

土層強度検査棒を用いた
調査・評価の手引き（案）

【 事 例 編 】

令和5年1月

土層強度検査棒研究会

~~~~~ 土層強度検査棒研究会 ~~~~~

< 構 成 >

国立研究開発法人 土木研究所

応用地質株式会社

有限会社 太田ジオリサーチ

川崎地質株式会社

株式会社 環境地質

株式会社 環境地質サービス

基礎地盤コンサルタンツ株式会社

株式会社 興和

国際航業株式会社

株式会社 ソイル・ブレン

株式会社 ダイアコンサルタント関東支社

株式会社 地圏総合コンサルタント

株式会社 ドーコン

日本工営株式会社

北海道土質試験協同組合

< ホームページ >

<http://www.dokenbo.org/>

< 研究会事務局 >

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

国立研究開発法人 土木研究所 地質チーム

TEL 029-879-6769 FAX 029-879-6734

E-mail [geology@pwri.go.jp](mailto:geology@pwri.go.jp)

<https://www.pwri.go.jp/team/tishitsu/index.htm>

~~~~~

はじめに

「土層強度検査棒使用の手引き 事例編」(以下、事例編)は、土層強度検査棒研究会(以下、研究会)の会員が実際の業務において、様々な課題解決のために土層強度検査棒を使用した取り組み事例を中心にとりまとめたものである。

土層強度検査棒は、斜面における土層深や土質強度の不均質性を評価し、表層崩壊の発生危険度が高い箇所の抽出を行うことを目的として開発された機器であるが、その簡便さのため、現在では、斜面調査での利用はもちろんのこと、切土法面、河川堤防基礎地盤や路面下の空洞調査等にも活用が広がっている。

「土層強度検査棒使用の手引き 共通編」では、基本的な試験方法の紹介と解説について記載しているが、事例編では、土層強度検査棒の一層の普及を図るため、各技術の概要や適用条件、留意事項のほか、作業手順についても可能な限り詳述し、実務に資する内容とした。

なお、事例編に掲載している個別技術については、研究会としてオーソライズしたのではなく、会員の創意工夫に基づいたものであるため、内容についての問い合わせは、各事例に記載されている問い合わせ先へ個別に連絡をされたい。

本事例編が、事業における課題解決の一助となれば幸いである。

土層強度検査棒研究会

【 事 例 編 】

< 目 次 >

1. スクリーニング	
1.1 0次谷斜面の危険個所の抽出	1
1.2 崩壊に伴う類似切土法面の不安定箇所の抽出	3
1.3 切土法面の表層崩壊危険個所（スレーキング深さ）の確認	5
1.4 斜面における土層深の空間的分布の把握と不安定斜面の抽出	7
2. 構造把握	
2.1 河川堤防基礎地盤の被覆土層（土質・層厚）を確認する調査	11
2.2 路面下空洞調査で確認した空洞下のゆるみ等の把握	15
2.3 地盤の空洞やゆるみ領域の位置・規模を推定するための補完調査	17
3. 安定度評価	
3.1 崩壊履歴から対象斜面のすべり面強度を推定し安定性を評価する方法	19
3.2 転石の安定性評価への活用	23
3.3 強風化岩盤で構成される切土法面の安定度評価手法	25
3.4 過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法	29
3.5 ベーンコーンせん断試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法	33
3.6 崩壊時の水圧の再現	35
3.7 車両等の進入が困難な土地での斜面安定度評価	37
3.8 崩壊斜面における逆算法による土質定数の推定	39
3.9 都市斜面内の順算による斜面安定解析	41

<調査対象別 目次>

A. 自然斜面

0次谷斜面の危険個所の抽出	1
斜面における土層深の空間的分布の把握と不安定斜面の抽出	7
崩壊履歴から対象斜面のすべり面強度を推定し安定性を評価する方法	19
転石の安定性評価への活用	23
過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法	29
ベーンコーンせん断試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法	33
崩壊時の水圧の再現	35
車両等の進入が困難な土地での斜面安定度評価	37
崩壊斜面における逆算法による土質定数の推定	39

B. 切土法面

崩壊に伴う類似切土法面の不安定箇所の抽出	3
切土法面の表層崩壊危険箇所（スレーキング深さ）の確認	5
崩壊履歴から対象斜面のすべり面強度を推定し安定性を評価する方法	19
転石の安定性評価への活用	23
過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法	29
ベーンコーンせん断試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法	33
崩壊時の水圧の再現	35
車両等の進入が困難な土地での斜面安定度評価	37
崩壊斜面における逆算法による土質定数の推定	39
都市斜面内の順算による斜面安定解析	41

C. 盛土

過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法	29
ベーンコーンせん断試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法	33
崩壊時の水圧の再現	35
車両等の進入が困難な土地での斜面安定度評価	37

D. 河川堤防・その他

河川堤防基礎地盤の被覆土層（土質・層厚）を確認する調査	11
路面下空洞調査で確認した空洞下のゆるみ等の把握	15
地盤の空洞やゆるみ領域の位置・規模を推定するための補完調査	17

1.1 0次谷斜面の危険個所の抽出

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要

近年多発する集中豪雨により0次谷での表層崩壊や小規模溪流での土石流が頻発し、道路防災上の課題となっている。本技術は、これらの災害の発生源となる0次谷斜面において土層深の分布を把握し、表層崩壊や土石流の危険箇所の抽出や土石流対策工の設計に必要な“崩壊可能土砂量”の推定に資するものである。

従来技術との比較

土層強度検査棒は従来の簡易動的コーン貫入試験器と比較して、軽量かつ簡易で可搬性が高く、多地点の測定を効率的に実施できる点で適している。

適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ

- ・適用範囲・適用条件：比較的小規模な0次谷あるいは集水斜面を適用対象とする。斜面上に岩層が堆積した箇所での適用は不適である。
- ・事前に必要なデータ：崩壊の可能性のある箇所を地形判読、地表踏査により抽出する。抽出した対象斜面において、簡易測量により地形断面を取得する。

留意事項

- ・先端コーンが地中の礫や木根に当たったことで貫入不能となる場合には、複数回貫入を行い、最も貫入深さの深い計測値を採用する。
- ・近傍に表層崩壊跡が認められる場合は、土層深の分布が確認できることから詳細に露頭断面の観察を行う。
- ・効率的な作業のため、縦横断測量と限界貫入深度試験は同時に行うと良い(人員3名必要)。

技術の手順

(1)測定箇所の選定

斜面上の微地形に着目し、地形判読、現地踏査により崩壊の可能性のある斜面箇所の絞り込みを行う。

(2)縦横断測量

斜面の断面形状を把握するため縦横断測量を行う。斜面状況を考慮し、斜面縦断方向と横断方向に測線を設定し、ハンドレベルもしくは測量ポールを用いて縦横断測量を実施する。

測線の延長は斜面形状に

応じて10m~30m程度を目安とし、測点は水平距離2m間隔を基本とする。測点の間隔は遷急線等の微地形を表現できるよう適宜調整する(図-1)。

(3)限界貫入深度試験

水平距離2m間隔を目安に測点毎に土層深を測定する。土層強度検査棒を静的に地中に貫入し、貫入できなくなった深さを土層深として記録する。

(4)土層深断面図の作成、崩壊可能土砂量の算出

縦横断測量と限界貫入深度試験の結果をもとに土層深断面図を作成する。

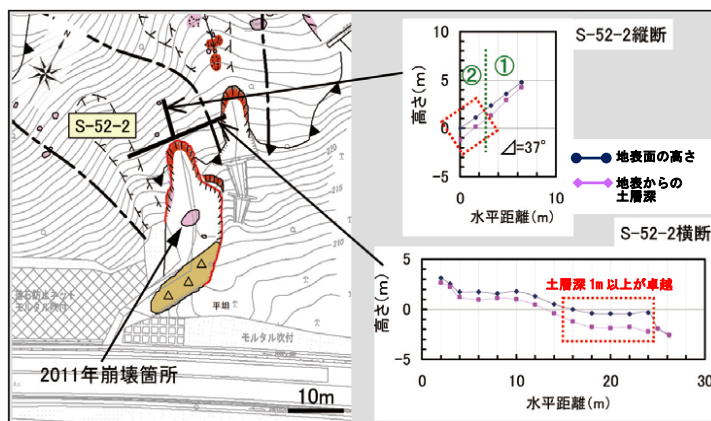


図-1 縦横断測量の測線と土層深断面図の例¹⁾

土層深の分布状況から崩壊規模（深さ、面積）を想定し、「砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説」の手法に基づき、崩壊可能土砂量（0次谷の予想崩壊土砂量）を算出する。

(5)崩壊危険箇所の抽出

飯田(2012)は、土層深と斜面傾斜角の関係から土層の安定・不安定域を図示している。対象斜面周辺に崩壊箇所がある場合、崩壊箇所の土層深と斜面傾斜角は安定度が低い（不安定な）条件を示すと考えられる。

これらの情報をもとに安定度が高い領域の限界線が設定される。この限界線に対し、対象斜面の土層深と斜面傾斜角から土層の安定度を評価することができ、崩壊危険箇所の抽出に用いることができる（図-2）。

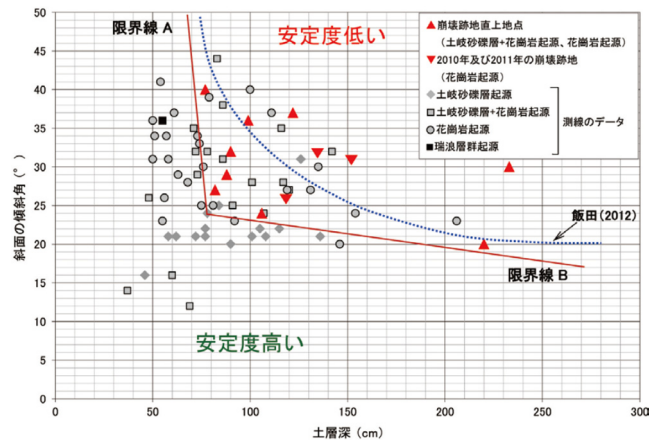


図-2 斜面傾斜角と土層深の関係図の例¹⁾

参考文献

- 1) 辻岡 秀樹・高見 美智夫・野溝 昌宏・細田 宏（2015）：土層強度検査棒を用いた 0 次谷斜面における土砂流出危険箇所の抽出、応用地質技術年報 No.34、pp.57-64
- 2) 安藤伸・宮本浩二・田山聡・篠田雅男・永田政司（2016）：土石流の発生源となった崩壊地の土層厚と斜面勾配の関係、第 51 回地盤工学研究発表会発表講演集、pp.2011-2012
- 3) 飯田智之（2012）技術者に必要な斜面崩壊の知識、鹿島出版会

参考歩掛

- ・条件：対象斜面 30m×20m 程度（試験地点数は 30 地点、1 地点 3m 程度）と想定
解析検討する縦横断測線はそれぞれ 1 測線（計 2 測線）
- ・歩掛：以下の通り（直工）

項目	数量	地質調査技士	主任地質調査員	地質調査員
地形判読、地表踏査	1 式	0.1	0.2	0.2
縦横断測線および試験地点の選定 ※簡易測量による断面作成を含む	1 式 (2 断面)	0.2	0.4	0.4
限界貫入深度試験（資料整理含む）	1 式 (30 地点・90m)	1.8	3.6	3.6
土層分布図（断面図）の作成	1 式 (2 断面)	0.2	0.4	0.4
調査結果とりまとめ	1 式	0.1	0.2	0.2

※ 上記以外に材料費、移動経費、交通費、その他の雑費等必要。

※ とりまとめには安定解析等の設計にかかる項目は含まない。

使用実績（令和 2 年 8 月現在）



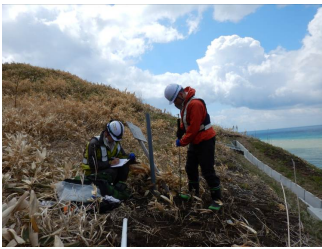
国	都道府県	市区町村	民間	その他
1	0	0	1	0

お問い合わせ

応用地質株式会社 技術本部 ジオデザインセンター（担当：宮本）
〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2 丁目 61 番 5 号
TEL：048-652-3942 E-mail：miyamoto-kouji@oyonet.oyo.co.jp（宮本）

1.2 崩壊に伴う類似切土法面の不安定箇所の抽出

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要	
<p>切土斜面の不安定範囲を確認する技術である。切土法面の法頭で発生した崩壊を受けて、周辺切土区間において類似斜面の安定性評価を実施したものであり、迅速且つ広範囲に調査することが可能な手法である。試験結果について個人差が少ないことから、継続的な切土の維持管理手法として活用が可能である。</p>	
従来技術との比較	
<p>従来用いられる簡易動的コーン貫入試験は、定量的な評価は可能であるが、1箇所数10分を要し、また、調査用具も比較的重量があることから短時間で広域に評価することが難しい。土検棒を用いた調査は、貫入強度試験と限界貫入深度試験を組み合わせることにより、比較的短時間で広域の定量評価が可能となる。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>適用範囲：土層強度検査棒が挿入可能な表層の土砂および強風化により軟質化した岩盤の分布範囲の特定が適用範囲である。</p> <p>適用条件：基盤岩の岩種や風化状況（性状）が判明していること。崩壊範囲が表層の未固結層および強軟質化した風化層であること。</p> <p>事前に必要なデータ：対象箇所のボーリング調査結果（ボーリング柱状図・N値等）</p>	
留意事項	
<ul style="list-style-type: none"> ・貫入強度試験は、礫障害や風化状況の不均質性を考慮し、同一地点において複数回試験することが望ましい。 ・ボーリング調査が実施されている場合、調査孔近傍で限界貫入深度試験および貫入強度試験を実施し、結果の対比を行うことが望ましい。 ・傾斜地における試験は足下が不安定となりやすいため、確実な安全確保のうえ実施する。 	
技術の手順	
<p>1. 崩壊の要因整理</p> <p>豪雨に伴い切土法面の法頭が崩壊した（写真-1）。崩壊土砂は現道へ達し、数日間通行止めとなった。崩壊は、法面上方にある浅い谷地形が集水地形（図-1）となり、且つ、谷地形に沿って風化が厚いことが要因であった。</p>	 <p>写真-1 崩壊部</p>
	 <p>図-1 崩壊部周辺の地形図</p>
<p>2. 既存調査結果との対比・現地調査</p> <p>既存ボーリング箇所および簡易動的コーン貫入試験近傍において貫入強度試験を実施する。</p> <p>限界貫入深度試験および貫入強度試験は礫障害による影響を受けやすいため、既往調査との対比は、同一地点で3回程度試験し、バラツキを確認する。</p> <p>限界貫入試験における限界深度は3.15mであった。これは、簡易動的コーン貫入試験によるNd値>10と一致した。コア観察による強風化境界は深度4.0mであるが、簡易動的コーン貫入試験</p>	 <p>写真-2 既往調査孔脇で実施</p>

により強度変化点を確認できていることから、この境界を強風化により軟質化した範囲とし、土検棒による調査の適用が可能と判断した。なお、標準貫入試験結果との対比では、深度 3.15m から 4.15m の間に N 値が 10 を越える境界があるものの、試験間隔が 1m であることから詳細な強度変化点は確認が困難である。

3. 調査結果とりまとめ

限界貫入深度試験結果は、貫入深度を 50cm 毎に塗色し貫入限界深度の分布を図示する (図-3)。調査結果から、谷地形直下の切土法面に軟質化した (限界貫入深度の深い) 箇所は確認されず、崩壊地周辺に緊急性を要する不安定な法面はないという判断となった。

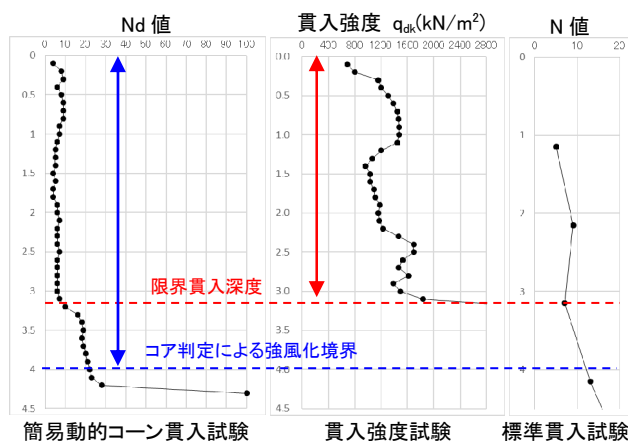


図-2 既往調査との対比

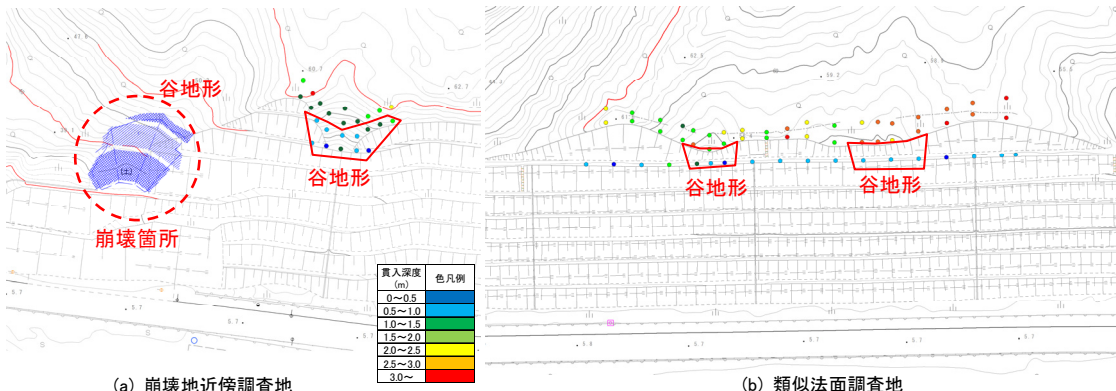


図-3 調査結果平面図

参考歩掛

- 概略数量 (法頭調査 1 区間: 延長約 150m あたり) 作業日数: 概ね 1 日
 - 貫入強度試験: 2 箇所 (既存調査箇所、1 箇所あたり 3 回程度確認)
 - 限界貫入深度試験: 1 断面 3 箇所程度、断面間隔 10m、合計約 50 箇所
- 歩掛
 - 現地調査: 地質調査技師×1 人工、地質調査員×1 人工
 - とりまとめ: 地質調査技師×0.5 人工、主任地質調査員×0.5 人工、地質調査員×1 人工
 - 総合解析: 別工種の調査項目と合わせた別途見積りで対応

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
2	0	0	0	0

お問い合わせ

株式会社ドーコン
 環境事業本部地質部
 担当 (山田・中山)
 〒062-0933 札幌市豊平区平岸 3 条 5 丁目 4-22 平岸グランドビル新館 6 階
 Tel: 011-801-1570 E-mail: ty1318@docon.jp (山田)

1.3 切土法面の表層崩壊危険箇所（スレーキング深さ）の確認

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他（ ）
技術分類	限界貫入深度試験		貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他

技術の概要	
<p>切土法面においては、切土後長い年月が経過すると、緩みや乾湿繰り返しによる軟質化（スレーキング）により、表層崩壊が発生しやすくなる場合がある。</p> <p>土層強度検査棒（先端コーン付ロッド）を人力で押し込むことにより、切土法面の劣化部を迅速に且つ広範囲に把握することが可能である。また、試験結果については、簡易に整理することができることから、切土法面の維持管理手法として活用が期待される。</p>	
従来技術との比較	
<p>深さ数 10cm 程度の表層崩壊危険箇所を把握することは難しい。また、従来用いられている簡易動的貫入コーン試験では、重量が重く、1箇所あたりの調査時間も 30 分程度はかかる。土層強度検査棒を用いた限界貫入深度試験は、1箇所あたりの調査時間は数分程度と短く、重量も軽いことから、短時間で広範囲の法面調査を実施することが可能である。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>適用範囲：スレーキング性堆積軟岩、風化花崗岩</p> <p>適用条件：法面保護工が実施されていないこと</p> <p>事前に必要なデータ：道路台帳、地質調査データ等</p>	
留意事項	
<ul style="list-style-type: none"> ・地中の礫や木根に当たることによって貫入不能となる可能性があるため、1地点あたり数回の限界貫入深度試験を実施し、最大値を採用する。 ・表層崩壊危険箇所は地表水、湧水との関連性が高いため、調査時には湧水地点、ガリー浸食等を把握する。 	
技術の手順	
<p>1.限界貫入深度試験適応性の確認</p> <p>既往崩壊箇所の周辺部で限界貫入深度試験を実施し、貫入深度と崩壊深が概ね一致することを確認する。</p>	
<p>2.調査位置の選定</p> <p>10m ピッチで調査測線を設け、1 測線 1 法面あたり、上部、中腹部、下部の 3 点で調査を実施する。</p>	
<p style="text-align: center;">写真-1 調査箇所全景</p>	
<p>3.限界貫入深度試験の実施</p> <p>試験と合わせて湧水箇所、湧水跡の確認を行い、記録する。</p>	

図-1 限界貫入深度試験の妥当性確認

4.調査結果とりまとめ

既往崩壊箇所の崩壊深さが 40cm であったことから、土層深 40cm 以上のエリアは今後崩壊する可能性が高いものとした。

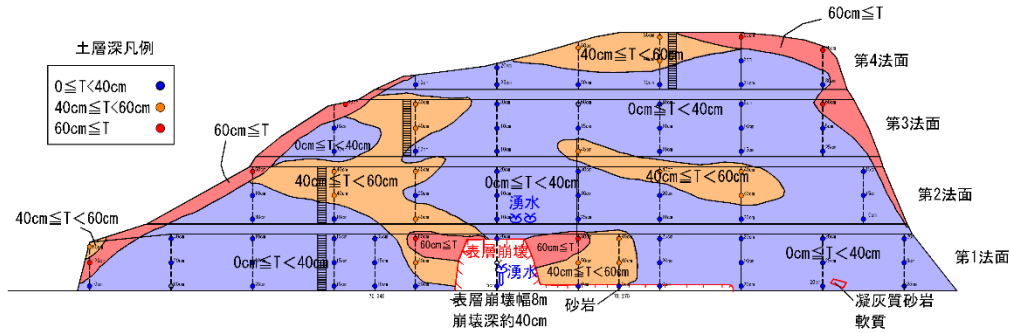


図-2 土層深分布図

5.考察

切土法面の縁辺部は土層深 60cm と深いですが、切土前の旧地表面に近く、地下水や湧水はないため問題はないと判断した。ただし、地表水が流れ込む場合は注意する必要がある。

土層深 40cm 以上のエリアが法面 2 段以上にわたって連続する場合、1 段以下の場合と比較して、崩壊した場合に道路への影響が大きいため、特に注意が必要と考えられる。

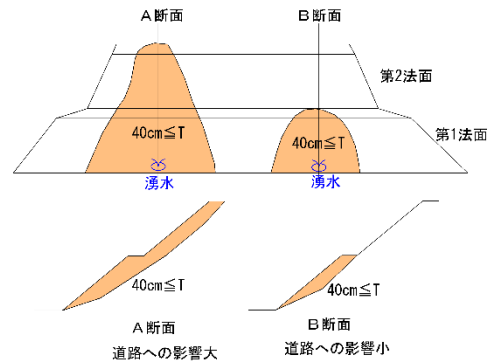


図-3 土層深の分布と危険度

参考歩掛

- ・条件：1 法面、延長 100m、切土高 30m 程度まで、作業日数 1 日
- ・歩掛

項目	数量	地質調査技師	主任地質調査員	地質調査員
計画準備	1 業務	0.5	1.0	1.0
限界貫入深度試験	1 法面	1.0	1.0	1.0
資料整理とりまとめ	1 法面	0.5	1.0	1.0

使用実績（令和 2 年 8 月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
○				

お問い合わせ

日本工営株式会社 北陸事務所 担当 ^{のりみず}（法水）


〒920-0025 石川県金沢市駅西本町 5-1-43

Tel : 076-232-3254

E-mail : a4783@n-koei.co.jp

1.4 斜面における土層深の空間的分布の把握と不安定斜面の抽出

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要	
<p>自然斜面において土層強度検査棒による貫入限界深度試験を行い、対象斜面における表層の緩んだ土層深分布の不均質性を評価するとともに、斜面勾配や地形判読結果、現地踏査結果をふまえ、表層崩壊の危険箇所を抽出する。</p>	
従来技術との比較	
<p>一点あたり数分で限界貫入深度の測定が可能であるため、ボーリング調査や簡易動的コーン貫入試験等と比較して、迅速かつ経済的であり、これまで困難であった斜面における緩んだ表層の分布を把握するための多点調査が可能となる。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>適用範囲：深さ 5m までの表土を有する自然斜面を対象とする。 適用条件：砂質土、粘性土に関わらず試験が可能であるが、礫を多量に含む地層では貫入が困難となるため、適用できない。 事前に必要なデータ：詳細な地形図（LP によるものが望ましい）、空中写真や地形判読による微地形区分図、周辺のボーリング調査結果等の地質資料</p>	
留意事項	
<ul style="list-style-type: none"> ・地層中の礫や木根により貫入が阻害されることがあるため、同一地点で複数回の貫入を行うとともに、周辺の測定点と比較して限界深度が浅すぎる傾向がある場合は、貫入回数を増やして確認する。 ・限界貫入時の手応え等から、限界貫入深度となった地層を区分しておくこと、地質構造の把握に有効であるとともに、礫や木根等による異常値の検証も容易になる（図-1）。 ・貫入する角度が結果に大きな影響を与えるため、確実に鉛直に貫入するよう留意する。 	
	
<p>図-1 礫混じりの表土では、礫と岩盤を誤認しないように留意が必要</p>	
技術の手順	
(1) 測線および測点配置	
<p>測線および測点の配置は、調査目的や現地の状況、経済性等を考慮して以下より選定する。</p>	
<p>①ラインまたはグリッドによる測線および測点の配置例（図-2-①）</p> <p>直線状または格子状の測線を設定し、等間隔の点またはグリッドの交点を測点とする。測線を配置するにあたり測量を行う必要があるが、調査地の任意断面を得る場合や三次元的な土層分布を評価する場合に適している。</p>	
<p>②等高線方向の測線および測点の配置例（図-2-②）</p> <p>等高線方向(水平方向)にトラバースしながら方位を測定し、一定間隔または任意の間隔</p>	

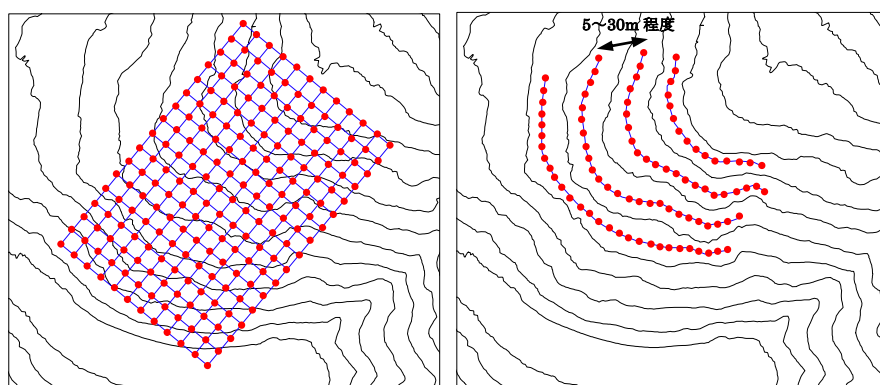
で測点を設定する。測量が簡便であること（起点と終点だけで良い）、崩壊地の判別が容易となる利点を有するが、調査に粗密が発生するので、必要に応じて補間等の処理を行う必要がある。

③斜面最大傾斜方向の測線および測点の配置例（図-2-③）

斜面の最大傾斜方向に一定間隔または任意の間隔で測定を行う。崩壊危険箇所が安定解析のための断面を得る場合などに用いるが、②と組み合わせることで、三次元的な土層分布を評価することもできる（図-2-④）。

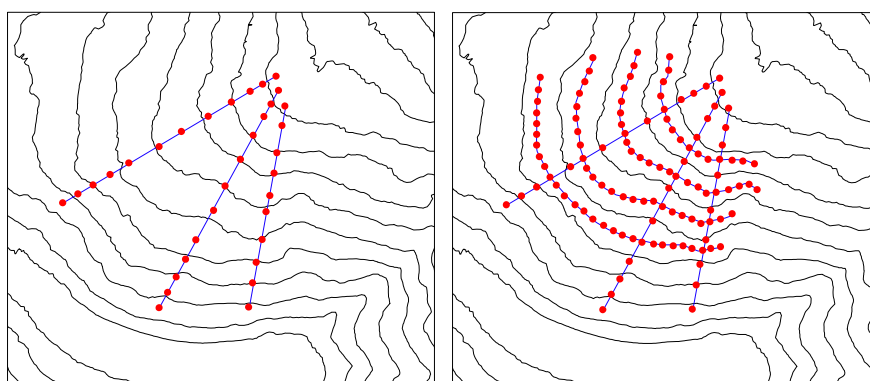
斜面の土層分布は崩壊履歴や微地形などにより大きく異なることがあるので、測点間隔は微地形単位や過去の崩壊規模よりも小さな間隔（約10m以下）で行う。特に等高線に沿ってトラバースする場合は、1～3m程度の間隔が位置確認の上でも適している。

グリッドによらず、等高線方向に複数の測線を配置する場合は、測線間の標高差が極端に大きくなるように、データの対比が可能な程度（一般に5m～30m程度）に配置する。



①グリッド測線

②等高線方向の測線



③最大傾斜方向の測線

④等高線方向・傾斜方向の組合せ測線

図-2 測線および測点の配置例

(2) 土層強度検査棒調査

各測定点において限界貫入深度試験を実施する（図-3）。礫や木根による影響を除外するため、一箇所あたり複数の貫入を行うことを基本とする。必要に応じて、土層と基盤の境界の状況や貫入時の音や手応えなどから判定した土質の区分などを特記事項として記載する。

また、斜面防災などを目的とする場合には、測線・測点付近やその周辺の微地形や変状、斜面勾配等を併せて踏査し、図化する。



図-3 調査状況

(3) 結果の整理

土層深の調査結果は平面図や断面図として整理する。図-4 にグリッド測線の交点で計測した結果の例を、また、図-5 にトラバース法（水平方向で測点を配置）により水平方向に計測した結果の例を示す。

土層深の空間的分布は過去の崩壊などの影響によりかなり不均質であり、限界貫入試験結果は局所的な転石の影響を強く受けていることもあるため、必要に応じて周辺の微地形等の調査結果を重ねて表示する。

一つの斜面においても土層深の分布は一樣ではなく、表土の厚いエリアや薄いエリアがパッチワーク状に分布している。一般的に、勾配が緩く表土の薄い箇所は比較的安定したエリアであり、急勾配でかつ表土が厚い範囲は不安定なエリアとなることが多いため、土層深の分布と微地形等の分布の重ねあわせにより、表層崩壊の懸念されるエリアである不安定な斜面を絞り込むことが可能となる。

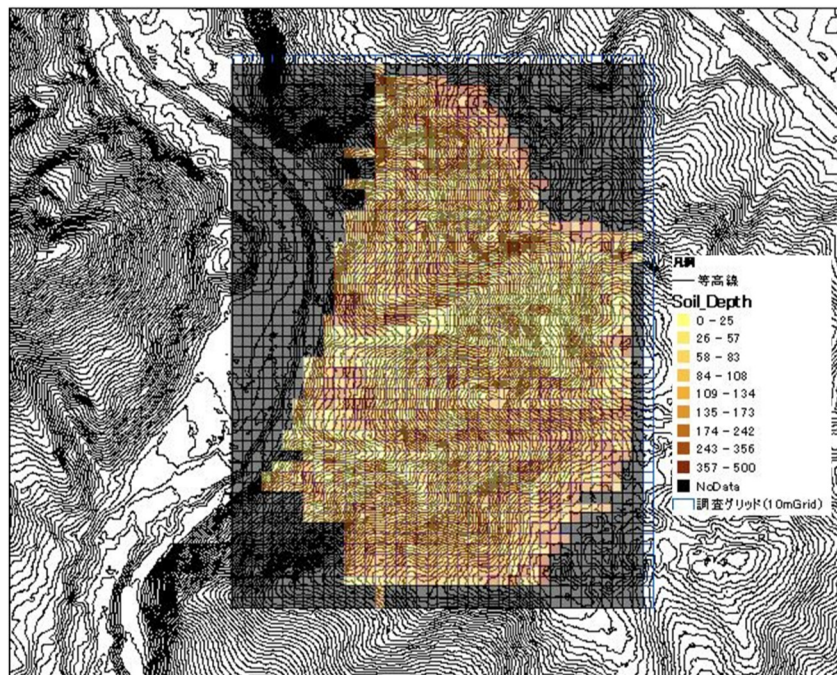


図-4 10m グリッドによる土層深の測定結果の表示例

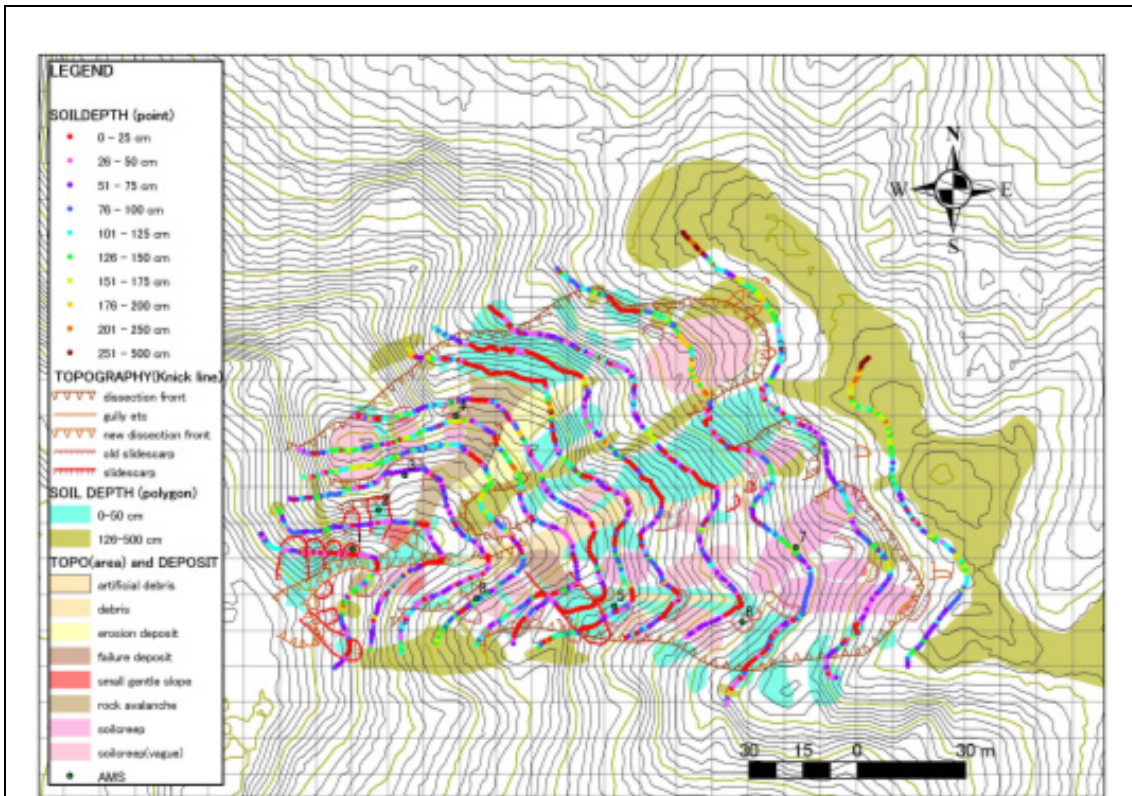


図-5 トラバース法による土層深測定結果と地形判読結果の重ね合わせ例

参考文献

佐々木靖人(2012)：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル（案）,土木研究所資料第4176号

参考歩掛

研究活動として実施した事例のため、参考歩掛は未策定

使用実績（令和2年8月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
研究活動として実施	—	—	—	—

お問い合わせ

国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 地質チーム（担当：矢島）
〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6
TEL 029-879-6769 E-mail : geology@pwri.go.jp

2.1 河川堤防基礎地盤の被覆土層（土質・層厚）を確認する調査

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他（ ）
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

<p>技術の概要</p> <p>河川堤防の堤内地側に分布する基礎地盤の地盤構成が、表層部（被覆土層）に粘性土、その下位に透水性が良い土質（砂質土 or 礫質土）が分布する場合、地盤漏水が発生しやすいとされている（図-1 参照）。また、堤外地（高水敷）では、表層部（被覆土層）の土質および層厚によって、河川水・降雨の基礎地盤への浸透量に差異が生じ、河川堤防の耐浸透機能に対して大きな影響を与える。</p> <p>図-1 地盤漏水発生メカニズム例</p> <p>上記のような地盤構成の情報は、点ではなく面的に得ることが非常に重要となる。</p> <p>土層強度検査棒（限界貫入深度試験）を活用することで、簡易かつ迅速に河川堤防基礎地盤の被覆土層の土質および層厚を面的に把握することができる。</p>	
<p>従来技術との比較</p> <p>面的に被覆土層を確認する場合、ボーリング調査を多点的に実施することが最も正確に被覆土層の情報を取得することができる。また、最近ではボーリング調査と物理探査との併用により面的に被覆土層の分布を把握することが試みられている。しかし、ボーリング調査を活用した方法は、非常に調査費が高く、比較的長い作業期間が必要となる。</p> <p>ボーリング調査より簡易な方法として、スウェーデン式サウンディング試験や簡易動的コーン貫入試験を活用して多点的に実施する方法がある。これらの調査手法は、機器重量が重く、2~3人で調査する必要がある。</p> <p>それに対し、土層強度検査棒を用いた限界貫入深度試験は、軽量で可搬性が高く、しかも一人で調査ができるため、短時間で広範囲の調査が可能である。</p>	
<p>適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ</p> <p>適用範囲：土質地盤。</p> <p>適用条件：表層 5m 程度までの土砂が対象。</p> <p>事前に必要なデータ：ボーリング調査結果・治水地形分類図等</p>	
<p>留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事前に位置出しおよび高さ測量を実施する。 ・ボーリング調査結果があれば、事前に土層強度検査棒による貫入状況とボーリング調査結果（柱状図）との対比を行うことが望ましい。 ・礫障害等が確認された場合は、近傍で複数の地点で試験を実施する。 	

技術の手順

1. 計画準備（調査計画立案）

現地状況や既往資料等を確認して、被覆土層の分布を面的に把握できる調査地点の配置を計画する。

2. 位置出し測量・高さ測量

調査地点の位置出し・高さ測量を実施する。

3. 限界貫入深度試験

各地点で限界貫入深度試験を実施し、限界貫入深度を記録する。また、貫入時の手応えや音で土質とその深度を記録する。

4. 調査結果とりまとめ

限界貫入深度試験結果による限界貫入深度・土質区分および近傍のボーリング調査結果等を総合的に判断して各地点の被覆土層の下端深度を求める。

上記の結果を基に、被覆土層厚コンター図(図-2) や各地点の地質横断図を作成する(図-3)。これらの結果を利用して、三次元地盤モデル作成や浸透流解析等に活用する。

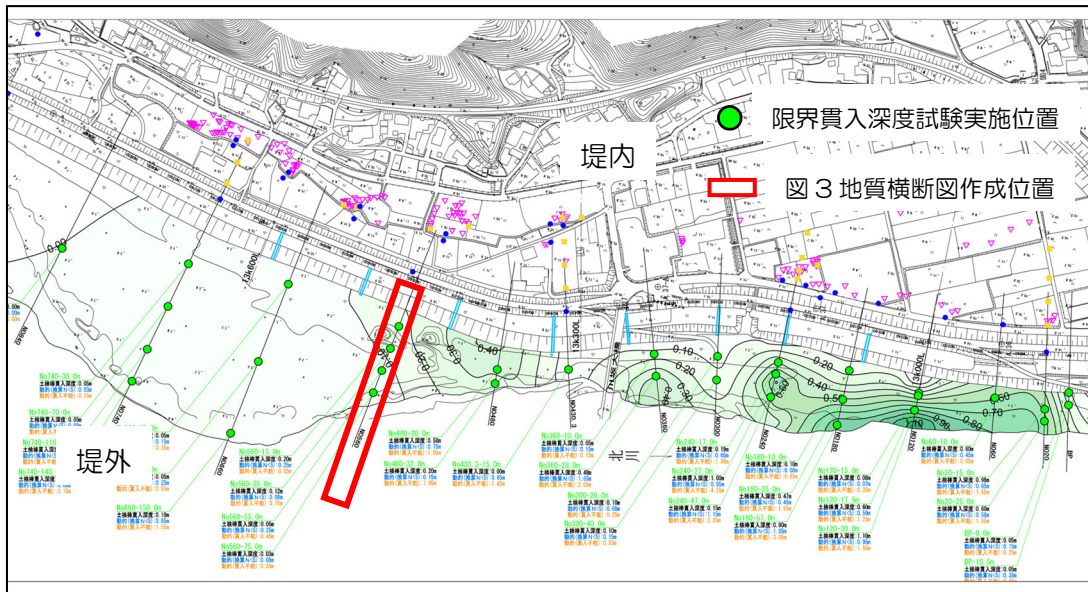


図-2 限界貫入深度試験結果から作成した高水敷の被覆土層厚コンター図作成例

(出典；国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室 研究成果より引用)

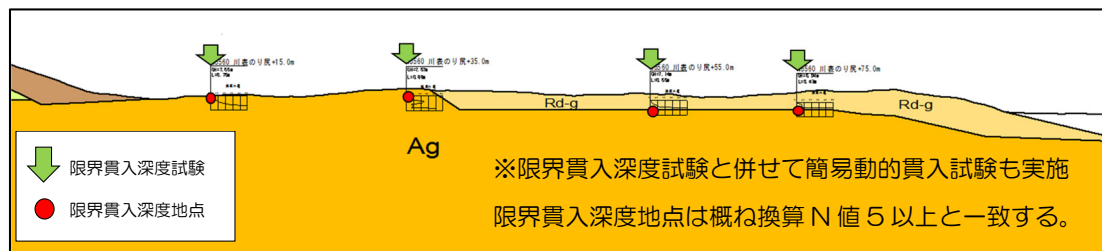


図-3 限界貫入深度試験結果を活用した地質横断図作成例

(出典；国土交通省 国土技術政策総合研究所 河川研究室 研究成果より引用)

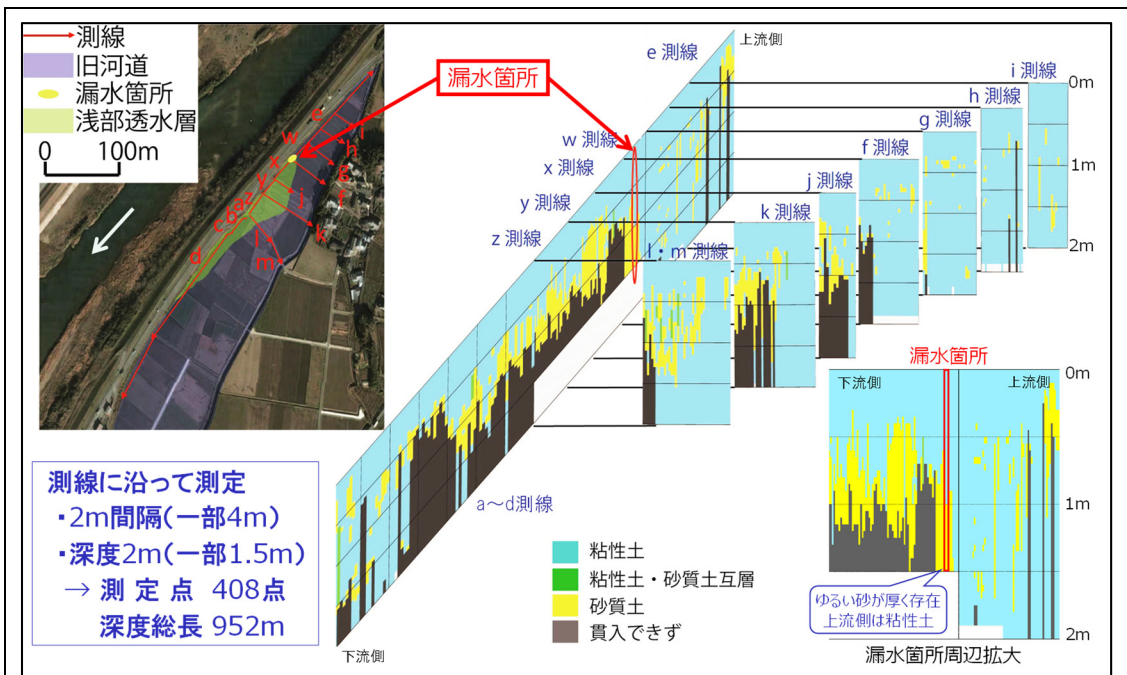


図-4 稠密な限界貫入深度試験と貫入時の手応え等から判定した土質区分結果の整理例¹⁾

参考文献

1) 品川俊介 (2014) 誰でもできる地質調査 - 堤防基礎地盤の高密度サウンディング -, 河川構造物管理研究セミナー資料, 国土技術政策総合研究所ホームページ (<http://www.nilim.go.jp/lab/fag/data/seminar140227/5-file.pdf>)

参考歩掛

- ・条件 範囲 500m×200m 限界貫入深度試験 30 箇所 平坦地形の場合
- ・歩掛

項目	数量	地質調査技師	主任地質調査員	地質調査員
準備及び跡片付け	1 業務	1.0	1.0	0.5
位置出し・高さ測量	1 式	1.0	1.0	
限界貫入深度試験	30 箇所		2.0	2.0
資料整理とりまとめ	1 業務	1.0	1.0	
総合解析とりまとめ	1 業務	1.0	1.0	2.0

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
○				

お問い合わせ

株式会社 地圏総合コンサルタント（担当：中川）

〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 2-26-2（日暮里 UC ビル）

Tel 03-6311-5150 Fax 03-3801-9211

e-mail:infotec_geo@chiso-con.co.jp

【稠密調査と定性的土質区分に基づく堤防基礎地盤調査について】



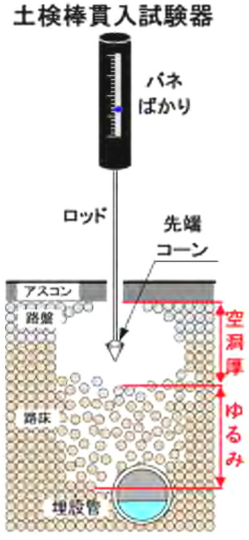
国立研究開発法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 地質チーム（担当：矢島）

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6

TEL 029-879-6769 E-mail : geology@pwri.go.jp

2.2 路面下空洞調査で確認した空洞下のゆるみ等の把握

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 (道路面下：車道、歩道等)
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要		
<p>地下レーダー探査で把握された、道路面下の空洞下部の路盤・路床（埋土）に生じたゆるみを、土層強度検査棒を用いて評価するものである。土層強度検査棒は、地下埋設物事故を発生させる可能性が低く、舗装の削孔も小さいため復旧が容易であり、多点の試験が可能である。</p>		
従来技術との比較		
<p>地下レーダー探査により路面下で顕著な空洞が検知された際、空洞の広がり等を捉えるため、削孔してファイバースコープによる目視確認を行う場合がある。ただし、あくまで視認する作業であり、空洞下部の土砂に覆われた部分の状況は把握できない。そこで、空洞下部の埋土等にゆるみなどが無いか、土層強度検査棒を用いて確認するものである。</p>		
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ		
<p>舗装面を削孔する必要がある。また、舗装下の路盤等に礫が多く含まれる場合、ゆるみの深度を誤認する可能性がある。ファイバースコープによる目視確認時にあらかじめ礫の混入の程度などを確認し、適用の可否を判断する必要がある。</p>		
留意事項		
<p>貫入抵抗値は土の粒度組成や含水比に左右されるため、得られる貫入抵抗値は現場ごとの相対的なゆるみの目安として評価する必要がある。</p>		
技術の手順		
<ul style="list-style-type: none"> 削孔と空洞観察を行った後、掘削孔に土層強度検査棒を挿入し、荷重計を用いて、空洞下の路盤・埋土等の貫入抵抗値を求める。 		
		
<p>図-1 空洞下地盤の貫入抵抗値の計測イメージ¹⁾²⁾</p>		
<ul style="list-style-type: none"> 貫入抵抗値の変化から、空洞下部で生じたゆるみの有無（空洞より深部で破損した埋設管による吸出しが生じているか等）を評価する。 貫入抵抗値の変化から“ゆるみの存在”を指摘することは可能だが、“ゆるみの原因”は、別途、近傍の埋設管の有無などから推察する必要がある。 		

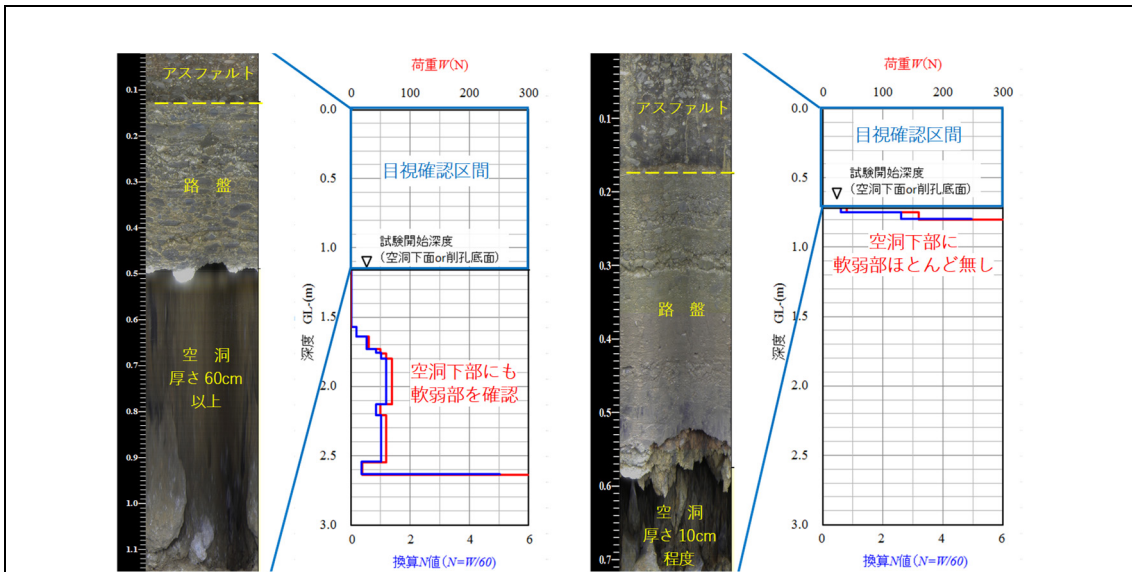


図-2 路面下空洞調査への貫入強度試験適用例

参考文献

- 1) 伊藤亮太・宇野嘉伯・川原孝洋 (2017) : 土層強度検査棒貫入試験と CBR 試験の比較実験の紹介, 全地連「技術フォーラム 2017 旭川」講演論文集
- 2) 伊藤亮太・宇野嘉伯 (2018) : 路面下空洞周辺の地盤強度特性に関する一考察, 第 53 回地盤工学研究発表会 講演論文集

参考歩掛

- ・条件: 空洞探査後、ファイバースコープ観察等のための掘削孔が設けられていることを前提条件とする (空洞探査ならびに削孔の費用は歩掛に含めない)
- ・歩掛: 5 地点 (1 点 2m 換算) あたりの歩掛は以下の通り (直工)

項目	数量	地質調査技士	主任地質調査員	地質調査員
貫入強度試験によるゆるみ領域の把握 (貫入強度の計測)	1 式 (5 地点・10m)	0.11	0.35	0.46
調査結果とりまとめ	1 式 (5 地点)	0.1	0.5	0.5

- ※ 上記以外に、材料費、移動経費、交通規制費、その他の雑費等が必要 (見積で対応)
- ※ ファイバースコープによる目視観察を実施した場合、図-2 のように結果を併記したとりまとめを行う場合がある

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
0	6	10	0	0

お問い合わせ

応用地質株式会社 メンテナンス事業部 (担当: 松山、清水)
 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2 丁目 61 番 5 号
 TEL : 048-652-4956 E-mail : matsuyama-akio@oyonet.oyo.co.jp (松山)

2.3 地盤の空洞やゆるみ領域の位置・規模を推定するための補完調査

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 (造成地(ゴルフ場))
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

<p>技術の概要</p> <p>地盤の空洞やゆるみ領域の把握に地中レーダー探査を用いられることが多い。地中レーダー探査は、電磁波の反射、屈折、透過現象を利用して地中の構造を把握する手法であるが、埋設管や空洞の明確な形状が分かる訳ではない。そのため、探査で異常反射が得られた地点でサウンディングや簡易ボーリングなどを行うことで、探査の精度が格段に向上する。</p> <p>土層強度検査棒を静的に貫入する際の押し込み力を深度方向に連続的に測定することによって、地盤表層の締めり具合・ゆるみの変化を連続的に把握することができる。地中レーダー探査の補完調査として実施することにより、地盤のゆるみ領域をより詳細に把握することができる。</p>	
<p>従来技術との比較</p> <p>地盤のゆるみ領域を直接的に検出する従来技術には、スウェーデン式サウンディング試験や簡易動的コーン貫入試験がある。これらの調査手法は、機器重量が重く、複数人で調査する必要がある。それに対し、土層強度検査棒を用いた貫入強度試験は5mセットの場合でも4.5kg程度と簡易動的コーン貫入試験器の1/4と軽量で可搬性が高く、しかも一人で調査ができるため、短時間で広範囲の調査が可能であるメリットがある。</p>	
<p>適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ</p> <p>適用範囲：土質地盤 適用条件：礫含有量の多い土質では、適用しにくい。 事前に必要なデータ：当該地の地質調査データや既設構造物の諸元などがあると望ましい。</p>	
<p>留意事項</p> <ul style="list-style-type: none"> ・貫入時に荷重計が弾んだり、ロッドが撓まないよう注意しながら貫入する。 ・礫あたりの場合は、半径1mの範囲内で調査地点を移動して再試験する。 ・礫あたりの現地判断が重要となるため、試験方法の“慣れ”が必要である。 	
<p>技術の手順</p> <p>1. 既存資料の収集 当該地の地質分布や既設構造物に関する資料を収集する。</p> <p>2. 現地踏査 「ひび割れ」や「陥没」などの地表変状の位置を記録し、その踏査結果をもとに地中レーダー探査測線を設定する(図-1)。</p> <p>3. 地中レーダー探査 地中レーダー探査は、アンテナから地中に向けて電磁波を発信し、空洞や埋設物、地層境界の反射波が受信アンテナに到達するまでの時間を計測して、探査対象の深さと位置を推定する(図-2)。</p> <p>地中レーダー探査の結果、空洞またはゆるみの可能性があるかと推測される区間を抽出する。</p>	



図-1 地表変状の現地記録状況

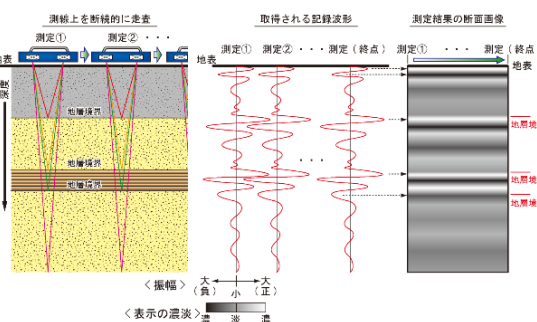


図-2 地中レーダー探査概

4. 貫入強度試験

地中レーダー探査をもとに空洞やゆるみが大きい範囲を網羅するように選点し、選点された調査地点において貫入強度試験を実施する。

空洞やゆるみの大きい箇所では、一気にロッドが貫入してしまう恐れがあるので、細心の注意を払いながら試験を行う。

試験結果は、貫入強度－深度図として整理する。

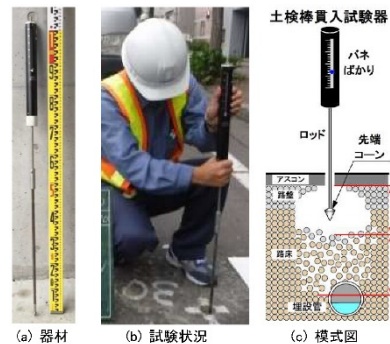


図-3 貫入強度試験のイメージ¹⁾

5. 考察

地中レーダー探査および貫入強度試験結果を総合して、地盤の空洞やゆるみ領域の位置・規模を推定する(図-4)。その際、ファイバースコープによる目視確認を行うと、より詳細に地盤の空洞・ゆるみを把握できる。

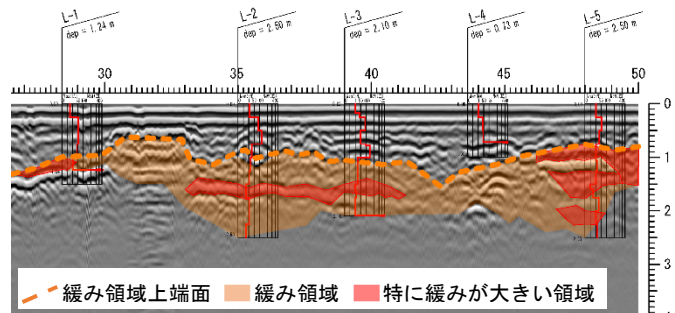


図-4 地中レーダー探査と貫入強度試験から推定した緩み範囲

参考文献

- 1) 伊藤亮太・宇野嘉伯・川原孝洋：土層強度検査棒貫入試験と CBR 試験の比較実験の紹介、全地連「技術フォーラム 2017 旭川」講演論文集

参考歩掛

- ・条件
- ・歩掛

項目	数量	地質調査技師	主任地質調査員	地質調査員
準備及び跡片付け	1 業務	1.0	1.0	0.5
既存資料の収集・現地調査	1 業務	1.0	1.0	
地中レーダー探査	1 業務	別途計上		
貫入強度試験	10 箇所		1.0	1.0
資料整理とりまとめ	1 業務	0.5	0.5	
総合解析とりまとめ	1 業務	1.0	1.0	2.0

使用実績 (令和 2 年 12 月現在)

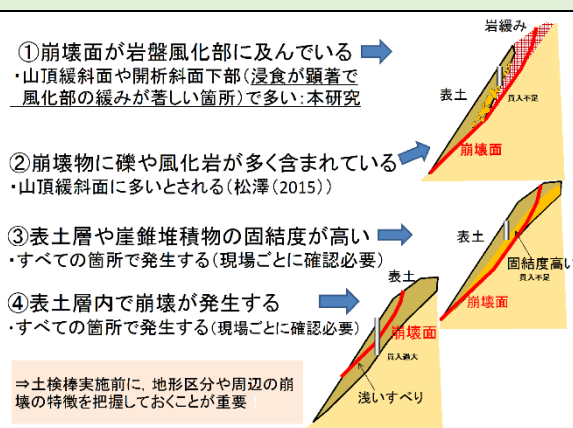
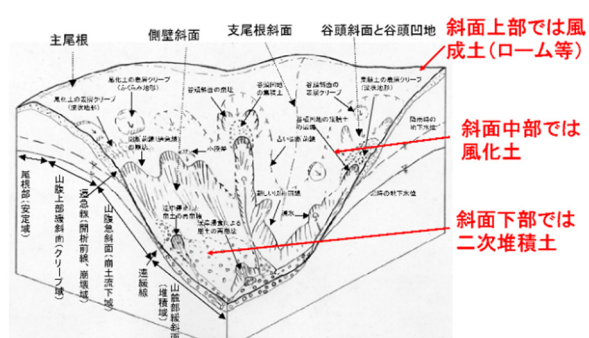
国	都道府県	市区町村	民間	その他
			1	

お問い合わせ

川崎地質株式会社 首都圏事業本部
 担当 (内田 敬)
 〒108-8337 東京都港区三田二丁目 11 番 15 号
 Tel 03-5445-2082 Fax 03-5445-2098
 e-mail: uchidat@kge.co.jp (内田)

3.1 崩壊履歴から対象斜面のすべり面強度を推定し安定性を評価する方法

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

<p>技術の概要</p> <p>斜面は、勾配が急で移動層の層厚が大きいほど不安定である(図-1)。また、すべり強度が小さいほど斜面は不安定である。</p> <p>本手法は、崩壊跡の斜面勾配・すべり面層厚と、評価対象斜面のそれらの値を比較し、両者の相対的な対比から危険性を評価するものである。このうち、崩壊の可能性がある土層の厚さを土層強度検査棒の“限界貫入深度試験”により類推する。</p> <p>図-1 斜面勾配と崩壊土層深と斜面の安定性の関係(相対評価)¹⁾</p> 	
<p>従来技術との比較</p> <p>安定性評価の重要な指標となる土層深(崩壊が懸念される土層厚)は不均質なものであり、斜面(または切土のり面)の安定性を適正に評価するには、多点・広域の調査が必須である。</p> <p>斜面等の土層深の測定には、従来、簡易動的コーン貫入試験が広く用いられている。人力での運搬は可能だが、重錘を含めた資材重量は20kgを超え、1地点の試験に数10分程度の手間を要するため、多点・広域の調査が難しい面があった。土層強度検査棒は、1セット5kg程度と軽量で、重錘等は用いず人力で押し込むだけのシンプルな試験方法である。不安定化が懸念される斜面全域で簡易に調査が行えることから、より適切な安定性評価が可能となる。</p>	
<p>適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ</p> <p>(1) 適用範囲・適用条件: 土層強度検査棒は、貫入力が小さく、土層に礫等が多く含まれると適用が難しい。金井ほか(2016)は、土層強度検査棒の限界貫入深度の試験の適用が難しい条件について130地点の試験結果から、図-2のようにまとめている。</p> <p>(2) 事前に必要なデータ: 佐々木(2012)や佐々木(2010)は、斜面の形成過程が土層構成に影響を与えていることを示し、“崩壊は中長期的な作用が関与して不安定化が進むため、斜面の発達過程を考慮する必要がある”としている(図-3)。</p> <p>さらに、斜面の安全性は、地形や土層構成の独立要素に依存しないため、危険性の低い地形でも、地質境界・変質・断層といった地質要素により崩壊する可能性があり、“斜面の場”の分類だけでなく“形質”の分類が重要であることが強調されている。そのため、試験にあたっては、①地形判読図を作成するほか、土層強度検査棒を併用した微地形踏査による②地形・地質場区分図を作成する必要がある。</p>	
<p>①崩壊面が岩盤風化部に及んでいる ・山頂緩斜面や開析斜面下部(浸食が顕著で風化部の緩みが著しい箇所)で多い:本研究</p> <p>②崩壊面に礫や風化岩が多く含まれている ・山頂緩斜面に多いとされる(松澤(2015))</p> <p>③表土層や崖錐堆積物の固結度が高い ・すべての箇所で発生する(現場ごとに確認必要)</p> <p>④表土層内で崩壊が発生する ・すべての箇所で発生する(現場ごとに確認必要)</p> <p>⇒土検棒実施前に、地形区分や周辺の崩壊の特徴を把握しておくことが重要</p> 	<p>図-2 本評価方法が適用外になる条件¹⁾</p>  <p>図-3 表層崩壊の発生場²⁾</p>

留意事項

斜面は、不均質なものであり、対象ごとに安定・不安定の条件が異なる。まずは、地質技術者が、地形や土層の形質等を確認した上で、意見や評価手法の適用性を見極める必要がある。その他、試験に際して以下の点に留意が必要である。

① 斜面勾配の取得方法：この手法は、崩壊跡の崩壊深度と斜面勾配を正確にとらえることが重要であり、図-4 に示す勾配取得方法に留意する必要がある。

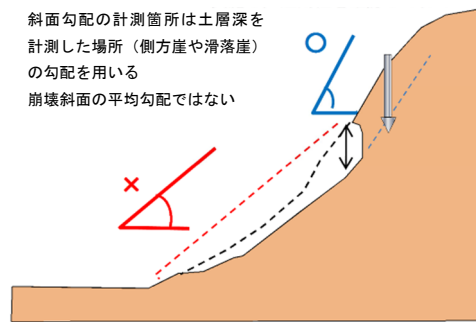


図-4 崩壊跡地の斜面勾配の取得方法の留意点¹⁾

② 地下水位の取り扱い：本手法は、地下水位や地形的集水効果の影響を考慮していないため、地形条件や地下水条件によっては、危険側ないし安全側になる可能性がある。特に谷部等で危険側になる場合に留意する必要がある。たとえば比較する崩壊跡地と谷部とそれ以外を区別して比較するなど、適用する現場ごとに地形や集水効果を考慮した工夫が望ましい。

技術の手順

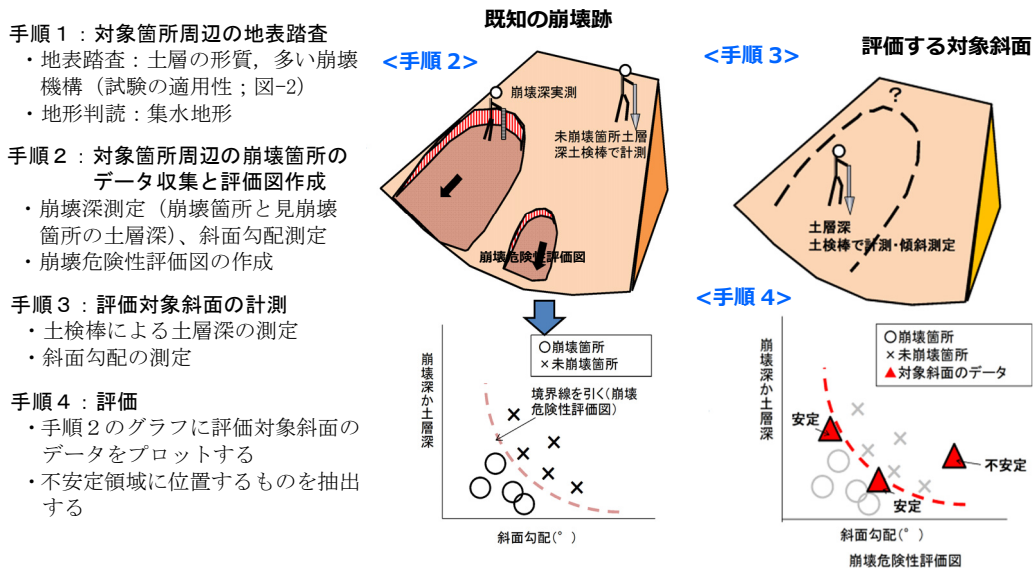


図-5 統計的評価法の手順¹⁾

金井ほか（2016）に示された手法であり、飯田（2012）の土層深／斜面勾配図（ここでは崩壊危険性評価図と称する：図-5）にプロットし、潜在的な崩壊危険性を評価するものである。

最初に対象斜面周辺の踏査を行い（手順 1）、実際の崩壊跡から土層深および斜面勾配を測定する（手順 2）。その後、そのデータに基づいて不安定域と安定域を設定し、両者の境界線を無限長斜面の安定計算で得られた崩壊面強度（ c 、 ϕ ）を用いて決定する。

次に評価したい斜面の勾配と、土検棒により土層深を計測し（手順 3）、先ほどの崩壊危険性評価図（図-5）にプロットすることで斜面の危険性を評価する（手順 4）。

なお、ここで使用する崩壊深度・崩壊土層深は、鉛直方向の土層・崩壊厚を指す。

【崩壊危険性評価図の作成方法】

図-6 に示す飯田（2012）の無限長斜面安定解析を実施するものである。図-7 の崩壊危険性評価図に示す曲線（Dim(m)赤線、Dul(m)青破線）は、 c 、 ϕ を仮定し、斜面勾配を 5° ずつ、土層深を 20cm ずつ変えてプロットした点を結んだものである。

- Dim(m) 免疫土層深: $F_s=1.0$ となる水圧と一致する土層深
- Dul(m) 上限土層深: 水圧が作用しなくても $F_s=1.0$ となる土層深

図-7 の曲線の設定は、評価対象斜面周辺（地形地質の場が同一箇所）で発生した崩壊跡で崩壊深さと斜面勾配を取得し、それらを崩壊危険性評価図にプロットすることで、プロットの分布から周辺斜面の平均的な c 、 ϕ を想定することで設定する。

具体的には、図中の“×”は、崩壊地で取得した実際の崩壊深度と斜面勾配からプロットしたものである。“○”は、変状のない箇所の土層深と斜面勾配をプロットしたものである。また、Dul、Dim 境界線は、“×・○”の境界線に位置するよう、無限長斜面の安定計算（図-6）からすべり面強度（ c 、 ϕ ）を設定する。

斜面評価は、設定された曲線（Dul、Dim 境界線）の記入された崩壊危険性評価図に、対象斜面の斜面勾配と土検棒で取得した土層深をプロット（“△”）し、それらのプロット領域から相対的な安定度（安全率が 1.0 を上回るか）を判断する。また、対策工検討のために地下水位の把握が必要となる場合は、土層強度検査棒の限界貫入試験時に先端に付着した土層の湿気等を確認し、地下水水位の有無も推定しておく。

【設計検討への活用と注意点】

崩壊危険性評価図で求められる c 、 ϕ は、対象地域の平均的なすべり面強度と見なすことができ、本手法で安定性を評価した結果、評価対象斜面が $F_s < 1.0$ の領域にプロットされた場合は、不安定化が懸念される斜面と評価することができる。

ただし、評価図で得られる c 、 ϕ は、崩壊箇所・未崩壊箇所の相対比較の中で危険性を判定するための“閾値”に位置付けられるものである。よって、評価図で得られた強度をそのまま設計検討・安定解析に用いるのは危険であり、強度の参考値程度に留めるべきものである。

解析・設計で用いる c 、 ϕ は、既知の崩壊箇所等の断面形状を取得し、逆算法などを用いて改めて算出する必要がある。

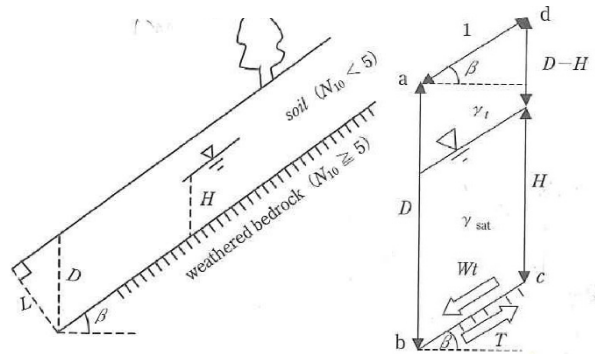


図-6 斜面の2層モデル／無限長斜面安定解析⁴⁾

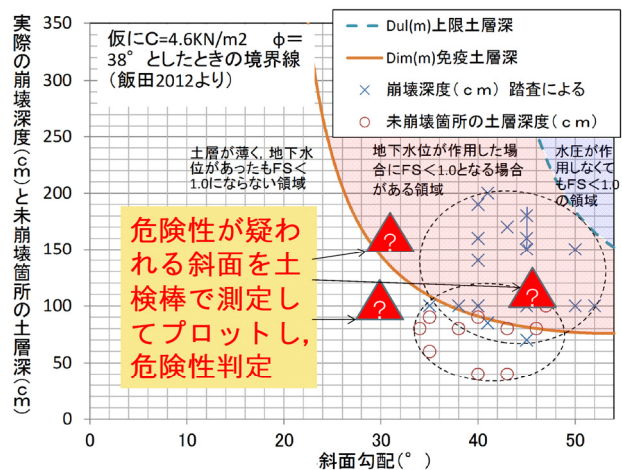


図-7 崩壊危険性評価図による危険度判定

参考文献				
1) 金井哲男・浅井健一・佐々木靖人・法水哲 (2016) : 土層強度検査棒を用いた危険斜面抽出方法, 平成 28 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集, p13, pp169-170				
2) 佐々木靖人 (2012) : 土層調査による表層崩壊の体系的な調査手順の提案, 日本地すべり学会関西支部シンポジウム「表層崩壊予測の可能性」, pp.1-20				
3) 佐々木靖人 (2010) : 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル (案) (平成 22 年 7 月), 土木研究所資料第 4176 号				
4) 飯田智之 (2012) 技術者に必要な斜面崩壊の知識、鹿島出版会				
参考歩掛				
<ul style="list-style-type: none"> 条件 : 調査対象範囲 1ha (200 m×50m 程度) 解析検討断面 10 断面 (崩壊跡、未崩壊斜面、評価対象斜面を含む) 限界貫入深度試験 50 点 (1 断面 5 点の試験を見込む、1 点が 3m 見込み) 				
<ul style="list-style-type: none"> 歩掛 : 以下の通り (直工) 				
項目	数量	地質調査技士	主任地質調査員	地質調査員
地表踏査 (精査) および地形解析	1 業務 (1ha)	1.0	2.0	2.0
解析断面および試験地点の選定 (崩壊・未崩壊箇所、評価対象の設定) ※簡易測量による断面作成を含む	1 業務 (10 断面)	1.0	2.0	2.0
限界貫入深度試験 (土層深の計測、資料整理含む)	1 業務 (50 点・150m)	3.0	6.0	6.0
土層分布図の作成 (平面分布および地質断面図作成)	1 業務 (10 断面)	1.0	2.0	2.0
崩壊危険性評価図の作成	1 業務 (50 点分)	0.5	1.0	1.0
評価結果とりまとめ	1 業務	0.2	0.5	0.5
※ 上記以外に材料費 (消耗品)、移動経費、その他の雑費等が必要 (条件により見積対応) また、対象範囲の増減、調査を必要とする斜面数の増減に対しても見積で対応				
※ とりまとめには安定解析等の設計にかかる項目は含まない				


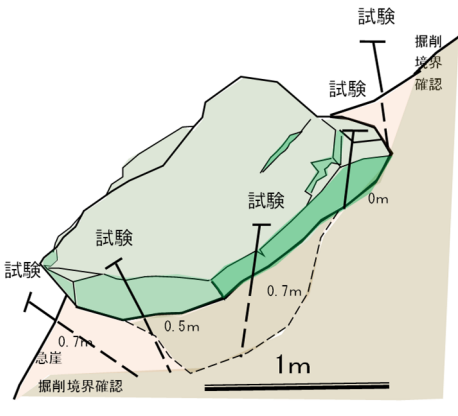
使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
0	0	0	1 (相対評価のみ)	0

お問い合わせ
応用地質株式会社 九州事務所 (担当 : 金井) 〒812-0018 福岡市博多区住吉 3-1-80 オヌキ新博多ビル 3 階 TEL : 092-402-0840 E-mail : kanai-tetsuo@oyonet.oyo.co.jp (金井) 応用地質株式会社 技術本部 ジオデザインセンター (担当 : 山本) 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2 丁目 61 番 5 号 TEL : 048-652-3942 E-mail : yamamoto-sadao@oyonet.oyo.co.jp (山本)

3.2 転石の安定性評価への活用

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要	
<p>厚い表土に埋没した斜面中の転石では、根入れ深さや形状（大きさ・姿勢）がわからず、その安定性を十分に評価できない場合がある。そこで、転石の周縁に沿って限界貫入深度試験を実施し、転石の根入れ深さや形状等を類推して安定性を評価する。</p>	
従来技術との比較	
<p>従前の転石の安定性評価は、地表に露出した部分の形状のみに着目して評価しており、いわゆる“根入れ”（埋没部分の深さや形状）は考慮していない。転石の根入れ深さや形状（大きさ・姿勢）を類推することで、転石の安定性評価の精度向上に繋げるものである。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>表土等に埋没した転石が対象であり、岩盤に張り付いた浮石等には適用されない。また、表土の構成物（土層に礫が混在するなど）によっては、根入れ深さ（≒土層厚）を浅く見積もる（危険側の評価になる）恐れがある。あらかじめ表土の構成物を確認し、限界貫入試験の適用性を加味したうえで、本手法を適用する必要がある。</p>	
留意事項	
<p>限界貫入深度試験は、N 値 10 程度以下の土層を対象とした静的貫入試験であり、礫の密集部や風化岩などは貫入できない。そのため試験結果は、軟質な表土（浸食・削剥等を起こしやすい土層）内に存在する、転石の埋没深さや埋没形状を類推するデータとなりうるが、必ずしも基盤（安定した地盤）の深度を示唆しているとは限らない。</p> <p>斜面としての安定性や、転石を固定化するための定着層などを検討する際は、別途、基盤の安定性に関する調査を実施する必要がある。</p>	
技術の手順	
<ul style="list-style-type: none"> • あらかじめ現地踏査（浮石・転石調査）を実施し、表土に埋没した転石の所在を把握する。また、分布する表土（転石を取り巻く土層）が、土層強度検査棒を用いた限界貫入試験に適した構成物かどうか、確認する。 • 表土等に埋没した転石の周縁に沿って、限界貫入深度試験を実施する。 • 複数点で限界貫入深度を計測することで、軟質な表土（N 値 10 程度以下の土層）下に埋没した、転石の根入れ深さや形状（大きさ・姿勢）を類推する。 	
	
<p>図-1 土層強度検査棒による転石の根入れ調査結果の事例</p>	

参考文献				
特になし				
参考歩掛				
<p>・条件：対象とする転石が 15 地点、径 2m 程度の転石を調査するものとして算定 1つの転石に対して 5 点程度（1 点・3m）、限界貫入試験を実施する条件とした ある程度、転石が集中して分布する斜面内での作業を想定している （長距離移動を伴わない／遠方に点在する斜面の場合は、別途、見積りで対応） 試験対象とする転石の分布が、あらかじめ把握されていることを前提とする （浮石・転石調査等の斜面踏査作業は含まない／別途、見積り等が必要）</p> <p>・歩掛：以下の通り（直工）</p>				
項目	数量	地質調査技士	主任地質調査員	地質調査員
転石周辺の土層深計測 （限界貫入深度試験、資料整理含む）	1 業務 (75 点・225m)	4.5	9.0	9.0
転石の安定性評価 （根入れ形状の解析など） ※簡易測量による断面作成含む	1 業務 (15 地点)	1.5	3.0	3.0
評価結果とりまとめ（資料作成等）	1 業務	0.2	0.5	0.5
<p>※ 上記以外に、材料費、移動経費、その他の雑費等が必要（条件により見積りで対応） また、とりまとめには設計検討にかかる項目（落石エネルギーの算出等）は含まない （落石設計等に反映するためには、別途、エネルギー計算等の検討が必要）</p>				

使用実績（令和 2 年 8 月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
2	0	0	0	0

お問い合わせ	
<p>応用地質株式会社 九州事務所（担当：金井） 〒812-0018 福岡市博多区住吉 3-1-80 オヌキ新博多ビル 3 階 TEL：092-402-0840 E-mail：kanai-tetsuo@oyonet.oyo.co.jp（金井）</p> <p>応用地質株式会社 技術本部 ジオデザインセンター（担当：山本） 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2 丁目 61 番 5 号 TEL：048-652-3942 E-mail：yamamoto-sadao@oyonet.oyo.co.jp（山本）</p>	

3.3 強風化岩盤で構成される切土法面の安定度評価手法

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要	
<p>切土法面のインフラメンテナンスを行う技術である。風化岩の地盤強度は、換算 N 値から推定する NEXCO の方法³⁾があるが、推定値の幅が大きく、そのままでは評価に使えない。また、二次風化（劣化）の進行にも対応できない。このため土層強度検査棒ベーンコーンせん断試験等で得られた「実測値」を間に入れることにより、地盤強度を適切に設定し、安定計算により、安定度を定量的に評価する手法である。</p>	
従来技術との比較	
<p>従来技術では、現地地盤の乱れの少ない試料を採取し、土質試験（三軸圧縮試験、一面せん断試験等）を実施し、土質強度（内部摩擦角ϕ、粘着力c）を得、安定計算を行う。しかし、強風化岩盤の場合、現地で乱れの少ない試料を採取すること自体が相当困難であり、かつ、サンプリングされた試料がその法面を構成する地盤の代表とできるかどうか検証が難しい（一般に地盤状態が良いほうがサンプリングしやすいため、強度を過大評価しがちである）。このため、インフラメンテナンスでは、ほとんど実施されていない。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
<p>適用範囲：土層強度検査棒が挿入可能な程度まで強風化した岩盤の表層崩壊が適用範囲である。</p> <p>適用条件：構成する岩盤の岩種が判明していること。再活動型地すべりが存在するような法面は対象外である。</p> <p>事前に必要なデータ：設計時のボーリング調査結果など（ボーリング柱状図・N 値・地質断面図、調査・設計報告書等）</p>	
留意事項	
<ul style="list-style-type: none"> ・礫を含む地盤の場合には、礫を避けて、基質部で強度計測すること ・少なくとも 3 か所以上で土層強度検査棒の強度計測を行うことが望ましい（異常値の排除およびバラツキの把握） ・ロッド周囲のフリクションをカットするため、試験位置まで$\phi 50\text{mm}$ 程度のアースドリルで掘削することが望ましい 	
技術の手順	
<ul style="list-style-type: none"> ・切土法面の勾配は、岩質・土質による標準切土勾配によって決定される。安定計算によって切土法面勾配を決定する例はほとんどない。ボーリング調査結果による地盤評価は、N 値や RQD 等から定量的に、コア観察から定性的に実施される。 ・これらの切土法面地盤は、図-1 に示すように、切土前の一時風化→切土後の初期緩み→二次風化（劣化）と進行し¹⁾、安定度が徐々に低下していく。二次風化（劣化）途上の切土法面の安定度を評価することは、今後のインフラメンテナンスにおいて必須な調査となると考えられる。 	

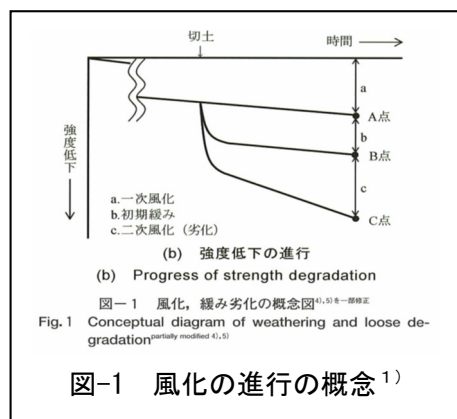


図-1 風化の進行の概念¹⁾

1. 法面勾配決定の資料収集

表-1 に示す標準切土勾配表²⁾の中から、どう
いう理由で法面勾配が決定されたのかを知る。
このために、調査・設計報告書及びボーリング
柱状図 (N 値・地下水位等) を収集する。

表-1 標準切土勾配²⁾

表2-1 地山の土質に対する標準のり面勾配の範囲

地山の土質	切土高	のり面勾配
硬岩		1:0.3~1:0.8
軟岩		1:0.5~1:1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの	1:1.5~
砂質土	密実なもの	5m以下 1:0.8~1:1.0
		5~10m 1:1.0~1:1.2
	密実でないもの	5m以下 1:1.0~1:1.2
		5~10m 1:1.2~1:1.5
砂利または岩塊ま じり砂質土	密実なもの、または粒度分布のよいもの	10m以下 1:0.8~1:1.0
		10~15m 1:1.0~1:1.2
	密実でないもの、または粒度分布の悪い もの	10m以下 1:1.0~1:1.2
		10~15m 1:1.2~1:1.5
粘性土	0~10m	1:0.8~1:1.2
岩塊または玉石まじりの粘性土	5m以下	1:1.0~1:1.2
	5~10m	1:1.2~1:1.5

2. 換算 N 値から地盤強度値を推定する

NEXCO 設計要領第二集に記載されている、
「岩盤の設計用地盤定数」推定法³⁾を用いてボ
ーリング調査時の換算 N 値から強風化岩盤の地
盤強度 (内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c) を推定する。
基質部の粘土分含有量により 3 種の地盤に分類
され、それぞれに換算式が設定されている。ボ
ーリング調査による動的強度 (N 値) を、静的強度に置き換えるこの方法は非常に有用であ
る。ただし、この推定法で得られる値は、(平均値+ σ) と (平均値- σ) の間が非常に大きい
ため、そのまま安定計算に用いることには無理がある。このため、以下の検証作業を行う。

3. 二次風化 (劣化) の評価

既存法面はコンクリート等で被覆されていることが多いため、写真 1 のように一次元表面
波探査を用いて、法面地盤の S 波速度柱状図を得る。さらに、S 波速度から N 値に換算する。
ボーリング調査で得られている動的 N 値と、一次元表面波探査で得られた静的 N 値を比較
し、静的 N 値の方が十分大きければ、「強風化していても岩盤の性質を残存している」と評価
し、「換算 N 値から推定される土質強度の方法」を用いることができると判断する。

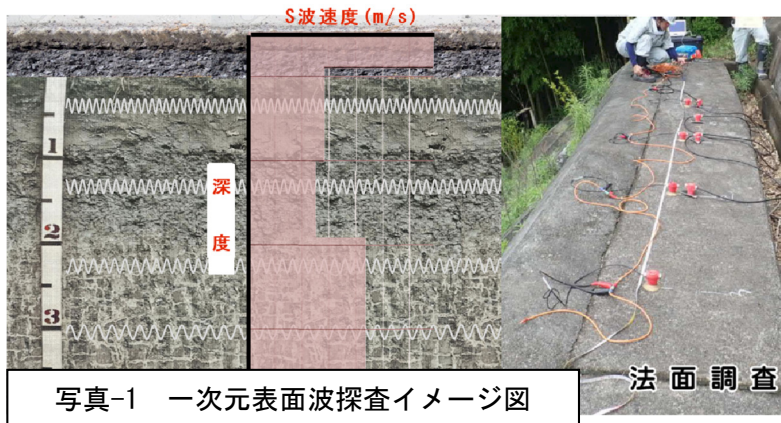


写真-1 一次元表面波探査イメージ図

4. ベーンコーンせん断試験の実施



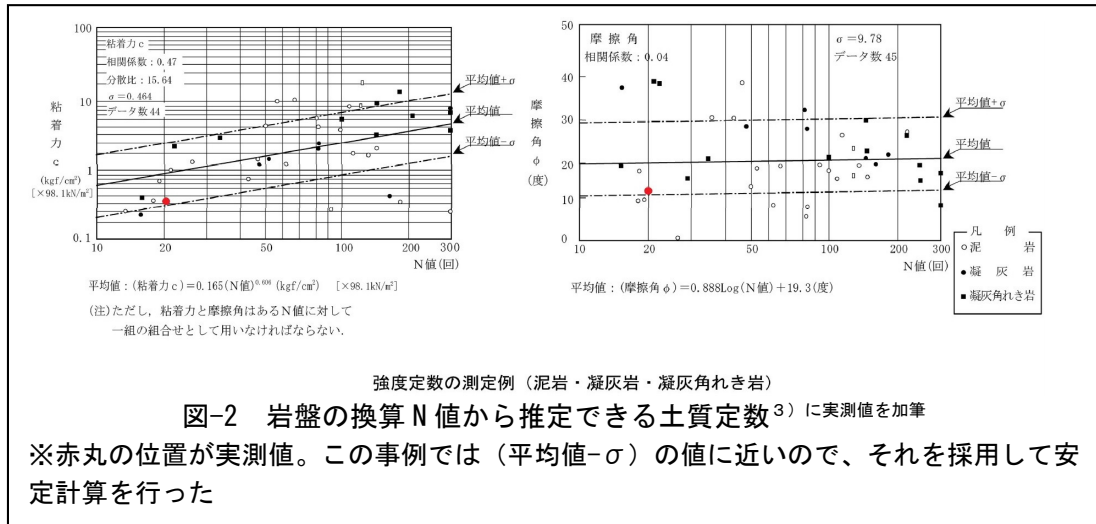
写真-2 ベーンコーンせん断試験実施

切土法面の小段は、通常コンクリートで被覆されて
いるため、法面で試験を実施することになるが、ベ
ーンコーンせん断試験は横方向でも試験可能である (写
真-2 参照)。

ロッドのフリクションをカットするために $\phi 50\text{mm}$
程度のアースドリルで下穴を開けておくと良いデータ
がとれる。

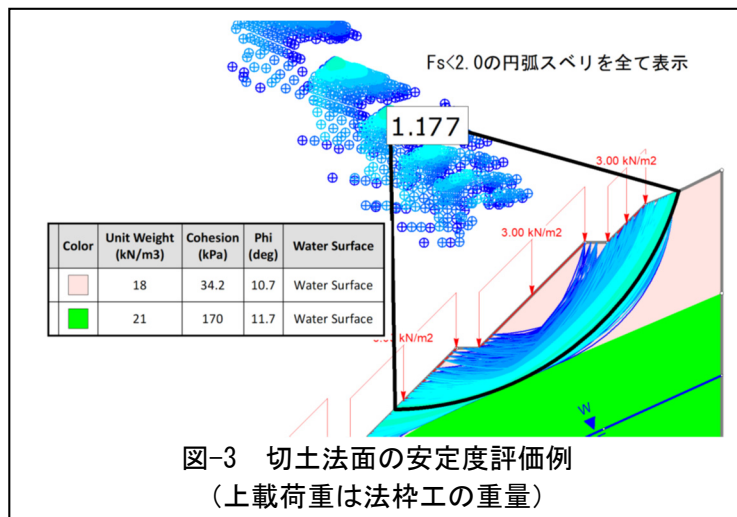
5. 土質定数の平均値からの離れを設定

ベンコンせん断試験で得られた土質強度と、図-2 に示す換算 N 値から推定される土質強度³⁾を比較し、適切な平均値からの離れ量を計算する。表層崩壊が予想される箇所に複数の地層区分がある場合には、この離れ量を用いて換算 N 値から推定される土質強度値を調整する。(この部分は、技術開発の余地がある。通常は、(平均値-σ)の値を使えるかどうかの判定になることが多いが、二次風化の進行を評価するためには、Vs から換算される N 値と、調査時に実測された N 値との比率で評価する方法があると考えられる)

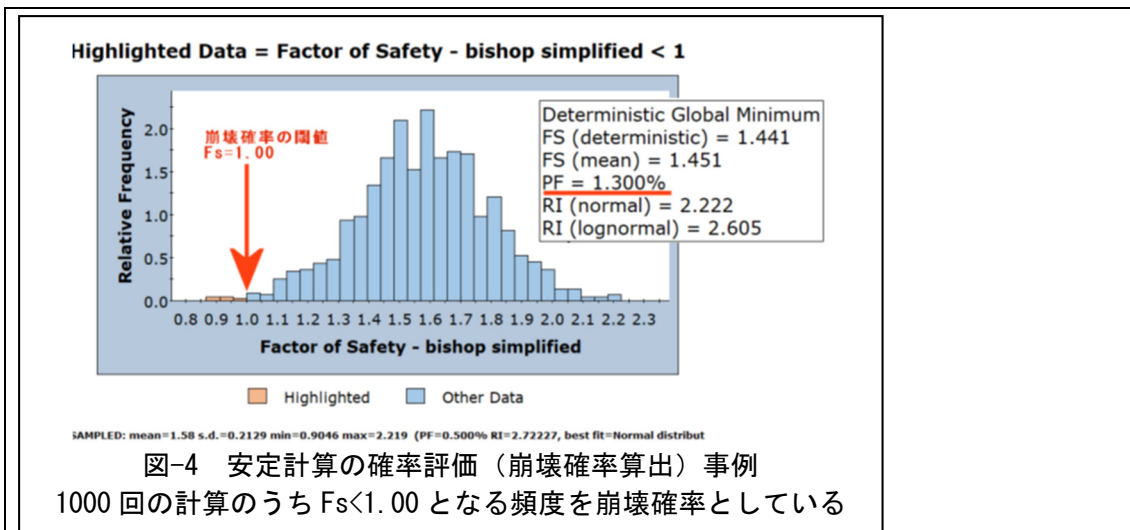


6. 安定計算

上記で設定した土質強度を用いて、安定計算を行い、所定の安全性を満たしているかどうかについて評価する (図-3 参照)。その際の基準値は、その切土法面に期待される必要安全率 F_{sp} である (法面により異なる)。



同じ土層に対して 3 回以上の計測がなされ、土質定数のばらつきが得られている場合には、土質定数が標準正規分布の確率で散らばると仮定して崩壊確率 PF を算出する方法で評価することもできる。その際の基準値は、安定・不安定の閾値となる $F_s=1.00$ である。 $F_s=1.00$ の閾値は全ての法面で共通である (図-4 参照)。



- 1) 藤原ほか（2020）、”長期追跡調査による切土法面の風化特性の評価“、日本地すべり学会誌、第57巻、第3号
- 2) NEXCO 設計要領 第一集 土工 建設編（2020）、p.2-4
- 3) NEXCO 設計要領 第二集 橋梁建設編（2016）、p.4-11

参考歩掛

- ・条件：1 法面当たり（法面への進入が容易であること）
- ・歩掛

項目	数量	技師 A	技師 B	技師 C
業務着手金（資料整理等）	1 式	1.0	1.0	
ベーンコーンせん断試験	3 箇所		0.3	0.3
一次元表面波探査	3 箇所	0.5	0.5	
調査結果解析	1 式	0.5	1.0	
安定解析	1 断面	0.5	1.0	
報告書とりまとめ	1 式	1.0	1.0	2.0

このほか、表面波探査装置・ベーンコーンせん断試験装置損料、および計算機使用料（直人×5%）、消耗品費（直人×1%）

使用実績（令和2年8月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
1	0	0	1	0

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当（太田・美馬・川浪）
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp

3.4 過剰間隙水圧比と確率解析を用いた斜面崩壊予防工の設計方法

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要
<p>斜面崩壊を予防する対策工の検討方法・設計方法である。斜面崩壊の予防には、①記録的大雨時、および②大地震時の極限状態での安定性評価が不可欠である。逆に言えば、③平常時や、④1年の間に1回程度の大雨時の安定性評価は、予防工を検討する上で、重要ではない。斜面の安定性評価には、極限平衡法の絶対的閾値である安全率 $F_s=1.00$ を用い、ベーンコーンせん断試験で得られた実測値とそのバラツキを活用した確率解析を活用する。この事例では①の記録的大雨時の検討方法、設計方法について記載する。</p> <p>ここで紹介する方法が適用される場面は、土砂災害警戒区域に指定された民間斜面や行政所有地（例えば緑地斜面地）の予防対策である。</p>
従来技術との比較
<p>従来技術は、主に公共事業で使われる方法である。地質状況をボーリング調査などで把握し、地下水位は観測によって最高水位を「最悪条件」として設定する。最悪条件の現況安全率を例えば $F_s=1.00$ と仮定し、すべり面強度を逆算し、計画安全率 $F_{sp}=1.20$（保全対象によって異なる）となるのに必要な抑止力 Pr を算出し、それを満足する対策工を設計する。この検討では、確定論的な安定計算手法が用いられる。そして、$F_s < F_{sp}$ からスタートするため、斜面評価は常に「不安定」で対策工が必要となる。対策工の必要性に関する意思決定済から出発しているため、崖地対策では、主に抑止工による対策工設計となっており、一般に高価な対策であり、民間（事業者）にとっては対応困難となる場合があった。</p>
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ
<p>適用範囲：土層強度検査棒が挿入可能でベーンコーンせん断試験が可能な表層土砂の「表層崩壊」が対象である。周縁部強度が底部強度と大きく異なる地すべり的な現象は、2次元解析では順計算できないことから、対象外とする（3次元解析を行えば可能な場合もある）。</p> <p>適用条件：限界貫入深度試験等で、表層土層厚が把握され、少なくとも3回以上のベーンコーンせん断試験で土質強度（$c \cdot \phi$）と標準偏差 σ が得られていること。</p> <p>事前に必要なデータ：崩壊履歴や地盤調査データがあればよいが、必須なものはない。</p>
留意事項
<ul style="list-style-type: none"> 土層構成物が異なる場合には、それぞれで分布と土質強度・標準偏差データが必要。 可能であれば、単位体積重量 γ も実測値（標準偏差含む）があると良い。 記録的豪雨時に発生する過剰間隙水圧の圧力水頭ゼロ位置の証拠が必要。具体的には地形的な上限（尾根など）や、地中水圧が消散される崩壊跡や水の吹き出し跡（小さなものは除く）である。 この解析・設計法は、特許取得済技術である。この手法を用いる場合には、有限会社太田ジオリサーチ又は、株式会社地盤リスク研究所と契約済の「排水パイプ」を用いることが必須条件となる。その条件を満たせば、解析・設計手法の利用に対し特許使用料は発生しない。（2020年9月現在では、「排水補強パイプ」及び「NJ型排水補強パイプ」、が契約済である）

技術の手順

1. 限界貫入深度試験や簡易動的コーン貫入試験、あるいは既存資料を用いて地盤モデルを作成する。2次元安定解析で行うのが標準なので、対象は周縁部強度¹⁾の影響が小さい「表層崩壊」である（原理的には周縁部強度の影響が大きい 3次元安定解析でも適用可能であるが、ベーンコーンせん断試験では、周縁部強度を得るのが困難な場合が多い）。

2. ベーンコーンせん断試験で得られた土質強度 ($c \cdot \phi$) と標準偏差を用いて、確率解析を行う。安定性評価は、基本的に安全率 F_s ではなく、 $F_s=1.00$ を閾値とした崩壊確率 PF を用いる²⁾。浅層崩壊の場合、粘着力 c が安定計算に大きく効くため、地下水位を地表と一致させても、平均安全率 $F_s(\text{mean})$ は 1.00 より大きな値となることが多い。

3. 次にソイルパイプ（ミズミチ）が飽和する記録的豪雨時（土壤雨量指数履歴順位第一位相当）を想定して安定計算を行う。過剰間隙水圧は、図-1 に示すように、崩壊跡などの圧力水頭ゼロ地点から、比高 Δh 位置での過剰間隙水圧 $P2 = \Delta h \times \gamma_w \times B\text{-bar}$ で与える。 γ_w は水の単位体積重量、 $B\text{-bar}$ は過剰間隙水圧比である。安定計算に供される間隙水圧 P は、地下水位（静水圧）の $P1$ と過剰間隙水圧 $P2$ との合計値となる ($P=P1+P2$)。過剰間隙水圧比としては、既存崩壊調査から逆解析された過剰間隙水圧が、最大 $B\text{-bar}=0.3$ 程度であることから、その値を目安として解析する³⁾。

（表-1 参照、表内で過剰間隙水圧比は α としている）

4. 上記条件で算出された崩壊確率 PF が記録的豪雨時の斜面の安定性評価となる。崩壊した場合の損害額を C とすると、期待値は $PF \times C$ となる。それらの値を依頼者に提供するなどして、対策工を施工するかどうかの意思決定を促す。

5. 対策を実施すると意思決定された場合には、過剰間隙水圧を消散させるために斜面に排水パイプを配置した計算を行う。排水パイプの施工高さで過剰間隙水圧がいったんゼロにリセットされると仮定し、施工ピッチ（縦間隔）を変えて崩壊確率 PF を算出する。（図-2 参照）

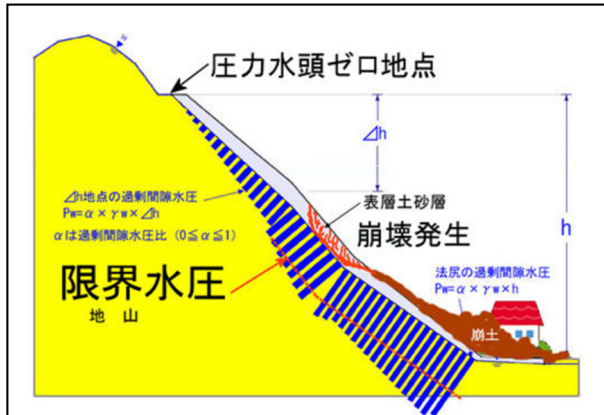


図-1 過剰間隙水圧による崩壊イメージ³⁾
比高 Δh が大きくなるほどソイルパイプ由来の過剰間隙水圧が大きくなる

表-1 崩壊地で再現した過剰間隙水圧比³⁾

基盤地質	α	γ	c	ϕ	θ
相生層群	0.355	18.0	10.4	26.6	19°
三浦層群	0.298	17.0	18.7	11.5	30°
相生層群	0.163	18.0	10.4	26.6	32°
丹波帯	0.107	18.0	11.0	36.1	35°
三波川帯	0.094	18.6	11.0	29.8	33°
阿蘇山	0.013	12.9	9.1	25.8	25°
伊豆大島	0.004	13.1	10.0	12.6	37°

α : 過剰間隙水圧比, γ : 単位体積重量 (kN/m^3),
 c : 粘着力 (kN/m^2), ϕ : せん断抵抗角 (deg),
 θ : 斜面傾斜角 (deg)

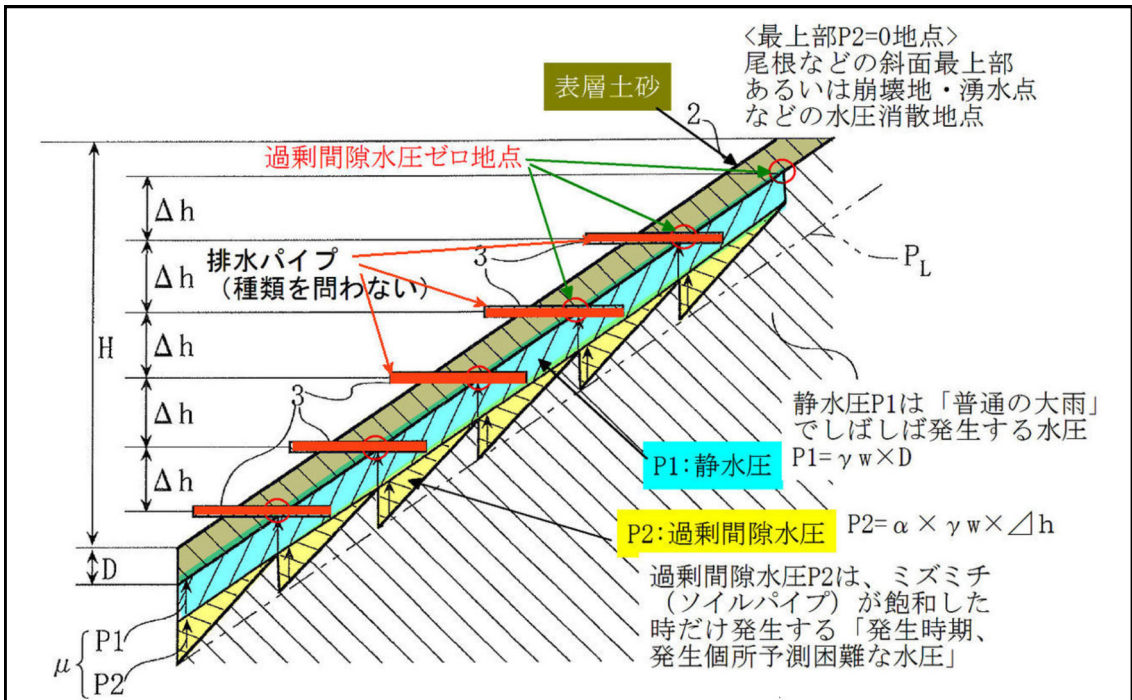


図-2 過剰間隙水圧を排水パイプにより消散させる工法の概念図⁴⁾

総水圧 $P = \text{静水圧 } P1 + \text{過剰間隙水圧 } P2$ として安定計算を行う。排水パイプ位置では過剰間隙水圧 $P2$ がいったんゼロにリセットされるが、静水圧 $P1$ は不変とする。

- 崩壊確率 $PF > 0\%$ の場合には、排水パイプのせん断強度を抵抗力に付加して安定計算を行う。排水パイプの縦ピッチを変更して試行計算を行い、可能な限り崩壊確率 $PF = 0\%$ となる組み合わせを探す。
- 安定計算結果、対策工の配置計画を依頼主に提示し、対策工施工の意思決定を促す。その際に、平均値からのばらつきを標準偏差×3の幅でとる統計的手法の限界として、 $(100 - 99.7\%) \div 2 \approx 0.2\%$ 程度の例外が発生する可能性があることを説明する。実際の事例を図-4、写真-1に示す。

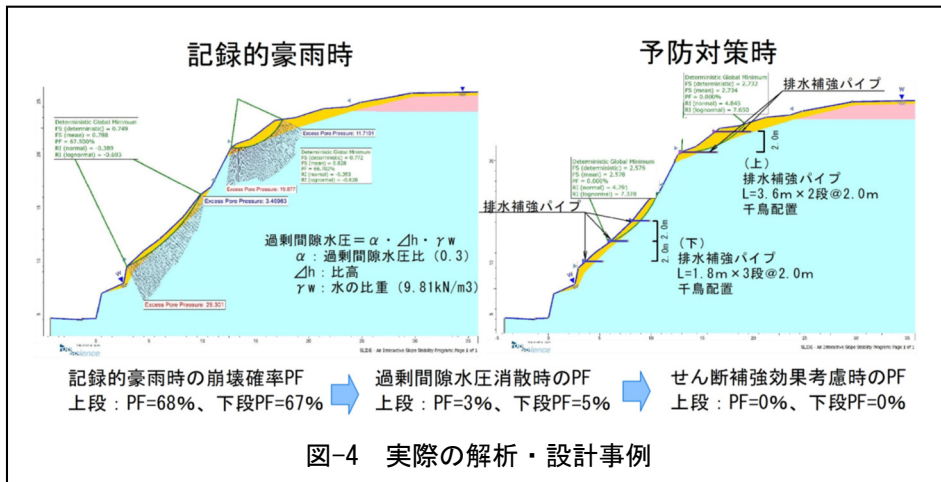
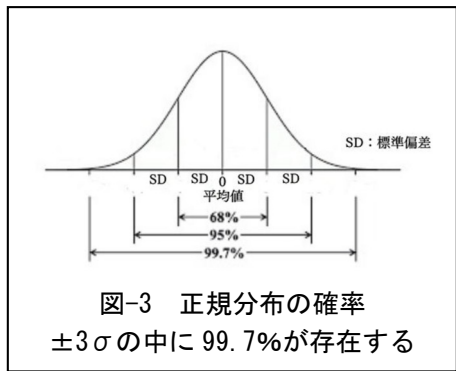




写真-1 施工された斜面对策工（崩壊確率 PF=0%仕様）

参考文献

- 1) 太田ほか（2001）、” 周縁部摩擦力を考慮した地すべりの3次元安定解析”、日本地すべり学会誌、第38巻、第3号、pp.95-100
- 2) 太田ほか（2016）、” 浅層崩壊の安定性評価のための調査法と対策法”、日本地すべり学会第55回研究発表会講演集、pp.116-117
- 3) 太田ほか（2017）、”ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算法”、日本地すべり学会第56回研究発表会講演集、pp.109-110
- 4) 特許 6172825、斜面安定化工法、斜面安定化構造、土構造物の管理方法、及び土構造物の管理システム

参考歩掛

- ・条件：1法面当たり（法面への進入が容易であること）
- ・歩掛

項目	数量	技師 A	技師 B	技師 C
業務着手金（資料整理等）	1式	1.0	1.0	1.0
ベーンコーンせん断試験	4箇所	0.3	0.5	0.5
限界貫入深度試験	10箇所	0.3	0.5	0.5
調査結果解析	1式	1.0	2.0	3.0
安定解析	1断面	0.5	1.0	2.0
報告書とりまとめ	1式	1.0	1.0	2.0

このほか、表面波探査装置・土層強度検査棒ベーン試験装置損料、および計算機使用料（直人×5%）、消耗品費（直人×1%）

使用実績（令和2年8月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
		4	3	

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当（太田・美馬・川浪）
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp

3.5 ベーンコーンせん断試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 (すべての斜面)
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要	
土層強度検査棒等で計測した実測値の土質強度と標準偏差を用いて、 $F_s < 1.00$ となる確率を算出する方法 (ノウハウ) である。	
従来技術との比較	
<p>従来技術は、土層ごとに唯一の値を用いて、唯一の安全率を答えとして出す「確定論的手法」である。この方法は簡単だが、算出された値に対する評価法に曖昧さがあった。公共事業分野では、2次元安定解析において「計画安全率」という経験値が定められ、その値以上を安全、それ以下を危険とした「二値評価」としている。</p> <p>極限平衡法における閾値は、安全率 $F_s = 1.00$ なので、計画安全率の位置づけは曖昧であり、特に斜面問題に普段携わっていない非専門家にとっては理解が困難となっている。</p> <p>地すべり CIM を活用する時代になり、3次元安定計算を実施するようになると、2次元安定計算で「経験的に定められた」計画安全率が、3次元解析には存在しないという問題が顕在化している。</p> <p>確率解析は、土層強度は本来ばらつきを持つものであり、そのばらつきを評価し、安定・不安定の閾値を、極限平衡法本来の $F_s = 1.00$ に置く方法である。土質強度をばらつかせて数多くの計算を行い、安全率が $F_s < 1.00$ となった頻度を崩壊確率 PF (Probability of Failure) とする。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
土質強度 ($c \cdot \phi$) の平均値と、その標準偏差が必要。表層崩壊であれば、周縁部強度の影響が小さいので、2次元解析による順計算が可能。単位体積重量 γ も実測可能であれば、同様に平均値、標準偏差を計測することが望ましい。	
留意事項	
<p>平均値および標準偏差を得る場合には、異常値は排除することが望ましい。</p> <p>方法論としては、周縁部強度の影響を強く受ける地すべりでも順計算可能であるが、地すべりの場合には、規模が大きく、深度も深いため、土層強度検査棒では強度計測は一般に困難である。</p>	
技術の手順	
①計算方法	
<p>ベーンコーンせん断試験では、粘着力 c、内部摩擦角 ϕ について、①平均値、②標準偏差 σ が得られる。平均値を中心にして、正規分布の確率で $3 \times \sigma$ の幅でばらつかせ、数多くの計算 (通常は 1000 回程度) を行う。極限平衡法における崩壊・非崩壊の閾値は、$F_s = 1.00$ なので、1000 回の計算結果のうち、$F_s < 1.00$ となる頻度を「崩壊確率 PF」とする。なお、この計算は Rocscience 社の Slide2018¹⁾ を用いて実施できる (他のソフトでも確率解析機能を持っているものであれば可能)。計算方法については太田ほか (2016)²⁾ を参照。</p>	
②効果	
<p>極限平衡法では、安全率 $F_s = 1.00$ を閾値として、崩壊・非崩壊が分かれる。土質強度にばらつきがあることは、実測値から理解できるので、そのバラツキを考慮して $F_s < 1.00$ となる頻度、すなわち崩壊確率 PF は、斜面問題についての非専門家に説明することを容易にする。</p>	

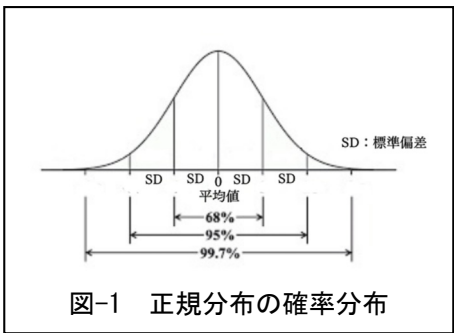


図-1 正規分布の確率分布

また、土質強度は標準偏差の3倍の幅で変化するが、図-1に示すように、正規分布の場合、その範囲に真値が含まれる確率は99.7%なので、0.3%（安全率が低くなる側では0.15%）の「例外」が存在することになる。すなわち崩壊確率PF=0%と計算上出たとしても、 $0.3 \div 2 = 0.15\%$ 程度の崩壊確率が残存していることになる。

土砂災害警戒区域の斜面対策（主に民間需要）で斜面調査し、安全性評価し、さらに対策工等を実施する場合、「非常に小さい確率だが残存崩壊確率は0.2%程度存在する」と説明することにより、技術者のリスクヘッジができる。

0.2%の崩壊確率は、500回に1回は検討外の事象が起き、崩壊する可能性があることを想定していることを意味する。

損賠賠償リスクが存在する民間斜面評価を行う際には、依頼者に「斜面問題に完全な安全は無い」ことを理解してもらう上で、確率解析は有用である。

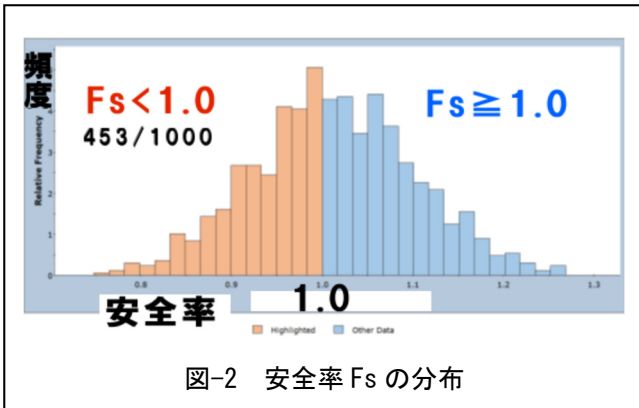


図-2 安全率Fsの分布

土質強度をばらつかせて計算すると、計算個数の安全率Fsが算出される。その頻度分布図の例を図-2に示す。安定・不安定の閾値を、極限平衡法の原則通りFs=1.00とすると、Fs<1.00となる頻度が崩壊確率となる。

参考文献

- 1) Slide2018 or Slide2 : <https://www.rocscience.com/software/slide2>
- 2) 太田ほか（2016）、”浅層崩壊の安定性評価のための調査法と対策法”、日本地すべり学会第55回研究発表会講演集,pp.117-118

参考歩掛

（方法論の説明のため省略）

使用実績（令和2年8月現在）

国	都道府県	市区町村	民間	その他
		4	3	

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当（太田・美馬・川浪）
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp

3.6 崩壊時の水圧の再現

調査対象	自然斜面 切土法面 盛土 河川堤防 その他 (すべての斜面)
技術分類	限界貫入深度試験 貫入強度試験 ベーンコーンせん断試験 その他

技術の概要	
記録的豪雨時（土壌雨量指数履歴順位第一位以上）の際に、土中のソイルパイプが飽和して過剰間隙水圧を発生させるモデルを仮定し、実際に崩壊した斜面で、崩壊時にどの程度の過剰間隙水圧が発生したかを算出する方法（ノウハウ）である。	
従来技術との比較	
<p>従来は、土の強度の計測が困難だったため、安全率 F_s を算出する一つの計算式の中に、土質定数 ($c \cdot \phi \cdot \gamma$) と間隙水圧 U の4つの未知数が存在していた。（安全率 F_s は1未満なので、0.99などと設定可能）したがって、「解けない方程式」だった。</p> <p>土層強度検査棒が、土質強度 $c \cdot \phi$ を計測できるようになり、単位体積重量も実測あるいは確度の高い推定が可能なので、安定計算の方程式の中で、未知数は間隙水圧 U のみとなった。このため、これまで困難だった、「崩壊の瞬間の間隙水圧」を、崩壊地調査で逆解析することが可能となった。</p>	
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ	
地盤モデルと、土層の実測値（内部摩擦角 ϕ 、粘着力 c 、及び可能であれば単位体積重量 γ ）が必要。	
留意事項	
原理的には、斜面問題のすべてについて適用可能であるが、現実的には同一強度の表層土砂が崩壊する表層崩壊問題に適用する。	
技術の手順	
<p>①計算方法</p> <p>記録的豪雨時に崩壊が起きた場合、表層土層の間隙は水で満たされていたと仮定できるので、地下水位を地表と一致させて安定計算を行う。崩壊厚が比較的薄く（1~2m程度）、土砂に粘着力が $c=10\text{kN/m}^2$ 前後ある場合には、最小安全率が $F_s>1.00$ となることが多い。この時には、静水圧以外の水圧、すなわち過剰間隙水圧が作用していると考えることができる。</p> <p>過剰間隙水圧は、表層土内のソイルパイプ（ミズミチ）に発生すると仮定し、地形的な上限（尾根など）あるいは崩壊跡、水の吹き出し跡など水圧が消散される位置を、圧力水頭ゼロとし、その下方に水の単位体積重量 $\gamma_w \times$ 比高 $\Delta h \times$ 過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}$ の過剰間隙水圧が発生すると考える。</p> <p>$F_s<1.00$ となる過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}$ を探索することにより、崩壊の瞬間の水圧条件を逆解析することができる。</p> <p>Rocscience社の2次元斜面安定解析ソフト Slide2018¹⁾を用いて計算する事例を示す。</p> <p>①第一段階：静水圧の上限（地表と地下水位線を合致させる）で崩壊形状を再現計算する。この計算で、最小安全率 $F_s>1.00$ となったら、静水圧以外の水圧（ソイルパイプが飽和したことによって発生した過剰間隙水圧）が作用したと考えることができる。</p> <p>②第二段階：比高 Δh に比例する過剰間隙水圧を設定して、過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}$ を逆算する。</p> <p>比高 Δh に比例する過剰間隙水圧の設定ができる安定解析ソフトが存在しないため、三角形形状の上載荷重起源の過剰間隙水圧で代用する。即ち、水圧 = 静水圧 + 過剰間隙水圧で計算する。地中に発生する過剰間隙水圧は、比高 $\Delta h \times$ 水の単位体積重量 $\gamma_w \times$ 過剰</p>	

間隙水圧比 $B\text{-bar}$ であるが、そのままの値を代入すると、上載荷重が安定計算に影響を及ぼす。過剰間隙水圧のみが発生するようにするため、上載荷重 $\Delta h \times \gamma_w$ を $1/1000$ とし、過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}$ を 1000 倍することで上載荷重の影響を取り除く。

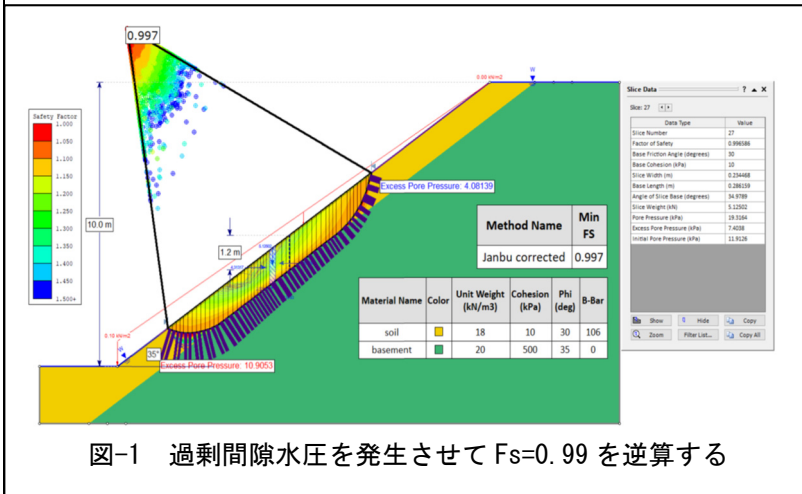


図-1 過剰間隙水圧を発生させて $F_s=0.99$ を逆算する

図-1 の事例では、 $H=10\text{m}$ の崖なので、上載荷重を最上部が 0kN/m^2 、最下部が $10\text{m} \times 9.81\text{kN/m}^3 \div 1000 = 0.0981\text{kN/m}^2$ (表示は 0.10kN/m^2 となっている) の三角形分布とする。過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}=0.106$ の場合、

計算上は、過剰間隙水圧比 $B\text{-bar}=0.106 \times 1000 = 106$ を代入し、安全率 $F_s=0.997 < 1.00$ (崩壊)となることを示している。これは「記録的豪雨時に地中に過剰間隙水圧比 0.106 の過剰間隙水圧が発生し、安全率 $F_s < 1.00$ となって崩壊した」ことを意味する。

前出の Rocscience 社の 2 次元斜面安定解析ソフト Slide2 では、(1)プロジェクトセッティングで、過剰間隙水圧比を取り扱えるようにする。(2)上載荷重設定で、三角形の鉛直荷重とし、上載荷重が過剰間隙水圧を発生させる設定とする。三角形荷重の上側は圧力水頭ゼロなので 0 とし、下側は比高(m) $\times \gamma_w$ (kN/m^3) $\div 1000$ (kPa) を入力する。(3)過剰間隙水圧比 ($B\text{-bar}$)は、実際には $0 \sim 1$ の値であるが、 1000 倍の値を入力する。(4) $B\text{-bar}$ を変化させながら試行計算し、 $F_s \approx 0.99$ となる条件を探索する。そのようになる $B\text{-bar}$ が算出されたら、崩壊時の過剰間隙水圧比は入力した $B\text{-bar}$ の値の $1/1000$ となる。

この計算は、予防工設計時に、どのような地下水排除工(過剰間隙水圧消散工)の配置とするのが適切かを設計するための基礎資料にできる。

参考文献

1) Slide2018 or Slide2 : <https://www.rocscience.com/software/slide2>

参考歩掛

- ・方法論の説明のため省略

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
		4	3	

お問い合わせ

有限会社太田ジオリサーチ
 担当 (太田・美馬・川浪)
 〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台 3 丁目 1 番地
 Tel 078-907-3120 Fax 078-907-3123
 e-mail:office@ohta-geo.co.jp

3.7 車両等の進入が困難な土地での斜面安定度評価

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要

ボーリングや重機の進入が難しい、限られた作業範囲でも作業可能な土層強度検査棒を用いて、限界貫入深度試験により不安定な表土の厚さと分布を計測する。また、ベーンコーンせん断試験を実施し、原位置で得られた地盤強度 c 、 ϕ を求める。

得られた地盤強度から安定計算により斜面の安定度を評価し、対策工を検討する。

従来技術との比較

表土の厚さを測定する限界貫入深度試験は、従来技術の簡易貫入試験と比較すると、軽量で試験時間が短いことから多点で計測できる。

地盤強度を測定するベーンコーンせん断試験は、室内試験と比較すると、サンプリングの必要がなく原位置で測定可能である。試験時間も短いため、同一地質で複数回測定できる。

適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ

適用範囲：未固結層、強風化岩、盛土の表層崩壊

適用条件：礫が多い場合は適用しにくい。

事前に必要なデータ：詳細な地形や構造物がわかる平面図があると良い。

留意事項

礫にあたる場合は測点の周囲で再測定する

ベーンコーンせん断試験は、同一地質で複数点のデータを取る

技術の手順

1. 調査地の資料収集

地形図、空中写真、地質図、周辺工事の土質ボーリング情報、災害記録、法規制区域等の既存資料から、調査地域の地形・地質概要と地盤情報を把握する。

2. 空中写真・地形図判読

空中写真・地形図判読により、遷急線、集水地形等の危険な斜面を抽出し、限界貫入試験深度の調査間隔、安定計算等の断面位置を計画する。複数時期の空中写真・地形図を用いて土地の変遷が比較できると良い。

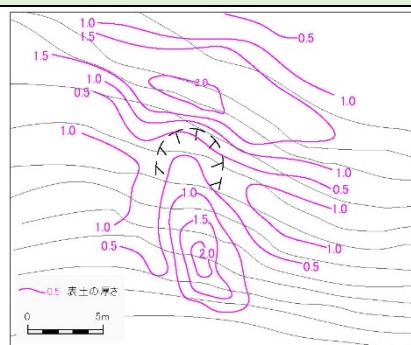


図-1 表土の層厚測定結果例

3. 現地調査

踏査により判読結果を現地確認する。湧水や侵食跡に注意し、平面図にまとめる。また、解析断面を簡易測量する。

限界貫入深度試験は測線を設定して等間隔に測定し、面的に表土の厚さを調査する。表土の厚さは等厚線としてまとめ、表土が厚く不安定な範囲を把握する(図-1)。不安定な領域や土層厚が大きく変化する範囲は、測点間隔を調整する。



図-2 ベーンコーンせん断試験

ベーンコーンせん断試験は、盛土や地山の測定値のはばらつきを考えて、対象とする層内で複数箇所を計測する(図-2)。礫に当たる場合や、測定対象の層

が薄い場合は別孔で再計測する。結果は、横軸を荷重、縦軸をトルクにしたグラフにプロットする。プロット結果は異常値を除いて直線近似し、切片と傾きから表土の c 、 ϕ を求める (図-3)。

4. 安定解析

現地調査で得られた土層厚と地盤強度を用いて安定計算を実施し、斜面の安定度を評価する (図-4)。上記調査の他に、水みち探査等の地下水が把握できる調査を併用すると、安定計算での水位設定や対策工の工種検討で参考になる。

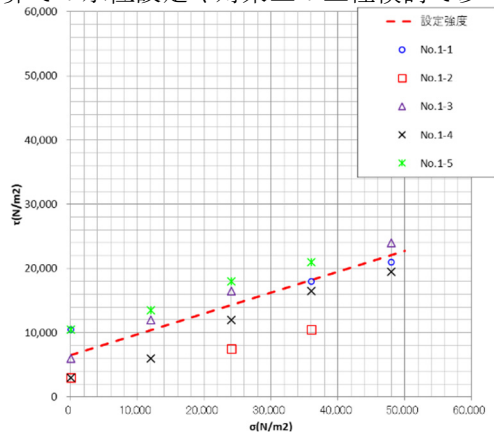


図-3 地盤強度のまとめ

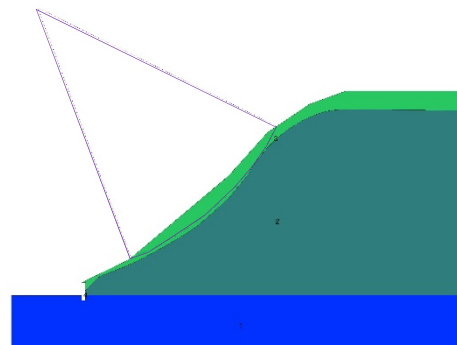


図-4 安定度評価

参考歩掛

- ・条件 1 斜面、測定間隔 1~2m、土層厚 2.0m 以内
- ・歩掛

項目	数量	技師 A	技師 B	技師 C
資料収集	1 式	-	1.0	1.0
空中写真・地形図判読	1 式	0.5	1.0	-
踏査	1 式	1.0	1.0	-
限界貫入深度試験	40 点	-	1.0	1.0
ベーンコーンせん断試験	10 点	-	1.0	1.0
現地まとめ	1 式	0.5	1.0	1.0
安定解析	1 式	0.5	1.0	-
総合解析	1 式	1.0	1.0	2.0

対策工は別途みつもり

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
0	0	0	2	0

お問い合わせ

株式会社環境地質
 担当 (鶴澤)
 〒210-0014 神奈川県川崎市川崎区貝塚 1 丁目 4-15-203 (ライオンズマンション第 10)
 TEL 044-221-1910 FAX 044-201-2606
 kankyo@kankyo-c.com

3.8 崩壊斜面における逆算法による土質定数の推定

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要

斜面の表層崩壊箇所の対策工の設計時に、安定解析に必要なせん断定数(内部摩擦角)を把握することができる。

従来技術との比較

従来は簡易動的コーン貫入試験により、N 値を推定し、せん断定数を推定していた。本調査法では直接、崩壊対象土層のせん断定数(内部摩擦角(ϕ))を把握することができる。この内部摩擦角(ϕ)より、現況安全率 $F_s=1.0$ で逆計算を行い、粘着力 C kN/m^2 を推定する。

適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ

適用範囲：粘性土及び砂質土の土砂層

適用条件：礫の混入率が多い土層では適用しづらい。

留意事項

礫まじり土は、過大な値が得られる恐れがある。

技術の手順

1. 崩壊土層厚さの把握

崩壊箇所において、崩壊土層の層厚を把握するため、簡易動的コーン貫入試験を行う。また、ロッドに付着した土等で崩壊土砂層の土質を確認する。



写真-1 簡易動的コーン貫入試験状況

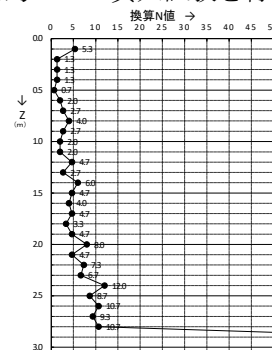


図-1 簡易動的コーン貫入試験結果例

2. 土層強度検査棒による内部摩擦角の測定

崩壊土砂層内で、土層強度検査棒により、ベーンコーンせん断試験を実施し、せん断定数(内部摩擦角)を把握する。土層強度検査棒が貫入できない場合は、簡易動的コーン貫入試験で孔を開けてから、土層強度検査棒のロッドを挿入し、測定を行う。



写真-2 ベーンコーンせん断試験状況

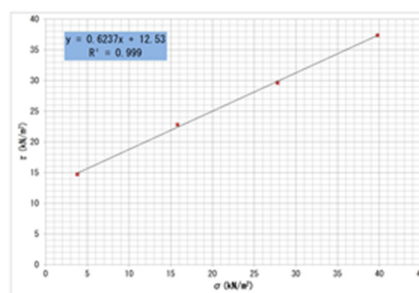


図-2 ベーンコーンせん断試験結果例

3. せん断定数の決定(粘着力、内部摩擦角)

得られたせん断定数(内部摩擦角)を用いて、 $F_s=1.00$ 時の粘着力を逆計算で求める(図-3 参照)。逆計算に必要な単位体積重量は土質により推定する。原位置で湿潤密度を測定できる場合は測定を行い、得られた値を使用する(図-3 参照)。

4. 安定解析及び対策工の設計

得られたせん断定数で、安定解析により、計画安全率($F_s=1.20$ 等)の必要抑止力 P_r を求め、対策工の設計を行う(図-4 参照)。

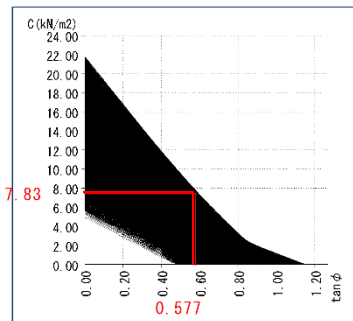


図-3 C-tan φ 関係図

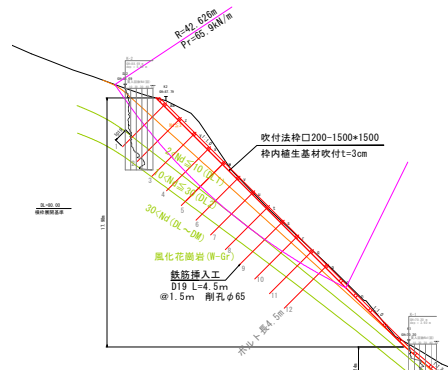


図-4 対策工標準断面図(吹付法枠工+鉄筋挿入工)

参考文献

- 1) 地すべり防止技術指針及び同解説：国土交通省砂防部、国立研究開発法人土木研究所
- 2) 道路土工 切土工・斜面安定工指針(平成 21 年度版)：(公社)日本道路協会
- 3) 土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」：農林水産省農村振興局計画部資源課監修

参考歩掛

別途見積もり。

使用実績 (令和 2 年 8 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
	○	○		

お問い合わせ

株式会社 ソイル・ブレン
 担当 三宅・駒崎
 〒745-0802 山口県周南市大字栗屋 1035-6
 Tel : 0834-25-0031 Fax : 0834-25-0049
 e-mail : info@soil-brain.co.jp

3.9 都市斜面内の順算による斜面安定解析

調査対象	自然斜面	切土法面	盛土	河川堤防	その他 ()
技術分類	限界貫入深度試験	貫入強度試験	ベーンコーンせん断試験	その他	

技術の概要
丘陵地の宅地造成地の切土のり面において、水平クラックやはらみ出し等の変状が発生した擁壁が確認され、崩壊しやすい状態であった。このため、早急に安定解析を実施し、対策工を検討する必要があった。限界貫入深度試験により崩積土の厚さと分布、ベーンコーンせん断試験により崩積土及び風化軟岩の c 、 ϕ を測定した。いずれも原位置で多数の測定が可能で、安定解析を順算で行うための実測値を得る手法として有効である。
従来技術との比較
簡易動的コーン貫入試験では、粘着力 (c)、せん断抵抗角 (ϕ) は、 N_d 値等の関係式により換算する。これに対し、土層強度検査棒では、 c 、 ϕ を原位置で測定することにより、順算で斜面安定解析が可能になる。このため施工性、経済性にも優れている。
適用範囲・適用条件・事前に必要なデータ
適用範囲：崩積土、風化岩 適用条件：礫やガラが多い地盤では適用しにくい。
留意事項
礫やガラに当たる場合は、近傍で再計測を行う。
技術の手順
<ol style="list-style-type: none"> 資料収集 旧版地形図、開発以前の空中写真、地質図、法規制区域等の既存資料を用いて、土地利用の変遷、調査地域の地形、地質特性を把握する。 旧版地形図、開発以前の空中写真の判読 都市化以前の地形図や空中写真から、対象地域の切盛の配置や斜面安定解析に必要な、集水地形や崩壊跡地、崩積土の分布等を判読する。 現地踏査・地形測量 土層強度検査棒を用いた試験、簡易動的コーン貫入試験、安定解析のための断面を水準測量する。このとき、崩積土の再移動により、擁壁天端付近で上に凸となるような不安定土砂が確認された。 擁壁変状調査 水平クラックの分布域やはらみ出しの形状を計測し、崩積土のすべり面との位置関係、裏込め材や水抜き穴の詰まりの状況を確認する。 簡易動的コーン貫入試験 崩積土層の層厚を把握するため、簡易動的コーン貫入試験を行う。 限界貫入深度試験 不安定な崩積土の分布域と安定した尾根の 2 測線の 30 地点について、限界貫入深度試験により崩積土の厚さを計測し、地質断面図を作成する。貫入時の感覚（片手で容易に貫入できる、両手で体重をかけて貫入するなど）も、地盤の強度の目安となる。



写真-1 限界貫入深度断試験の状況

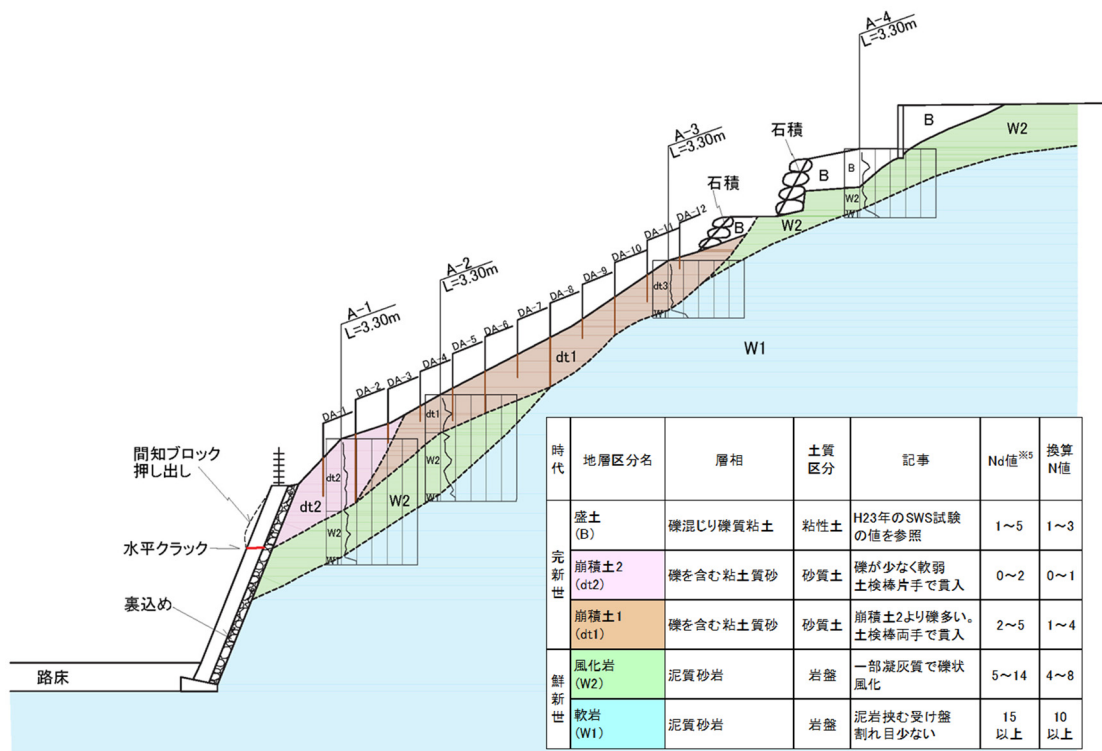


図-1 地盤モデルの事例

7. ベーンコーンせん断試験

ベーンコーンせん断試験は、測定値のばらつきを考えて、対象とする層内で複数箇所を計測する(図-2)。礫やガラに当たる場合は、近傍に別孔を設定し再計測する。結果は、横軸を荷重、縦軸をトルクにしたグラフにプロットする。プロット結果は異常値を除いて直線近似し、切片と傾きから表土のc、φを求める(写真-2、図-2)。



写真-2 ベーンせん断試験の状況

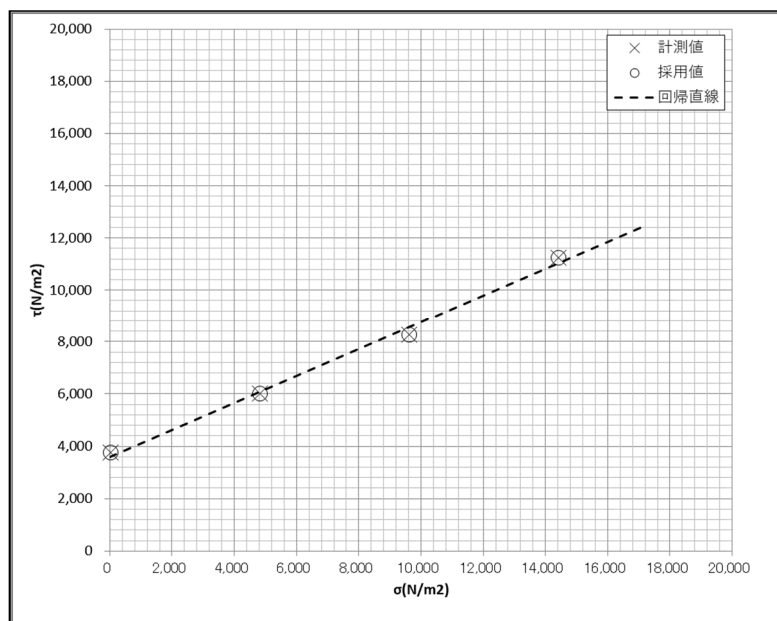


図-2 不安定な崩積土の解析結果の例

8. 安定解析

得られた土層厚と地盤強度を用いて安定計算を実施した。簡易動的コーン貫入試験及び、斜面の安定度を評価する（図-3）。原位置で得られたデータであるため、順算で計算できる。その結果、得られた c 、 ϕ は妥当であることも改めて示された。

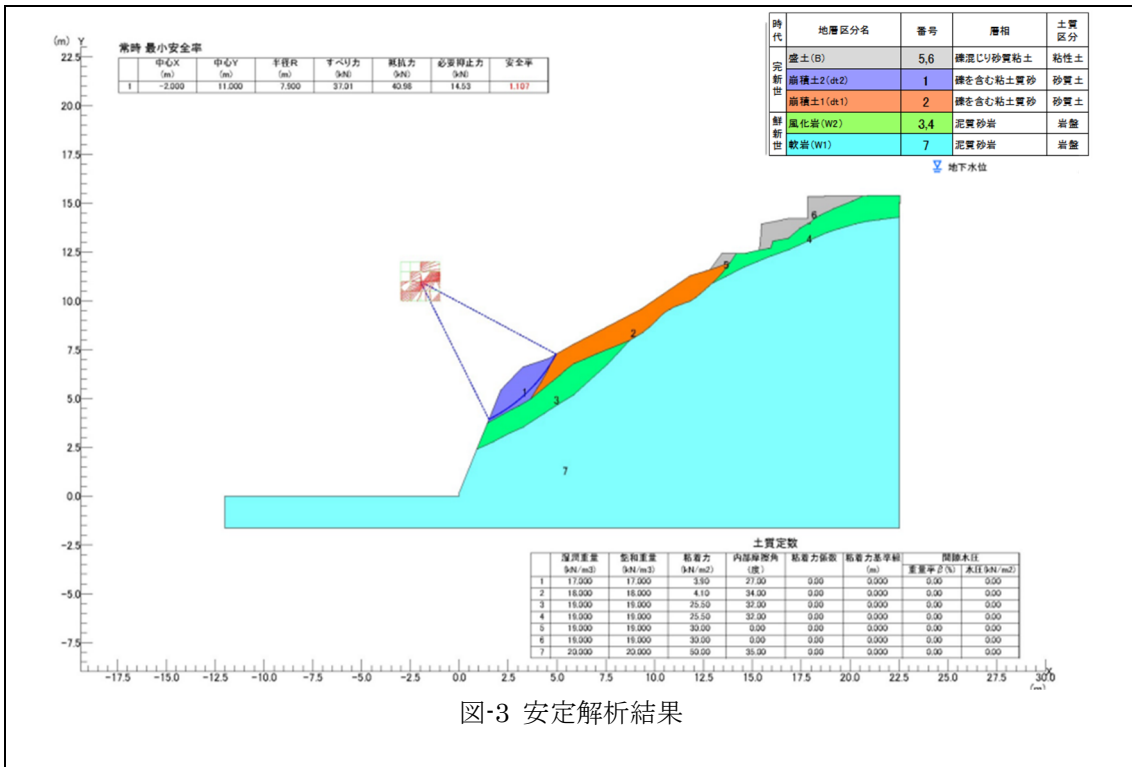


図-3 安定解析結果

参考歩掛

- ・条件 2 測線 間隔 1m、土層厚 2.0m 以内
- ・歩掛

項目	数量	技師 A	技師 B	技師 C
資料収集	1 式	-	0.2	0.2
過去の空中写真・地形図判読	1 式	-	0.5	-
現地計画・地形測量	1 式	0.5	1.0	1.0
擁壁変状調査	1 式	0.5	0.5	-
簡易動的コーン貫入試験	6 点	-	0.8	0.8
ベーンコーンせん断試験	15 点	-	0.2	0.2
限界貫入深度試験	30 点	-	0.2	0.2
地盤モデル設定・安定解析	1 式	0.5	1.0	2.0
対策工検討	1 式	0.5	1.0	2.0

使用実績 (令和 3 年 10 月現在)

国	都道府県	市区町村	民間	その他
0	0	2	13	0

お問い合わせ

株式会社環境地質サービス

担当 (下河)

〒210-0014 神奈川県川崎市川崎区貝塚 1-3-17-405 シャンボール第 2 川崎

TEL /FAX 044-201-2605

kankyo@kankyo-cs.com