

ロープネット・ロックボルト併用工法  
設計・施工指針（案）

令和3年4月

兵庫県 農政環境部 農林水産局 治山課

## 改定にあたって

平成7年1月17日に発生した阪神・淡路大震災は、家屋の崩壊等により多数の尊い命が奪われ、また、六甲山系においても600箇所近い山崩れや落石被害が発生しました。

本県ではこの大震災を契機に、地震に強い治山工法の開発・推進を図るため、平成9年度から平成19年度に実施された林野庁の補助事業である「森林土木効率化等技術開発モデル事業」で、ロープネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針(案)(以降、本指針(案)と呼ぶ)が策定され、現在まで、数多くの箇所に適用されております。

平成16年3月に策定した本指針(案)の初版では、六甲山系のマサ土(砂質)からなる単層構造の地質に対してのみ、その適用性と効果を確認していましたが、平成19年3月改定版では、粘性を持つ二層構造の地質に対する対策工の適用性、ならびに長周期地震動の影響についてその効果を確認し、多様な地層への適用も可能となりました。また、平成26年6月改定版では、本指針(案)策定時には、実績も少なく知見が乏しかった維持管理について、モニタリング計測や点検の方法の検討を行い、その成果を本指針(案)に取り入れています。

近年、平成23年に発生した東北地方太平洋沖地震をはじめとして、平成28年熊本地震、平成30年北海道胆振東部地震など、日本国内で大規模な地震が頻発しています。兵庫県の地域防災計画では、平成23年の東北地方太平洋沖地震後、最新の知見に基づいた内容に変更されました。今回の本指針(案)改定は、兵庫県地域防災計画で変更された想定地震とその規模についての再検討を行うとともに、これまでの施工実績及び知見の蓄積、ならびに本工法に対応した製品の追加に伴って、施工管理方法の見直しを行った結果を反映しています。

本対策工は、地震時における設計法を取り入れた新しい治山工法の一つとして、地震等による土砂災害の軽減を目的としています。コンクリート法枠・アンカー併用工に比べて安価であり、また、樹木の伐採を少なく施工できることから、斜面の安定性向上とともに、植生のある自然斜面において森林が保全できる等、「環境保護」および「景観の保全」にも配慮できる点が特徴です。また、過去に本対策工が施工された斜面では、度重なる豪雨を経験したにもかかわらず、安定している事例が多く、豪雨に対する斜面对策としても一定の効果を確認できています。

阪神・淡路大震災を経験し、本工法の開発に取り組んだ本県としては、最新の知見に基づいた本対策工が普及し、全国各地で発生する地震や豪雨等による土砂災害の軽減に役立てば幸いです。今後も本工法の効果検証を継続し、最新の知見に基づいて本指針(案)の見直しを行うことで、地震に対する有効な対策工法として全国に広く認められ、「本指針(案)」が「指針」として確立できるよう研究を重ねていく所存です。

終わりに、本指針(案)を改定するにあたり、大変貴重なご意見を賜った沖村孝神戸大学名誉教授をはじめとするロープネット・ロックボルト併用工法研究会の皆様や、ご協力いただいた関係者の方々に改めてお礼申し上げます。

令和3年3月

兵庫県農政環境部農林水産局治山課長

治山工法開発推進アドバイザー名簿

(敬称略、順不同、所属、役職はアドバイザー在職中の最終年度で記載)

氏名	所属	役職	備考
沖村 孝	神戸大学 都市安全研究センター	教授	委員長 平成9年度～平成18年度
田中 泰雄	神戸大学 都市安全研究センター	教授	平成9年度～平成15年度
後藤 洋三	防災科学技術研究所 地震防災フロンティア研究センター川崎ラボラトリー	所長	平成9年度～平成18年度
大町 達夫	東京工業大学 大学院総合理工学研究科	教授	平成9年度～平成13年度
松浦 純生	独立行政法人 森林総合研究所 水土保持研究領域災害危険地判定チーム	領域長	平成9年度～平成18年度
菅野 高弘	独立行政法人 港湾空港技術研究所 構造部 構造振動研究室	室長	平成11年度～平成18年度
楠見 晴重	関西大学 工学部都市環境工学科	教授	平成13年度～平成18年度
北原 曜	信州大学 農学部森林科学科	教授	平成16年度～平成18年度
渡辺 克之	兵庫県農林水産部農林水産局治山課	課長	平成9年度～平成10年度
井ノ上 章			平成11年度～平成12年度
打浪 久淳			平成13年度～平成14年度
元井 賢一			平成15年度～平成16年度
西川 貢			平成17年度～平成18年度

事務局：株式会社ダイヤコンサルタント

検討課題の一部は、独立行政法人港湾空港技術研究所との共同研究として実施した。

治山工法開発推進アドバイザー会議議題

名 称	開催日	開催場所	議 題
平成9年度	第1回	平成9年07月31日	兵庫県公社館 1.森林土木効率化等技術開発モデル事業について 2.治山工法の開発について
	第2回	平成9年10月20日	ひょうご女性交流館 1.現場視察時の報告について 2.各地区の調査と解析について 3.振動台実験について
	第3回	平成9年12月24日	ひょうご女性交流館 1.各地区の調査と解析について 2.遠心載荷実験について
	第4回	平成10年03月30日	兵庫県農業共済会館 1.調査と解析について 2.振動台実験について 3.平成10年度事業計画について
平成10年度	第1回	平成10年08月12日	ひょうご女性交流館 1.振動台実験について
	第2回	平成10年12月14日	兵庫県職員会館 1.小型振動台実験について 2.大型振動台実験について
	第3回	平成11年05月06日	兵庫県公社館 1.平成10年度振動台実験結果報告について
平成11年度	第1回	平成11年08月06日	兵庫県公社館 1.平成10年度振動台実験結果報告について 2.平成11年度振動台実験計画(案)について
	第2回	平成11年11月19日	運輸省港湾技術研究所 1.今までの実験結果および進捗状況報告について
	第3回	平成12年05月11日	兵庫県公社館 1.平成11年度振動台実験結果報告について
平成12年度	第1回	平成12年09月06日	兵庫県公社館 1.平成12年度振動台実験計画(案)について 2.設計指針の作成について
	第2回	平成12年10月17日	運輸省港湾技術研究所 1.平成12年度振動台実験について
	第3回	平成12年12月25日	兵庫県職員会館 1.平成12年度振動台実験結果報告について 2.平成12年度施工計画について 3.ローネットとロックボルト併用による自然斜面の安定工法に関する研究について
	第4回	平成13年03月22日	兵庫県職員会館 1.平成12年度振動台実験結果報告について 2.動的解析について 3.設計指針(案)の作成について 4.平成13年度事業計画について
平成13年度	第1回	平成13年06月26日	兵庫県中央労働センター 1.平成13年度事業計画について 2.平成12年度設計手法の検討事項について 3.平成13年度耐震設計手法の検討について 4.モデル施工現場におけるモニタリングについて 5.平成12年度振動台実験結果報告について
	第2回	平成13年10月09日	兵庫県中央労働センター 1.13年度耐震設計手法の検討報告について 2.高倉山現場斜面の解析検討について 3.モデル施工現場におけるモニタリング状況報告について 4.14年度の方向性について
	第3回	平成13年12月25日	兵庫県中央労働センター 1.13年度耐震設計手法の検討(1)について 2.13年度耐震設計手法の検討(2)について 3.モデル施工現場におけるモニタリング状況報告について
	第4回	平成14年03月22日	兵庫県中央労働センター 1.耐震対策工法設計のとりまとめについて 2.14年度の方向性について
平成14年度	第1回	平成14年07月30日	兵庫県中央労働センター 1.設計震度と設計安全率について 2.予行実験結果について 3.振動台実験計画および降雨に対する検討の全体計画について 4.モデル施工現場におけるモニタリング経過報告について
	第2回	平成14年10月16日	独立行政法人 港湾空港技術研究所 1.平成14年度第1回振動台実験結果について 2.平成14年度第2回振動台実験結果について 3.平成14年度第3回振動台実験について
	第3回	平成14年12月25日	兵庫県中央労働センター 1.平成14年度振動台実験結果報告について 2.高倉山モニタリングおよび浸透能試験結果について 3.平成15年度計画について
	第4回	平成15年03月25日	兵庫県中央労働センター 1.モデル事業全体の流れ及び15年度計画について 2.15年度計画について
平成15年度	第1回	平成15年06月24日	兵庫県中央労働センター 1.平成14年度振動台実験について 2.地形効果震度法について 3.室内土質試験について 4.モニタリング経過報告について
	第2回	平成15年10月02日	兵庫県中央労働センター 1.ローネット・ロックボルト併用工法指針(案)計画編について 2.ローネット・ロックボルト併用工法指針(案)設計編について
	第3回	平成15年12月25日	兵庫県中央労働センター 1.ローネット・ロックボルト併用工法指針(案)計画～常時設計フローについて 2.ローネット・ロックボルト併用工法指針(案)耐震設計フローについて
	第4回	平成16年03月16日	兵庫県中央労働センター 1.ローネット・ロックボルト併用工法設計・施工指針(案)について
平成16年度	第1回	平成16年07月13日	兵庫県姫路総合庁舎 (福利センター大会議室A) 1.モデル地区見学会 2.山崎層帯における今後の計画概要について 3.モデル施工現場説明と調査計画(山崎層付近)について
	第2回	平成16年10月01日	兵庫県中央労働センター 1.崩壊事例調査について 2.モデル施工現場調査結果について 3.モニタリング経過報告について
	第3回	平成16年12月22日	兵庫県中央労働センター 1.崩壊事例調査について 2.モデル施工現場を対象とした数値解析結果について 3.次年度振動台実験計画について
	第4回	平成17年03月17日	兵庫県中央労働センター 1.崩壊事例調査について 2.地震時の崩壊形態について 3.来年度振動台実験のための予行実験について
平成17年度	第1回	平成17年07月01日	兵庫県中央労働センター 1.平成16年度の調査・解析について 2.予行実験結果について 3.振動台実験計画について
	第2回	平成17年10月26日	独立行政法人 港湾空港技術研究所 1.第1回振動台実験と今後の予定について 2.対策工効果確認実験(予備実験)の結果と今後の計画について
	第3回	平成17年12月27日	兵庫県中央労働センター 1.平成17年度振動台実験結果報告について 2.振動台実験の数値解析・安定解析検討結果報告について 3.土質の違いによる補強効果への影響について 4.対策工効果確認実験について
	第4回	平成18年03月14日	兵庫県中央労働センター 1.課題の整理と検討の概要について 2.変形量推定方法の適用性について 3.常時の設計法に対する新たな考え方の検討について
平成18年度	第1回	平成18年06月19日	兵庫県中央労働センター 1.変形予測式の検討について 2.常時の対策工効果の検討について 3.土質条件の検討について
	第2回	平成18年09月25日	兵庫県中央労働センター 1.振動台実験報告について 2.設計手法について
	第3回	平成18年12月26日	兵庫県中央労働センター 1.常時設計について 2.耐震設計範囲について 3.地震時の危険箇所の特長について 4.地震時の変形量について 5.維持管理について
	第4回	平成19年3月14日	兵庫県中央労働センター 1.地震時の変形量について 2.設計施工指針(案)について 3.設計プログラムの紹介

ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 設計手法普及部会メンバー名簿  
 (敬称略、順不同、所属は設計手法普及部会会議時で記載)

氏名	所属	備考
阿部真也	神鋼建材工業株式会社	
荒木繁幸	株式会社ダイヤコンサルタント	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 幹事長 設計手法普及部会 部会長
沖村孝	一般財団法人建設工学研究所	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 会長 神戸大学名誉教授
鏡原聖史	株式会社ダイヤコンサルタント	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 幹事
川上博行	株式会社ダイカ	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 幹事
小林勇希	東京製綱株式会社	
杉井良平	ライト工業株式会社	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 幹事
田中秀幸	ヒロセ補強土株式会社	
寺岡克己	株式会社ダイカ	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 技術部会長
西原玲二	株式会社ダイヤコンサルタント	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 副会長
波戸元達之	神鋼建材工業株式会社	
林孝治	日鉄建材株式会社	
宮田浩志郎	明治コンサルタント株式会社	
村上恭通	国土防災技術株式会社	ロープネット・ロックボルト併用工法研究会 幹事

1. 総則	1
1. 1 定義	1
1. 2 適用	1
1. 2. 1 表層崩壊	2
1. 2. 2 対策工の適用条件	5
1. 3 工法の概要	6
1. 4 用語の定義	8
1. 5 記号の定義	10
1. 6 全体の流れ	11
2. 計画	12
2. 1 概説	12
2. 2 机上検討	12
2. 2. 1 危険地区の評価	13
2. 2. 2 現地状況の机上検討	13
2. 2. 3 検討結果の整理	14
3. 調査	16
3. 1 概説	16
3. 2 現地踏査	16
3. 2. 1 現地踏査の実施	17
3. 2. 2 対策工の適用性判定	22
3. 2. 3 一次調査計画の策定	23
3. 3 一次調査	24
3. 3. 1 地形測量（平面測量）	25
3. 3. 2 簡易貫入試験（一次調査）	25
3. 3. 3 潜在崩土層厚分布の把握	25
3. 3. 4 測線の設定	26
3. 4 二次調査	27
3. 4. 1 地形測量（縦断測量）	27
3. 4. 2 簡易貫入試験（二次調査）	27
3. 4. 3 地盤断面図の作成	27
3. 4. 4 対策工の適用性の判定	27
3. 4. 5 機械ボーリング、標準貫入試験および PS 検層	28
3. 4. 6 地盤定数設定のための詳細調査	28
3. 4. 7 地盤断面図の追記	32
3. 4. 8 地盤定数の評価	32
3. 4. 9 原位置引抜き試験	32
4. 設計	33
4. 1 概説	33
4. 2 常時設計	34
4. 2. 1 地盤定数の設定（常時）	35
4. 2. 2 危険箇所の特定（常時）	35
4. 2. 3 安全率 1.0 となる地盤定数(粘着力)	38
4. 2. 4 計画安全率を満たす必要抑止力	39
4. 2. 5 対策工の配置計画（常時）	40

4. 2. 6 対策工を考慮した安全率 .....	41
4. 2. 7 対策工の適用性の判定 .....	43
4. 3 地震時設計 .....	44
4. 3. 1 対象地区から活断層までの距離 .....	46
4. 3. 2 地震時設計の必要性判断 .....	46
4. 3. 3 想定地震とその規模の調査 .....	47
4. 3. 4 設計水平震度の設定 .....	48
4. 3. 5 地盤定数の設定（地震時） .....	48
4. 3. 6 危険箇所の特定（地震時） .....	49
4. 3. 7 対策工の配置計画（地震時） .....	51
4. 3. 8 地層構造の判定 .....	52
4. 3. 9 地震時の変形量（単層構造） .....	53
4. 3. 10 地震時の変形量（二層構造） .....	55
4. 3. 11 局所破壊時の必要耐力 .....	57
4. 3. 12 判定基準 .....	59
4. 3. 13 補助工法の選定 .....	61
5. 施工 .....	62
5. 1 施工計画 .....	62
5. 2 工種 .....	63
5. 2. 1 準備 .....	64
5. 2. 2 起工測量 .....	64
5. 2. 3 仮設および資材搬入 .....	64
5. 2. 4 法面清掃 .....	64
5. 2. 5 マーキング .....	64
5. 2. 6 ロープネット敷設 .....	65
5. 2. 7 削孔 .....	65
5. 2. 8 注入 .....	65
5. 2. 9 ロックボルト挿入 .....	65
5. 2. 10 確認試験 .....	65
5. 2. 11 頭部処理 .....	65
5. 3 施工管理 .....	66
6. 維持管理 .....	71
6. 1 概説 .....	71
6. 2 点検調査 .....	72
6. 2. 1 点検 .....	73
6. 2. 2 詳細点検 .....	74
6. 3 詳細調査 .....	75
6. 4 補強・補修 .....	75

## 1. 総則

### 1. 1 定義

設計・施工指針（以下、指針とする）は、ロープネット・ロックボルト併用工法（以下、対策工とする）を実際に適用する際の計画、調査、設計、施工、維持管理に関する基準を定めるものである。

#### [解説]

本指針は、治山工法の一環として導入した本対策工を実際に適用するために必要な技術上の基本的諸事項を示し、治山事業にかかる技術水準の向上を図るとともに、事業の合理化に資することを目的とする。また、本指針の内容は、技術水準の向上に伴い改訂する。

本指針では、技術的な裏付けの程度によって表現を区別しているため、留意して適用および運用しなければならない。

- ・「…しなければならない」 : 厳守すべき事項。
- ・「…ものとする」、「…する」 : 概ね通例化しているが例外的な場合もある事項。
- ・「…を原則とする」 : 経験的にほぼ正しいと判断でき、基本的には認められる事項。
- ・「…を標準とする」 : 検討の余地がある事項。

### 1. 2 適用

- (1) 本指針は、表層崩壊が予想される自然斜面に適用する。
- (2) 本指針は、治山事業およびこれに関連する事業に適用する。
- (3) 別途、関連諸法令による定めがある場合には、これらの諸法令によるものとする。
- (4) 本指針に記載無き事項や特殊な事例および本指針によることが適当でない場合には、この指針で示される技術的な水準を損なわない範囲において、この指針によらないことができる。

#### [解説]

本指針は、新鮮岩盤が地表面に露出しておらず、降雨時や地震発生時に表層崩壊が予想される自然斜面に適用する。山腹斜面の地表面に強風化層が分布する場合、豪雨中に発生する山腹崩壊は一般的に表層崩壊の形式をとることが多い。また、兵庫県南部地震時には急傾斜地の遷急線付近に表層崩壊が多く発生した。都市近郊においては下流側に住宅、重要設備、鉄道および道路など保全対象を控えている場合があり、不安定土塊の表層崩壊を防止することが必要である。

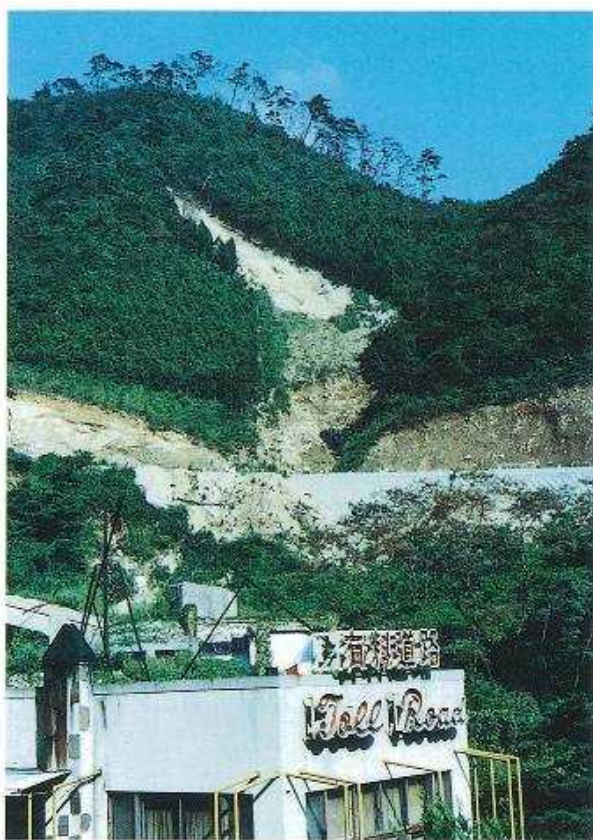
本指針は、従来の治山工法に比べ、経費削減、環境保護および景観の保全を図りつつ、新しい考え方に基づく耐震設計法や耐震工法を取り入れ、表層崩壊に対処する治山事業に必要な技術を提供するものである。



## 1. 2. 1 表層崩壊

### (1) 降雨時の自然斜面崩壊の概要

兵庫県では、これまでに豪雨を起因とした山腹崩壊が発生し人命、家屋に多くの被害が出ている。近年に起きた災害を例に挙げると、1967年7月7日～9日にかけて総降雨量371.2mm、1時間最大雨量75.6mm(9日)の集中豪雨(神戸市)により、多数の山腹崩壊が発生した。また、2004年10月19日～20日にかけて総雨量303mm、1時間最大雨量49mm(20日)を記録した台風23号(南淡)により、多数の山腹崩壊が発生した。これらの山腹崩壊の特徴は、写真1.2.1および写真1.2.2に示すような表層崩壊である。山腹斜面の表層は、強風化した地質で覆われており、これら斜面の崩壊は、通常表層崩壊となる。



(神戸市灘区六甲山町)<sup>1)</sup>  
写真 1. 2.1 1967年の被災状況



(南あわじ市志知奥、旧西淡町)  
写真 1. 2.2 2004年の被災状況

(2) 地震時の自然斜面崩壊の概要

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震において、六甲治山事務所にて調査を行った結果、山腹崩壊（写真 1. 2.3）が六甲山系では571箇所<sup>1)</sup>で発生していることが確認された。



写真 1. 2.3 神戸市灘区六甲山町（赤滝谷）での崩壊<sup>1)</sup>

地盤工学会<sup>2)</sup>が報告した崩壊発生場所の地形分類によると、兵庫県南部地震により発生した山腹斜面崩壊747箇所のうち遷急線を含む崩壊が266箇所、直線型斜面での崩壊が226箇所、露頭崖を含む崩壊が249箇所とされている（図 1. 2.1 参照）。また、沖村ら<sup>3)</sup>は斜面内のどの高さで崩壊が発生したかを明らかにするために比高率（斜面内における崩壊上部の相対的な高さ）を定義し、比高率が50%を越えると崩壊個数が急増していること、傾斜度は35～55度に多く分布していること（図 1. 2.2 参照）を報告している。さらに、地震の影響により地震発生直後から1995年5月末までの降雨で68箇所、1995年6月～1995年10月末までの降雨で870箇所の山腹斜面崩壊が発生している。これらの崩壊は、直線型斜面で非常に多いこと、また通常の降雨崩壊ではほとんど崩壊しない尾根型斜面でも発生していることが報告されている（図 1. 2.3、図 1. 2.4 参照）。

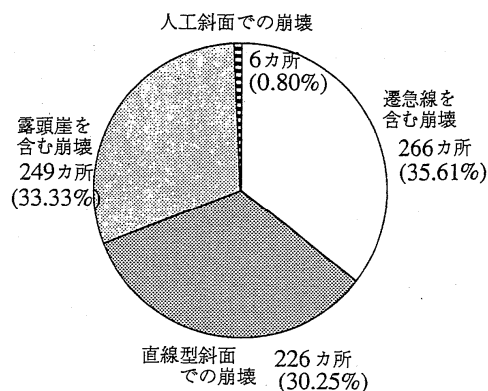


図 1. 2.1 崩壊発生場所の地形分類結果<sup>2)</sup>

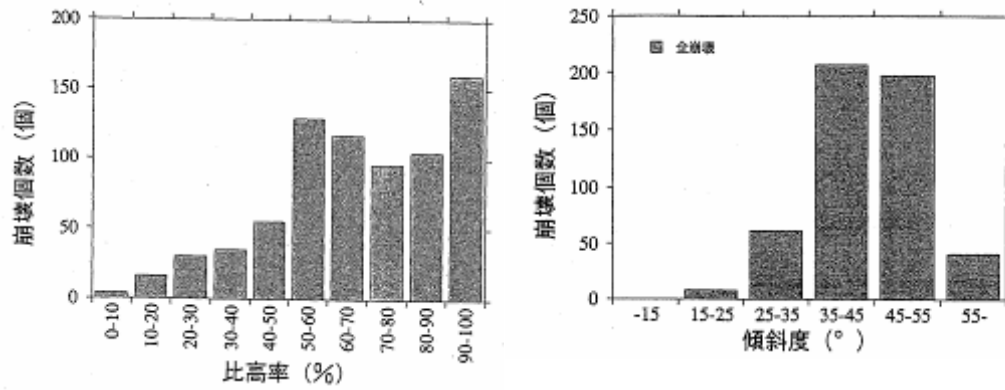


図 1. 2.2 比高率、傾斜度の分布<sup>3)</sup>

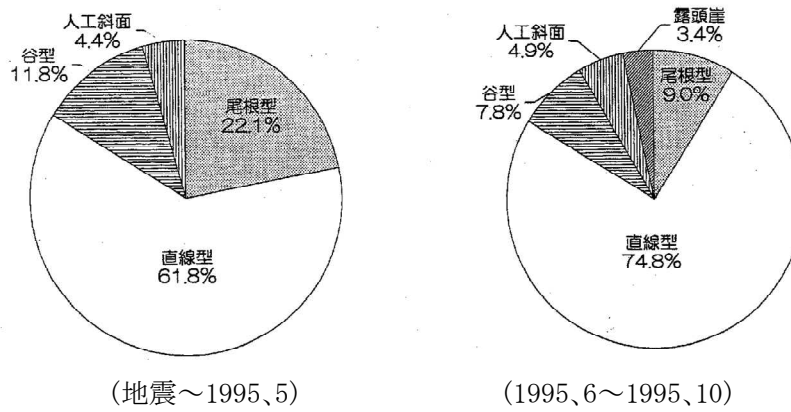


図 1. 2.3 地震後の降雨による崩壊横断形状の割合<sup>3)</sup>

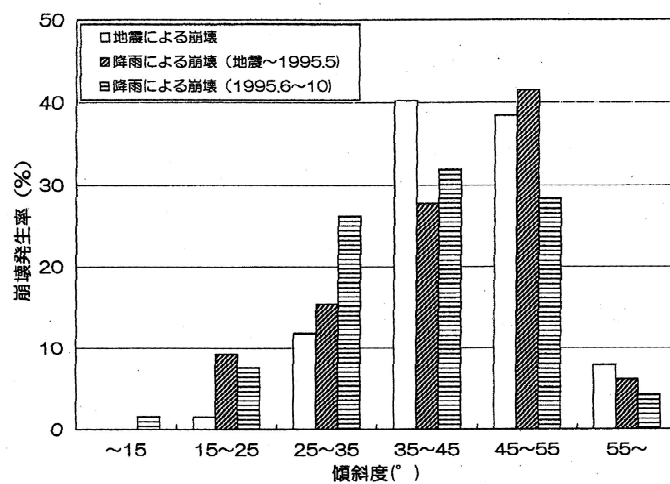


図 1. 2.4 各時期における傾斜度毎の崩壊発生率<sup>4)</sup>

## 1. 2. 2 対策工の適用条件

本対策工を対象斜面に適用できるかを計画・調査・設計の各段階で判定し、適用できない場合は他工法の検討を行う。なお、本対策工を適用できる場合であっても補助工法によって安全性を高めることとし、補助工法の適用についても検討する。

表 1. 2.1 本対策工の適用条件

机上検討	山腹崩壊危険地区調査 <sup>※)</sup> により、山腹崩壊危険地となる地区に適用	
現地踏査	地形条件	・ 表層侵食が起きない斜面に適用 ・ 斜面傾斜がおおよそ 30～55 度に適用
	地質・土質条件	土が土塊状に変状する地盤に適用
	崩壊形態	表層崩壊型に適用
現地調査	潜在崩土層厚	2.5m 以下に適用
設計	常時設計	対策後の斜面の安全率が計画安全率を満たす
	地震時設計	地盤の変形量や対策工の耐力が設計基準を満たす

※) 林野庁：山地災害危険地区調査要領、2016 年 7 月



### 1. 3 工法の概要

本対策工は、斜面直角方向にロックボルトを打設し、ロックボルトの頭部を支圧板とロープネットによって連結することにより、斜面安定を図るもので、以下の3つの要求性能を有するものとする。

(1) 本対策工は、豪雨、地震時において、斜面の変形および破壊状態に対応して各部材が効果を発揮することにより、変形抑制する機能を有する構造であること。

- ・初期から亀裂発生までは支圧板※1付きのロックボルトの軸力が発生し変形を抑制する。
- ・亀裂発生から局所破壊にかけて、支圧板付きのロックボルトの変形抑制に加えロックボルトの頭部変位を通じてロープネット張力が発揮され変形を抑制する。

(2) 各構造部材は、防食に対しても十分に配慮すること。

(3) 局所破壊※2に至ってもロープネットが破断、ロックボルトが引き抜けず、斜面移動土塊が下流部に流出しないこと。

※1 支圧板は、ロープネットとロックボルトの働きを補助する役割を有する構造とする。

※2 局所破壊とは、地盤の中規模な破壊形態の定義。局所的な崩落を含む地盤沈下、のり尻隆起などの残留変形を伴う破壊状態をいう。

#### [解説]

本対策工は、ロックボルト、ロープネットおよび支圧板で構成される斜面安定工法の一つである。ロックボルトは、斜面直角方向に複数の削孔を行い鉄筋と注入材を挿入して、地山と一体化させるものである。注入材にはセメントミルクを使用する。ロープネットは、ワイヤーで格子状に地表面を覆い、土のかたまりとしての移動を抑止するものである。支圧板は頭部プレートとナットで構成され、ロープネットとロックボルトを連結し、相互の働きを補完しながら斜面の安定を図るものである。図 1. 3.1に本対策工の概要図、写真 1. 3.1に施工状況、表 1. 3.1に本対策工の概要を示す。

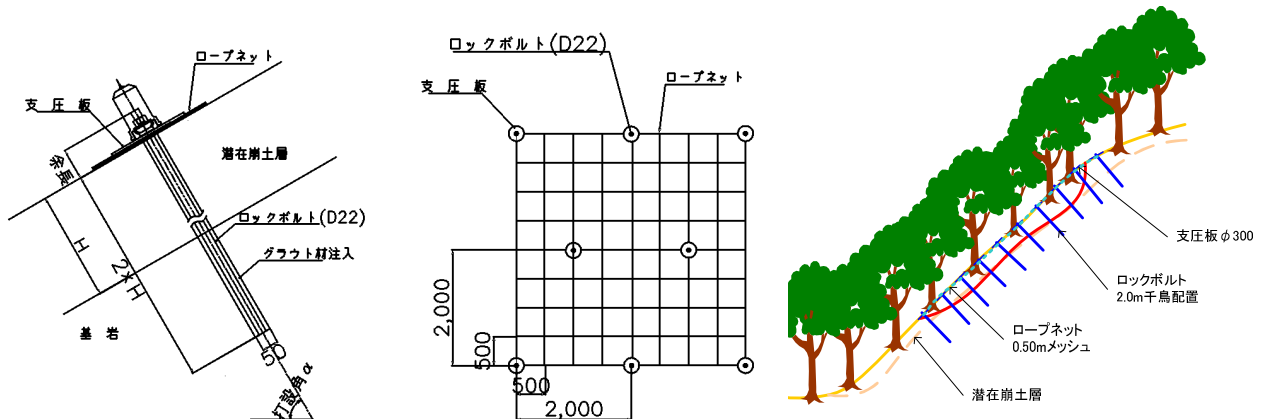


図 1. 3.1 本対策工概要図 (標準的な構造)



写真 1. 3.1 施工状況

表 1. 3.1 本対策工の概要

項 目		説 明
工法の名称		ロープネット・ロックボルト併用工法
適用条件	地形条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 表面侵食が起きない斜面に適用</li> <li>・ 斜面傾斜がおおよそ 30～55 度に適用</li> </ul>
	地質・土質条件	土が土塊状に変状する地盤に適用
	崩壊形態	表層崩壊型に適用
	潜在崩土層厚	2.5m 以下に適用（簡易貫入試験で潜在崩土層厚を評価）
計算式	常 時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多平面安定解析</li> <li>・ 円弧すべり法</li> </ul>
	地震時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 多平面安定解析</li> <li>・ 直接変形算出法</li> <li>・ すべり変形算出法</li> <li>・ 動的解析</li> </ul>
照 査	常 時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 安全率照査</li> </ul>
	地震時	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ せん断ひずみ照査</li> <li>・ すべりひずみ照査</li> </ul>
	地震時(局所破壊時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロックボルトの基盤引抜き力の照査</li> <li>・ ロープネットの張力の照査</li> </ul>
地盤定数		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験値または一般値</li> <li>・ 簡易貫入試験値(Nc 値)から推定</li> </ul>
地震力		地震力は基本的に地域防災計画に準じ、設計水平震度を設定
対策工の 考え方	ロックボルト	地山の補強効果
	ロープネット	亀裂発生後に補強効果を発揮
	支圧板	土塊の押さえ込み効果
対策工 配置	ロックボルト	鉄筋径 D22、2m 千鳥配置
	ロープネット	公称径φ8～12mm、500mm メッシュ
	支圧板	φ300mm または □300mm×300mm(角部 R 加工)
ロックボルト打設角度		斜面直角方向
ロックボルト長		潜在崩土層厚の 2 倍

本対策工では、ロックボルトの長さ以外の諸元を固定している。これは、ロックボルトを密に施工するなどして地盤の剛性を大きくすることが、耐震性の面からは、必ずしも安全と判断できない場合があると考えられるためである（添付資料-22 参照）。

## 1. 4 用語の定義

1. ロープネット・ロックボルト併用工法：ロープネットとロックボルトと支圧板を併用した斜面安定工法。
2. ロープネット：斜面安定を目的としてロープを 500mm 間隔の格子状にして斜面を覆う表面工。
3. ロックボルト：地山を削孔し、鉄筋とセメントミルク注入によって安定を図る工法。
4. 支圧板：ロックボルト頭部に取付け地山と密着させる円板。
5. 注入材：ロックボルトと地山との付着を目的とする間隙充填セメントミルク。
6. 削孔径：地山にロックボルトを挿入するための孔の大きさ。
7. 必要抑止力：計画安全率まで補強するために必要な抵抗力。
8. 計画安全率：常時(地震時以外)に安定を保つために必要とされる安全率。
9. 危険箇所：安定解析の結果、計画安全率を満足せず不安定とされる斜面の部分。
10. 移動土塊：塊を保ちながら、表層を滑り落ちるように動く土。
11. 不動地山：比較的風化が進んでいない安定性の高い岩盤などの層。
12. 簡易貫入試験：簡易動的コーン貫入試験（地盤工学会 JGS 1433）とも言う。人力搬送可能な斜面上の地盤調査サウンディング。
13. 直接変形算出法：立方体の土塊が地震力によってせん断変形する状態を、土のせん断剛性の非線形性を考慮して計算する方法。
14. すべり変形算出法：地層が二層構造の場合に、すべりによる滑動量を含む地表面の変位量を推定する方法。
15. 多平面安定解析：ブロックの組み合わせにより有限個の仮定すべり面から危険箇所を特定する解析手法。
16. 地形効果震度法：比高に応じて設計水平震度を補正する方法。
17. 比高：自然斜面の上端標高と下端標高の差を表す。
18. 円弧すべり法：円弧のすべり面を仮定して、スライスに分割して、土の重量からすべり力と抵抗力を求め、安全率によって安定性を検討する解析手法。
19. 潜在崩土層：今後崩壊が発生する可能性のある表土層。
20. 潜在崩土層厚：斜面直角方向の厚さ。
21. 単層構造：深度方向に簡易貫入試験  $N_c$  値が漸移的に増加する地盤。
22. 二層構造：任意の深度において簡易貫入試験  $N_c$  値が急増する地盤。
23. 亀裂発生：地盤の小規模な破壊形態の定義。振動が止まると元に戻る弾性的な状態を超えて、肉眼で確認できる亀裂が発生した状態。
24. 局所破壊：地盤の中規模な破壊形態の定義。局所的な崩落を含む地盤沈下、のり尻隆起などの残留変形を伴う破壊状態。
25. 全体破壊：地盤の大規模な破壊形態の定義。のり尻を含む斜面の大部分が破壊する状態。
26. 対策工荷重分担率：直接変形算出法において、亀裂発生以降に自重を考慮する割合（0～1 の値で表現される）。
27. 崩壊：斜面あるいはのり面での土塊（または岩塊）の移動を指し、特徴としては土塊（または岩塊）の移動が急で乱れが激しい。
28. 滑落：土塊がすべり面に沿って移動する崩壊形態。
29. 設計水平震度：基盤部でのランダム波の最大水平加速度に 0.65 倍を乗じた水平震度。
30. せん断ひずみ：地表面のせん断変位量を潜在崩土層厚で除したもの。
31. すべりひずみ：滑動変位量を潜在崩土層厚で除したもの。
32. 限界ひずみ：限界状態を定義するひずみ
33. 相対安全率：地形効果震度法を採り入れた多平面安定解析から求めた対策工を考慮した地震時の

安全率で、すべりひずみを算出するための便宜上の安全率。

34. 見かけの粘着力：対策工の効果を見かけ上粘着力として評価したもので、対策工のすべり抵抗力をすべり面長さで除したもの。
35. せん断弾性係数：弾性理論でせん断ひずみとせん断応力との関係を表す定数。
36. せん断弾性係数のひずみ依存性：地盤が外力によってせん断変形をおこし、せん断ひずみの増加に伴ってせん断弾性係数が低下していく性質。
37. マサ土：花崗岩類の風化土。
38. 尾根型斜面：斜面の水平断面形が尾根型の形状を示す斜面。等高線群は低所に向かって尾根型に突出し、落水線群は高所から低所に発散するため発散斜面とか散水斜面ともいう。
39. 直線型斜面：斜面の水平断面形が直線型の形状を示す斜面。等高線群は直線で、落水線群も直線で互いに平行であることから平行斜面ともいう。
40. 谷型斜面：谷型斜面は斜面方向（落水線の方向）の平面的な変化状態つまり水平断面形（等高線の平面形）により分類される。等高線群は高所のほうに湾入し、落水線群は高所から低所に向かって収れんするので収れん斜面とか集水斜面ともいう。
41. 溪床侵食部：土石流発生時に溪床が浸食される部分を示す。
42. 0次谷：1次谷流域のうち、明瞭な1次水流の上流端から上方の谷型斜面。
43. ガリー：表面流水によって地表面にできた深く削れた溝。
44. 表層崩壊：岩盤の風化層や崖錘性堆積物などの表層部分が崩壊する現象。六甲山系では崩壊の深さは1～3mのものが多い。
45. 保全対象：官公署、学校、病院、道路（一般の交通の用に供されている林道および農業用道路を含む）等の公用若しくは公共用施設または人家（工場、旅館、社寺等を含む）



## 1. 5 記号の定義

本指針の設計計算に用いる主な記号を次のように定義する。

$F_s$	: 安全率
$F_{sp}$	: 計画安全率
$\tau_a$	: 許容付着力
$\tau_{pa}$	: 地山と注入材の許容付着力
$\tau_p$	: 地山と注入材の周面摩擦抵抗
$D$	: 削孔径
$F_{sa}$	: 周面摩擦抵抗にかかわる安全率
$t_{ca}$	: ロックボルトと注入材の許容付着力
$t_c$	: ロックボルトと注入材の許容付着応力
$d$	: ロックボルト径
$L_{RB}$	: ロックボルト長
$L_2$	: 不動地山の有効定着長
$L_1$	: 移動土塊の有効定着長
$\mu'$	: 変形許容型のり面工低減係数
$\sigma_{sa}$	: ロックボルトの許容引張応力度
$A_s$	: ロックボルトの断面積
$c$	: 粘着力
$\phi$	: 内部摩擦角
$A$	: 最大水平加速度(G)
$M_w$	: モーメントマグニチュード
$M_j$	: 気象庁マグニチュード
$\gamma$	: せん断ひずみ
$\gamma_s$	: すべりひずみ
$G$	: 土のせん断弾性係数

## 1. 6 全体の流れ

本対策工を適用する際には、計画、調査、設計、施工、維持管理の各段階に分けて検討を行うものとする。

### 【解説】

計画段階（第2章）は、机上検討によって危険地区を選定する。調査段階（第3章）は、現地踏査、一次調査と二次調査により、現地を詳細に調査して設計・施工に必要な基礎資料を得る。設計段階（第4章）は、常時・地震時に分けて斜面の安定と本対策工の適用性を検討し、施工範囲を決める。施工段階（第5章）は、現場での施工に際しての計画・管理を規定する。維持管理段階（第6章）は、竣工後の定期点検・補修などについて規定する。

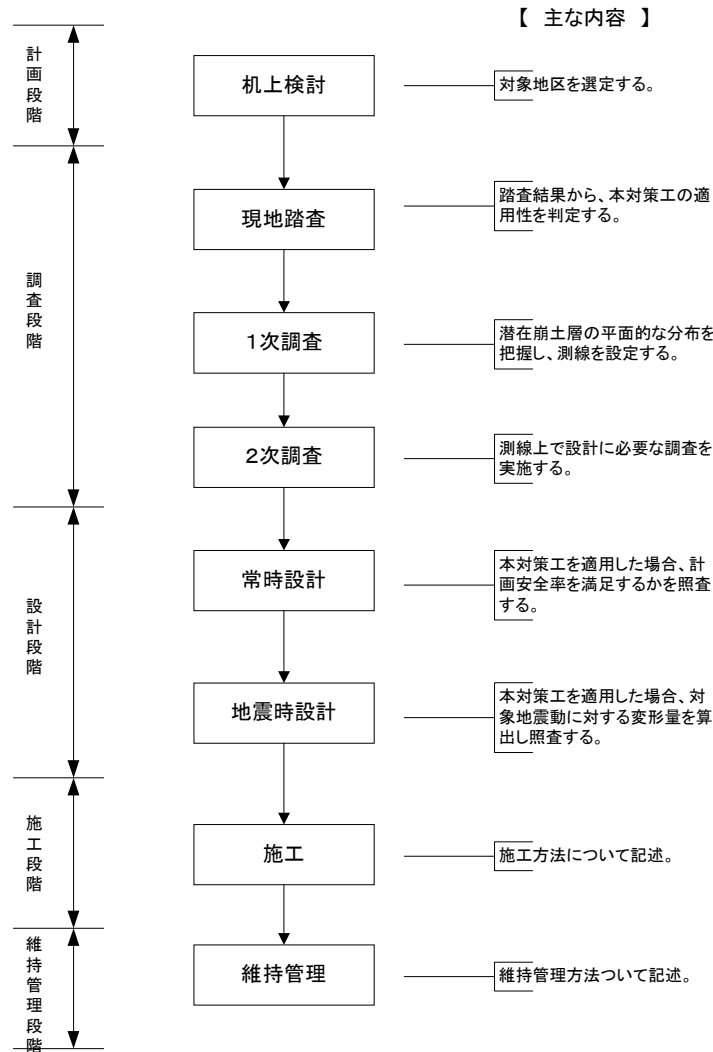


図 1. 6.1 全体の流れ

### 【引用文献】

- 1) 兵庫県六甲治山事務所 HP : <http://web.pref.hyogo.jp/rokko/html/shinsai.html>
- 2) 社団法人地盤工学会：阪神・淡路大震災調査報告 地盤・地質,共通編-2,2 編,pp545～577,1995.
- 3) 沖村孝・鳥居宣之・伊井政司：兵庫県南部地震による山腹斜面崩壊の実態,土地造成工学研究所報告,第 31 号,pp147～167,1995.
- 4) 沖村孝・鳥居宣之・永井久徳：地震後の降雨により発生した斜面崩壊メカニズムの一考察,建設工学研究所論文集,第 40-B 号,pp97～114,1998.

## 2. 計画

### 2.1 概説

対策地点の選定を行うための机上検討を実施する。

#### [解説]

山腹崩壊危険地区調査実施要領<sup>1)</sup>に基づいて机上検討を実施し、対策の必要な地点を概略的に選定する。その結果から対策が必要となる地点において、机上検討結果をとりまとめ、現地踏査に必要な基礎資料を整理する。

### 2.2 机上検討

机上検討は、危険地区および危険箇所を選定するために、林野庁山地災害危険地区調査要領（山腹崩壊危険地区調査）<sup>1)</sup>に基づいて行う。

#### [解説]

机上検討による選定の流れを図 2. 2.1に示す。

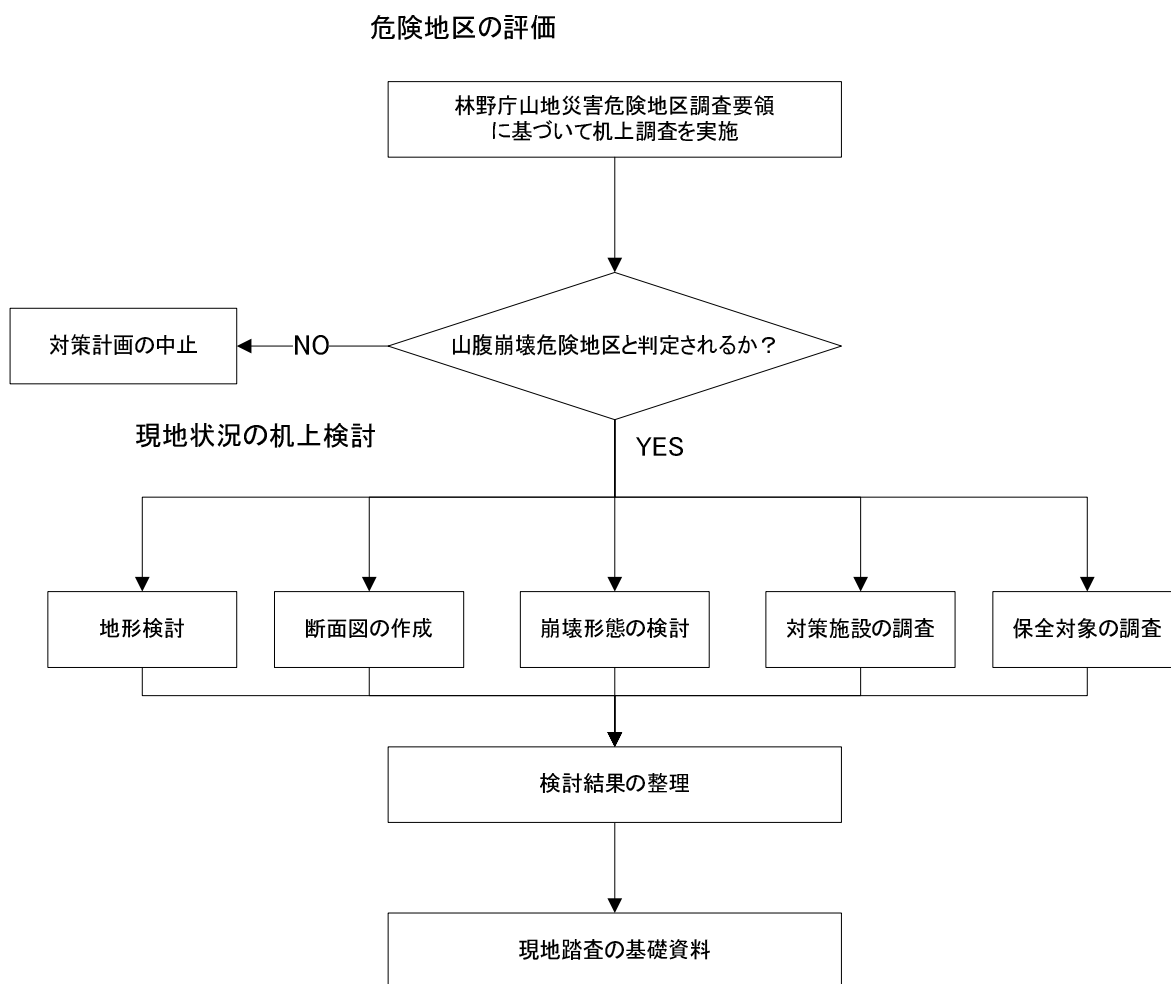


図 2. 2.1 机上検討による危険箇所選定の流れ

## 2. 2. 1 危険地区の評価

山地災害危険地区調査要領<sup>1)</sup>に基づいて山腹崩壊危険地区を判定する。

## 2. 2. 2 現地状況の机上検討

危険地区に対して、地形検討、断面図の作成、崩壊形態の検討、対策施設の調査、保全対象の調査を実施する。

### [解説]

危険地区に対して、現地踏査計画を策定するために、現地状況の机上検討を行う。検討結果は、調査表にとりまとめる。

### (1) 地形検討

#### (a) 縦断線（最急勾配方向）の設定

机上検討では、地形図（縮尺 1:5,000 を標準）を用いて斜面形状の推定や縦断線を仮設定し、現地踏査で確認および修正を行う。

縦断線は、尾根筋を主に考えてブロック分けを行い、尾根筋および谷筋を結ぶ線（最急勾配）とする。

#### (b) 谷型斜面における適用除外範囲の設定

谷地形の定義を図 2. 2.2 に示す。

谷地形は、雨水などで表層土の流出等が懸念されるため本対策工の効果が低下することが考えられ、図 2. 2.3 に示す溪床侵食部（溪岸の侵食状況、露岩や植生状況により判断する）は適用外とする。なお、当面、0 次谷（1 次谷流域のうち、明瞭な 1 次水流の上流端から上方の谷型斜面）についても適用外とする。

#### (c) 表面流出部における適用除外範囲の設定

表面流出部は、降雨によりガリーや地中流路が発生し表土層が不安定になることから、土が土塊状を保てなくなり、本対策工の効果が低下すると考えられるため適用外とする。

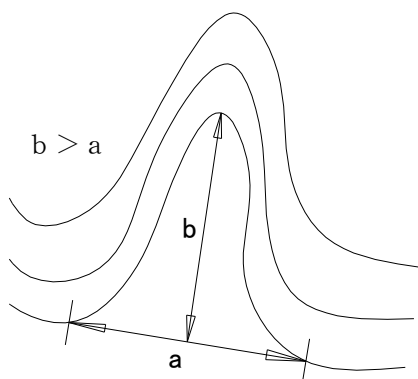


図 2. 2.2 谷地形の定義

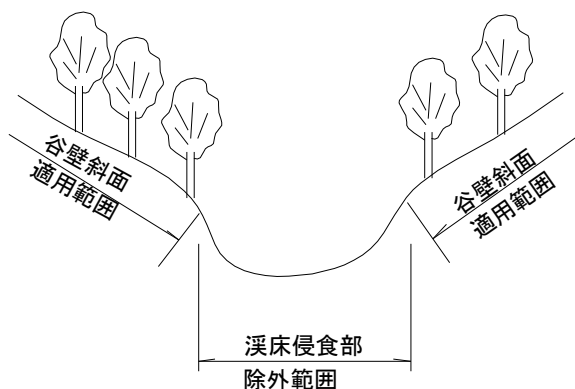


図 2. 2.3 除外範囲

(2) 断面図の作成

地形図（1:5,000）に設定した縦断線から、断面図を作成する。断面図には、斜面下端、上端、斜面高や保全対象の位置等を記載する。

(3) 崩壊形態の検討

対象地区に崩壊履歴がある場合、資料を整理して崩壊形態を判断する。

(4) 対策施設の調査

対象地区に既に対策施設がある場合、斜面对策と待受け式対策とに分けて整理する。

(5) 保全対象の調査

対象地区周辺に保全対象がある場合、種類、規模、数量等を整理する。

2. 2. 3 検討結果の整理

机上検討結果を調査表に整理し、現地踏査の基礎資料とする。

[解説]

机上検討結果を調査表（表 2. 2.1～表 2. 2.3）に整理する。別途整理様式がある場合は、その様式を用いることができるが、整理する項目を満足できるものとする。表 2. 2.3は、右側が机上検討結果を記入する欄であり、左側が現地踏査結果を記入する欄なので、記入の際は注意する。山腹崩壊危険地区調査表の結果を参考に現地踏査の基礎資料とする。

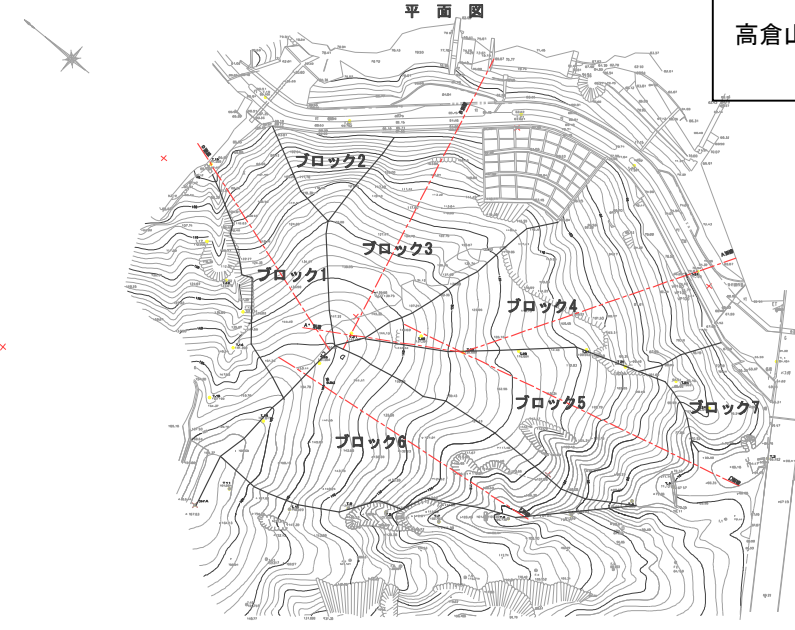
表 2. 2.1 調査表（様式-1）

調査番号	—	地区名		位置	市	町	字	(調査年月日)	
					郡	村		(調査者)	

①調査位置平面図(1:5,000) 調査位置案内図

- ・地形図(1:5,000)上に縦断線を明記する。
- ・現地踏査から縦断線を修正する場合は、修正縦断図を記載する。

高倉山例：赤線は縦断線を示す  
黒太線はブロック分けを示す



平面図

表 2. 2.2 調査表 (様式-2)

調査番号	—	地区名	位置	市 郡	町 村	字	調査年月日	調査者
------	---	-----	----	--------	--------	---	-------	-----

**②設定した縦断線毎に断面を整理**

(机上調査から)  
 ・設定した縦断線毎に地形図から断面図を作成する。  
 (現地踏査から)  
 ・斜面下端及び上端位置を記載する。斜面高を記載する。

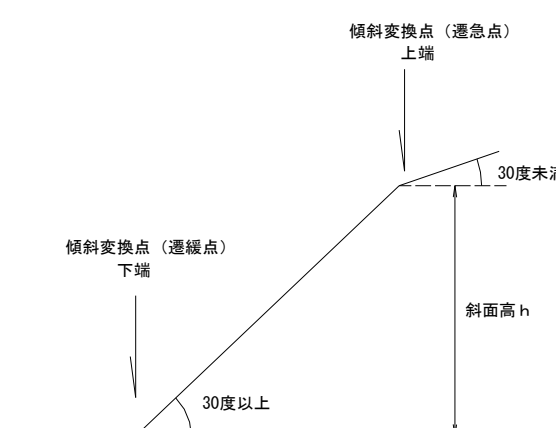


表 2. 2.3 調査表 (様式-3 : 机上検討結果は赤枠⑦、⑧の欄に記載)

調査番号	—	地区名	位置	市 郡	町 村	字	調査年月日	調査者
------	---	-----	----	--------	--------	---	-------	-----

<b>③地形等項目</b>				<b>⑦崩壊形態</b>																																																				
保全対象物の位置は適切か			適・否	崩壊跡地があるか	有・無	崩壊形態:																																																		
机上調査で設定した縦断面以外に横断が必要か			要・不要																																																					
記事:				記事:																																																				
<b>④地質等項目</b>				<b>⑧対策施設</b>																																																				
地質		記事:		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">工種</th> <th style="width: 15%;">延長</th> <th style="width: 15%;">事業種別等</th> <th style="width: 15%;">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: mixed;">斜面対策施設</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: mixed;">待受け式対策施設</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							工種	延長	事業種別等	備考	斜面対策施設	1					2					3					4					待受け式対策施設	1					2					3					4				
		工種	延長						事業種別等	備考																																														
斜面対策施設	1																																																							
	2																																																							
	3																																																							
	4																																																							
待受け式対策施設	1																																																							
	2																																																							
	3																																																							
	4																																																							
土質		粘性土・砂質土・礫質土・判別不能		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;"></th> <th style="width: 10%;"></th> <th style="width: 15%;">工種</th> <th style="width: 15%;">延長</th> <th style="width: 15%;">事業種別等</th> <th style="width: 15%;">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: mixed;">斜面対策施設</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: mixed;">待受け式対策施設</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							工種	延長	事業種別等	備考	斜面対策施設	1					2					3					4					待受け式対策施設	1					2					3					4				
		工種	延長						事業種別等	備考																																														
斜面対策施設	1																																																							
	2																																																							
	3																																																							
	4																																																							
待受け式対策施設	1																																																							
	2																																																							
	3																																																							
	4																																																							
記事:				記事:																																																				
落石		落下の区分	剥離型・転石型						発生源の傾斜角	度	記事:																																													
		落下の高さ	m						落下斜面の植生状況																																															
		岩石等の安定状況:																																																						
<b>⑤植生状況</b>				記事:																																																				
樹種の区分		植生無し・裸地・針葉樹・広葉樹・針葉広葉混交・その他							記事:																																															
植生の状態		分布状況	本/4m <sup>2</sup>											木の長さ	m																																									
		記事:																																																						
<b>⑥湧水・地下水状況</b>				記事:																																																				
湧水	有・無	地下水状況:																																																						

【引用文献】

- 1) 林野庁：山地災害危険地区調査要領,2016.

### 3. 調査

#### 3.1 概説

- (1) 調査は、現地踏査、一次調査および二次調査に分類される。
- (2) 現地踏査は、机上検討で選定した対象地点で実施する。
- (3) 一次調査は、潜在崩土層の平面的な分布の把握と測線を設定するために実施する。
- (4) 二次調査は、一次調査で設定した測線において、地質調査および試験を実施する。

#### [解説]

現地踏査は、踏査結果をとりまとめ本対策工の適用性を判定し、適用可能と判断された場合、一次調査で実施する地形測量（平面測量）と簡易貫入試験の実施位置について計画する。

一次調査は、簡易貫入試験を主体として、潜在崩土層の平面的な分布を把握し、潜在崩土層分布と地形状況から、二次調査に必要な測線を設定する。

二次調査は、地形測量（縦断測量）と簡易貫入試験を測線上で実施し、一次調査および二次調査の簡易貫入試験により得られた潜在崩土層厚から本対策工の適用性を判定する。適用が可能な場合、機械ボーリング、標準貫入試験および原位置引抜き試験を実施するとともに、設計に必要な地盤定数を得るための詳細な調査についても必要に応じて実施し、地盤断面図の作成および地盤定数の評価を行う。

#### 3.2 現地踏査

机上検討で選定した対象地点で現地踏査を実施し、対象となる斜面に本対策工が適用可能か判定する。また、詳細な調査に向け一次調査計画を策定する。

#### [解説]

現地踏査の流れを図 3. 2.1に示す。

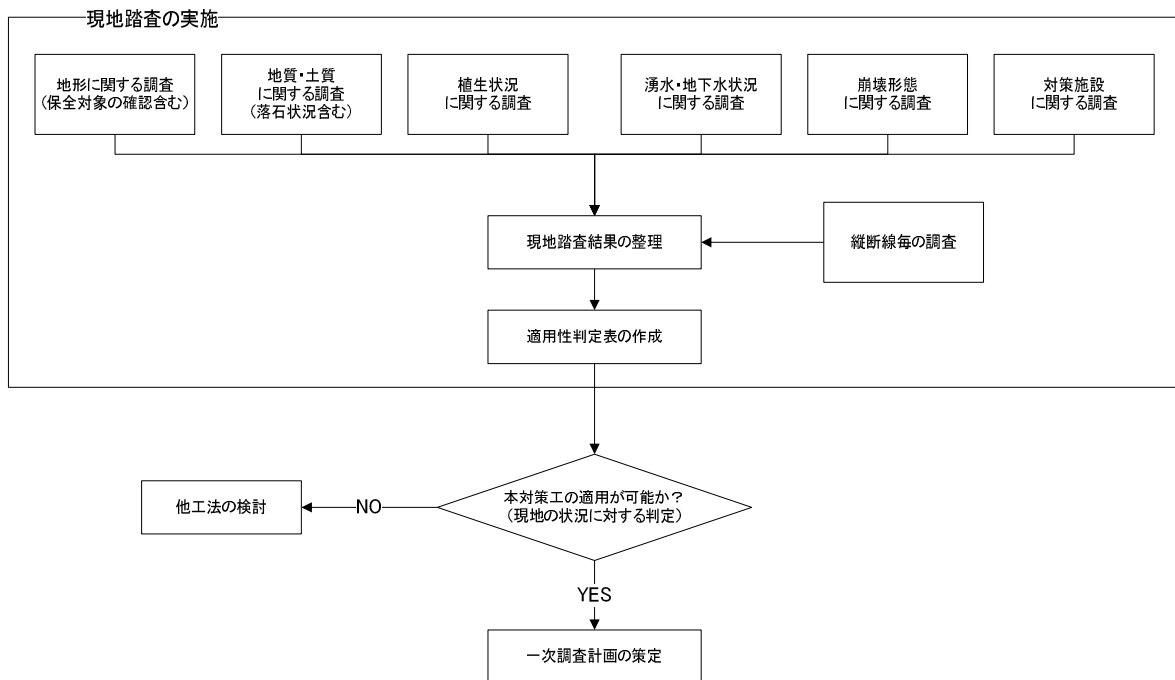


図 3. 2.1 現地踏査の流れ

### 3. 2. 1 現地踏査の実施

机上検討結果を基に現地踏査を実施し、縦断線、斜面下端・上端、地形、地質、潜在崩土層厚、植生状況、対策施設や保全対象、斜面下端から保全対象までの距離について確認する。現地踏査結果は、調査表に取りまとめる。また、必要に応じて机上検討結果を修正するものとする。

#### [解説]

机上検討結果を基に以下の項目について現地踏査を実施する。

#### (1) 地形に関する調査

机上検討で設定した縦断線や保全対象の位置について、現地で確認する。

#### (2) 地質・土質に関する調査

対象地区の地質・土質区分や落石についての状況を現地で確認する。また、山腹崩壊に関して特記すべき地質特性を調査し、崩壊形態推定の基礎資料とする。

#### (3) 植生状況に関する調査

対象地区の樹種・分布状況・高さについて現地で確認する。

#### (4) 湧水・地下水の状況に関する調査

湧水の有無や地下水の状況を現地で確認する。

#### (5) 崩壊形態に関する調査

崩壊跡地がある場合は、その状況を詳細に調査し、調査表に記載する。また、起こりうる崩壊形態について、地形・地質・崩壊履歴等を考慮して推定する。

##### (a) 崩壊跡地

崩壊跡地がある場合は、その形態について記載し、崩壊形態の推定に利用する。

##### (b) 推定される崩壊形態

すべり形態の種類としては**添付資料-3**に示すタイプが考えられるが、本対策工の対象とする崩壊タイプは表層崩壊である。

#### (6) 対策施設に関する調査

机上検討で整理した対策施設について、現地で確認する。

#### (7) 縦断線毎の調査

##### (a) 斜面の下端の設定

対策工の設計に使用する斜面の下端（図 3. 2.2）は、対象となる地区で設定した縦断線上において、道路、住宅地など保全対象を有する平坦地や谷部で、かつその地点から上方の傾斜角が 30 度以上となるはじめての点とする。

##### (b) 斜面の上端の設定

対策工の設計に使用する斜面の上端（図 3. 2.2）は、対象となる地区で設定した縦断線上において、尾根もしくは斜面上部の選急点で、かつその地点から上方の傾斜角が 30 度未満となるはじめての点とする。



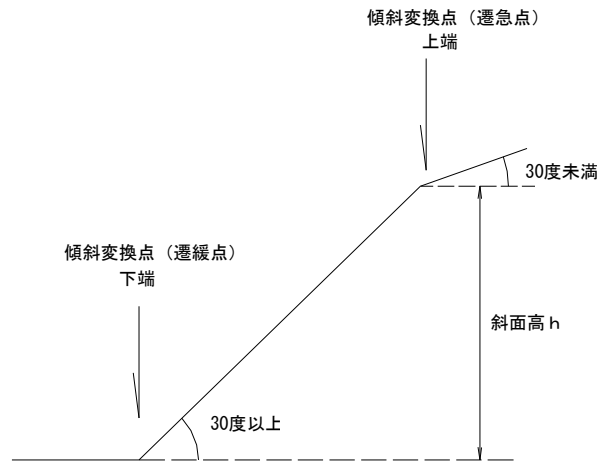


図 3. 2.2 傾斜変換点概略図

(c) 傾斜角

傾斜角は、本対策工の適用性の判定等に用いる。図 3. 2.3 に斜面の傾斜角と斜面寸法の定義を示す。傾斜角は、図 3. 2.4 に示す下端と最上部の遷急点との間で算定する。

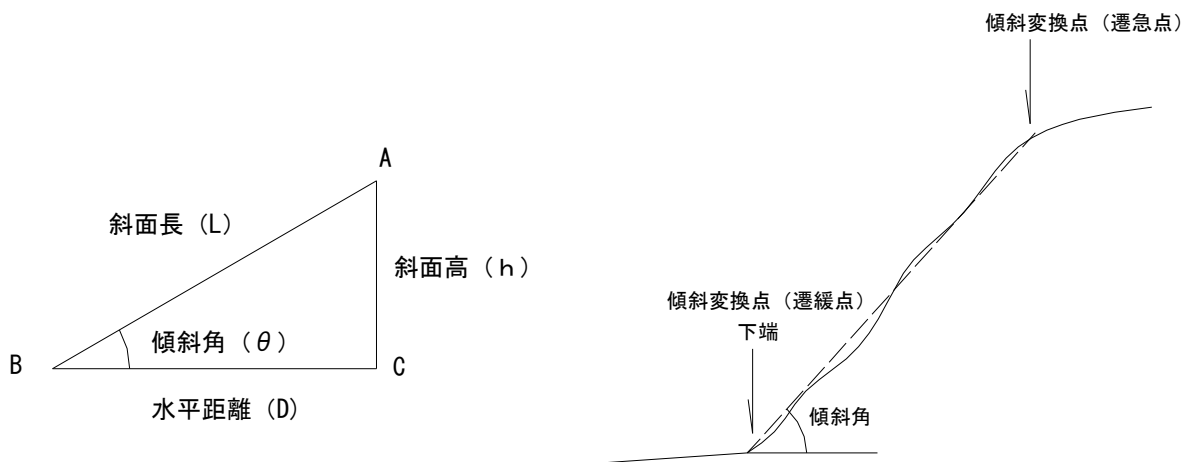


図 3. 2.3 斜面の傾斜角と斜面寸法の定義

図 3. 2.4 傾斜角算出概略図

(d) 潜在崩土層厚

潜在崩土層厚は、崩壊形態の推定や本対策工の適用性の判定に使用する。机上検討（崩壊履歴）や現地踏査で崩土層厚が推定できない場合は、簡易貫入試験の実施を検討する（1縦断面で3箇所程度）。

(e) 斜面下端から保全対象までの距離

斜面下端から保全対象までの距離は、水平距離とする（表 3. 2.1）。

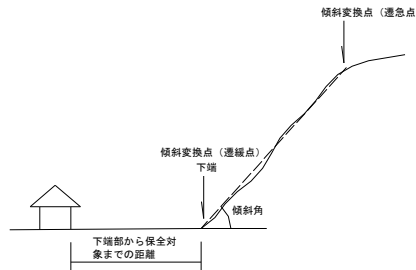


図 3. 2.5 斜面下端から保全対象までの距離

(8) 現地踏査結果の整理

現地踏査結果は、調査表（表 3. 2.1～表 3. 2.5）に整理する。表 3. 2.1 と表 3. 2.2 は、机上検討で作成した資料（表 2. 2.1 と表 2. 2.2）に現地踏査結果を反映し、必要に応じて修正する。表 3. 2.3 は、右側の欄に机上検討結果を記載し、左側の欄に現地踏査結果を記載する。必要に応じて机上検討結果を修正する。

表 3. 2.1 調査表（様式-1）

調査番号	—	地区名		位置	市	町	字	(調査年月日)
					郡	村		(調査者)

①調査位置平面図(1:5,000) 調査位置案内図

- ・地形図(1:5,000)上に縦断線を明記する。
- ・現地踏査から縦断線を修正する場合は、修正縦断図を記載する。

平面図

高倉山例：赤線は縦断線を示す  
黒太線はブロック分けを示す

表 3. 2.2 調査表 (様式-2)

調査番号	—	地区名	位置	市 郡	町 村	字	調査年月日	調査者
------	---	-----	----	--------	--------	---	-------	-----

**②設定した縦断線毎に断面を整理**

(机上調査から)  
・設定した縦断線毎に地形図から断面図を作成する。  
(現地踏査から)  
・斜面下端及び上端位置を記載する。斜面高を記載する。

表 3. 2.3 調査表 (様式-3、現地踏査結果は黒枠③～⑥の欄に記載)

調査番号	—	地区名	位置	市 郡	町 村	字	調査年月日	調査者
------	---	-----	----	--------	--------	---	-------	-----

<b>③地形等項目</b>				<b>⑦崩壊形態</b>																										
保全対象物の位置は適切か			適・否	崩壊跡地があるか		有・無		崩壊形態:																						
机上調査で設定した縦断面以外に横断が必要か			要・不要																											
記事:				記事:																										
<b>④地質等項目</b>				<b>⑧対策施設</b>																										
地質		記事:		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:5%;"></th> <th style="width:15%;">工種</th> <th style="width:10%;">延長</th> <th style="width:15%;">事業種別等</th> <th style="width:15%;">備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="border: 2px solid red; text-align: center;">斜面对策施設</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						工種	延長	事業種別等	備考	斜面对策施設	1				2				3				4			
	工種	延長	事業種別等						備考																					
斜面对策施設	1																													
	2																													
	3																													
	4																													
土質		粘性土・砂質土・礫質土・判別不能																												
記事:																														
落石	落石の区分	剥離型・転石型	発生源の傾斜角	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:5%;"></th> <th style="width:15%;">待受け式対策施設</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>						待受け式対策施設	1		2		3		4													
		待受け式対策施設																												
1																														
2																														
3																														
4																														
	落下の高さ	m	落下斜面の植生状況																											
岩石等の安定状況:																														
<b>⑤植生状況</b>				記事:																										
樹種の区分		植生無し・裸地・針葉樹・広葉樹・針葉広葉混交・その他																												
植生の状態		分布状況	本/4m <sup>2</sup> 木の高さ																											
		m																												
<b>⑥湧水・地下水状況</b>				記事:																										
湧水		有・無							地下水状況:																					

表 3. 2.4 調査表 (様式-4)

調査番号	—	地区名		位置	市	町	字	調査年月日	
					郡	村		調査者	

①各測線の地形条件

測線	斜面形状	傾斜	潜在崩土層厚(m)			下端と保全対象までの距離	備考
		(度)	斜面下部	斜面中央	斜面上部	(m)	
No. 1							
No. 2							
No. 3							
No. 4							
No. 5							
No. 6							
No. 7							
No. 8							
No. 9							
No. 10							

記事:

表 3. 2.5 調査表 (様式-5)

調査番号	—	地区名		位置	市	町	字	(調査年月日)	
					郡	村		(調査者)	

現場写真  
 ①全景  
 ②下端部付近  
 ③保全対象

現地写真貼付

### 3. 2. 2 対策工の適用性判定

現地踏査結果を基に適用性判定表を作成し、本対策工の適用性を判定する。

#### [解説]

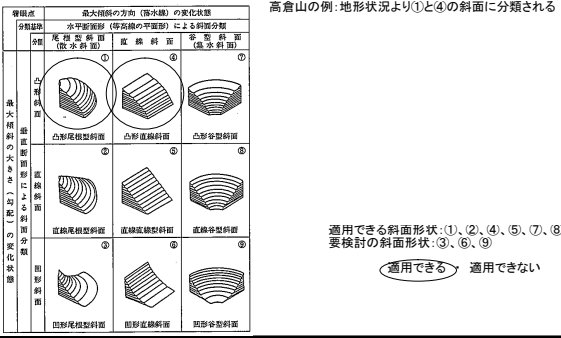
本対策工の適用条件を表 3. 2.6にまとめる。適用性判定表（表 3. 2.7）の全ての項目において「適用できる」と判定された場合に、本対策工を適用する。適用性の判定が明確ではない場合は適用性判定表に所見を記載し、個別に検討する。

表 3. 2.6 現地踏査における本対策工の適用性判定条件

地形条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面侵食が起きない斜面に適用*</li> <li>斜面傾斜がおおよそ 30～55 度に適用</li> </ul>
地質・土質条件	土が土塊状に変状する地盤に適用
崩壊形態	表層崩壊型に適用

\*）適用除外範囲については、**添付資料-2**を参照

表 3. 2.7 適用性判定表および記載例

位置	兵庫県須磨区高倉山	4-1 表層の被覆状況	(種子状況) ①裸地 ②植生主体 ③既設構造物 ④その他( ) (植生状況) 4m <sup>2</sup> 当たり 約1 本 木の高さ 約3～5m程度	
地形条件	1-1 斜面形状が下図のどの形状であるか 高倉山の例：地形状況より①と④の斜面に分類される  <p>適用できる斜面形状：①、②、④、⑤、⑦、⑧          要検討の斜面形状：③、⑥、⑨          適用できる 適用できない</p>	4-2 土地利用状況	(斜面下部) 遊歩道(東側) 高速道路(北側) 一般道路(南側) 家屋(南側)	
	1-2 本対策工に適用できない地形条件 ①谷型斜面の浸床浸食部 ②谷型斜面のO次谷 適用できる・適用できない	4-3 施工条件の確認	搬入路、仮設、資機材のスペース 水、電力の確認 問題なし・問題あり( )	
地質・土質条件	2-1 表層に堆積している地質の状況 表層上部には、10～20cmの腐植土が分布している。さらに腐植土の下部には、強風化花崗岩(まさ土)がある。斜面全体は腐植土で覆われている所が多いが、所々にまさ土が露出している。まさ土の分布は、花崗岩が風化したものと崩壊し堆積しているものとが混在している。 適用できる・適用できない	その他	5-1 斜面勾配、高さ	斜面勾配 平均35° 斜面高さ 約100m
	2-2 土が土塊状になる性質を持っているか まさ土の状態を観察すると、細粒分がかなり進んでいると見られ、細粒分含有率が高いと思われる。このため、現地のまさ土は細粒分が多い分、土塊状となる性質を持っていると思われる。 適用できる・適用できない		5-2 湧水状況	特になし
崩壊形態	3-1 想定される崩壊形態 表層には強風化層が分布しており、想定される崩壊形態は表層崩壊型と考えられる。 適用できる・適用できない	5-3 斜面の変状	表層部の起伏が激しい箇所が見られる。	
		5-4 周辺構造物	対象地区の西側には治山ダムがある 東側遊歩道沿いには、擁壁および法枠工がある。	
		5-5 崩壊履歴	地震による崩壊については特定できない。	
		5-6 その他特記すべき事項	特になし	
		評価	適用できる・適用できない	

### 3. 2. 3 一次調査計画の策定

現地踏査結果から一次調査計画を策定する。

#### [解説]

現地踏査結果から、以下に示す現地調査について計画する。一次調査計画は、1/5,000（標準とする）の地形図を活用して計画する。

#### (1) 地形測量の計画

対策範囲における平面測量について計画する。

#### (2) 簡易貫入試験（一次調査）の計画

潜在崩土層の平面分布を把握するため、10m ピッチ（水平）を標準として、簡易貫入試験（一次調査）の実施位置を格子状に計画する。

### 3. 3 一次調査

- (1) 一次調査は、計画段階で立案された現地調査計画を基に実施する。  
 (2) 現地調査は、潜在崩土層厚を把握する目的で平面測量、簡易貫入試験（一次調査）を実施し、測線を設定する。

[解説]

現地調査の流れを図 3. 3.1に示す。現地調査は、平面的な潜在崩土層の分布を調査する一次調査と、設定した測線で実施する二次調査に分けられる。一次調査では、平面測量と簡易貫入試験（一次調査）を実施し、二次調査計画として測線を設定する。

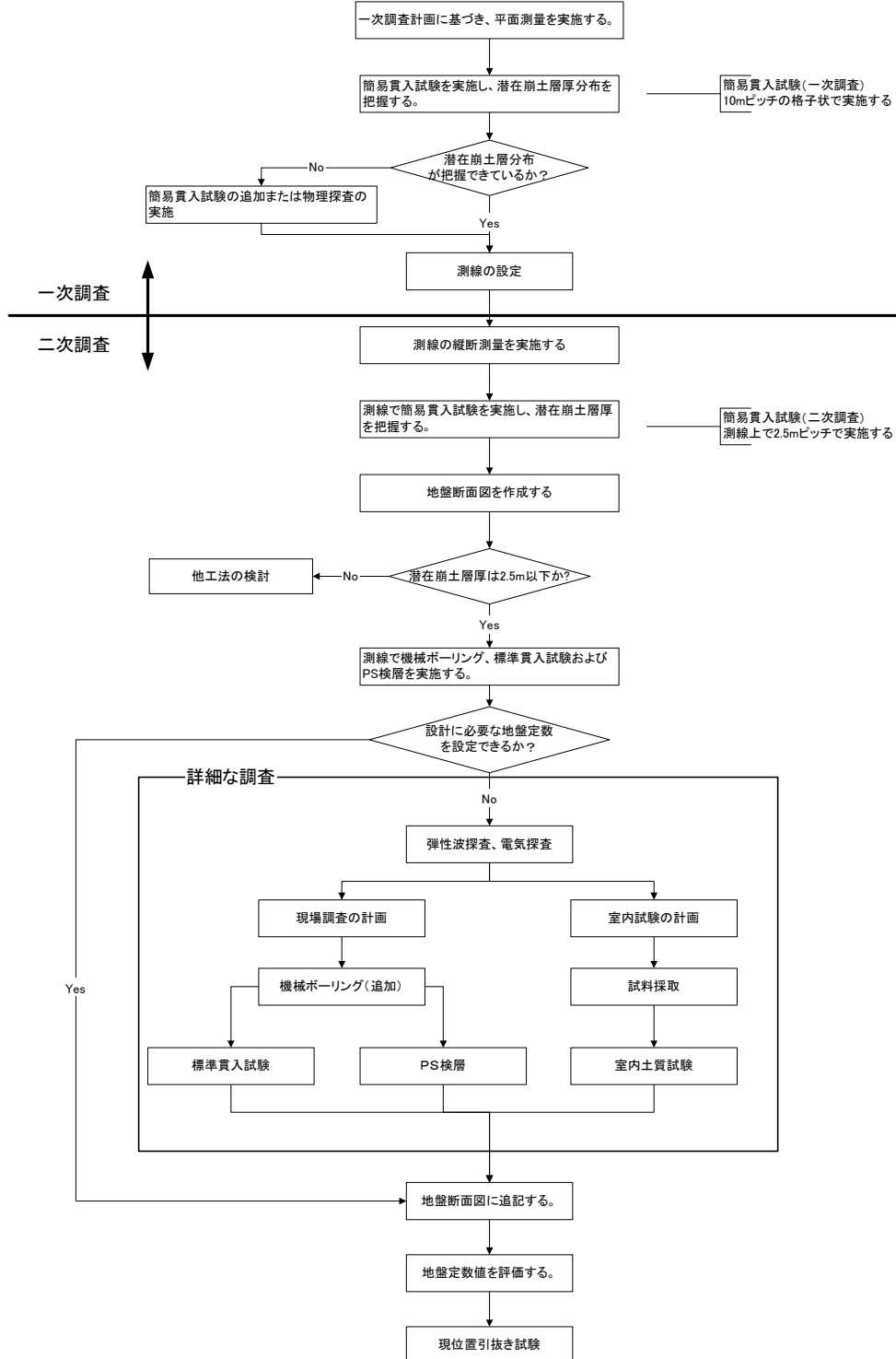


図 3. 3.1 現地調査の流れ

### 3. 3. 1 地形測量（平面測量）

一次調査計画を基に、平面測量を実施する。

#### [解説]

兵庫県公共測量作業規定に準じ、現地調査計画に基づき地形測量を実施する。測量結果から作成する平面図は、縮尺1/500を標準とする。

### 3. 3. 2 簡易貫入試験（一次調査）

一次調査計画を基に簡易貫入試験を実施する。

#### [解説]

簡易貫入試験は、土質構成や性状を、人力搬送が可能な器具を用い簡易に調査する方法である。先端コーンが10cm貫入するときの打撃回数をNc値とする。ただし、この試験法では試料を採取して観察することはできない。

簡易貫入試験（一次調査）は、平面的に潜在崩土層厚の分布を把握するために実施する。簡易貫入試験実施に先立ち、10mピッチで基準杭を設置する。

### 3. 3. 3 潜在崩土層厚分布の把握

簡易貫入試験結果をもとに潜在崩土層厚の分布を把握し整理する。必要に応じ簡易貫入試験を追加または物理探査を実施するものとする。

#### [解説]

潜在崩土層厚分布の把握は、簡易貫入試験を主体として、潜在崩土層厚の平面的な広がりを整理する。潜在崩土層厚の分布を把握することにより、測線の設定や本対策工の平面範囲を決定する資料とする。潜在崩土層の評価は、対象地点周辺の崩壊地の調査から設定することを標準とするが、周辺の崩壊地の調査から判断することが困難な場合は、既往の文献<sup>1)</sup>や調査事例等を参考として設定することもできる。兵庫県では、沖村ら<sup>2)</sup>の文献や現地調査により、Nc=12以下となる表土を潜在崩土層とした（添付資料-6 参照）。ここで、一次調査における潜在崩土層厚は、斜面傾斜が不明のため便宜的に鉛直方向の層厚とする。

潜在崩土層厚の平面分布の把握が困難な場合は、簡易貫入試験の追加または物理探査を検討する。物理探査は、潜在崩土層の下部に岩盤等があり、層境界が明瞭な場合に有効で、以下に示す方法がある。

#### (1) 弾性波探査（屈折法）

設定した測線において、適切な間隔で弾性波探査を実施して速度層区分を行い、地質構造を把握する。

##### (a) 測線設定および測線長

測線方向はできるだけ等高線に直交させて設けることが望ましく、測線数は目的に応じて配置する。測線長は、想定される地盤の速度や層厚などをもとに屈折波の出現距離等を予測して設定することが望まれるが、これまでの多くの知見等から、通常探査深度の5～10倍程度を標準とする。

##### (b) 受振点間隔および発振点間隔

受振点間隔 : 2.5m

発振点間隔 : 上記間隔の5～10倍程度の範囲

##### (c) 波動の種類

P波およびS波の両方の波動を用いることを標準とする。

##### (d) データ解析

解析は、一定の速度を有する（速度）層構造を仮定した「ハギトリ法」を用いることが一般的で



あるが、速度層境界が局部的に大きく変化する場合や徐々に速度が変化する場合には適用が難しい。このような場合は、層構造を仮定しないトモグラフィ手法を適用した解析を併用して総合的な解析を行い、地層構造を把握する。

## (2) 電気探査（比抵抗二次元探査法）

地層は、その性質やおかれている状態に応じて電流の流れやすい部分と流れ難い部分がある。このような電流の流れ易さの違いを比抵抗（単位： $\Omega \cdot m$ ）と呼ばれる物性値で表現し、地質構造を把握する。

### (a) 測線設定および測線長

測線方向はできるだけ等高線に直交する方向で設けることが望ましく、測線数は目的に応じて配置する。測線長は、通常探査深度の5～10倍程度を標準とする。

### (b) 電極間隔

電極間隔：2.5m（潜在崩土層厚が薄い場合は間隔を狭くする必要がある）

### (c) データ解析

データ解析方法としては、主として理論電位計算（シミュレーション）の違いから  $\rho a - \rho u$  法・ $\alpha$  センター法・有限要素法の3種類の方法が実用化されている。

## 3. 3. 4 測線の設定

測線の設定は、斜面最急勾配方向および潜在崩土層厚分布を考慮して設定する。

### 【解説】

測線は、現地踏査で設定した縦断線（斜面最急勾配方向）をもとに設定するが、潜在崩土層厚分布を考慮し必要に応じて測線を追加設定する。このとき、追加設定した測線でも縦断測量を実施する。

### 3. 4 二次調査

二次調査は、各測線について縦断測量を実施し、あわせて地質調査および試験（二次調査）を行い、本対策工の設計および施工に必要な基礎資料を得ることを目的とする。

#### [解説]

二次調査は、安定解析等に必要な地盤断面図を作成するために、設定された測線において縦断測量、簡易貫入試験、機械ボーリングおよび標準貫入試験を実施する。また、設計に必要な地盤定数が得られない場合は、詳細な調査を実施する。

#### 3. 4. 1 地形測量（縦断測量）

設定した測線で縦断測量を実施する。

#### [解説]

兵庫県公共測量作業規定に準じ、縦断測量を実施する。この時、簡易貫入試験を実施するため、水平2.5mピッチの測量点を追加する。

#### 3. 4. 2 簡易貫入試験（二次調査）

設定した測線上で簡易貫入試験を実施する。

#### [解説]

簡易貫入試験（二次調査）の実施間隔は、合理的な安定解析とするため、適用する潜在崩土層厚と同等の水平2.5mピッチを標準とする。ただし、地形の起伏状態によって標準間隔が困難な場合は、測定間隔を変更することができる。簡易貫入試験の方法は**3.3.2簡易貫入試験（一次調査）**に示す方法とし、潜在崩土層厚の評価は**3.3.3潜在崩土層厚分布の把握**に示す方法とする。

#### 3. 4. 3 地盤断面図の作成

縦断測量と簡易貫入試験（二次調査）結果から地盤断面図を作成する。

#### 3. 4. 4 対策工の適用性の判定

地盤断面図から把握した潜在崩土層厚が、平均2.5m以下の場合に本対策工を適用する。

#### [解説]

地盤断面図から斜面直角方向の潜在崩土層厚が2.5m以下であると判断した場合に、本対策工を適用する。潜在崩土層厚が2.5mよりも大きいと判断した場合は、想定される崩壊形態に対して有効な他工法を検討する。

### 3. 4. 5 機械ボーリング、標準貫入試験および PS 検層

機械ボーリングは、地盤構造と地質・土質の判定、岩石・土質試験用の試料採取、標準貫入試験および PS 検層などの各種原位置試験のために実施する。

#### [解説]

機械ボーリングは、深いすべりが無いことを確認するため、1 箇所以上で実施する。機械ボーリングは、採取された試料を直接肉眼で観察でき、各種の岩石・土質試験に供し、その性状を把握できる。

標準貫入試験により得られる N 値は、深度方向の地盤の硬軟を把握することを目的とする。試験ピッチは、深度 5m までは 0.5m ピッチ、深度 5m 以深は 1m ピッチで実施することを標準とする。

PS 検層で得られる P 波速度と S 波速度は、設計時の地盤定数の設定に利用する。

### 3. 4. 6 地盤定数設定のための詳細調査

設計に必要な地盤定数を得るため、詳細な調査を実施するものとする。ただし、対象地区および周辺地区で同様な地層・土質での試験データがある場合は、そのデータを使用することができる。

#### [解説]

設計に必要な地盤定数を得るための試験を実施する必要があると判断された場合、詳細な調査を実施する。調査項目の一覧表を表 3. 4.1 に示す。対象地区の地層状況と地盤の物理特性、強度特性、変形特性を把握し、設計に用いる地盤定数の評価を行う。表 3. 4.1 に示した試験を実施するに際して、経済性、効率性などの理由から、簡易的な地盤定数の評価方法や他の調査事例を参考とする方法（**添付資料-4** 参照）を用いることもできる。表 3. 4.2 に設計に必要な地盤定数を示す。

ただし、対象地区および周辺地区で同様な地層・土質での試験データがある場合は、そのデータを使用することができる。

表 3. 4.1 調査項目一覧表

調査項目		調査概要	設計への対応	適用	備考	
現地調査	測量	平面測量 縦断測量	設計・施工に使用する	◎	平面測量に基づき、縮尺 1/500 (標準) の平面図を作成する 縦断測量では、水平 2.5m ピッチの測量点を追加する	
	弾性波探査	地盤の弾性波速度を評価し、地層構造を把握する	広域な地層区分の判定 深度方向の推定に用いる	○	測線上で実施する	
	電気探査	地盤の比抵抗を評価し、地層構造を把握する	広域な地層区分の判定 深度方向の推定に用いる	○	測線上で実施する	
	簡易貫入試験	表層部の硬軟を Nc 値で評価し、潜在崩土層を把握する	潜在崩土層を設定し、安定解析、変形解析に使用する	◎	一次調査は、10m ピッチを目安として格子状に実施する 二次調査は、水平 2.5m ピッチで実施する	
	機械ボーリング	詳細な地盤状況を把握する ボーリング孔は原位置試験に使用する	詳細な深度方向の土質分類に使用する	◎	代表的な位置で1箇所以上実施する	
	標準貫入試験	ボーリング孔を利用、深度方向の地盤の硬軟を把握する	試験から得られる N 値は、地盤定数の推定に使用する	◎	深度 5m までは 0.5m ピッチ、深度 5m 以深は 1m ピッチで実施することを標準とする	
	PS 検層	ボーリング孔を利用して詳細な深度方向の P 波、S 波速度を求め、地層構造を把握する	設計に必要な初期せん断弾性係数 G0 を評価するために使用する	◎	1m ピッチを標準とする	
室内土質試験	物理特性	土粒子の密度試験	土の固有な性質(密度、粒度)と状態量(含水比、強熱減量)を把握する	深度方向の風化度を判定し、潜在崩土層厚の評価に使用する	◎	攪乱試料を用いる
		含水比試験			◎	攪乱試料を用いる
		粒度試験			◎	攪乱試料を用いる
		強熱減量試験			○	攪乱試料を用いる
		湿潤密度試験	土の単位体積重量を求める	各種、設計計算式に使用する	○	不攪乱試料を用いる
	強度特性	せん断試験	土の強度を求める	試験から得られる地盤定数 c, φ は安定計算に使用する	○	試験は不攪乱試料を標準とする
	変形特性	繰返し三軸試験	土の動的変形特性を把握する	試験から得られる変形係数のひずみ依存性 G/G0 は変形計算に使用する	○	試験は不攪乱試料を標準とする
原位置引抜き試験		地山と注入材の周面摩擦抵抗を求める	設計計算式に使用する	◎	1 計画地に対して潜在崩土層で 3 本以上実施する 不動層については必要に応じて実施する	

適用 ◎：実施すべき調査、○：必要に応じて実施する調査

表 3. 4.2 設計に必要な地盤定数

試験方法	設計に必要な地盤定数	設計条件
湿潤密度試験	単位体積重量 $\gamma_t$	常時・地震時
せん断試験	粘着力 $c$	
せん断試験	内部摩擦角 $\phi$	
原位置引抜き試験	地山と注入材の周面摩擦抵抗 $\tau_p$	常時・地震時
PS 検層	せん断弾性係数 $G_0$	地震時
繰返し三軸圧縮試験	せん断弾性係数のひずみ依存性 $G/G_0$	

(1) PS 検層

ボーリング孔を利用し、適切な測定間隔で P S 検層を実施する。各深度で得られる P 波速度と S 波速度は、設計時の地盤定数の設定に利用する。

(a) 測定方法および測定条件

地表に震源を設置し、ボーリング孔内に受振器をセットして受振するダウンホール法や震源および受振器の両方をボーリング孔内にセットする浮標法（サスペンション PS 検層法）などがある。このうち、浮標法を適用するためにはボーリング孔内に水が保持されていることが必要となる。

原則として測定は裸孔で行われるが、孔壁崩壊のおそれ強い場合には塩化ビニールパイプ等による保孔を行う場合もある。ただし、塩化ビニールパイプと地山を密着させるため、パイプの外側に石灰や砂等を充填する必要がある。

(b) 測定間隔

測定は 1m 間隔を原則とするが、大きな速度変化が想定される表層付近では、0.5m 間隔とする場合もある。また逆に、P 波速度が 3~4km/s 以上の硬質な岩盤が想定される場合には、読みとり精度などの観点から 2m 間隔とする場合もある。

(c) データ解析

ダウンホール法では、読みとった伝播時間と深度との関係をもとに走時曲線を作成して、任意区間の弾性波速度を求める。浮標法では、2 つの受振点間隔と読みとった伝播時間差を用いて、1 ないし 2m 区間（受振器離隔距離）ごとの弾性波速度を求める。

(2) 室内土質試験（物理特性）

地盤の物理特性は、土の固有な性質（土粒子の密度、粒度組成、コンシステンシー限界など）や土の状態量（含水比、土の密度、間隙比、飽和度、強熱減量など）を示し、室内試験により求められる。湿潤密度試験ではネイルサンプリング<sup>3)</sup>などで得られる不攪乱試料を用いる。

(a) 土粒子の密度試験（JIS A 1202）

土粒子の密度試験結果は、間隙比や飽和度などの地盤定数を算出するために利用する。

(b) 含水比試験（JIS A 1203）

含水比は、土を構成している土粒子・水・空気のうち、土粒子に対する水の質量比を表したものである。土粒子の密度とあわせて、飽和状態での間隙比と湿潤密度を推定することが出来る。

(c) 粒度試験（JIS A 1204）

粒度試験の結果は、主として土の分類に用いられる。また、粒度試験結果から透水係数の概略値を推定する方法が従来から用いられている。

(d) 強熱減量試験 (JIS A 1226)

強熱減量試験は、あらかじめ  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  で炉乾燥した土を  $750 \pm 50^\circ\text{C}$  で加熱することによる質量の減少量から、土に含まれる有機物量および結合水量や結晶水量の目安を得るための最も簡便な方法である。

(e) 湿潤密度試験 (JIS A 1225)

土の湿潤密度は、土圧や安定計算などの設計に必要な単位体積重量の算定に用いられる。試験は不攪乱試料を用いて行う。

(3) 室内土質試験 (強度特性)

せん断試験は、設計に必要な強度定数( $c$ ,  $\phi$ )を設定するために実施する。

試験には、不攪乱試料を用いることを標準とするが、サンプリングが困難な場合は、攪乱試料を現地の密度に調整して用いることができる。

(4) 室内土質試験 (変形特性)

変形試験は、設計に必要な変形係数のひずみ依存性( $G/G_0$ )を設定するために実施する。変形試験は、繰返し三軸試験 (JGS0542-2000) を標準とする。

試験には、不攪乱試料を用いることを標準とするが、サンプリングが困難な場合は、攪乱試料を現地の密度に調整して用いることができる。

### 3. 4. 7 地盤断面図の追記

試験の結果を踏まえ総合的に判断して地盤断面図を追記する。

### 3. 4. 8 地盤定数の評価

地盤定数は、地質調査・試験結果を整理し、総合的な検討のもとに評価する。

#### 【解説】

本対策工の設計に必要な地盤定数（表 3. 4.2）について、実施した地質調査・試験結果をとりまとめ、地層区分された層毎に総合的に評価する。地盤定数の評価は、地盤の複雑さや不確実性から、地質調査・試験結果のみで評価するのではなく、類似した地質での調査や近傍にある崩壊事例などを考慮し、総合的に評価することが望ましい。

### 3. 4. 9 原位置引抜き試験

地山と注入材の周面摩擦抵抗は、事前に引抜き試験を実施して決定することを原則とする。

#### 【解説】

地山と注入材の周面摩擦抵抗は、地震時の変形量の算定（二層構造の場合）やロックボルトの引抜き抵抗力の算定に用いる。調査段階で引抜き試験を実施することが困難な場合は、施工段階で設計変更が可能な早い時期に、設計値の妥当性を確認するために実施することを原則とする。

原位置引抜き試験は、潜在崩土層と不動層で実施する。ただし、不動層での周面摩擦抵抗については、標準貫入試験のN値から推定することもできる。試験箇所は、1計画地に対して潜在崩土層では3本以上、不動層では必要に応じて実施することを原則とする。

ただし、周辺近傍で同様な地質条件のもと既に引抜き試験を実施している場合など、十分な基礎資料を得られる場合はそれを参考としてよい。

潜在崩土層での引抜き試験は、潜在崩土全層定着で実施することを標準とする（**添付資料-5** 参照）。

#### 【引用文献】

- 1) 曾我部匡敏・寺田秀樹・近藤浩一：簡易貫入試験を用いた崩壊の恐れのある層厚推定に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料,2005.
- 2) 沖村孝・田中茂：一試験地における風化花こう岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究,新砂防,116,pp.7-116,1980.
- 3) 社団法人地盤工学会：土質試験の方法と解説,p.764,2000.

## 4. 設計

### 4. 1 概説

設計は、現地調査を基に本対策工の常時および地震時における適用性を判定し、対策範囲を決定するために行う。

[解説]

#### (1) 設計の基本的な考え方

設計は、現地調査を基に本対策工の特徴を考慮して、常時および地震時における適用性を判定する。また、現地斜面の起伏、露頭や植生あるいは周辺の利用状況など施工性についても留意して対策範囲を決定するものとする。地震時設計においては、従来の設計の考え方と大きく異なり、想定される地震動に対する変形量から本対策工の適用性を判断する手法をとっている。従って、今後の点検、維持管理などのデータの蓄積によって、さらに経済的・合理的な設計が可能になると考える。

#### (2) 斜面安定効果の考え方

ロックボルト、ロープネットおよび支圧板の組合せによる柔軟な構造によって、地山の変形挙動に追随しながら地山の強度を補強し安定性を高めているものとする。

ロックボルトは、斜面が変形しようとする段階で引張り補強効果を発揮し、ロープネットは斜面上方から引き止める効果および土塊をロープネット内に保持する効果を持つと考える。また支圧板は、ロックボルトの付着効果を高め引張り補強を増加させる働きがあるものとする。

地盤が変形することによって上記の効果が発揮されることから、本指針では特に地震時の変形量を基に安定性を評価する考え方を導入している。このことにより、発生確率は小さいが、破壊力が大きい直下型地震に対して、ある程度の変形を許すことで過剰な補強構造を避け安定性を確保するものである。また、周期的に発生する海溝型地震に対しても、最大加速度が大きくない地域においては、直下型地震に対する設計方法で安定性を確保できると考える(添付資料-22 参照)。なお、最大加速度が大きくなる地域については、別途検討を要する。

本対策工では表 4. 1. 1 に示すように、鉄筋径 D22 のロックボルト、公称径 8 mm~12mm のロープネットやワイヤー、φ 300mm, □300mm×300mm(角部 R 加工)の支圧板を用いる。使用する対策工には、腐食対策としてメッキ処理を施すことを標準とする。ロックボルトは 2m 間隔の千鳥配置とし、ロープネットのメッシュサイズは 0.5m の格子とする。これらの諸元は、基本的には変更しない(樹木の状況や斜面の状況による若干の変更は除く)。ただし、ロックボルトの長さや削孔径については、変更できる。ロックボルトの長さは潜在崩土層厚に応じて変更し、削孔径は単管足場等を利用せず施工できる削孔機で施工可能な径を用いることを標準とする。したがって、本対策工の設計とは、本対策工の適用性や対策範囲を検討することを意味する。

表 4. 1. 1 本対策工の諸元

ロックボルト	配置間隔：2.0m 千鳥 鉄筋径：D22 長さ：潜在崩土層厚の 2 倍 打設角度：斜面直角方向
ロープネット	ロープネット径：公称径 8 mm~12mm メッシュ間隔：0.5m
支圧板	形状：円形 サイズ：φ 300mm, □300mm×300mm(角部 R 加工)



## 4. 2 常時設計

- (1) 常時設計では、降雨により発生する表層崩壊に対して、本対策工が適用できるか判定し施工範囲を決める。
- (2) 本対策工を考慮した安全率は、計画安全率を満足しなければならない。

### [解説]

本対策工は、自然斜面がかろうじて安定を保っている状態で施工するものとする。常時とは、自重によって斜面安定が損なわれる状態を意味するのではなく、降雨に対して安定を保つかどうかを判定するものである。降雨による表層崩壊の要因としては、様々なものが考えられるが、飽和度の増加による見かけの粘着力の低下によって崩壊が発生すると便宜的に考え、常時設計を実施する。

常時の設計では既往の諸基準を参考に計画安全率1.20（添付資料-9 参照）を標準とし、本対策工を考慮した安全率はそれを満足しなければならない。

常時の設計の流れを図4.2.1に示す。

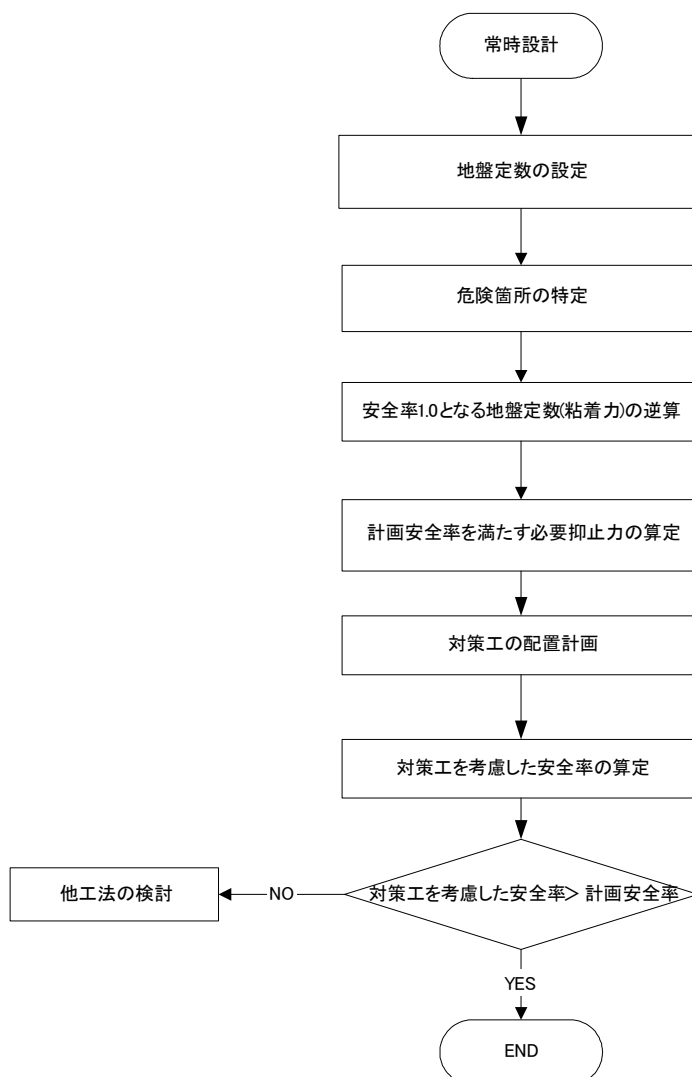


図 4. 2.1 常時の設計の流れ

#### 4. 2. 1 地盤定数の設定（常時）

地盤定数は、現地調査を基に設定する。

##### 【解説】

現地調査から、常時設計に必要となる地盤定数を設定する。主な地盤定数としては、粘着力、内部摩擦角があげられる。常時設計では降雨を対象とするため、周辺での調査事例ならびに崩壊事例等を参考に適切な地盤強度を選定することに留意する。

#### 4. 2. 2 危険箇所の特定（常時）

常時の危険箇所は、多平面安定解析または円弧すべり法により特定するものとする。

##### 【解説】

常時の危険箇所は、多平面安定解析<sup>1)</sup>または円弧すべり法<sup>2)</sup>の計画安全率（1.20を標準）を下回る範囲とする。

これまで安定解析には、一般的に円弧すべり法が広く使われているが、自然斜面の表層崩壊の場合、有限個のブロックの組み合わせで危険箇所を特定できる多平面安定解析<sup>1)</sup>が適しているとの報告があることから、本指針ではどちらかの安定解析手法を使用するものとする。

以下に安定解析の概要を示す。

##### (1) 多平面安定解析の概要

多平面安定解析は、以下の仮定から各ブロック間の力の釣り合いにより安定性を評価する手法である。

- ・ブロックの組み合わせによってすべり土塊が形成される。
- ・仮定すべり土塊の上端ではブロック間の境界に沿って鉛直方向にすべり面が現れるものとする。
- ・すべり面下端部は、すべり地表面へ対角線に沿ってすべり面が現れる。
- ・上端、下端以外のすべり面は潜在すべり面に沿って現れる。

以上の仮定のもとに  $n$  個のブロックにより覆われている斜面の危険すべり面を求める。

図 4. 2. 2 に多平面安定解析のモデルを示す。

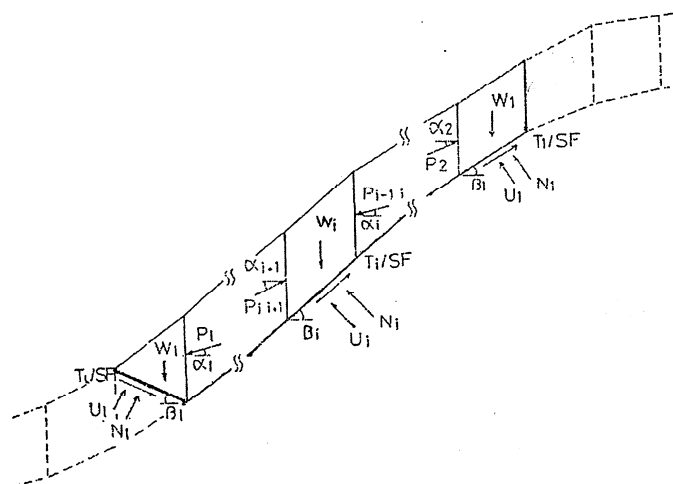


図 4. 2. 2 多平面安定解析モデル<sup>1)</sup>

このモデルの  $i$  番目ブロックの力の釣り合いは次式で得られる。

$$-P_{i-1,i} \sin \alpha_i - W_i + T_{mi} \sin \beta_i + (U_i + N_i) \cos \beta_i + P_{i,i+1} \sin \alpha_{i+1} = 0 \quad (4.2.1)$$

$$T_{mi} = \frac{P_{i-1,i} \cos \alpha_i - T_{mi} \cos \beta_i + (U_i + N_i) \sin \beta_i - P_{i,i+1} \cos \alpha_{i+1}}{\frac{c \Delta l_i}{Fs} + \frac{(N_i - u_i) \tan \phi}{Fs}} = 0 \quad (4.2.2)$$

$$T_{mi} = \frac{c \Delta l_i}{Fs} + \frac{(N_i - u_i) \tan \phi}{Fs} \quad (4.2.3)$$

ここで、

$P_{i,i+1}$  : ブロック  $i$  と  $i+1$  の間の境界で法線に  $\alpha_{i+1}$  の角度で作用する力

$W_i$  :  $i$  番目のブロックの重量

$T_{mi}$  : すべり面上で働いているせん断力

$U_i$  : すべり面上の水圧(本設計では、本工法が常時地下水位のある箇所等で使用しないことを前提としているため、水圧は考慮しない。)

$N_i$  : すべり面上の抵抗力

$u_i$  : すべり面上の過剰間隙水圧

$Fs$  : 安全率

$c$  : 粘着力

$\phi$  : 内部摩擦角

$\beta_i$  : すべり面の傾き

$\Delta l_i$  :  $i$  番目のブロックの潜在すべり面長

$\alpha_{i+1}$  : ブロック間外力の傾き(=  $\beta_i/3$ )

式(4.2.1)、(4.2.2)と(4.2.3)から  $N_i$ 、 $P_{i,i+1}$  が次のように求められる。

$$N_i = (W_i \cos \alpha_{i+1} + B_i T_{mi} - A_i P_{i-1,i} - C_i U_i) / C_i \quad (4.2.4)$$

$$P_{i,i+1} = (D_i P_{i-1,i} + W_i \sin \beta_i - T_{mi}) / C_i \quad (4.2.5)$$

ここで、

$$A_i = \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)$$

$$B_i = \sin(\alpha_{i+1} - \beta_i)$$

$$C_i = \cos(\beta_i - \alpha_{i+1})$$

$$D_i = \cos(\beta_i - \alpha_i)$$

式(4.2.3)～(4.2.5) から  $i=1$ 、 $l-1$  まで順次求められる。

第  $l$  ブロックでは、式(4.2.6)、(4.2.7)のようになる。

$$N_l = (W_l \cos \alpha_l + G_l T_{ml} - E_l U_l) / E_l \quad (4.2.6)$$

$$P_l = (W_l \sin \beta_l + T_{ml}) / E_l \quad (4.2.7)$$

ここで、

$$E_l = \cos(\alpha_l + \beta_l)$$

$$G_l = \sin(\alpha_l + \beta_l)$$

安全率  $F_s$  を仮定することにより  $P_{l-1,l}$  と  $P_l$  を求めることができる。ここで以下の条件を満たすように一連の計算を行い、安全率を求める。収束限界  $\varepsilon$  を 0.001 とする。

$$|P_{l-1,l} - P_l| < \varepsilon \quad (4.2.8)$$

(2) 円弧すべり法の概要

円弧すべり法<sup>2)</sup>は、スライス分割法のうち最も簡単なもので、すべり土塊を数個以上の鉛直なスライスに分けスライス底面のせん断強さと、すべり土塊の滑動力との比を安全率とする方法である。

$$F_s = \frac{\sum c_i \cdot l_i + \sum N_i \cdot \tan \phi_i}{\sum T_i} \quad (4.2.9)$$

ここで、

- $F_s$  : 安全率
- $N_i$  : 分割片の重力による法線力 ( $N_i = W_i \cdot \cos \theta_i$ ) (kN/m)
- $T_i$  : 分割片の重力による接線力 ( $T_i = W_i \cdot \sin \theta_i$ ) (kN/m)
- $l_i$  : 分割片底面長さ (m)
- $\theta_i$  : 分割片の底面が水平面となす角度 (度)
- $\phi_i$  : 移動土塊の内部摩擦角 (度)
- $c_i$  : 移動土塊の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $W_i$  : 単位幅あたりの分割片重量 (kN/m)

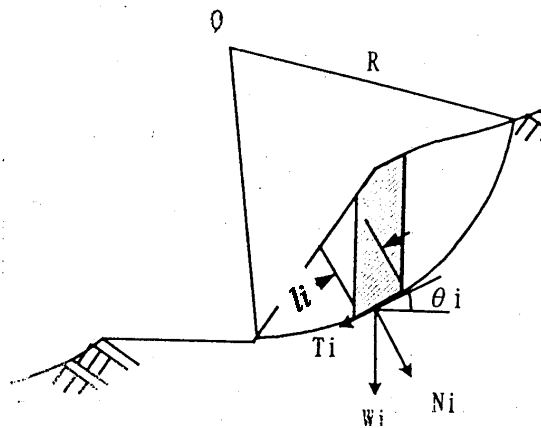


図 4. 2.3 円弧すべり法<sup>2)</sup>

円弧すべり法は、円中心が斜面に近いと深いすべり面を描くため、表層崩壊に対する考慮が必要である。そのためには円中心を遠方に置くこと、岩盤内に滑り面が生じないことなどの条件を設定する必要がある。

#### 4. 2. 3 安全率 1.0 となる地盤定数(粘着力)

安定解析で用いる地盤定数は、降雨時の強度低下を考慮し現状安全率が 1.00 となるように地盤定数(粘着力)を逆算することを標準とする。

##### [解説]

降雨時の斜面崩壊は、集水面積、降雨浸透特性、飽和度の増加による見かけの粘着力の低下および間隙水圧等の複雑な要因を考慮する必要があるが、予防工法の設計の場合、従来から現状安全率を1.00において地盤定数を逆算することで複雑な要素を考慮している。

本手法の安定解析で用いる地盤定数は、降雨時の強度低下を考慮し現状安全率が1.00となるように粘着力だけを逆算するものとする。本対策工の適用性を検討したモデル地区の土(神戸市須磨区:マサ土、姫路市安富町:粘土質砂礫)を対象として、含水比を変えた三軸試験を実施した結果、内部摩擦角はほとんど変化しないが、粘着力は含水により減少したことを確認している(添付資料-4 参照)。

#### 4. 2. 4 計画安全率を満たす必要抑止力

計画安全率を満たす必要抑止力を次式により算定する。

$$P_r = F_{sp} \cdot \sum T_i - (\sum N_i \cdot \tan \phi_i + \sum c_i \cdot l_i) \quad (4.2.10)$$

ここで、

$F_{sp}$  : 計画安全率

$P_r$  : 必要抑止力(kN/m)

$N_i$  : 分割片の重力による法線力( $N=W_i \cdot \cos \theta_i$ ) (kN/m)

$T_i$  : 分割片の重力による接線力( $T_i=W_i \cdot \sin \theta_i$ ) (kN/m)

$l_i$  : 分割片のすべり面長(m)

$\phi_i$  : 移動土塊の内部摩擦角(°)

$c_i$  : 移動土塊の粘着力(kN/m<sup>2</sup>)

$W_i$  : 単位幅当たりの分割片重量(kN/m)

$\theta_i$  : すべり面の傾斜角(°)

#### [解説]

必要抑止力とは、計画安全率1.20まで補強するために必要な抵抗力のことである。

円弧すべり法の場合は、スライス分割した土ブロックの重量に対する安全率を求める式 (4.2.11)を式 (4. 2.12) から式 (4.2.10) に変形して求める。

$$F_s = \frac{\sum c_i \cdot l_i + \sum N_i \cdot \tan \phi_i}{\sum T_i} \quad (4.2.11)$$

計画安全率 $F_{sp}$ とし

$$F_{sp} \cdot \sum T_i = \sum N_i \cdot \tan \phi_i + \sum c_i \cdot l_i + P_r \quad (4.2.12)$$

多平面安定解析の場合は、計画安全率を満足しない範囲を危険箇所として、複合すべりによるスライス分割法を用いて必要抑止力 $P_r$ を算出する(添付資料-10 参照)。

#### 4. 2. 5 対策工の配置計画（常時）

常時の危険箇所に対して、本対策工の配置計画を策定する。

本対策工の標準配置は、2m 間隔の千鳥配置とし、ロープネットのメッシュサイズは 0.5m の格子を標準とする。

ロックボルトの長さは、対策範囲の潜在崩土層厚さの平均に標準偏差を考慮した厚さの 2 倍を標準とする。またロックボルトの打設角度は、斜面に直角方向に打設することを標準とする。

##### [解説]

本対策工の配置計画は、安定解析を用いて検討した常時の危険箇所に対して策定する。この配置計画とは、対策工の施工範囲とロックボルトの長さを決定するものであり、その他の諸元（表4.1.1参照）は固定し、基本的には変更しない（樹木の状況や斜面の状況による若干の変更は除く）。

本対策工の標準配置は、2m間隔の千鳥配置とし、ロープネットのメッシュサイズは0.5mの格子である。ロックボルトは、危険箇所の最下端から斜面上部に向けて配置し、危険箇所の上部にロックボルトを1段追加設置することを標準とする。これは、土塊が移動した場合にロープネットの引止め効果を期待するからである。ロックボルトの長さは、ドリルタイプの削孔機で削孔可能な5m程度を上限として、対策範囲の潜在崩土層厚さの平均（図 4. 2.4に示すL2～L7の平均）に標準偏差を考慮した厚さの2倍を標準とする。

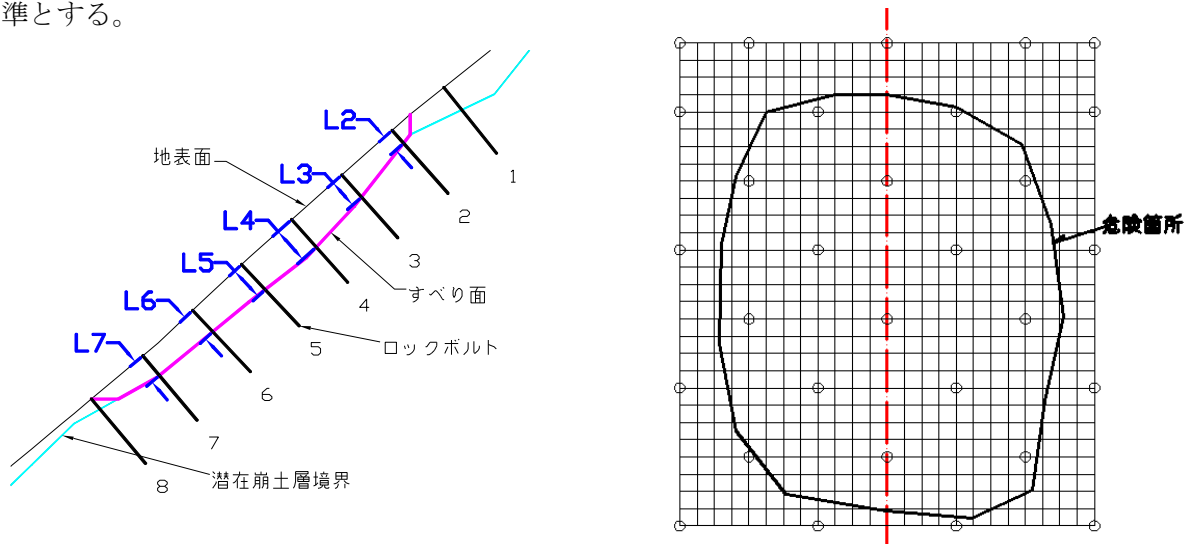


図 4. 2.4 潜在崩土層厚の考え方と平面配置

潜在崩土層厚は、安定解析で得られたすべり面の各場所によって異なるため、平均値を算出し、安定性を考え標準偏差を加えた基準となる厚さ（ $h$ ）とする。

$$h = l_{ave} + \sigma \quad (4.2.13)$$

ここで、 $h$  : 基準となる潜在崩土層厚  
 $l_{ave}$  : すべり面内の潜在崩土層厚の平均値  
 $\sigma$  : 標準偏差

ロックボルトの長さは、基準となる潜在崩土層厚の2倍とする。

$$L_{RB} = 2 \cdot h \quad (4.2.14)$$

ここで、 $L_{RB}$  : ロックボルトの長さ

#### 4. 2. 6 対策工を考慮した安全率

本対策工の効果は、地盤が変形することでロックボルトに引張り力が発生し、地盤に対して引き止め効果および締め付け効果を及ぼすものとする。

対策後の安定性の検討は、ロックボルトの効果을考慮した簡便法による安定計算を行う。

[解説]

対策後の安定性の検討は、配置計画により策定した対策工を考慮した場合の安全率を安定解析により算定する。安定解析方法は、直線すべり法または円弧すべり法で行う。安全率はすべり面上に作用する力の釣り合いから次式により求められる。

(1) 直線すべり法

$$Fs = \frac{S1+S2+S3}{T} \geq Fsp \quad (4. 2. 15)$$

ここで、

- $T$  : すべり力 (kN/m)
- $S1$  : 土塊のすべり抵抗力 (kN/m)
- $S2$  : ロックボルトの引止め力 (kN/m)
- $S3$  : ロックボルトの締め付け力 (kN/m)
- $Fsp$  : 計画安全率

$$Q = W \cdot \sin \theta \quad (4. 2. 16)$$

ここで、

- $W$  : 単位幅あたりの移動土塊重量 (kN/m)
- $\theta$  : すべり面の水平方向となす角度 (° )

$$S1 = c \cdot l + W \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi \quad (4. 2. 17)$$

ここで、

- $c$  : 土の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $l$  : 各分割片できられたすべり面の長さ (m)
- $\phi$  : 土の内部摩擦角 (° )

$$S2 = Tm \cdot \cos \beta \quad (4. 2. 18)$$

ここで、

- $Tm$  : ロックボルトの設計引張り力 (kN/m)
- $\beta$  : ロックボルトとすべり面のなす角度 (° )

$$S3 = Tm \cdot \sin \beta \cdot \tan \phi \quad (4. 2. 19)$$

$$Tm = Td / SH, \quad Td = \lambda \cdot Tpa \quad (4. 2. 20)$$

ここで、

- $Td$  : ロックボルトの設計引張り力 (kN/本)



$\lambda$  : ロックボルトの引張り力の低減係数(=0.7)  
 $Tpa$  : ロックボルトの引張り力(kN/本)  
 $SH$  : ロックボルトの水平方向打設間隔(m)

(2) 円弧すべり法

$$Fs = \frac{Mr + \Delta Mr}{Md} \geq Fsp \quad (4.2.21)$$

ここで、

$Mr$  : 土塊の抵抗モーメント(kNm/m)  
 $Md$  : 土塊の滑動モーメント(kNm/m)  
 $\Delta Mr$  : ロックボルトによる抵抗モーメント(kNm/m)

$$Md = R \cdot \sum W_i \cdot \sin \theta_i \quad (4.2.22)$$

ここで、

$R$  : すべり円弧の半径(m)  
 $W_i$  : 分割片の重量(kN/m)  
 $\theta_i$  : 分割片で切られたすべり面の水平方向となす角度(°)

$$Mr = R \cdot \sum \{c_i \cdot l_i + W_i \cdot \cos \theta_i \cdot \tan \phi_i\} \quad (4.2.23)$$

ここで、

$c_i$  : すべり面での土塊の粘着力(kN/m<sup>2</sup>)  
 $l_i$  : 分割片で切られたすべり面の弧長(m)  
 $\phi_i$  : すべり面での土塊の内部摩擦角(°)

$$\Delta Mr = R \cdot \sum \{Tm \cdot \cos \beta_i + Tm \cdot \sin \beta_i \cdot \tan \phi_i\} \quad (4.2.24)$$

ここで、

$Tm$  : ロックボルトの設計引張り力(kN/m)  
 $\beta_i$  : ロックボルトと分割片で切られたすべり面となす角度( $\alpha_i + \theta_i$ )(°)  
 $\phi_i$  : すべり面での土塊の内部摩擦角(°)

$$Tm = Td / SH, \quad Td = \lambda \cdot Tpa \quad (4.2.25)$$

ここで、

$Td$  : ロックボルトの設計引張り力(kN/本)  
 $\lambda$  : ロックボルトの引張り力の低減係数(=0.7)  
 $Tpa$  : ロックボルトの引張り力(kN/本)  
 $SH$  : ロックボルトの水平方向打設間隔(m)

#### 4. 2. 7 対策工の適用性の判定

- (1) 本対策工の適用性は、安全率により判定する。
- (2) 本対策工を考慮した安全率が、計画安全率を満足しなければならない。

##### [解説]

本対策工を考慮した安全率が計画安全率を満足しない場合には、本対策工を適用せず他工法を検討する。計画安全率は、以下を標準とする。

$$F_{sp}=1.20$$

計画安全率については、「治山技術基準解説・地すべり防止編」<sup>3)</sup>に準じて定めた。他の基準類に示してある現状安全率ならびに計画安全率の設定例を**添付資料-9**に示す。

#### 4. 3 地震時設計

- (1) 地震時設計では、地震により発生する表層崩壊に対して安定解析によって施工範囲を決め、変形量から適用できるか判定する。
- (2) 設計に用いる最大水平加速度は、地域防災計画を基に距離減衰式を用いて設定するものとする。
- (3) 地層構造が単層構造の場合は、地震時のせん断ひずみが5%以内でなければならない。
- (4) 地層構造が二層構造の場合は、地震時のすべりひずみが10%以内であり、かつ地震時のせん断ひずみが5%以内でなければならない。
- (5) ロープネットやロックボルトは、局所破壊時に対策工に作用する土塊重量に対し、必要耐力を満足しなければならない。

##### [解説]

一般に、地震の発生頻度は集中豪雨などに比べ低く、地震の継続時間が短いため、現場における観察や計測で自然斜面の地震時挙動を把握することが困難である。そこで振動台模型実験ならびに動的解析から簡易に変形量を算出する式を提案し、変形は許すが破壊には至らない限界ひずみを設定した。

地震時の表層崩壊は、表層がせん断変形し崩壊に至る場合と、表層がすべるように滑動し崩壊に至る場合があることが模型実験から判明した。このため、変形量の算出方法を単層構造と二層構造でそれぞれに定めた。また、判定基準として、単層構造ではせん断ひずみを、二層構造ではすべりひずみとせん断ひずみを判定基準とした。

二層構造における模型実験では、すべりひずみが卓越するものの、せん断ひずみも計測されたため、二層構造の場合には、すべりひずみとせん断ひずみの両方を判断基準とした。

地層構造が不明瞭な場合には、すべりひずみとせん断ひずみのどちらが卓越するかの判断が困難であるため、すべりひずみとせん断ひずみの両方の判断基準を適用する。

地震時設計の流れを図 4.3.1 に示す。

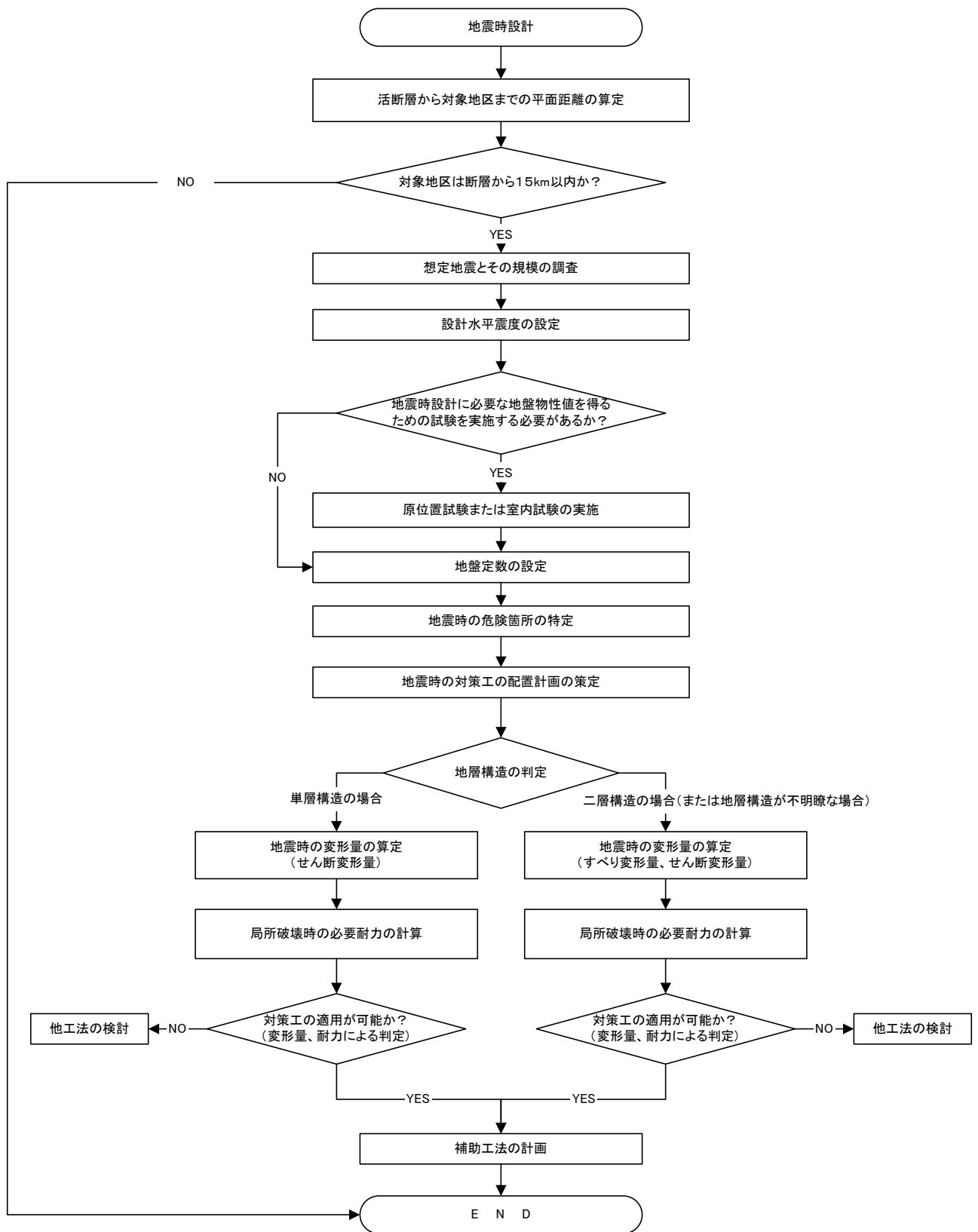


図 4.3.1 地震時設計の流れ

#### 4. 3. 1 対象地区から活断層までの距離

対象地区から地域防災計画で想定されている活断層までの距離を算定する。

##### [解説]

活断層は、長さ、深さ、傾斜、走行をもつ面であるため、距離の取り方によって減衰量が異なるので注意する必要がある。本指針では、設計対象地区と地表面に投影された活断層までの最短距離を算出することを原則とする。

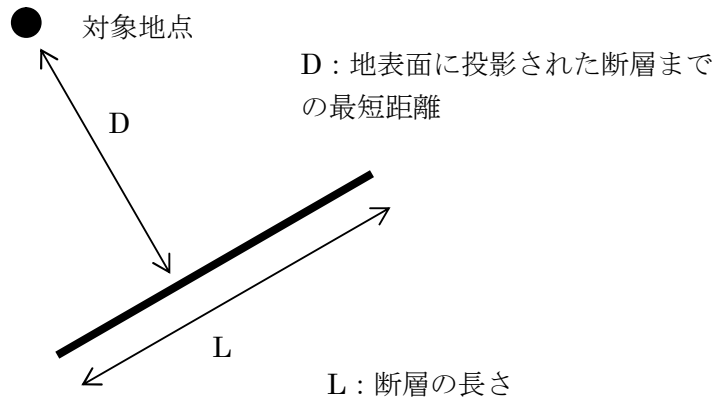


図 4. 3.2 活断層からの距離の算定方法

#### 4. 3. 2 地震時設計の必要性判断

対象地区が、地域防災計画で想定されている活断層から 15km 以内の範囲では、地震時設計を実施する。

##### [解説]

対象地区が、地域防災計画で想定されている活断層から 15km 以内の範囲では、地震時設計を実施する。15km を超える場合は、地震時設計を実施しない。

地震時設計の必要範囲については、林野庁の山地災害危険地区調査要領や過去の地震による崩壊事例を参考に活断層からの距離 15km 以内を設定した。海溝型地震を想定した長周期、長継続時間の振動台実験では、中央防災会議で想定されている東海・東南海・南海地震動の兵庫県における最大加速度に対し、単層・二層構造ともに無対策斜面においても天端にクラックは発生したものの、斜面崩壊に至らなかった。そのため、直下型地震のみを対象とすることとした。ただし、これを上回る最大加速度等が想定される場合は、別途検討が必要である。

#### 4. 3. 3 想定地震とその規模の調査

地域防災計画に示される想定地震とその規模を調査する。

[解説]

兵庫県地域防災計画(地震災害対策計画)<sup>4)</sup>に示される想定地震を図 4. 3. 3 に示す。

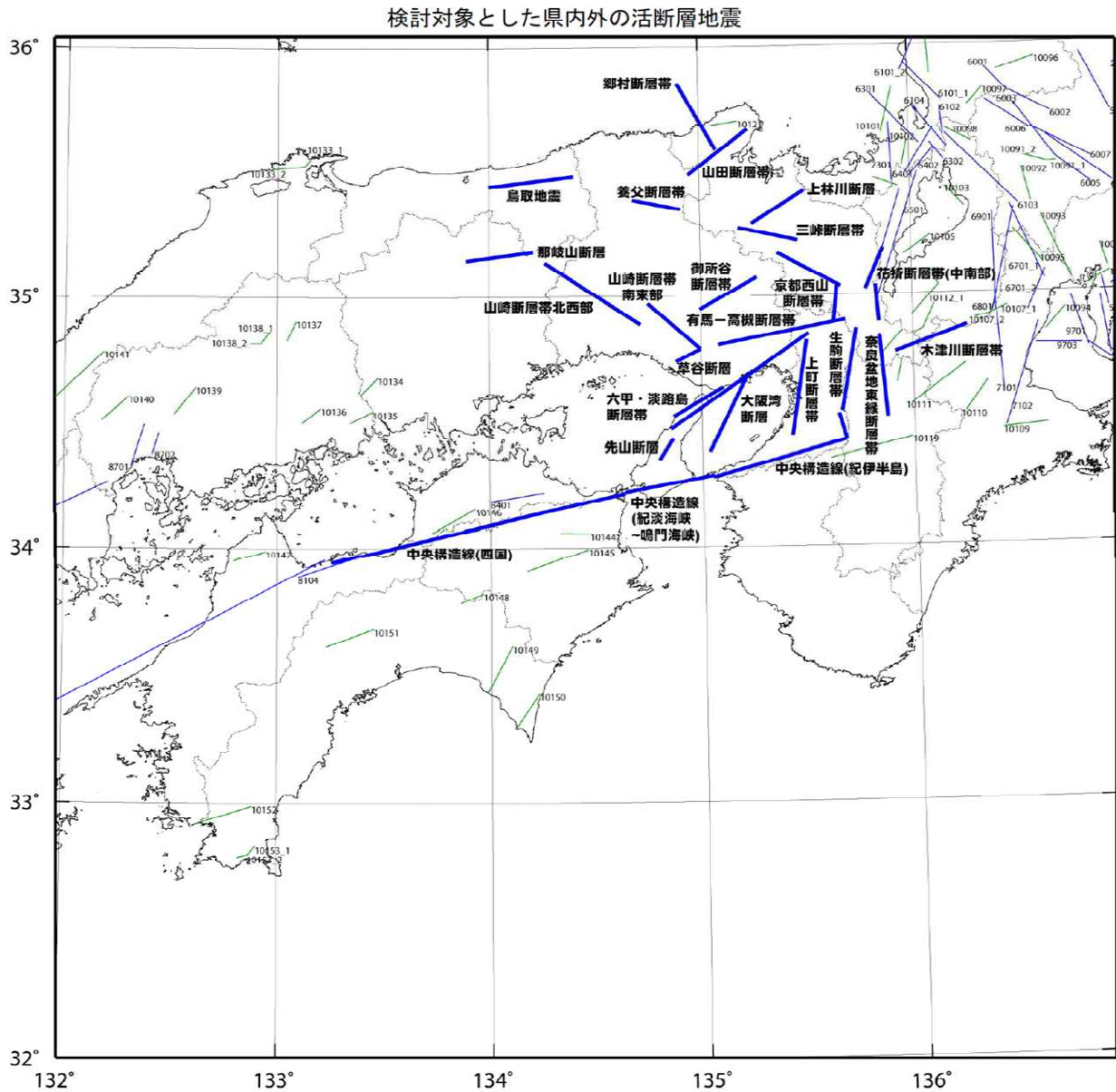


図 4. 3. 3 想定地震の断層モデル<sup>4)</sup> (兵庫県地域防災計画から抜粋)

#### 4. 3. 4 設計水平震度の設定

対象地区での最大水平加速度は、想定地震とその規模および対象地区までの距離を用いて算定する。最大水平加速度の算定に用いる Joyner&Boore (以下、J&B) の距離減衰式<sup>9)</sup>を以下に示す。

$$\log A = -1.02 + 0.249M_w - \log r - 0.00255r \quad (4.3.1)$$

$$r = (D^2 + 7.3^2)^{1/2}$$

ここで、 $A$  : 最大水平加速度(G)  
 $M_w$  : モーメントマグニチュード  
 $D$  : 地表面に投影された断層までの最短距離(km)

設計水平震度は、J&B の距離減衰式から算出した最大水平加速度の 0.65 倍を重力加速度で除した値を用いるものとする。

##### [解説]

地震動の予測は活断層からの距離減衰式を基にして最大加速度を設定する。本指針では、兵庫県南部地震の測定記録とよく整合し、直下型地震のような断層近傍で適応性が高い J & B の距離減衰式を用いる。

気象庁マグニチュード  $M_j$  からモーメントマグニチュードへの変換は、式 4.3.2 により変換する。

$$M_w = 0.78M_j + 1.08 \quad (4.3.2)$$

ここで  $M_j$  は気象庁マグニチュードである。

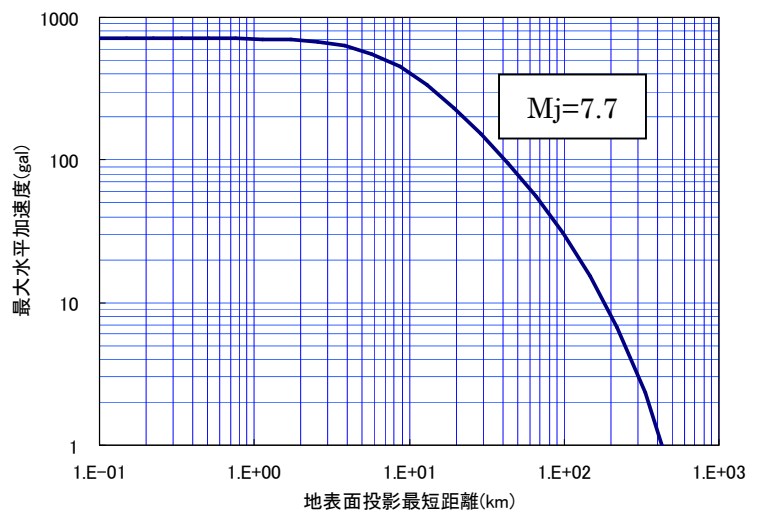


図 4. 3.4 最短距離と最大水平加速度の例

設計水平震度は、J & B の距離減衰式の最大水平加速度を等価な震度に換算した値とし、その換算係数は 0.65 とする(添付資料-13 参照)。

#### 4. 3. 5 地盤定数の設定 (地震時)

地盤定数は、現地調査を基に現場の動的な変形特性を表す定数を設定する。

##### [解説]

地震時設計に用いられる地盤定数(単位体積重量、粘着力、内部摩擦角、初期せん断弾性係数、せん断剛性率のひずみ依存性など)を設定する。これら地盤定数が不明な場合は、室内試験等を実施して設定するものとする。周辺地域の地質調査など十分な資料を得ることができる場合は、それらを参考にして地盤定数を設定しても良い。

#### 4. 3. 6 危険箇所の特定（地震時）

地震時の危険箇所は、多平面安定解析手法に設計水平震度を考慮して特定するものとする。なお、設計水平震度は、地形効果震度法で補正したものを用いる。

##### 【解説】

地震時の危険箇所は、地形効果震度法を考慮した多平面安定解析で最小安全率を示す範囲を標準とする。

##### (1) 地形効果震度法

地形効果震度法は、図 4. 3.5に示すように、比高に応じて設計水平震度を補正する方法である。一般に、尾根部では地形効果によって地震の加速度が増幅する。この地形効果を静的に水平震度に考慮するため、比高に応じて補正係数を設定する（添付資料-15 参照）。この補正係数は2を上限とし、下図の通り比高により使い分ける。

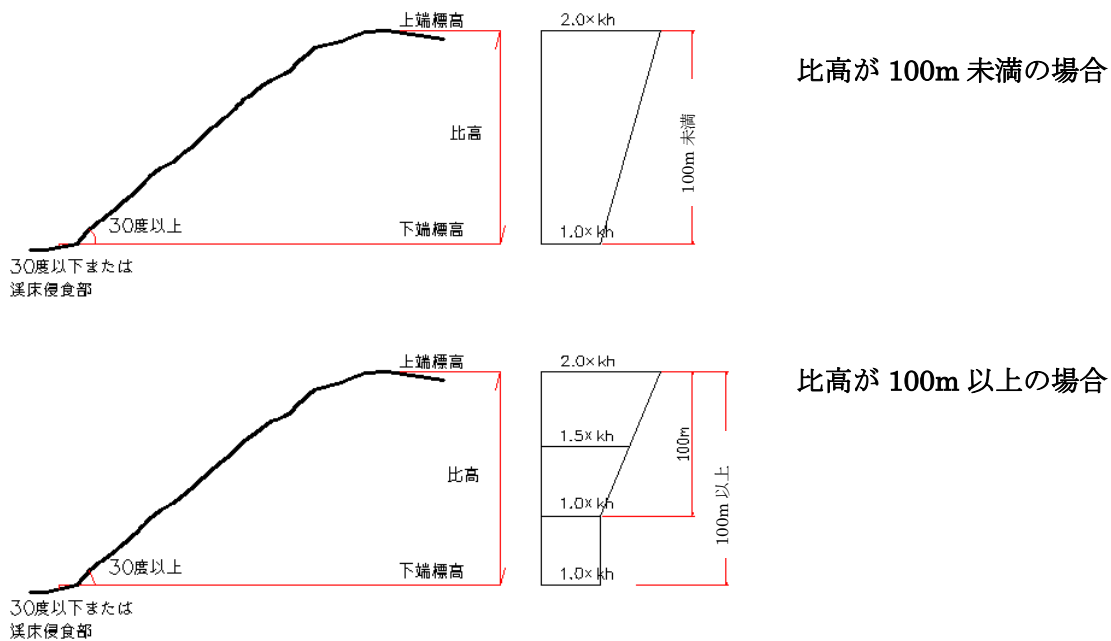


図 4. 3.5 地形効果震度法



(2) 地震時の多平面安定解析

地震時の多平面安定解析は、常時の多平面安定解析に地形効果震度法を考慮したものである。図 4. 3. 6 に多平面安定解析のモデルを示す。

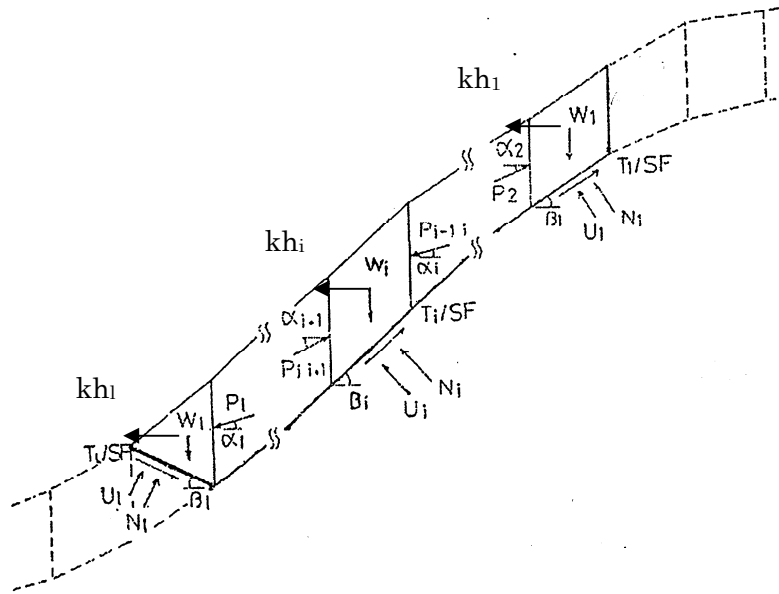


図 4. 3. 6 地震時の多平面安定解析モデル 1)に加筆

このモデルの i 番目ブロックの力の釣り合いは次式で得られる。

$$-P_{i-1,i} \sin \alpha_i - W_i + T_{mi} \sin \beta_i + (N_i + U_i) \cos \beta_i + P_{i,i+1} \sin \alpha_{i+1} = 0 \quad (4. 3. 3)$$

$$P_{i-1,i} \cos \alpha_i - T_{mi} \cos \beta_i + (N_i + U_i) \sin \beta_i - P_{i,i+1} \cos \alpha_{i+1} + k h_i W_i = 0 \quad (4. 3. 4)$$

$$T_{mi} = \frac{c \Delta l_i + (N_i - u_i) \tan \phi}{F_{st}} \quad (4. 3. 5)$$

ここで、

- $P_{i,i+1}$  : ブロック i と i+1 の間の境界で法線に  $\alpha_{i+1}$  の角度で作用する力
- $W_i$  : i 番目のブロックの重量
- $T_{mi}$  : すべり面上で働いているせん断力
- $U_i$  : すべり面上の水圧(本設計では、本工法が常時地下水位のある箇所等で使用しないことを前提としているため、水圧は考慮しない。)
- $N_i$  : すべり面上の抵抗力
- $u_i$  : すべり面上の過剰間隙水圧
- $F_{st}$  : 地震時の安全率
- $c$  : 粘着力
- $\phi$  : 内部摩擦角
- $\beta_i$  : すべり面の傾き
- $\Delta l_i$  : i 番目のブロックの潜在すべり面長
- $\alpha_{i+1}$  : ブロック間外力の傾き(=  $\beta_i/3$ )
- $kh_i$  : 地形効果を考慮した設計水平震度

式(4.3.3)と(4.3.4)から  $N_i$ 、 $P_{i, i+1}$  が次のように求められる。

$$N_i = (W_i \cos \alpha_{i+1} - kh_i W_i \sin \alpha_{i+1} + B_i T_{mi} - A_i P_{i-1,i} - C_i U_i) / C_i \quad (4.3.6)$$

$$P_{i,i+1} = (D_i P_{i-1,i} + W_i \sin \beta_i + kh_i W_i \cos \beta_i - T_{mi}) / C_i \quad (4.3.7)$$

ここで、

$$A_i = \sin(\alpha_{i+1} - \alpha_i)$$

$$B_i = \sin(\alpha_{i+1} - \beta_i)$$

$$C_i = \cos(\beta_i - \alpha_{i+1})$$

$$D_i = \cos(\beta_i - \alpha_i)$$

式(4.3.6)と(4.3.7) から  $i=1, l-1$  まで順次求められる。

第  $l$  ブロックでは、式(4.3.8)、(4.3.9)のようになる。

$$N_l = (W_l \cos \alpha_l - kh_l W_l \sin \alpha_l + G_l T_{ml} - E_l U_l) / E_l \quad (4.3.8)$$

$$P_l = (W_l \sin \beta_l + T_{ml} - kh_l W_l \cos \beta_l) / E_l \quad (4.3.9)$$

ここで、

$$E_l = \cos(\alpha_l + \beta_l)$$

$$G_l = \sin(\alpha_l + \beta_l)$$

安全率  $Fst$  を仮定することにより  $P_{l-1,l}$  と  $P_l$  を求めることができる。ここで以下の条件を満たすように一連の計算を行い、安全率を求める。収束限界  $\varepsilon$  を 0.001 とする。

$$|P_{l-1,l} - P_l| < \varepsilon \quad (4.3.10)$$

#### 4.3.7 対策工の配置計画（地震時）

地震時の危険箇所に対して、本対策工の配置計画を策定する。

本対策工の標準配置は、2m 間隔の千鳥とし、ロープネットのメッシュサイズは 0.5m の格子を標準とする。

ロックボルトの長さは、対策範囲の潜在崩土層厚さの平均に標準偏差を考慮した厚さの 2 倍を標準とする。またロックボルトの打設角度は、斜面に直角方向に打設することを標準とする。

[解説]

**4.3.6**の手法を用いて地震時の危険箇所を求め、その箇所に対して本対策工の配置計画を策定する。常時と合わせて、双方の危険箇所を網羅するように配置する。なお、配置間隔、配置方法は**4.2.5 対策工の配置計画**と同様とする。

#### 4. 3. 8 地層構造の判定

対象地区で実施した簡易貫入試験結果（ $N_c$  値）を基に地層構造の判定を行う。

[解説]

対象地区で実施した簡易貫入試験から、 $N_c$  値のプロファイルを基に地層構造の判定を行う。

本対策工の設計では、地層構造を単層構造と二層構造の2つに分類し、それぞれの場合における変形量の算出方法や本対策工の適用判定方法を分けている（図 4. 3.7）。

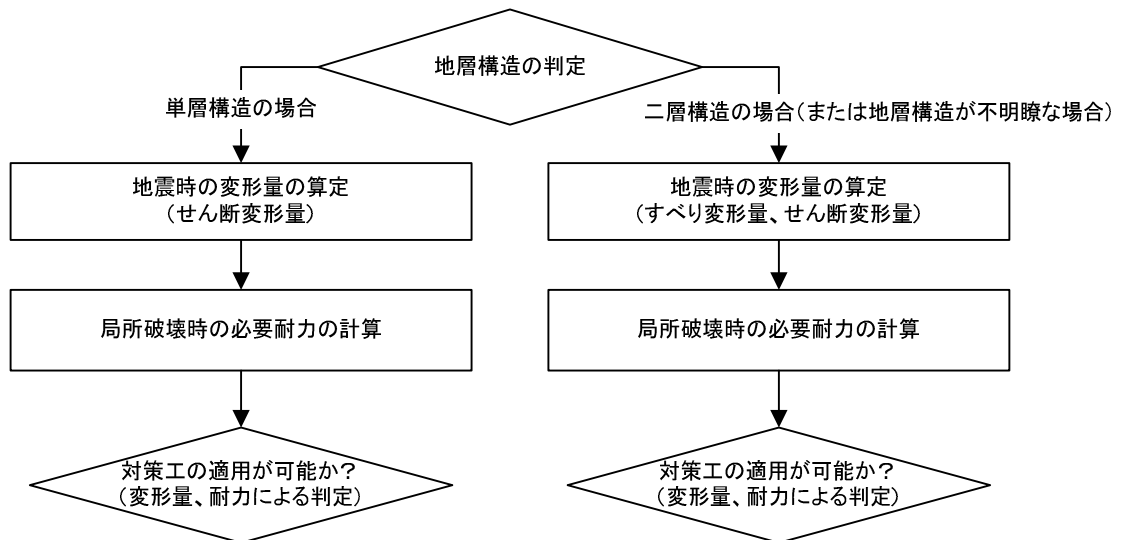


図 4. 3.7 地層構造の違いによる対策工の適用判定の流れ

ここでいう単層構造と二層構造は、簡易貫入試験 $N_c$  値のプロファイル（図 4. 3.8）から次のように便宜的に定義する。ここで示すA、B、C型は、容易に区別できる型であることから、論文から一部抜粋した。簡易貫入試験の深度分布が複雑で、地層構造が不明瞭な場合は二層構造として取り扱う。

単層構造：深度方向に $N_c$  値が漸移的に増加する地盤（主にA型、B型）

二層構造：任意の深度において $N_c$  値が急増する地盤（主にC型）

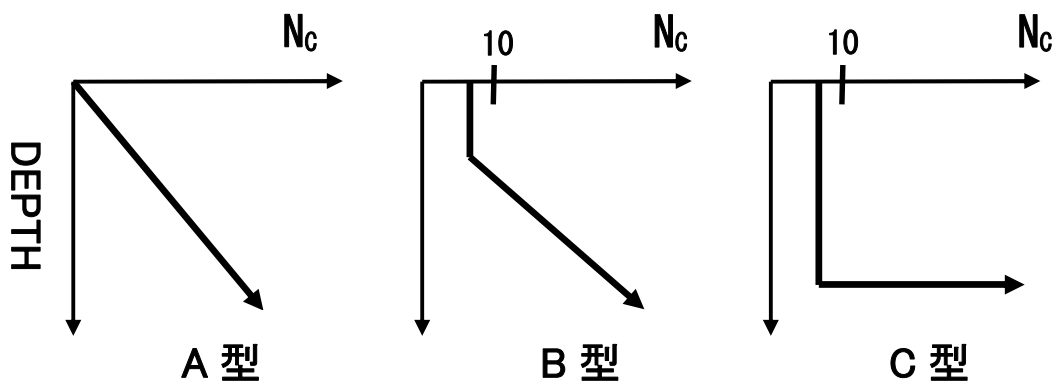


図 4. 3.8  $N_c$  値のプロファイルの分類 <sup>6)</sup>に一部加筆

#### 4. 3. 9 地震時の変形量（単層構造）

地層構造を単層構造と判定した場合、地震時のせん断変形量は、直接変形算出法により算定する。

##### 【解説】

地震時設計では、変形量を安定性の指標とする。地盤のせん断変形量は、直接変形算出法により算定する。なお、地形・地質条件や配置方法が複雑な場合や、送電鉄塔など他構造物の影響が懸念される場合は、動的解析によって変形量を求めてもよいが、直接変形算出法による計算結果を含めて総合的に判断することが必要である。

##### (1) 直接変形算出法<sup>7)</sup>による計算方法

変形量を算出する手法は安定計算と同様にいくつかの手法があるが、振動台実験および動的解析結果を踏まえて、地盤が地震力によってせん断変形する状態を模擬した直接変形算出法(式 4. 3. 11)を用いる。土をロックボルト（断面積 $A_s$ ）によって囲まれた長方形のブロックとして考え、土は仕事量の釣り合いを保ちながら、平行四辺形にせん断変形すると仮定する（図 4. 3. 9）。直接変形算出法<sup>7)</sup>には、設計水平震度（4. 3. 4 設計水平震度の設定 参照）と鉛直方向の震度（設計水平震度の1/2）を用いる。変形量の算定には、振動台実験から計算式を導き出しているため、設計水平震度 $kh$ は、基盤における値を用いる。ここで、基盤はS波速度で300m/sec相当の地層とする。

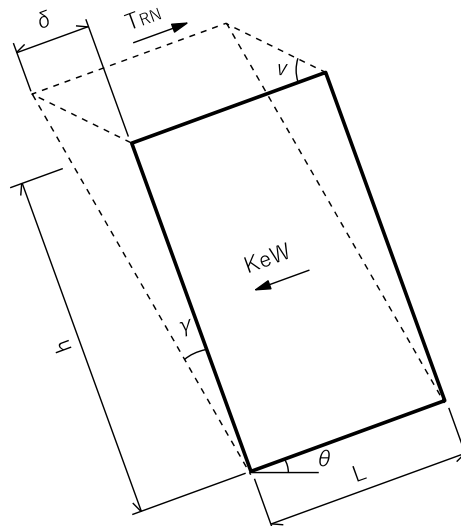


図 4. 3. 9 直接変形算出法モデル<sup>7)</sup>

$$\gamma^3 + 4 \cdot \tan \nu \cdot \gamma^2 + \left( \frac{4 \cdot G \cdot B \cdot L}{E \cdot A_s} + 4 \tan^2 \nu \right) \cdot \gamma - \frac{4 \cdot ke \cdot W - 8 \cdot T_{RN}}{E \cdot A_s} = 0 \quad (4. 3. 11)$$

ここで、

- $\gamma$  : せん断ひずみ
- $G$  : 土のせん断弾性係数 (kN/m<sup>3</sup>)
- $L$  : ロックボルトの配置間隔 (m)
- $B$  : ブロックの奥行き (m)
- $h$  : 潜在崩土層厚さ (m)
- $\nu$  : ダイレイタンス角 (=  $\phi/3$ ) (°)
- $E_{RB}$  : ロックボルトの弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)
- $A_s$  : ロックボルト断面積 (m<sup>2</sup>)
- $W$  : 土ブロックの重量 (=  $\gamma_t \cdot B \cdot L \cdot h$ ) (kN)

$k_e$  : 斜面方向の震度  
 $\gamma_t$  : 潜在崩土層の単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>)  
 $\phi$  : 潜在崩土層の内部摩擦角 (°)  
 $T_{RN}$  : ロープネット張力 (kN)  
 $\theta$  : すべり面傾斜角 (°)

$k_e$  は破壊段階に合わせ変化する。  
 ( $\gamma \leq 1\%$ )

$$k_g = kA \cdot \cos \theta + \frac{1}{2} \cdot kA \cdot \sin \theta \quad (4.3.12)$$

( $1\% \leq \gamma \leq 5\%$ )

$$k_g = kA \cdot \cos \theta + \frac{1}{2} \cdot kA \cdot \sin \theta + \eta \cdot \sin \theta \quad (4.3.13)$$

ここで、 $\eta$  は対策工荷重分担率、 $kh$  は水平震度を示す。

対策工荷重分担率は、亀裂発生時を 0 とし、局所破壊時に 1 となる係数である。亀裂発生時点から局所破壊まで地山の拘束作用が順次減少するが、それに伴って、土ブロックの自重分量の作用が順次増加する。この自重作用を対策工荷重分担率  $\eta$  として考慮する。

## (2) 動的解析による場合の考え方

解析モデルは 2 次元あるいは 3 次元有限要素モデルとし、地盤の材料特性は弾性論もしくは塑性論に基づいて土質および岩質の動的変形特性を表現するものとする。地震動は時刻歴波形とし、水平一方向の加振もしくは上下と水平二方向の加振とする。入力地盤定数は、地盤調査や一般値を参考に決定し、解析精度とのバランスを取るよう努める。

なお、動的解析は斜面のモデル化、材料特性の設定、地震動の入力値を適切に定め、解析結果について十分に評価を行うものとする。

#### 4. 3. 10 地震時の変形量（二層構造）

地層構造を二層構造と判定した場合、地震時の変形量は、すべり変形算出法によるすべり変形量と、直接変形算出法によるせん断変形量の両者を算定する。

##### 【解説】

地震時設計では、変形量を安定性の指標とする。地層構造を二層構造と判定した場合には、すべり変形算出法によるすべり変形量と、直接変形算出法によるせん断変形量を算定し、両者の算出法から得られた結果がそれぞれ基準値（**4. 3. 12 判定基準** 参照）を満たすことで、本対策工の適用が可能と判定する（図 4. 3. 10）。二層構造における模型実験では、すべりひずみが卓越するものの、せん断ひずみも計測されたため、二層構造の場合には、すべりひずみとせん断ひずみの両方を判断基準とした。地層構造が不明瞭な場合には、すべりひずみとせん断ひずみのどちらが卓越するか判断が困難であるため、すべりひずみとせん断ひずみの両方の判断基準を適用する。なお、地形・地質条件や配置方法が複雑な場合や、送電鉄塔など他構造物の影響が懸念される場合は、動的解析によって変形量を求めてもよいが、すべり変形算出法と直接変形算出法による計算結果を含めて総合的に判断することが必要である。

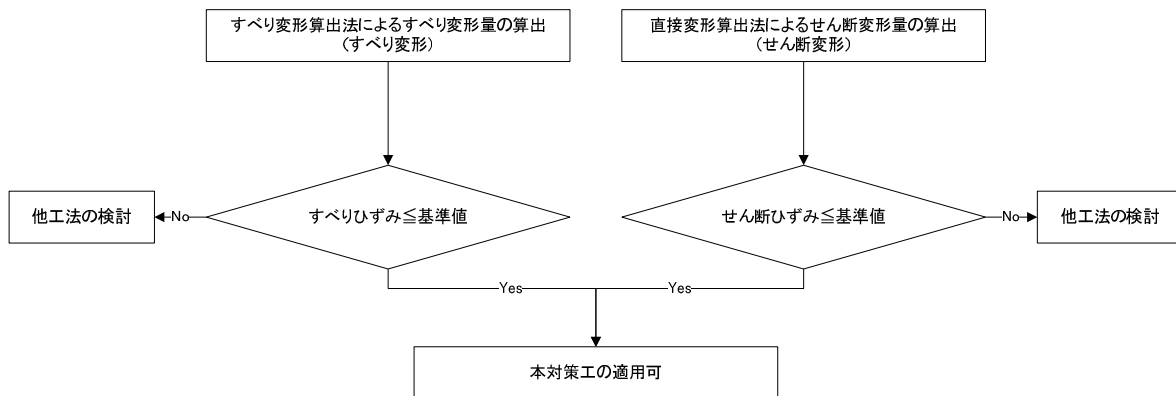


図 4. 3. 10 二層構造における地震時の変形量の算出と本対策工の適用判定の流れ

##### (1) すべり変形算出法による計算方法

すべり変形算出法によるすべり変形の算定の流れを図 4. 3. 11に示す。

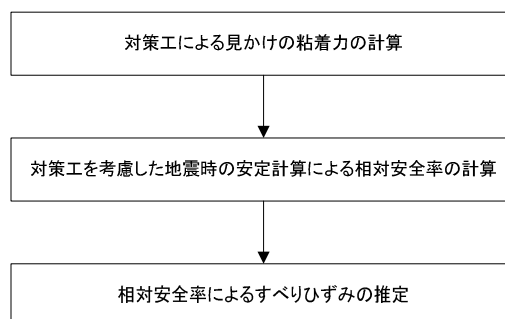


図 4. 3. 11 すべり変形算出法によるすべり変形の算定の流れ

(a) 本対策工による見かけの粘着力

ロックボルトの引止め力と締め付け力は、**4.2.6 対策工を考慮した安全率**と同様の手法で算出し、次式により見かけの粘着力に置き換えて多平面安定解析に反映する。

$$\Delta c = \frac{S2 + S3}{l} \quad (4.3.14)$$

ここで、 $S2$  : ロックボルトの引止め力 (kN/m)  
 $S3$  : ロックボルトの締め付け力 (kN/m)  
 $l$  : すべり面延長 (m)

(b) 本対策工を考慮した地震時の安定計算による相対安全率

相対安全率は、本対策工による見かけの粘着力( $\Delta c$ )と土の粘着力  $c$  を考慮して、**4.3.6 危険箇所の特定(地震時)**と同様の手法(設計水平震度を使った多平面安定解析)により算定する。入力水平震度には、地形効果震度法により補正した設計水平震度を用いる。

(c) 相対安全率によるすべりひずみ

本対策工を考慮した相対安全率とすべりひずみの関係式を次式に示す。この関係式から、本対策工を施工した場合の地震時のすべりひずみを算出する。

$$\gamma_s = 0.016 \cdot F_{sr}^{-1.7} \quad (4.3.15)$$

ここで、 $\gamma_s$  : すべりひずみ

$F_{sr}$  : 相対安全率 (本対策工を考慮した地震時の安全率)

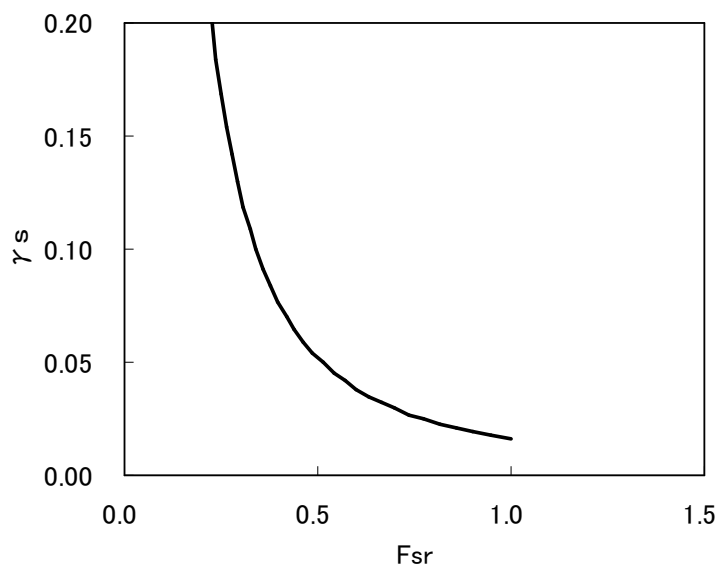


図 4.3.12 相対安全率とすべりひずみとの関係

(2) 直接変形算出法  $\eta$  による計算方法

この算出法は、単層構造における地震時の変形量の算出法 (**4.3.9地震時の変形量(単層構造)**参照)と同様の方法となる。

#### 4. 3. 11 局所破壊時の必要耐力

局所破壊以降の土塊の移動に対して必要とされるロックボルトおよびロープネットの必要耐力を算定する。

【解説】

局所破壊時の必要耐力算定の流れを図 4. 3.13に示す。局所破壊時に本対策工に作用する土塊重量を算定し、局所破壊時の必要耐力を算定する。

ロープネットには様々な種類があるため、使用する種類に応じた破断強度を十分に検討する必要がある。

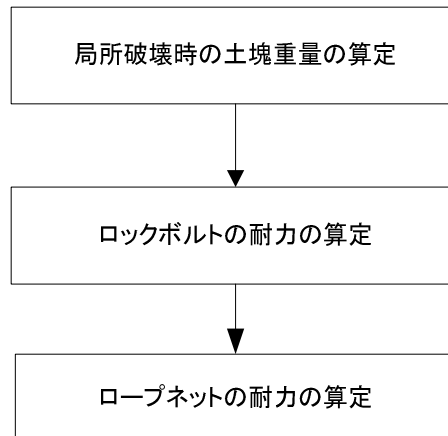


図 4. 3.13 局所破壊時の必要耐力算定の流れ



(1) 局所破壊時の土塊重量の算定方法

局所破壊後は、ロックボルトで挟まれた土塊がブロックで破壊すると考える。局所破壊時の土塊重量の算定には図 4. 3. 14 に示すモデルを考える。

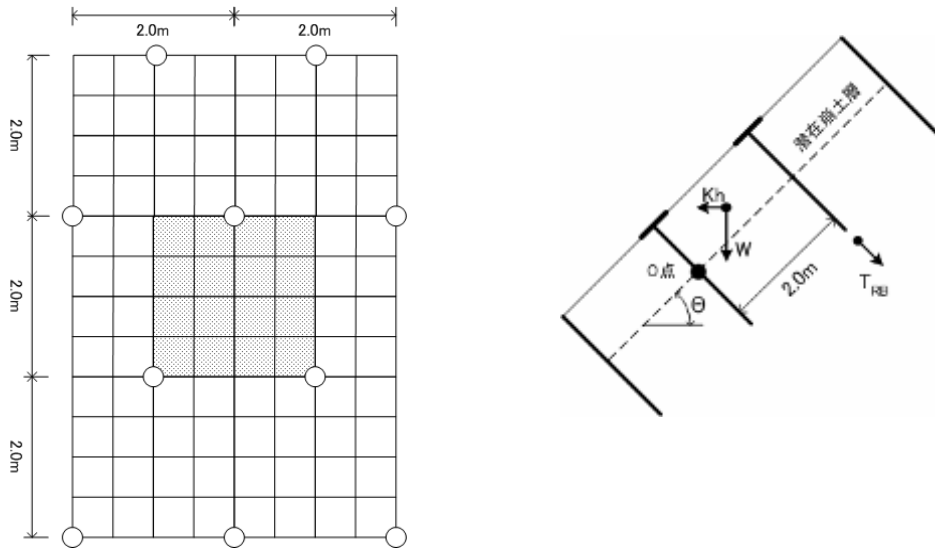


図 4. 3. 14 局所破壊時の土塊モデル

(2) ロックボルトの極限耐力の算定

局所破壊時のロックボルトの引抜き力を次式に示す。

$$T_{RB} = \frac{W}{2} \cdot \left( -\cos\theta + kh_{\text{局所}} \cdot \sin\theta + \sin\theta \cdot \frac{h}{B} + kh_{\text{局所}} \cdot \cos\theta \cdot \frac{h}{B} \right) \quad (4. 3. 16)$$

ここで、

$T_{RB}$  : ロックボルトの引抜き力(kN)

$kh_{\text{局所}}$  : 直接変形算出法の局所破壊時の水平震度

$W$  : ブロックの重量( $\gamma t \cdot B \cdot L \cdot h$ ) (kN)

$h$  : 潜在崩土層厚(m)

$B, L$  : ロックボルトの間隔 2.0(m)

$\theta$  : すべり面傾斜角(°)

(3) ロープネットの極限耐力の算定

ロープネット張力の算出は、落石対策工便覧<sup>8)</sup>に基づいて次式により算定する。局所破壊時の土塊ブロックの荷重を土塊ブロック内のネットあるいは横ワイヤーロープが受けるものとする。

$$T_{RN} = \frac{w \cdot l}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2} \cdot \frac{1}{n} T_{RN} = \frac{w \cdot l}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{l}{4f}\right)^2}$$

(4. 3. 17)

ここで、

$T_{RN}$  : ロープネット張力(kN)

$l$  : ロックボルト間隔 2.0(m)

$w$  : 局所破壊時に横ロープネットにかかる単位幅荷重(kN/m)

$f$  : たわみ量(m) ロックボルト間隔の 10%と仮定

$n$  : 土塊ブロック(4m<sup>2</sup>)内のネットの個数、横ワイヤーロープの本数

#### 4. 3. 12 判定基準

以下の判定条件を満足した場合、地震時に対して適用可能と判断する。

##### (1) 地盤の変形量

###### (a) 単層構造の場合

この判定条件は、地層構造が単層構造の場合に適用する。

対策斜面の地震時のせん断ひずみが、5%未満でなければならない。

$$\gamma < 5\%$$

ここで、 $\gamma$  : 想定地震時のせん断ひずみ(%)

###### (b) 二層構造の場合

この判定条件は、地層構造が二層構造の場合に適用する。

対策斜面の地震時におけるすべりひずみが 10%未満であり、かつ地震時のせん断ひずみが 5%未満でなければならない。

$$\gamma_s < 10\%$$

$$\gamma < 5\%$$

ここで、 $\gamma_s$  : 想定地震時のすべりひずみ(%)

$\gamma$  : 想定地震時のせん断ひずみ(%)

##### (2) ロックボルトの照査

局所破壊時のロックボルトの引抜き力は、引抜き抵抗力以下でなければならない。

$$T_{RB} \leq T$$

ここで、 $T_{RB}$  : 局所破壊時のロックボルトの引抜き力(kN)

$T$  : ロックボルトの引抜き抵抗力(kN)

ロックボルトの引抜き抵抗力は、切土補強土の考え方<sup>9)</sup>に基づいて以下の式により算出する。

ロックボルトの引抜き抵抗力  $T$  は、以下の 2 つの中で小さい方とする。

・ 不動地山から受ける引抜き抵抗力 :  $T_{2pa}$  (kN/本)

・ ロックボルトの許容引張力 :  $T_{sa}$  (kN/本)

$$T = \min[T_{2pa}, T_{sa}] \quad (\text{kN/本}) \quad (4.3.18)$$

$$T_{2pa} = L_2 \cdot t_a$$

$$t_a = \min[t_{pa}, \tau_{ca}]$$

$$t_{pa} = (\tau_p \cdot \pi \cdot D) / F_{sa}$$

$$\tau_{ca} = \tau_c \cdot \pi \cdot d$$

ここで、

$t_a$  : 許容付着力 (kN/m)

$t_{pa}$  : 地山と注入材の許容付着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_p$  : 地山と注入材の周面摩擦抵抗 (kN/m<sup>2</sup>)

$D$  : 削孔径 (m)

$F_{sa}$  : 周面摩擦抵抗の安全率(局所破壊時 1.5)

$\tau_{ca}$  : ロックボルトと注入材の許容付着力 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau_c$  : ロックボルトと注入材の許容付着応力 (kN/m<sup>2</sup>)

$d$  : ロックボルト径 (m)

$L_2$  : 不動地山の有効定着長 (m)

$$T_{sa} = \sigma_{sa} \cdot A_s \quad (4.3.19)$$

ここで、

$\sigma_{sa}$  : ロックボルトの許容引張応力度 (kN/m<sup>2</sup>)

$A_s$  : ロックボルトの断面積 (m<sup>2</sup>)

### (3) ロープネットの照査

ロープネットは、局所破壊時の土塊重量を考慮した荷重に耐えなければならない。その安全率はロープネットに作用する荷重に対して 2.0 以上とする。

$$F_{s-RN} = \frac{T_{RNa}}{T_{RN}} \geq 2.0 \quad (4.3.20)$$

ここで、

$F_{s-RN}$  : ロープネットの安全率

$T_{RNa}$  : ロープネットの破断強度 (kN)

$T_{RN}$  : 土塊重量を考慮したロープネット張力 (kN)

#### [解説]

判定基準は、(1)、(2)、(3)いずれも満足しなければならない。また、ロックボルト、ロープネットは最終的な破壊状態に至っても土塊の崩落を防ぐため破断してはならない。

ロープネットには様々な種類があるため、使用する種類に応じた破断強度を十分に検討する必要がある。

#### 4. 3. 13 補助工法の選定

本対策工では、落石防護柵等の工法を補助工法選定基準をもとに併用することを標準とする。

##### 【解説】

本対策工は、ある程度変形を許容しながら安定効果を発揮するという特徴があるため、対策斜面と保全対象の位置関係によって、以下に示す選定基準をもとに補助工法を併用することとする。補助工法の種類は、落石防護柵、溪間工、土留工、谷止工などが挙げられる。

##### (1) 補助工法の選定基準

表 4. 3.1 補助工法の選定基準

	せん断ひずみ 1%未満 亀裂発生まで	せん断ひずみ 1%～5% すべりひずみ 10% 亀裂発生から局所破壊まで	せん断ひずみ 5%以上 すべりひずみ 10%以上 全体破壊
直下に保全対象がある場合	無（注）	有	他工法の採用
直下に保全対象がない場合	無	有	

注）落石・倒木等の恐れがある場合は、亀裂発生までであっても補助工法を施工する。

##### (2) 直下の考え方

土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令の土砂災害警戒区域の設定を参考として、斜面下端から 15m 以内に保全対象があれば直下にあるものとする（添付資料-20 参照）。

##### (3) 保全対象

保全対象は、山地災害危険地区調査要領<sup>10)</sup>を参考として、官公署、学校、病院、道路（一般の交通の用に供されている林道および農業用道路を含む）等の公用若しくは公共用施設または人家（工場、旅館、社寺等を含む）とする。

##### 【引用文献】

- 1) 沖村孝：山腹表層崩壊発生位置の予知に関する一研究,土木学会論文集,第 331 号,pp.113～120,1983.
- 2) 兵庫県農林水産部治山課：地山補強土工法設計・施工指針(案),1999.
- 3) 社団法人日本治山治水協会：治山技術基準解説,地すべり防止編,2013.
- 4) 兵庫県：兵庫県地域防災計画地震災害対策計画,2021.
- 5) Joyner,W.B.and Boore,D.B.:Peak horizontal acceleraretion and velocity from strong motion records including records from the 1979 Imperial Vally,California,earthquake,Bull.Seism. Soc.Am.,Vol.71,pp.2011-2038,1981.
- 6) 奥西一夫、飯田智之：愛知県小原村周辺の山崩れについて(1)－斜面形、土層構造と山崩れについて－,京都大学防災研究所年報,第 21 号 B-1,pp.297-311,1978.
- 7) 村上晴茂・金子哲郎・木村裕之・鏡原聖史：地震時斜面安定のためのロックボルト・ロープネット併用工法に関する変形量を基にした設計法の提案,土木学会第 57 回年次学術講演会,Ⅲ,418,2002.
- 8) 公益社団法人日本道路協会：落石対策便覧,p.134,2017.
- 9) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：切土補強土工法設計・施工指針,2007.
- 10) 林野庁：山地災害危険地区調査要領,2016.

## 5. 施工

### 5.1 施工計画

施工計画にあたっては、設計条件、地形、地質、現地の状況を事前に十分調査して安全で合理的かつ周辺環境に配慮した施工方法を詳細に検討し、これに基づいて施工計画書を作成する。

#### [解説]

本対策工を施工するにあたっては、設計条件・地形・地質・現地の状況を事前に十分調査して安全で合理的かつ周辺環境に配慮した施工計画を詳細に検討し、これに基づいて施工計画書を作成しなければならない。

本対策工では、地山にロックボルトを確実に定着させることおよびロープネットを地山に密着させることが重要である。よって、地形・地質条件を的確に判断し、適切な削孔方法を選定し、効果的なロープネットの敷設位置を決定しなければならない。

## 5. 2 工種

本対策工の施工は以下に分類される。

- ① 準備
- ② 起工測量
- ③ 仮設および資材搬入
- ④ 法面清掃
- ⑤ マーキング
- ⑥ ロープネット敷設
- ⑦ 削孔
- ⑧ 注入
- ⑨ ロックボルト挿入
- ⑩ 確認試験
- ⑪ 頭部処理

[解説]

本対策工が新しい治山工法であることから、施工法や使用する機材等は施工技術の進歩に伴い見直すものとする。

図 5. 2.1 に施工の流れを示す。

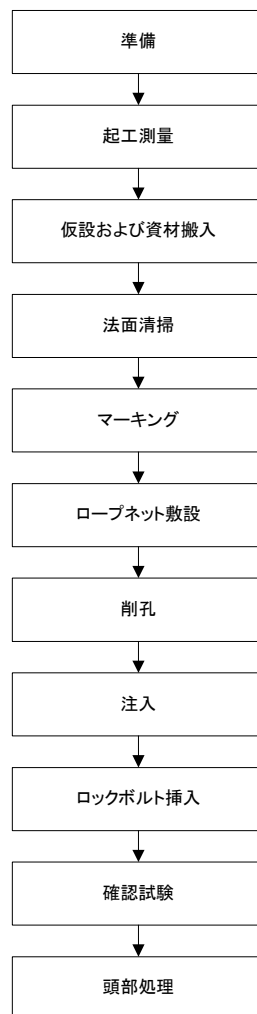


図 5. 2.1 施工の流れ

### 5. 2. 1 準備

本工事に先立ち工事が円滑かつ安全に行えるよう、施工区域の踏査、工事準備調査、施工機械器具、材料・仮設備の準備をする。

施工区域内外の周辺斜面を踏査点検し、区域外からの落石や崩壊等の危険性のみならず、作業に起因する落下物等によって引き起こされる危険性も考慮し、防護措置や避難基準の作成等を行う。着工前には必ず、次の調査を実施して安全の確認を行う。

- ・ 法肩上部のクラック、段差、落ち込み（ズレ）の有無の確認。
- ・ 関係者以外の侵入・接近の予測と対抗措置
- ・ 施工区域内外の浮き石・転石の安定度（斜面上下左右における不安定なものは処置する）

### 5. 2. 2 起工測量

設計図書により施工範囲となる区域を現地にて杭により明示し、併せて、管理基準軸（**3.4.1 地形測量（縦断測量）**）に規定する測線を含む）の設定が行えるよう斜面の起状を把握する。また、着手前後の比較や作業範囲を明確にさせるため、杭打ちした施工区域をポール・ロープ等で位置を現地に明示する。起工測量には、設計時に作成した設計図面の施工範囲の座標図、割付図、対策範囲外周杭を利用する。

### 5. 2. 3 仮設および資材搬入

仮設は、安全確保を第一とし、伐採は最小限にして設置する。作業用命綱の設置は十分検討し、安全確保ができないなどやむを得ない場合は足場を設置する。

資材搬入は人肩を主とするが、やむを得ず運搬路等を設置するために伐採や地形の改変を行う場合は、作業歩道程度の幅員を最大限とし、モノレールなどを設置する場合においても同程度とする。

### 5. 2. 4 法面清掃

#### (1)法面清掃

施工前に、ロープネットが地表面によく沿うように、また施工完了後においてロープネットが地表面から離れる原因となる浮石、倒木・浮根等の除去を行う。ロープネットで押さえ込んだ後、腐敗等が始まれば体積変化が生じ、ロープネットが緩む原因となるものを最低限除去する。

#### (2)極微地形の整形

鋭角の隅角部がある場合、打設するロックボルトが交差しないよう緩くすり付ける。

### 5. 2. 5 マーキング

施工区域の基準となる危険箇所を、計算結果と現地地形とを比較し、より効果的なロープネット敷設を行うため、ポール・ロープ等で現地に明示する。

危険箇所中央部の通りの良い箇所に斜面の縦断方向と横断方向に管理基準軸をほぼ直角させて設置し、杭を現地に設け、ポール等により軸線を現地に明示する。ただし、危険すべり面に複数の斜面方向がある場合や斜面の地形形状から施工上必要となる管理基準軸を複数箇所設けても良い。また、設計主測線が管理基準軸となる箇所においては、管理基準軸の上端あるいは下端のロックボルトから4 m程度離れた箇所に基準杭（永久杭）を設置する。

### 5. 2. 6 ロープネット敷設

管理基準軸を中心にロープネットを敷設し、倒木や転石・浮き土砂などでロープネットが浮上る事態とならないことを確認しながら施工する。

ロープネットは、人力で引き込む程度の張力（約 98N 程度）で敷設し、ロックボルト打設位置となるロープネット交点にて仮止め用アンカーピンなどで仮止めする。ここで、設置する仮止め用アンカーピンは、ロックボルト打設時に撤去すること。

樹木等があることによりロープネットの位置が制限される場合は、あらかじめロックボルト頭部ナットの締め付けによる緊張を想定してアンカーピンでロープネットを固定し、ロープネットを寄せるなど調整を行う。ここで設置するアンカーピンは腐食しないよう亜鉛メッキ仕様とする。

ロープネットの結合部には土砂や落ち葉等異物を挟み込まないように十分注意する。

作業期間中は、メッキや素線そのものを破損させないように機器資材の移動に注意する。

ワイヤーの交点をクリップで固定する構造の場合は、締め忘れを防止するためにカラーマーカー、スプレーなどで明示するとともにクリップが緩むことのないよう十分に締め付けること。

### 5. 2. 7 削孔

削孔は、所定の位置、削孔径、長さ、角度、方向を満足するように地質、施工条件を考慮して適切な施工機械を選定し、確実な削孔方法を採用しなければならない。施工機械は、一般的にレッグドリル等のロッド削孔を行うものとする。

ロックボルト設置箇所については、地山と支圧板のなじみをよく仕上げるため、土砂部では掛け矢など、岩盤部ではモルタルなどを用いて斜面を整形するものとする。

### 5. 2. 8 注入

注入は削孔完了後速やかにグラウトポンプ等により施工し、注入ホースを孔底に下ろしてセメントミルクを注入しなければならない。また、必ず孔口での注入材のリターンの確認を行わなくてはならない。

### 5. 2. 9 ロックボルト挿入

ロックボルトの挿入は所定の位置に正確に行い、注入材が硬化するまでロックボルトが動かないように保持しなければならない。

ロックボルトが孔の中心に配置されるように、先端から 25cm の位置に一つめのスペーサーを取り付け、二つめ以降を最大 2.5m 間隔で最低 2 個以上取り付けて挿入する。

挿入に当たっては、ロックボルトに異物が付着しないよう注意する。

### 5. 2. 10 確認試験

確認試験は、センターホールジャッキを用いて引張り耐力を要しているかを確認する。

本対策工は、全面定着式で実施していることから、大きな引張り荷重は付着力の低下につながる。このため、確認試験工の最大引張り荷重は、ロックボルトの設計引張り力とし、試験本数は全数の 3% 程度とする。確認試験対象以外のロックボルトは、日常の施工管理でこれを補うものとする。

### 5. 2. 11 頭部処理

ロープネットと支圧板は、ナットを用いてロックボルトとの結合が確実に行われるようにする必要がある。また、ロックボルトに有害な錆が発生しないよう注意しなければならない。ナットは人力により 1 計画地におけるロックボルトの引抜き抵抗力最低値（潜在崩土層）の 50% から算出した値（最低 25 N・m 以上）で十分締め付けることとし、全数を施工管理しなければならない。



### 5.3 施工管理

施工は以下の管理項目で実施する。

- ① 工程管理
- ② 出来形管理
- ③ 写真管理
- ④ 品質管理

※出来形管理時に管理基準軸（ロックボルト頭部間隔）の計測を行う。

【解説】

施工管理項目を表5.3.1、表 5.3.2に示す。

表 5. 3.1 品質、出来形管理項目

区分		項目	方法	頻度	基準値
主材料	ロックボルト 支圧板 キャップ ナット ネット、ワイヤー	外観検査	目視	材料入荷時	JISの規定に合致していること さび・油・泥等の付着がないこと。 有害なきずがないこと。
		寸法検査	検尺		
		品質検査	ミルシート		
注入材	材料	品質検査	ミルシート	材料入荷時	JISの規定に合致していること
	配合	コンシステンシー	フロー試験、出来形管理表	グラウト注入開始前に1回/日 <sup>※5</sup>	流下時間9～22sec以下 (Pロート) <sup>※5</sup>
	強度	圧縮試験	圧縮強度試験、出来形管理表	施工開始前に1回 供試体3本 1回/週 供試体3本 <sup>※5</sup>	材齢28日 24N/mm <sup>2</sup> 以上 <sup>※5</sup>
ネット工	マーキング工	管理基準軸	測定管理、出来形管理表	全管理基準軸	縦断:4m±0.10m 横断:2m±0.10m
	ネット敷設工 <sup>※1</sup>	管理基準軸	測定管理、出来形管理表	全管理基準軸	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
	ワイヤー敷設工 <sup>※2</sup>	管理基準軸	測定管理、出来形管理表	全管理基準軸	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
ロックボルト工	削孔工	削孔機の据付時の精度	打設間隔 (スケール計測)	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
			打設角度 (スラント定規)	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	ロッド等の傾き±2.5° 以内 <sup>※5</sup>
		削孔径	ビット径検尺	施工開始前に1回 新規ビット取り付け時 <sup>※5</sup>	設計径以上 <sup>※5</sup>
	注入工	完了	目視、出来形管理表	全孔	リターンの確認
		注入量	空袋検収	注入完了後	設計数量以上
	ロックボルト挿入工	深度	測定管理、出来形管理表	全孔	設計長以上、ナット定着できること
	確認試験 <sup>※3</sup>	引張荷重	測定管理、出来形管理表	施工工区毎の本数の3%かつ最低試験本数3本以上	設計荷重により補強材が引き抜けないこと
	頭部処理工	ナット締付	測定管理、出来形管理表	全数	トルクレンチにて締付荷重管理
		防錆油充填 <sup>※4</sup>	目視、出来形管理表		空気が入っていないこと(キャップ締付け時のリターンで確認)
		キャップ <sup>※4</sup>			確実に締付けること

※1：ネット構造の場合

※2：ワイヤー構造の場合

※3：試験方法は、東・中・西日本高速道路株式会社：土工施工管理要領3-5-3 引抜き試験 に準じる。

※4：キャップ構造により異なる。

※5：基準値は、東・中・西日本高速道路株式会社：土工施工管理要領 3-5切土補強土工 に準じる。

表 5. 3.2 写真管理項目

区分		項目	撮影項目	撮影時期、頻度	基準値
主材料	ロックボルト	寸法検査	形状寸法	材料入荷時、各品目毎1回	JISの規定に合致していること さび・油・泥等の付着がないこと。 有害なきずがないこと。
	支圧板 キャップ ナット ネット、ワイヤー				
注入材	材料	品質検査	配合確認	配合毎1回	JISの規定に合致していること
	配合	コンシステンシー	試験状況	グラウト注入開始前に1回/日 <sup>※5</sup>	流下時間9~22sec以下 (Pポート) <sup>※5</sup>
	強度	圧縮試験	供試体および試験状況	施工開始前に1回 供試体3本 1回/週 供試体3本 <sup>※5</sup>	材齢28日 24N/mm2以上 <sup>※5</sup>
ネット工	マーキング工	管理基準軸	配置間隔	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	縦断:4m±0.10m 横断:2m±0.10m
	ネット敷設工 <sup>※1</sup>	管理基準軸	配置間隔	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
	ワイヤー敷設工 <sup>※2</sup>	管理基準軸	配置間隔	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
ロックボルト工	削孔工	削孔機の据付時の精度	打設間隔 (スケール計測)	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	縦断:4m+0.10m 横断:2m+0.10m
			打設角度 (スラント定規)	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	ロッド等の傾き±2.5° 以内 <sup>※5</sup>
		削孔径	ビット径検尺	施工開始前に1回 新規ビット取り付け時 <sup>※5</sup>	設計径以上 <sup>※5</sup>
	注工	完了	目視、出来形管理表	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	リターンの確認
		注入量	空袋検収	注入完了後	設計数量以上
	ロックボルト挿入工	深度	挿入長	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	設計長以上、ナット定着できること
	確認試験 <sup>※3</sup>	引張荷重	状況	施工工区毎本数の3%かつ最低試験本数3本以上	設計荷重により補強材が引き抜けないこと
	頭部処理工	ナット締付	状況	施工工区毎の30%と全管理基準軸全数	トルクレンチにて締付荷重管理
		防錆油充填 <sup>※4</sup>	状況		空気が入っていないこと(キャップ締付け時のリターンで確認)
		キャップ <sup>※4</sup>			確実に締付けること

※1：ネット構造の場合

※2：ワイヤー構造の場合

※3：試験方法は、東・中・西日本高速道路株式会社：土工施工管理要領3-5-3 引抜き試験 に準じる。

※4：キャップ構造により異なる。

※5：基準値は、東・中・西日本高速道路株式会社：土工施工管理要領 3-5切土補強土工 に準じる。

#### 管理基準軸（ロックボルト頭部間隔）の計測について

今後の点検時に斜面や対策工の変状状況を把握する上で貴重な資料となるため、工事完了時に管理基準軸の計測、写真撮影を行い、調書形式の台帳やカルテとして記録・保存する。管理基準軸の計測は、管理基準全軸において、図 5. 3.1 に示すように不動点、ロックボルト頭部の間隔をメジャーで計測しておく。また、写真撮影は、斜面、対策工の初期状態の記録を目的として行うが、基準軸、法尻、法肩、遷急線付近などポイントとなりそうな箇所を選んで行う。

- ・実施時期：工事完了時
- ・目的：斜面・対策工の初期状態を把握し調書（治山施設点検 評価シート）に整理することで今後の基礎資料とする。
- ・項目：測量（管理基準軸におけるロックボルト頭部間隔の長さミリ単位で測定）、写真撮影（初期状態の記録）、特記事項の記載

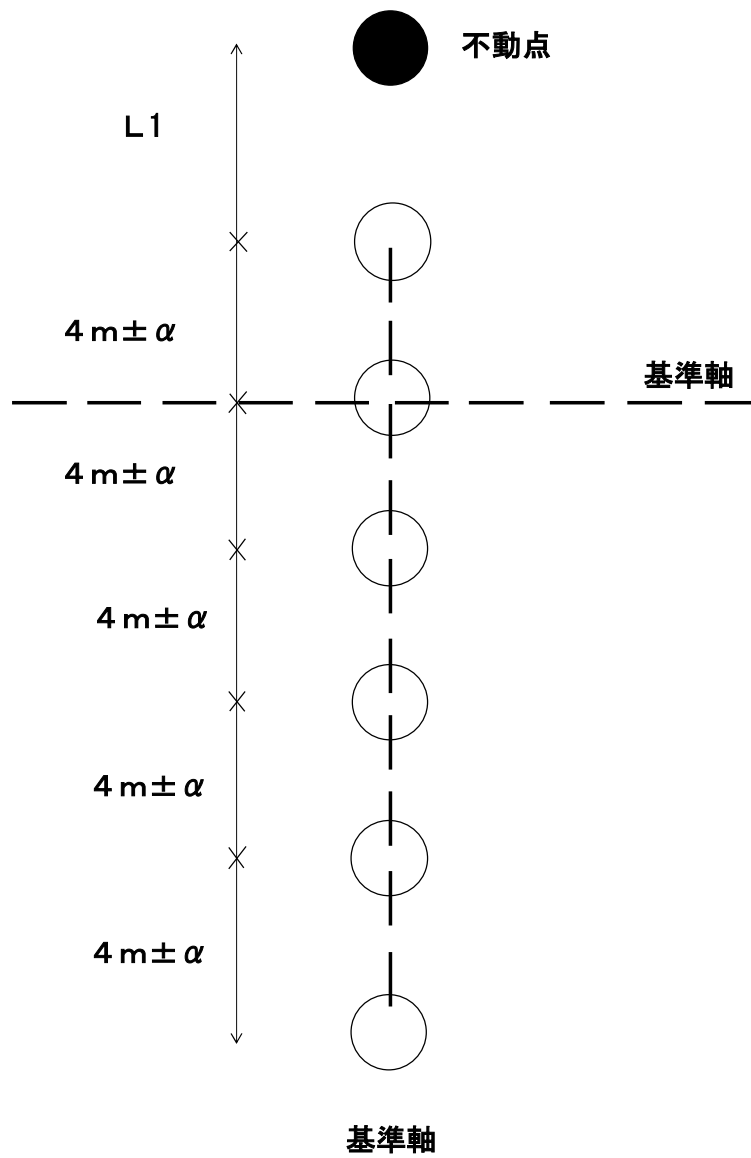


図 5 3.1 管理基準軸の計測

## 6. 維持管理

### 6. 1 概説

本対策工の機能・効果を併用期間にわたって維持するために、継続的な維持管理を実施する。

#### [解説]

本対策工の維持管理の対象は、斜面の状態、地中に配置するロックボルトと地表に設置する支圧板、ロープネットとなる。

対策工には経年による部材の劣化（腐食等による）や地盤の侵食が懸念されるとともに、降雨や地震による斜面の変状、さらにはこれらに伴い対策工に変状が発生する可能性がある。したがって、対策工の機能や効果を想定される供用期間にわたって維持するためには、維持管理は必要不可欠なものである。また、本対策工の設計手法が地震動に対してある程度の変位を許す性能設計であることから、災害後の本対策工が健全であるかの点検も必要不可欠である。

維持管理は、インフラ長寿命化計画に基づき、治山施設個別施設計画策定の手引き（案）に従い、治山施設の点検、診断や長寿命化対策（補修、機能強化、更新など）を計画的に行うものとする。

## 6. 2 点検調査

維持管理では、現地の本対策工が健全であるかの点検調査を実施する。点検調査は、定期点検、緊急点検、詳細点検に区分される。点検調査に関する資料や記録は整理し保管する。

### [解説]

点検調査などのデータを蓄積することにより、本対策工がより経済的かつ合理的なものとなる。

点検調査は、定期的な点検や緊急時に実施する緊急点検、変状が認められた際に変状の程度に応じて実施する詳細点検に分かれる。なお、緊急時とは、震度4以上の地震発生および豪雨などによって近隣で災害が発生するなど管理者が必要と判断する場合とする。

維持管理の流れを図6. 2.1に示す。また、施設完成後に、インフラ長寿命化計画に基づき、治山施設個別施設計画策定の手引き（案）に従い、箇所別施設計画を作成する。

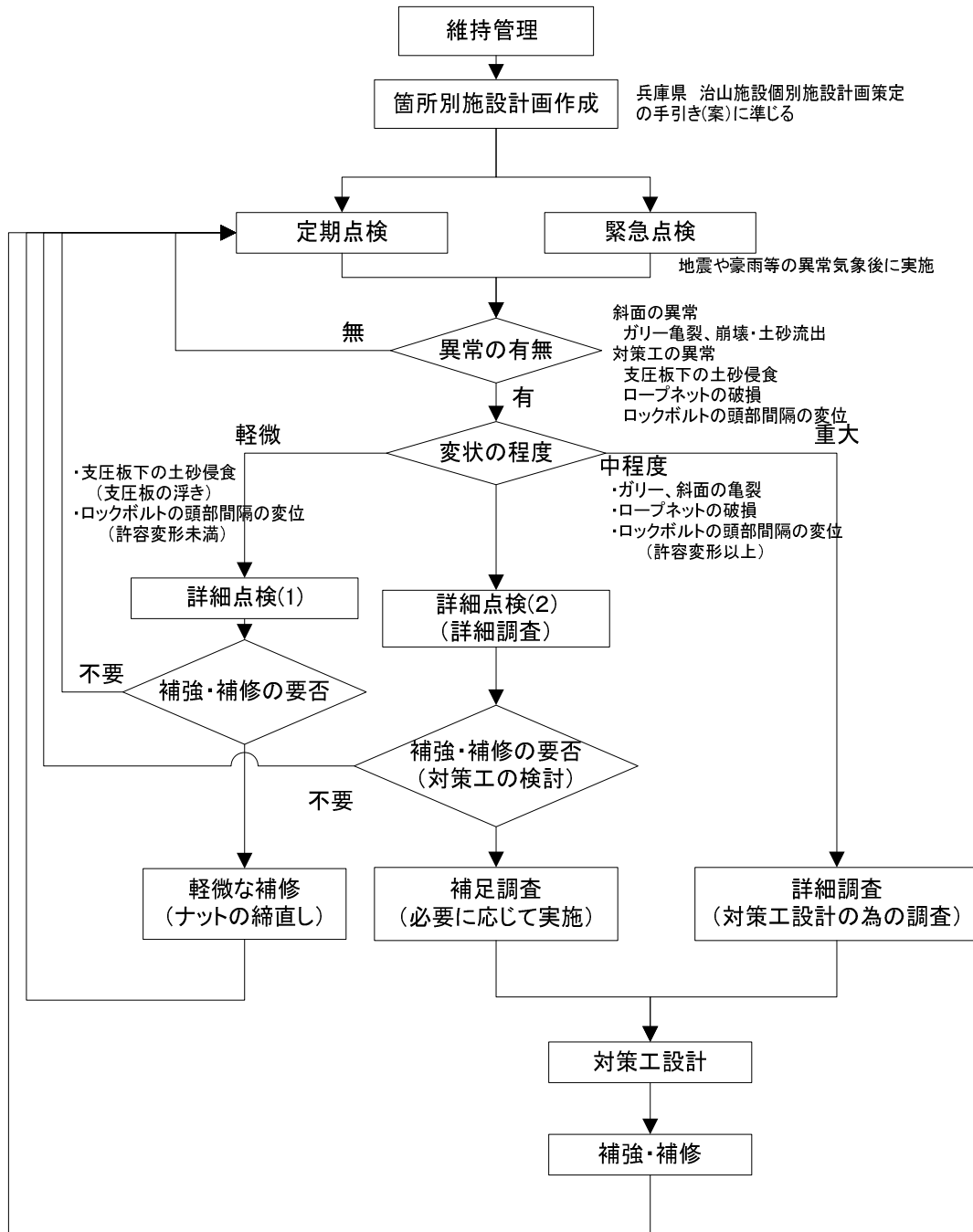


図6 2.1 維持管理の流れ

## 6. 2. 1 点検

定期点検は、斜面や対策工に生じる変状の有無を把握するために実施する点検で、定期点検と緊急点検に区分される。

(定期点検)

- ・点検頻度：別途策定した個別施設計画に準ずる
- ・点検方法：目視点検
- ・点検項目：斜面の変状（亀裂、崩壊、土砂流出）の有無  
ロープネットの破損の有無  
支圧板の密着度（浮き）  
対策工の劣化の有無

(緊急点検)

- ・点検頻度：震度4以上の地震発生および近隣で災害が発生するなど管理者が必要と判断する場合
- ・点検方法：目視点検
- ・点検項目：斜面の変状（亀裂、崩壊、土砂流出）の有無  
ロープネットの破損の有無  
支圧板の密着度（浮き）  
対策工の劣化の有無

出来るだけ数多くの施工箇所を短時間で点検するため、点検の点検方法は目視を標準とした。

定期点検に際しては、出来る限り地元住民の同行を要請し、その際に点検や観察のポイントを把握してもらうことが望ましい。それによって変状発生時により早い変状の発見が可能となり、早急な対応ができるものと期待される。

点検の結果、異常有りと判断された場合には、基準軸におけるロックボルト頭部間隔の計測を行い変状の程度を把握するとともに、変状の程度によって詳細調査あるいは詳細点検を実施する。異常の有無の判断は、以下の変状等の有無によるものとする。

- ・ガリー
- ・斜面の亀裂
- ・崩壊、土砂流出
- ・ロープネットの破損
- ・ロックボルト頭部間隔の変位
- ・支圧板下の土砂流出（支圧板の浮き）
- ・対策工の劣化

変状の程度に関しては、表6. 2.1のような3段階に分類する。



表 6. 2.1 変状の程度と点検種別の関係

変状の程度	項目	点検種別	備考
軽微	支圧板の浮き（支圧板全面が地山に接していない状態） ロックボルト頭部の変位：許容変形量未満	詳細点検（1）	
中程度	ガリー、斜面の亀裂、ロープネットの破損 ロックボルト頭部間隔の変位：許容変形量以上	詳細点検（2）	
重大	崩壊・土砂流出	詳細調査	

### 6. 2. 2 詳細点検

点検の結果「異常有り」と判断され、なおかつ変状の程度が「軽微」または「中程度」の場合には、変状の程度、規模、範囲、原因等をより詳細に把握するための詳細点検を実施する。

詳細点検は、変状の程度によって詳細点検(1)と詳細点検(2)に分類され、点検後の対応もそれぞれ異なる。

#### (1) 詳細点検(1)

変状の程度が軽微な場合

- ・点検目的：補修の要否の判断材料を得る
- ・点検項目：①支圧板の浮き（土砂侵食）の程度、範囲の把握  
現地踏査

詳細点検(1)の結果、必要と判断された場合には軽微な補修（ナットの締め直しなど）を実施する。なお、補修の要否は、支圧板の密着度（接地しているか否か）により判断する。

#### (2) 詳細点検(2)

変状の程度が中程度な場合

- ・点検目的：補強、補修の要否の判断材料を得る。
- ・点検項目：①変状の規模、程度、範囲の把握（再確認）  
現地踏査  
②変状発生メカニズムの解明  
③既設対策工の健全度調査  
ロックボルト：確認試験による健全度の確認（設計引張力を確認）  
ロープネット：破損の箇所・程度・範囲の特定  
ネット張力の有無

詳細点検(2)の結果、補強・補修が必要と判断された場合には、必要に応じて補足調査を行い、補強・補修設計を行う。なお補強・補修の要否は、以下の事項より判断する。

- ・ロックボルトの健全度（確認試験結果による）
- ・ロープネットの健全度（損傷、ネット張力の有無）
- ・ロックボルト頭部間隔の変位（許容変形量以上）

### 6. 3 詳細調査

点検結果から異常が判明した場合は、原因究明および補強方法の検討を行うための詳細な調査を実施する。

#### [解説]

点検で「異常有り」と判断され、なお且つ変状の程度が「重大」に分類される場合には、少なくとも斜面の一部に既に崩壊あるいは土砂流出が認められることから、早急に何らかの対策工を施す必要がある。そこでこのような場合には、補強・補修設計に必要な情報を得るために詳細調査を行う。

#### (詳細調査)

調査目的：対策工設計に必要な情報の取得

調査項目：①崩壊・土砂流出の規模・範囲等現状の把握

現地踏査

地質調査（ボーリング調査、簡易貫入試験など）

②変状発生メカニズムの解明

③既設対策工の健全度調査

ロックボルト：確認試験による健全度調査

ロープネット：破損の箇所・程度・範囲の特定

ネット張力の有無

④土質定数等の設計条件の整理・設定

詳細点検(2)で対策・補修が必要と判断された場合であって、しかも詳細点検(2)までに得られた情報だけでは補強・補修設計を行うに際して十分でないと考えられる場合には補足調査を行う。補足調査の内容等については、設計に不足している情報を得るために適宜妥当な調査方法を選択する。

#### (補足調査)

調査目的：対策工設計に必要な情報の取得（詳細点検(2)だけでは十分でない場合）

調査項目：①必要に応じて適宜選択する

ボーリング調査、簡易貫入試験など

②土質定数等の設計条件の整理・設定

### 6. 4 補強・補修

点検結果や調査結果から、補強・補修が必要と判断された場合に実施する。また、災害時の変状が大きく、本対策工で対応不可能となった場合は、他の工法を検討する。

ロープネット・ロックボルト併用工法 設計・施工指針（案）

---

第1版	平成19年3月	治山課・発行
第2版	平成21年1月	兵庫県治山林道協会・発行
第3版改定	平成26年5月	兵庫県治山林道協会・発行
第4版	令和元年6月	兵庫県治山林道協会・発行
第5版改定	令和3年3月	治山課・発行

発行・編者 兵庫県農政環境部 農林水産局 治山課

---