

— 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 4 実証実験

参 4.1 ワイヤーネット被覆工法

コンクリート球 ($\phi 1\text{m}$) を用いて、ワイヤーネット被覆工法の抑止機能に関する実証実験を行った。

(1) 滑動実験

コンクリート球 3 個を鋼板上に一列に並べ (写真-参 4.1.1), ワイヤーネットで被覆 (アンカーピンでコンクリート球と一体化) した状態で鋼板を徐々に傾け, 滑動に対する挙動を確認した。

○実験仕様

- ・コンクリート球 : $\phi 1\text{m}$ (1.2t \times 3 個=3.6t)
- ・ワイヤーリング : $\phi 35\text{cm}$ (64 リング, ロープ径 8mm)
- ・連結金具 120 個 ・アンカーピン設置本数 16 本 ・傾斜式実験台 (鋼板)

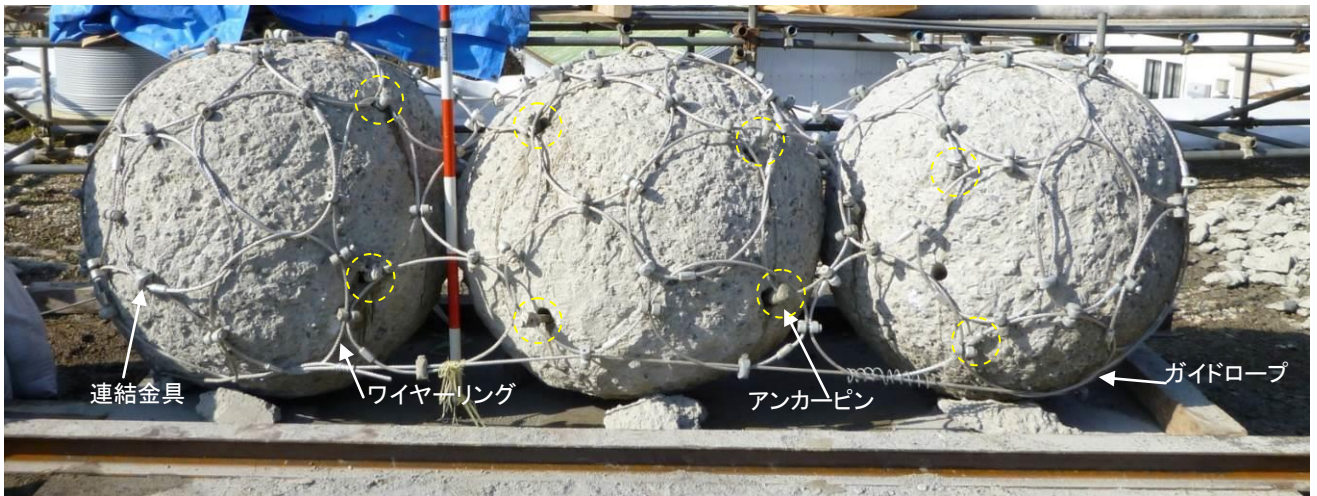


写真-参 4.1.1 実験前のワイヤーネット被覆状況
(ワイヤーリング径 35cm, ロープ径 8mm, コンクリート球 1.2t/個)

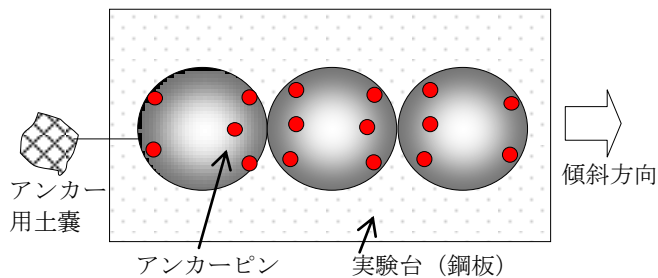


図-参 4.1.1 アンカーピン取り付け図



写真-参 4.1.2 アンカー用土嚢袋 (45kg)
の取り付け状況

○実験結果

写真-参 4.1.2 のように、クレーンにより鋼板端部を吊り上げながら、傾斜 5° 毎にコンクリート球およびワイヤーネットの変位を観察した。その結果傾斜 15° でやや変位し、傾斜 25° でネット全体が緊張するほどの変位をきたした後、傾斜 30° で滑落した。

実験は2回行い、いずれも同様な結果となったことから、傾斜 20° 前後がコンクリート球と鋼板の摩擦角と考えられる。

さらに写真-4.1.3 のように土嚢アンカー (45kg) を連結することで、傾斜 30° まで滑動を抑止できた。およそ傾斜 10° 分が、土嚢アンカーの抑止効果である。



①



②



④



③



⑤



⑥



⑧



⑦



写真一参 4.1.3 滑動実験

(2) 転倒実験

コンクリート球 4 個を鋼板の上に積み上げ（写真－参 4.1.4），これをワイヤーネットで被覆した状態で鋼板を徐々に傾け，転倒に対する挙動を確認した。

○実験仕様

- ・コンクリート球： $\phi 1\text{m}$ （ $1.2\text{t} \times 4$ 個 = 4.8t ）
- ・ワイヤーリング： $\phi 35\text{cm}$ （76 リング，ロープ径 8mm）
- ・連結金具 146 個，　　・くさび式アンカーピン設置本数 11 本，　　・傾斜式実験台（鋼板）
- ・滑り止め用 H 鋼（コンクリート球脚部に設置）



写真－参 4.1.4 転倒実験用試験体（コンクリート球 4 個）組み立て状況

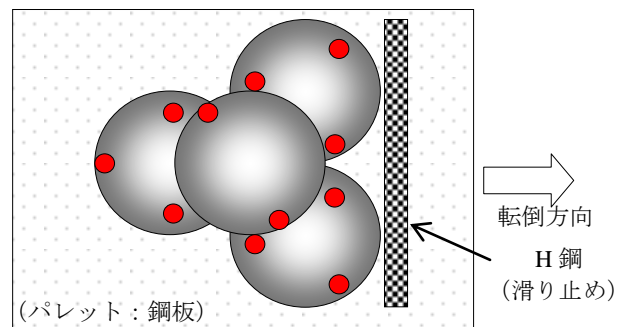
○実験結果

滑動実験と同様に，クレーンで鋼板端部をつり上げながら，傾斜 5° 毎にコンクリート球およびワイヤーネットの変位を観察した（写真－参 4.1.5）。

その結果，傾斜 27° 過ぎに最上部の球が斜面下方にやや傾き，傾斜 38° でわずかな滑動（全体）が見られた。傾斜 42° 過ぎから転倒が始まり，一体化した状態で転落した。

このように，単にワイヤーネットを被覆（アンカーピンで一体化）しただけでも，その拘束力が十分に発揮されることが確認出来た。

転落後のネット等に損傷は認められず，この程度の落下衝撃にも耐えることも確認できた。



図－参 4.1.2 アンカーピン配置図



①



②



④



③



⑤ワイヤーネットの高い拘束力により傾斜後も全体の重心位置が保持され、傾斜42°で転倒。



⑥

⑦ワイヤーネットの自在性(吸収エネルギー)が高いことから、高さ2mから転倒しても一体化が保たれている。



写真一参 4.1.5 転倒実験



写真-参 4.1.6 傾斜 40° の状態
 (黄色テープは実験前に鉛直方向に取り付けたもの)

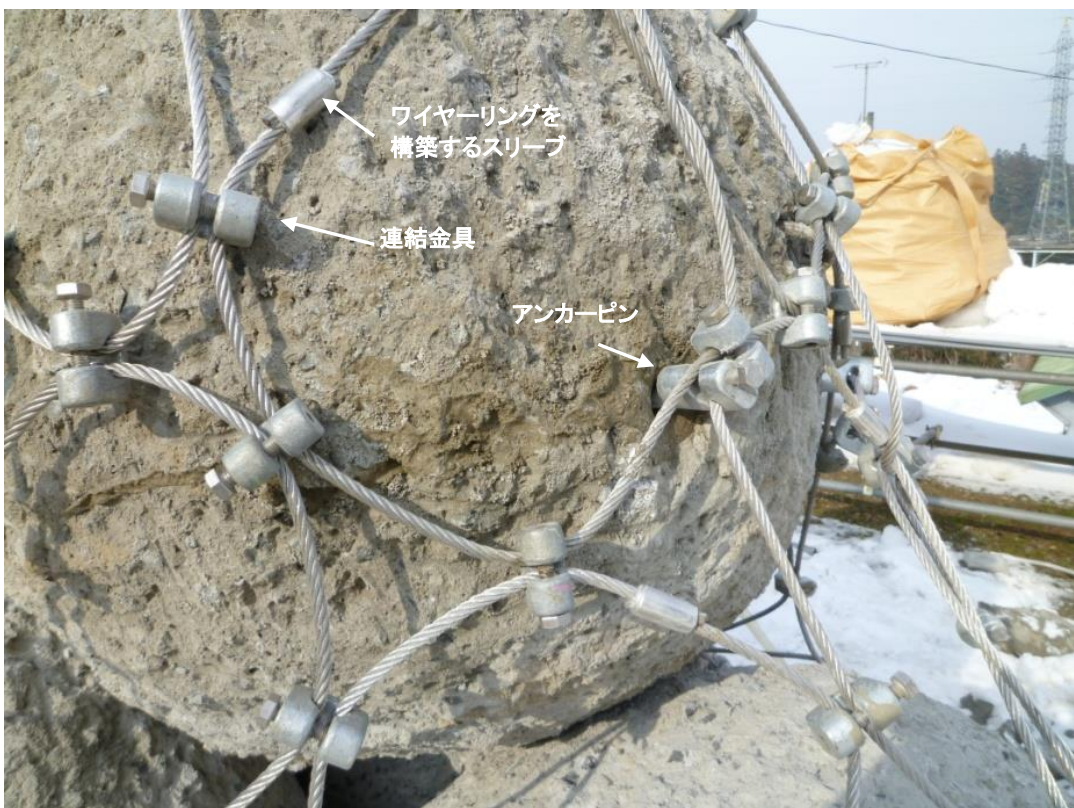


写真-参 4.1.7 落下後にネット等に変状なし

(3) 吊り上げ試験

ワイヤーネットの強度および荷重分散状況を確認するため、ネットを構築するワイヤーリング(φ35cm, ロープ径 8mm) 1本にフックをかけ、全体を吊り上げた(写真-参 4.1.8)。その結果、ワイヤーリングは破断することなく全体(3.6t)を支えた。

ワイヤーネットを連結する金具やアンカーピンのフックは、ワイヤーリングを固定しないよう十分なクリアランス(ロープがフリーな状態)がある。

ワイヤーリングは3方向(縦, 横, 斜め)に連結されており、吊り上げると同時にネット全体に荷重が伝わり、被覆されたコンクリート球が与えられた条件下で、最も安定した状態(形状)に変位しながらバランスする様子が確認された。

このように、ワイヤーネットの自在性と荷重分散機能に優れており、ネット全体の均等な抑止力の発揮や局部破壊(荷重集中)防止に有効といえる。



写真-参 4.1.8 ワイヤーネットの強度および拘束力を確認するため、ネットを構築するワイヤーリング(φ35cm, ロープ径 8mm) 1本により全体を吊り上げた状態

(4) 落下試験

写真-参 4.1.9 は、滑動実験(写真-参 4.1.3)に続き、そのまま鋼板端部をつり上げた状態であり、ワイヤーネットはコンクリート球を確実に保持している。

さらにつり上げた段階で、コンクリート球に取り付けていた土嚢アンカーのロープ(写真-参 4.1.2)が破断し、そのまま落下した(写真-参 4.1.10)。

この状態で、ワイヤーロープ等の部材に変状は認められず、この程度の落下衝撃にも耐えうる事が確認できた。



写真-参4.1.9 ワイヤネットの拘束力により3連結のコンクリート球3.6tが一体化を保っている状況



写真-参4.1.10 上記状態から最大3m落下した後の状態（ネット部材等に異常なし）

参 4.2 アンカー材の引張曲げ実験(深層アンカー)

参 4.2.1 実験の目的

ワイヤーネット被覆工法では、固定用アンカーの引張材として PC 鋼より線を採用している。その理由として

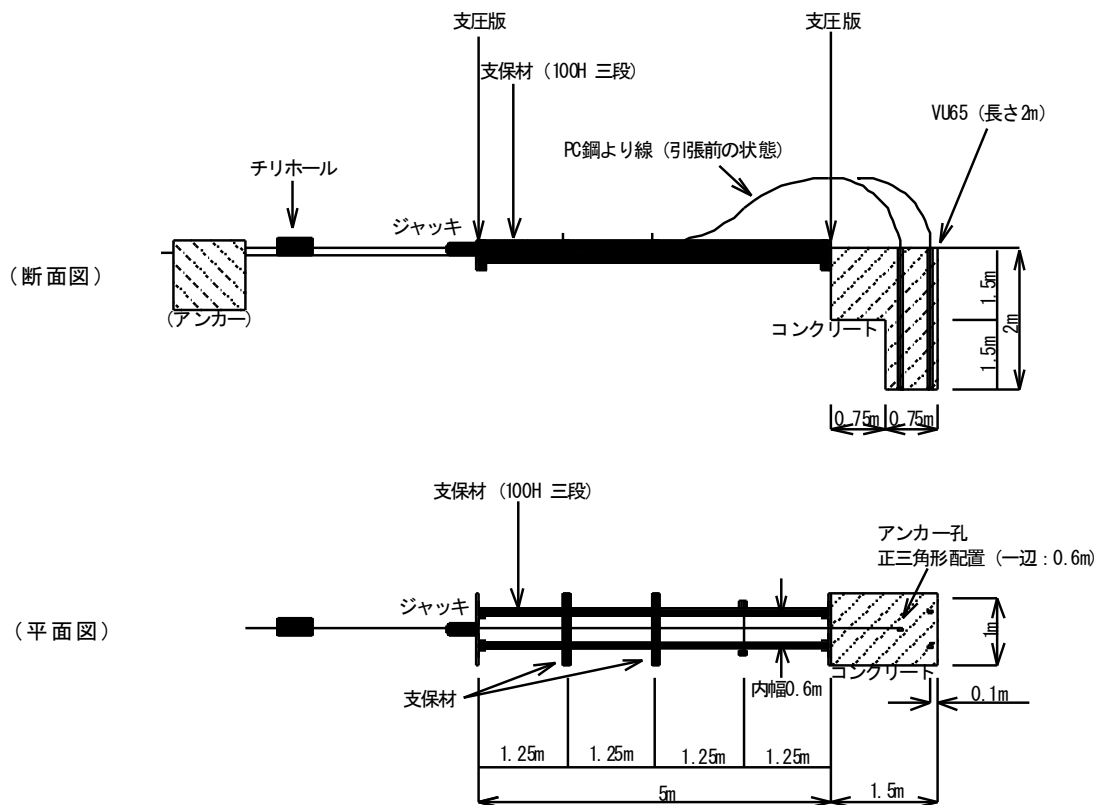
- ①鋼棒の場合は、地表変位等により折れ曲がる恐れがあり、さらに防錆材の剥離等による長期耐久性への影響が懸念されること
- ②土木構造物における鋼材の腐食が顕在化しており、引張材 (PC 鋼より線) の防食性をグラウンドアンカー並に高めること (二重防錆) が適当であること

課題として、引張材が極端に湾曲する場合は想定され、その安全性を検証するための実物大実験を行った。

参 4.2.2 実験方法

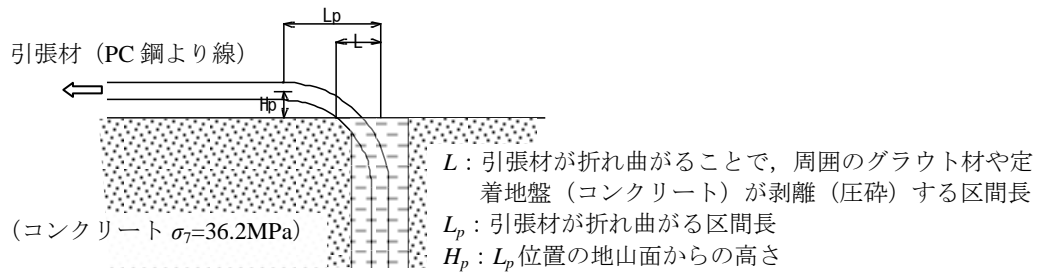
①実験概要

次図のように、コンクリート塊を疑似岩盤と見なし、これに定着した引張材 (PC 鋼より線 $\phi 12.7\text{mm}$) を、アンカー軸に対して直交する方向に引っ張る形で行った。



図一参 4.2.1 実験構造図

- 実験数量：3本
- 実験最大荷重：140kN（引張材 $\phi 12.7\text{mm}$ の降伏荷重 $156\text{kN} \times 90\%$ ）
- 荷重載荷ピッチ：10kN
- 測定項目：荷重段階毎に，次図に示す湾曲部の寸法（ L ， L_p ， H_p ）を測定し，後述する引張材の曲率を求めた。



図一参 4.2.2 測定箇所

②測定

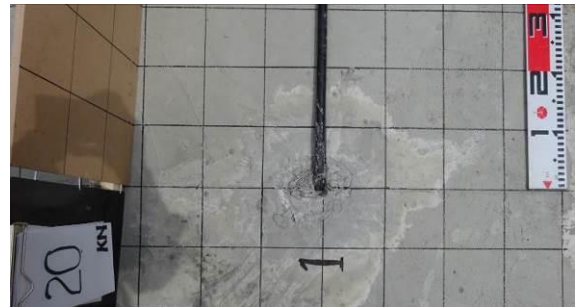
実験計画図（図一参 4.2.2）にしたがって，写真のように試験装置を構築し，荷重段階毎の引張材（PC 鋼より線）の曲がりやコンクリート（疑似岩盤）の剥離状況を観察した。



試験装置全景



PC 鋼より線の曲がりおよび
コンクリートの剥離状況等の観察



平面的剥離状況の観察

参 4.2.3 実験結果

①引張荷重と引張材（PC 鋼より線）の曲がり

各試験孔とも、最大 140kN（PC 鋼より線の降伏荷重 156kN×90%）まで荷重を負荷したが、破断等の異常は認められなかった。

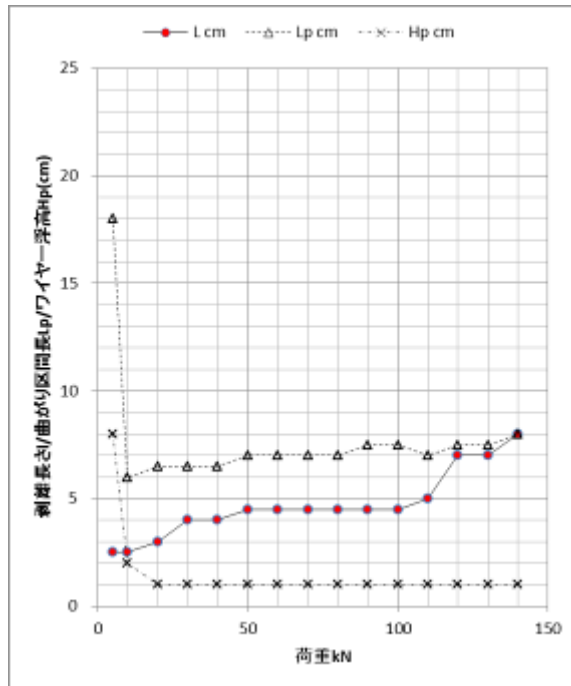
No.1 について、荷重段階の変位量と、これを図化したものを図一参 4.2.3 に示す。

同図より、全体に荷重 5kN の段階（チリホールによる引張材のセット段階）でアンカー孔グラウト（セメントミルク）および周辺のコンクリート表面が剥離し（測定値 L），荷重 100~120kN 付近でさらに大きく拡大する傾向を示した。

No.1

| 荷重 kN | L cm | Lp cm | Hp cm |
|----------|---------|----------|----------|
| 5 | 2.5 | 18.0 | 8.0 |
| 10 | 2.5 | 6.0 | 2.0 |
| 20 | 3.0 | 6.5 | 1.0 |
| 30 | 4.0 | 6.5 | 1.0 |
| 40 | 4.0 | 6.5 | 1.0 |
| 50 | 4.5 | 7.0 | 1.0 |
| 60 | 4.5 | 7.0 | 1.0 |
| 70 | 4.5 | 7.0 | 1.0 |
| 80 | 4.5 | 7.0 | 1.0 |
| 90 | 4.5 | 7.5 | 1.0 |
| 100 | 4.5 | 7.5 | 1.0 |
| 110 | 5.0 | 7.0 | 1.0 |
| 120 | 7.0 | 7.5 | 1.0 |
| 130 | 7.0 | 7.5 | 1.0 |
| 140 | 8.0 | 8.0 | 1.0 |

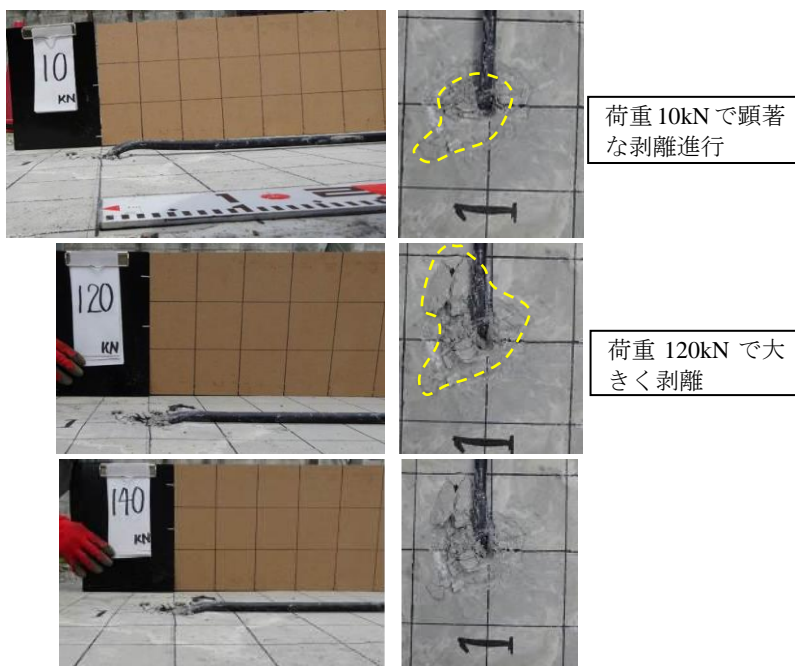
L：テンドン周囲のグラウト材や定着地盤（コンクリート）が剥離する区間長
 Lp：引張材が折れ曲がる区間長
 Hp：Lp 位置の地山面からの高さ



図一参 4.2.3 No.1 変位図

【アンカー孔グラウトおよびコンクリートの剥離状況：抜粋】

No.1



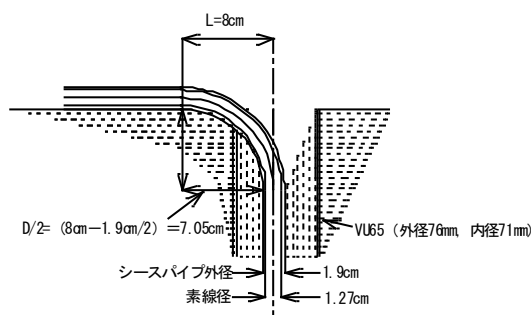
最終変位量は次表のようであり、これを基に、引張材の曲がり状況を図化すれば図一参 4.2.4 のようになる

| No. | 1 | 2 | 3 | 平均 |
|--|-----|-----|-----|-----|
| アンカー軸からの剥離区間長 L (cm) | 8.0 | 9.0 | 7.0 | 8.0 |
| アンカー軸からの曲がり区間長 L _p (cm) | 8.0 | 9.0 | 8.5 | 8.0 |
| 引張材が水平状となる位置の、地山面からの高さ H _p (cm) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

アンカー軸からの平均剥離区間長は L=8.0cm であり、アンカー孔内の変位区間長がこれに等しいものとすれば、シースパイプ外径 1.9cm を含めた曲率半径 D/2 は

$$D/2 = 8\text{cm} - (1.9\text{cm}/2) = 7.05\text{cm}$$

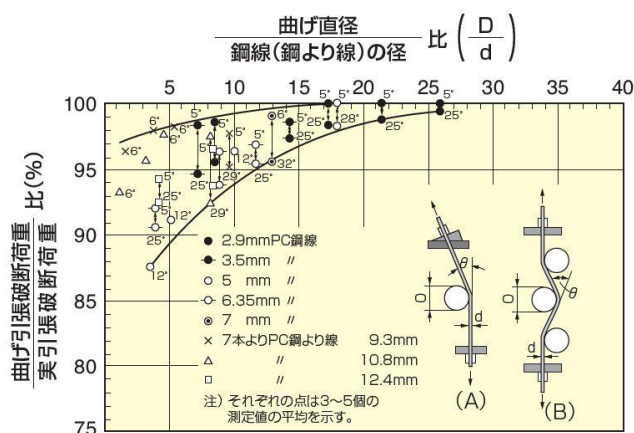
∴ 曲げ直径 D = 7.05 × 2 = 14.1cm



図一参 4.2.4 引張材の最終曲がり (140kN 時)

②PC 鋼より線の許容曲率との対比

メーカーのカタログによれば、引張材が湾曲する箇所の曲率が、引張材径の 5 倍以上であれば規格荷重（規定引張破断荷重）をクリアできるとしている。



図一1 局部曲げ部の引張強さの変化

図一参 4.2.5 PC 鋼より線の曲げ部曲率と引張強さの低下率 (住友電工スチールワイヤーカタログより)

本実験（図一参 4.2.4）による引張材の曲率は

- ・ 曲げ直径 $D=14.1\text{cm}$
- ・ 素線径 $d=1.27\text{cm}$
- ・ 曲げ曲率 $D/d=14.1/1.27=11.1 > 5.0$

以上、メーカーの示す許容曲率 5.0 を上廻っている。

③ 曲げ部素線の損傷状況

写真のように、曲げ部を切断し素線の断面を確認したが、細く延びるなどの肉眼的変状は認められなかった。



参 4.2.4 まとめ

引張材（PC 鋼より線）を、アンカー軸に対して直交する方向に引っ張ることの安全性を検証するための実物大実験を行った。その結果

- ① 引張材を 90° 曲げる形で、 140kN （PC 鋼より線 $\phi 12.7\text{mm}$ の降伏荷重 $156\text{kN} \times 90\%$ ）まで引っ張ったが、問題なく荷重を保持できた。
- ② 引張材の曲げ部を切断し素線の断面等を確認したが、肉眼的変状は認められなかった。
- ③ 引張材の曲げ部曲率（引張材内側の曲げ直径 D と素線径 d の比）は“ $D/d > 11.1$ ”となり、メーカーが示す許容曲率 5.0 を大幅に上廻った。
- ④ 大きな曲率が得られた要因として、
 - 引張材が曲がることで、その湾曲部に圧縮力が働く。
 - これに伴い、引張荷重 5kN の段階でアンカー孔口表面のグラウト材が剥離し、荷重増とともに周囲の岩盤（コンクリート：疑似岩盤）の剥離も進行する。本実験では特に $100 \sim 120\text{kN}$ 時に大きく剥離する現象が確認された。
 - その結果、引張材は 90° に屈曲することなく放物線状に湾曲した。

以上より、引張材（PC 鋼より線 1 本）を、アンカー軸に対して直交する方向に引っ張っても問題ないことが実証された。

参 4.3 アンカーピンの所要埋設深さ

いかなるアンカー体でも、引張方向側に剥離する力が働くため、これを定着地盤表面にセットした状態では容易に引き抜ける恐れがある。アンカー体を定着地盤表面からある程度埋設する必要がある、本実験は“くさび式定着”における、その所要埋設深さを確認するものである。

①語句の定義

- 埋設比：(アンカー体の埋設深さ/アンカー孔径)
- 剥離比：(定着地盤面からの剥離深さ/アンカー孔径)

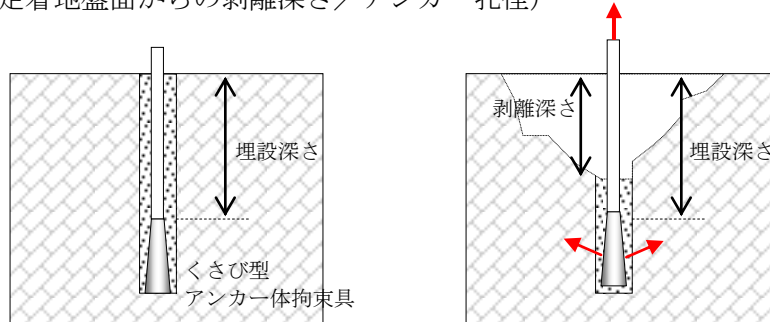


図-参 4.3.1 くさび型アンカー体の埋設深さおよび剥離深さ

②実験仕様

- ・定着方式：引張型，圧縮型，くさび型
- ・アンカー孔径：13mm，引張材径：8mm（総ネジボルト）
- ・アンカー体拘束具長：20mm（圧縮型，くさび型）
- ・アンカー体拘束具径：最大 13mm（圧縮型，くさび型）
- ・アンカー体拘束具埋設深さ：22，30，37，49，57mm
- ・定着試料：セメントミルク ($q_u=1\text{MPa}$ ，試料の大きさ 110×110×110mm)



写真-参 4.3.1 実験用引張材
(左から引張型，圧縮型，くさび型)



写真-参 4.3.2 各アンカー体定着状況

③実験結果

○くさび型アンカー体の場合

写真-参 4.3.3，参 4.3.4 は，拘束具埋設深さ 37mm の場合の引抜け状況である。

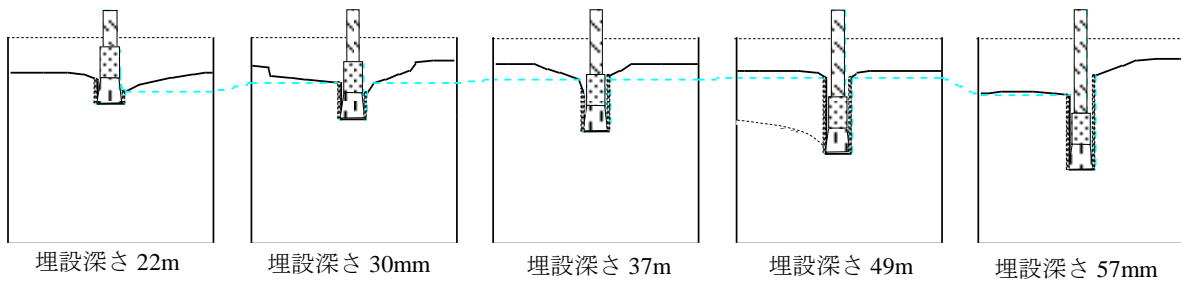


写真-参 4.3.3 初期引抜け状態



写真-参 4.3.4 拘束具引抜き直前状態

図一参 4.3.2 および写真一参 4.3.5 は、拘束具埋設深さ毎の引抜き状態である。これによれば剥離深さは概ね一定し、アンカー孔径の約 2 倍となっている (図一参 4.3.3)。



図一参 4.3.2 くさび型アンカー体引抜き断面

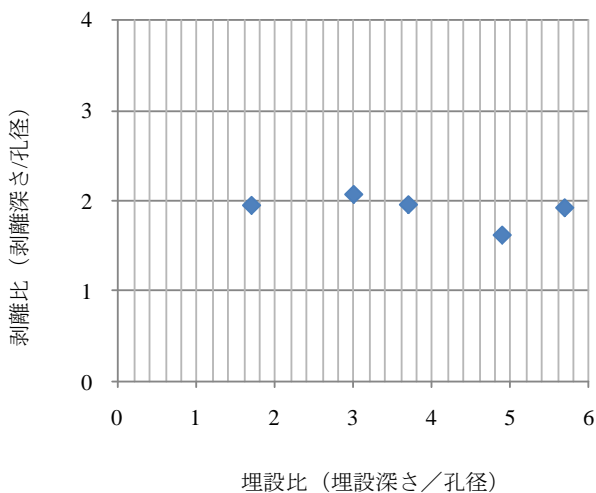


写真一参 4.3.5 くさび型アンカー体引抜き後の状態

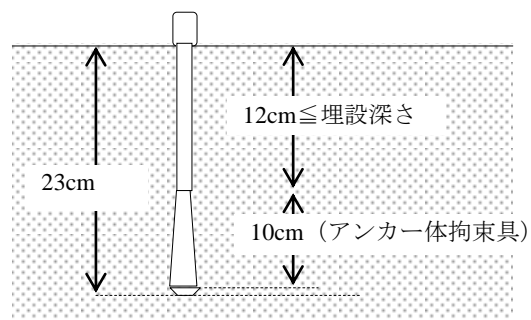
したがって、アンカー孔径の 2 倍以上の埋設深さを確保すれば、アンカー体の剥離を抑制することができる。アンカーピンの場合、削孔径は 38mm であり、所要埋設深さは次式より 8cm となる。

$$\text{所要埋設深さ} > (\text{アンカー孔径 } 3.8\text{cm} \times 2 = 7.6\text{cm}) \rightarrow 8\text{cm}$$

埋設深さに対する安全率 $f (=1.5)$ とすれば、所要埋設深さ 12cm となる (図一5.1.11)。



図一参 4.3.3 くさび型アンカー体の削孔径に対する剥離長比



図一5.1.11 アンカーピンの所要埋設深さ (再掲)

○引張型および圧縮型アンカー体の場合

引張型は引張材とグラウト材（および定着材）が付着し、写真一参 4.3.6 のように全体が漏斗状に引き抜ける。ただし実験の不備として、引張型では定着部を埋設することなく、単に定着長を長くしたのみである。

圧縮型も本実験では引張り材先端部に荷重が作用し、先端から剥離する（写真一参 4.3.7）が、次項に示す実験では、アンカー体周辺地盤の局部的破壊現象として捉えられている。

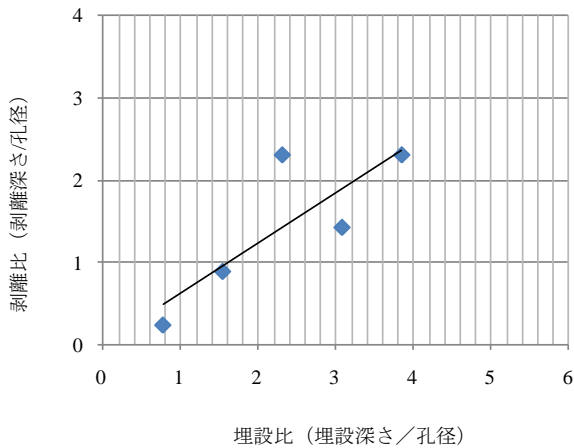
今後、埋設深さと引抜抵抗力の関係を確認し、引抜抵抗を高めることのできる所要埋設深さを確認する必要がある。



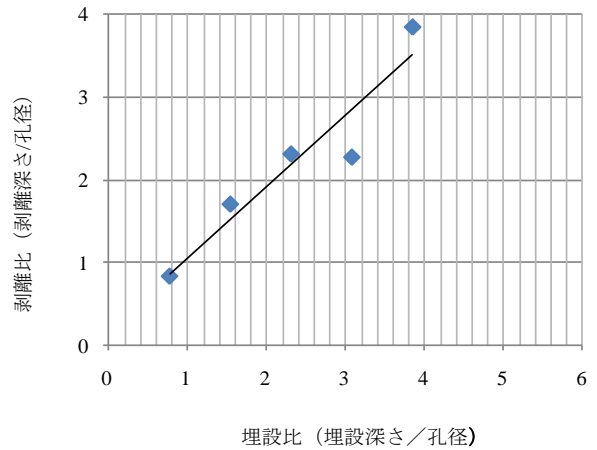
写真一参 4.3.6 引張型：定着材の剥離状況



写真一参 4.3.7 圧縮型：拘束具先端部から剥離（埋設深さ 50mm）



図一参 4.3.5 引張型アンカー体の削孔径に対する剥離長比



図一参 4.3.6 圧縮型アンカー体の削孔径に対する剥離長比

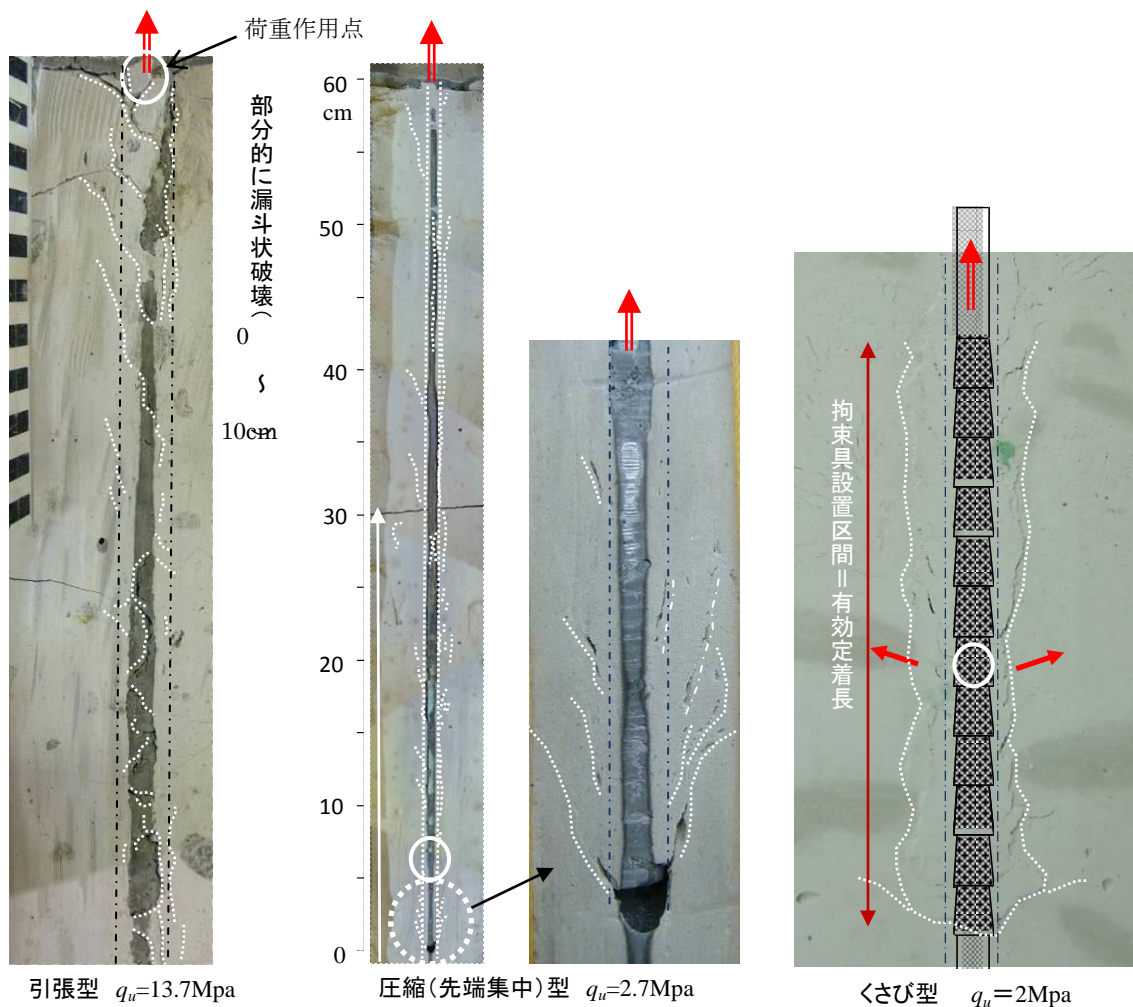
参 4.4 深層アンカー等のくさび式定着実験⁶⁾

本マニュアルで扱うアンカー（深層アンカー，ショートアンカー，アンカーピン）は，いずれもくさび式定着方法を採用している．これは，拘束度の高いアンカー孔壁の支圧強度を利用し，かつアンカー体の荷重分散が可能なため，従来の摩擦型アンカー（引張型，圧縮型）や支圧型アンカーなどより，短い定着長で安定した支持力を得られやすいことによる．

以下に示す実験は，このことを実証するものである．

①アンカー体定着様式と引抜形態（模型実験）

- 摩擦－引張型：荷重作用点である地上側から逆ハの字型に剥離が進行し，引き抜ける．ただし，剥離が進行することで定着体の荷重分散を図り，ある程度の引抜抵抗を確保することができる．
このタイプは供用期間の短い仮設型アンカーに適するものと考えられる．
- 摩擦－圧縮型：アンカー体先端部に荷重作用点を設けているが，拘束具周辺地盤を押しつけるように引き抜ける．この時，現場実験では爆発的破壊音を伴うが，十数センチ程度引き抜いた段階で再び引抜抵抗が得られ，定着地盤全体が破壊されたわけではないことが確認されている．
このタイプではいたずらに定着長を長くすることができない．
- くさび（支圧）型：アンカー体拘束具が“くさび”からなるため，引張荷重とともに，全体が微少に引抜変位し，拘束具設置地盤全体にくさび力が伝わる．この時，くさび力に耐えうるだけの支圧強度があれば，アンカー体が引き抜けることはない．定着長は地盤強度が弱い場合は長く，強い場合は短くするなど，合理的に設定することができる．

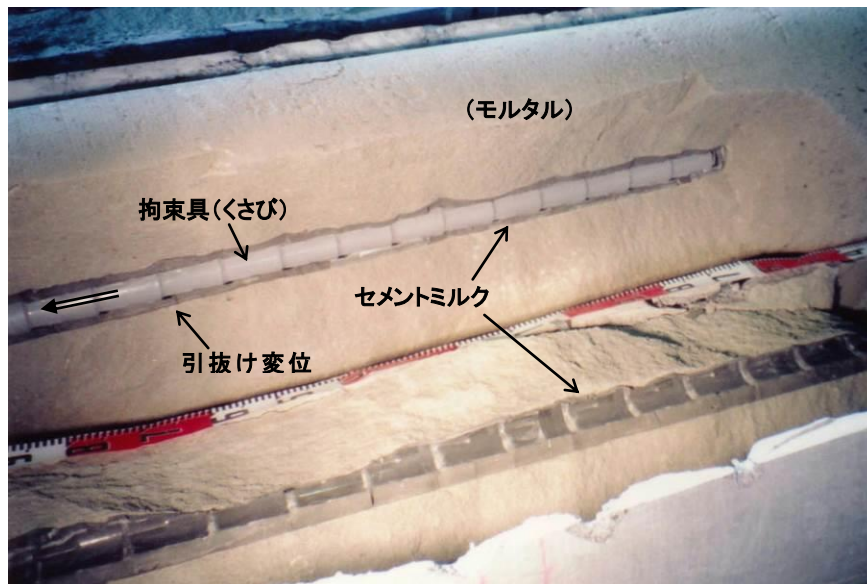


図一参 4.4.1 アンカー体の引抜形態（模型実験）

②くさび型アンカーの実物大実験（引張荷重 780kN）

写真は、ヒューム管（高さ 2.43m, ϕ 0.7m）にアンカー体径 10cm, 定着長（=拘束具長）1.5m をセットし、ヒューム管が破壊するまで引っ張り、これを解体したものである（特殊加工を施したくさび力により、ヒューム管は縦に 4 分割された）。

拘束具（くさび）とアンカー体のグラウト材（セメントミルク）に大きな摩擦抵抗がないため、剥離面は極めて滑らかであり、拘束具を構成する各くさびは一様（24～27mm）に引抜変位している。すなわち、地上での引張力がくさび力としてアンカー体拘束地盤（ヒューム管を充填するモルタル）に、ほぼ均等に伝わることを実証された。



図一参 4.1.2 くさび型アンカー体実物大実験

参.5 経済性比較のポイント

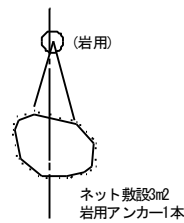
参 5.1 ワイヤーネット被覆工法

参 5.1.1 施工規模の影響

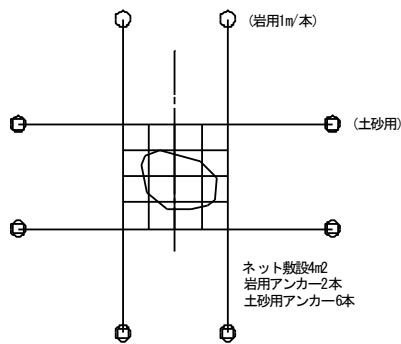
ワイヤーロープ伏工およびワイヤーロープ掛工との比較において、 $\phi 1m$ の単体岩塊を対象としたアンカー本数は、被覆工1本、伏工8本、掛工6本となり、施工規模が小さい程ワイヤーネット被覆工の方が安価となりやすい。

表-参 5.1.1 岩塊1個に対する施工形態の違い

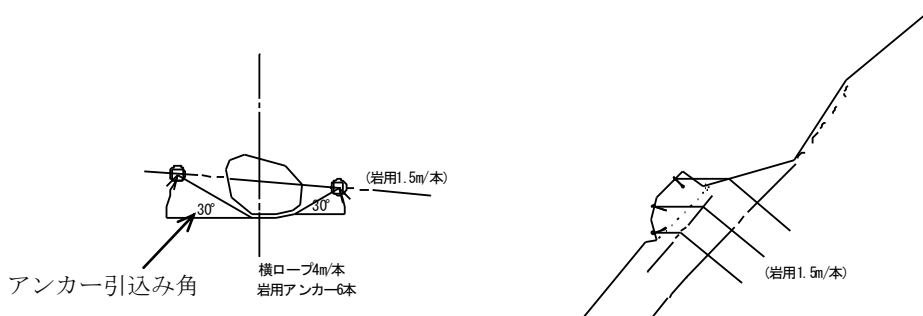
| 工 法 | 固定対象 | ネット／ロープ敷設範囲 | 固定用アンカー本数 | アンカー位置の選定 |
|------------|------|-------------|--------------------------------|----------------------------------|
| ワイヤーネット被覆工 | 単体 | 固定対象分布域のみ | 1本（岩用） | 岩塊上部斜面（選定範囲が広い） |
| ワイヤーロープ伏工 | 複数 | 格子枠単位 | 8本（岩、土砂用） …最小必要本数 | 機械的（格子枠交点）に限定される |
| ワイヤーロープ掛工 | 単体 | 固定対象のみ | 6本（岩用） …面的に固定するには横ロープ3本以上必要 | 適正な引込み角（一般に 30° ）が確保できる位置 |



①ワイヤーネット被覆工



②ワイヤーロープ伏工



③ワイヤーロープ掛工

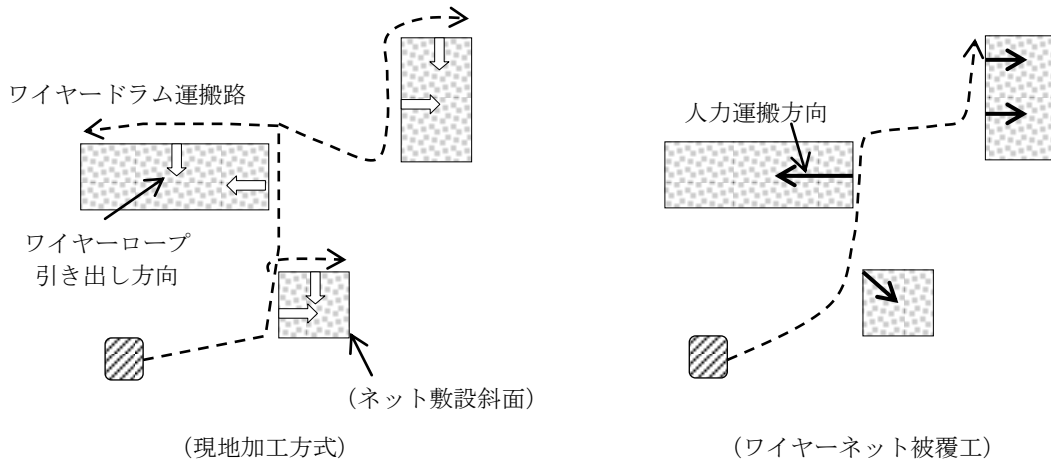
図-参 5.1.1 岩塊1個に対する施工形態の違い

参 5.1.2 資材運搬

ワイヤーネット被覆工は、工場製品を現地で組み立てる方式のため、モノレール架設は人力運搬を考慮したルートとなり、施工延長を短くしやすい。

現地加工方式では、基本的にワイヤーロープをドラムで搬入（現地加工）するため、モノレールを施工場所にできるだけ近接させる必要があり、その分、架設ルートが長くなりやすい。

この差は、設置・撤去費用や全体工事日数増（リース費、管理費増）につながり、経済性比較において欠かせない要素である。



図ー参 5.1.2 モノレール仮設ルートと資材運搬イメージ図

参 5.2 クラッシュネット工

参 5.2.1 小割除去工

工事原価に最も影響しやすいのは人件費であり、これの削減が原価管理の最重要課題である。足場条件の悪い山腹斜面での作業は、基本的に“人力”であり、特に小割りした岩塊を搬出する作業は極めて危険かつ過酷である。

高齢化社会における担い手不足などからも、経済性比較以前の問題として、こうした苦役は排除すべきである。

参 5.2.2 小割整形工

危険な岩塊を除去することは、“リスクの削除”であり、安全を完璧にする代償として工事費も割高となりやすい。しかし、落石要因である倒木や地震等が発生する限り、現在ある危険を除去しても、当該斜面の恒久的安全を保証することはできない。

したがって小割りした岩塊を搬出するのではなく、待ち受け防護工で捕獲できる大きさに小割りし、そのまま残置すれば、搬出するためのモノレール架設や人力による運搬作業をなくすことができ、全体として大幅な工事費削減となる。

仮にネットが破損した場合でも、待ち受け防護工により安全を確保できることから、基本的にメンテナンスフリーとなり、最も理想的な発生源対策といえる。

参 5.3 圧入マット式根固工

圧入マットによる根固めは、以下のような利点がある。

- ・従来の擁壁タイプと比較して、床堀や型枠が不要である。
- ・そのため、資材や機材が軽微となりやすく、モノレール架設による運搬も容易である。
- ・施工規模が小さく、あるいは施工場所が点在したりする場合には、モルタル吹付による方法などより安価となりやすい。

- ┌ 主要資材：コンクリートマット（布型枠：0.5×0.3×0.15m）、セメント、混和剤、水
- └ 主要器材：主動攪拌器、攪拌容器（ドラム缶等）、小型（携帯）発電機等

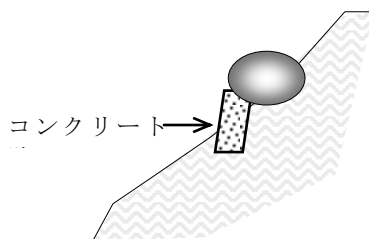


図-参 5.3.1 擁壁タイプ

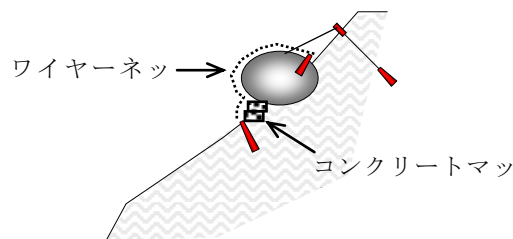


図-参 5.3.2 圧入マット式

参 5.4 アンカーネット工

規模の小さい表層すべりに対する抑止工法として、鉄筋挿入工があるが、大きな違いはアンカー設置密度である。すなわち、鉄筋挿入工は、概略 2m^2 に 1 本と高密度であるが、アンカーネット工は緊張力を与えるため、 16m^2 に 1 本程度と極めて少ない。

そのため、敷設面積 144m^2 ($12\text{m}\times 12\text{m}$) における設置本数は、鉄筋挿入工の $1/6$ であり、経費的に安価となりやすい。

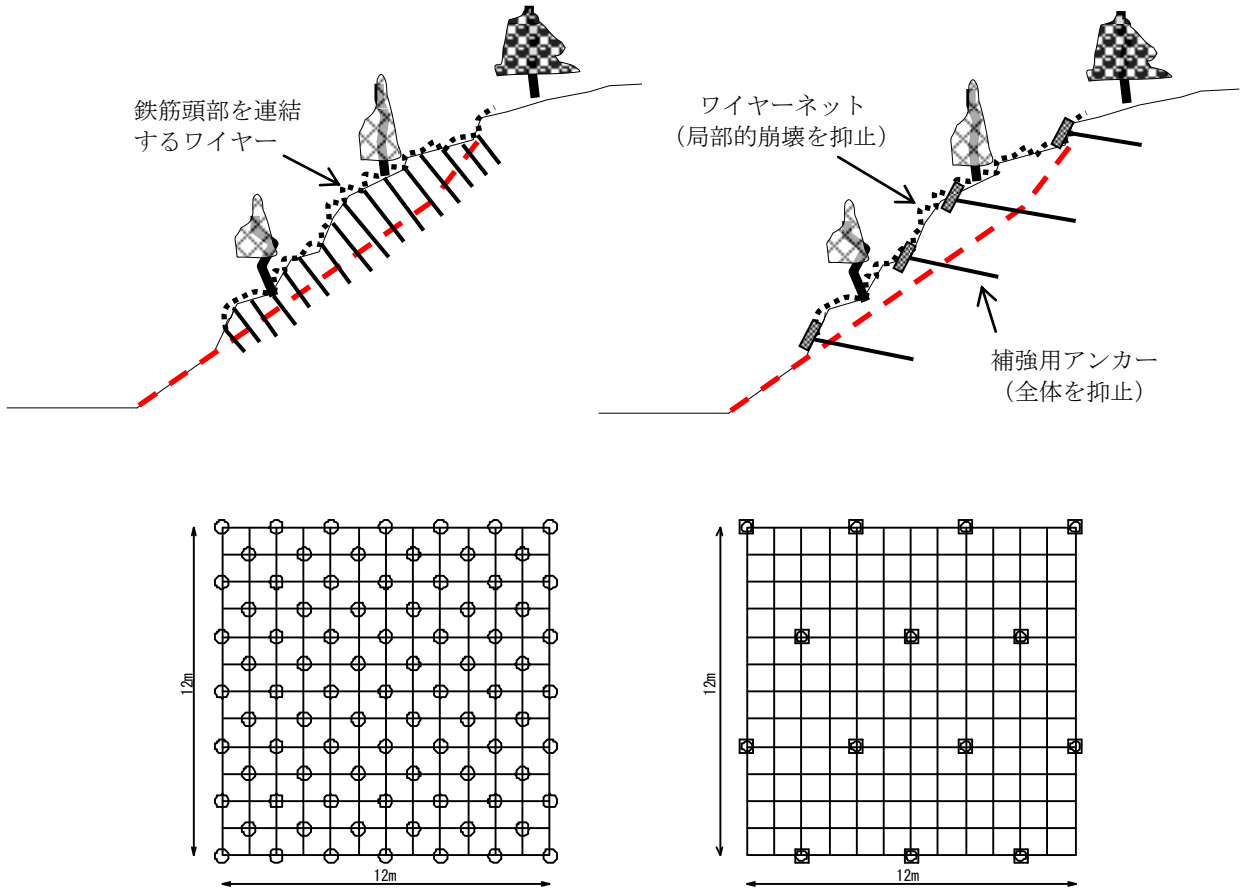


図-5.4.1 参鉄筋挿入工: 85 本 (0.59 本/ m^2)

図-参 5.4.2 アンカーネット工: 14 本 (0.10 本/ m^2)

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

落石の危険度判定は、対策の要否とともに優先順位をつけることにある。個人差をなくすことも重要であり、統一基準の設定が望まれるほか、落石対策技術の発展にも不可欠と考える。

参 6.1.1 危険度評価手法について

評価手法として、便覧 (p313) では道路防災点検要領による実施例を提示している。これは評価項目 (斜面高, 斜面勾配, オーバーハング状態の有無, 周辺地盤状況, 樹木の密度, 斜面の変状の有無, 既設対策工の変状の有無, 気象条件等) 毎に配点 (重み付け) を行った上で, その合計点により, 表-参 6.1.1 のようなランク付けを行うものである。評価対象は斜面単位であり, 概査に位置づけられている。

表-参 6.1.1 落石対策便覧による危険度ラ

| | |
|---|---------------------------|
| 危険度ランク(第一次判定) ○ランク A: 図-1 に示す落石調査表に基づく判定値が 90 点以上のもの ○ランク B: 同上, 50 点~89 点 ○ランク C: 同上, 49 点以下 | 大 ↑ (危険度) ↓ 小 |
|---|---------------------------|

同じ便覧に掲載されている, 高速道路調査会の落石危険度判定方法 (案) では, 当該斜面を 10m × 10m の格子ブロックに区切り, ブロック毎の評価手法を提案している。特に表-参 6.1.2 のような, 岩塊の安定度や落石エネルギー (被害規模に関連) を評価項目に採り入れており, 上記のものより実戦的である。問題点として

- 斜面をメッシュに区切る作業や, バックグラウンド的に安定した岩塊を含む調査のため (調査数量が大), 調査費が割高となりやすい。
- 危険領域を抽出するための概査であり, かつ集計された評価点は対策の要否を決定づける根拠として曖昧である。
- 例えば, 扁平な岩塊の危険度は低く設定されているが (表-参 6.1.3), 一旦回転運動に移行した場合, 球体のものより遠方まで転落することがあり, 単純に当てはめることはできない。

表-参 6.1.2 危険度判定の段階

| 区分 | 岩塊の安定状態 | | 安定係数 α |
|----|--|------------------------|---------------|
| | 転石 | 浮石 | |
| 1 | 岩塊が地山からほぼ完全に浮き上がった, 木の根にのっているもの (地上露出部分 100~90%) | 岩目が発達した極めて不安定な状態の岩塊 | 1.00 |
| 2 | 岩塊の下部の埋没が浅いもの (地上露出部分 90~70%) | 岩目がはっきりした不安定な状態の岩塊 | 0.75 |
| 3 | 岩塊の下部の埋没が比較的浅いもの (地上露出部分 70~50%) | 岩目があってやや不安定な状態の岩塊 | 0.50 |
| 4 | 岩塊の下部がほぼ埋没しているもの (地上露出部分 50~30%) | 岩目はあるが明確でないほぼ安定した状態の岩塊 | 0.25 |
| 5 | 岩塊が地山に埋没しているもの (地上露出部分 30%以下) | 岩目が未発達で安定した状態の岩塊 | 0 |

表-参 6.1.3 岩塊の形状による危険度判定

| 区分 | 岩塊の形状 |
|----|--------------------|
| 1 | 岩塊の形が球形または円筒形に近いもの |
| 2 | 1 と 3 の中間形状のもの |
| 3 | 岩塊の形が扁平で安定した形状のもの |

参 6.1.2 危険度評価の視点

やや扁平状の落石 ($\phi 1.5\text{m}$ 程度) が, $\phi 5\text{cm}$ 程度の灌木 (ヤブツバキ) に衝突後, 尾根筋に向かって高さ数メートル程かけ上がり, 隣の谷斜面に転落 (家屋を直撃) した例がある.

岩塊が落下した後の挙動は, およそ予測不能であり, 危険度評価は“発生の有無”を基本とすべきである.

実践的には, 現地の岩塊と向き合って, 多様な視点から危険性を評価する以外にない. 岩塊が変位する条件にあるとした場合, これに地震力を与えた時の転倒安全率で評価する方法を次項に提案する.

参 6.2 転倒計算による危険度判定方法(案)

参 6.2.1 リスク度 R

対策の必要性は, 岩塊の安定度 (主に転倒) と落下した場合の被害規模 (運動エネルギー) の二つが重要と考えられることから, これらを用いた定量的評価手法を検討する.

災害リスクと転倒安全率および落石運動エネルギーの関係は, 図-参 6.2.1 のように示され, 転倒安全率が小さく落石運動エネルギーが大きいほど危険度は高くなる. これを踏まえ, 落石災害のリスク度 R を式 (1) のように定義する.

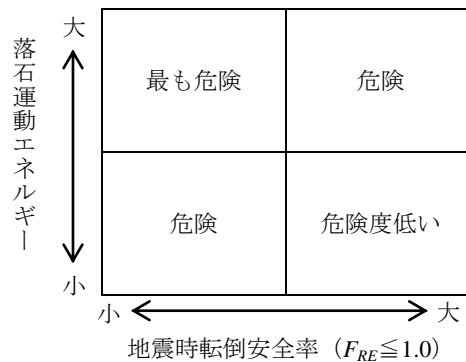


図-参 6.2.1 災害リスクと転倒安全率および落石運動エネルギーの関係

$$R = \log (\text{落石運動エネルギー } E / \text{地震時の転倒安全率 } F_{SE}) \quad (1)$$

式 (1) を用いれば, 対策は目標安全率に達しない岩塊を対象に, リスク度 R の高いものから実施することになり, 表-参 6.1.1 に示したような, 対策の必要性に対する曖昧さはなくなる.

参 6.2.2 リスク度 R と定性的評価方法の比較

個々の岩塊に対する危険度判定の実態として, 前章に示した評価点による, 斜面 (ブロック) 単位での判定手法が援用されているケースがあり, これとリスク度 R の比較を行う.

表-参 6.2.1 は, 落石調査結果の例であり, 各岩塊 (群) に対するリスク度 R (定量的評価) と表-参 6.1.1 に基づく危険度ランク (定性的評価) を示している.

両者は, 図-参 6.2.2 のようにおよそ相関関係を示すが, 評価の幅は, リスク度 R では最大値と最小値で約 4 倍の差があるのに対し, 評価点による判定では 1.5 倍程度と小さい. このように, 後者は, ブロック単位で評価するため共通点が多く, 自ずと評価点も類似しやすい.

表-参 6.2.2, 参 6.2.3 は, それぞれの評価手法による対策の優先順位を示すものであり, リスク度 R による方法 (表-参 6.2.2, 地震時転倒安全率が “ $F_{SE} \geq 1.0$ ” のものを除去) では, 岩塊の安全率が極端に低いものや, 落石運動エネルギーの大きなものが上位にランクされ, 現場 (視覚) で感ずる危険性を比較的反映する傾向にある.

以上のように, リスク度 R をベースにした方が合理的であり, 現場実態に即している.

表-参 6.2.1 落石調査結果

| ブロックNo | 分布形態 | 代表的石の 等価径(m) | 落石運動 エネルギー E (kJ) | 地震時転 倒安全率 F_{RE} | リスク度 $R = \log$ (E/F_{SE}) | 危険度 判定点数 |
|--------|--------|-----------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------|
| 1 | 浮石群 | 0.9 | 272 | 0.62 | 2.6 | 110 |
| 2 | 浮石～転石群 | 1.0 | 368 | 0.46 | 2.9 | 115 |
| 3 | 浮石群 | 0.7 | 140 | 0.46 | 2.5 | 115 |
| 4 | 浮石群 | 0.6 | 66 | 0.42 | 2.2 | 88 |
| 5 | 浮石群 | 1.6 | 1,574 | 0.83 | 3.3 | 103 |
| 6 | 浮石単体 | 0.9 | 280 | 0.37 | 2.9 | 88 |
| 7 | 浮石群 | 0.6 | 96 | 1.22 | 1.9 | 88 |
| 8 | 浮石群 | 1.1 | 537 | 0.86 | 2.8 | 88 |
| 9 | 転石単体 | 0.7 | 132 | 1.22 | 2.0 | 88 |
| 10 | 浮石群 | 1.6 | 1,633 | 0.36 | 3.7 | 88 |
| 11 | 浮石群 | 0.4 | 29 | 0.77 | 1.6 | 108 |
| 12 | 転石群 | 0.6 | 88 | 1.22 | 1.9 | 88 |
| 13 | 転石単体 | 0.6 | 96 | 0.30 | 2.5 | 94 |
| 14 | 転石群 | 0.5 | 37 | 0.49 | 1.9 | 88 |
| 15 | 浮石群 | 0.5 | 59 | 0.32 | 2.3 | 93 |
| 16 | 転石群 | 0.5 | 51 | 0.29 | 2.3 | 108 |
| 17 | 転石単体 | 0.5 | 56 | 0.40 | 2.1 | 88 |
| 18 | 浮石単体 | 0.4 | 22 | 0.44 | 1.7 | 83 |
| 19 | 転石単体 | 0.5 | 37 | 0.05 | 2.9 | 99 |
| 20 | 転石単体 | 0.4 | 29 | 1.40 | 1.3 | 83 |
| 21 | 浮石単体 | 0.4 | 29 | 0.21 | 2.1 | 94 |
| 22 | 転石単体 | 0.4 | 22 | 0.17 | 2.1 | 94 |
| 23 | 浮石群 | 1.1 | 382 | 0.09 | 3.7 | 90 |
| 24 | 浮石群 | 0.9 | 217 | 0.82 | 2.4 | 85 |
| 25 | 浮石単体 | 1.1 | 253 | 1.15 | 2.3 | 85 |
| 26 | 浮石群 | 0.7 | 108 | 0.53 | 2.3 | 105 |
| 27 | 転石単体 | 0.6 | 20 | 2.81 | 0.9 | 77 |
| 28 | 転石群 | 0.6 | 16 | 0.88 | 1.3 | 77 |

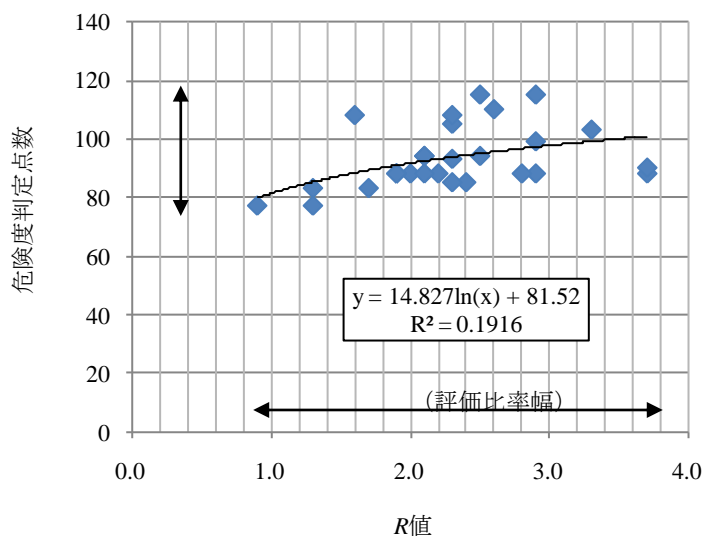


図-参 6.2.2 リスク度 R と危険度判定点数の関係

表-参 6.2.2 リスク度 R による優先順位

| 優先順位 | ブロック No | 落石運動エネルギー E (kJ) | 地震時転倒安全率 F_{SE} | リスク度 $R = \log(E/F_{SE})$ |
|------|---------|------------------|-------------------|---------------------------|
| 1 | 23 | 382 | 0.09 | 3.7 |
| 2 | 10 | 1,633 | 0.36 | 3.7 |
| 3 | 5 | 1,574 | 0.83 | 3.3 |
| 4 | 19 | 37 | 0.05 | 2.9 |
| 5 | 6 | 280 | 0.37 | 2.9 |
| 6 | 2 | 368 | 0.46 | 2.9 |
| 7 | 8 | 537 | 0.86 | 2.8 |
| 8 | 1 | 272 | 0.62 | 2.6 |
| 9 | 13 | 96 | 0.30 | 2.5 |
| 10 | 3 | 140 | 0.46 | 2.5 |
| 11 | 24 | 217 | 0.82 | 2.4 |
| 12 | 16 | 51 | 0.29 | 2.3 |
| 13 | 15 | 59 | 0.32 | 2.3 |
| 14 | 26 | 108 | 0.53 | 2.3 |
| 15 | 4 | 66 | 0.42 | 2.2 |
| 16 | 22 | 22 | 0.17 | 2.1 |
| 17 | 21 | 29 | 0.21 | 2.1 |
| 18 | 17 | 56 | 0.40 | 2.1 |
| 19 | 14 | 37 | 0.49 | 1.9 |
| 20 | 18 | 22 | 0.44 | 1.7 |
| 21 | 11 | 29 | 0.77 | 1.6 |
| 22 | 28 | 16 | 0.88 | 1.3 |

※ “ $F_{SE} \geq 1.0$ ” のものを除去

表-参 6.2.3 危険度判定点数による優先順位

| 優先順位 | ブロック No | 落石運動エネルギー E (kJ) | 危険度判定点数 |
|------|-----------|------------------|-----------|
| 1 | 2 | 368 | 115 |
| 2 | 3 | 140 | 115 |
| 3 | 1 | 272 | 110 |
| 4 | 16 | 51 | 108 |
| 5 | 11 | 29 | 108 |
| 6 | 26 | 108 | 105 |
| 7 | 5 | 1,574 | 103 |
| 8 | 19 | 37 | 99 |
| 9 | 13 | 96 | 94 |
| 10 | 21 | 29 | 94 |
| 11 | 22 | 22 | 94 |
| 12 | 15 | 59 | 93 |
| 13 | 23 | 382 | 90 |
| 14 | 10 | 1,633 | 88 |
| 15 | 8 | 537 | 88 |
| 16 | 6 | 280 | 88 |
| 17 | 9 | 132 | 88 |
| 18 | 7 | 96 | 88 |
| 19 | 12 | 88 | 88 |
| 20 | 4 | 66 | 88 |
| 21 | 17 | 56 | 88 |
| 22 | 14 | 37 | 88 |
| 23 | 25 | 253 | 85 |
| 24 | 24 | 217 | 85 |
| 25 | 20 | 29 | 83 |
| 26 | 18 | 22 | 83 |
| 27 | 27 | 20 | 77 |
| 28 | 28 | 16 | 77 |

太字のものは地震時の転倒安全率が “ $F_{SE} \geq 1.0$ ”

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)

| 工 種 | | 資料 1 | 資料 2 | 資料 3 | 資料 4 | 資料 5 | 資料 6 |
|-------------------|--------------|----------------|---------------------|-----------|--------------------|-------------|------------------|
| ロープ 掛工 | F_p (平常時) | 2.0 (滑動:計算式より) | | | 2.0 (滑動:計算式より) | | — |
| | F_p (地震時) | 水平力のみ負担 | | | 水平力のみ負担 | | 1.2 (滑動,転倒) |
| | ロープ安全率 f_R | 2 | | | 2 | | 3 |
| | 摩擦係数 μ | — | | | — | | 0.466 (任意) |
| | 水平震度 k_h | 0.14 | | | 0.12 | | 0.12 |
| ワイヤー ロープ 伏工 | F_p (平常時) | | | | | 1.0 (計算式より) | — |
| | F_p (地震時) | | | | | — | 1.0 (計算式より) |
| | ロープ安全率 f_R | | | | | 3 | 3 |
| | 摩擦係数 μ | | | | | 0.5 (一定) | 0.577 (任意) |
| | 水平震度 k_h | | | | | — | 0.12 |
| 覆式落石 防護網工 | F_p (平常時) | 1.0 (滑動) | 1.0 (滑動) | | 1.0 (滑動) | | |
| | ロープ安全率 f_R | 2 | 2 | | 2 | | |
| | 摩擦係数 μ | 0.5 | 0.5 | | 0.5 | | |
| ロック ボルト工 | F_p (平常時) | 1.2 (滑動) | 2.0 (滑動, 転倒) | | $F_p=1.2$ (滑動) | | |
| | F_p (地震時) | — | 1.0 (滑動, 転倒) | | — | | |
| | 摩擦係数 μ | 0.839 (任意) | $F_s=1.0^*$ となる値を逆算 | | 0.700 (任意) | | |
| | 抑止機能 | 締付, 引止 | 締付 | | 引止 | | |
| | 水平震度 k_h | — | 0.15 | | — | | |
| 接着 固定工 | F_p (平常時) | | | 1.5 (滑動) | — | | 接着材の応力度による 検討 |
| | F_p (地震時) | | | — | 1.2 (滑動), 2.0 (転倒) | | |
| | 摩擦係数 μ | | | 0.84 (任意) | 0.700 (任意) | | |
| | 水平震度 k_h | | | — | 0.3 | | |
| 根固工 | F_p (平常時) | | | | $F_p=2.0$ (滑動) | | (常時は安全とする) |
| | F_p (地震時) | | | | $F_p=1.2$ (滑動・転倒) | | 1.2 (滑動・転倒) |
| | 摩擦係数 μ | | | | — | | 0.6 (任意) |
| | 水平震度 k_h | | | | 0.3 | | 0.12 |

(※ F_s 現状安全)

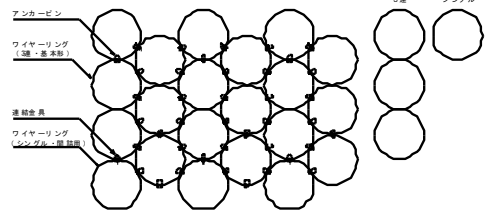
- 資料 1) 社団法人日本道路協会：落石対策便覧，2000.
 資料 2) 財団法人鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，1999.
 資料 3) 林野庁治山課：流木・落石防止対策，1986.
 資料 4) 勘田益男：落石対策設計マニュアル，理工図書，2007.
 資料 5) CCM 協会：ロープネット工.
 資料 6) 公益社団法人地盤工学会：落石対策工の設計法と計算例，2014.

ワイヤーネット被覆工法 標準構造図

ワイヤーロープ



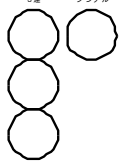
ワイヤーネット標準構造図



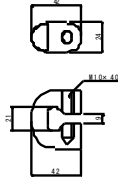
標準敷設数量表 (1㎡あたり)

| 材料 | 規格 | 単位 | 規格 | 単位 |
|---------|--------------|----|------|----------|
| ワイヤーリング | SUS304 | 個 | φ55 | φ70 |
| 連結金具 | FOM31φ 垂れめっき | 個 | φ43 | φ21 |
| ワイヤーリング | FOM50 垂れめっき | 個 | 2.3φ | n (リング数) |
| アンカーピン | FOM50 垂れめっき | 個 | | 1.00 |

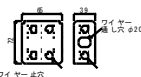
ワイヤーリングユニット



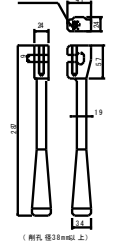
連結金具 詳細図



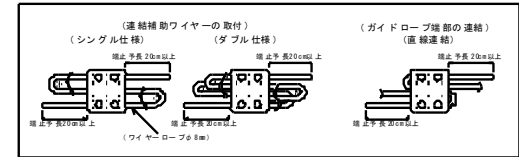
(端止具構造図)



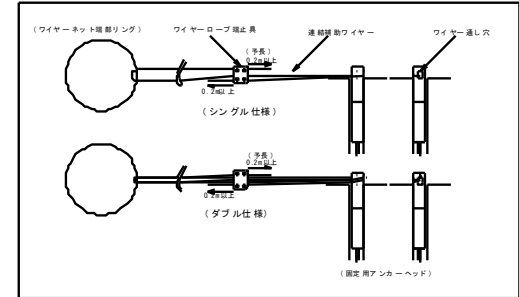
アンカーピン 詳細図



ワイヤーロープ端止具 取付図



連結補助ワイヤー取付図



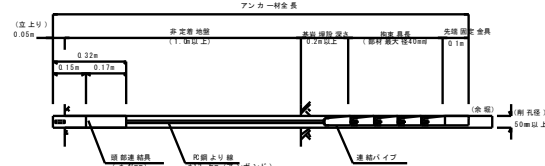
固定用アンカー詳細図

(ショートアンカー: SA600, SA1300, SA2100)



| 型式 | 代表長 (m) | 吊孔径 (mm) | 吊孔間隔 (mm) | 吊钩埋込深さ (mm) |
|--------|---------|----------|-----------|-------------|
| SA600 | 0.65 | φ50以上 | 0.1 | 0.12 |
| SA1300 | 1.3 | φ50以上 | 0.1 | 0.15 |
| SA2100 | 2.1 | φ50以上 | 0.1 | 0.2 |

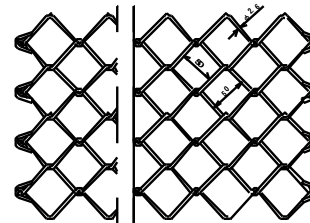
(深層アンカー: F40-20型, F40-40型)



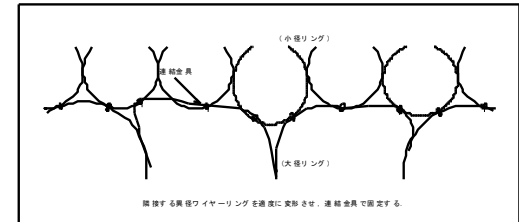
| 型式 | 吊孔長 (m) | 吊孔径 (mm) | 定着長 (くきび式) (mm) | 吊钩埋込深さ (mm) | ランドン長 (m) |
|---------|---------|----------|-----------------|-------------|-----------|
| F40-20型 | 1.5 | φ50以上 | 0.2 | 0.2以上 | 1.55 |
| F40-40型 | 1.7 | φ50以上 | 0.2 | 0.2以上 | 1.8 |

金網 (7 GS3)

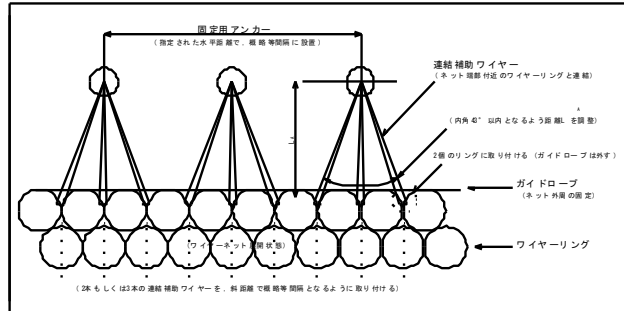
2.6φ x 50x 50 (1.5 x 4.5mm)



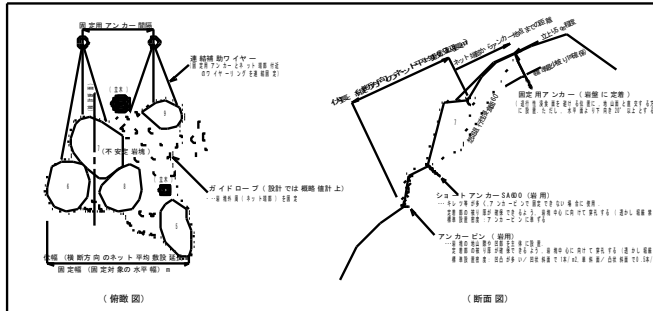
異径ワイヤーリング連結図



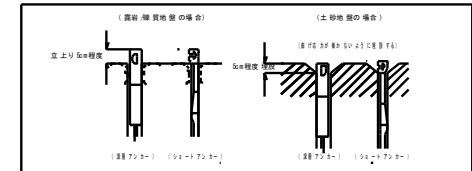
連結補助ワイヤー標準取付図



標準施工図

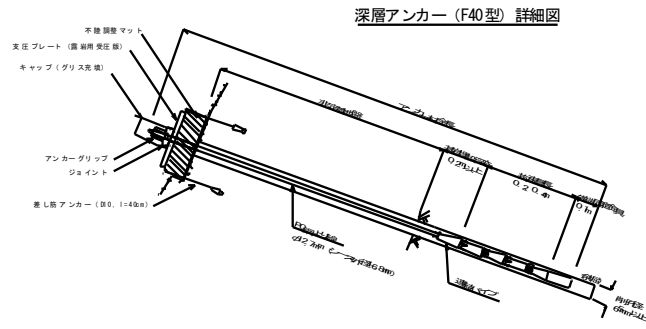


固定用アンカー頭部埋設図



| | |
|--------|-------------------|
| 工事名 | |
| 種別・河川等 | |
| 施工箇所名 | |
| 図面の種類 | ワイヤーネット被覆工法 標準構造図 |
| 縮尺 | 図面縮号 |
| 会社名 | |
| 事務所名 | |

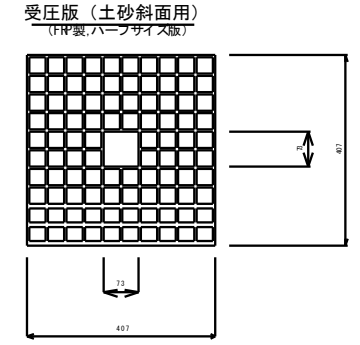
補強用アンカー標準構造図 (土砂斜面 & 露岩斜面)



深層アンカー数量表 (1本あたり)

| 材 料 | 規 格 | 単位 | 数 量 |
|-----------------|---------------------------------|--------|----------|
| フロン | 円錐形線径φ7mm×1本 | m | 1 |
| 不陸調整マット | φ12.3mm×1本用 | 組 | 1 |
| 特殊具 | くさび式 | m | 0.2, 0.4 |
| 調整パイプ | | 組 | 1 |
| ジョイント | 深部付き | 個 | 1 |
| アンカーグリップ | くさび付き | 組 | 1 |
| アルミキャップ | | 個 | 1 |
| 支圧版 | D. 2×0.25×0.02m P=120KN | 枚 | 1 |
| (土砂斜面用) 不陸調整マット | FRP: 0.407×0.407×0.04m; R=120KN | 枚 | 1 |
| (露岩斜面用) 不陸調整マット | 0.650.65m (折入編) | 枚 | 1 |
| 型枠 (鉄筋) | (4×4×D)×R=1.3 | 72 | 0.3 |
| マウントブラケット | D: 180.2×40.1×m=1.92m | 式 | 1 |
| ジョイント | D: 150cm (受圧版用) 取付無し | 本 | 4 |
| 調整パイプ | D. 2×0.25×0.02m | (受圧版用) | |
| 調整パイプ | 0.450.45m (折入編) | 枚 | 1 |
| 不陸調整マット | 0.29×0.29m R=1.3 | 72 | 0.2 |
| マウントブラケット | D: 180.2×40.1×m=3.2m | 式 | 1 |
| ジョイント | 取付無し | | |
| 調整パイプ | D: 0.1×0.0m (調整用無し) 取付無し | 本 | 4 |

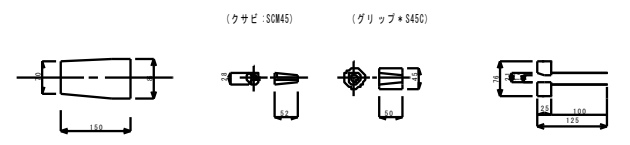
※フロンは、より調整具間については調整具間隔に於いて長さ調整する。



アルミキャップ (ALC)

アンカーグリップ (垂鉛メッキ)

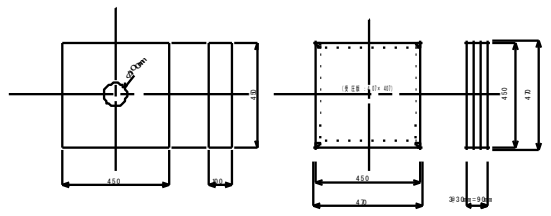
ジョイント (SS400)
(垂鉛メッキ)



(受圧版用)

型枠 (鉄筋D6)

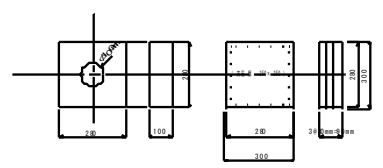
不陸調整マット
(受圧版用)



(支圧版単独用)

不陸調整マット

型枠 (鉄筋D6)
(不陸調整マット受圧版用)

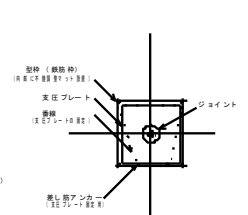
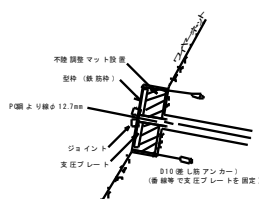
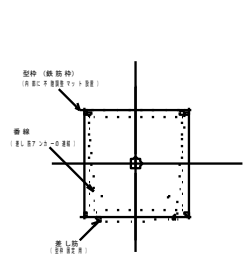
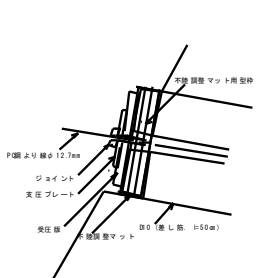
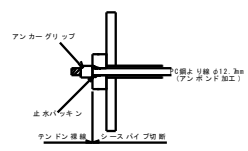
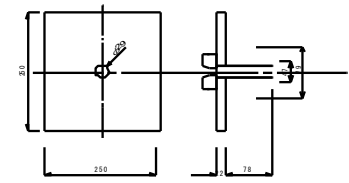


支圧版 (SS400)
(垂鉛メッキ, 120KN)

止水加工

不陸調整マット取り付け図 (土砂斜面: 受圧版タイプ)

不陸調整マット取り付け図 (露岩斜面: 支圧版単独)



| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
| 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2.0 | 2.25 | 2.5 |
| 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.8 | 2.1 | 2.4 | 2.7 | 3.0 |
| 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 3.6 | 4.0 |
| 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
| 0.6 | 1.2 | 1.8 | 2.4 | 3.0 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.4 | 6.0 |
| 0.8 | 1.6 | 2.4 | 3.2 | 4.0 | 4.8 | 5.6 | 6.4 | 7.2 | 8.0 |
| 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 |
| 1.2 | 2.4 | 3.6 | 4.8 | 6.0 | 7.2 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12.0 |
| 1.5 | 3.0 | 4.5 | 6.0 | 7.5 | 9.0 | 10.5 | 12.0 | 13.5 | 15.0 |
| 2.0 | 4.0 | 6.0 | 8.0 | 10.0 | 12.0 | 14.0 | 16.0 | 18.0 | 20.0 |
| 2.5 | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 12.5 | 15.0 | 17.5 | 20.0 | 22.5 | 25.0 |
| 3.0 | 6.0 | 9.0 | 12.0 | 15.0 | 18.0 | 21.0 | 24.0 | 27.0 | 30.0 |
| 4.0 | 8.0 | 12.0 | 16.0 | 20.0 | 24.0 | 28.0 | 32.0 | 36.0 | 40.0 |
| 5.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 25.0 | 30.0 | 35.0 | 40.0 | 45.0 | 50.0 |
| 6.0 | 12.0 | 18.0 | 24.0 | 30.0 | 36.0 | 42.0 | 48.0 | 54.0 | 60.0 |
| 8.0 | 16.0 | 24.0 | 32.0 | 40.0 | 48.0 | 56.0 | 64.0 | 72.0 | 80.0 |
| 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 90.0 | 100.0 |

(執筆者)

瀬崎 茂 株式会社斜面对策研究所（技術士：森林部門，総合技術監理部門）

(参考文献)

- 1) 社団法人 日本道路協会：落石対策便覧，2010.1.
- 2) 財団法人 鉄道総合技術研究所：落石対策技術マニュアル，1999.3.
- 3) 財団法人 道路厚生会（日本道路公団監修）：切土補強土工法設計・施工指針，2002.7.
- 4) 浜野浩幹・瀬崎茂：くさび型アンカー工法，理工図書，2006.5.
- 5) 公益社団法人 地盤工学会：落石対策工の設計方法と計算例，2014.
- 6) 瀬崎茂・浜野浩幹・平島健一：新しい支圧型アンカーの提案とその支持機構，地盤工学会論文報告集，2004.10.

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

—設計・施工マニュアル—

2011年 5月 初版発行
2011年 7月 改訂第2版第1刷発行
2012年 9月 改訂第3版第1刷発行
2015年 10月 改訂第4版
2016年 6月 改訂第5版第1刷発行
2018年 4月 改訂第6版第1刷発行

編集・発行 斜面对策研究協会
事務局 三重県津市藤方 2254 番地 1
アルコ株式会社内
TEL. (059) 213-8811 FAX. (059) 213-8880

