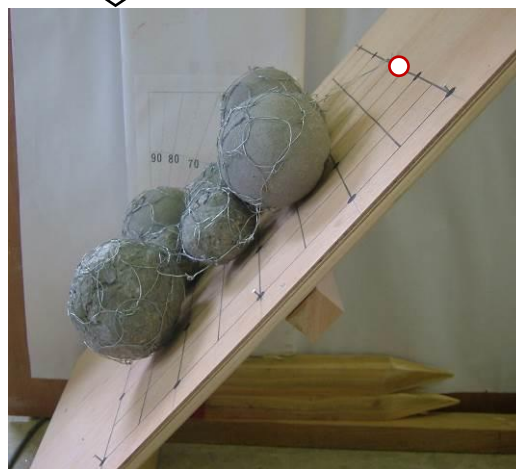
ネット固定点



(1) 初期状態



(2) 傾斜状態



(2) 傾斜状態



(3) 傾斜後の岩塊の状態

写真-参 2.1.4 覆式ネット



(3) 傾斜後の岩塊の状態

写真-参 2.1.5 被覆式ネット

### 参 2.1.8 固定対象の大きさ(目安)

一般に、不安定な状態の岩塊の地表露出度は70~90% (便覧 P.304 表 3-7 危険度判定の段階)とされている。ワイヤーネットを敷設できる範囲がこれに等しいものとして、その抑止力を試算したのが表-参 2.1.1 である。同表では

- ① 岩塊の径(重量)と斜面傾斜角(すべり面)から、現状安全率  $F_s=1.0$ 、目標安全率  $F_p=2.0$  として岩塊の所要抑止力  $P_1$  を求める。
- ② 露出度 70% とした時の、岩塊の横断上(図-参 2.1.2 の横断)における敷設可能なワイヤーリング数から、ワイヤーネットによる最大抑止力(引張力)  $P_2$  を求める。
- ③ ワイヤーネットで被覆固定できる範囲は、“ $P_1 < P_2$ ” となる。

これより、傾斜  $45^\circ$  の斜面では、リング径 60cm で  $\phi 5m$  の岩塊、リング径 35cm で  $\phi 6.5m$  の岩塊を固定できる。

表-参 2.1.1 ワイヤーネットによる抑止力(概算値)  
(岩塊の露出度 70%、ワイヤー径 8mm、ワイヤーリング径 35cm、60cm の場合)

斜面傾斜角 $45^\circ$				ワイヤーリング $\phi 35cm$		ワイヤーリング $\phi 60cm$	
石の径	石の重量	所要抑止力 $P_1$	ワイヤー敷設区間長	ワイヤーロープ敷設本数	同左引張り力 $P_2$	ワイヤーロープ敷設本数	同左引張り力 $P_2$
(m)	(kN)	平常時滑動 ( $F_s=2.0$ )	(m)		(kN)		(kN)
1.0	13.6	4.8	2.2	12.6	219.8	7.3	128.2
1.5	45.9	16.2	3.3	18.8	329.7	11.0	192.3
2.0	108.9	38.5	4.4	25.1	439.6	14.7	256.4
2.5	212.6	75.2	5.5	31.4	549.5	18.3	320.5
3.0	367.4	129.9	6.6	37.7	659.4	22.0	384.7
3.5	583.4	206.3	7.7	44.0	769.3	25.6	448.8
4.0	870.8	307.9	8.8	50.2	879.2	29.3	512.9
4.5	1239.9	438.4	9.9	56.5	989.1	33.0	577.0
5.0	1700.8	601.3	11.0	62.8	1099.0	36.6	641.1
5.5	2263.8	800.4	12.1	69.1	1208.9	40.3	705.2
6.0	2939.0	1039.1	13.2	75.4	1318.8		
6.5	3736.7	1321.1	14.3	81.6	1428.7		
7.0	4667.1	1650.1	15.4	87.9	1538.6		

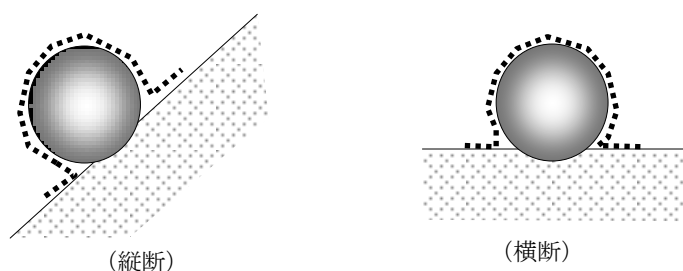


図-参 2.1.2 ワイヤーネット敷設可能区間

## 参 2.2 クラッシュネット工法(小割整形工)

本工法は、不安定な岩塊をワイヤーネットで巾着状に包み、安定した形状に整形後、そのまま残置するものであり、小割除去工の作業負担軽減と工事費削減を目的として開発したものである。

### 参 2.2.1 小割除去工の問題点

森林整備が手薄になるとともに、写真-参 2.2.1 のような倒木による落石が多発している。

現状では、これを小割りし地外へ搬出するか、付近の緩斜面等に安定した状態で野積みする方法が行われているが、以下のような問題点がある。



写真-参 2.2.1 落石を誘発する倒木

- ①写真-参 2.2.3 は、一般的な小割作業風景である。本来であれば、安全対策上、ロープ掛工等による仮固定や適切な仮設防護柵、および写真-参 2.2.4 のような仮設足場を設置すべき事例である。
- ②人力作業では、対象岩塊を  $\phi 20\text{cm}$  程度以下の大きさに小割りする必要があり、搬出作業を含め多大な労力と費用を要する。
- ④一方で、倒木による落石といった潜在的リスクを、調査時点で把握することはおよそ不可能である。しかも、適正な森林整備をしない限り倒木は恒久的に続くことから、多額の費用をかけて岩塊を除去することの優位性は低い。
- ⑤したがって、新規建設投資が削減される状況において、一時的かつ高額な“リスク排除”よりも、“安価な工法による危険斜面の整備率向上”といった、“リスク低減”をめざすべきである。



写真-参 2.2.2 同上, 倒木による転石



写真-参 2.2.3 専用ネットを使用しない場合の小割例



写真-参 2.2.4 単管足場仮設例



97 写真-参 2.2.5 小割りした岩塊を安全な場所に移し、籠詰めした例



## 参 2.2.2 小割整形工

本工法の作業手順として

- ①岩塊をワイヤーネットで包み、立木等にワイヤーロープで固定（転落防止，写真－参 2.2.6）.
- ②この状態で安定形状（扁平状）に小割整形し，そのまま残置（写真－参 2.2.7～参 2.2.9）.
- ③安定度が不足する場合は，アンカー等による補強（滑動防止）を行う．

本工法の効果として

- ①岩塊を固定した状態で小割りするため，作業の安全性を確保しやすい．
- ②人力による石の移動，搬出が不要となるため，作業負担が大幅に改善される．
- ③ワイヤーネットで被覆された扁平状の小割岩塊は，所々アンカーピンでネットと緊結しているため，その回転運動を規制できる（転落防止）．
- ④待ち受け対策で捕獲可能な大きさに小割することで，仮にワイヤーネットが破損し，これらが転落した場合でも，安全は確保できる．
- ⑤したがって，発生源対策のメンテナンスも基本的に不要となる．



写真－参 2.2.6 小割りする岩塊をワイヤーネット（リング径 35cm）で包み，補助ロープで立木に固定



写真－参 2.2.7 ワイヤーネット内での小割作業



写真－参 2.2.8 安定形状に小割し，そのまま残置（斜面脚部にはポケット式落石防護網が設置されている）



写真－参 2.2.9 必要に応じて補助ロープで固定し，長期的安定を確保する．

### 参 2.3 クラッシュネット工法(小割除去工)

通常の小割作業は以下のような作業手順となる。

- ①人力による小割（小割り作業のための足場仮設，転落防止柵の設置等含む）
- ②モノレール等への積み込み，搬出・・・付近の平坦面に野積みする場合もある。
- ③ダンプ等の運搬車への積み込み，産廃処理

本工法は上記①の作業を安全に行うためのものであり，

- ①小割岩塊に対するアンカーは，立木を利用する（立木を利用できない場合は，固定用アンカーを設置）。
- ②小割りする大きさは， $\phi 20\text{cm}$ 程度以下とする（人力による連続作業を考慮）。
- ③小割りネットを構成するワイヤーリング径は， $35\text{cm}$ を基本とする。

本工法の効果として

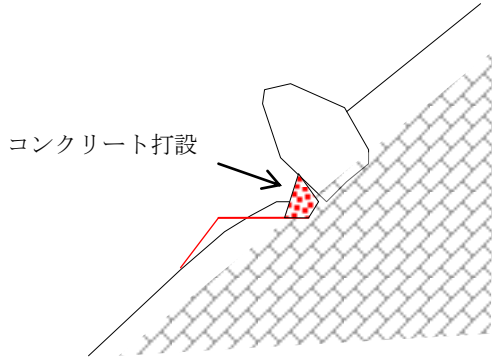
- ①安定計算（地震時を含む滑動および転倒安全率）に基づき，ネットの所要強度やアンカー力を求めるため，作業の安全を確保しやすい。
- ②ネットの自在性が高いため，あらゆる形状の岩塊でも容易に巾着状に包むことができる。
- ③小割りネットは仮設材として現地組立・解体方式であり，資材運搬が容易であるほか，再利用も可能である。

## 参 2.4 圧入マット式根固工法

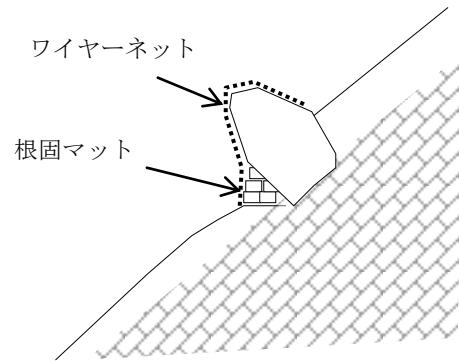
通常の根固工は、図一参 2.4.1 のように安定した基礎地盤を確保するための床堀を必要とするが、転倒等を助長する恐れがあり、一般に採用し難いケースが多い。

根固マットでは

- あらかじめ、不安定岩塊をワイヤーネットで被覆した後、間詰め領域を、岩塊の安定を損なわない程度に整形（平坦面の形成）
- コンクリートマットを敷設し、内部を加圧グラウトすることで間詰め領域を充填
- コンクリートマットと岩塊が一体化するように、ワイヤーネットで被覆固定

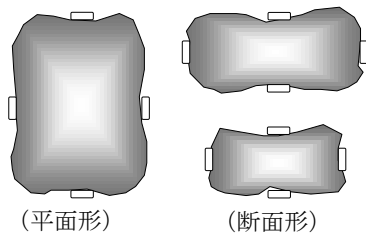


図一参 2.4.1 従来の根固工

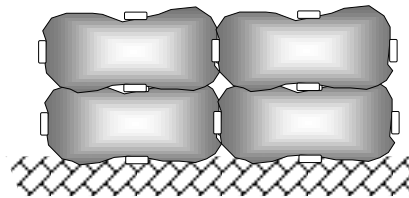


図一参 2.4.2 圧入マット式根固工

マットの大きさは幅 0.3m、長さ 0.5m、厚さ 0.15m を標準とし、排水対策として、マット表面に凹凸ができるよう加工している（図一参 2.4.3）。これを、図一参 2.4.4 のように所要空間に順次敷設し、最終段階で加圧充填する。



図一参 2.4.3 根固マットのグラウト時形状

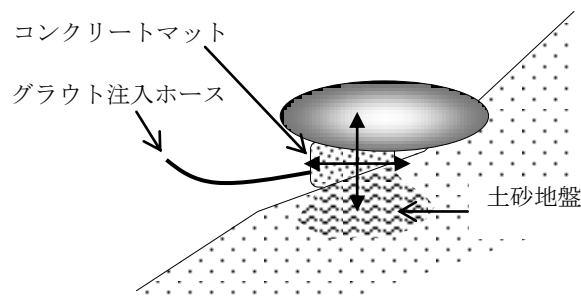


図一参 2.4.4 マット積み立て時の空隙部

ルーズな地盤等での所要支持力は、次図のように岩塊重量を反力としながら、加圧グラウト（1～3MPa）することでこれを確保（100～300kN/m<sup>2</sup>）できる。

その他の利点として、

- 布製のため、どのような狭隘な空間も充填可能である
- 圧入方式のため、作業場所より高い層準の充填が可能である
- グラウト充填直後であれば、マットの整形が容易である



図一参 2.4.5 加圧グラウトによる地盤支持力の改良

## 参 2.5 アンカーネット工法

### 参 2.5.1 適用範囲

アンカーネット工は、落石発生源において表層すべり等による変状が認められ、当該斜面全体を面的に固定する必要がある場合に計画する。

足場条件の悪い山腹斜面が主体のため、軽微な機材で施工（人力施工）できるよう、地すべり等の規模は層厚 3~5m 程度以下を対象とする（規模が大きい場合は、グラウンドアンカーが必要）。

### 参 2.5.2 鉄筋挿入工との違い

不安定斜面を固定する工法として鉄筋挿入工があり、植生をできるだけ残すよう法面工（地表構造物）をワイヤーネットとする方法が普及している。

一方、JH による鉄筋挿入工の設計基準によれば、固定対象の規模を斜面長 30m 程度以下、層厚 3m 程度以下とし、“すべり形状を規定するような不連続がない”ことを適用条件<sup>3)</sup>としている。すなわち、鉄筋挿入工は予防対策であり、すでにキレツ等が形成されている斜面には適さない。

特に図-参 2.5.1 のように、鉄筋をすべり面に対して垂直に近い形に設置し、かつ引張荷重を与えないため、基本的に引止効果や締付け効果（図-参 2.5.3）は働きにくい（もしくは働かない）。このことは項末に示す現場実態からも明らかである。

これに対してアンカーネット工は、図-2.5.2 のように主に引止効果が働くように設置角度を緩くし、グラウンドアンカーのように初期荷重を与えるようにしている。したがって、不安定土塊が変位することはない。

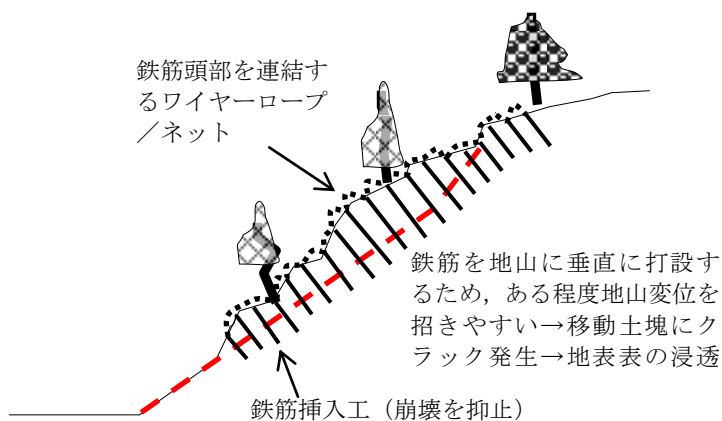


図-参 2.5.1 鉄筋挿入工による対策

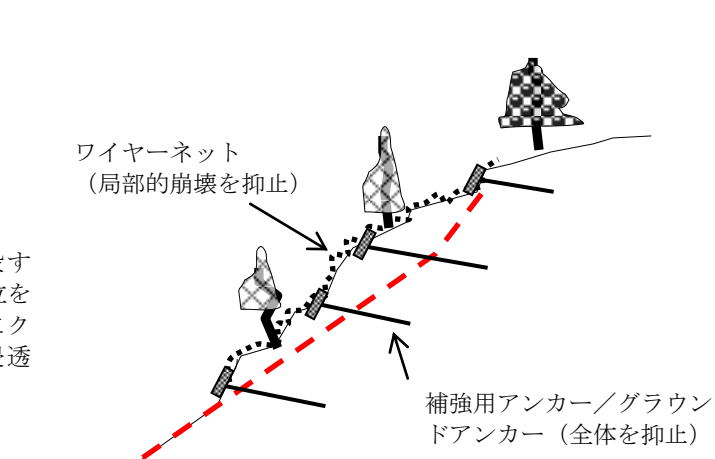


図-参 2.5.2 アンカーネット工法による対策

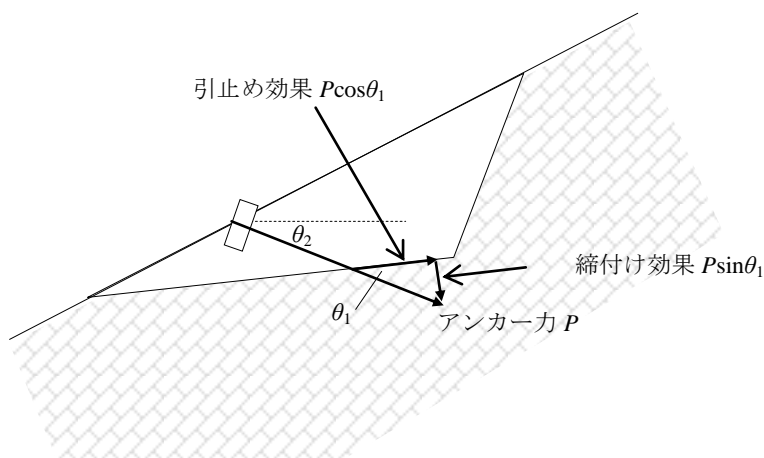
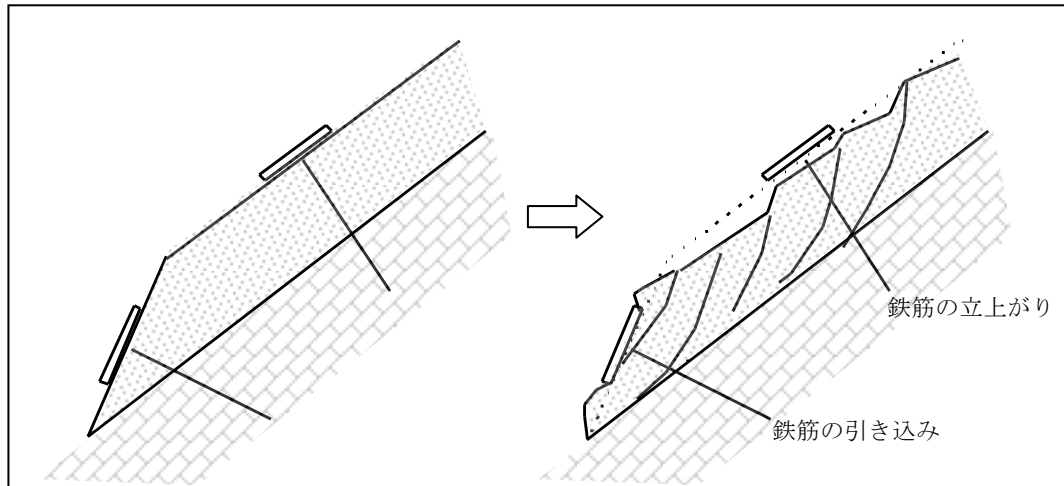


図-参 2.5.3 アンカー工の抑止効果

【鉄筋挿入工の実態例】

現場例として、次図のように移動層中位付近のものは“鉄筋の立ち上がり”（写真一参 2.5.1）を、圧縮力が働く移動層脚部では“鉄筋の引き込み”（写真一参 2.5.2）を生じており、前者での抑止力は、ほとんど機能していないことが分かる。

こうした現象からも、アンカーはできるだけ“引止効果”が発揮できるよう、すべり面に対して低角度で設置すべきである。



図一参 2.5.4 鉄筋挿入工の変位形態



写真一参 2.5.1 移動層中腹部鉄筋の立ち上がり状況



写真一参 2.5.2 移動層脚部鉄筋の引き込み状況

### 参 2.5.3 アンカーネット工の考え方

アンカーネット工は、アンカーにより当該斜面全体のすべりを抑止した上で、これによって対応できない局部的な表層すべりを、ワイヤーネットで補足するものである。

課題として、任意地点で局部的に発生するであろう表層すべりの位置、すべり面層準、すべり面形態、規模を特定する必要がある。その方法として、

- 図-参 2.3.5 のように、地すべり等の不安定斜面に、全面的かつ千鳥状にアンカー（受圧版）を配置することで、これを縦横断方向に一定間隔で縁切りし、表層すべりの発生領域特定する。
- 図-参 2.5.6 は、受圧版によって規制される、アンカー軸からの荷重分散角の範囲であり、受圧版間の表層すべりは、これの上面に規制される。
- 受圧版間隔やアンカーの打設角を調整することで、表層すべりの規模を計画的に特定できる。

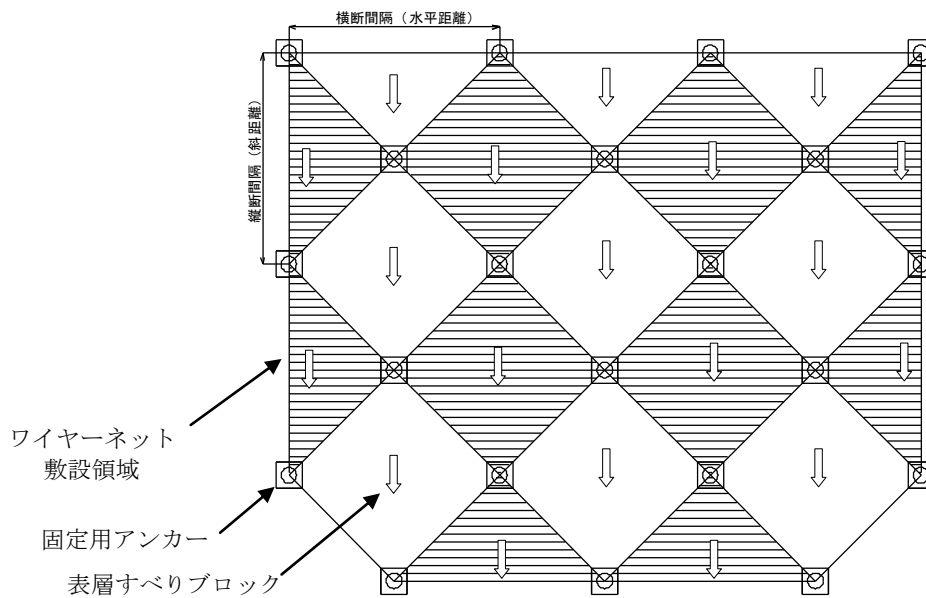


図-参 2.5.5 アンカー工の配置と表層すべり発生領域の特定

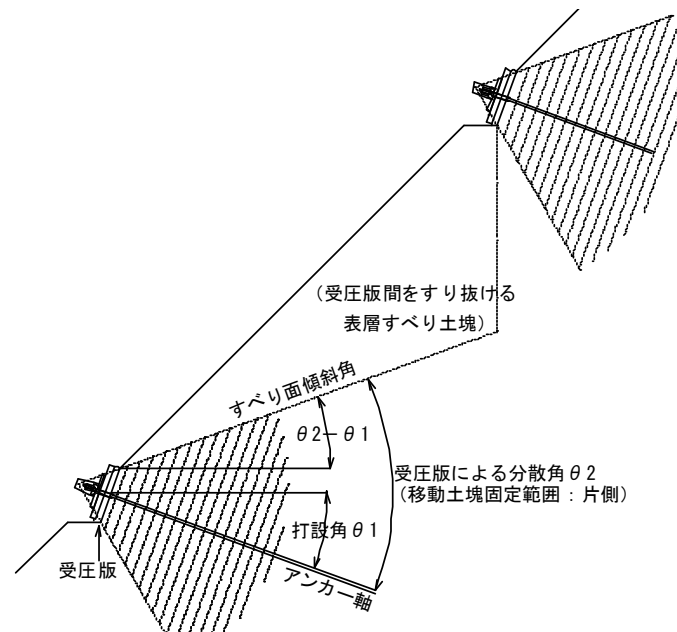


図-参 2.5.6 アンカー受圧版による土塊の抑止範囲と表層すべり土塊

## 参 2.5.4 模型実験による確認

模型実験により、斜面を縁切りすることの効果等を確認する。

### ①斜面の縁切り効果

写真のように、箱の中を釘で縦方向に縁切りしたものに砂を充填し徐々に傾けると、縁切り幅が広い方ほど低勾配で先に崩れる。

このように、斜面横断方向を細かく縁切りすることで、斜面の安定度が高まることが分かる。



傾斜 60°



傾斜 65°



傾斜 75°

### ②受圧版によってもたらされる荷重分散角

写真-参 2.5.1～参 2.5.4 は、受圧版による移動土塊の抑止範囲を確認するための実験である。

写真-参 2.5.3, 参 2.5.4 で分かるように、移動土塊はアンカー軸より片側 40°程度の範囲で抑止されている。一般に構造物基礎の荷重分散角は粘性土で 45°, 砂質土で 30° とされており、本工法では受圧版によってこの範囲に抑止力が働くものとする。

写真-参 2.5.5～参 2.5.8 は、受圧版で囲まれる領域の抜けだし形態を確認するための実験であり、中央付近が最も深くなっている。これは図-参 2.5.6 に示した崩壊断面を裏付けるものであり、これがワイヤーネットによる固定対象(表層すべり)となる。



写真-参 2.5.1 受圧版セット状況  
(試料枠：56×56×10cm. 試料はマサ土)

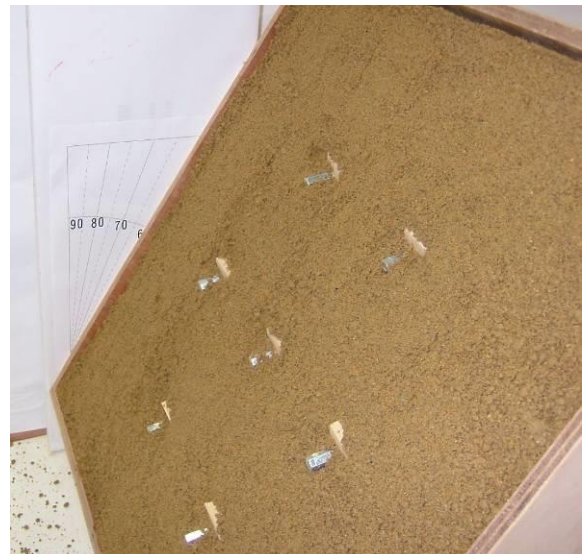


写真-参 2.5.2 傾斜 60°



写真-参 2.5.3 傾斜 65° で崩落

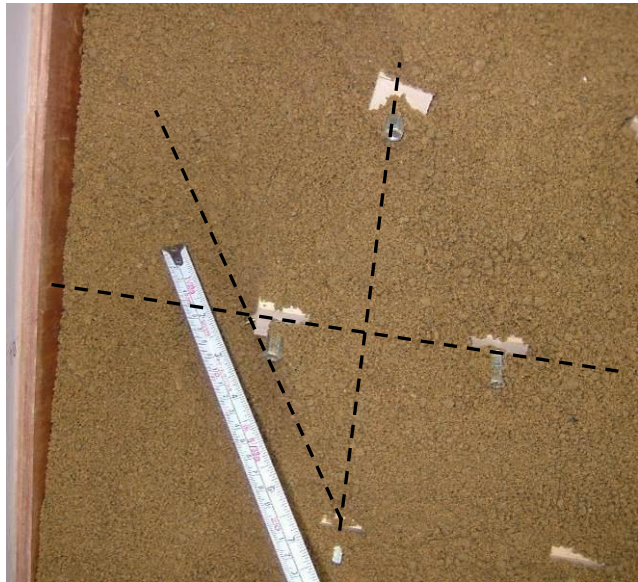


写真-2.5.4 同左, 打設方向から約 40° の範囲を抑止



写真-参 2.5.5 崩落状況



写真-参 2.5.6 同左, 側面



抜けだし単位

写真-参 2.5.7 同上, 受圧版間の抜けだし状況



### ③ワイヤーネットによる抑止効果

写真-参 2.5.8~2.5.10 は、ネットによる抑止効果を確認する実験である。ネットを敷設した場合とアンカー受圧版のみの場合を比較した場合

○何れも傾斜  $65^\circ$  でアンカー周囲土塊が崩落しているが、

○ネット併用の方が土塊全体の変形量が小さい（写真-参 2.5.8 と参 2.5.10 で、杵天端の土塊剥離量の比較）。

このように、アンカー頭部を連結（一体化）することで設置地盤全体の変位を抑制する効果が認められる。



写真-参 2.5.8 ネットによる抑止効果

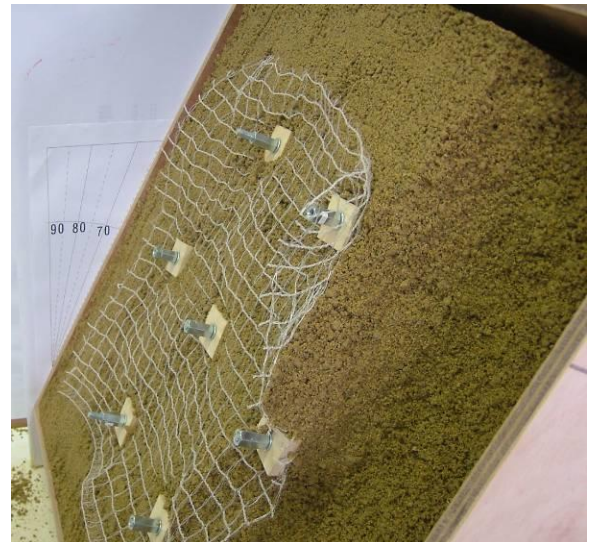


写真-参 2.5.9 同左, 断面



写真-参 2.5.10 アンカー工のみの場合  
(傾斜  $65^\circ$  で周囲が崩落)