

— 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用している。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用し、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)

## 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

本工法は、不安定な岩塊/群をワイヤーネットで巾着状に被覆し、アンカーで固定するものである。従来工法と異なる主な点として、

- ①地震時を含む、岩塊の滑動および転倒計算に基づき、所要抑止力を決定。
- ②これに資するよう、現地では、岩塊を平行6面体でモデル化して計測。
- ③転石群のように無数に岩塊が散在する場合は、地すべり対策と同様の主断面を設定し、これに基づく全体設計を行う。
- ④不安定な岩塊のみならず、埋没状態の安定した岩塊を含めて、ワイヤーネットで一体的に被覆することで、ネット自体による安全率上昇を図る。→ 固定用アンカーの所要抑止力低減

以上、詳細は巻末の参考資料（参 2.1 等）に示す。

#### 4.1.2 設計手順

設計フローを次図に示す。

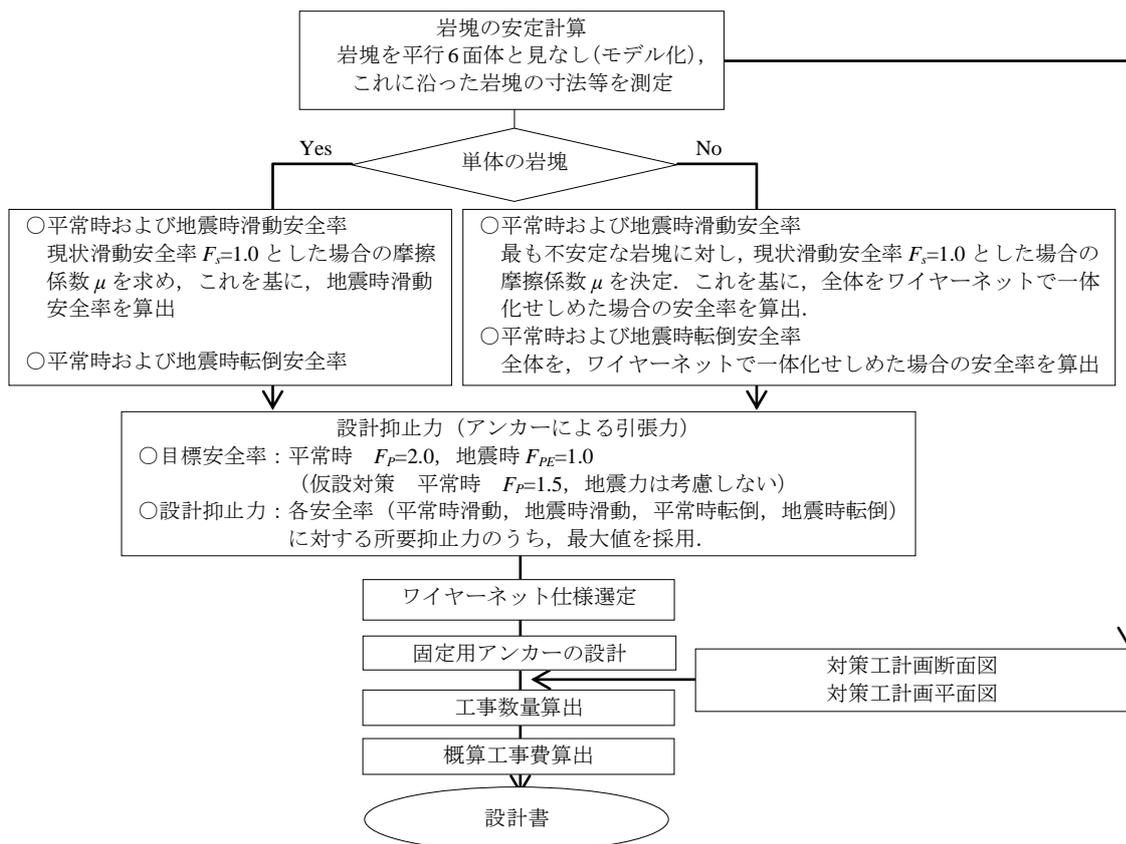


図-4.1.1 ワイヤーネット被覆工法設計フロー図

#### 4.1.3 設計条件

##### (1) 安定計算

###### ① 目標安全率 (恒久対策)

平常時 2.0, 地震時 1.0 とする (便覧 P355 のロープ掛工設計例, および, JR マニュアル P65 のロックアンカー設計例に準じる)

###### ② 地震時水平震度 (恒久対策)

$k_h=0.2$ . 「鉄道構造物等設計標準・同解説 (土構造物)、(公財) 鉄道総合技術研究所、平成 24 年 9 月改訂値」に準じる (加速度で概ね 200Gal 程度に相当. 倒木等による外力もこれに含めることを考慮し, 全国一律とする).

###### ③ 岩塊と地山との摩擦係数の決定方法

抑止対象となる岩塊群の中で, 最も不安定な岩塊の現状安全率を  $F_S=1.0$  とし, これを満たす摩擦係数  $\mu$  を決定. これに基づき, ワイヤーネットで被覆 (一体化) した後の, 岩塊群全体の安全率を算出 (ただし  $\mu$  は 0.5 以上とする: 便覧 P137 より, 地山と岩塊の摩擦係数 0.5 を採用).

###### ④ 岩塊の単位体積重量

岩塊の単位体積重量の測定値として, 表-4.1.1 がある. これによれば, 硬岩の比重は  $2.56\sim 3.04\text{g}/\text{cm}^3$ , その破碎したものは  $2.24\text{g}/\text{cm}^3$  (玄武岩: 飽和) などとなっている.

便覧 (P188) 等では, 一般値として  $2.6\text{g}/\text{cm}^3$  ( $=26\text{kN}/\text{m}^3$ ) を用いており, これは, 岩石の割れ目や風化等を考慮したものと考えられる. 現地調査等を実施しない場合は, 基本的にこの値を用いる.

表-4.1.1 代表的岩塊の単位体積重量 (申植潤: 地すべり工学, p57, 山海堂, 平成元年 3 月 25 日. 原典: フックブレイによる)

記 載		単位体積重量 (飽和/乾燥)
種 類	材 料	$\text{g}/\text{cm}^3$
爆砕または破碎した岩	玄武岩	2.24/1.78
	チョーク	1.28/0.99
	花崗岩	2.60/1.76
	石灰岩	1.92/1.60
	砂 岩	1.76/1.28
	頁 岩	2.00/1.00
岩 石	—硬質火成岩— 花崗岩, 玄武岩, 班岩	2.56~3.04
	—変成岩— 珪岩, 片麻岩, 粘板岩	2.56~2.88
	—硬質堆積岩— 石灰岩, ドロマイト, 砂岩	2.40~2.88
	—軟質堆積岩— 砂岩, 石炭, チョーク, 頁岩	1.76~2.40

岩盤を構成する素材岩岩塊に対して, 多孔質砂岩などのいくつかの材料を除いて, 飽和状態と乾燥状態の密度には著しい違いはない.

###### ⑤ 検討項目

地震時を含む滑動, 転倒計算に基づき所要抑止力を求める.

## (2) ワイヤーネット

### ①ワイヤーネットの目的

ワイヤーリングを連結することで形成されるワイヤーネットは、不安定な岩塊（／群）をアンカーで固定できるよう、あるいは不安定な岩塊群を一体化せしめるよう、巾着状（密着状）に被覆するものである。

### ②構造

使用するワイヤーネットは、図-4.1.2のように、縦、横、斜め方向に抑止力が均等に働く構造をなし、かつ、荷重分散がしやすいように、各リング同士が固定されないものとする。

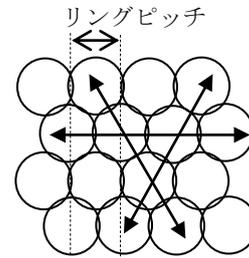


図-4.1.2 ワイヤーネット構造図

### ③強度

ワイヤーリングを構成するロープ（ $\phi 8\text{mm}$ ）の許容引張荷重は  $17.5\text{kN}/\text{本}$  であり、リング状態では  $35\text{kN}/\text{個}$  となる。これを単位幅当たりに換算すれば

- ・  $\phi 35\text{cm}$  の場合： $35\text{kN}/0.35\text{m}=100\text{kN}/\text{m}$
- ・  $\phi 60\text{cm}$  の場合： $35\text{kN}/0.6\text{m}=58.3\text{kN}/\text{m}$
- ・  $\phi 80\text{cm}$  の場合： $35\text{kN}/0.8\text{m}=43.75\text{kN}/\text{m}$

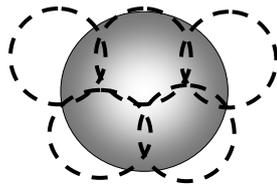
### ④岩塊の大きさとワイヤーリング径（ $\phi 35\text{cm}$ 、 $60\text{cm}$ 、 $80\text{cm}$ ）の選定

選定基準として、対象物を巾着状に被覆できること、および、リングメッシュからこれが転落しないことがあげられる。

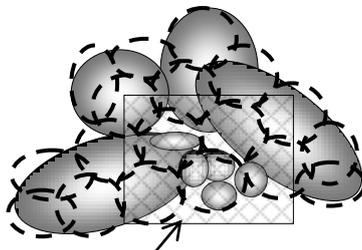
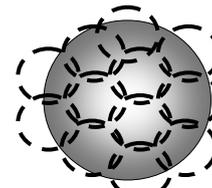
例として、図（1）のように岩塊の径が小さく巾着状に被覆しづらい場合は、図（2）のようにリング径を小さくする。

図（3）のように、局部的に小岩塊が分布する場合、これに合わせてリング径を選定すると経費的に割高となる。このような場合は、対象領域のみ金網等をあてがうか、リングを扁平状にするなどして転落を防ぐ。

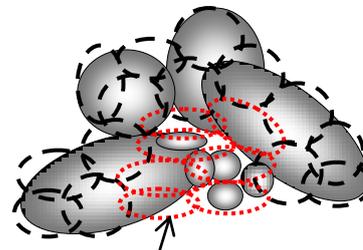
(1)  $\phi 1\text{m}$  の単独の岩塊を  $\phi 60\text{cm}$  のリングで被覆する場合



(2)  $\phi 1\text{m}$  の単独の岩塊を  $\phi 35\text{cm}$  のリングで被覆する場合



金網等を併用



リングを扁平状にすることで隙間を小さくする

(3) 局部的に岩塊の径が小さく、ワイヤーネットから転落する恐れのある場合

図-4.1.3 岩塊の大きさとワイヤーリング径の選定

なお、図-4.1.4のように、リング径60cmのメッシュは、格子ネット（50×50cm）とおよそ同等である。ただし、写真-4.1.1のように、ネット敷設時に大半が正円状態から変形するため、実際にはこれより小さいメッシュとなる。

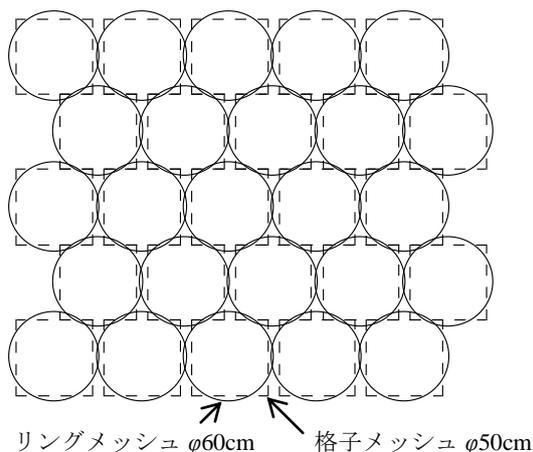


図-4.1.4 格子状ネットとの比較



写真-4.1.1 敷設したワイヤーリングの変形状況

#### ⑤ワイヤーネット敷設面積算出方法

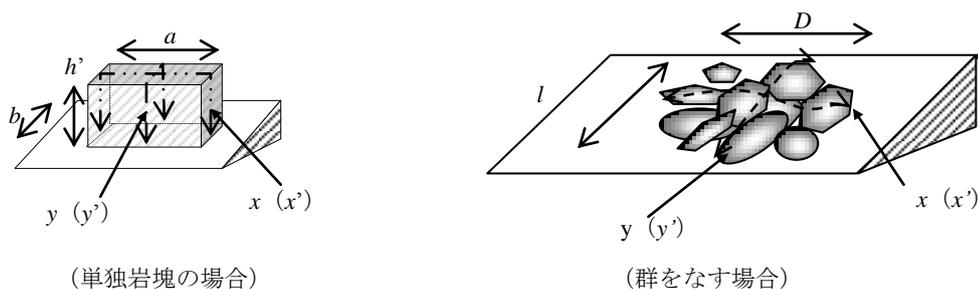
ワイヤーネットの敷設面積は、設計段階で正確に求めることができない。その理由として

- 複雑な形状の岩塊（群）を巾着状に被覆するため、三斜法等で、敷設面積を正確に求めることは困難である。
- 図のように、ワイヤーリングの面積は、正円状態で最大となる。敷設方法等により、これが多様に変形（面積減少）するため、敷設リング数のバラツキを生じやすい。



図-4.1.5 ワイヤーリング敷設形状と敷設面積の関係

したがって、設計段階では、これまでの実績を踏まえ以下のような手法で求め、出来高数量は材料検収等で決定する。



(単独岩塊の場合)

(群をなす場合)

$x$  : 平均伏幅（斜面横断方向のネット敷設平均延長・・・補正值）  
 $y$  : 平均伏長（斜面縦断方向のネット敷設平均延長・・・補正值）  
 $x'$  : 同上、実測値（計算値）  
 単独岩塊の場合： $x' = a + 2h'$   
 $a$  : 単独岩塊の幅、 $h'$  : 単独岩塊の場合の平均被覆高さ  
 群をなす場合： $x' = D \cdot R_g$   
 $D$  : 群をなす場合の固定幅、 $R_g$  : 縦断方向での凹凸比、 $R_g = y' / l$   
 $l$  : 群をなす場合の奥行き（斜面長）  
 $y'$  : 斜面縦断方向のネット敷設延長（実測値）

図-4.1.6 ワイヤーネット敷設面積算出図

① 単独岩塊の場合

被覆対象に対する、ネット敷設延長（実測値  $x'$ ,  $y'$ ）を用いて求めた面積を  $A'$  ( $=x' \cdot y'$ )、実際の敷設面積（使用部材数量より逆算）を  $A_R$ 、敷設面積率を  $n$  ( $=A_R/A'$ ) とする。

単体岩塊の敷設面積率  $n_u$  は、これまでの実績値より次式で示される。

$$n_u = A_R/A' = -0.241 \cdot \ln(R_u) + 0.5422$$

ここに、 $R_u$ ：単体岩塊の凹凸比

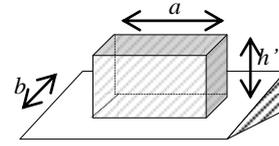
$$R_u = \frac{h'}{(a+b)/2}$$

ここに、 $h'$ ：平均被覆高

これより、単体岩塊の計画敷設面積  $A$  は

$$A \doteq x \cdot y$$

ここに、 $x = x' \sqrt{n_u}$ ,  $y = y' \sqrt{n_u}$



I：単独岩塊の場合

② 群をなす場合

同様に、岩塊群の敷設面積率  $n_g$  は、これまでの実績値より次式で示される。

$$n_g = A_R/A' = 0.8471 \cdot R_g^{-1.185}$$

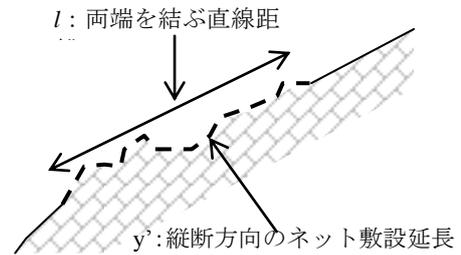
ここに、 $R_g$ ：岩塊群の凹凸比

$$R_g = y'/l$$

岩塊群の計画敷設面積  $A$  は、

$$A \doteq x \cdot y$$

ここに、 $x = x' \sqrt{n_g}$ , 平均伏長  $y = y' \sqrt{n_g}$ ,



II：群をなす場合

図-4.1.7 単独/群の凹凸比を求める諸元

③ ワイヤーネットの選定方法

ワイヤーネットを構成するリング径は、上記に示したネットの許容荷重や敷設面積の規模などを考慮し、次図に基づき選定する。なお、地盤の緩みや局部的すべりが予想される場合は、安全に万全を期すため、前述した目標安全率（図-4.1.1）をさらに2倍する。

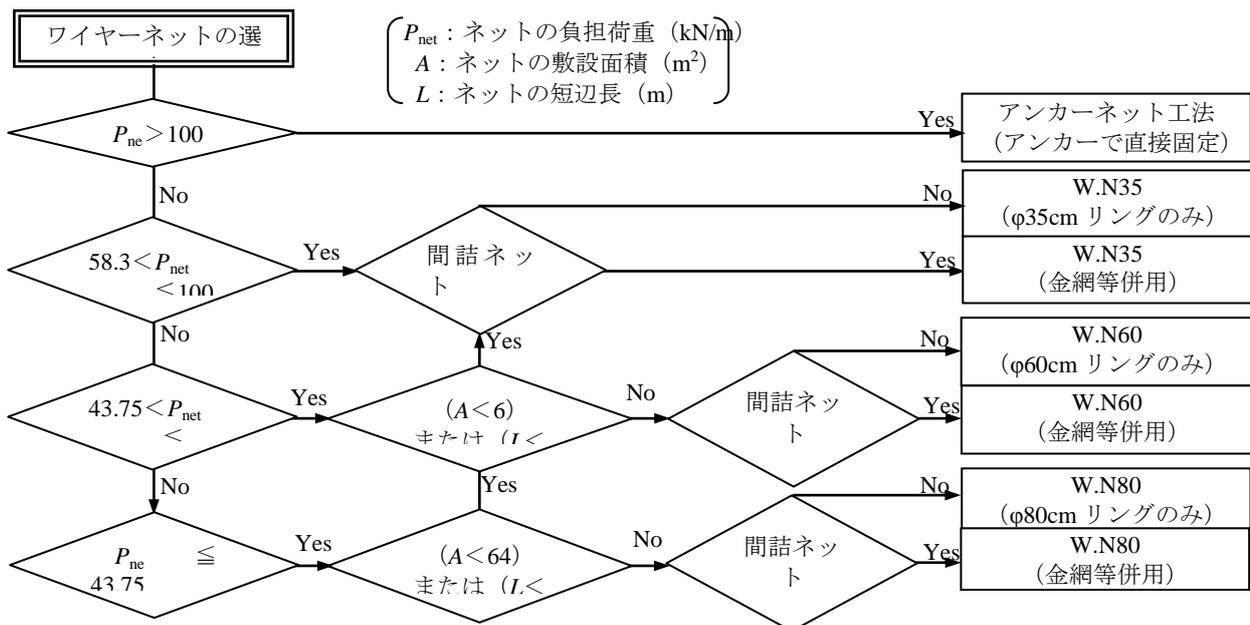


図-4.1.8 ワイヤーネット仕様選定フロー図

### (3)アンカーピン

#### ①アンカーピンの目的

アンカーピンは、ワイヤーネットと岩塊を緊結し、かつ巾着状に包むための組み立て材であり、岩塊の凹部や地山際に主体に設置する。標準設置密度は、設置面が凹凸のある場合で1本/m<sup>2</sup>、平面もしくは凸状の場合で0.5本/m<sup>2</sup>を目安とする。



写真-4.1.2 アンカーピンで小岩塊を固定した例（ワイヤーリング径 35cm）

#### ②アンカーピンに作用する力

ワイヤーネットの被覆状態より、アンカーピンに作用する力は、水平方向（せん断力）が主体である。ワイヤーネットがくびれる位置（写真-4.1.3 ）では、ややアンカー軸方向に引張力が働く形となるが、ワイヤーリングは、あらゆる方向にフリーな状態でつながっており、アンカーピンに対して特定方向に大きな荷重が作用するケースは、ほとんどないものと考えられる。

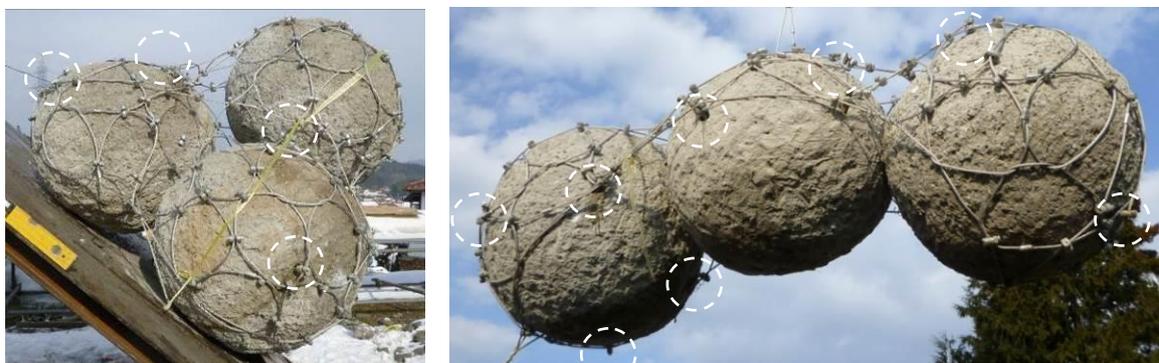


写真-4.1.3 ワイヤーネットを固定するアンカーピンの位置

なお、ワイヤーリング1個の許容引張荷重は35kNであり、これがアンカーピン頭部（最小部材径19mm、せん断強度260N/mm<sup>2</sup>、FCD45、短期、腐食代を片側1mm見込む）にせん断力として作用した場合でも、次式のように、アンカーピンのせん抵抗 $S_a$ （59kN）が上廻っており、安全である。

$$S_a = (17/2)^2 \cdot \pi \cdot 260 = 58985 = 59\text{kN} > 35\text{kN} \text{ (OK)}$$

③ワイヤーネットを介して、岩塊を固定するためのアンカーピンの所要本数

ワイヤーネットの単位幅当たり許容引張荷重  $P_{net-a}$  は、ワイヤーリング径  $\varphi$ ，その許容引張荷重 35kN より、

$$P_{net-a} = 35\text{kN} / \varphi$$

アンカーピン（許容せん断荷重 35kN/本）の標準設置密度を“1本/m<sup>2</sup>”とすれば、水平設置間隔は“ $d=1\text{m}$ ”となる。これより、単位幅当たり許容せん断荷重  $P_{pin-a}$  は

$$P_{pin-a} = 35\text{kN} / d = 35\text{kN} / 1\text{m} = 35\text{kN} / \text{m}$$

したがって、ワイヤーネットを固定するための、アンカーピンの所要施工段数  $n$ （斜面縦断方向）は、

$$n = P_{net-a} / P_{pin-a} = (35\text{kN} / \varphi\text{m}) / (35\text{kN} / \text{m}) = 1 / \varphi$$

以上より、各ワイヤーリングのアンカーピン所要段数は、表-4.1.2 になる。

岩塊が大きくなるほど抑止力が大きくなるが、同時にネットの敷設面積も大きくなることから、自ずとアンカーピンの設置段数も表以上の値となる。よって、アンカーピンによる固定力は、常に安全である。

表-4.1.2 ワイヤーネットで岩塊を固定するためのアンカーピンの所要段数

ワイヤーリング径		アンカーピン所要段数
$\varphi$ (m)	最大許容荷重kN/m	$1/\varphi$ (標準水平間隔1m)
0.35	100.00	2.9 → 3
0.60	58.33	1.7 → 2
0.80	43.75	1.3 → 2

#### (4) 固定用アンカー

##### ① 固定用アンカーの目的

固定用アンカーは、ワイヤーネットで被覆された岩塊の安全率が目標値に達しない場合、これを満たすための、滑動や転倒に対する引張抵抗を与えるものである。その負担（固定）幅は、後述する⑩項により 3m/本を標準とする。

##### ② 種類

固定用アンカーには、アンカーピン、ショートアンカー（SA600、1300、2100）、深層アンカーがあり、後述する④項の図-4.1.9 にしたがって選定する。

○アンカーピン（削孔径 38mm）



○ショートアンカーSA600（削孔径 38mm）



○ショートアンカーSA1300（削孔径 38～50mm）



○深層アンカー（C20型：削孔径 50mm，定着長 20cm）



##### ③ 固定用アンカーの仕様

表-4.1.3 固定用アンカーの仕様

固定用アンカー		アンカー材長	削孔径	削孔長	許容被り厚	所要埋設深	先端予長 ・余堀含む	定着長
深層アンカー	F40-20L型	1.55m	50mm 以上	1.5m	1.0m	0.2m	0.1m	0.2m
		2.05m (+0.5m 延長材)		2.0m				
	F40-40L型	1.75m		1.7m				
		2.25m (+0.5m 延長材)		2.2m				
SA2100		2.132m		2.1m	1.7m			
SA1300		1.312m	50mm 以上 (良好な地盤では 38mm)	1.3m	1.0m	0.15m	0.055m	0.1m
SA600		0.697m	38mm 以上	0.65m	0.4m	0.12m	0.02m	
アンカーピン		0.287m			0.25m		-	

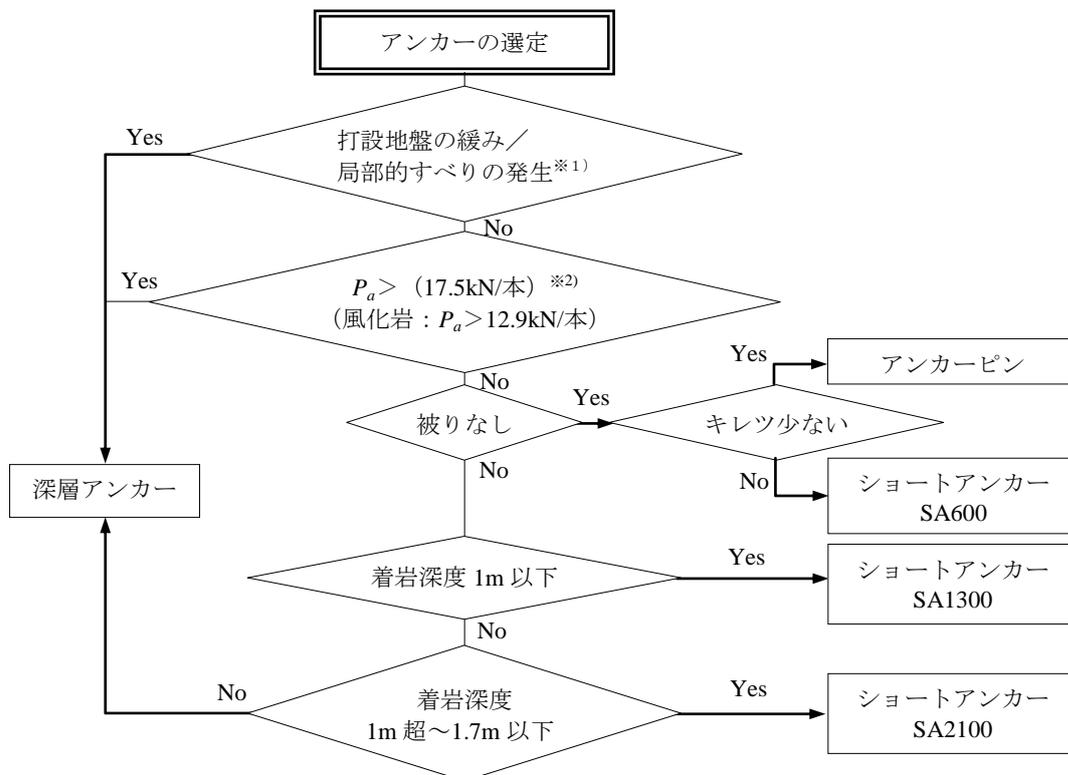
※延長材（§2.5：アンカー引張材を延長するための連結部材）

※許容被り厚：非定着地盤（土砂地盤や定着に適さないキレツの多い岩盤等）

※所要埋設深さ：アンカー体の剥離を防止するための、定着地盤面からの埋設深さ（巻末参考資料：参 4.3）

#### ④固定用アンカーの選定方法

固定用アンカーは，設計荷重，設置地盤の性状および着岩深度を基に，次図より選定する。



- ※1) 設計荷重は，「図-4.1.8 ワイヤーネット仕様選定フロー図」で示した“崖錐等における地盤の緩みや局部的すべりが予想される場合”の有無を，考慮した値である．落石の原因が地すべりや崩壊によるものと判断される場合は，ワイヤーネット被覆工法の設計対象外である（アンカーネット工等による地すべり／崩壊対策が必要）
- ※2) アンカー1本当たりの引張力  $P_a$  において，定着地盤が中～硬岩の場合 17.5kN，風化岩の場合 12.9kN を基準とする．

図-4.1.9 固定用アンカー選定フロー図

#### ⑤固定用アンカーの最大設計荷重

アンカーの許容最大設計荷重は，定着地盤の支持力に加えて，アンカー材やワイヤーネットを固定する連結補助ワイヤーの強度に規制される。

表-4.1.4 アンカーの許容最大設計荷重

アンカー	最大設計荷重 (kN/本)	備考
深層アンカー (PC 鋼より線 $\phi 12.7\text{mm}$ )	96.0	連結補助ワイヤー (ロープ $\phi 8\text{mm}$ ) ・シングル仕様：許容荷重 16kN/組 (ワイヤーロープ 2 本) ・ダブル仕様：許容荷重 32kN/組 (ワイヤーロープ 4 本) ・最大荷重：32kN/組×3 組 (ダブル仕様) =96kN (引張材：PC 鋼より線 $\phi 12.7\text{mm}$ の許容荷重 109.8kN/本)
アンカーピン ショートアンカー (SA600, 1300, 2100)	17.5	アンカー材の許容荷重

⑥定着地盤の強度と最大許容荷重

次表はこれまでの実績値であり、施工に先立つ、現地基本調査試験による精査を基本とする。

表-4.1.5 定着長と許容荷重 kN

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u\geq 10\text{MPa}$
20	15	30	60
40	30	60	105
60	45	90	—

表-4.1.6 アンカーピン、ショートアンカー許容荷重 kN

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u\geq 10\text{MPa}$
10	6.3	12.9	17.5

⑦定着部の所要埋設深さ

固定用アンカーは、次図のような定着地盤の剥離防止を図るための、基岩内埋設深さ  $h_r$  を確保する必要がある、その深さは次式で求める（巻末参考資料：参 4.3 項）。

$$h_r = 2 \cdot \varphi \cdot f$$

ここに、 $\varphi$ ：アンカー孔径、 $f$ ：安全率。

埋設深さの安全率  $f$  は、以下のように設定する。

○深層アンカーおよびショートアンカー（SA2100：削孔長が 2m 前後）・・・ $f=2.0$ ,

○ショートアンカー（SA600, SA1300：削孔長 1.3m 以下）およびアンカーピン・・・ $f=1.5$

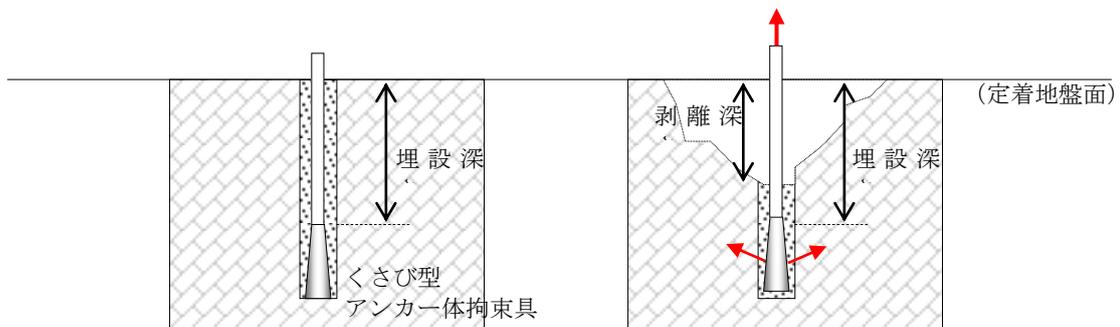


図-4.1.10 くさび式アンカー体の埋設深さ

⑧固定用アンカーに作用する力

固定用アンカーには、アンカー体の引張軸方向に全荷重（所要引張力）が作用するものとする。その根拠として、

- ・山腹斜面は地形変化が大きく、穿孔地点の変更によりアンカー軸に作用する引張方向角 ( $\theta$ ) も変化しやすい（変更対応が困難）。
- ・人力施工を基本とするため、アンカー設置角の精度は低いことを前提とする必要がある（安全対策）。
- ・設計荷重が小さいため（定着長は概略 0.2～0.4m の範囲）、引張方向の違いによる工事量への影響は小さい。

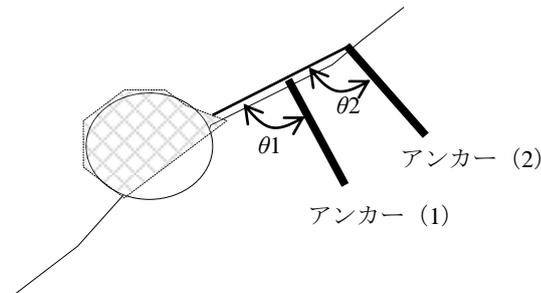


図-4.1.11 アンカーの穿孔角度（地山面に直角）による引張方向角の変化

⑨ 固定用アンカーの配置

固定用アンカーは、図 a のように固定対象の上部斜面に設けることを基本とし、必要な本数をおよそ等間隔に配置する。

図 b のように、固定対象上部斜面の被りが厚い場合は、側方の谷部（被りが薄い）等に設けることが適当である。ネットの荷重負担幅を考慮し、固定対象の側方から引張力を与えた方が有利な場合は、図 c のような配置となる。これらは適宜引張方向の角度補正（水平、仰角／俯角）を行う。

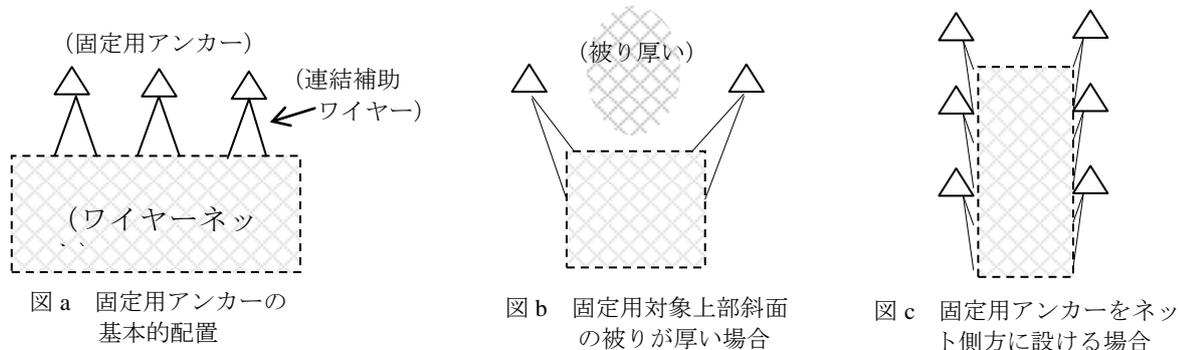


図-4.1.12 固定用アンカーの配置形態

⑩ 固定用アンカーの最大/最小間隔

① 最大間隔

固定用アンカーの負担幅（設置間隔）は、最大 3m を標準とし、ワイヤーネット全体にアンカー力が均等に伝わるようする。すなわち

- 落石調査の場合、目視による判定が主体であり、岩塊の挙動等不明な点が多い。
- 図 d は、固定用アンカー1本としているが、仮に矢印の方向に変位した場合、図 e のように、連結補助ワイヤー（No.3）に荷重が集中することが懸念される。
- したがって、抑止幅が広い場合は、1本当たりの抑止力が小さくても、図 f のように複数設けることが適当である。

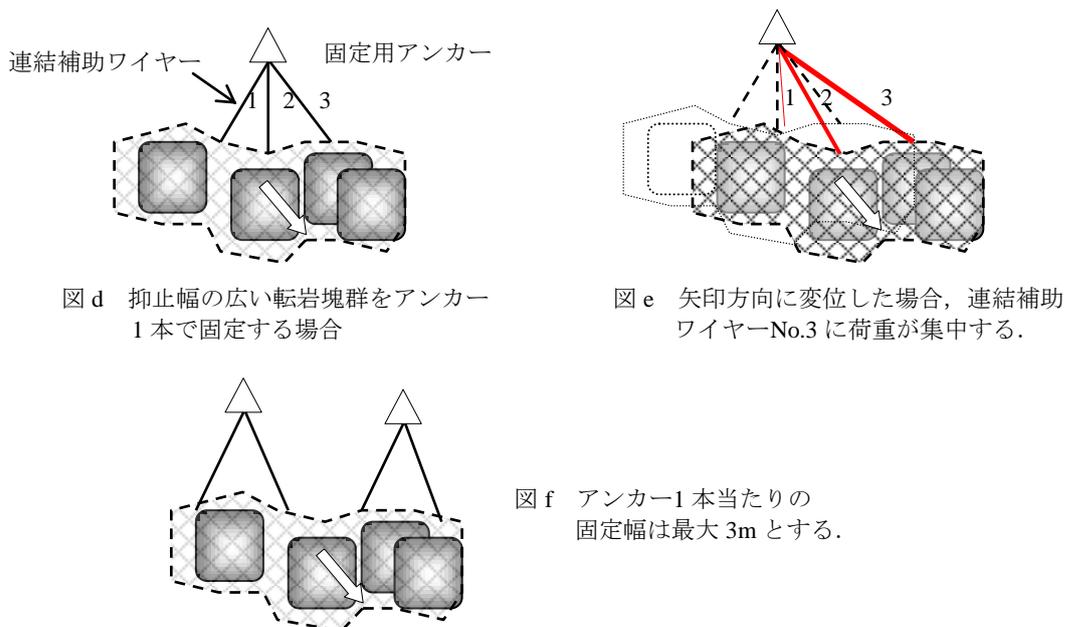


図-4.1.13 固定用アンカーの最大間隔

② 最小間隔

アンカーの最小間隔は、固定用アンカーとワイヤーネット端部を連結する補助ワイヤーとの関連で定まる。その間隔は

- ・ 連結補助ワイヤー3組の場合、最小間隔=ワイヤーリング径×3
- ・ 連結補助ワイヤー2組の場合、最小間隔=ワイヤーリング径×2

例として、ワイヤーリング径 60cm の場合（単斜面に敷設）を示す。なお、敷設斜面の凹凸が大きい場合は、これより狭い間隔とすることができる。

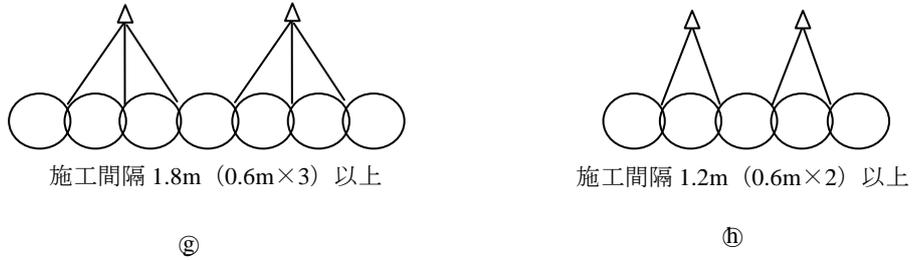


図-4.1.14 固定用アンカーの最小間隔

⑩ 退行性浸食を考慮した固定用アンカーの設置方法

写真-4.1.4 は、局所的に残る凸状斜面の浮石（円内）であり、その背面の地盤には緩みが認められる。アンカーは、この領域を避けて設置する必要があり、本工法では、主働破壊角を求める式よりこれを推定する。

$$\alpha = 45^\circ + \varphi / 2 \quad (3.3.3) \quad \dots \text{再掲}$$

ここに  $\alpha$  は主働破壊角、 $\varphi$  は地山の内部摩擦角である。



写真-4.1.4 退行性浸食（浮石後方斜面の緩み状況）の例

図-4.1.15 は、これに基づく設計例である。式 (3.3.3) において、 $\phi=30^\circ$  とした場合、 $\alpha=60^\circ$  となる。これを基に、浮石背面の底部から傾斜  $60^\circ$  の退行性浸食面を想定し、アンカーは、これより山側に設置する。

…岩塊側方斜面が谷部（侵食跡斜面）をなす場合は、その方向に設置することもできる、

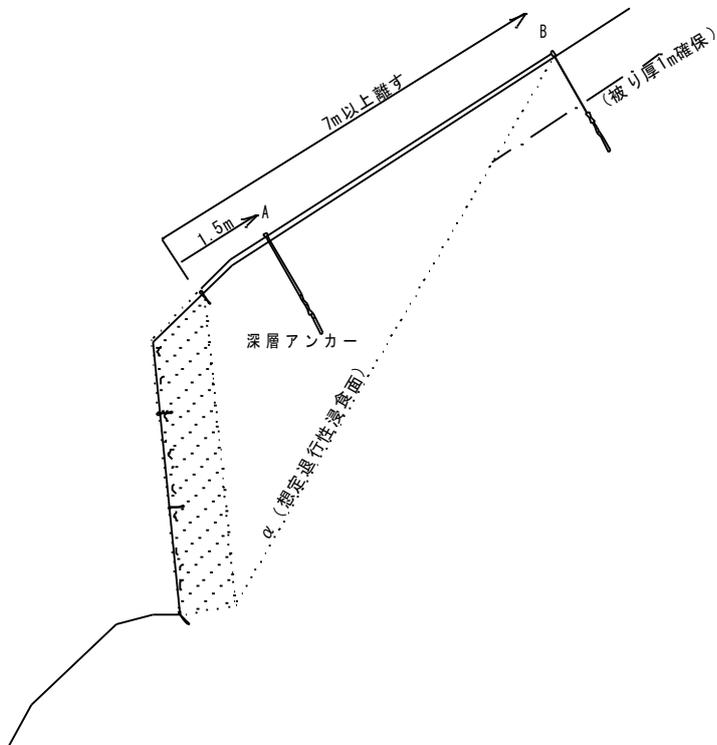


表-4.1.7 岩岩塊の基本摩擦角  
(地すべり工学 一理論と実践一：山海堂，P.62)

岩石	$\phi$ ( $^\circ$ )
玄武岩	31~38
礫岩	35
片麻岩	23~29
花崗岩	29~35
石灰岩	33~40
ひん岩	31
砂岩	25~35
頁岩	27
粘板岩	25~30

図-4.1.15 退行性浸食を考慮したアンカー位置の選定方法  
(A 地点にアンカーを設置した場合、将来的に浸食される恐れが高いため、より安全な B 地点を選定する)

## (5) 連結補助ワイヤー

### ① 目的

固定用アンカーの抑止力（引張力）を，固定対象を被覆するワイヤーネットに均等に伝えるための部材であり，図-4.1.6 のように，各アンカーヘッドから引き出されるワイヤーロープは，3 組<sup>\*</sup>を基本とする（設計荷重とネットを構成するワイヤーリング径との関係で，2 組となる場合もある）．  
 ……<sup>\*</sup>シングル仕様はワイヤーロープ 2 本，ダブル仕様はワイヤーロープ 4 本を 1 組とする（§5.1.4 (9) 参照）．

### ② 固定用アンカーとワイヤーネット端部との距離 $L$

アンカー地点から放射状に連結補助ワイヤー取り付けの場合，これが，固定対象の移動方向に対して斜交するほど抑止効率が悪くなる．

表-4.1.8 は，岩塊の移動方向に引っ張った場合の張力を 1.0 とし，斜交する方向のワイヤーロープが，これと同等の抑止力を得るための張力比を示す．これより，本工法では，張力係数が 1.1 未満（連結補助ワイヤーのなす内角が  $43^\circ$  以下）となるよう，アンカーヘッドとワイヤーネット端部との距離  $L$  を設定する（図-4.1.16）．例えば，リング径 60cm の場合，図-4.1.16 のように，ネット端部から 1.5m 以上離れた地点に固定用アンカーを設置することで，これを満たすことができる．

表-4.1.8 連結補助ワイヤーの引張角度と張力係数の関係

引張角度 (内角 $^\circ$ )	張力 係数	ネット端部とアンカー位置との距離 $L$ (m)		
		$\phi 35\text{cm}$	$\phi 60\text{cm}$	$\phi 80\text{cm}$
0	1.00			
10	1.00	4.0	6.9	9.1
20	1.02	2.0	3.4	4.5
30	1.04	1.3	2.2	3.0
40	1.06	1.0	1.6	2.2
43	1.07	0.9	1.5	2.0
50	1.10	0.8	1.3	1.7

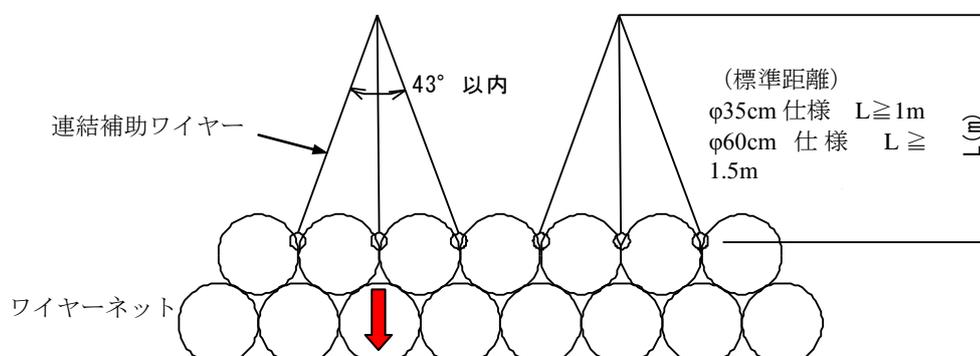


図-4.1.16 ワイヤーネット端部とアンカー位置との距離  
 (ワイヤーリングと連結補助ワイヤーを連続して固定する場合)

なお，各連結補助ワイヤー（シングル仕様の場合）の引張力は，中央のもの（移動方向に平行）を 17.5kN とした場合，斜交（内角  $43^\circ$ ）するものでは，以下のように低下する．そのため，安全側として，連結補助ワイヤーの最大固定力を一律 16kN/組とする（ダブル仕様は 32kN/組…P27 表-4.1.4）．

$$P_f = 17.5\text{kN/本} \times \cos(43^\circ / 2) = 16.3\text{kN} \rightarrow 16\text{kN/組}$$

### ③連結補助ワイヤーの引張方向

#### ○縦断方向

滑動に対する縦断上の引張方向は、次図 (A) のように、固定対象のすべり面角度に平行するよう、連結補助ワイヤーを取り付ける。地形条件等により、これと大幅に異なる場合は、実際の引張方向に合わせた角度補正（設計荷重の補正）を行う。

転倒に対しては、設計上、岩塊高さの中央部に設定しており、連結補助ワイヤーは、これより高い位置に取り付ける。

#### ○平面方向

次図 (B) のように、固定対象の側方地盤から引っ張る場合は、移動方向との角度補正を行う。

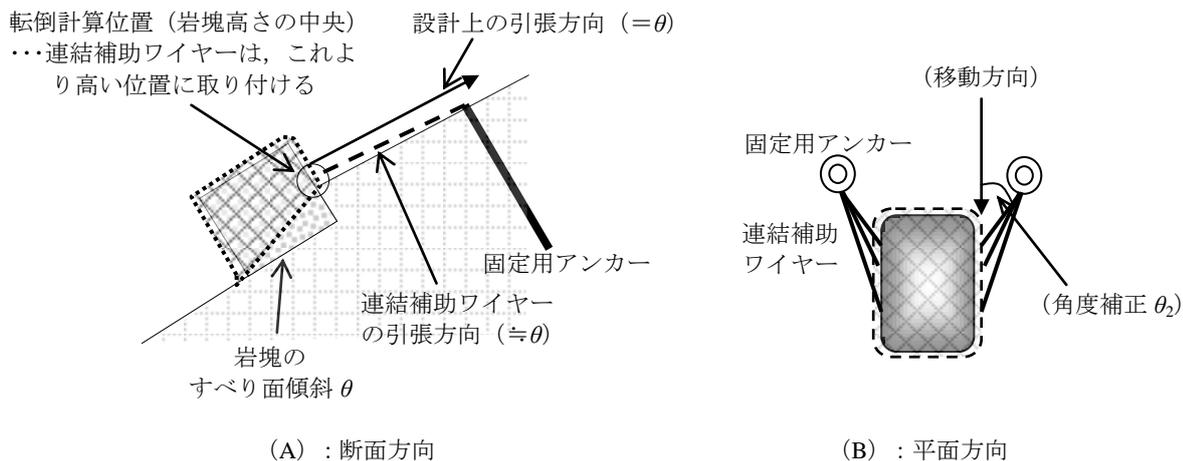


図-4.1.17 連結補助ワイヤーの取り付け位置

### ④連結補助ワイヤーの所要長さ

設計段階における連結補助ワイヤーの所要長さ  $E$  は、次式より求める。

$$\text{シングル仕様 } E = (L \times 2 \text{ 本} + \text{端部固定余長 } 0.2\text{m} \times 2 \text{ 箇所}) \times \text{ロス比 } 1.1^* \quad (\text{m/組})$$

$$\text{ダブル仕様 } E = (L \times 4 \text{ 本} + \text{端部固定余長 } 0.2\text{m} \times 2 \text{ 箇所}) \times \text{ロス比 } 1.1 \quad (\text{m/組})$$

(※ロス比：立木等の障害物や避けるためのロスや切損等)

ここに、 $L$ ：固定用アンカーとワイヤーネット端部との距離

連結補助ワイヤーの総延長は

$$\Sigma E = \text{固定用アンカー本数 } (n_A) \times \text{連結補助ワイヤー組数 } (D) \times \text{所要長さ } (E)$$

## (6) ガイドロープ

### ①目的

ワイヤーネットの端部（外周）に沿って、これと一体化するように敷設し、固定対象を巾着状に縛るための部材である。

### ②ガイドロープの所要長さ

ガイドロープの所要長さ  $G_l$  は、被覆する不安定な岩塊（群）の周長とし、次式より求める。

- 単体岩塊の場合  $G_l = (\text{岩塊幅 } a + \text{岩塊奥行き } b, \text{ または岩塊高さ } h^*) \times 2 \times \text{補正值 } 1.1$   
(※ $b$  と  $h$  の選択は、最大となる方を選定)

- 複数岩塊の場合  $G_l = (\text{伏幅 } x' + \text{伏長 } y') \times 2 \times \text{補正值 } 0.8$

#### 4.1.4 設計計算

##### (1) 安定解析式

落石の多くは、地震や倒木時に発生しており、本マニュアルでは、地震力（便宜的に倒木の外力を含む）を考慮した、滑動および転倒計算に基づく設計を行う。

—記号—

- 体積  $V=a \cdot b \cdot h$
- 表面積  $A=2(a \cdot b + b \cdot h + h \cdot a)$
- 単位体積重量  $\gamma$
- 岩塊と斜面の摩擦係数  $\mu$  ( $\mu=\tan\theta$ , ただし  $\mu \geq 0.5$ )
- 岩塊の幅  $a$
- 奥行（斜面最大傾斜方向の長さ） $b$
- 転倒支点からの奥行長さ  $c$
- 高さ（奥行面に垂直） $h$
- 岩塊の底面と地山面との傾斜角  $\theta$
- 岩塊の前面（谷側）の、鉛直線からの傾斜角（前面角） $\beta$ : (山側+, 谷側-)
- 目標安全率：平常時=2.0, 地震時  $F_{PE}=1.0$
- 目標安全率に対する所要引張力  $P$
- すべろうとする力  $T$ , すべりに対する抵抗力  $S$

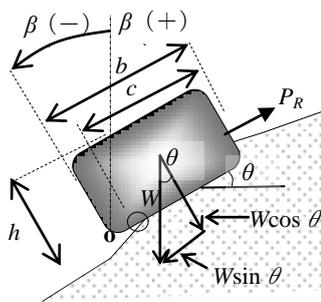


図-4.1.18 岩塊の力の釣り合い

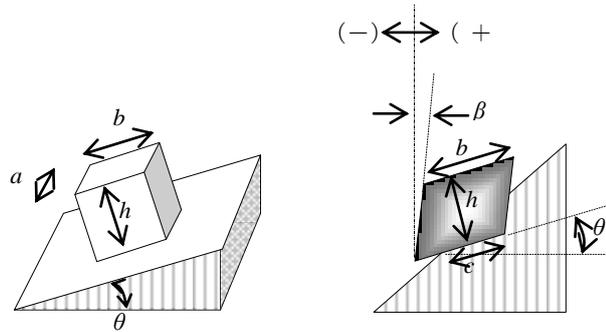


図-3.4.1 岩塊の測定位置（再掲）

##### ①滑動(斜面に平行する力の釣り合い)

(平常時)

$$F_S = W \cos\theta \cdot \mu / W \sin\theta = \mu / \tan\theta \quad (4.1.1)$$

ここに、 $F_S$ : 平常時安全率

$W$ : 岩塊の重量

$\theta$ : 岩塊が地山と接する面の傾斜角

$\mu$ : 岩塊と地山との摩擦係数

現状安全率  $F_S=1.0$  とすれば、摩擦係数  $\mu$  は式 (4.1.1) より

$$\mu = \tan\theta \quad (4.1.2)$$

(地震時)

$$F_{SE} = \frac{(W \cos\theta - k_h \cdot W \sin\theta)\mu}{W \sin\theta + k_h \cdot W \cos\theta} = \frac{(\cos\theta - k_h \cdot \sin\theta)\mu}{\sin\theta + k_h \cdot \cos\theta} \quad (4.1.3)$$

ここに、 $F_{SE}$ : 地震時安全率,  $k_h$ : 地震時水平震度

## ②転倒(O点まわりのモーメントの釣合い)

(平常時)

$$F_S = (W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta))) / (W \sin \theta \cdot h/2) \\ = \cos \theta \cdot (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta)) / (\sin \theta \cdot h) \quad (4.1.4)$$

ここに,  $F_S$ : 平常時安全率

$W$ : 岩塊の重量

$\theta$ : 岩塊が地山と接する面の傾斜角

$b$ : 岩塊の奥行 (斜面最大傾斜方向)

$c$ : 転倒支点からの奥行長さ

$h$ : 岩塊の高さ (岩塊の奥行き面に垂直方向)

$\beta$ : 岩塊の前面 (谷側) の, 鉛直線からの傾斜角 (山側+, 谷側-)

(地震時)

$$F_{SE} = (W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) - k_h \cdot W \sin \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta))) / (W \sin \theta \cdot h/2 + k_h \cdot W \cos \theta \cdot h/2) \\ = (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta)) (\cos \theta - k_h \cdot \sin \theta) / ((\sin \theta + k_h \cdot \cos \theta) \cdot h) \quad (4.1.5)$$

ここに,  $F_{SE}$ : 地震時安全率

$k_h$ : 地震時水平震度

## ③摩擦係数 $\mu$ について

式 (4.1.2) より求められる摩擦係数は, 例えば傾斜  $45^\circ$  以上の斜面に接する浮石等では “ $\mu > 1.0$ ” となり, 一般に考えられている摩擦係数 (粘土, 砂層, 砂利, 良好な岩石等と石で  $0.3 \sim 0.7$ , 森林土木ハンドブック p.860, 1997) と大きく異なるものとなる. これは, 現状の岩塊が半埋没状態か, 側方岩塊との摩擦抵抗を受けていること等によるものであり, したがって, 本マニュアルでは, 摩擦係数  $\mu$  を, 多様な抵抗因子を含む “見掛け値” として取り扱う.

## (2) 所要引張り力 P

### ①滑動に対して

(平常時)

式 (4.1.1) より, 滑動に対する目標安全率  $F_P=2.0$  とすれば, ワイヤロープの所要引張り力  $P$  は

$$F_P = W \cos \theta \cdot \mu / (W \sin \theta - P) = 2.0 \\ P = W (\sin \theta - \cos \theta \cdot \mu / 2) \quad (4.1.6)$$

(地震時)

式 (4.1.3) より, 地震時滑動に対する目標安全率  $F_{PE}=1.0$  とすれば, ワイヤロープの所要引張り力  $P$  は

$$F_{PE} = \frac{(W \cos \theta - k_h \cdot W \sin \theta) \mu}{W \sin \theta + k_h \cdot W \cos \theta - P} = 1.0 \\ P = W (\sin \theta + k_h \cdot \cos \theta) - W \cdot \mu (\cos \theta - k_h \cdot \sin \theta) = W (\sin \theta - \mu \cdot \cos \theta + k_h \cdot (\cos \theta + \mu \cdot \sin \theta)) \quad (4.1.7)$$

## ②転倒に対して

(平常時)

式 (4.1.4) より, 転倒に対する目標安全率  $F_p=2.0$  とすれば, ワイヤロープの所要引張り力  $P$  は

$$\begin{aligned} F_p &= (W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta))) / (W \sin \theta \cdot h/2 - P \cdot h/2) = 2 \\ W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) &= h \cdot (W \sin \theta - P) \\ P &= W(\sin \theta - \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta))) / h \quad (4.1.8) \end{aligned}$$

(地震時)

式 (4.1.5) より, 地震時転倒に対する目標安全率  $F_{PE}=1.0$  とすれば, ワイヤロープによる所要引張り力  $P$  は

$$\begin{aligned} F_{PE} &= (W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) - k_h \cdot W \sin \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta))) \\ &\quad / (W \sin \theta \cdot h/2 + k_h \cdot W \cos \theta \cdot h/2 - P \cdot h/2) = 1.0 \\ W \cos \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) - k_h \cdot W \sin \theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) \\ &= h/2 \cdot (W \sin \theta + k_h \cdot W \cos \theta - P) \\ P &= W(\sin \theta + k_h \cdot \cos \theta - (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta))(\cos \theta - k_h \cdot \sin \theta)) / h \quad (4.1.9) \end{aligned}$$

### (3) 設計計算例

(設計条件)

○ 平常時滑動安全率  $F_S=1.00$

○ 目標安全率

平常時滑動および転倒安全率  $F_P=2.00$ , 地震時滑動および転倒安全率  $F_{PE}=1.00$

○ 地震時水平震度  $k_h=0.2$

#### 【設計計算例1:単体の岩塊】

表-4.1.9 岩塊諸元

No	石の寸法と傾斜角						安定解析諸元		
	幅 $a$ (m)	奥行 $b$ (m)	高さ $h$ (m)	底長 $c$ (m)	底面角 $\theta$ (°)	前面角 $\beta$ (°)	体積 $V$ $m^3$	等価 径 (m)	重量 $W$ (kN)
1	4.0	2.0	2.0	1.7	29	-32	16.00	3.1	416.0

※等価径:球体とした場合の直径

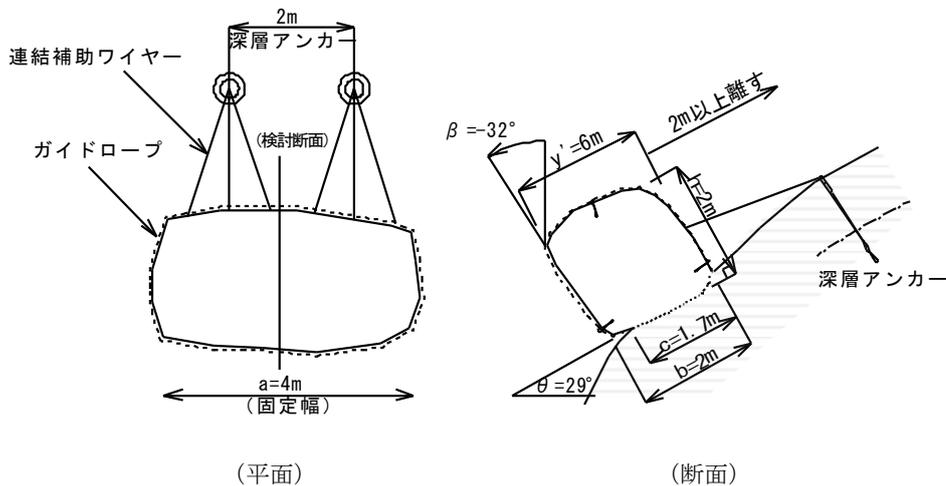


図-4.1.19 設計計算例(単体の岩塊)

#### ① 安定計算

① 岩塊と地山との摩擦係数  $\mu$

式 (4.1.1) より

$$F_S = \mu / \tan \theta = \mu / \tan 29 = 1.00$$

$$\mu = \tan 29 = 0.5543$$

② 地震時滑動安全率

式 (4.1.3) より

$$F_{SE} = \frac{(\cos \theta - k_h \cdot \sin \theta) \mu}{\sin \theta + k_h \cdot \cos \theta}$$

$$= \frac{(\cos 29 - 0.2 \times \sin 29) \times 0.5543}{\sin 29 + 0.2 \times \cos 29} = \frac{(0.8746 - 0.0970) \times 0.5543}{0.4848 + 0.1749} = \frac{0.4310}{0.6597} = 0.65$$

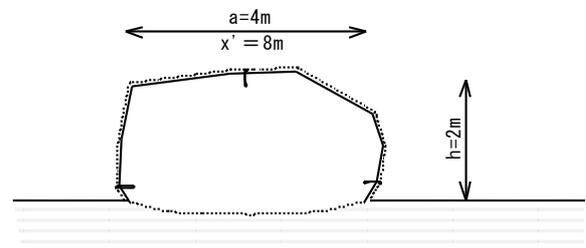


図-4.1.20 岩塊横断方向のネット敷設延長

③ 平常時転倒安全率

式 (4.1.4) より

$$\begin{aligned}F_S &= \cos\theta \cdot (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta)) / (\sin\theta \cdot h) \\&= \cos 29^\circ \times (2 \times 1.7 - 2.0 + 2.0 \times \tan(29 - 32)) / (\sin 29^\circ \times 2.0) \\&= 0.8746 \times (1.4 - 0.1048) / 0.9696 = 1.17\end{aligned}$$

④ 地震時転倒安全率

式 (4.1.5) より

$$\begin{aligned}F_S &= (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta)) (\cos\theta - k_h \cdot \sin\theta) / ((\sin\theta + k_h \cdot \cos\theta) \cdot h) \\&= (2 \times 1.7 - 2.0 + 2.0 \times \tan(29 - 32)) (\cos 29^\circ - 0.2 \times \sin 29^\circ) / ((\sin 29^\circ + 0.2 \times \cos 29^\circ) \times 2.0) \\&= (1.4 - 0.1048) \times (0.8746 - 0.0970) / ((0.4848 + 0.1749) \times 2.0) \\&= 1.2952 \times 0.7776 / 1.3194 = 0.76\end{aligned}$$

## ② 所要引張力

① 平常時滑動安全率に対して

式 (4.1.6) より

$$\begin{aligned}P &= W(\sin\theta - \cos\theta \cdot \mu / 2) \\&= 4160 \times (\sin 29^\circ - \cos 29^\circ \times 0.5543 / 2) = 4160 \times (0.4848 - 0.2424) = 1008 \quad (\text{kN})\end{aligned}$$

② 地震時滑動安全率に対して

式 (4.1.7) より

$$\begin{aligned}P &= W(\sin\theta - \mu \cdot \cos\theta + k_h \cdot (\cos\theta + \mu \cdot \sin\theta)) \\&= 4160 \times (\sin 29^\circ - 0.5543 \times \cos 29^\circ + 0.2 \times (\cos 29^\circ + 0.5543 \times \sin 29^\circ)) \\&= 4160 \times (0.4848 - 0.4848 + 0.2 \times (0.8746 + 0.2687)) = 95.1 \quad (\text{kN})\end{aligned}$$

③ 平常時転倒安全率に対して

式 (4.1.8) より

$$\begin{aligned}P &= W(\sin\theta - \cos\theta \cdot (c - b/2 + h/2 \cdot \tan(\theta + \beta)) / h) \\&= 4160 \times (\sin 29^\circ - \cos 29^\circ \times (1.7 - 2.0/2 + 2.0/2 \times \tan(29 - 32)) / 2.0) \\&= 4160 \times (0.4848 - 0.8746 \times (0.7 - 0.0524) / 2.0) = 83.9 \quad (\text{kN})\end{aligned}$$

④ 地震時転倒安全率に対して

式 (4.1.9) より

$$\begin{aligned}P &= W(\sin\theta + k_h \cdot \cos\theta - (2c - b + h \cdot \tan(\theta + \beta)) (\cos\theta - k_h \cdot \sin\theta) / h) \\&= 4160 \times (\sin 29^\circ + 0.2 \times \cos 29^\circ - (2 \times 1.7 - 2.0 + 2.0 \times \tan(29 - 32)) \times (\cos 29^\circ - 0.2 \times \sin 29^\circ) / 2.0) \\&= 4160 \times (0.4848 + 0.1749 - (1.4 - 0.1048) \times (0.8746 - 0.0970) / 2.0) \\&= 4160 \times (0.6597 - 1.2952 \times 0.3888) = 64.9 \quad (\text{kN})\end{aligned}$$

以上より、平常時滑動に対する引張力 100.8kN が最大となり、これを対象にワイヤーネットおよびアンカーを設計する。

②ワイヤーネットの仕様

①ワイヤーネットの負担荷重  $P_{net}$

図-4.1.20 より、岩塊横断上におけるネット敷設延長は、 $x' = 8\text{m}$  である。これに沿って、固定用アンカーから引き出される連結補助ワイヤーを取り付けるものとすれば、ネットに作用する単位幅当たり負担荷重  $P_{net}$  は、引張力  $P = 100.8\text{kN}$  より、

$$P_{net} = P/x' = 100.8\text{kN}/8\text{m} = 12.6\text{kN/m}$$

→リング径 80cm (表-4.1.10 より)

表-4.1.10 ワイヤーネットを構成するリング径と許容荷重

ワイヤーリング径	
$\phi$ (m)	最大許容荷重kN/m
0.35	100.00
0.60	58.33
0.80	43.75

②ワイヤーネットの敷設面積

(§4.1.3- (2) -⑤項 “単独岩塊の場合” 参照)

図-4.1.19 より、岩塊幅  $a=4\text{m}$ 、奥行き  $b=2\text{m}$  であり、平均被覆高 (図-4.1.6) を  $h'=2\text{m}$  とすれば、単体岩塊の凹凸比  $R_u$  は

$$R_u = \frac{h'}{(a+b)/2} = \frac{2}{(4+2)/2} = 0.6667$$

敷設面積率  $n_u$  は

$$n_u = -0.241 \cdot \ln(R_u) + 0.5442 = -0.241 \cdot \ln 0.6667 + 0.5442 = 0.6419$$

ネットの敷設延長は、横断方向  $x'=8\text{m}$ 、縦断方向  $y'=6\text{m}$  であり、

平均伏幅  $x = x' \cdot \sqrt{n_u} = 8 \times \sqrt{0.6419} = 6.4$

平均伏長  $y = y' \cdot \sqrt{n_u} = 6 \times \sqrt{0.6419} = 4.8$

敷設面積  $A = x \cdot y = 6.4 \times 4.8 = 30.7 \text{ (m}^2\text{)}$

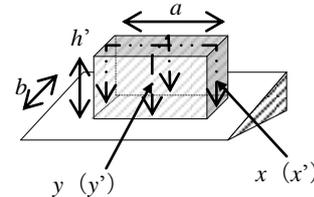


図-4.1.6 ワイヤーネット敷設面積算出図 (再掲) … “単独岩塊の場合” を抜粋

③ワイヤーネットの仕様

上記三つの要件 ( $P_{net} = 12.6\text{kN/m}$ 、敷設面積  $A = 30.7\text{m}^2$ 、敷設短辺長  $y = 4.8\text{m}$ ) を次図に当てはめれば、ワイヤーリング径 60cm 仕様となる。

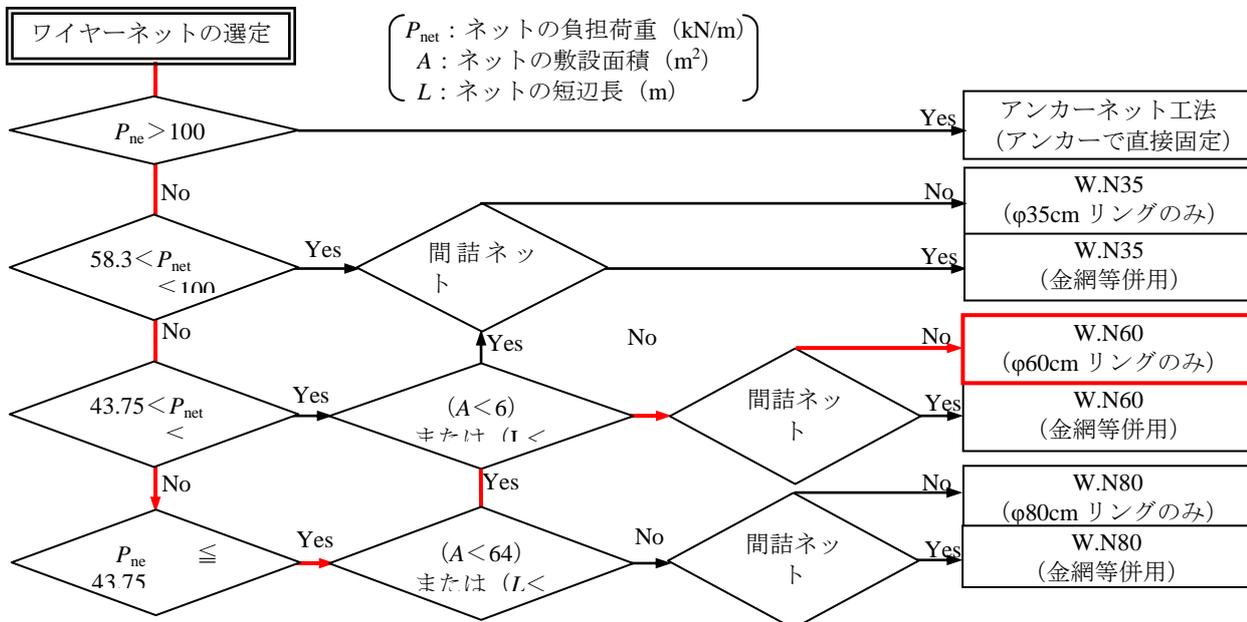


図-4.1.8 ワイヤーネット仕様選定フロー図…再掲

④ガイドロープ (ワイヤーネット外周を固定するロープ長: §4.1.3- (6) 参照)

$$G_l = (a+b) \cdot 2 \cdot 1.1 = (4+2) \times 2 \times 1.1 = 13.2\text{m}$$

ここに  $a$ : 岩塊幅 4m,  $b$ : 奥行き 2m (図-4.1.19)

- ㉞ ガイドロープ端止具 (30m に 1 個)  
 ガイドロープ総延長  $13.2\text{m}/30\text{m}=0.4 \rightarrow 1$  ヶ

### ③ 固定用アンカーの設計

#### ㊦ 固定用アンカーの所要本数 $n$

アンカー1本当たりの最大負担幅 3m, 岩塊の固定幅  $a=4\text{m}$  (図-4.1.20) より  
 $n=a/(3\text{m}/\text{本})=4\text{m}/(3\text{m}/\text{本})=1.3 \rightarrow 2$  本

#### ㊧ アンカー1本当たりの引張力 $P_a$

前項で求めた最大所要引張力  $P=100.8\text{kN}$  (平常時滑動安全率対応) より  
 $P_a=P/n=100.8\text{kN}/2 \text{ 本}=50.4\text{kN}/\text{本} < (96.0\text{kN})$

各固定用アンカーの許容荷重は、次表より、深層アンカー仕様となる。

表-4.1.4 アンカーの許容最大設計荷重 (再掲)

アンカー	最大設計荷重 (kN/本)	備考
深層アンカー	96.0	連結補助ワイヤー ( $\phi 8\text{mm}$ ) ・シングル仕様：許容荷重 16kN/組 ・16kN/組×6組 (ダブル3組) =96kN (最大) (※引張材：PC 鋼より線 $\phi 12.7\text{mm}$ の許容荷重 109.8kN/本)
アンカーピン ショートアンカー (SA600, 1300, 2100)	17.5	アンカー材の許容荷重

表-4.1.5 定着長と許容荷重 kN (再掲)

- ㊨ 定着長  
 定着地盤を“中～硬岩”とすれば、定着長 20cm で 60kN の支持力が期待され、上記荷重に対して安全である。

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u \geq 10\text{MPa}$
20	15	30	60
40	30	60	105
60	45	90	—

#### ㊩ 削孔長

- ・設置地盤の被り厚：露岩する場合でもシーティング節理等による剥離の影響を避けるため、被り厚 1m を確保する。
- ・アンカー体埋設深さ：0.2m (表-4.1.3)
- ・先端固定長：0.1m (表-4.1.3)
- ・削孔長=被り厚 1m+埋設深さ 0.2m+定着長 0.2m+先端固定長 0.1m=1.5m
- ・アンカー材長=削孔長 1.5m+立ち上がり 0.05m=1.55m

表-4.1.3 固定用アンカーの仕様 (再掲)

固定用アンカー		アンカー材長	削孔径	削孔長	許容被り厚	所要埋設深	先端予長 …余堀含む	定着長
深層アンカー	F40-20L型	1.55m	50mm 以上	1.5m	1.0m	0.2m	0.1m	0.2m
		2.05m (+0.5m 延長材)		2.0m				
	F40-40L型	1.75m		1.7m				
		2.25m (+0.5m 延長材)		2.2m				
SA2100		2.132m		2.1m	1.7m			
SA1300		1.312m	50mm 以上 (良好な地盤では 38mm)	1.3m	1.0m	0.15m	0.05m	0.1m
SA600		0.697m	38mm 以上	0.65m	0.4m	0.12m	0.03m	
アンカーピン		0.287m			0.25m		-	

㉔ 連結補助ワイヤー

設計荷重が大きいため、連結補助ワイヤーをダブル仕様（32kN/セット：§4.1.3-（4）-㉔項参照）とすれば、所要セット数  $n$  は

$$n = P_a / (32\text{kN/組}) = 50.4\text{kN} / (32\text{kN/組}) = 1.6 \rightarrow 3 \text{ 組}$$

…3組/箇所を基本、§4.1.3-（5）-㉑項参照

アンカーの設置箇所を、ワイヤーネット端部から 2m 地点とした場合（図-4.1.19）

$$[(2\text{m} \times 4 \text{ 本} + 0.2\text{m} \times 2) / \text{組} \times 3 \text{ 組}] \times \text{ロス比 } 1.1 = 27.7\text{m} / \text{箇所}$$

…ロス比 1.1：§4.1.3-（6）項参照

$$\text{総延長} = 27.7\text{m} / \text{箇所} \times 2 \text{ 箇所} = 55.4\text{m}$$

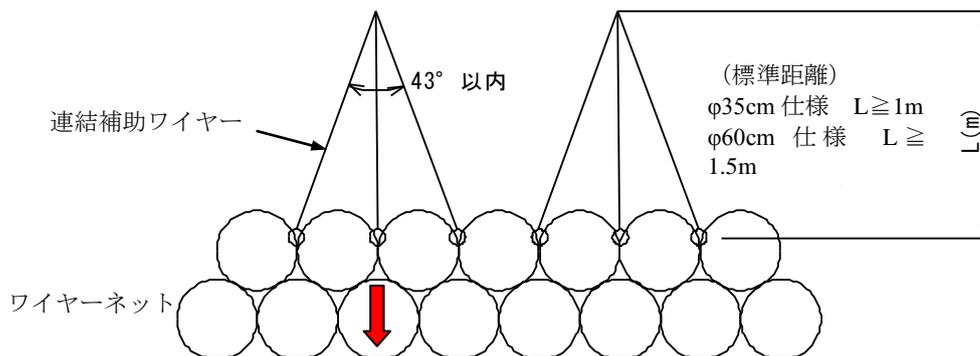


図-4.1.16 ワイヤーネット端部とアンカー位置との距離（再掲）  
（ワイヤーリングと連結補助ワイヤーを連続して固定する場合）

㉕ 連結補助ワイヤーロープ端止具

$$\text{ロープ端止具} : (3 \text{ ケ} / \text{箇所}) \times 2 \text{ 箇所} = 6 \text{ ケ}$$

④ 工事計画数量

○ ワイヤーネット敷設（φ60cm 仕様）：30.7m<sup>2</sup>

- ・ワイヤーリング数（標準値）：30.7m<sup>2</sup> × 3.21 = 99 ケ …表-2.2.1
- ・連結金具数（標準値）：99 ケ × 2.35 = 233 ケ …表-2.2.1
- ・アンカーピン：31 本（標準設置密度：1 本/m<sup>2</sup>）…§4.1.2（3）項
- ・ガイドロープ長：12m
- ・ガイドロープ端止具：1 個

○ 固定用アンカー

- ・深層アンカー：2 本（設計荷重 50.4kN/本，削孔長 1.5m，定着長 0.2m）
- ・連結補助ワイヤー：6 組 - 55.4m
- ・ワイヤーロープ端止具：6 ケ

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）…再掲

リング径 (cm)	1m <sup>2</sup> 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	

【設計計算例 2: 複数の岩塊】 …図のような転石群のケースについて、計算結果のみを示す。

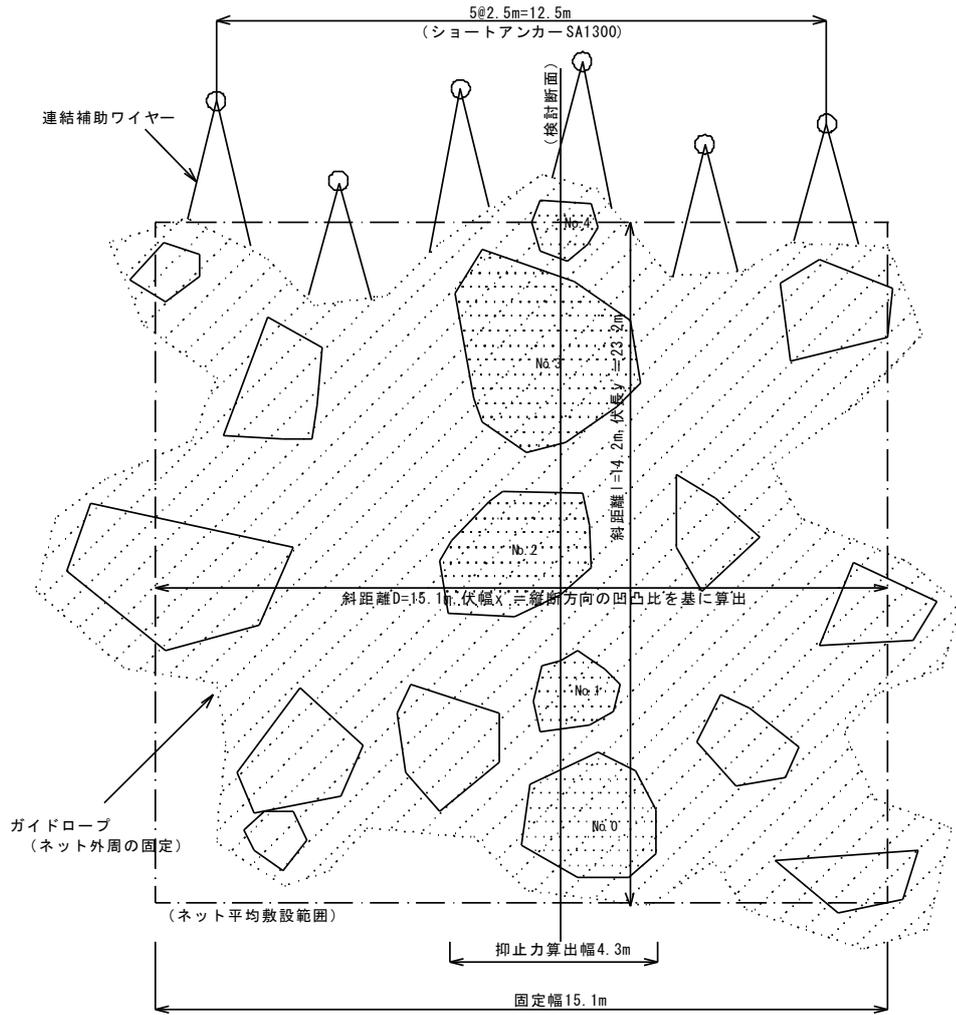


図-4.1.22 設計計算例 (複数の岩塊：平面図)

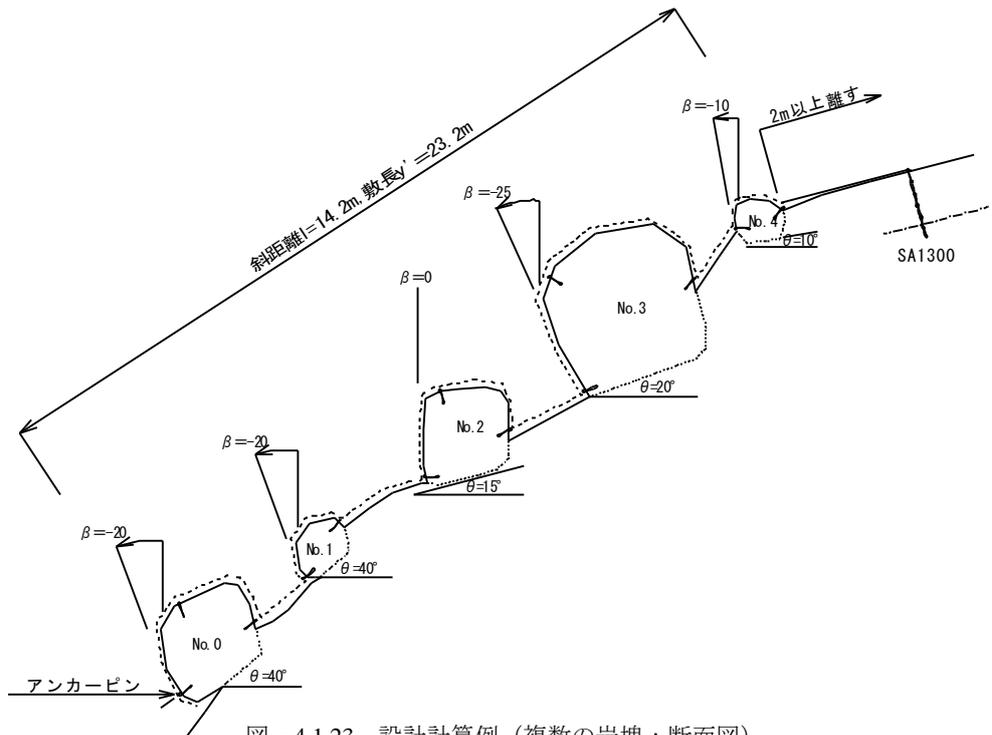


図-4.1.23 設計計算例 (複数の岩塊：断面図)

### ①検討方法

図-4.1.22 のように幅広い転石群（概略 15m×15m）のため、代表的な岩塊を通る主断面（検討断面）を設定し、これに関わる岩塊（No.0～No.4：検討幅 4.3m）を基に全体の抑止力を算出する。

### ②安定計算

図-4.1.23 において、現状における滑動安全率が最も不安定な岩塊は、すべり面傾斜角が最も急な No.0 と No.1 ( $\theta=40^\circ$ ) である。これらが小康状態 ( $F_S=1.00$ ) にあるものとすれば、岩塊と地山との摩擦係数  $\mu$  は式 (4.1.1) より

$$F_S = \mu / \tan\theta = \mu / \tan 40 = 1.00$$

$$\mu = \tan 40 = 0.8391$$

この値を用いて、図-4.1.23 の転石群を一体化した場合の滑動安全率は、表-4.1.11 のようになる。

- 平常時滑動安全率：No.0, No.1 以外は、目標安全率 (2.00) を越える状態にあり、ワイヤーネットを一体化した場合の全体安全率は、1.94 となる。
- 地震時滑動安全率：No.0, No.1 で不安定な状態 ( $F < 1.0$ ) となるが、一体化することで目標安全率 (1.00) を超える。
- 転倒安全率：No.0, 1 で不安定な状態にあるが、全体を一体化することで目標安全率を超える (将棋倒しとならない)。

なお、No.0 において、安全率が 1.00 を下廻るにも関わらず転倒しない要因として、岩塊が未だ地山と剥離していない状態か、周囲地盤との摩擦抵抗等の影響が考えられる。これらが消滅した時点で一気に転倒する恐れがあり、これを踏まえた設計とする。

表-4.1.11 安定計算結果 (設計例 2)

No	石の寸法と傾斜角						滑動安全率		転倒安全率	
	幅 <i>a</i> (m)	奥行 <i>b</i> (m)	高さ <i>h</i> (m)	底長 <i>c</i> (m)	底面 角 $\theta$ (°)	前面 角 $\beta$ (°)	平常時	地震時	平常時	地震時
							$F_S$	$F_{SE}$	$F_S$	$F_{SE}$
0	2.5	2.0	2.0	1.2	40	-20	1.00	0.67	0.67	0.45
1	1.5	1.0	1.0	0.8	40	-20	1.00	0.67	1.15	0.77
2	2.5	2.0	2.0	2.0	15	0	3.13	1.70	4.73	2.56
3	3.0	3.0	3.0	3.0	20	-25	2.31	1.38	2.51	1.50
4	1.0	1.0	1.0	1.0	10	-10	4.76	2.15	5.67	2.56
$\Sigma$			9.0				1.94	1.21	2.23	1.39

### (留意事項)

- 図-4.1.23 において、岩塊が地山と接する面の傾斜角  $\theta$  は、将来的に浸食する恐れがある場合は、その浸食面を予め想定するか、これを防ぐための根固め等を実施する。
- 仮に岩塊が埋没状態にあり、将来にわたって脚部洗掘等の恐れがない場合は、 $\theta=0^\circ$  とする。

### ③所要引張力

目標安全率は、平常時 2.00、地震時 1.00 であり、したがって、これに達しない平常時滑動安全率 (所要引張力 15.1kN) を対象に、ワイヤーネットおよび固定用アンカー設計する。

表-4.1.12 所要引張力 (設計例 2)

No	滑動に対する所要引張力				転倒に対する所要引張力				最大引張力 <i>P</i> (kN)
	$F_S$	$P_1$ (kN)	$F_{SE}$	$P_2$ (kN)	$F_S$	$P_3$ (kN)	$F_{SE}$	$P_4$ (kN)	
0	1.00	83.6	0.67	67.9	0.67	111.0	0.45	113.5	113.5
1	1.00	12.5	0.67	10.2	1.15	10.7	0.77	7.1	12.5
2	3.13	0.0	1.70	0.0	4.73	0.0	2.56	0.0	0.0
3	2.31	0.0	1.38	0.0	2.51	0.0	1.50	0.0	0.0
4	4.76	0.0	2.15	0.0	5.67	0.0	2.56	0.0	0.0
$\Sigma$	1.94	15.1	1.21	0.0	2.23	0.0	1.39	0.0	15.1

#### ④ワイヤーネットの仕様

##### ①ネットの負担荷重による選定

表-4.1.13 は、表-4.1.12 で求めた個々の岩塊に対する所要引張力と、これに関わるネットの敷設幅 (=岩塊幅) より、ワイヤーネットに作用する単位幅当たり負担荷重を示したものである。

表-4.1.13 ワイヤーネットに作用する荷重 (設計例 2)

No	固定用 アンカー 設置地盤 の緩み	最大 引張力 P (kN)	アンカー取付方向とネット荷重負担長		ネット仕様選定	
			ネット上下方向 ネット横長 $l_s$ (m)	ネット横方向 ネット縦長 $l_v$ (m)	所要強度 $P_u$ ( $=P/l_s, P/2l_v$ ) (kN/m)	ワイヤー リング径 (cm)
0	なし	113.5	2.5		45.4	60
1	なし	12.5	1.5		8.3	80
2	なし	0.0	2.5		0.0	80
3	なし	0.0	3.0		0.0	80
4	なし	0.0	1.0		0.0	80
全体	なし	15.1	10.0		1.5	80
最小径						60

※ネット上下方向：固定用アンカーを、固定対象の上下方向から引っ張る場合

※ネット横方向：同上、固定対象の両側方部から引っ張る場合

※ネット横長、縦長：任意岩塊へのネット敷設長

※ワイヤーリング径：表-4.1.10のネット許容荷重を満たすワイヤーリング径を選定

表-4.1.10 より、同荷重を負担できるワイヤーリング径は、全体としては $\phi 80\text{cm}$  だが、No.0 に対しては $\phi 60\text{cm}$  が必要であり、したがって安全側として $\phi 60\text{cm}$  仕様 (仮決定) とする。

表-4.1.10 ワイヤーネットを構成するリング径と許容荷重 (再掲)

ワイヤーリング径	
$\phi$ (m)	最大許容荷重kN/m
0.35	100.00
0.60	58.33
0.80	43.75

##### ②ワイヤーネットの敷設面積 (§4.1.3- (2) -⑤項 “群をなす場合” 参照)

図-4.1.23 の転石群の斜面長  $l=14.2\text{m}$ 、同ネット敷設延長 (伏長)  $y'=23.2\text{m}$  より、転石群の凹凸比  $R_g$  は

$$R_g = y'/l = 23.2/14.2 = 1.634$$

敷設面積率  $n_g$  は

$$n_g = A_R/A' = 0.8471 \cdot R_g^{-1.185} = 0.8471 \times 1.634^{-1.185} = 0.4734$$

ネット横断方向の斜距離  $D=15.1\text{m}$  (図-4.1.22) より、同方向の敷設延長  $x'$  (伏幅) を同じ凹凸比で逆算すれば

$$x' = l \cdot R_g = 15.1 \times 1.634 = 24.7\text{m}$$

$$\text{平均伏幅 } x = x' \cdot \sqrt{n_g} = 24.7 \times \sqrt{0.4734} = 17.0$$

$$\text{平均伏長 } y = y' \cdot \sqrt{n_g} = 23.2 \times \sqrt{0.4734} = 16.0$$

$$\text{敷設面積 } A = x \cdot y = 17.0 \times 16.0 = 272.0 \text{ (m}^2\text{)}$$

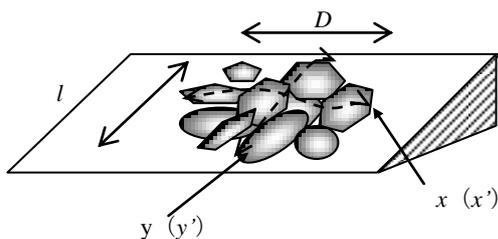
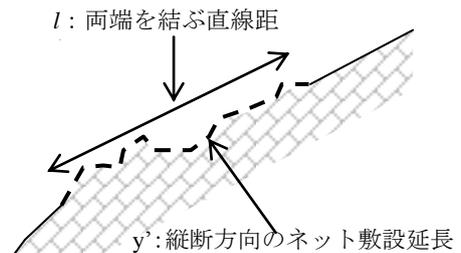


図-4.1.6 ワイヤーネット敷設面積算出図 (再掲) … “群をなす場合” を抜粋



b: 群をなす場合 (抜粋)

図-4.1.7 群の凹凸比を求める諸元 (再掲)

㊦ワイヤーネットの仕様

上記三つの要件 ( $\max P_{net}=45.4\text{kN/m}$ ・・・表-4.1.13, 敷設面積  $A=272.0\text{m}^2$ , 敷設短辺長  $y=16.0\text{m}$ ) を次図に当てはめれば, ワイヤーリング径 60cm 仕様となる。

さらに, ネットメッシュからの転落を防ぐ必要がある場合は, “金網等併用” の選定となる。

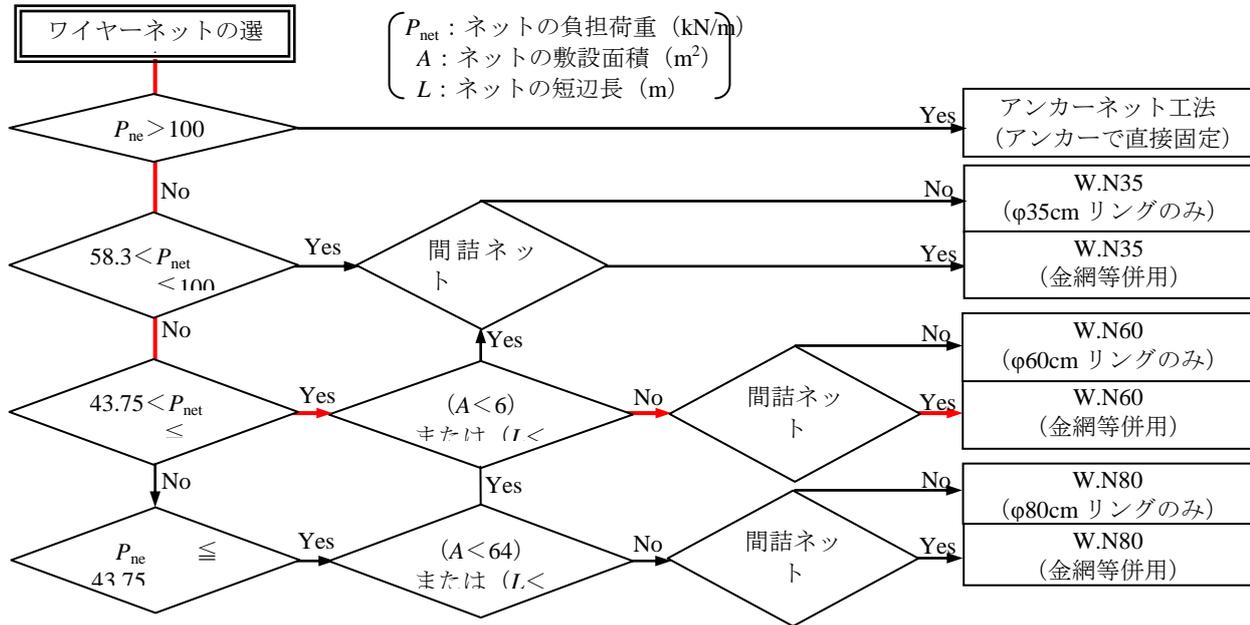


図-4.1.8 ワイヤーネット仕様選定フロー図・・・再掲

⑤固定用アンカーの設計

①固定用アンカーの所要本数  $n$

転石群の固定幅  $D=15.1\text{m}$  (図-4.1.22), アンカー1本当たりの最大負担幅 3m より,  
 $n=15.1\text{m} / (3\text{m}/\text{本}) = 5.03 \rightarrow 6\text{本}$

②アンカー1本当たりの引張力  $P_a$

単位幅当たりの引張力  $P_U$ は, 検討断面のブロック幅  $D=4.3\text{m}$  (図-4.1.22) より,  
 $P_U = P / D = 15.1\text{kN} / 4.3\text{m} = 3.5\text{kN/m}$

固定幅  $\Sigma D=15.1\text{m}$  では

$$\Sigma P = P_U \cdot \Sigma D = 3.5\text{kN/m} \times 15.1\text{m} = 52.9\text{kN}$$

アンカー1本当たりの引張力は

$$P_a = \Sigma P / n = 52.9\text{kN} / 6\text{本} = 8.8\text{kN}/\text{本}$$

③定着長

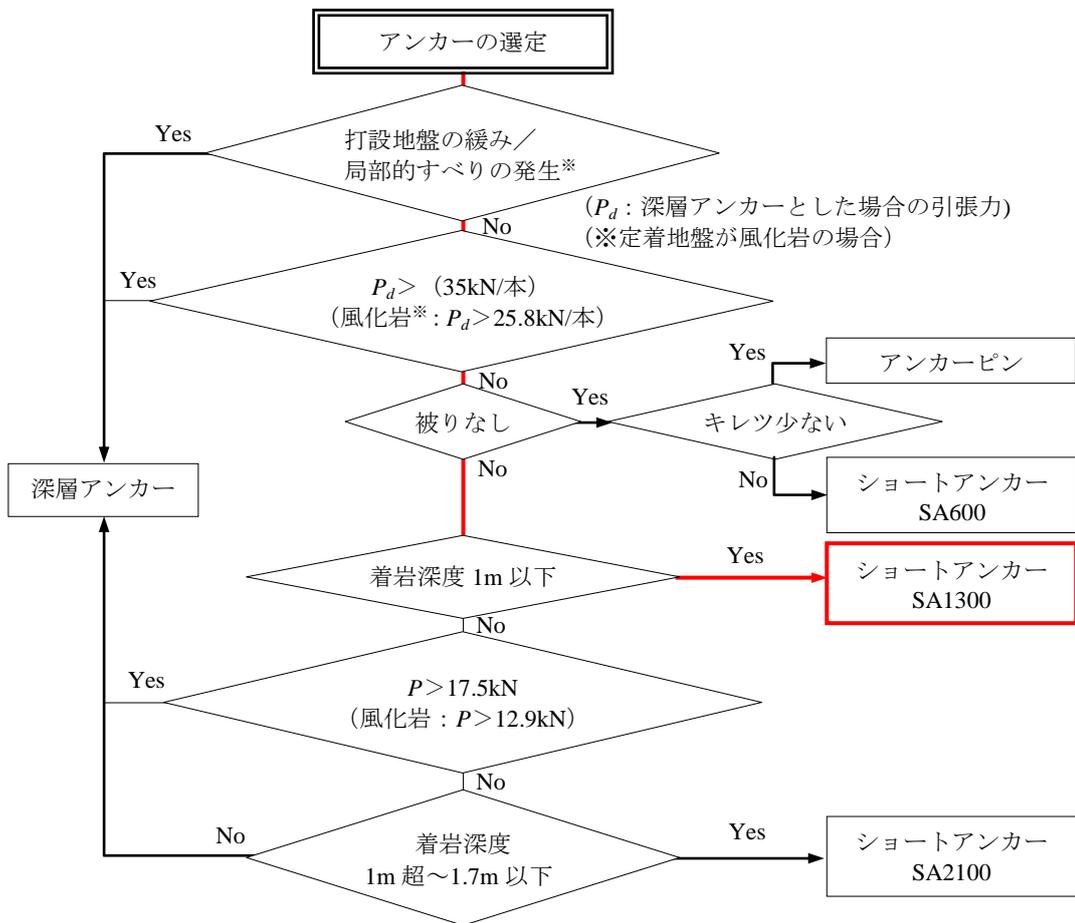
次表より, 定着地盤が風化岩の場合 (許容荷重 12.9kN/本) でも, ショートアンカー (定着長 10cm) で上記荷重を支持できる。

表-4.1.6 ショートアンカー許容荷重 kN (再掲)

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u \geq 10\text{MPa}$
10	6.3	12.9	17.5

④アンカー仕様の決定

次図より, 現地設置地盤が表層すべり等の恐れがなく, 被り厚が 1m 未満であればショートアンカー SA1300 仕様となる。



※崖錐等における“地盤の緩み”や局部的すべりが予想される場合は、図-4.1.1に示す目標安全率をさらに2倍する。

※落石の原因が、まとまった岩塊（土塊）の地すべりや崩壊によるものと判断される場合は、ワイヤーネット被覆工法の設計対象外である（アンカーネット工等による地すべり/崩壊対策が必要である）

図-4.1.9 固定用アンカー選定フロー図（再掲）

### ⑥工事計画数量

- ワイヤーネット敷設（φ60cm仕様） 272.0m<sup>2</sup>
  - ・ワイヤーリング数（標準値）=272.0m<sup>2</sup>×3.21=873ヶ …表-2.2.1
  - ・連結金具数（標準値）=873ヶ×2.35=2,052ヶ …表-2.2.1
  - ・アンカーピン 272本（標準設置密度：1本/m<sup>2</sup>）…§4.1.2（3）項
    - …ネット外周部等において、表土層の厚い領域等では、削孔長の長いショートアンカーSA600（削孔長0.65m）で代用する。
  - ・ガイドロープ  $G_{\ell} = (\text{平均伏幅 } x + \text{平均伏長 } y) \cdot 2 \cdot 0.8 = (17.0 + 16.0) \times 2 \times 0.8 = 52.8\text{m}$ 
    - …ワイヤーネット外周を固定するロープ長（§4.1.3（6）参照）
  - ・端止具  $n = 52.8\text{m} / 30\text{m} = 1.8 \rightarrow 2$ ヶ（連結補助ワイヤーロープ長30mに1ヶを標準とする）

○固定用アンカー：SA1300-6本（設計荷重8.8kN/本，削孔長1.3m，定着長0.1m）

○連結補助ワイヤー：（2組/箇所）×アンカー6箇所=12組

設計荷重が小さくシングル仕様とする（§4.1.3-（4）-⑤項参照）。ショートアンカーの所要セット数 $n$ は2組/箇所，アンカーの設置箇所とワイヤーネット端部との距離 $L$ は2mであり（図-4.1.23），1組当たりのロープ総延長 $E$ は

$$E = (L \cdot n \text{本} + \text{端部固定余長 } 0.2\text{m/本} \cdot n \text{本}) \times \text{ロス } 1.1$$

$$= (2\text{m/本} \times 2 \text{本} + 0.2\text{m/本} \times 2 \text{本}) \times 1.1 = 4.8 \text{ (m/組)}$$

$$\Sigma E = 4.8\text{m/組} \times 12 \text{組} = 57.6\text{m}$$

○ロープ端止具：（2ヶ/組）×6箇所=12ヶ…連結補助ワイヤー固定用

## 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

一般に、小割作業は、足場の悪い傾斜地で行われるため、安全を確保するための仮設足場や、岩塊の転落を防ぐための仮設防護柵などが必要である。小割りした岩塊を、安定した場所に運搬する作業も大きな作業負担となっており、本工法は、これらを解決するためのものである。

例えば、次図 (1) のような不安定な岩塊は、図 (3) のように扁平状にすることで、転倒に対する安全度を高めることができる。これを、図 (2) のように、自在性の高いワイヤーネットで被覆した状態で実施すれば、岩塊の転落を防ぐなど作業の安全性を高めることができる。

扁平状にしたものをそのまま残置することができれば、岩塊の撤去作業などの作業負担軽減と大幅な工事費削減につながる。

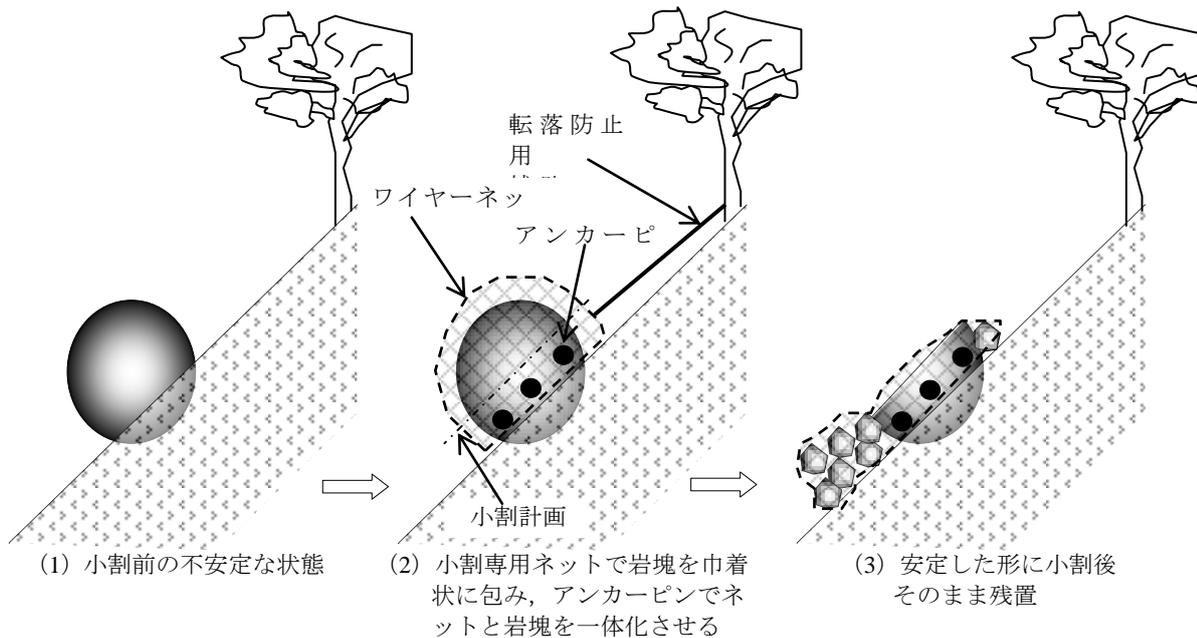


図-4.2.1 小割作業概念図

### 4.2.2 小割による安定化の目安

次図は、小割する岩塊の奥行き(斜面傾斜方向)  $b$  に対する、岩塊の計画はつり高さ  $h$  の関係を示すものであり、 $h/b$  をはつり高比とする。表-4.2.1 は、岩塊が地山と接する面の傾斜角  $\theta$  と、はつり高比による地震時転倒安全率を試算したものであり、およそ、岩塊の高さを奥行き以下 ( $h/b < 1/2$ ) にすることで、地震時の目標安全率  $F_{PE} (=1.0)$  を確保することができる。

同様に、滑動に対しても検討を行い、目標安全率に達しない場合は、立木や露岩あるいは埋没岩等にアンカーをとることで、これを確保する。

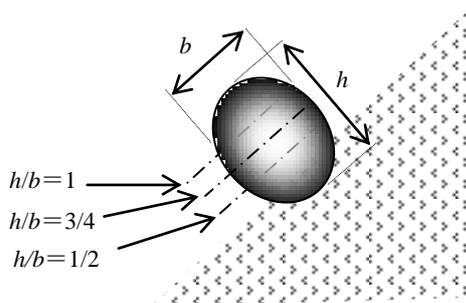


図-4.2.2 小割による計画はつり高さ

表-4.2.1 はつり高さ地震時転倒安全率

$\theta$ (°)	$h/b$		
	1	3/4	1/2
30	1.26	1.67	2.51
35	1.05	1.40	2.11
40	0.88	1.18	1.77
45	0.74	0.99	1.48
50	0.61	0.82	1.22

### 4.2.3 小割後の安定化対策

小割後の滑動安全率  $F_s$  は、式 (4.1.1) で示され、地山との傾斜角  $\theta$  が変化 (低下) しないかぎり、安全率の上昇は期待できない。すなわち、傾斜地 (およそ傾斜角  $20^\circ$  以上) での小割は、基本的に滑動安全率を確保するための対策が必要であり、以下にその方法を示す。

$$F_s = W \cos \theta \cdot \mu / W \sin \theta = \mu / \tan \theta \quad (4.1.1) \text{ 再掲}$$

ここに、 $W$  : 岩塊重量  $\theta$  : 傾斜角  $\mu$  : 摩擦係数 (不変)

#### ① アンカーで固定する方法

図 c のように、付近に適当な定着地盤 (露岩等) がある場合は、アンカーピンで固定できるが、表土層などが厚い場合 (図 d) は、長尺アンカーが必要である。

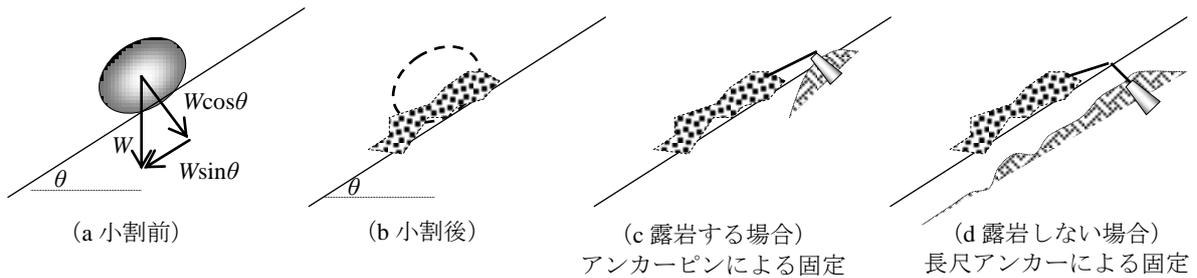


図-4.2.3 小割後の固定方法

#### ② 小割り前の傾斜より緩い斜面に残置する方法

小割り (変形) することで、小割り対象を緩斜面 (傾斜  $\theta_2$ ) に移動させることができる場合は、安全率の上昇が期待され、安定計算によりこれを確認する。

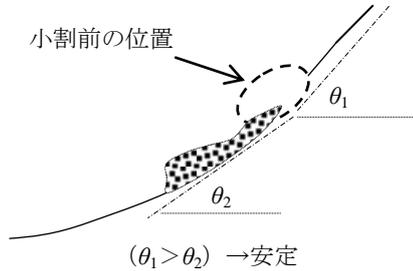


図-4.2.4 小割前の傾斜角  $\theta$  より緩斜面に移動させる方法

#### ③ 立木により滑落を抑止する方法

小割りした岩塊を、図のように立木の根元に残置することで、これの滑動を抑止することができる。

立木による抑止力は、表-4.2.2 (立木の引倒し力) を目安とする。同引倒し力は、地表より 1m 高の位置を引っ張った値であり、立木根元であれば表の値より高い抑止力を期待できる。

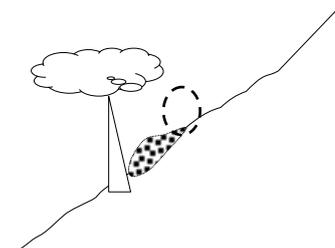


図-4.2.5 立木の根元に残置する方法

表-4.2.2 樹種別胸高直径  $D$  と立木引倒し力  $P$  の関係<sup>2)</sup>

胸高直径 $D$ (cm)	立木引倒し力 $P$ (kN)		
	スギ	ナラ	ブナ
4	0.4	0.4	0.4
5	0.8	0.9	0.9
6	1.4	1.6	1.7
7	2.2	2.8	2.9
8	3.4	4.4	4.6
9	4.9	6.5	6.9
10	6.7	9.9	9.7
11	8.2	12.6	11.9
12	9.8	15.6	14.4
13	11.6	19.0	17.2
14	13.5	22.9	20.2
15	15.6	27.2	23.5
16	17.8	31.9	27.0
17	20.2	37.1	30.8
18	22.8	42.8	34.9
19	25.5	48.9	39.3
20	28.3	55.6	43.9
21	31.4	62.8	48.8
22	34.5	70.5	54.1
23	37.9	78.8	59.5
24	41.4	87.6	65.3

#### 4.2.4 小割時の仮設用アンカー

小割作業は、削岩機による振動等を与えることから、転落等の危険性が高い。そのため、作業時の岩塊の安定度は、恒久対策と同等の目標安全率を確保するものとし、そのための仮設アンカーを設ける。

図-4.2.6 の例では、平常時滑動安全率に対して、65.0kN の引張力（表-4.2.3）が必要である。

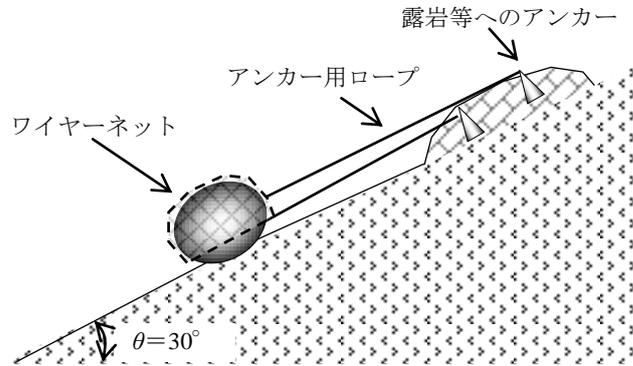


図-4.2.6 小割時のアンカー仮設計画例

表-4.2.3 ワイヤロープによる所要引張力

No	石の寸法と傾斜角						滑動に対する所要引張力				転倒に対する所要引張力				最大引張力 P (kN)
	幅 a (m)	奥行 b (m)	高さ h (m)	底長 c (m)	底面 角θ (°)	前面 角β (°)	平常時		地震時		平常時		地震時		
							$F_s$	$P_1$ (kN)	$F_{SE}$	$P_2$ (kN)	$F_s$	$P_3$ (kN)	$F_{SE}$	$P_4$ (kN)	
1	2.0	2.5	2.0	2.0	30	-30	1.00	65.0	0.66	60.0	1.30	45.6	0.85	25.7	65.0

##### ①立木アンカーを利用する場合

安全に万全を期すため、アンカー木は、複数設けるものとする。

前項に示した表-4.2.2 より、胸高直径 15cm 程度以上の広葉樹（引倒し荷重  $P_a=23.5\text{kN/本}$ ）が、アンカーとして利用できる場合

$$n = P / P_a = 65.0\text{kN} / (23.5\text{kN/本}) = 2.8 \rightarrow 3 \text{ 本}$$

##### ②適当な立木がなく、固定用アンカーを利用する場合

定着地盤を中硬岩とすれば、次表の許容荷重より

○深層アンカー（定着長 0.2m，許容荷重  $P_a=60\text{kN}$ ）の場合

$$n = P / P_a = 65.0\text{kN} / (60.0\text{kN/本}) = 1.1 \rightarrow 2 \text{ 本}$$

○ショートアンカーSA1300（定着長 0.1m，許容荷重  $P_a=17.5\text{kN}$ ）の場合

$$n = P / P_a = 65.0\text{kN} / (17.5\text{kN/本}) = 3.7 \rightarrow 4 \text{ 本}$$

表-4.1.5 定着長と許容荷重 kN（再掲）

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u \geq 10\text{MPa}$
20	15	30	60
40	30	60	105
60	45	90	—

表-4.1.6 アンカーピン，ショートアンカーの許容荷重 kN（再掲）

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u=1\text{MPa}$	$q_u=6\text{MPa}$	$q_u \geq 10\text{MPa}$
10	6.3	12.9	17.5

### 4.3 アンカーネット工

#### 4.3.1 工法の考え方

本工法は、足場条件の悪い山腹斜面の小規模な地すべりや表層崩壊を、簡易な設備で抑止しようとするものである（詳細は巻末参考資料、参 2.5 に示す）。施工条件として

- 現地盤（植生）を改変することなく、そのままの状態で固定する。
- 人力施工が容易となるようアンカー力を小さくし、受圧版は簡易なものとする。
- アンカーは削孔径が小さく、削孔長も短くなるようくさび方式を採用する。

一方、小規模なすべりほど移動層の攪乱が大きくなり、局所的崩壊も発生しやすい。したがって、対象斜面を面的に固定する必要があり、本工法では以下のような手法を用いる。

- ①全面に、アンカーを千鳥状に設置：斜面全体の固定
  - …局所的崩壊を固定するには、次項に示すワイヤーネットを、できるだけ地山と密着状に敷設する必要があり、したがって、これを固定するアンカー間隔は、最大 4m 程度を標準する。
- ②全面に、ワイヤーネットを敷設：アンカー間をすり抜ける局所的表層崩壊の固定
  - …ワイヤーネットが地山から浮いた状態となる領域は、アンカー位置を調整するか、ショートアンカー SA1300（削孔長 1.3m）で地山に固定するなどの処理を行う。

#### 4.3.2 設計手順

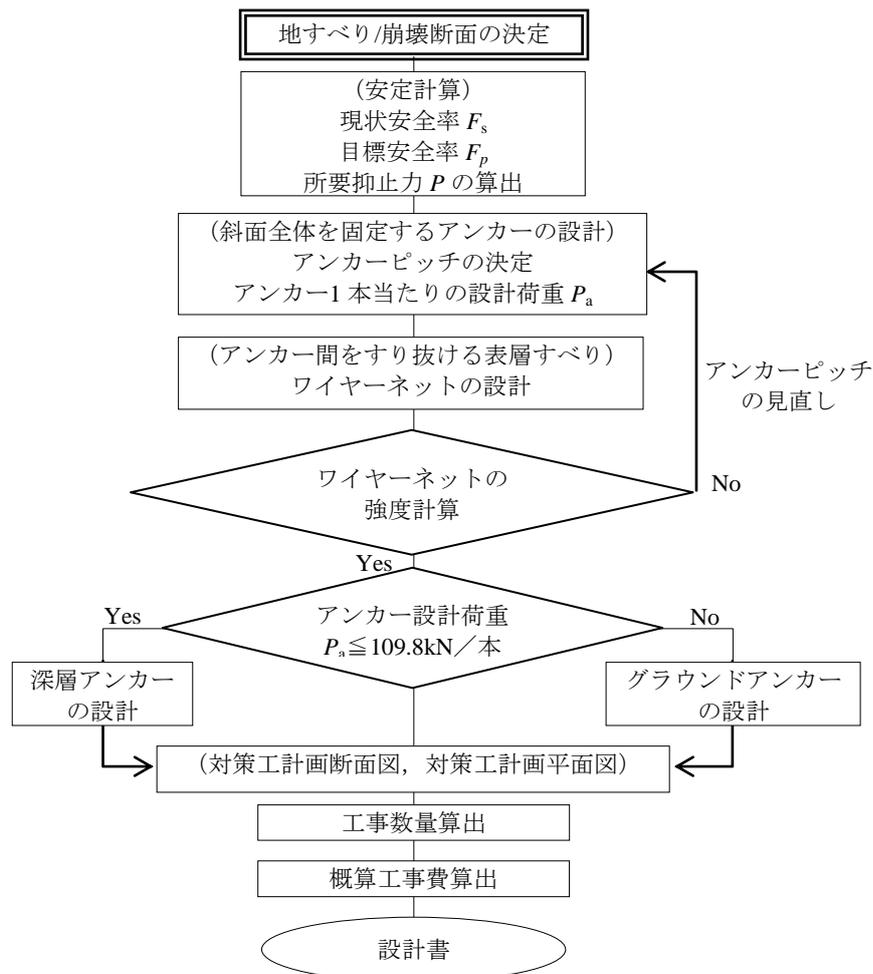


図-4.3.1 ワイヤーネット被覆工法設計フロー図

### 4.3.3 設計計算例

図は、斜面長 30m、幅 17m、層厚 4m の退行性すべりの例である。末端部崩壊が落石源となっており、これと、全体のすべりを固定するためのアンカーネット工を試算する。

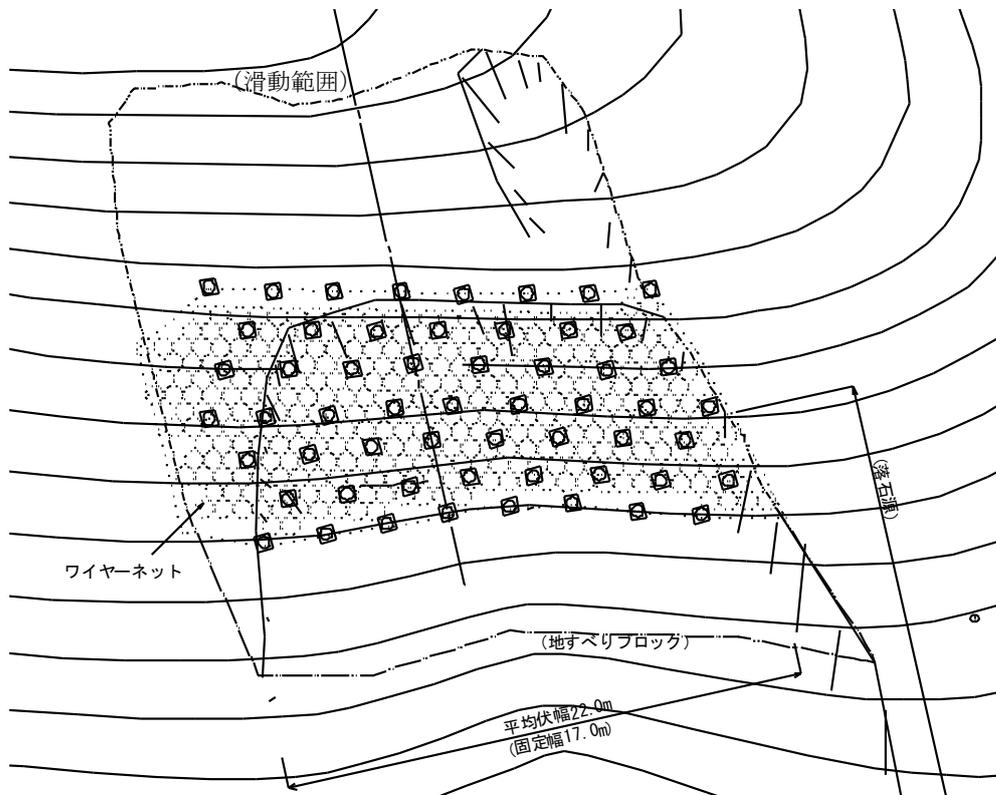


図-4.3.2 対策工計画平面図

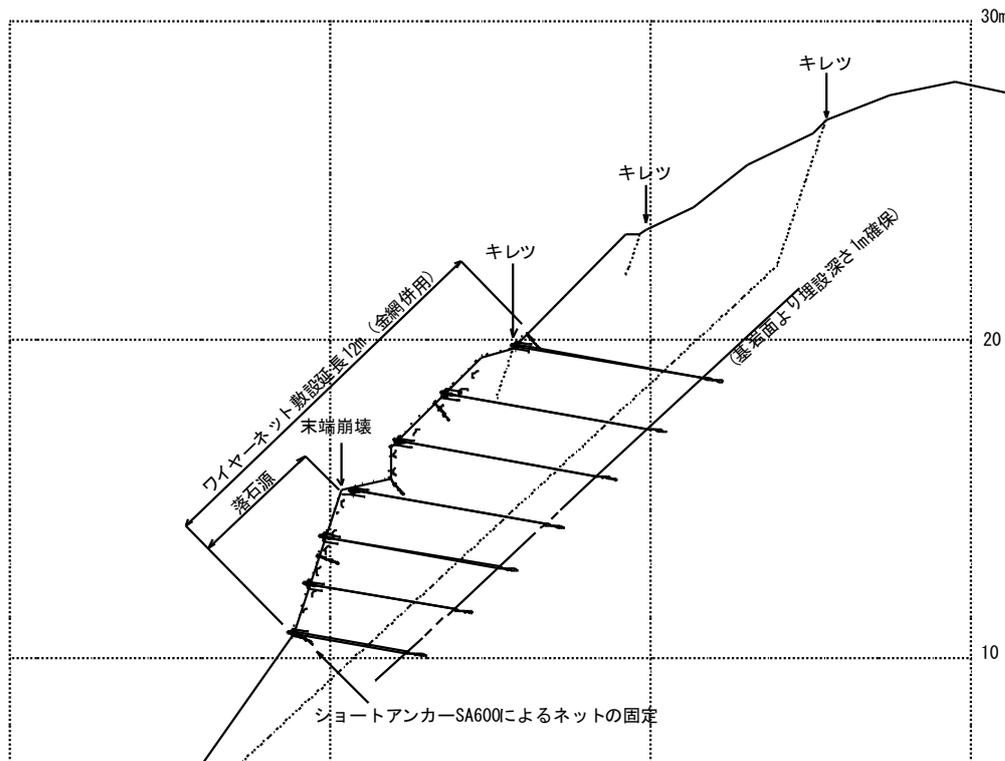


図-4.3.3 対策工計画断面図

### (1)設計条件

- ・すべろうとする力  $\Sigma T=19,176\text{kN}$  (図-4.3.3 断面)
- ・すべり面傾斜  $\theta=43^\circ$
- ・現状安全率  $F_s=1.00$
- ・目標安全率  $F_p=1.20$

### (2)アンカーの所要抑止力

アンカーによる抑止効果は、式 (4.3.1) および図-4.3.4 のように、引止効果と締め付け効果があるが、ここでは移動層がルーズであり、締め付け効果は無視する。

$$F_p = \frac{\Sigma S + P \sin\theta_1 \cdot \tan\phi}{\Sigma T - P \cos\theta_1} \quad (4.3.1)$$

$F_s$  : 初期安全率 1.00 (=  $\Sigma S / \Sigma T$ )

$F_p$  : 目標安全率 1.20

$\Sigma S$  : すべりに抵抗する力

$\Sigma T$  : すべろうとする力 19,176kN

$\tan\phi$  : 摩擦係数

$\theta_1$  : すべり面と引張材 (連結補助ワイヤー) のなす

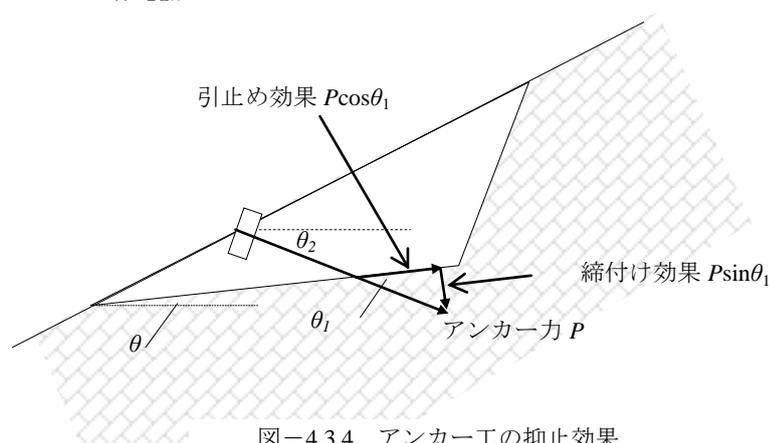


図-4.3.4 アンカー工の抑止効果

式 (4.3.1) より、締め付け効果は無視すれば

$$F_p (\Sigma T - P \cos\theta_1) = \Sigma S$$

$$F_p \cdot \Sigma T - \Sigma S = F_p \cdot P \cos\theta_1$$

$$P = \frac{\Sigma T (F_p - F_s)}{F_p \cdot \cos\theta_1}$$

$$= \frac{191760 \times (1.20 - 1.00)}{1.20 \times \cos 53} = \frac{38352}{0.7222} = 53104 \quad (\text{kN})$$

### (3)アンカーの設置本数 n

図-4.3.2, 4.3.3 のように、落石源となっている移動層下部を中心に、ワイヤーネットおよびアンカーを設置する。地すべりの規模が比較的大きいことから、アンカー間隔は水平 2m, 縦断 2m (斜面長) の千鳥配置とし、計 56 本計画する。

(4)アンカー1 本当りの引張荷重  $P_a$

アンカー1 本当りの引張力  $P_a$ は

$$P_a = P/n = 5,310.4 / 56 = 94.8 \text{ kN/本}$$

(5)定着長

アンカーは、定着長が短く、かつ高い支持力を得られる深層アンカー（くさび方式）を採用する。その許容荷重は、これまでの実績より表-4.1.6 のようである。

定着地盤は、硬岩であり、定着長 40cm とすれば 105kN の支持力が期待され、上記荷重 94.8kN を負担できる（施工に際し現地基本調査試験で精査する）。

表-4.1.6 定着長と許容荷重 kN（再

定着長 (cm)	軟岩～風化岩		中～硬岩
	$q_u = 1 \text{ MPa}$	$q_u = 6 \text{ MPa}$	$q_u \geq 10 \text{ MPa}$
20	15	30	60
40	30	60	105
60	45	90	—

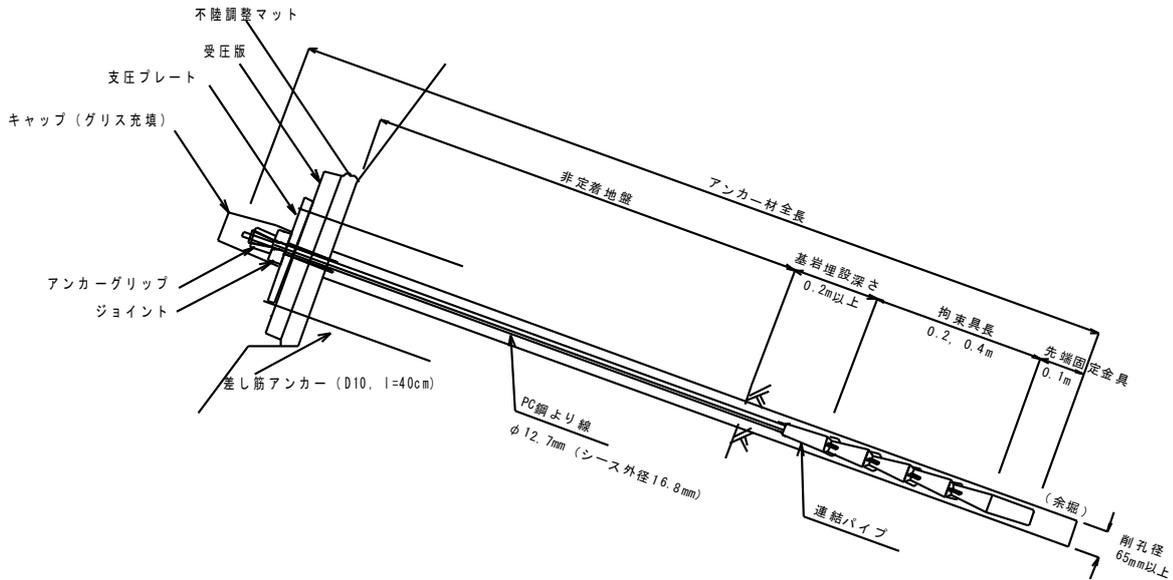


図-2.7.1 アンカーネット標準構造図（受圧版：土砂地盤用）・・・再掲

## (6) 受圧版間をすり抜ける表層すべりの固定

### ①表層すべりの特定

図-4.3.5のように、受圧版による移動土塊の固定範囲を、アンカーによってもたらされる荷重分散範囲とする（巻末：参 2.3.4 参照）。その分散角を、アンカー軸から  $40^\circ$ （片側）の範囲とし、受圧版間をすり抜ける表層すべりは、これの上面に規制されるものとする。

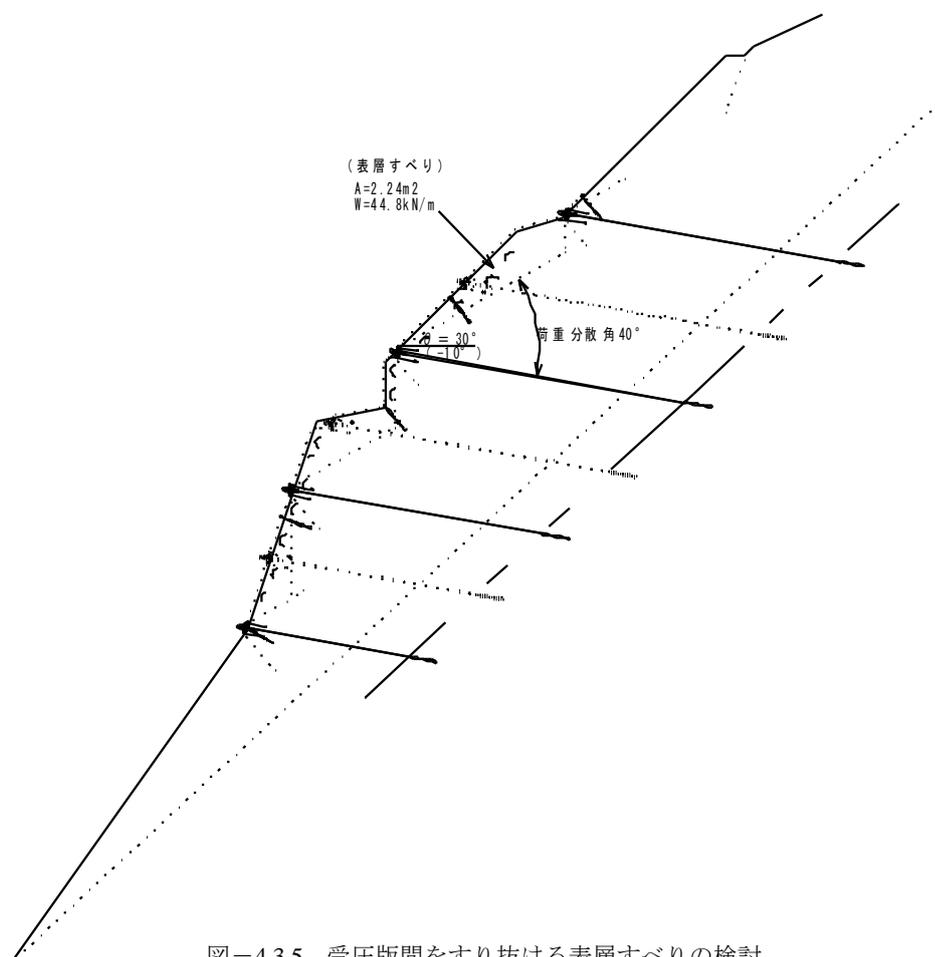


図-4.3.5 受圧版間をすり抜ける表層すべりの検討

### ②表層すべりの規模

図-4.3.5 に示すように、設計対象は、抑止力が最大となる領域とする。移動層は、ルーズ化した岩盤であり、単位体積重量  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  とする（表-4.3.1）。

表層すべりの断面積  $A = 2.24 \text{ m}^2$  より、その重量  $W$  は

$$W = A \cdot \gamma = 2.24 \text{ m}^2 \times 20 \text{ kN/m}^3 = 44.8 \text{ kN/m}$$

表-4.3.1 礫質土の単位体積重量  
（申植潤：地すべり工学—理論と実践—P59, 表 1.1 (4) より抜粋）

間隙を埋めている土の違い		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	備考
互いに密着している 粗い礫	砂質のマトリックス	18~20	
	粘土質のマトリックス	18~20	
互いに密着していない 粗い礫	砂質のマトリックス	17~20	粘性土に準じた値とする
	粘土質のマトリックス	19~21	

③ワイヤーネットによる所要抑止力

- ・すべり面傾斜  $\theta=30^\circ$  (図-4.3.5)
- ・現状安全率  $F_s=1.00$
- ・目標安全率  $F_p=1.20$

すべろうとする力  $T$  は

$$T=W \cdot \sin\theta_3=44.8\text{kN/m} \times \sin 30^\circ =22.4\text{kN/m}$$

式(4.3.1)において、ワイヤーネットによる締め付け効果は期待できないため、これを無視する。地表傾斜  $\alpha=45^\circ$  とすれば、すべり面とワイヤーネットの引っ張り方向とのなす角  $\theta_1$  は

$$\theta_1=\alpha-\theta=45^\circ -30^\circ =15^\circ$$

ワイヤーネットによる所要引張力  $P_{net}$  は

$$P_{net}=\frac{T(F_p-F_s)}{F_p \cdot \cos\theta_1}=\frac{22.4 \times (1.20-1.00)}{1.20 \times \cos 15^\circ}=\frac{4.48}{1.16}=3.86 \quad (\text{kN/m})$$

ワイヤーネットの強度は、表-4.3.2 のようであり、ネットを構成するリング径を 80cm 仕様とすれば安全である。

表-4.3.2 ワイヤーネットの許容荷重

ワイヤーリング径	許容荷重 (kN/m)
35cm	100.0
60cm	58.33
80cm	43.75

(5) ワイヤーネットに求められる所用支持力

図-4.3.6 より、ネットを押し上げる力  $Q$  は

$$Q=P_{net} \cdot \tan(\alpha-\theta)$$

$$=3.73 \times \tan(45^\circ -30^\circ) =1.00\text{kN/m}$$

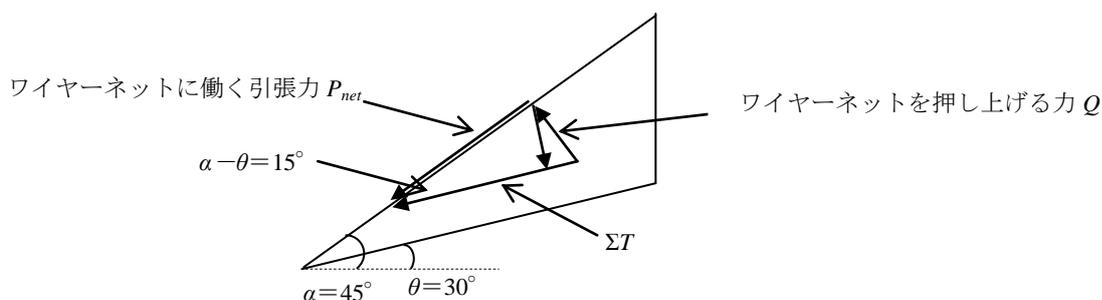


図-4.3.6 ワイヤーネットによる抑止力

受圧版間の斜長間隔 4m より、単位面積当たりの所要地耐力は

$$Q=Q/4=1.00/4=0.25\text{kN/m}^2$$

これに対して、ネットを構成するワイヤー ( $\phi 80\text{cm}$  仕様) の単位面積当たり敷設面積は、表-4.3.3 より  $361.73\text{cm}^2$  である。設置地盤は、礫質 (ルーズな風化岩) であり、表-4.3.4 の“礫層. 密実でないもの” の長期許容地耐力  $30\text{N/cm}^2$  を用いれば

$$q=30\text{N/cm}^2 \times 361.73\text{cm}^2/\text{m}^2=10851.9\text{N/m}^2=10.8\text{kN/m}^2 > (Q=0.25\text{kN/m}^2) \quad \text{ok}$$

表-4.3.3 単位面積当たりワイヤー敷設面積（標準）

ネット仕様 リング径 (cm)	同左,ワイ ヤー径 cm	同左, ワイ ヤー長 cm	単位面積当たり 標準敷設数 ヶ/m <sup>2</sup>	同左敷設 面積 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
35	0.8	109.9	9.43	829.09
60		188.4	3.21	483.81
80		251.2	1.80	361.73

表-4.3.4 許容地耐力

地盤の種類と状態		長期許容地耐力 (t/m <sup>2</sup> )	同左, 換算値 (N/cm <sup>2</sup> )	N値
礫 層	密実なもの	60	60	50 以上
	密実でないもの	30	30	30 以上
砂質地盤	密なもの	30	30	30~50
	中位	20	20	20~30
		10	10	10~20
	緩い	5	5	5~10
	非常に緩い	3 以下	3 以下	5 以下
粘土質層	非常に硬い	20	20	15~30
	硬い	10	10	8~15
	中位	5	5	4~8
	軟らかい	3	3	2~4
	非常に軟らかい	2 以下	2 以下	2 以下

※「小規模建築物基礎設計の手引き, 日本建築学会」より