

土層強度検査棒を用いた 調査・評価の手引き（案）

【 共 通 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（平成 29 年設立）ホームページ <http://dokenbo.org/>

土層強度検査棒の精度向上・技術開発・普及活動を目的として、
国立研究開発法人土木研究所が主体となり民間会社と個人・団体
からなる 15 会員で設立



~~~~~ 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

本手引きは、土層強度検査棒研究会（国立研究開発法人土木研究所および民間会社、個人により設立）が、土層強度検査棒（特許第 3613591 号 土のせん断強度測定方法及び装置）の“入門書”として整理したもので、以下の 3 分冊で構成されている。基本的な使用方法、開発の経緯、使用上のノウハウや留意すべき点等を記載するとともに、地質技術者や事業者が活用しやすいよう、活用事例や標準歩掛りも含めた構成となっている。

【共通編】土層強度検査棒を用いた基本的な試験方法の紹介と解説

【事例編】土層強度検査棒を用いた調査・解析手法の事例集

【参考資料】土層強度検査棒を用いた基本的な調査・試験の標準歩掛（案）を提示

土層強度検査棒は、土木研究所において平成 12 年～13 年にかけて開発された、測定深度 5m 程度の静的貫入試験器であり、N 値 10 程度までの地盤（砂質土、粘性土ともに使用可）を対象として、①円錐状先端コーン付きの細いロッドを人力で押し込むことで土層深や土層強度（貫入抵抗値）を測定する試験（限界貫入深度試験、貫入強度試験）と、②ベーンコーン（羽根付きコーン）を用い、ロッドの押し込み力と、土層のせん断に必要な回転トルクを複数の荷重条件で測定することで、原位置の内部摩擦角と粘着力を測定する試験（ベーンコーンせん断試験）を実施することができる。



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

土層強度検査棒による各種試験

土層強度検査棒試験は人力による貫入試験であるため、礫混じり土や根茎の発達した土層などでは試験が困難な場合があるものの、深度 5m 分の試験器セットで 5kg 程度（簡易動的コーン貫入試験器の 1/4 程度）と軽量で、試験法も簡便であるため、迅速に多数の土層深や強度を計測することが可能である。このような利便性から、近年では自然斜面以外のフィールド（切土のり面や道路盛土、河川堤防や河川堆積物が広がる低地部など）にも活用の場を拡げてきている。しかしながら、土層強度検査棒を用いた調査事例は未だ限られており、本手引きが示す試験法や活用事例が適用できるか、不明な現場もあると推測される。

そのような場合は、土層強度検査棒研究会に相談いただければ幸いである。

【 共 通 編 】

< 目 次 >

土層の不均一性とその影響（土層強度検査棒の開発経緯）	1
1. 土層強度検査棒でできること	6
2. 土層強度検査棒による試験	16
2.1 適用範囲	16
2.2 土層強度検査棒の構成	16
2.3 基本的な使用方法	18
2.3.1 限界貫入深度試験	18
2.3.2 貫入強度試験	19
2.3.3 ベーンコーンせん断試験	20
2.4 【解説】試験にあたっての留意点	21
2.4.1 試験器に関する留意点	21
2.4.2 限界貫入深度試験に関する留意点	22
2.4.3 貫入強度試験に関する留意点	24
2.4.4 ベーンコーンせん断試験に関する留意点	25
3. 試験結果の整理・活用方法	31
3.1 試験結果の整理方法	31
3.1.1 限界貫入深度試験	31
3.1.2 貫入強度試験	32
3.1.3 ベーンコーンせん断試験	33
3.2 【解説】試験結果の整理・活用方法	35
3.2.1 他試験との比較	35
3.2.2 試験結果整理にあたっての留意点	40

土層の不均一性とその影響（土層強度検査棒の開発経緯）

日本で発生する斜面災害の半数以上は“表層崩壊”に起因している。近年では、平成 29 年の九州北部豪雨災害や平成 30 年の西日本豪雨災害、平成 30 年北海道胆振東部地方の地震災害など、表層崩壊が多く発生している。



平成 29 年 九州北部豪雨により発生した表層崩壊（大分県日田市）



平成 30 年 北海道胆振東部地震により発生した複数の表層崩壊（北海道安平町）

写真 1 表層崩壊の発生事例 ※1

表層崩壊の危険度は、斜面勾配などの微地形とともに土層分布（土層深、土層強度など）の影響を強く受ける。しかし、斜面上の土層分布は複雑（不均一）な場合が多く、図1のように数 cm の土層深しかない箇所のすぐ脇で数 m の土層深となることもあり、土層深分布は数 m～数 10m オーダーのパッチワーク状に不均一に分布することが知られている。このため、ピンポイントの危険性を把握することは困難とされてきた。

そこで、斜面の安定性調査の高度化を目的に開発されたのが“土層強度検査棒”である。地質技術者がハンマーを持ち歩くように、土層強度検査棒を持ち歩き、簡易かつ迅速に（多点的に）土層深や土層強度を計測することで、斜面上の土層分布の不均一性を面的に把握することを企図したものである。

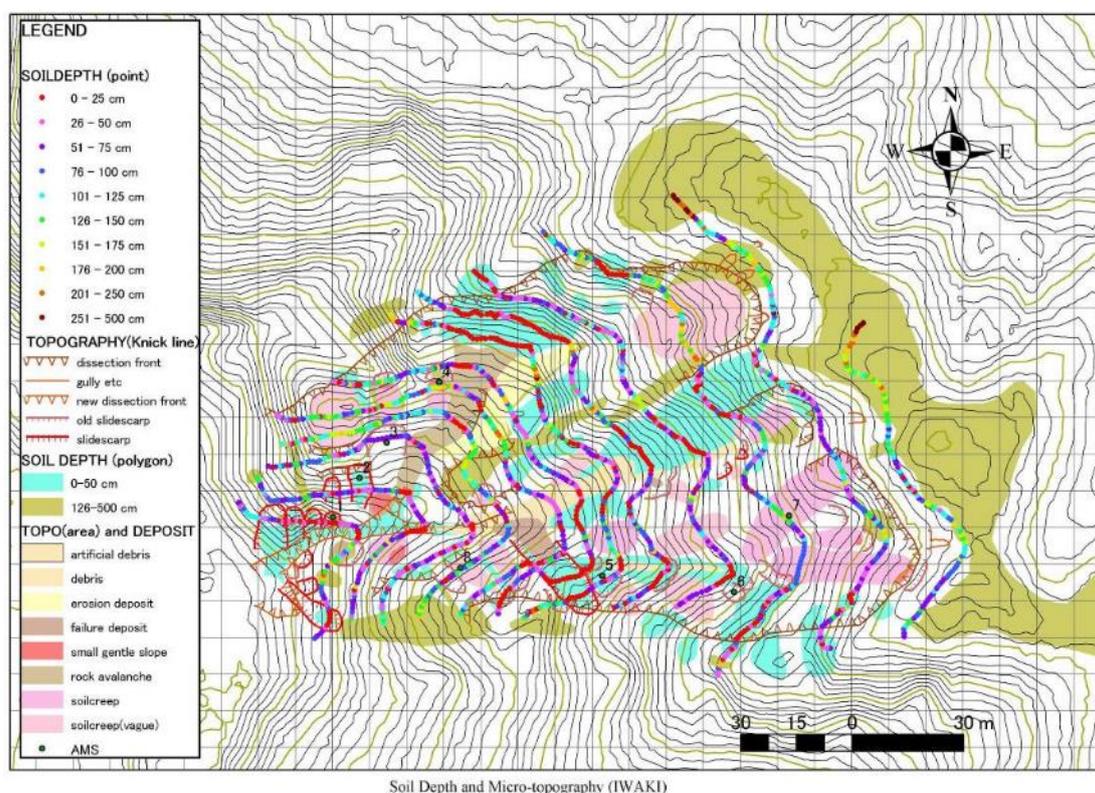


図1 トラバース法による土層深測定結果と地形判読結果の重ね合わせ例 ※2

一方、簡易かつ容易に結果が得られる試験法のため、得られた結果が何を示唆しているか、試験結果を解釈する上では総合的な応用地質学的判断が必須である。ハンマーはごく簡単な道具だが、ハンマーをどこで使用して、どのように岩石を観察するか、地質技術者（専門技術者）の判断が介在することと同じである。

<土層の不均一性と地形地質場を認識することの重要性>

土層（地表に分布する土壌や未固結の崖錐堆積物、基盤岩の風化物等の地層）は、固結度や厚さ（土層深）、含水率、スレーキング特性など、斜面安定に影響するさまざまな要素を含んでいる。それらの要素は、構成物や形成過程、その後の自然要因等で変化するため不均一（複雑）である。

例えば、自然斜面で生じる表層崩壊は、地形地質場が中長期的に変化する過程*が示す、現象の一つである。場所による土層の不均一性は、こういった形成過程の違いにより発生している。したがって、土層の性状や安定性を評価するためには、地形地質場を認識し、調査位置の有する不均一性や変状発生機構を推定することが重要である（図2）。

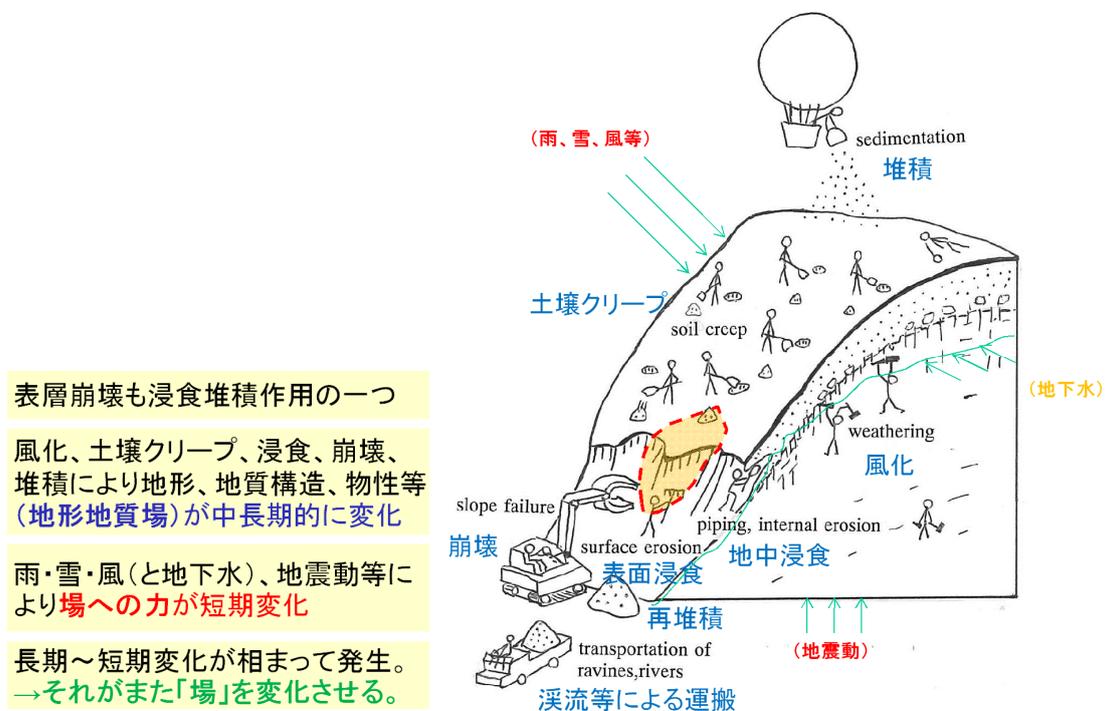


図2 表層崩壊の発生の場合と作用 ※3

* 中長期的に変化する過程：以下を指している。

- ① 斜面上部からの土砂クリープや堆積ならびに風化の進行等により、崩壊予備物質が次第に蓄積されること（相対的に厚い表土の形成）
- ② 蓄積された崩壊予備物質を不安定化させる要素として、下位や周辺での崩壊・浸食の発生による地形変化や、場合によってはパイピングや樹木伐採による根系の緊縛力の低下などの変化が生じること

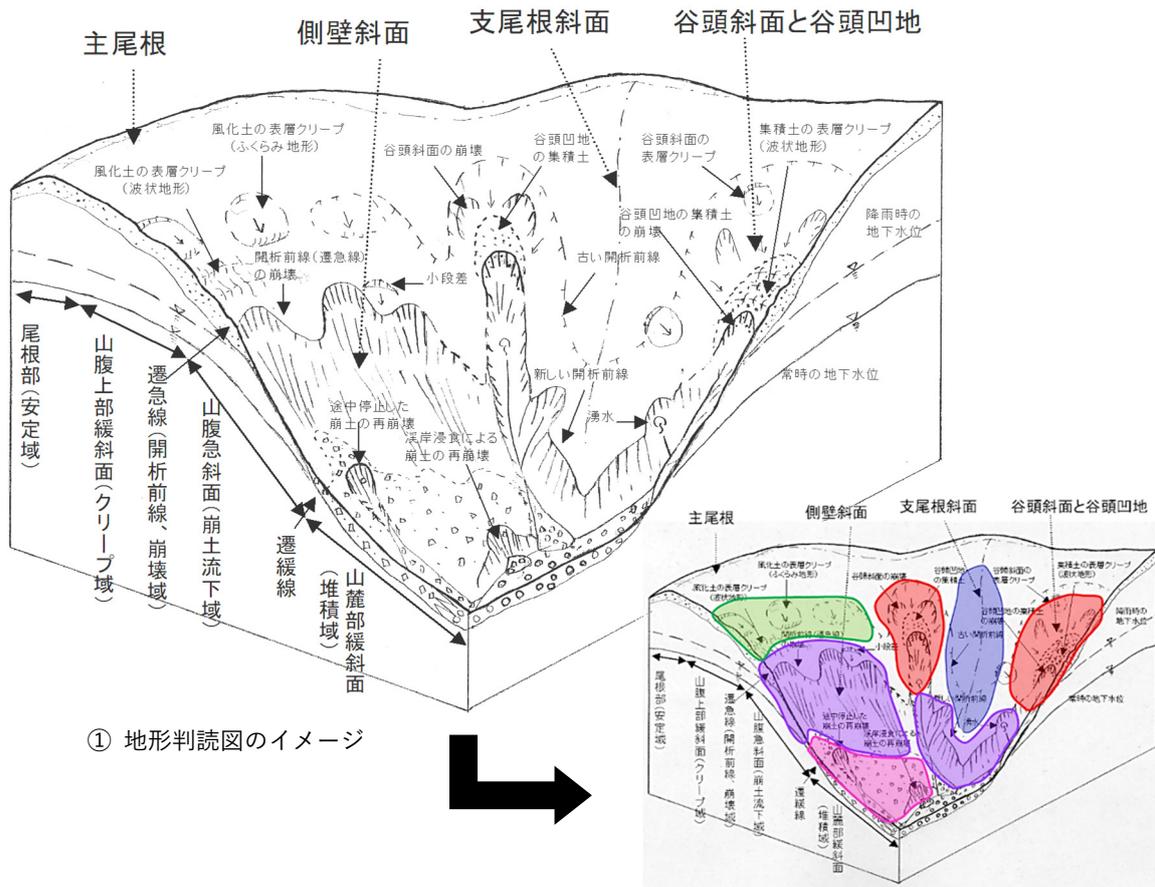
また、土層の固結度の違い、土層深やその安定性は、地形地質場により異なる。図3の例は、地形地質場による不均一性を示しており、滑落崖付近は現地性のマサが被覆し、斜面末端部は2次堆積したマサ土が崩壊している。同じ斜面の土層であっても、2次堆積したマサ土は、固結度が低いため安定性が低く、他に比べ不安定な場合が多い。



特に堆積物の集積場は、土層構成や固結度の不均一性が高いため、その特徴を掴むためには多点の調査が必要になる。このように地形地質場や形成過程を検討し、土層の不均一性(複雑さ)を考慮した調査立案が重要である。

<土層の不均一性(複雑さ)を把握するために>

土層の不均一性(複雑さ)は、堆積物の固結度の違いや安定性に影響する(図4)。したがって、土層強度検査棒を用いた試験や、試験結果を用いた解析等を立案するにあたっては、自然斜面だけでなく、切土のり面や盛土においても、構成材料やもとの地形の成り立ち(集水性など)を事前に調査しておくことが望ましい。



① 地形判読図のイメージ

・一般的な山地斜面だけでも複雑・多様
 →不安定化機構の違いを理解し、場を分けて考える必要
 ② 地形地質場区分のイメージ

図4 地形判読図と地形地質場の分類図の例 ※3

土層強度検査棒を用いた各種試験は、地質・地盤の不均一性（局所的な礫や転石の存在等）の影響を強く受ける試験方法である。繰り返しになるが、試験結果の解釈には調査箇所の“地形地質場”を踏まえた検証が必要である点に留意すべきである。

土層強度検査棒を用いた斜面調査については、土木研究所資料²⁾としてマニュアル（案）が整理されており、本手引きの作成にあたって多くの知見やデータ等を引用している。同マニュアル（案）では、斜面調査に適切かつ効果的に土層強度検査棒を用いた試験法が活用されるよう、試験時の測線・測点の配置方法や試験結果の解釈も含めて整理されている。

調査・試験の確実性の向上に資する上で、本手引きに加え、同マニュアル（案）も参照することを強くお勧めしたい。

※1 矢島良紀 (2020)：表層崩壊の危険箇所を絞り込む・土層分布を把握する調査機器－土層強度検査棒（どけん棒）－，令和2年9月30日 土研新技術ショーケース in 東京 技術紹介資料
 ※2 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
 ※3 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」pp1-20

1. 土層強度検査棒でできること

土層強度検査棒は、表層崩壊の危険度が高い斜面の抽出を目的に開発された試験器であるが、その利便性から、現在では斜面調査のほか、切土のり面や河川堤防の基礎地盤調査、路面下の空洞調査等にも活用を拡げてきている。

ここでは、以下の活用技術を取り上げ、次頁以降にその概要を付した。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">A) 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B) 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C) 河川堤防基礎地盤の被覆土層（土質・層厚）を確認する調査D) 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E) 転石の安定性評価への活用F) 強風化岩盤で構成される切土法面の安定度評価手法 |
|--|

別冊の【事例編】では、上記の事例も含めた活用事例を複数取り上げ、各技術の適用条件や留意事項、作業手順等を可能な限り詳述し、実務に資する内容としてとりまとめている。基本的な試験方法等を取りまとめた【共通編】と併せて、土層強度検査棒を用いた調査等に活用いただければ幸いである。

A) 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

技術の概要

- ・ 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。

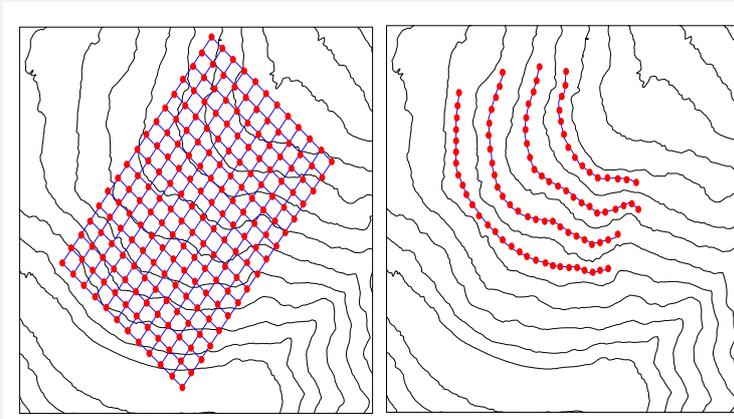
技術の手順

1. 測線および測点配置

調査目的に応じて、限界貫入深度試験の測線ないしは測点を配置する。

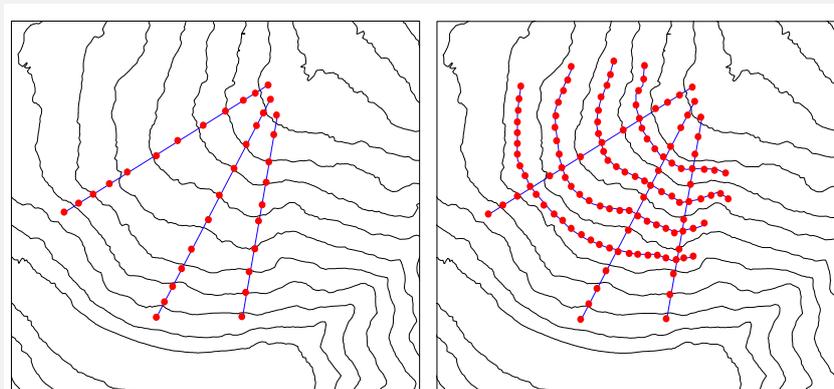
配置方法としては以下のようなものが挙げられる。

- 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
 - ・ 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。
- ② 等高線方向の測線および測点の配置例
 - ・ 等高線方向（水平方向）に移動しながら方位を測定し、一定間隔または任意の間隔で測点を設定する。
- ③ 斜面最大傾斜方向の測線および測点の配置例
 - ・ 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。
 - ・ 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（④）。



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

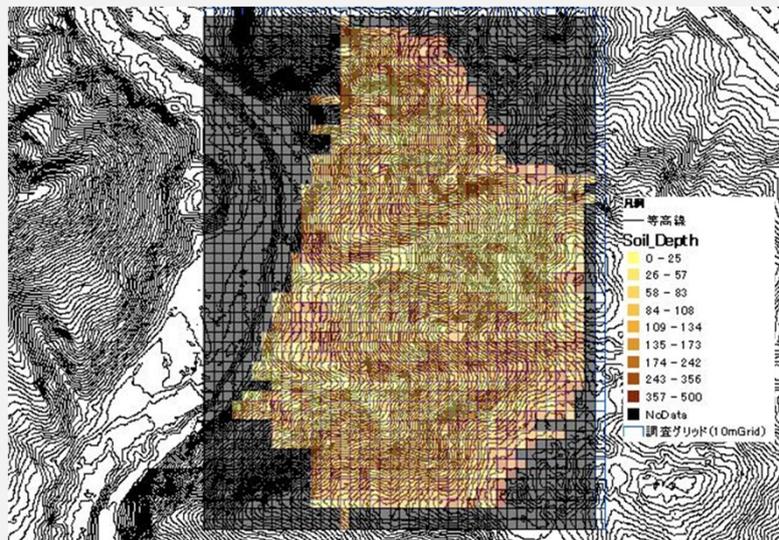
④等高線方向・傾斜方向の組合せ測線

2. 土層強度検査棒調査（限界貫入深度試験）

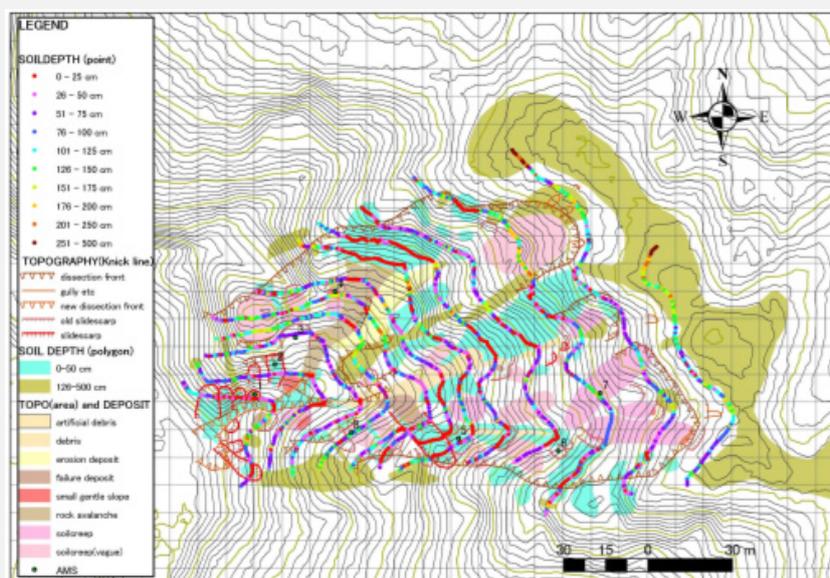
- ・ 配置した測点において限界貫入深度試験を実施。
- ・ 礫や木根による影響を除外するため、基本的に1測点あたり複数の貫入試験を行う。
- ・ 必要に応じて、土層と基盤の境界の状況や、貫入時の音・手応えなどから判定した土質の区分などを特記事項として記載する。

3. 結果の整理・考察

- ・ 土層深の空間的分布は過去の崩壊などの影響により不均一で、試験結果は局所的な転石等の影響を受けていることもあるため、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様ではなく、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（不安定な斜面）を絞り込むことが可能となる。



10mグリッドによる土層深の測定結果の表示例



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

B) 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

技術の概要

- ・ 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だが、埋設管や空洞の明確な形状までの把握は困難なことが多い。そのため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等を行うことで探査の精度が格段に向上する。
- ・ 土層強度検査棒の「貫入強度試験」により、貫入時の押し込み力を深度方向に連続的に測定することで、地盤表層の締まり具合・ゆるみの変化を連続的に把握できる。
- ・ 地中レーダー探査の補完調査として実施することで、地盤のゆるみ領域をより詳細に把握することができる。

技術の手順

1. 現地踏査

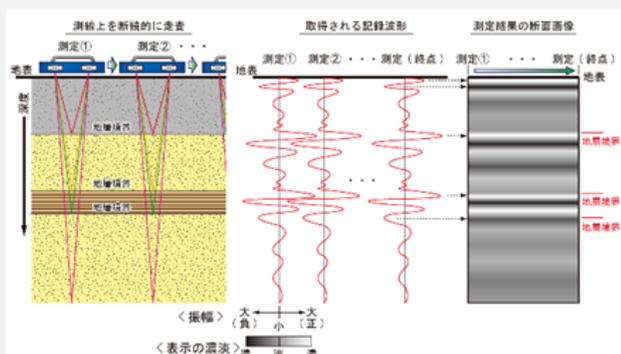
- ・ ひび割れ・陥没等の地表変状を記録。
- ・ 踏査結果をもとに探査測線を設定。



地表変状の現地記録状況

2. 地中レーダー探査

- ・ 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区間を抽出。



地中レーダー探査概念図

3. 貫入強度試験

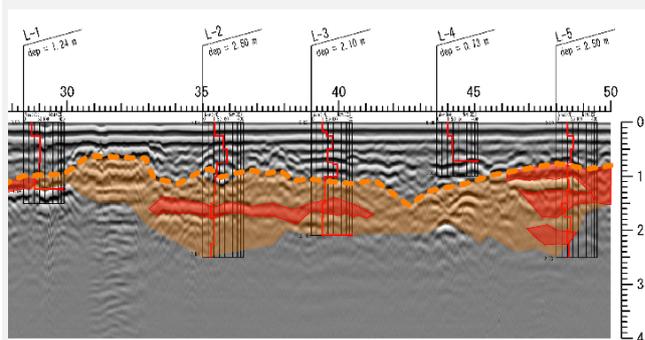
- ・ 空洞やゆるみが大きい範囲を選点。
- ・ 調査地点において貫入強度試験を実施して貫入強度-深度図を作成。



貫入強度試験のイメージ

4. 結果の整理・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。



探査結果と貫入強度試験から推定した緩み範囲断面図

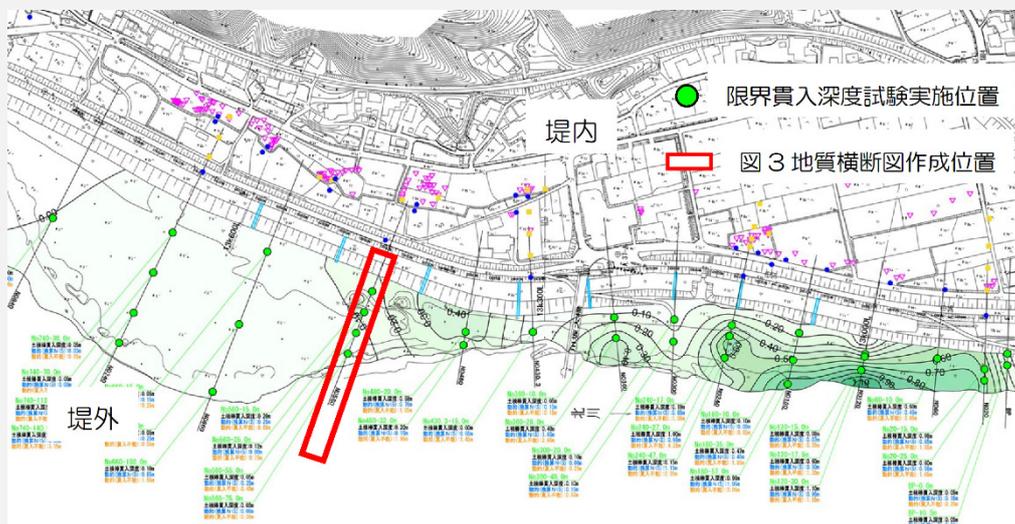
C) 河川堤防基礎地盤の被覆土層（土質・層厚）を確認する調査

技術の概要

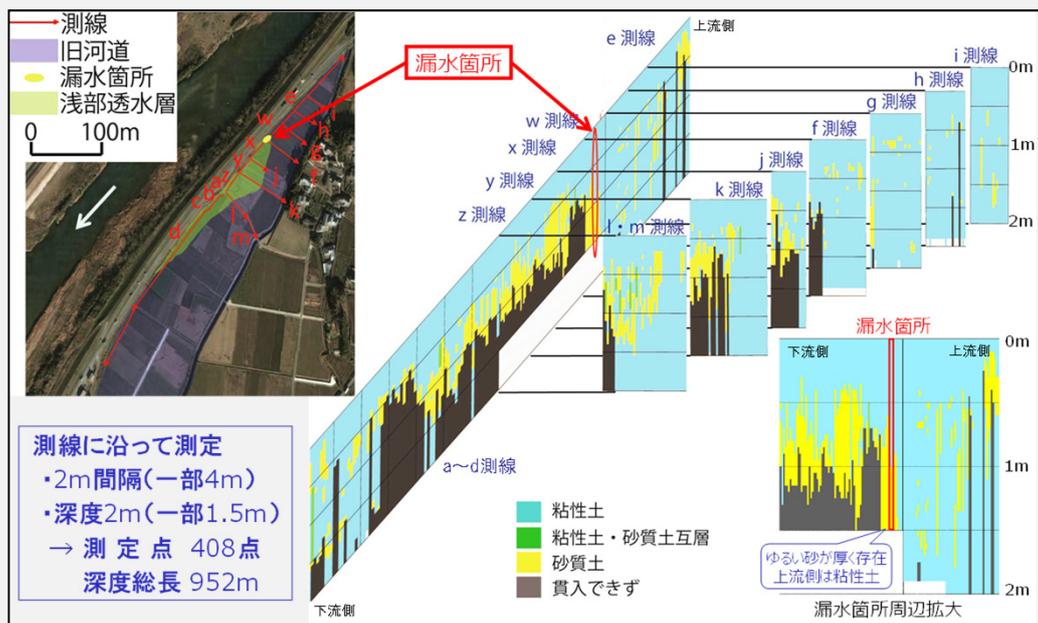
- ・土層強度検査棒（限界貫入深度試験）を活用することで、簡易的かつ迅速に河川堤防基礎地盤の被覆土層の土質および層厚を面的に把握することができる。

技術の手順

- ・被覆土層の分布を面的に把握できる測定や測線の配置を計画する。
- ・計画した測点で限界貫入深度試験を実施し、限界貫入深度や貫入時の音・手応え等で判定した土質区分などを記録する。
- ・限界貫入深度や土質区分、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推定し、三次元地盤モデル作成や浸透流解析等に活用する。



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)

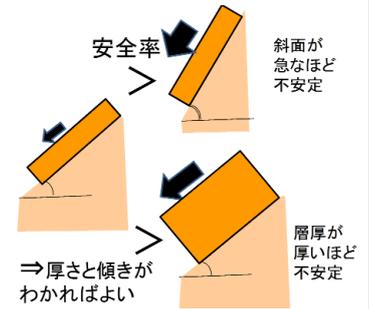


稠密な限界貫入深度試験と貫入時の手応え等から判定した土質区分結果の整理例

D) 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

技術の概要

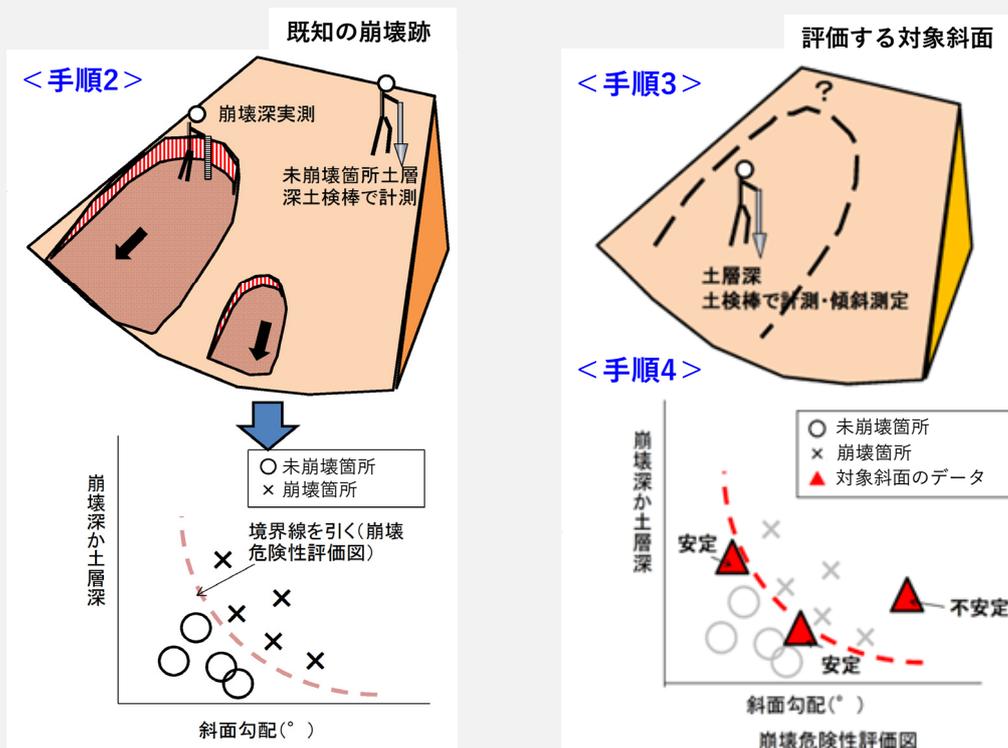
- ・斜面は急勾配で移動層の層厚が大きいほど不安定であり、またすべり強度が小さい斜面ほど不安定である。
- ・崩壊の可能性のある土層厚を限界貫入深度試験から類推し、崩壊跡の斜面勾配・すべり層厚と評価対象斜面のそれらの値を比較し、両者の相対的な対比から危険性を評価する。



技術の手順

1. 現地調査および限界貫入試験の流れ

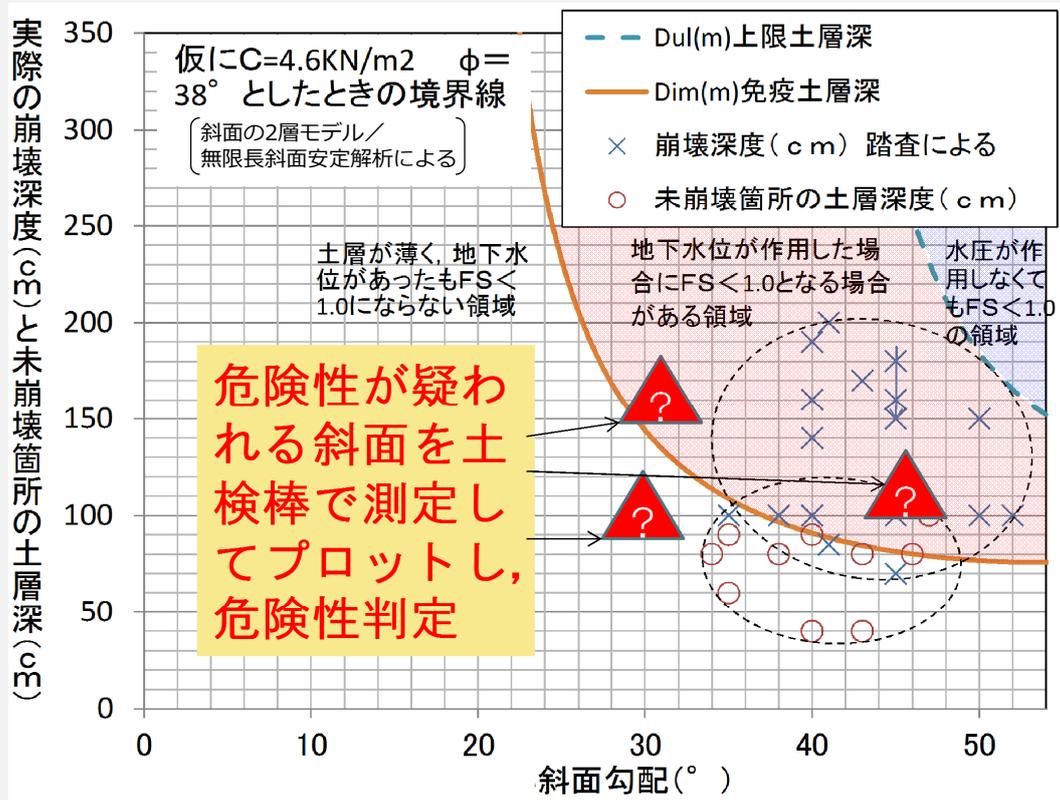
- 手順1：対象箇所周辺の地表踏査・地形判読
 - ・土層の形質，多い崩壊機構，集水地形等の地形的特徴
- 手順2：対象箇所周辺の崩壊箇所のデータ収集と評価図作成
 - ・崩壊深の測定および斜面勾配測定・崩壊危険性評価図の作成
- 手順3：評価対象斜面の計測
 - ・限界貫入試験による土層深の測定，斜面勾配の測定
- 手順4：評価
 - ・手順2のグラフに評価対象斜面のデータをプロット
 - ➔ 不安定領域に位置するものを抽出する



統計的手法による斜面の安定性評価の手順

2. 結果の整理・考察

- ・下図の曲線の設定は、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 $c \cdot \phi$ 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限界貫入深度試験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。
- ・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、地下水位の有無も推定しておく。



崩壊危険性評価図による危険度判定

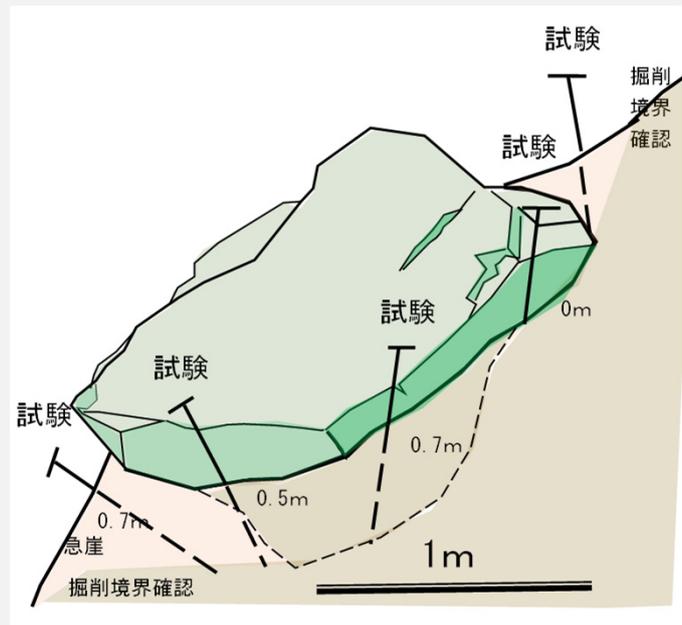
E) 転石の安定性評価への活用

技術の概要

- ・ 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。
- ・ 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。

技術の手順

- ・ 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。



土層強度検査棒による転石の根入れ長さ結果の事例

F) 強風化岩盤で構成される切土法面の安定度評価手法

技術の概要

- ・未固結層～強風化岩盤部における法面安定勾配を評価する技術である。
- ・せん断強度は、換算N値から推定するNEXCOの方法があるが、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）の評価にも対応できない。
- ・そこで、土層強度検査棒を用いた「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。

技術の手順

1. 法面勾配決定の資料収集

- ・調査・設計成果やボーリング柱状図（N値・地下水位等）を収集し、法面勾配の決定根拠を確認する。（例えば標準切土勾配など）

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		1:1.5~	
砂質土	密実でない粒度分布の悪いもの	5m以下 5~10m	1:0.8~1:1.0 1:1.0~1:1.2
	密実なもの	5m以下 5~10m	1:1.0~1:1.2 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 10~15m	1:0.8~1:1.0 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 10~15m	1:1.0~1:1.2 1:1.2~1:1.5
粘性土	岩塊または玉石まじりの粘性土	0~10m 5m以下	1:0.8~1:1.2 1:1.0~1:1.2
		5~10m	1:1.2~1:1.5

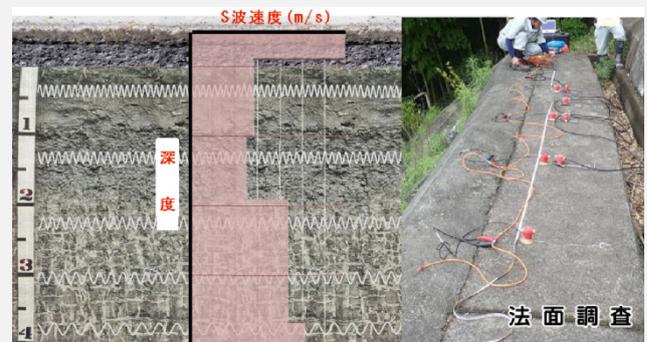
NEXCO設計要領 第一集 土工 建設編（2020），p.2-4

2. 換算N値から地盤強度推定

- ・NEXCO設計要領第二集に記載される「岩盤の設計用地盤定数」推定法を用い換算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。
- ・換算式により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上記の方法は非常に有用だが、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。
- ・そのため、3.以降の検証作業を行う。

3. 二次風化（劣化）の評価

- ・一次元表面波探査により得られた法面地盤のS波速度をN値に換算する。
- ・ボーリング調査で得られた動的N値と、表面波探査で得られた静的N値を比較し、静的N値が十分大きければ「強風化していても岩盤の性質を残存」と評価し、「換算N値から推定される土質強度」を用いることができると判断する。



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

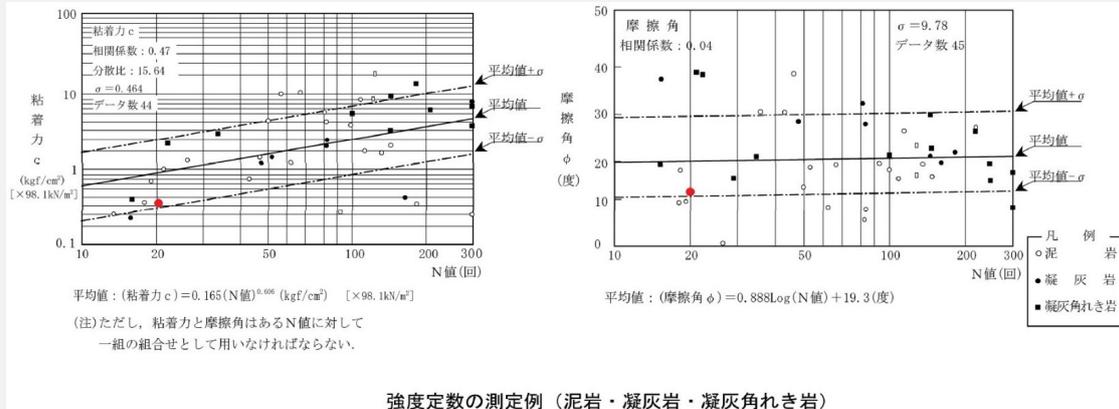
- ・切土小段は通常コンクリートで被覆されているため、法面で試験を実施する。



ベーンコーンせん断試験実施例

5. 土質定数の平均値からの離れを設定

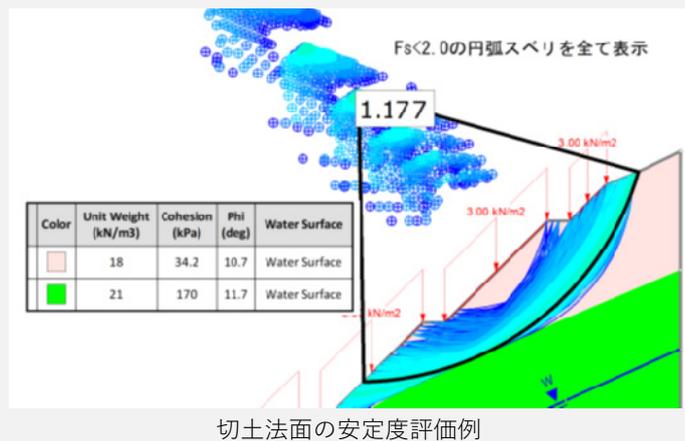
- ・ ベーンコーンせん断試験で得られた土質強度と、下図に示す換算N値から推定される土質強度を比較し、適切な平均値からの離れ量を計算する。
- ・ 表層崩壊が予想される箇所に複数の地層区分がある場合には、この離れ量を用いて換算N値から推定される土質強度値を調整する。



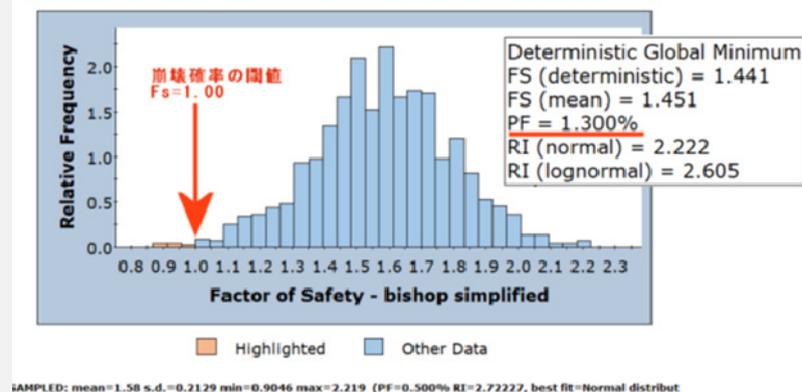
岩盤の換算N値から推定できる土質定数
 「NEXCO設計要領 第二集 橋梁建設編 (2016)、p.4--11」に実測値 (赤丸) を加筆

6. 安定計算

- ・ 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 (右図)。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。
- ・ 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、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。 $F_s = 1.00$ の閾値は全ての場面で共通である (下図)。



Highlighted Data = Factor of Safety - bishop simplified < 1



安定計算の確率評価 (崩壊確率算出) 事例
 1000回の計算のうち $F_s < 1.00$ となる頻度を崩壊確率としている

2. 土層強度検査棒による試験

2.1 適用範囲

本手引き（案）は、土層強度検査棒を用いて、原位置における地盤表層の脆弱な範囲や、貫入強度の測定、粘着力や内部摩擦角の推定をおこなうための試験方法を規定するものである。

またこの試験は、地盤表層部を対象としており、試験対象深度は5m以内を標準とする。対象地盤はN値10～15程度までの沖積層、崖錐堆積物などの土質地盤を適用範囲とするが、場合によっては岩盤強風化部のような極めて軟質な岩盤や、人工の盛土等も適用範囲となりえる。

2.2 土層強度検査棒の構成

土層強度検査棒は以下の部品により構成されている。この試験器では、これら部品の組み合わせにより3種類の試験（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）が実施できる。

土層強度検査棒の構成を図2-1および写真2-1～写真2-2に示す。

- ① 円錐状先端コーン
 - ・ 鋼製 先端角 60° 最大径 15 mm 長さ 50 mm
- ② ベーンコーン
 - ・ 円錐状先端コーンに羽根幅 6.0mm～6.1 mmの羽根を4枚付加したもの
- ③ ロッド
 - ・ 直径 10 mm、長さ 500 mmの鋼製ロッド
- ④ 荷重計
 - ・ バネばかり 容量 300N～500N 精度 2%程度のもの
 - ・ デジタル荷重計（デジタルフォースゲージ）容量 500N 精度：容量の±0.3%
- ⑤ 継手
 - ・ ロッドと荷重計を繋ぐ部材（ジョイント）
 - ・ ベーンコーンせん断試験時のトルクを計測する際、過度な摩擦が生じないよう加工されているもの
- ⑥ トルクレンチ
 - ・ 測定最小目盛 0.1N・m 以下 最大測定トルク 5N・m 以上のもの
- ⑦ ハンドル
 - ・ 25～30 mm 長さ 100 mm程度の鋼製のもの ロッドに取り付け使用

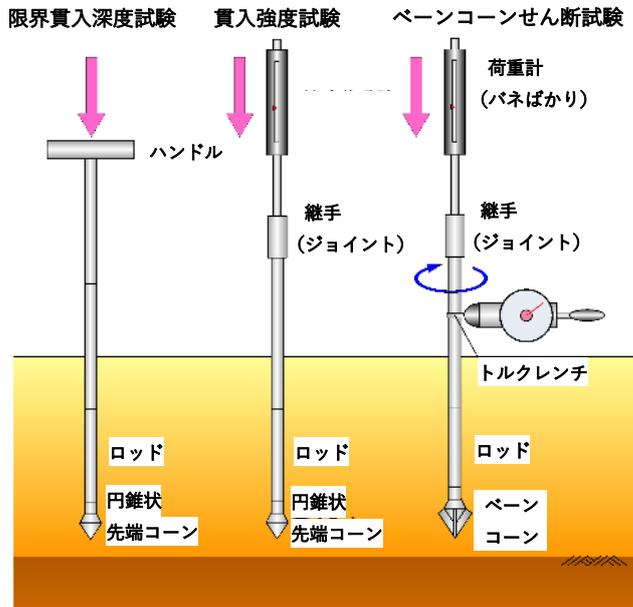
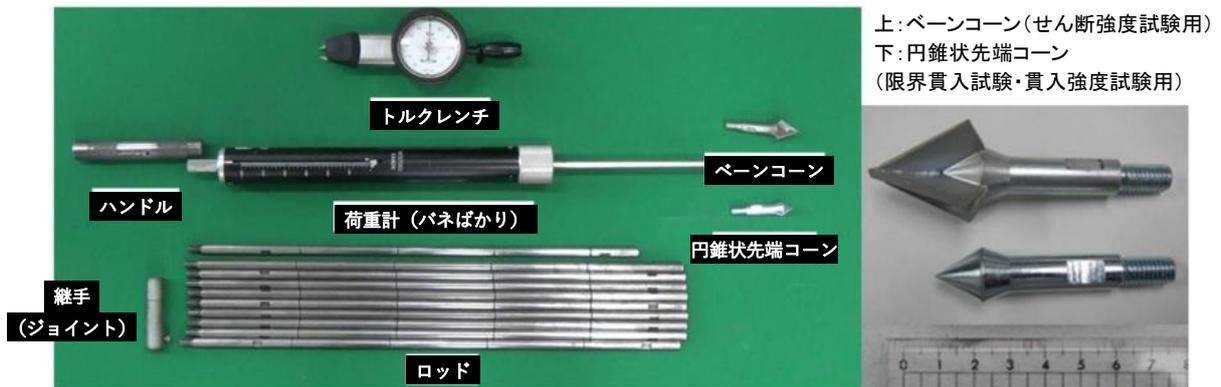


図 2-1
試験の概要および試験器の構成

https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wp-content/uploads/2014/11/C171121_soil_layer_intensity.pdf



上: ペーンコーン(せん断強度試験用)
下: 円錐状先端コーン
(限界貫入試験・貫入強度試験用)

写真 2-1 土層強度検査棒の構成



<http://www.kankyo-cs.co.jp/>

写真 2-2 デジタル式荷重計 (FGJN-50) の使用例

2.3 基本的な使用方法

土層強度検査棒試験では調査目的に応じて以下の3種類の試験方法が示されている。

1) 限界貫入深度試験

円錐状先端コーンを取り付けたロッドを人力で静的に押し込み、貫入不能となる深度を求める試験。地盤表層の土層（脆弱な範囲）の分布を把握することができる。

2) 貫入強度試験

円錐状先端コーンを取り付けたロッドを荷重計を使用して人力で静的に押し込み、貫入時の押し込み力を計測する試験。任意の貫入深度での貫入強度を求めることができる。

貫入方法により「定位置貫入法」と「コーンペネトロメータ式貫入法」がある。

3) ベーンコーンせん断試験

ベーンコーンを取り付けたロッドを任意の深度に設置し、ロッドの押し込み力とベーンコーンが土をせん断するのに必要な回転トルクを測定する。測定は複数の荷重（押し込み力）条件で実施し、任意の深さでの原位置の粘着力と内部摩擦角を推定することができる。

2.3.1 限界貫入深度試験

限界貫入深度試験の試験方法を以下に示す。

1) 試験準備

試験実施前に、試験装置に不具合がないことを確認する。

円錐状先端コーンをロッドに取り付け、ロッド上部にハンドルを取り付ける。

2) 貫入と測定

- ① ロッドを鉛直に立て、ハンドルを人力で押し込み、適宜、ロッドを継ぎ足しながら、連続的に貫入する。
- ② 人力での貫入できる限界深度に達した時、その深度を記録する。

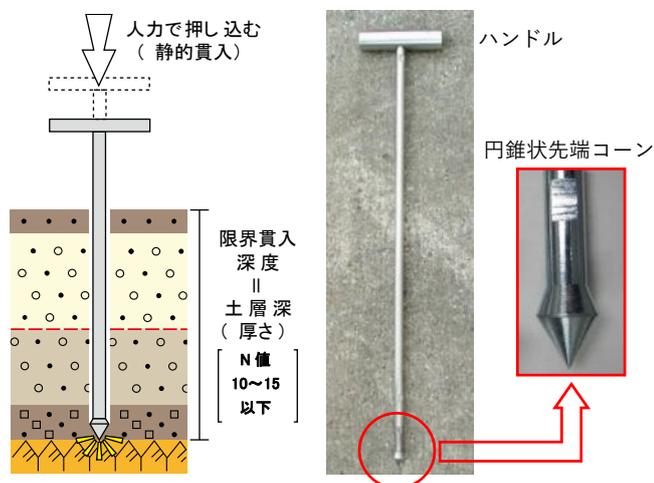


図 2-2
限界貫入深度試験概念図
および試験器構成例

2.3.2 貫入強度試験

貫入強度試験の貫入方法のうち、「定位置貫入法」は所定の深度の正確な貫入強度を測定するのに適している。また、「コーンペネトロメータ式貫入法」は、ポータブルコーンペネトロメータと同様、貫入量 10cm 毎の貫入強度を測定する。

1) 試験準備

試験実施前に、試験装置に不具合がないことを確認する。

円錐状先端コーンをロッドに取り付け、荷重計を用いる際は継手（ジョイント）を用いてロッド上部にセットする。

2) 貫入と測定

・ 定位置貫入法

- ① ロッドを鉛直に立て、ハンドルを使って押し込み、貫入強度を知りたい任意の深度に円錐状先端コーンを設置する。
- ② ロッドを地盤に挿入したままハンドルを外し、継手（ジョイント）を用いて荷重計をセットする。
- ③ 100N/sec 程度以下の荷重増加速度で荷重を増加させていき、コーンが沈下（貫入）し始めたときの荷重を記録する。

・ コーンペネトロメータ式貫入法

- ① ロッドを鉛直に立て、継手を用いて荷重計をセットした上で、1 cm/sec 程度の貫入速度で連続的に貫入し、貫入量 10cm 毎に荷重計の読み値を記録する。
- ② 目的深度に達した場合、または貫入不能となった場合に試験を終了する。

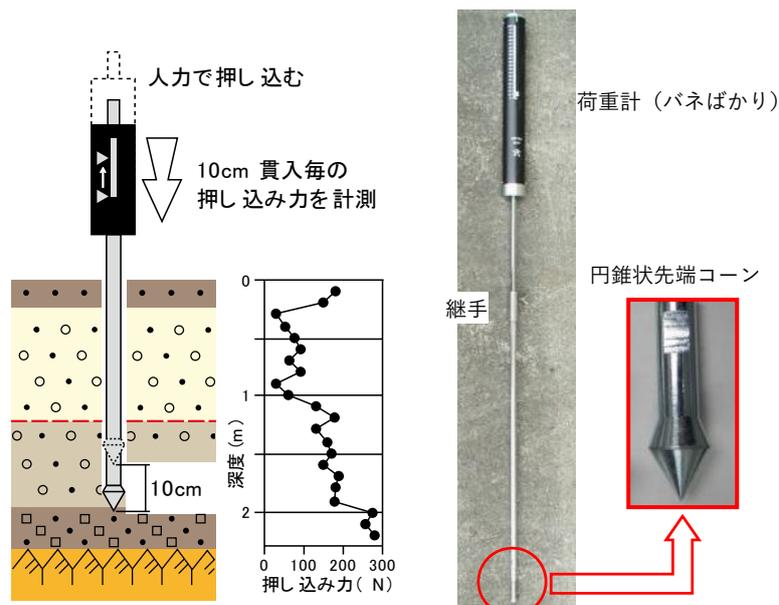


図 2-3 貫入強度試験概念図（コーンペネトロメータ式貫入法）および試験器構成例

2.3.3 ベーンコーンせん断試験

ベーンコーンせん断試験の試験方法を以下に示す。

1) 試験準備

試験実施前に、試験装置に不具合がないことを確認する。

円錐状先端コーンをロッドに取り付け、ロッド上部にハンドルを取り付ける。別途、荷重計、継手、ベーンコーン、トルクレンチを用意する。

2) 貫入と測定

- ① ハンドルを用いて、円錐状先端コーンを測定深度まで貫入する。
- ② ロッドを地盤に挿入したままハンドルを外し、継手を用いて荷重計をセットする。
- ③ 円錐状先端コーンの回転時の周面摩擦（回転トルク）を、トルクレンチを用いて測定する。トルクレンチはほぼ一定の速度($1^\circ / \text{sec}$ 程度)でゆっくりと回転させる。
- ④ ロッドを一度引き抜いて、円錐状先端コーンをベーンコーンに交換する。
- ⑤ ハンドルを用いて、ベーンコーンを再度測定深度まで貫入する。ロッドが回転しないよう慎重にハンドルを外し、継手を用いて荷重計をセットする。
- ⑥ ロッドに所定の荷重をかけながら、ベーンコーンを回転させて、回転トルクを測定する。③と同様、トルクレンチはほぼ一定の速度でゆっくりと回転させる。
- ⑦ 一度、せん断された場所は試験に不適となるため、ベーンコーンを2~3 cm押し込むことで、試験位置を再設定する。
- ⑧ 段階的にコーンにかかる荷重を変化させながら、⑥~⑦を複数回繰り返す、荷重と回転トルクを記録する。

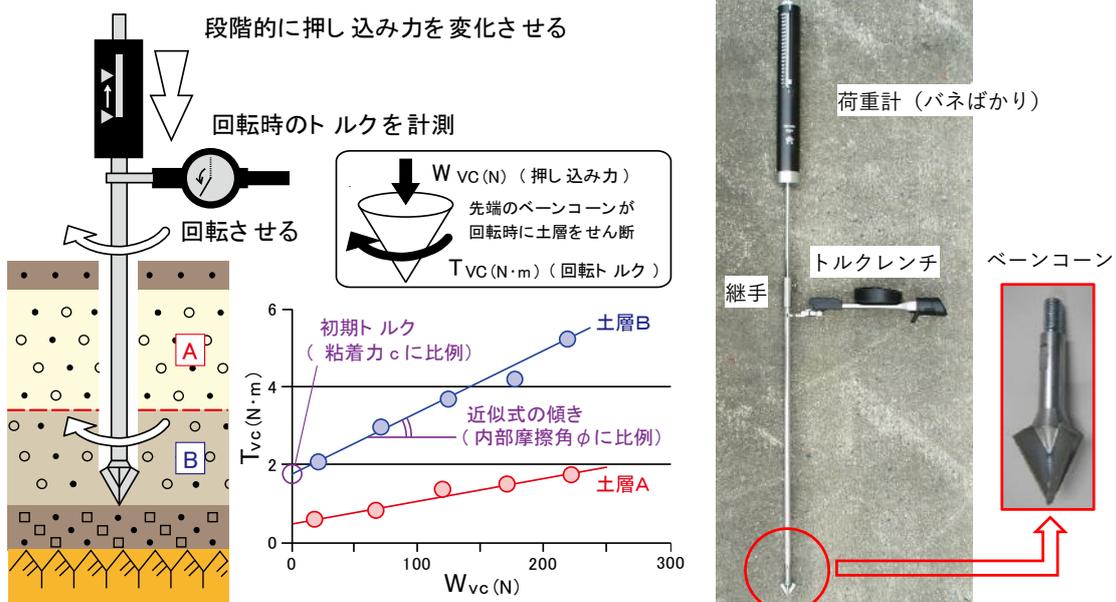


図 2-4 ベーンコーンせん断試験概念図および機器構成例

2.4 【解説】試験にあたっての留意点

本項では土層強度検査棒の試験器および各種試験を実施するにあたっての留意点について解説を行う。

本試験器は、自然斜面の表層崩壊を調査することを目的として開発され、その後、河川堤防調査等に適用の場を広げ現在に至っている。試験器の特徴としては軽量、コンパクトで携帯性にすぐれ、山間斜面や機材運搬が必要な場所でも手軽に試験を実施できる。試験方法も比較的簡単のため、携帯性に優れることと相まって短時間でより多くの地点での試験が実施できることが特徴といえる。

また、軽量、コンパクトな機材のため、コーンが小さく、ロッドも細く、貫入も人力によって実施することを考えると、状況に応じては十分な試験精度が得られない可能性があることも考慮して、試験を実施することも必要となる。

2.4.1 試験器に関する留意点

1) 試験器材の摩耗や変形について

本試験器におけるコーンは、他の試験（ポータブルコーン貫入試験、簡易動的コーン貫入試験など）と比較して断面積が小さいため、少しの摩耗でも試験値への影響を受けやすい。そのためコーンの摩耗については十分注意しなければならない。

また、ロッドについても他の試験と比較すると細く取り扱いによっては変形する可能性もある。ロッドが変形すると先端に荷重が正確に伝わらなくなったり、ロッドの周面摩擦が増大したりする可能性があるため注意しなくてはならない。

摩耗や変形による試験精度の低下を防ぐためには試験前の点検が重要になる。

2) 試験器材の運搬について

本試験器は、ロッド、荷重計、トルクレンチなど、幾つかの部品により構成されている。これら部品をできるだけコンパクトかつ手軽に運搬できる方法を以下に紹介する。

① 運搬事例 1

ロッドは図面筒を利用し、トルクレンチなどの小物は腰からぶら下げられる袋を利用



写真 2-3

図面筒や小袋を活用した運搬方法例

http://blog.livedoor.jp/ohta_geo/archives/51718721.html

② 運搬事例2

全ての部品を一つの専用ケース（運搬袋）に収納している事例



写真 2-4 専用ケース（運搬袋）に収納した事例

2.4.2 限界貫入深度試験に関する留意点

1) 適切な限界貫入深度を得るための留意点

限界貫入深度を求めるにあたり、土質の不均一性、礫当たり、周辺支障物による貫入不能などの試験誤差を防ぐため、以下のような方法で試験を実施することが効果的である。

① 鉛直に貫入する

できるだけ鉛直に貫入し、ロッドの変形による抵抗が生じないようにする。ロッドの変形による抵抗を防ぐだけでなく、誤って斜め方向に貫入した際の、土層深の誤認を防ぐ効果もある。特に斜面での実施の際、周辺の視覚的影響や荷重のかける方向により鉛直方向に貫入せず、やや山側に貫入することがあるため、注意する必要がある。

斜面の未固結層の分布は斜面に沿った分布となることが多く、貫入角度の誤差がそのまま土層深の誤差となるため、“鉛直方向の貫入”が重要である。鉛直に貫入するための方法として、ロッド上部のハンドル部分に下げ振り（錘をつけた糸）を設置し、鉛直方向を確認しながら貫入する方法がある（写真 2-5）。下げ振りは脱着を簡便にできるようにハンドル部にフック等で設置することで、ロッドの継ぎ足し時には容易に外すことができる（最初の貫入時、ロッド 1～2 本分で使用）。



写真 2-5 下げ振り（錘をつけた糸）を用いた鉛直方向の貫入の確保の例

② 礫の混入や根茎等の支障物への配慮

限界貫入深度試験は、土砂内に礫や木の根等があると、得られる試験値にばらつきが生じ、正確な土層深を計測できない場合がある。地表で確認できる樹木周辺や転石・露岩周辺を避けて試験を行うことで、樹木の根茎や岩塊の影響で土層を浅く見積もる可能性を排除することができる。また、試験目的や土層の性状（礫の含有の程度）等を踏まえ、必要に応じて試験回数や採用値の求め方を工夫する（例えば、複数回試験を実施して最深の試験値を採用する／平均値を採用する、礫が非常に多い土層では適用を控える等）といった配慮が求められる。

③ 手応えも重要な判断基準

ある程度の経験が必要となるが、礫あたり（固い岩片に接触、コツンと当たる）と、風化部（やや軟質だが抵抗があり貫入できない、ググッと抵抗があり止まる）では、貫入時の手応え（感触）が異なる。試験の目的や現地の地形地質場を考慮する必要があるが、手応え（感触）を判断基準として、礫あたりを特異値として排除することも可能である。また、貫入過程の感触を記録として残しておくといった方法も有効である。

2) 限界貫入深度試験で崩壊深度を類推する際の留意点

限界貫入深度試験を多点的に実施することで土層深を面的に把握すること出来るが、現場条件によって適用が難しい場合がある。金井ほか（2016）^{※4}は、崩壊が懸念される 130 地点の斜面を対象とした限界貫入深度試験の結果を踏まえ、図 2-5 に示すような土層構造や崩壊機構を呈する箇所では、限界貫入深度と崩壊深度の差異が大きいことを提起した。

※4 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

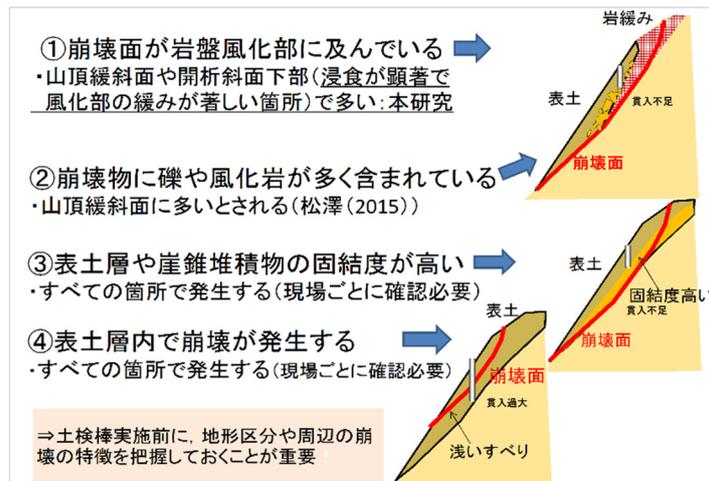


図 2-5 土層強度検査棒を崩壊懸念斜面で用いる際に工夫が必要な条件^{※4}

限界貫入深度試験により崩壊深度(崩壊面)を推定する場合、地表踏査・空中写真判読結果や、松澤ほか(2015)^{※5}に示される斜面区分-土層構成の関係(遷急線による斜面区分と崩壊形態の関係)等を参考にして、事前に試験の適用性を検証する必要がある。

2.4.3 貫入強度試験に関する留意点

貫入強度試験の貫入強度から求める土層深には以下のものがある^{※2}。

- ①「貫入強度」 q_{dk} で求めた土層深 D_{dk}
- ②「見かけ貫入強度」 $q_{dk'}$ で求めた土層深 $D_{dk'}$

上記において、土層と基盤の境界値を表現する場合は以下のように表記する。

(例) $D_{dk}(1000)$: 土層と基盤の境界値が「貫入強度」 1000kN/m^2 の場合

(例) $D_{dk'}(2000)$: 土層と基盤の境界値が「見かけ貫入強度」 2000kN/m^2 の場合

貫入強度を土層深の指標とする場合には、どの程度の強度を土層と基盤の臨界値にするかが重要であり、現場によって適切な境界値を設定する必要がある。本試験器による人力で貫入可能な最大荷重は500N程度であるが、過去の経験や本試験と動的コーン貫入試験(Nd値)との関係を考慮すると、土層と基盤の境界値はおおよそ 2000kN/m^2 程度(荷重計の値でおおよそ350N程度)と考えられる。これは一般的な試験者が貫入できる最大荷重の2/3程度の値であり、試験者の貫入限界を土層と基盤の臨界値に設定した場合、土層深はやや深め(安全側)の設定となる。

※2 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

※5 松澤真・木下篤彦・高原晃宙・石塚忠範(2015):花崗岩地域における土層構造と表層崩壊形状に与える山地の開析程度の影響,地形,第36巻,第1号,pp.23-48

2.4.4 ベーンコーンせん断試験に関する留意点

1) 摩擦による影響を小さくする方法

① ベーン（羽根）の付着物の除去

ベーンコーンを用いてせん断試験を実施すると、土層より引き剥がされた土・泥が4枚の羽根の間隙に付着した状態になるが、そのまま試験を実施すると、回転時に土層をせん断することができない（写真 2-6）。また、粘性を増した土・泥の影響で過度な摩擦が生じ、過大なトルクが計測される可能性がある。

付着した土・泥を常に除去した状態でせん断試験を実施する必要がある。



写真 2-6

土が固着したままのベーンコーン

② 孔壁とロッドの摩擦影響の排除

ロッドを介してベーンコーンを回転させた際のトルクを計測する試験であるため、できるだけ孔壁とロッドの摩擦を排除することが望ましい。孔壁とロッドの摩擦を排除する方法として、スクリーウエイト貫入試験（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により“下穴”を開ける方法がある。ただし、簡易動的コーン貫入試験は、孔の径が小さくベーンコーンが入りづらいので、あまり適していない。

スクリーウエイト貫入試験（スウェーデン式サウンディング試験）を用いる場合は、一度、最深部までサウンディング試験を行い、ベーンコーンせん断試験の実施深度を決定する。次に別孔で再度、試験実施深度までサウンディング試験を行い、その深度でベーンコーンせん断試験を実施する。この方法を用いれば、サウンディング試験結果より計画された複数深度で、ベーンコーンせん断試験を実施することができる。

また、地表面以下 50cm 程度であれば、園芸用アースドリル（写真 2-7）や、園芸支柱穴あけ器なども利用できる。ただし、園芸用ドリル等は、締まった地盤には利用できないので留意する必要がある。



写真 2-7 園芸用アースドリルを用いた
ベーンコーンせん断試験の例

③ 継手との接触部における摩擦抵抗

荷重をかけた状態でトルクを計測する際、ロッドと荷重計は継手（ジョイント）を介して接した状態になる。市販されている試験器は、一方が“ネジ固定”、もう一方が“ボールジョイント”となっている継手が一般的であり、ロッド（ないしは荷重計）と継手の間で過度な摩擦抵抗が起きないように工夫が施されている（図2-6）。

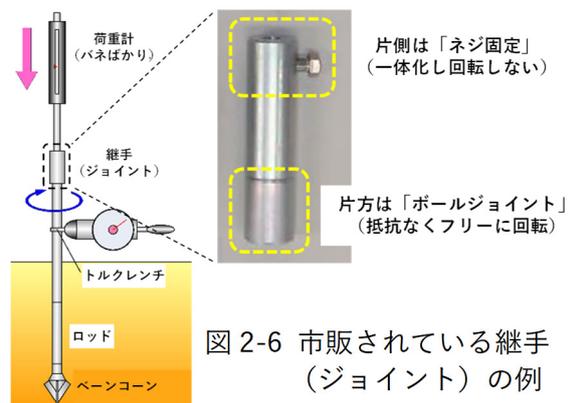


図2-6 市販されている継手（ジョイント）の例

なお、試験を実施する際は、泥汚れやほこり等が付着していないか（ボールが固着していないか）、注意を払う必要がある。

2) 初期トルクの精密計測

ベーンコーンせん断試験では、ロッドと孔壁の摩擦 T_0 を補正する必要がある。しかし、 T_0 は微量であり、標準のトルクレンチ（CDB7N4X8D-S：0.7～7 N・m）では目盛のないところを読み取る必要が生じる。また、載荷荷重ゼロ時のトルク値（初期トルク）は、粘着力 c の値に大きな影響を与えるため、より精度の高い上載荷重ゼロのトルクを計測することが望ましい。

微小なトルクを精度よく計測する方法として、軟弱地盤用のハンドベーン試験で使用されているドライバ型トルク計を用いることで、ロッドと孔壁の摩擦 T_0 や、初期トルクを正確に計測することができる。ただし、正確な上載荷重をかけることが困難なので、上載荷重ゼロの計測に用いることしかできない。なお、ドライバ型トルク計と取付高ナットの接合には、ドライバソケットを用いる。



写真2-8 ドライバ型トルク計

3) 適切な試験回数

崖錐堆積物などの不均一な地盤などでは、土質の不均一性や礫あたり等により、1回のベーンコーンせん断試験では信頼性の高い $c \cdot \phi$ を得ることが困難な場合がある。

法水ほか（2017）^{※6}は、締め固めたベントナイトでベーンコーンせん断試験を複数回（1～5回）実施した平均値について、図2-7のように荷重と回転トルク値のグラフを作成し、回帰式の決定係数 R^2 を求めた。結果、試験回数3回までの平均値では決定係数 R^2 は0.7以下と低いが、試験回数5回の平均値では決定係数 R^2 は0.97と高い値を示した。精度の高い試験を実施するには、4回以上実施して平均することが望ましいと指摘している。

※6 法水 哲ほか（2017）：土層強度検査棒の適応性について、平成29年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集，pp291-292

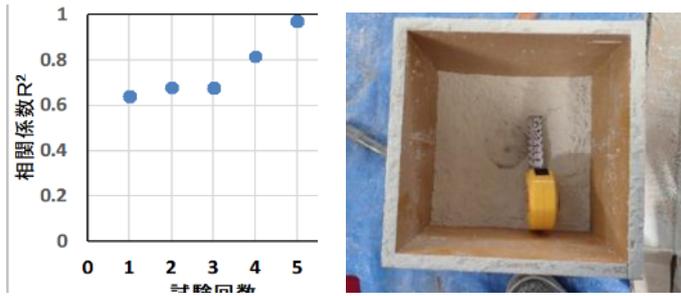
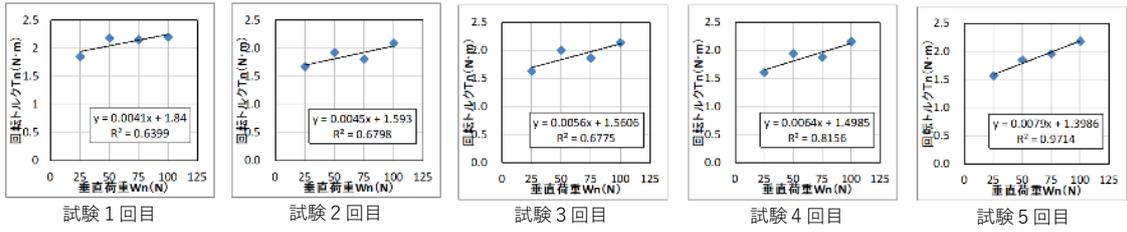


図 2-7

ベントナイトを用いた室内試験状況および試験回数ごとの垂直荷重とトルクの相関係数^{※6}

図 2-8 は、礫混じり土砂を対象に実施したベーンコーンせん断試験の結果を整理したものである（未公表データによる）。1～2回の試験では、その値が特異値かどうか判断することができないが、3回以上の試験により特異値を判別することができることを示唆している。ただし、層厚が薄い層においては、複数の地点で試験を実施しなければいけないことに留意が必要である。

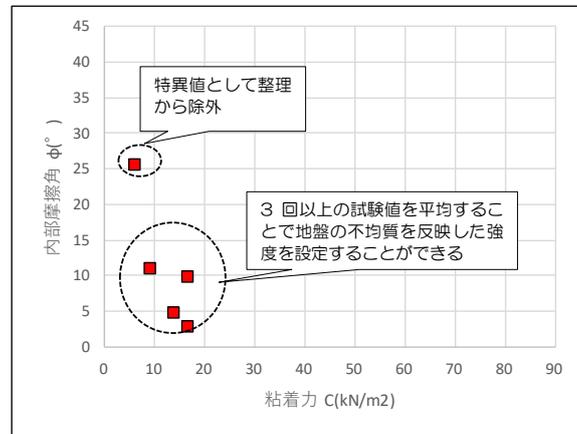
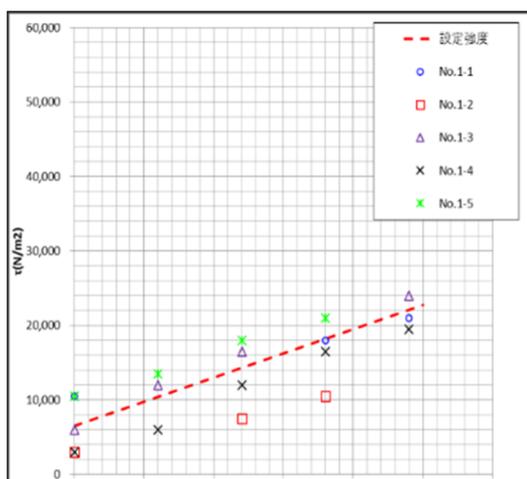


図 2-8 礫混じり土砂を対象に実施したベーンコーンせん断試験結果の整理例

また、同一土層で複数のベーンコーンせん断試験結果を実施した場合、横軸を荷重、縦軸をトルクにしたグラフにプロットし、プロット結果を直線近似して、切片と傾きから $c \cdot \phi$ を求めることもできる（図 2-9）。



設定強度			
粘着力	C	=	6.5 kN/m ²
せん断抵抗角	φ	=	18度

図 2-9 直線近似による $c \cdot \phi$ の推定事例

4) ベーンコーンせん断試験結果の活用例

① 表層崩壊における誘因の検証

表層崩壊が発生したかどうかを検証する際、必ず崩壊の素因と誘因を調査する必要がある。崩壊の素因は、地表踏査、ボーリング調査で詳しく調査することができるが、誘因は、『降水で崩壊斜面の地下水位が上昇した』と抽象的な表現に留まることが多い。地下水の上昇度を具体的に求めるためには、崩壊面付近の土塊の $c \cdot \phi$ を現場で調査することにより解明できる。

表層崩壊した箇所の滑落崖および側崖で、まだ落ち切っていない土塊の $c \cdot \phi$ をベーンコーンせん断試験より求める。計測点は複数地点とし、基本的に平均値を採用する。落ち切っていない土塊の $c \cdot \phi$ から、崩壊面の $c \cdot \phi$ を求めることが可能となる。斜面の崩壊が、安全率 $F_s=1.00$ を下回った時に発生したと仮定すると、安定計算式より、崩壊発生時の地下水位を想定することが可能となる。この際、崩壊する前の地形形状は既存の平面図から復元し、崩壊面の $c \cdot \phi$ はベーンコーンせん断試験で求めた値を用いる。

また、想定した地下水位は、崩壊状況や湧水箇所からあらためて検証する。

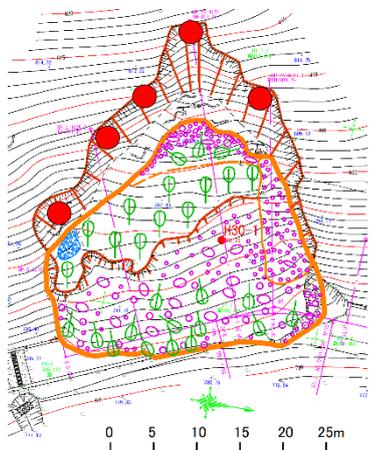


図 2-10 表層崩壊におけるベーンコーンせん断試験の地点配置と試験状況の事例

② 崩壊深の推定方法

記録的豪雨時に土中の過剰間隙水圧によって内部摩擦角起源の抵抗力が失われると仮定すると、無限長斜面の安定計算式から、崩壊深を推定することができる。すなわち、ベーンコーンせん断試験により粘着力を測定すれば、その斜面の崩壊深を簡易的に推定することができる。また、崩壊深よりも基盤地盤が浅い場合には、この仮定のもとでは崩壊可能性が小さいと評価することができる。

記録的豪雨時に崩壊が起きる場合、安定計算式中の法線力由来の摩擦抵抗力が失われると仮定する^{※7}。安全率 $F_s=1.00$ となる深度が崩壊深 $Z(m)$ とすると、無限長斜面の式では、次式の関係が成り立つ。

$$1.00 = ((\gamma Z \cos \theta - U_{st} - U_{ex}) \tan \phi + c / \cos \theta) / \gamma Z \sin \theta = (c / \cos \theta) / \gamma Z \sin \theta$$

$$\text{崩壊深 } Z = c / (\gamma \sin \theta \cdot \cos \theta) = 2c / (\gamma \cdot \sin 2\theta)$$

ここで、 γ ：表層土砂の単位体積重量、 Z ：崩壊深、 U_{st} ：静水圧、
 U_{ex} ：過剰間隙水圧、 ϕ ：表層土砂の内部摩擦角、 c ：表層土砂の粘着力

すなわち、ベーンコーンせん断試験で表層土砂の粘着力 c を計測し、限界貫入深度試験で基盤地盤の深度 Z_{base} を計測すれば、斜面傾斜角 θ に応じて、以下のように崩壊可能性を簡易的に判定することができる。

$Z_{base} < Z$ ならば崩壊可能性は低い

$Z_{base} \cong Z$ ならば崩壊可能性がある

なお、この手法は、記録的豪雨時には内部摩擦角起源の抵抗力が失われ崩壊が発生するという仮定に基づいており、それ以外の要因が存在する可能性もあるものの、斜面崩壊発生の可能性を検討する一つの判断材料として活用できるものと考えられる。

この方法を用いることで崖崩れ、崩壊の統計的な最頻崩壊深度が 0.5～1.5m にある (図 2-11 : a) とされる理由を力学的観点から考察する一助になる。例えば、表層土砂層の粘着力をベーンコーンせん断試験で推定すると、粘着力が $c=10\text{kN/m}^2$ 前後になることが多いが、上記の計算式を用い、単位体積重量 $\gamma=16\text{kN/m}^3$ として崩壊深 Z を試算すると、粘着力 $c=10\text{kN/m}^2$ で、斜面傾斜角が 30 度の場合、崩壊深は $Z \cong 1.5\text{m}$ となる (図 2-12)。単なる偶然である可能性もあるが、統計的な崩壊深に最頻値が存在する理由を議論する一つの資料として利用することができるものと考えられる。

※7 太田英将・美馬健二 (2017)：ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算法，第 56 回日本地すべり学会研究発表講演集，pp109-110

※8 小山内信智・富田陽子・秋山一弥・松下智祥 (2009)：がけ崩れ災害の実態 (平成 21 年 3 月)，国土技術総合研究所資料 第 530 号

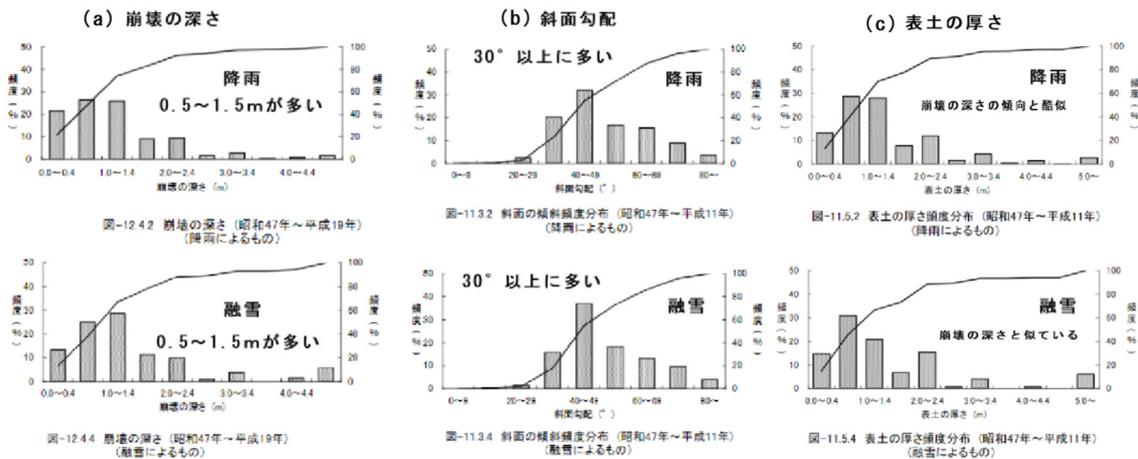


図 2-11 降雨・融雪によるがけ崩れの頻度 (a)崩壊の深さ (b)斜面傾斜 (c)表土の厚さ※8

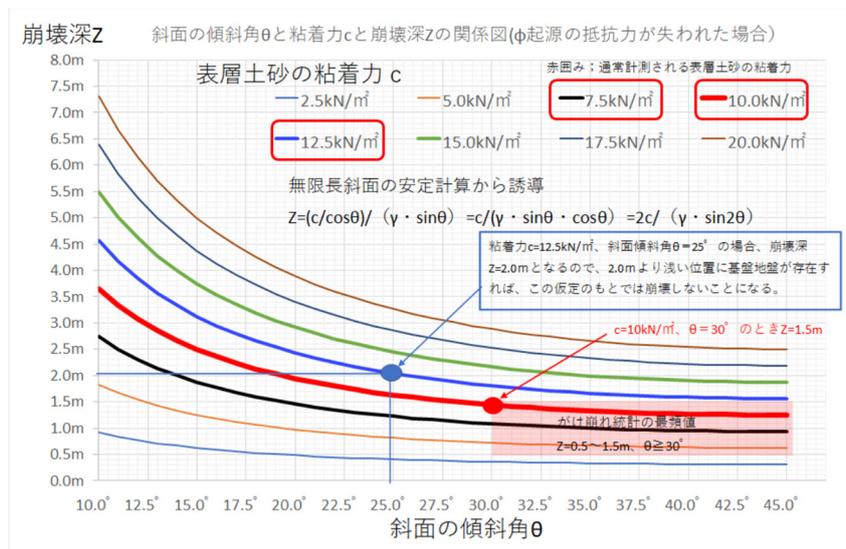


図 2-12 斜面傾斜角 θ ・粘着力 c と崩壊深との関係図 (単位体積重量 $\gamma = 16\text{kN/m}^3$)

この関係を詳細に見ると、粘着力 c が小さいほど崩壊深 Z は浅くなり、粘着力が大きいほど深くなる傾向が読み取れる。崩壊深の変化は緩傾斜地では大きい、斜面傾斜角 30° 以上では大きな違いは無いことも読み取れる。表層土砂で求められることが多い $c=7.5\sim 12.5\text{kN/m}^2$ 、 $\theta \geq 30^\circ$ では、 $Z=1\sim 2\text{m}$ となりがけ崩れ統計値と矛盾しない。

また、このような検討により、がけ崩れ災害が斜面傾斜角 30° 以上で多くなる (図 2-11 : b) 理由や、崩壊の厚さと表土の厚さの傾向がほとんど同じ (図 2-11 : a・c) である理由など、これまで“統計的”や“経験的”という理由で片づけていた問題に、論理的な理由を与えられる可能性も出てくる。

3. 試験結果の整理・活用方法

3.1 試験結果の整理方法

試験結果の整理方法について以下に示す。

3.1.1 限界貫入深度試験

- ① 人力での貫入できる限界深度に達した時の深度を記録する。
- ② 必要に応じて、大まかな土質、土層と基盤の境界付近の性状、水分量等を記録する。

表 3-1 限界貫入深度試験 データシートの例

限界貫入深度試験			
調査件名		試験年月日(天候)	()
測線・測点番号		試験者(所属)	()
地盤の含水状態(測定前数日間の天候などを記述) 降水量:			
最終貫入深さ(GL-m)		地下水位(GL-m)	
測定深 (m)	記事 (土質、地質、硬軟)	測定深 (m)	記事 (土質、地質、硬軟)
0.1		2.6	
0.2		2.7	
0.3		2.8	
0.4		2.9	
0.5		3.0	
0.6		3.1	
0.7		3.2	
0.8		3.3	
0.9		3.4	
1.0		3.5	
1.1		3.6	
1.2		3.7	
1.3		3.8	
1.4		3.9	
1.5		4.0	
1.6		4.1	
1.7		4.2	
1.8		4.3	
1.9		4.4	
2.0		4.5	
2.1		4.6	
2.2		4.7	
2.3		4.8	
2.4		4.9	
2.5		5.0	
特記事項			

3.1.2 貫入強度試験

1) 定位置貫入法

- ・コーンが沈下し始めたときの荷重を記録する。

2) コーンペネトロメータ式貫入法

- ・10cm 貫入毎に荷重計の読みを記録する。

表 3-2 貫入強度試験（コーンペネトロメータ式貫入法）データシートの例

土 質 検 査 貫 入 試 験 (定 位 置 貫 入 法) 貫 入 強 度 試 験 (コ ー ン ペ ネ ト ロ メ ー タ 式 貫 入 法)					
調査件名				試験年月日(天候)	()
試点番号				試験者(所属)	()
)含水状態(測定前数日間の天候などを記述)					
(:					
先端コーンと 450mm ロッドの合計質量 m_0 (kg)			500mm ロッド質量 m_1 (kg)		
コン底面積 A (m ²)		貫入速度 cm/s		最終貫入深さ (m)	
深	荷重計値 W (N)	ロッド数 $n+1$ (本)	貫入強度 q_{sk} (kN/m ²)	記事 (土質、地質、硬軟)	測定深 GL (m)
0.0					貫入強度 q_{sk} (kN/m ²)
0.1					
0.2					
0.3					
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					
0.8					
0.9					
1.0					
1.1					
1.2					
1.3					
1.4					
1.5					
1.6					
1.7					
1.8					
1.9					
2.0					
2.1					
2.2					
2.3					
2.4					
2.5					
2.6					
2.7					
2.8					
2.9					
3.0					

貫入強度 $q_{sk} = (W + (m_0 + n \cdot m_1) \cdot 9.81) / 0.176$ (kN/m²) 見かけ貫入強度 $q_{sk} = W / 0.176$ (kN/m²)

3.1.3 ベーンコーンせん断試験

1) 経験式法

- ① 鉛直荷重を複数変えた場合の回転トルクを記録する。
- ② 経験式により鉛直応力とせん断応力を求め、グラフを作成して、粘着力と内部摩擦角を求める。

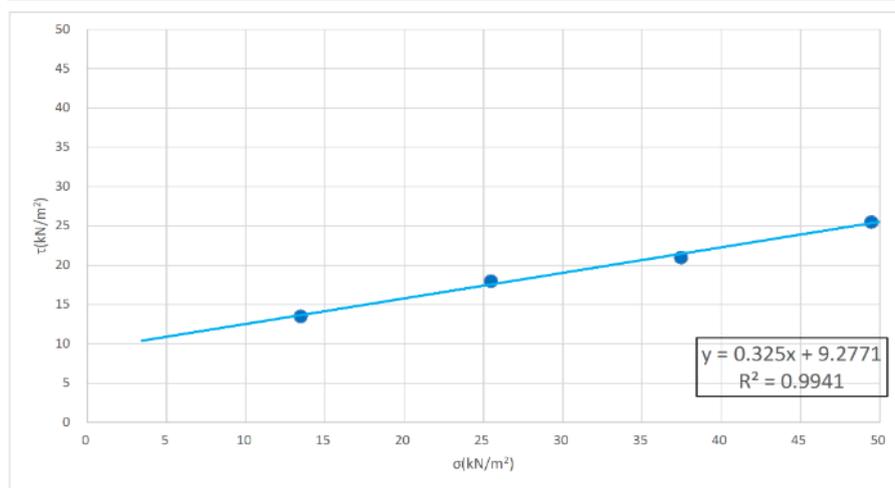
表 3-3 ベーンコーンせん断試験（経験式法）データシートの例

ベーンコーンせん断試験（経験式法）

調査件名		試験年月日(天候)	()
測線・測点番号	上研構内	試験者(所属)	()

土の含水状態（測定前数日間の天候などを記述）
 水量：

先端コーンと 450mm ロッドの合計質量 m_0 (kg)		0.318		500mmロッド質量 m_1 (kg)		0.300			
ベーンコーン羽根高 H (m)		0.26		回転速度 ω /分		60			
				試験深度 (m)					
測定深 (m)	T_0 (N)	n (本)	W_R (N)	T_R (N・m)	W_{vc} (N)	T_{vc} (N・m)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	記 事
0.5	0.4	1	50	1.30	56.06	0.90	13.46	13.50	
0.5	0.4	1	100	1.60	106.06	1.20	25.46	18.00	
0.5	0.4	1	150	1.80	156.06	1.40	37.46	21.00	
0.5	0.4	1	200	2.10	206.06	1.70	49.46	25.50	



Y切片 (kN/m ²)	9.2771	近似曲線の傾き $\tan \phi_{sk}^*$	0.325
$c_{sk}^* =$	9.28 kN/m ² (参考値)	$\phi_{sk}^* =$	18.00° (参考値)

記事項

2) 相関式法

- ① 鉛直荷重を複数変えた場合の回転トルクを記録する。
- ② 初期回転トルクと近似式の傾きから、粘着力と内部摩擦角を求める。

表 3-4 ベーンコーンせん断試験（相関式法）データシートの例
ベーンコーンせん断試験（相関式法）

調査件名		試験年月日(天候)		()			
測線・測点番号		試験者(所属)		()			
注の含水状態（測定前数日間の天候などを記述）							
先端コーンと 450mm ロッドの合計質量 m_0 (kg)			0.304	500mmロッド質量 m_1 (kg)	0.310		
コーンコーン羽根高 H (m)			0.22	回転速度 ^o /分	60		
			試験深度 (m)				
定深 (m)	T_0 (N·m)	n (本)	W_R (N)	T_R (N·m)	W_{vc} (N)	T_{vc} (N·m)	記事
1.2	0.3	1	25	1.20	31.02	0.90	
1.2	0.3	1	50	1.55	56.02	1.25	
1.2	0.3	1	75	1.80	81.02	1.50	
1.2	0.3	1	100	2.40	106.02	2.10	

Y切片=

近似曲線の傾き=

c_{ak} =

(別途相関式による)

ϕ_{ak} =

(別途相関式による)

事項

3.2 【解説】試験結果の整理・活用方法

3.2.1 他試験との比較

1) 限界貫入深度試験と簡易動的コーン貫入試験との比較

崩壊にかかわる土層深の推定を目的に、集中豪雨により崩壊が発生した花崗岩分布域（山口県・和歌山県）を対象に、限界貫入深度と同深度の簡易動的コーン貫入試験の Nc 値を対比した事例（非公表データによる）を図 3-1 に示す。

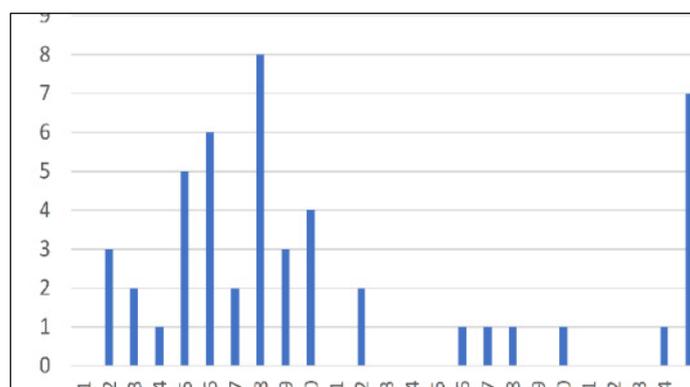


図 3-1 限界貫入深度における Nc 値の頻度分布

限界貫入深度における Nc 値は、Nc 値 5～10 と 25 以上が大半を占めている。ただし、深度 1.2m 以深になると土層強度検査棒の貫入時のフリクション（地盤との摩擦）が増加し、実際よりも Nc 値が小さい値で貫入不能となっている事例が含まれている可能性がある。

そこで、Nc 値の変化点（≡崩壊の恐れのある風化残積土^{※9}と風化岩の境界：図 3-2）と限界貫入深度とを対比した結果、両者には相関が見られ、その値差は 84%が 50cm 以下であり、51%が 30cm 以下であった（図 3-3）。斜面の不均一性を考慮すると、この事例における“風化残積土の推定”においては、限界貫入深度試験は、簡易動的コーン貫入試験と同程度の使用が可能であると判断する。

山本ほか（2019）^{※10}は、シルト質砂を主体とする河川氾濫堆積物が分布する平地部にて、限界貫入試験と簡易動的コーン貫入試験を実施（試験地点は 64 地点、Nd 値データ数 n=1687）して、限界貫入深度と Nd 値を対比するとともに、複数班で実施した貫入時の“硬い／柔らかい”の感覚（手応えによる硬軟の判定）と Nd 値の対比を試みている（図 3-4）。

※9 西田一彦（1986）：風化残積土の構造と物性，風化残積土の工学的性質，鹿島出版会，p16-37

※10 山本定雄ほか（2019）：土層強度検査棒による地盤硬さ判定と簡易動的コーン貫入試験結果との比較，第 54 回地盤工学研究発表会講演集，pp.125-126、2019

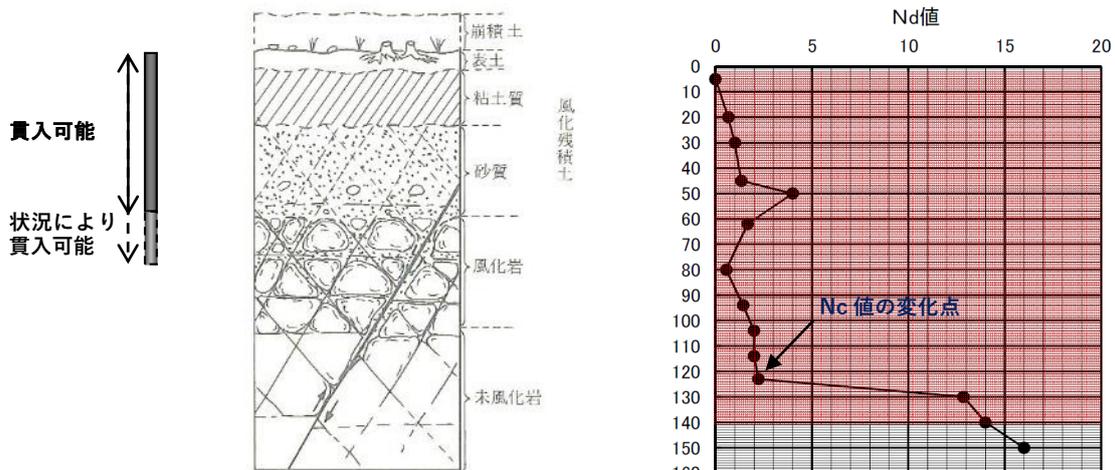


図 3-2 深成岩の代表的な風化層断面^{※9} (中)、土検棒貫入可能性 (左) および Nc 値の変化点の例 (花崗岩マサ) (右)

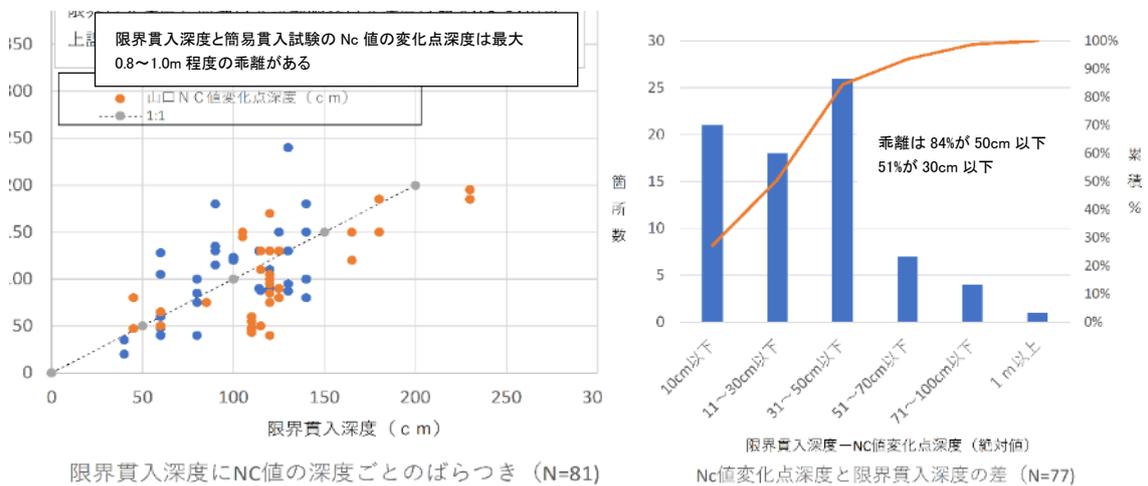


図 3-3 限界貫入深度と Nc 値の変化点深度の比較 (左: N=81) および 限界貫入深度と Nc 値の変化点深度のとの差分 (右: N=77)

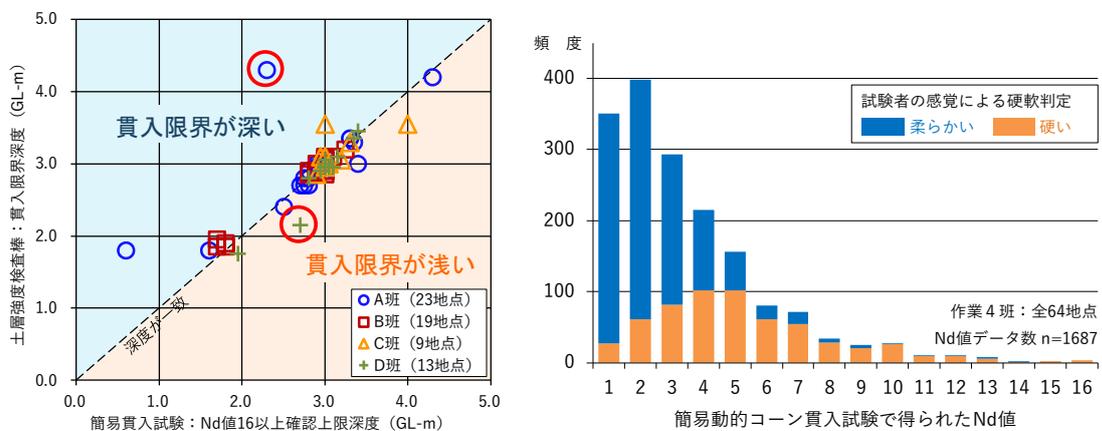


図 3-4 Nd 値 16 以上確認上限深度と貫入限界深度との関係 (左) および 感覚による定性的な地層の硬さ判定と Nd 値との関係 (右) ^{※10}

図 3-4 より、限界貫入深度と Nd 値 16 以上の上限深度を対比した結果、局所的に Nd 値が高い部分が存在する場合に深度の乖離が見られたものの、試験地点の 78% が ±10cm の範囲内にあり、概ね一致するとの結果が得られている。

また、貫入時の“硬い／軟らかい”の感覚（手応え）と Nd 値を対比・集計した結果、作業班（試験者）によらず、Nd 値 4 を境に硬軟の相違が認められた。“手応え”という定性的な評価ではあるが、ある程度は定量的な区分と対応していることが示唆される。

2) 貫入強度試験と他のサウンディング試験との比較

土層強度検査棒を用いた斜面調査マニュアル（案）^{※2}に記載された、貫入強度試験結果と他のサウンディング試験との比較結果について述べる。

① 換算 N 値（スクリュウウエイト貫入試験結果）との比較

図 3-5 は、ロームやシラスの地域でのスクリュウウエイト貫入試験（スウェーデン式サウンディング試験）による換算 N 値と貫入強度試験で求めた貫入抵抗値 N_{dk} 値（荷重計の読み値 W (N) に同じ）の関係である。

ばらつきはあるが、換算 N 値と荷重計の読み値 W には相関があることがわかる。両者の関係は (1) 式で表される。

$$\text{➤ } N=W/33.17 \quad (1)$$

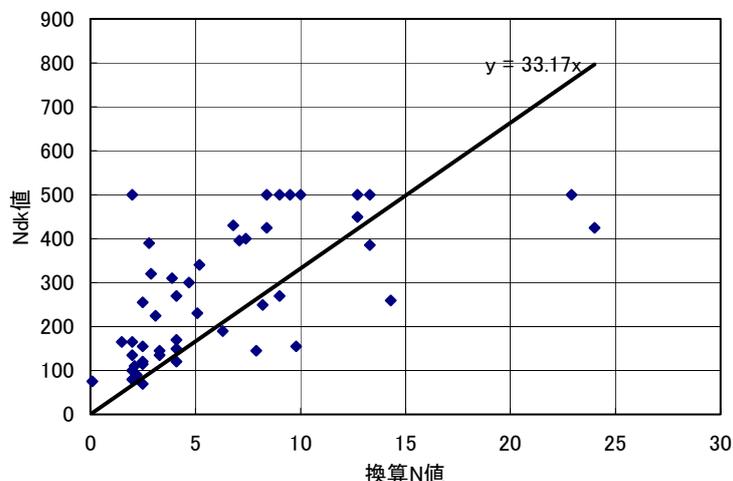


図 3-5 スクリューウエイト貫入試験による換算 N 値と貫入抵抗値 N_{dk} 値の関係^{※2}

(1) 式と、後述する (3)～(5) 式の比較によると、換算 N 値と N_c 値の関係は $N=0.875 \sim 1.613N_c$ 程度と推定される。しかし他のさまざまな研究で知られている関係では $N=0.33 \sim 1N_c$ 程度といわれているので（地盤工学会：地盤調査の方法と解説）、(1) 式はおおむね 2 倍程度高めめの係数となっている可能性がある。

※2 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

したがって(1)式を用いてN値をそのまま予測すると危険側となる可能性があることや、データ数が乏しいことから、安全側としておおむね2倍程度の係数をかけた、以下の式を暫定的な予測式として示す。

➤ $N=W/60$ (2) (暫定予測式)

② Nc 値 (Nd 値) (簡易動的コーン貫入試験) との比較

図3-6は、図3-5と同じ地域での簡易動的コーン貫入試験によるNc値(地盤工学会:簡易動的コーン貫入試験のNd値)と貫入強度試験 N_{dk} 値の関係である。この調査地は地下壕のある地域で地質構造が複雑な上に両試験の試験位置が数m離れていたこともあり、非常にばらつきの大きいものとなっている。この結果による両者の関係は(3)式で表される。

➤ $Nc=W/29.021$ (3)

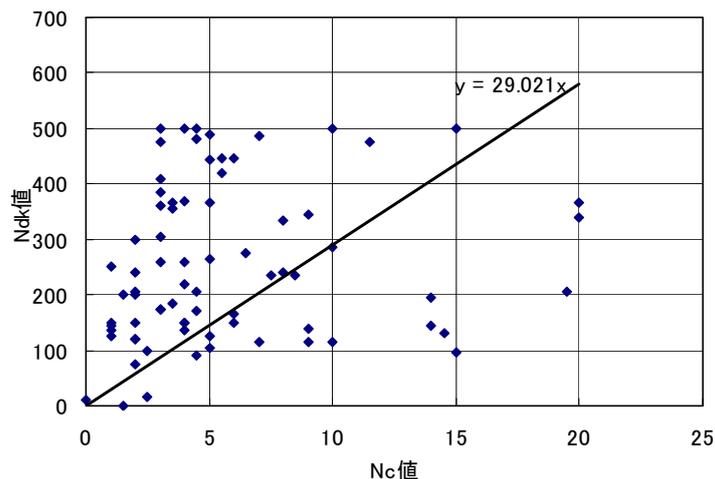


図3-6 簡易動的コーン貫入試験(Nc値)と貫入抵抗値 N_{dk} 値の関係^{*2}

また、図3-7と図3-8は、花崗岩(マサ)からなる地質におけるNc値と N_{dk} 値の関係である。図3-7は全データを、図3-8はNc値15以下のデータのみ相関を求めており、両者の関係は、図3-7によると(4)式、図3-8によると(5)式の通りである。

➤ $Nc=W/36.601$ (4)

➤ $Nc=W/53.519$ (5)

以上のように、相関式の係数は地質やデータの取り方によって29.021から53.519までばらつくが、図3-7が最もばらつきの少ないデータとなっている。また、相関式が比較的“安全側”の係数となっている(低いNc値となる)ことから、ここでは暫定予測式として、係数を丸めた(6)式を示す。

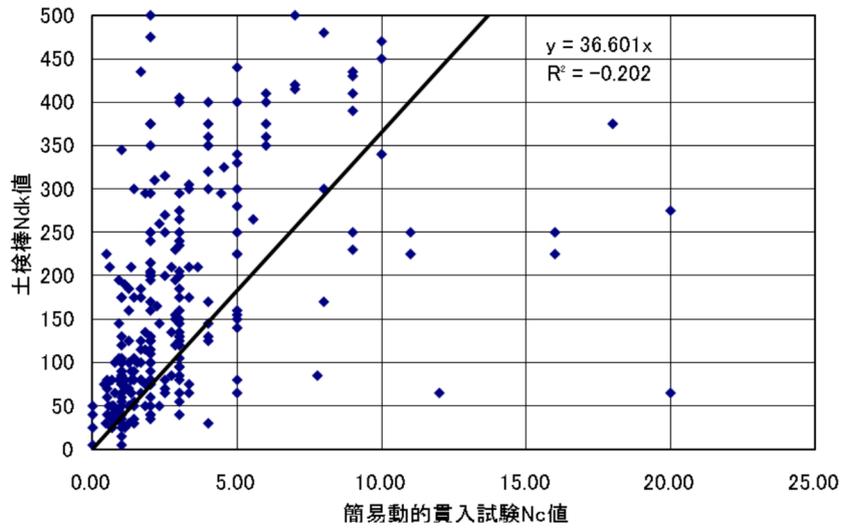


図 3-7 花崗岩地域における Nc 値と N_{dk} の関係 (全データ) ※2

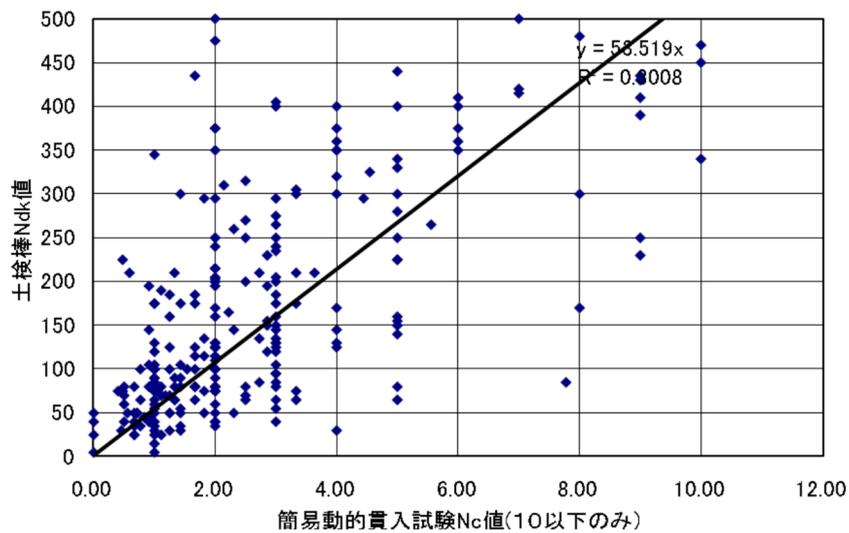


図 3-8 花崗岩地域における Nc 値と N_{dk} の関係 (Nc 値 15 以下) ※2

➤ $N_c = W/50$ (6) (暫定予測式)

なお、予測式の妥当性については、試験方法の妥当性や試験数の問題もあり、今後データの追加によって修正されるべきものである。ここで示した予測式はあくまで参考であり、貫入強度試験による強度から他の貫入試験による強度を推定したい場合は、その現場ごとにいくつか対比試験を行うことが望ましい。

3.2.2 試験結果整理にあたっての留意点

1) 限界貫入深度試験による崩壊深度の推定

斜面の安定度（表層崩壊の危険性）を判断するためには、対象斜面で推定される崩壊深度（土層深）を把握することが重要であり、面的な土層分布を把握することが不可欠である。

一方、限界貫入深度と崩壊深度（土層深）の間で、最大 30～60cm 程度の乖離を有する場合がある。集中豪雨で多数の崩壊が発生した花崗岩分布域（山口県・和歌山県）での限界貫入深度と崩壊深度を比較した事例（非公表データによる）を図 3-9 に示す。

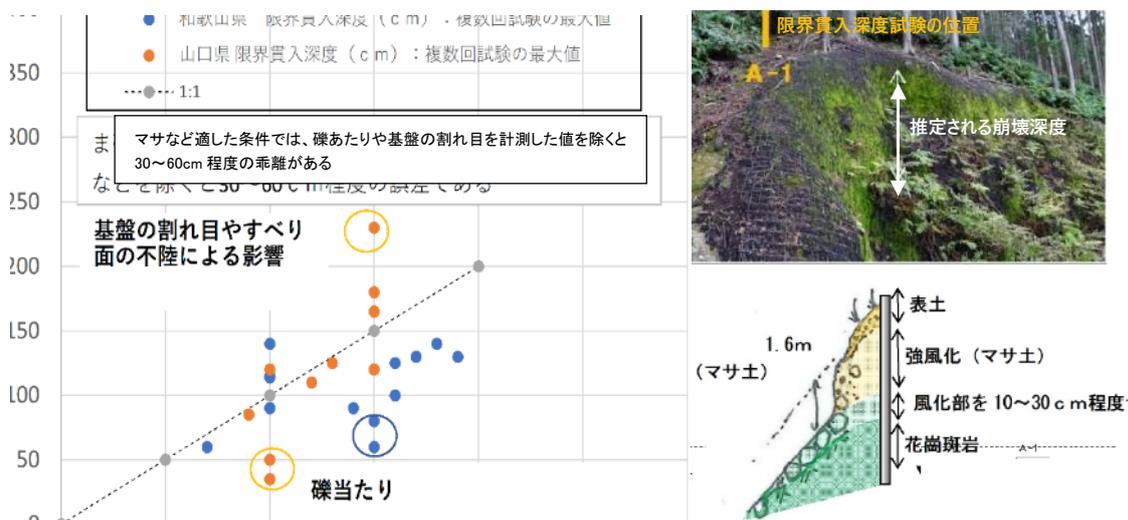


図 3-9 限界貫入深度と実際の崩壊深度の比較結果（N=41）と計測した崩壊斜面の例

崩壊深度と限界貫入深度には相関性がみられる。ただし、礫あたりによって崩壊深度より浅くなる場合や、風化岩の割れ目等により土層深よりも深くなる場合も含まれている。

貫入深度と崩壊深度の乖離は、30cm 未満が全体の 37%であり、56%が 50cm 以下である。ただし乖離が 1 mを超えるものも 10%含まれる（図 3-10：非公表データによる）。

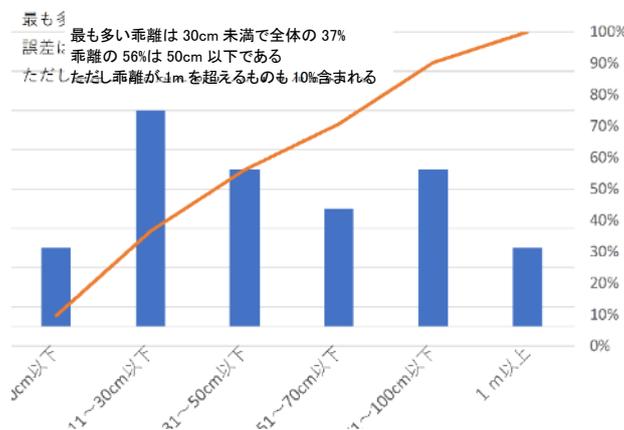


図 3-10 限界貫入深度と実際の崩壊深度との差の分布（N=41）

斜面の土層分布は不均一で、場所により土層深が変化することを考慮すると、斜面の面的な危険性を相対的に抽出する上では十分な精度と考える。ただし、計測される限界貫入深度にはばらつきがあることを考慮し、例えば斜面の危険性判断を行う場合は、計測された土層深の中で、明らかな異常値を除いた最も深い計測値を採用するといった総合的な判断が必要である。

2) ベーンコーンせん断試験によるせん断強度 $c \cdot \phi$ の推定

① 相関式による推定

佐々木 (2010) ※² は、垂直荷重の異なる 4 点以上の測定点をもとに、横軸にベーンコーンにかかる垂直荷重 (W_{vc})、縦軸にベーンコーンにかかるトルク (T_{vc}) をとったグラフを作成し、その回帰式 (近似式) から求められる Y 切片 (初期回転トルク: 粘着力 c に比例) と回帰式の傾き (内部摩擦角 ϕ に比例) を算出 (図 2-14、図 3-15) し、室内試験 (一面せん断試験、三軸圧縮試験等) から求めた $c \cdot \phi$ との相関式を求めることで、粘着力 c_{dk} と内部摩擦角 ϕ_{dk} を推定する方法を示している。

W_{vc} : ベーンコーンにかかる垂直荷重 ($W_n + (m_0 + nm_1) \cdot g$)

T_{vc} : ベーンコーンにかかるトルク ($T_n - T_0$)

ここに、

W_n : 荷重計の読み値 (N)

m_0 : 円錐状先端コーンと最初のロッド (450mm のもの) の合計質量 (kg)

n : 全ロッド数から最初のロッド (450mm のもの) を差し引いた本数

m_1 : 500mm のロッド 1 本の質量 (kg)

g : 標準重力加速度 9.81 (m/s²)

T_0 : 円錐状先端コーンで $W_n=0$ (荷重なし) の場合の最大回転トルク (N・m)

T_n : ベーンコーンで W_n の荷重の場合の最大回転トルク (N・m)

図 3-11 と図 3-12 は、佐々木 (2010) ※² にて示された福島県いわき市の道路斜面での試験例で、斜面内のトレンチで確認した 4 種類の土層に対するベーンコーンせん断試験ならびに室内試験 (三軸圧縮試験 (CU 法: 飽和) および一面せん断 (圧密定体積法: 現位置含水状態)) の結果を対比したものである。ベーンコーンせん断試験は現位置不飽和状態に対し、室内三軸圧縮試験は飽和状態で行われており、試験条件は異なるが、三軸圧縮試験の結果は比較的良い相関を有している。

※2 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

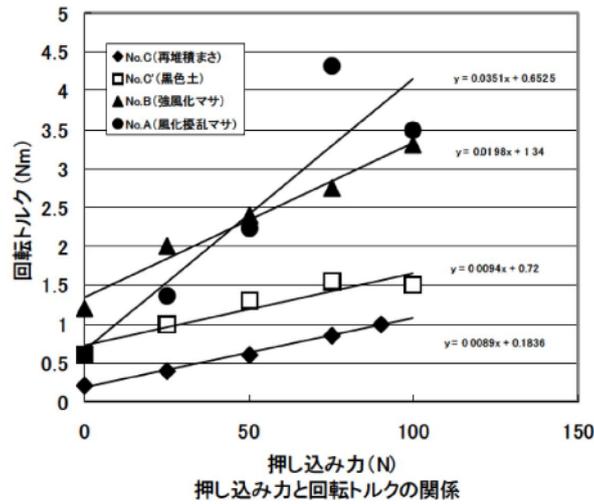


図 3-11 ベーンコーンせん断試験における Wvc-Tvc 相関図^{※2}

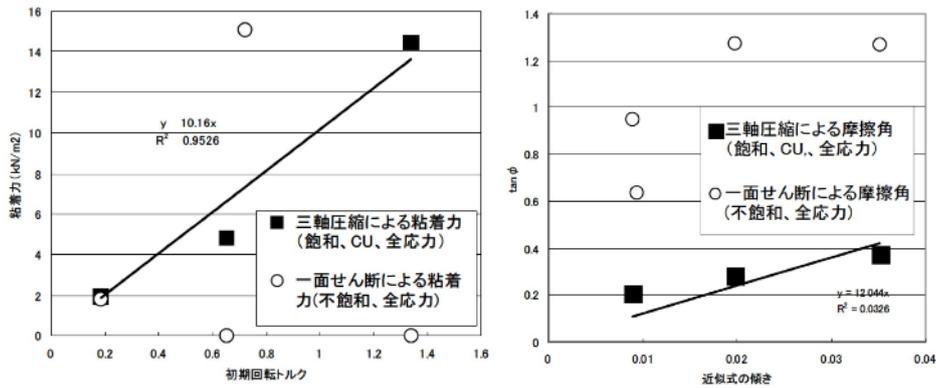


図 3-12 ベーンコーンせん断試験による近似式の初期回転トルク・傾き（図 3-11）と室内試験で得られた粘着力・内部摩擦角の相関^{※2}

それに対し、室内一面せん断試験はばらつきがある結果となっている。試料の多くは礫まじりのマサで、せん断面の位置がほぼ固定される室内一面せん断試験の結果はかなりバラついており、結果的にベーンコーン試験との相関性は三軸圧縮試験の結果よりも低かったとされる。

三軸圧縮試験の結果は飽和状態であり、斜面の安全率の計算や設計などでは飽和時の強度が必要なことが多いことから、三軸圧縮試験の結果をもとに原点を通る近似直線が図 3-12 に示されている。近似式は以下の通りである。

$$c = 10.16 \cdot Y_0 \quad (\text{参考式})$$

$$\tan \phi = 12.04 \cdot X \quad (\text{参考式})$$

ここに、

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

Y_0 : 近似式の Y 切片

X : 近似式の傾き

同式はあくまで試験を実施したテストフィールドの参考式である。特に三軸圧縮試験による予測式と一面せん断試験による予測式が大きく異なり、内部摩擦角は三軸圧縮試験によるとかなり低い値となってしまう。したがって、基本的には現場毎にこのような“相関式”を作成して活用することが望ましい。

② 理論式の比較

a) 理論的な推定式によるもの

佐々木 (2010) ※²は、ベーンコーンせん断試験による理論的なせん断応力 τ_{dk} と垂直応力 σ_{dk} として、次式を示している。

$$\tau_{dk} = 3(T_n - T_0) \cdot \cos^3 \theta / 2\pi H^3 \sin^2 \theta \quad (1)$$

$$\sigma_{dk} = \{W_n + (m_0 + nm_1) \cdot g\} \cdot \cos^2 \theta / (\pi H^2) \quad (2)$$

ここに、

τ_{dk} : 測定時のせん断応力 (N/m²)

T_0 : 円錐状先端コーンで $W_n=0$ (荷重なし)の場合の最大回転トルク (N・m)

T_n : ベーンコーンで W_n の荷重の場合の最大回転トルク (N・m)

H : ベーンコーンの先端から最大幅の部分までの高さ (m)

θ : コーン先端角の 1/2

σ_{dk} : 測定時の垂直応力 (N/m²)

W_n : 荷重計の読み値 (N)

m_0 : 円錐状先端コーンと最初のロッド(450mmのもの)の合計質量 (kg)

n : 全ロッド数から最初のロッド(450mmのもの)を差し引いた本数

m_1 : 500mmのロッド1本の質量 (kg)

g : 標準重力加速度 9.81 (m/s²)

※2 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

また、式(1)、(2)に一般的に使用されている土層強度検査棒の寸法を代入すると、次式が得られる。

$$\sigma_{dk} = 3.6 \times 10^2 W_{vc} \quad (\text{N/m}^2) \quad (3)$$

$$\tau_{dk} = 7.2 \times 10^4 T_{vc} \quad (\text{N/m}^2) \quad (4)$$

ここに、

W_{vc} : ベーンコーンにかかる垂直荷重 ($W_n + (m_0 + nm_1) \cdot g$)

T_{vc} : ベーンコーンにかかるトルク ($T_n - T_0$)

ただし、佐々木 (2010) ※²も指摘するように、この理論式には次のような問題があり、見かけ上、土のせん断強度を強く (危険側に) 算定してしまう可能性があることから、理論式の値をそのまま用いることはできないとされている。

- ・ ベーンの下半部のみがせん断を行うと仮定しているが、実際にはベーンの上半部でもせん断が行われる。ベーン上半部のせん断には、押し込みによる垂直荷重はかからないが、土圧が存在するため一定の垂直応力は作用していること、上半部のせん断面は回転軸となるロッドからの距離が長いことから、その影響は無視できない。
- ・ ベーンの厚さに起因する側部と土との摩擦や、コーン先端方向のせん断成分も合成されてトルク値として記録されることから、ベーンコーン周辺には理論解によるせん断応力よりも大きなせん断応力が発生している可能性がある。

b) 経験的な推定式によるもの

ベーンコーンせん断試験によるせん断強度の推定に関し、理論式と室内強度試験値と比較・分析し、より実用的な推定式を作成する試みがなされている。

佐々木(2010)※²は、福島県いわき市の道路斜面に分布する3種類のマサ土を対象に、ベーンコーン試験の理論式より得られた理論強度値と、不攪乱試料の一面せん断試験結果を比較した結果から、室内試験による強度は理論値に対し、粘着力 c で約2割、内部摩擦角 $\tan \phi$ で約3割に過ぎないと指摘し、以下の経験式を提案している。

$$\sigma_{dk} \cong 2.4 \times 10^2 W_{vc} \quad (\text{N/m}^2) \quad (5)$$

$$\tau_{dk} \cong 1.5 \times 10^4 T_{vc} \quad (\text{N/m}^2) \quad (6)$$

式(5)、(6)は、ベーンコーンせん断試験からの換算式として広く利用されているが、同式は試験を実施した地区における“相関式”と同義であることに留意すべきである。

矢島ほか (2019) ※11 は、斜面や堤防等の 23 箇所において、ベーンコーンせん断試験と三軸圧縮試験(CU)結果を比較し、初期回転トルクと粘着力、回帰直線の傾きと内部摩擦角の関係について整理した (図 3-13)。

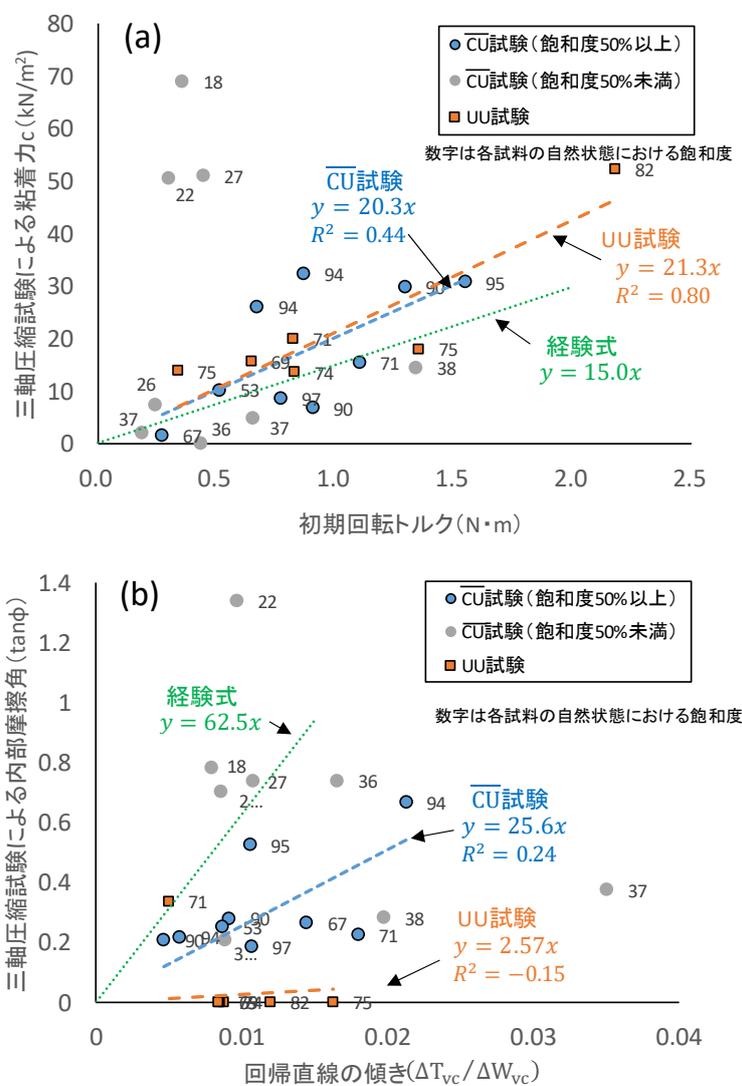


図 3-13 三軸圧縮試験とベーンコーン試験の比較※11

(a: 初期回転トルク-粘着力、b: 回帰直線の傾き-内部摩擦角)

図 3-13 より、自然状態における飽和度が低く、飽和時 (=CU試験時) の性状と大きく異なる試料については、結果のばらつきが大きいものの、飽和度 50%以上の試料のみを対比すると、初期回転トルクと粘着力、回帰直線の傾きと内部摩擦角に良好な相関が見られたと報告し、次の回帰式を提案している。

※11 矢島良紀・山本定雄・金井哲男・法水哲・浅井健一 (2019): 土層強度検査棒による地盤のせん断強度評価に関する考察, 日本応用地質学会令和元年度研究発表会講演論文集, pp.239-240

$$c = 20.3 \times T_{vc0} \quad (7)$$

$$\tan \phi = 25.6 \times (\Delta T_{vc} / \Delta W_{vc}) \quad (8)$$

ここに、

c : 粘着力 (N/m²)

T_{vc0} : 初期回転トルク (N・m)

$\tan \phi$: 内部摩擦角 ($\tan \phi$)

$\Delta T_{vc} / \Delta W_{vc}$: 回帰直線の傾き

佐々木 (2010) ※²の経験式(5)・(6)と比較すると、粘着力 c の推定では上記に示す回帰式が3割程度大きく、内部摩擦角 $\tan \phi$ の推定では経験式が2倍以上大きい。

複数の垂直応力 (10、30、50、100 kN/m²) における三軸圧縮試験強度 \overline{CU} と、経験式ならびに回帰式で推定したせん断強度との比較結果を図 3-14 に示す。低い垂直応力下では大きな差異はないが、50kN/m² (3m 程度の土被り相当) を超えるような応力下では、経験式の方が相対的に高い強度を示す傾向がみられている。

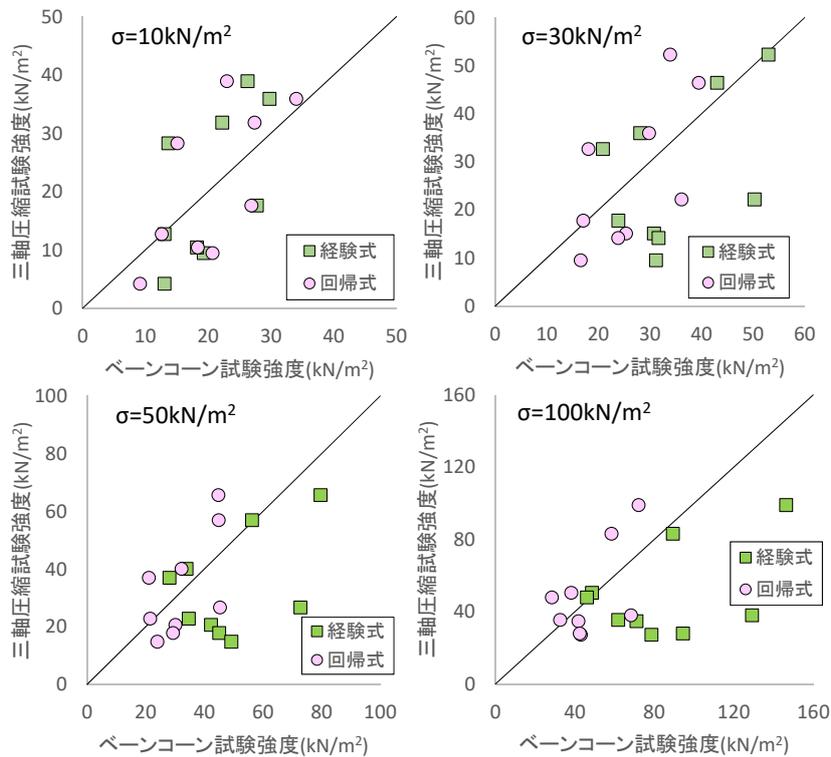


図 3-14 垂直応力ごとの経験式と回帰式の比較

② 試験結果に関する留意点

矢島ほか(2019)^{※11}は、飽和度以外にベーンコーンせん断試験結果と三軸圧縮試験結果の間に乖離が生じたり、試験結果がばらついたりする要因について、粒径、湿潤・乾燥密度、間隙比についても分析したが、いずれも単変量としての関係性は低く、要因の特定には至らなかったと報告している。

一方で、地盤の不均一性は調査において避けられない課題である。三軸圧縮試験でも供試体間に強度のばらつきが生じることはよくあり、地盤調査による試験値は、そもそも幅をもった値として評価すべきである。もっとも、土層強度検査棒が地盤の不均一性を調査するために開発された試験器であることを考えれば、不均一さに起因するばらつきは、多点調査により補うべきである。

むしろ注意すべき要因として、ベーンコーン試験時の不適切な取り扱いによるものがある。垂直载荷時の傾きや、ロッドの曲がりや緩み、トルクレンチの過剰な回転速度等は回転トルクが過大な値を示し、危険側の評価となることがあるので、使用にあたっては慎重な取り扱いが必要である。