ISSN　０３８６　５８７８
土木研究所資料　第４１７６号

土 木 研 究 所 資 料

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

独立行政法人　土木研究所

材料地盤研究グループ　地質チーム

Copyright © (2010) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土 木 研 究 所 資 料
第 4176 号　　2010 年 7 月

土層強度検査棒による
斜面の土層調査マニュアル（案）

材料地盤研究グループ　地質チーム　上席研究員　　佐々木 靖人

要旨

本報告は、土木研究所地質チームが開発した土層強度検査棒（土検棒）による斜面の土層調査マニュアル(案)である。土検棒とは、先端コーンつきの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験（土検棒貫入試験）とともに、羽根つきコーン（ベーンコーン）に交換して、所定の深度でロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置で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）を行う機器である（特許第３６１３５９１号　土のせん断強度測定方法及び装置)。本報告では、本試験の試験方法、試験結果のとりまとめ方法をマニュアル化した。

キーワード：土層強度検査棒、土検棒、貫入試験、せん断試験、ベーンコーン、土壌、表層崩壊、斜面

はじめに

本報告は、独立行政法人土木研究所地質チームが開発した土層強度検査棒(通称：土検棒)（特許第３６１３５９１号　土のせん断強度測定方法及び装置）による土層の調査マニュアル（案）である。

土検棒とは、先端コーンつきの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより土層強度や土層深を簡易に測定する試験（土検棒貫入試験）とともに、先端コーンを羽根つきコーン（ベーンコーン）に交換して所定の深度でロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより、原位置における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）に用いる機器である。

本試験の開発目的は斜面の安定性調査の高度化であり、本マニュアル（案）もこの観点でまとめている。

日本に発生する斜面災害の半数以上は小規模な表層崩壊に起因している。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。斜面上の土層分布は複雑であり、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る。このような土層深の不均一性は以前から知られていた。しかし土層深を面的かつ迅速に調査する手法がないため、従来は微地形などから危険な箇所を絞り込んだ上で、代表地点で簡易動的コーン貫入試験（いわゆる斜面調査用簡易貫入試験、土研式簡易貫入試験）を実施して対策工を検討する手法を採用している。しかしこの試験は簡易という割には機材が意外に重く１セットで16kg程度あるため、山地斜面への運搬には労力を要する。また現場での試験は５kg の錘を繰り返し落下させる必要があるため、錘に指を挟みやすいなどの実務上の課題がある。しかも１箇所の測定に２人で数 10 分以上を要する。このようなことから、簡易動的コーン貫入試験は、危険斜面をある程度絞り込んだ後に実施されている。また、上記試験法を改良した試験方法、たとえばSH 型簡易貫入試験なども開発されており、錘を 2kg と 3kg に分割し精密な測定を可能とするとともに自動記録可能な方式にするなどの工夫がなされているが、一試験に必要な時間が劇的に短縮化される訳ではない。

前述のように土層深分布は複雑であるため、本来は、危険斜面の絞込みの段階で、土層分布をある程度面的に把握することが望ましい。複雑な土層分布を把握するには、１箇所を正確に測定できる機器とともに、大まかでかまわないので迅速に測定できる機器も必要である。本試験器と従来の貫入試験器は貫入できる硬さや貫入方法などが異なるので、両試験を補完的に用いることが望ましい。

今回開発した土検棒は、土層深の測定（土検棒貫入試験）に関しては２～３分程度で行える。土研式簡易貫入試験の約１０倍の速度である。このため、調査対象領域の面的な土層深分布を描くことができ、危険箇所の絞込みが可能となる。また、ベーンコーンせん断試験も、試料採取して室内一面せん断試験や三軸圧縮試験を行うのに比べて格段に迅速な測定ができる。

本試験法は、環境調査の一環として、土壌調査法としても用いることができる。例えば樹木や草本の根系の伸張可能な深度を把握するのに、山中式土壌硬度計などが使用されているが、本試験を用いると深度方向の土壌硬度を推定することができる。

土検棒の開発イメージは、地質技術者がハンマーを持ち歩くように、１人で容易に持ち歩いて簡易に土

層調査できるツール、というものである。土検棒の重量は深度５m分までのセットでも４.5kg 程度であり、一人で容易に運搬・調査できる。試験法も非常に簡便である。しかしその一方で、斜面の土層分布は複雑であるため、試験結果の解釈には総合的な応用地質学的判断が必要とされる。ハンマーは簡単な道具であるが、地質屋がハンマーをどこで使って、どう石を観察するかは難しいのと同じである。

そこで本マニュアル（案）では、本試験が現場において適切かつ効果的に活用されるように、試験方法だけでなく、測線・測点の配置方法や試験結果の解釈方法も含めて整理した。本マニュアル（案）が様々な現場での土層調査の効率化や調査の確実性の向上に資することができれば幸いである。

本試験の事例は未だ限られていることから、本マニュアル（案）が適用できないような現場もあると推定される。このような場合は、土木研究所地質チームに相談いただければ幸いである。

なお、本試験法は特許を有しており、機器の製作・販売にあたっては手続き（許可）が必要である。手続きは独立行政法人土木研究所技術推進本部において行っている。

目次

はじめに ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ i

１．土検棒ならびに土検棒による試験の定義‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 1

２．土検棒による試験の目的‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 3

３．対象地盤‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 4

3.1 対象地盤‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 4

3.2 対象深度‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 5

４．試験装置の構成‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 6

５．土検棒貫入試験の方法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 9

5.1 事前の留意事項‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 9

5.2 試験前の準備‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 10

5.3 測線および測点の配置方法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 11

5.4 試験手順‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 13

5.5 試験後の確認･調査‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 15

６．土検棒貫入試験の結果の整理 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 16

6.1 貫入強度の整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 16

6.2 土層深の整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 21

6.3 その他の整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 23

７．土検棒貫入試験の結果のとりまとめ ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 24

８．ベーンコーンせん断試験の方法 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 26

8.1 事前の留意事項‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 26

8.2 試験前の準備‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 27

8.3 測線、測点、測定深度の配置方法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 28

8.4 試験手順‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 29

９．ベーンコーンせん断試験の結果の整理 ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 31

9.1 粘着力および内部摩擦角の整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 31

9.2 その他の整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 37

10. ベーンコーンせん断試験の結果のとりまとめ ‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 38

参考文献‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 39

おわりに‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥ 40

１．土検棒ならびに土検棒による試験の定義

１．土検棒ならびに土検棒による試験の定義

土層強度検査棒（土検棒）とは、以下の試験を実施するための装置である（特許第３６１３５９１号　土のせん断強度測定方法及び装置）。

①　土検棒貫入試験

先端コーンつきの細いロッドを人力で静的に押し込むことにより大まかな土質、土層強度、土層深を簡易に測定する試験

②　ベーンコーンせん断試験

土層内の所定の深度に羽根つきコーン（ベーンコーン）を設置し、ロッドの押し込み力と土層のせん断に必要なロッドおよびベーンコーンの回転トルクを複数の荷重条件で測定することにより原位置での粘着力と内部摩擦角を測定する試験。

【解説】

土検棒による試験（土検棒貫入試験、ベーンコーンせん断試験）と類似の手法には、各種のコーン貫入試験（簡易動的コーン貫入試験、ポータブルコーン貫入試験など）、ならびにベーンせん断試験などがある。

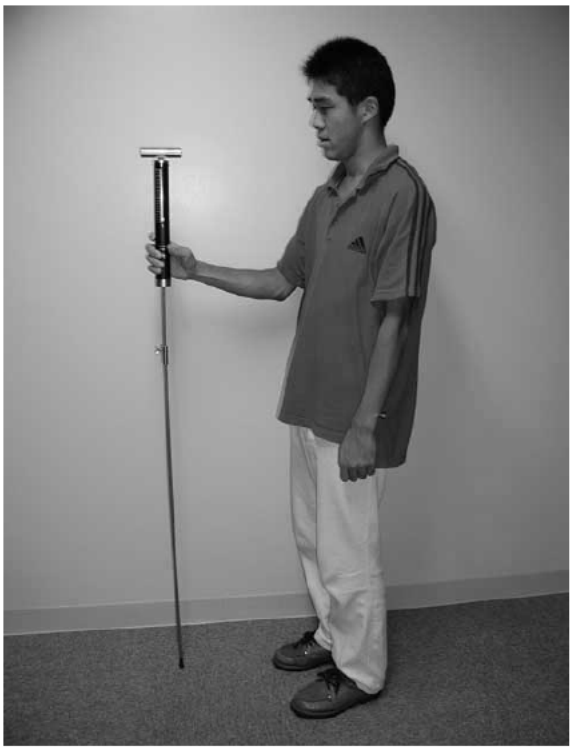


写真１　１　土検棒の外観

土検棒貫入試験は、他の簡易貫入試験に比べても、コーンの直径がさらに小さく、全体に軽量となっていることが特徴である。例えばポータブルコーン貫入試験は先端角 30°・コーン直径 28.6mm・ロッド直径 16mm（JGS T 716 ではコーン直径 20.3mm のものもある）、動的コーン貫入試験は、先端角 60°・コーン直径 25mm・ロッド直径 16mm である。それに対し本試験は、先端角 60°・コーン直径 15mm・ロッド直径 10mm である。このため、機器の重量の大半を占めるロッドの重量がこれらの貫入試験器に比べ約 40%と軽量であるほか、先端コーンの断面積がポータブルコーン貫入試験の 27%、動的コーン貫入試験の 36%であり、人力での貫入力に優れている。通常、斜面調査では動的コーン貫入試験が使用されるが、ロッドやコーンのほかに試験には 5kg の錘も必要であり、急峻で奥深い山地での試験には非常に労力を要する。一方ポータブルコーン貫入試験は軟弱地盤用であり、表層崩壊のすべり面になりやすいとされる表土と基盤の境界付近までの試験は困難である。土検棒は両貫入試験法の欠点を補っている。

一方、欠点としては、周面摩擦の影響がある。ポータブルコーン貫入試験では単管式と二重管式が考案さ

れているが、本試験では二重管式は装備していない。これは、表層崩壊の発生しやすい斜面の土層深は通常２～３m以内であり、この程度の土層深であれば周面摩擦の影響は比較的小さいと考えられること、動的コーン貫入試験でも単管式のみが用いられていること、二重管にすると可搬性が損なわれること、などによる。

ベーンコーンせん断試験とベーンせん断試験の違いは、鉛直荷重の有無である。ベーンせん断試験は、地盤中のせん断強度を測定できるが、せん断面に対する鉛直荷重をかけられないので、内部摩擦角や粘着力を求めることができない。いっぽう、ベーンコーンせん断試験は、ロッド方向に荷重をかけることでせん断面に対する鉛直荷重を作用させることができる。複数の荷重条件で試験すると、現位置の含水条件における内部摩擦角と粘着力を求めることができる。

なお、本試験法は特許を有しており、機器の製作にあたっては手続き（許可）が必要である。手続きは独立行政法人土木研究所技術推進本部において行っている。許可を受けた業者が製作・市販した機器を使用する際はとくに手続きは不要である。

２．土検棒による試験の目的

２．土検棒による試験の目的

土検棒による試験は、以下の項目を推定することを目的とする。

① 土質

② 土層深

③ 現位置での貫入強度

④ 現位置での粘着力と内部摩擦角

【解説】

試験目的となる項目およびその内容は以下のとおりである。

① 土質

大まかな粒度など。土検棒貫入試験における貫入時の感触から、土層の粒度が大まかに（砂質が多い、粘性土主体、など）推定できる。ただしこれはあくまでも主観的なものである。

② 土層深

地表から基盤岩までの重力方向(鉛直方向)の土層の深さ。土検棒貫入試験において土層の定義をあらかじめ決めておき（調査者による貫入限界、または貫入荷重○○N など)、この基準による貫入限界深から求めるものである。崩壊が発生しやすい土層と基盤の境界値は現場の土質や地質によって異なるが、一般に Nc 値で５～10 程度といわれているので[1)]、後述する実験結果からは土検棒による貫入荷重で 250～500N 程度と考えられる。現場周辺の既往の斜面表層崩壊箇所周辺の土層強度データが入手できる場合には、これを活用することもできる。

③ 現位置での貫入強度

貫入強度 q_{dk} は、所定の方法によるコーン貫入時の静的貫入力をコーンの断面積 1.76×10^{4} (m^2)で除したものである。貫入強度の値は、標準装備(最大 500N)の場合で最大 2800 (kN/m^2)程度となる。なお、貫入強度は貫入力の読み値W（N）で示す場合もあり、後者は Ndk 値と称する。

④ 現位置での粘着力と内部摩擦角

ベーンコーンせん断試験により求める現位置の深度・含水状態での粘着力と内部摩擦角である。

参考文献

１）小山内信智（2007）：貫入試験機を用いた斜面崩壊予測,基礎工,Vol.35,No.11,pp.19-22.

３．対象地盤

３．１　対象地盤

対象地盤は、主として土質地盤とし、場合により極めて軟質な岩盤まで含むものとする。

【解説】

土検棒で貫入できる地盤の強度は簡易動的コーン貫入試験の Nd(または Nc)値１０～１５程度、スウェーデン式サウンディングによる換算N値で１０～１５程度である。一般に Nd＜５（～10）が土層、５(～10)＜Nd＜30(～20)程度が強風化岩、Nd＞30(～20)が弱風化岩とされ[1)]、土層と強風化岩の境界ないしは一部強風化岩中にすべり面が形成されることが多いとされる。またN値１０～１５とは砂の場合は緩い砂～中位の砂とされる[2)]。したがって土検棒貫入試験の対象地盤は、主として土質地盤とし、場合により強風化岩などの極めて軟質な岩盤まで適用できる。

参考文献

１）建設省河川局砂防部監修(1996)：新・斜面崩壊防止工事の設計と実例,社団法人全国治水砂防協会発行,p.103.
２）地盤工学会(2002)：地盤調査法,p.201.

３．２　対象深度

対象深度は原則として地表から５m以内を標準とする。

【解説】

土検棒で貫入できる地盤は、これまでの著者らの測定では、少なくとも二次シラスや風化したシラスの地域で８m程度、花崗岩地域のまさの地域で４m以上であり、いくつかの調査地での簡易動的コーン貫入試験との対比（図３　１参照）からも、限界貫入強度は深度４m以上でNd値１３程度以上である。ただし事例によると、地盤条件や測定者の条件（体重、押し込み力）により、Nd値１０程度となることもあるようなので、調査地・測定者毎にどの程度の貫入限界となるか代表個所で確認しておくことが望ましい。

なお、簡易動的コーン貫入試験やポータブルコーン貫入試験で確認されているように、貫入深度が大きくなるとロッドの周面摩擦が大きくなるため、測定されている貫入強度が見かけ上大きくなる。簡易動的コーン貫入試験等でも一般に５mまでを標準仕様としていることから、ここでは本試験の対象深度も同様に原則として５m以内とした。ただし、土層深が５m以上あるかどうかを確認するために用いる場合にはその限りでない。

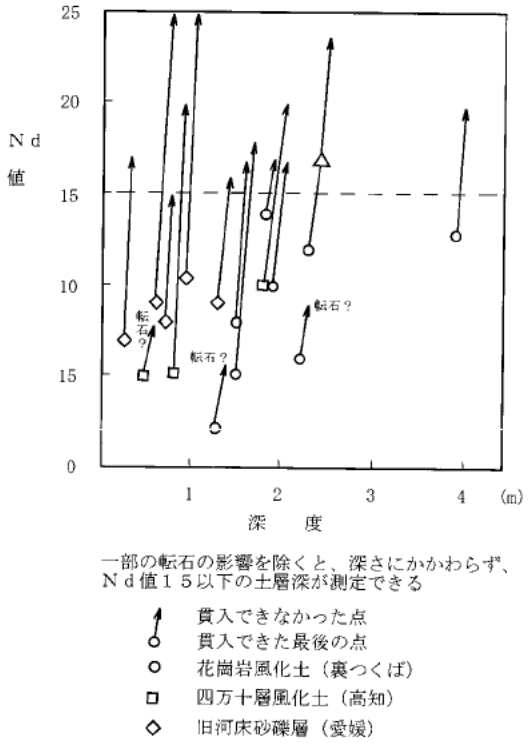


図３　１　土検棒による貫入限界とNd値の関係

(図の矢印の始点は土検棒貫入試験で貫入できた最後の点のNd値で矢印の先（終点）はその直下のNd値。したがって土検棒貫入試験の貫入限界は矢印の始点と終点の間にある。図では深度４mまでは周面摩擦の影響にかかわらずＮｄ値１５程度が貫入境界と考えられる。)

４．試験装置の構成

４．試験装置の構成

試験装置の一般的な構成は以下の部分からなる。

①　土検棒貫入試験

- **円錐状先端コーン**
- **ロッド**
- **荷重計**
- **取っ手**

②　ベーンコーンせん断試験

- **ベーンコーン（羽根付き先端コーン）**
- **ロッド**
- **荷重計**
- **トルクレンチ**
- **取っ手**

③　その他

- **ロッド着脱用スパナ**
- **荷重計とロッドの接続部品**
- **持ち運び袋**

【解説】

試験装置の構成は、土検棒貫入試験とベーンコーンせん断試験で異なる。

図４　１（a）は、土検棒貫入試験の構成である。

土検棒貫入試験は、円錐状先端コーン（2）、ロッド（3）、荷重計（4）、取っ手（1）から構成される。先端コーンは、先端部（6）の角度は60°・最大径15mm・ロッドへの継ぎ手部分（8）の径15mm（ロッドの径と同じ）である。

図４　１（b）は、ベーンコーンせん断試験における先端コーンの部分である。ベーンコーンせん断試験におい

写真４　１　　機器の全体構成

ては、先端コーンをこのベーンコーンにするとともに、ロッド部分をトルク測定のできるトルクレンチで回転させる。それぞれの標準的な仕様は以下のとおりである。

① 円錐状先端コーン

先端角 60°、最大径 15mm、鋼製(焼きなまし加工)とする。標準的な長さは 50mm である。コーンとロッドのつなぎ部はねじ式を標準とし、その場合、ねじの着脱のためのスパナ用の刻み(幅 8mm)を入れる。

② ロッド

直径 10mm の鋼製、標準としてねじにより着脱ができるものとする。標準的な長さは、コーンに直接着脱されるロッドは 450mm、それ以外のロッドは 500mm とするが、これよりも長くても良い。ロッドのつなぎ部付近にはねじの着脱のためのスパナ用の刻み(幅 8mm)を入れる。

③ 荷重計

荷重計は 2%(500N の場合 10N 約 1 k g)程度の精度で 500N 程度まで測定できるものを標準とする。

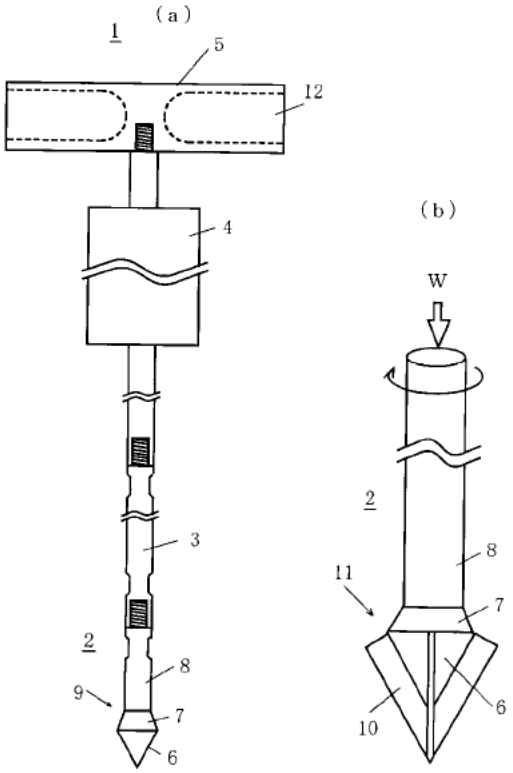


図 4 1 試験機の構成

1 土検棒貫入試験の構成、2 ベーンコーン、3 ロッド、4 荷重計（ベーンコーンせん断試験時はこの下部のロッドにトルクレンチを装着）、5 取っ手、6 先端コーン（６０°）、7 先端コーンの上部、8 先端コーンとロッドの接続部、9 先端コーンの最大径 15mm 長さ 50mm,
10 羽根（ベーン）、11 羽根の幅 6.06mm（水平幅 7mm）

④ 取っ手

ロッドに直接、または荷重計を介して接続できるものとする。標準的には、太さ 25～30mm、長さ 100mm 程度の鋼製のものを用いている。

⑤ ベーンコーン

コーン部分は土検棒と同様、羽根部は４枚構成で羽根幅はコーン面からの垂直幅で 6.06 mm（貫入方向に対する水平幅で 7.00mm）のものを標準とする。土質により羽根の幅を数 mm 程度変更しても良い（例えば強度の小さい土質では羽根を大きくするなど）が、その場合はそのベーンコーンで室内せん断試験との結果の相関式を作成する必要がある。一般に羽根幅を大きくしすぎるとせん断面まで鉛直荷重が適切に伝達しなくなる可能性があり、逆に羽根が薄すぎると、せん断しようとする土質を試験前（貫入時点）で過度に破壊することや粒度の大きい地盤に適用しにくくなる。

⑥　トルクレンチ

トルクが数値で測定できるようにダイヤル式またはデジタル式等を用いる。測定最小目盛り 0.1 N・m 以下、最大５ N・m 以上のものとする。レンチの先端部はロッドにかかるようにスパナタイプ(標準として 8mm 用)とする。

⑦　ロッド着脱用スパナ

ロッドの着脱に用いるスパナ２本。ロッドの刻みと併せたサイズ(標準として 8mm 用)とする。

⑧　荷重計とロッドの接続部品

荷重計とロッドを接続する部品。荷重計とロッドをねじで直接接続できない場合などに用いるが、それだけでなく、ベーンコーンせん断試験の場合、ロッドと荷重計の間の回転摩擦が小さいほうが望ましいので、ねじよりも摩擦の小さい接続部品があれば、このような部品を用いたほうがより正確である。

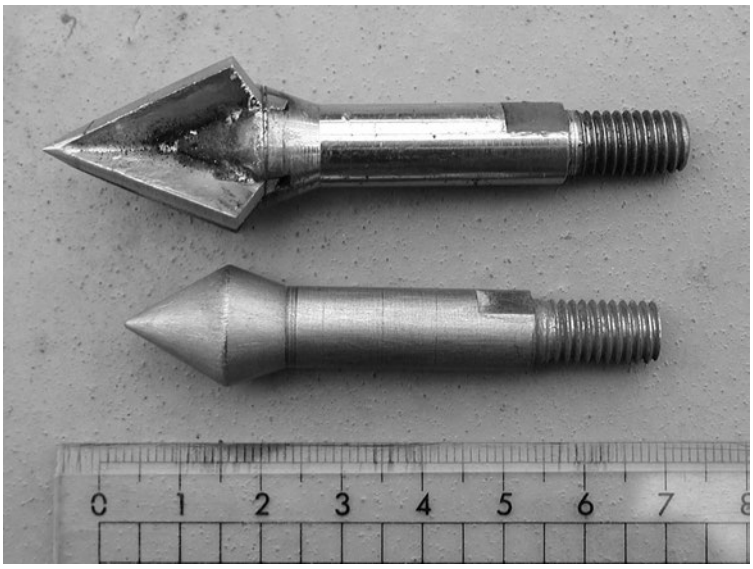


写真４　２　　先端コーンの形状
（上がベーンコーン、下が土検棒貫入試験の先端コーン）

⑨　持ち運び袋

上記の部品を収納・運搬するための袋。

５．土検棒貫入試験の方法

５．１　事前の留意事項

土検棒貫入試験には、標準法と簡易法がある。土検棒貫入試験の前には、機器の正確な作動等について確認しておく。

【解説】

土検棒貫入試験には、バネばかりで定量的に土層強度や土層深を測定する標準方式と、人力による貫入限界で定性的に土層深を測定する簡易方式があり、機器構成が異なる。

現地では、機器の修理などが不可能な場合が多いので、事前に、ロッドの曲がりがないか、部品はスムーズに着脱できるか、荷重計が正確に作動するか、コーンが極端に磨り減っていないか、などについて事前に確認しておく。

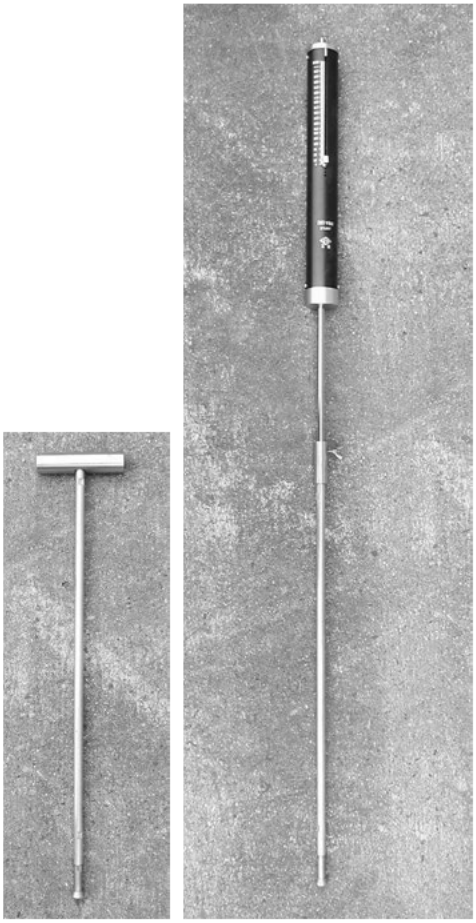


写真５　１　土検棒貫入試験の簡易法（左）と標準法（右）の外観

５．２　試験前の準備

試験前には、以下の資料を整えることが望ましい。

①　詳細な地形図

②　空中写真及びその微地形判読図

③　その他斜面に関する情報

【解説】

試験測線・測点を決める前にできる限り以下の資料を整え、効率的に調査できるようにする。

図５　１は山地斜面における微地形の例と表層崩壊の空間分布の関係を概念的に示したものである。同図に示すように山地斜面は地形的にも土質・地質的にも大変複雑であり、試験前に、斜面における微地形や表土分布の複雑性について認識し、測線・測点の配置等に反映させる必要がある。

①　詳細な地形図

斜面の土層は数ｍの範囲でも大きく変化する。その変化は、細かな微地形とかなりの関係がある。そのため、地形図はできる限り詳細なものを用いる必要がある。詳細な地形図がない場合は実地測量またはレーザープロファイラなどにより、新たに作成することが望ましい。

②　空中写真及びその微地形判読図

現地状況の確認や現地での位置の標定、また、不安定斜面に関わる様々な微地形を把握するのに用いる。

③　その他斜面に関する情報

地表踏査やボーリングの情報、崩壊履歴など、既存の情報を収集する。

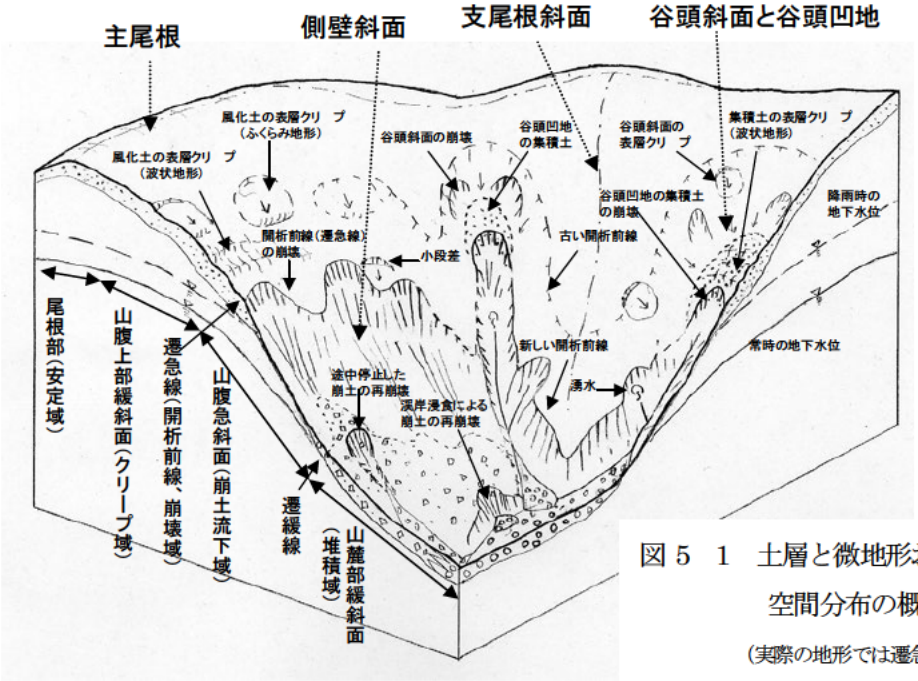


図５　１　土層と微地形および表層崩壊等の空間分布の概念図

（実際の地形では遷急線が数段以上におよぶことがあるなど、より複雑な空間分布を示す）

５．３　測線および測点の配置方法

測線および測点の配置は、調査目的、現地の状況、経済性等を考慮して、最適なものを選定する。

【解説】

測線および測点の配置は、調査目的、現地の状況、経済性等を考慮して、最適なものを選定する必要がある。

測線の配置方法には、大きく分けて次のような方法がある。

① 直線的な測線

直線状の測線を設けるもの。測点は一般に等間隔となる。グリッドの交点を測定する場合もこの一種である。断面図を描きたい場合や調査地に対して均一にデータを得たい場合は、この手法を用いるとよい。ただし測線・測点を事前にきちんと測量しておく必要があるので、手間がかかる。

② 等高線方向の測線

等高線方向(水平方向)にトラバースしながら方位をはかり、一定間隔または任意の間隔で測定するものである。この方法の利点は、まず、試験開始地点と終了地点のみの位置確認で良いことが挙げられる。さらに、斜面の土層深は過去の崩壊履歴によって強く規制されるが、等高線方向に測定することで過去の崩壊を横断する形となるので、最近崩壊が起こった箇所とそうでない箇所の判別が非常にわかりやすいということも大きな利点である。いっぽう、欠点としては、調査に粗密が発生するので、データの利用という点では何らかの二次的な処理が必要になる。

③ 斜面最大傾斜方向の測線

危険箇所の安定解析のための断面を得る場合などに用いるものである。本手法の利点としては、斜面の表土分布は遷急線や遷緩線など斜面上下方向に特徴的に変化するので、このような特徴を捉えやすいことが上げられる。等高線方向の測線と組み合わせることで、表土の厚い箇所の断面や薄い箇所の断面を調査して、三次元的な土層分布を把握することもできる。

④ その他の測線・測点

携帯用の GPS 等を用いて調査ルート、調査ポイントを設定する方法などがある。携帯用の GPS の位置精度は高くないので、調査目的に応じて活用する。

測点間隔については、経済性等も考慮する必要があるが、斜面の土層分布は過去の崩壊履歴や微地形などによって数 m の範囲内で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）で行うのが良い。特に等高線に沿ってトラバースする場合は、１～３m程度の棒（土検棒そのものでも良い）などを用いて距離と水平を確認しながら移動することが多いので、測定もこの程度の間隔で実施すると土層分布が非常によく把握できる。

複数の測線を配置する際、直線的な測線の場合は、調査領域の代表的な位置、または測点間隔と同程度(グリッドによる方法など)にするのがよい。等高線方向に行う場合は、複数の測線の標高差が極端に大きくなると、上下の測線のデータの対比が困難になるので、データの対比が可能な程度(一般に５m～30m 程度)に配

置するとよい。

　測線・測点は、後でもわかるように、簡単なマーカー(色つきテープのついた小さいクイや色テープ付きの割り箸など)を設置しておくと良い。

５．４　試験手順

標準法の試験は原則として以下の手順で行う。

①　土検棒の貫入

②　荷重の測定

③　深度の確認

④　先端コーンなどの異常の有無の確認

⑤　特記事項の記載

⑥　次の測点への移動

【解説】

各手順の留意事項は次のとおりである。

①　土検棒の貫入

土検棒の貫入速度は、貫入強度を定量的に求める場合（標準法）と、人力による貫入限界から土層深を定性的に求める場合（簡易法）で異なる。

簡易法での貫入速度は任意である。

標準法では、「定位置貫入法」と「コーンペネトロメーター式貫入法」の２つの測定方法がある。

「定位置貫入法」は、所定の深度にコーンを設定した後、荷重計にゆっくりと（土質強度にもよるが、荷重増加速度 100N/sec 程度以下で、４～５秒以上かけて）荷重をかけ、コーンが沈下（貫入）を開始した時の荷重を測定するものである。この方法は最も容易であり、かつ所定の深度の正確な貫入抵抗を測定するのに適している。

「コーンペネトロメーター式貫入法」は、貫入速度をポータブルコーンペネトロメーターと同様に 1cm/sec 程度とし、原則として 10cm 貫入毎に荷重計の読み値を記録する。貫入時にはばねばかりが弾んだりロッドが撓まないように注意しながら静かに貫入する。

なお、貫入方向は、混乱を避けるため、いずれの方法においても原則として重力方向（鉛直）に行い、特殊な調査の場合を除いて土層厚(地表面に対して垂直に貫入した時の土層の厚さ)は用いないものとする。

②　荷重の測定

荷重の読み取りは、一般に 10 N（約 1kgf）の位までとするが、荷重が大きい場合や小さい場合は別途検討する。

③　深度の確認

深度の確認は、基本的には 1cm 程度とするが、土検棒自体が土層内部で湾曲することがあること、動的コーン貫入試験などでも５ｍまでの深度の場合の土層深の測定誤差が±数 cm あること、2～3cm 程度の土層深の相違は測定方法や測定目的から見て問題とならないことが多いことなどから、必要に応じて 5cm 程度の精度で実施する場合もある。

④　先端コーンなどの異常の有無の確認

先端コーンの脱落や変形、ロッドの湾曲などがないかどうか確認する。

⑤　特記事項の記載

土層と基盤の境界の状況（転石または急に硬質な基盤に当たった、漸移的に硬質化した、急に抜けるように貫入抵抗が低下した）などの特記事項を記載する。

⑥　次の測点への移動

測点があらかじめ決まっている場合は特に問題がないが、等高線方向へのトラバースによって順次、次の測点を決めていく場合は、例えば1°の誤差でも100mで最大1.75mのずれとなるので、水平の維持ならびに測線の方向（方角）の正確な確認に留意する必要がある。。水平の維持には、必ず水平器などを用いる。方角の判断は、一般にはクリノメータなどを用いるが、精度が必ずしも十分ではないので、５．５節で述べる方法を用いる。

５．５　試験後の確認・調査

試験後は必要に応じて、以下の確認・調査を行う。

① 測線・測点の再確認

② 測線・測点周辺の微地形や変状等の調査

【解説】

試験後の確認・調査の留意点は以下のとおりである。

① 測線・測点の再確認

あらかじめ、測線・測点が決められている場合には、測線・測点の再確認は必要のないことが多いが、等高線方向にトラバースする方法などで試験を行った場合は、少なくとも試験開始位置と終了位置を測量によって位置を正確に再確認しておく必要がある。その後、図化の際に、測量で求めた開始地点と終了地点にフィッティングさせると、ある程度の精度の確保が可能である。より高い精度を求めるために１つ１つの測点を測量で求めてもよいが、土層深の測定そのものよりも測量に手間がかかる。上空が開けている場合には GPS を用いることも考えられるが、その場合には安価な GPS では精度が数 m 程度しかない場合もあることに留意する必要がある。

② 測線・測点周辺の微地形や変状等の調査

調査目的にもよるが、斜面防災などを目的とする場合には、測線・測点付近とその周辺の微地形や変状を併せて踏査し、図化しておくべきである。このような微地形や変状の分布が土層深分布を描く場合に非常に参考になるだけでなく、土層深の分布と微地形等の分布の重ねあわせにより、不安定な斜面を絞り込むことが可能となる。

６．土検棒貫入試験の結果の整理

６．１　貫入強度の整理

「貫入強度」q_{dk}は次式で算定する。

$$q_{dk} = Q_{dk}/1000/A \qquad (kN/m^2)$$

ここに、

$$Q_{dk} = W + (m_0 + n \cdot m_1) \cdot g \qquad (N)$$

q_{dk}：貫入強度

Q_{dk}：先端コーンの貫入力（N）

A　：先端コーンの底面積　1.76×10^{-4}　(m^2)

W　：荷重計の読み値　　(N)

m_0　：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（m/s^2）

なお、ロッドの重量を考慮しない簡便な貫入強度を「見かけ貫入強度」q_{dk}’とし、次式で算出する。

$$q_{dk}' = W/1000/A \qquad (kN/m^2)$$

土検棒貫入試験による土層の強度は原則として「貫入強度」によるものとするが、土層深を多地点で測定する場合の土層の定義などは、便宜上「見かけ貫入強度」、「先端コーンの貫入力」、「荷重計の読み値」などで規定してもよいものとする。

【解説】

貫入力は荷重計の値だけでなく、先端コーンやロッドの質量分も加算した荷重となる。したがって、正規の「貫入強度」はこれらの質量を加算する。ただし、土層の定義をロッドの質量等も考慮した「貫入強度」で規定すると、１測定(土層深)毎に荷重計の読み値を換算する必要があり、非常に不便である。そこで土層深を多地点で測定する場合の土層の定義などは、便宜上「見かけ貫入強度」、「先端コーンの貫入力」、「荷重計の読み値」などで規定してもよいものとした。その背景としては、土層深が大きくなるとロッドの周面摩擦により貫入強度は実際の土層の強度よりも高い強度を算出する(危険側となる)可能性があるが、「見かけ貫入強度」などはロッド等の質量を無視している分だけ「貫入強度」よりも多少なりとも安全側の評価となること、またロッドの重量は５m分でも3kg程度（500Nに対して６％程度）であり「貫入強度」との差は比較的小さく、これまでの経験からも3kg程度の貫入力の差は土層深の測定誤差としては数cm以内（一般に２～３cm程度）であること、が挙げられる。

土検棒における土層深の定義については、このように「貫入強度」、「見かけ貫入強度」、「先端コーンの貫入力」、「荷重計の読み値」によるもののほか、定性的なものとしては「調査者による貫入限界」などを用いる場合もある。「調査者による貫入限界」の場合の利点は、荷重計を用いなくても良いという点がある。ただ

しこの場合は各調査者の「貫入限界」がどの程度の荷重に相当するのか把握しておく必要がある。経験的には「調査者の貫入限界」を用いる場合でも意外に誤差は小さいが、調査者によって 10cm 前後の差を生じることがあることを考慮しておく必要がある。

（1）N値の予測式

土検棒による貫入強度と他の貫入試験による強度との関係については、試験数が少ないが、以下のようなデータがある。

図 6　1 はロームやシラスの地域でのスウェーデン式サウンディングによる換算N値と土検棒による貫入抵抗値 Ndk 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。

$$N=W/33.17 \qquad (1)$$

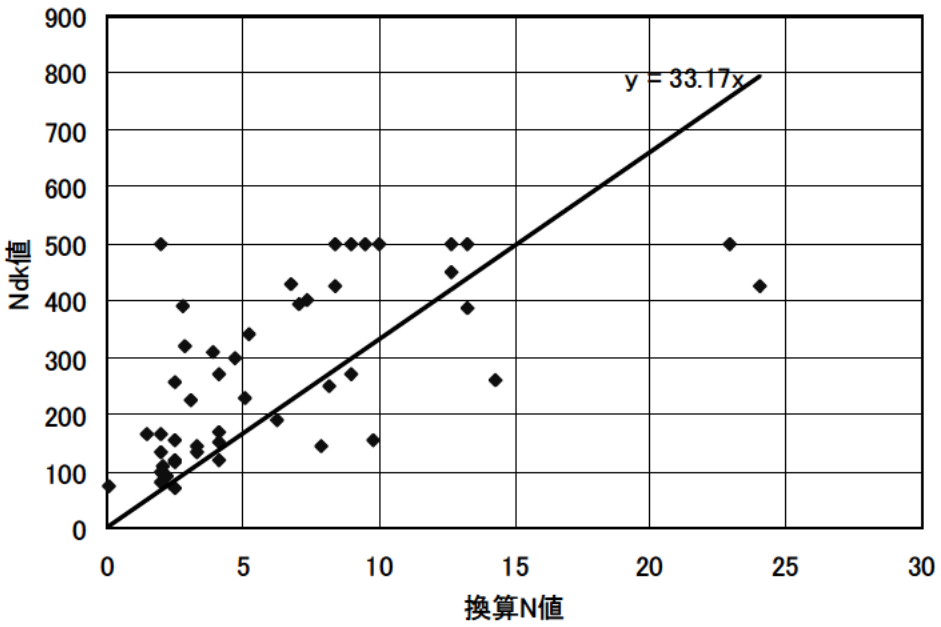


図 6　1　スウェーデン式サウンディングによる換算 N 値と土検棒による貫入抵抗値 Ndk 値（荷重計の読み値Wに同じ）の関係（3つの試験個所のデータによる）

（1）式と、後述する（3）～（5）式の比較によると、換算N値と Nc 値の関係は N=0.875～1.613Nc 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=0.33～1Nc 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倍程度高めの係数となっている可能性がある。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などから、安全側としておおむね２倍程度の係数をかけて以下の予測式を採用するものとする。

N=W/60　　（2）　（暫定予測式）

（2）Nc 値（Nd 値）の予測式

図６　２は図 6-1 と同じ地域（調査地点は異なる）での斜面調査用簡易貫入試験による Nc 値（地盤工学会簡易動的コーン貫入試験の Nd 値）と土検棒による Ndk 値（荷重計の読み値W（N）に同じ）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）

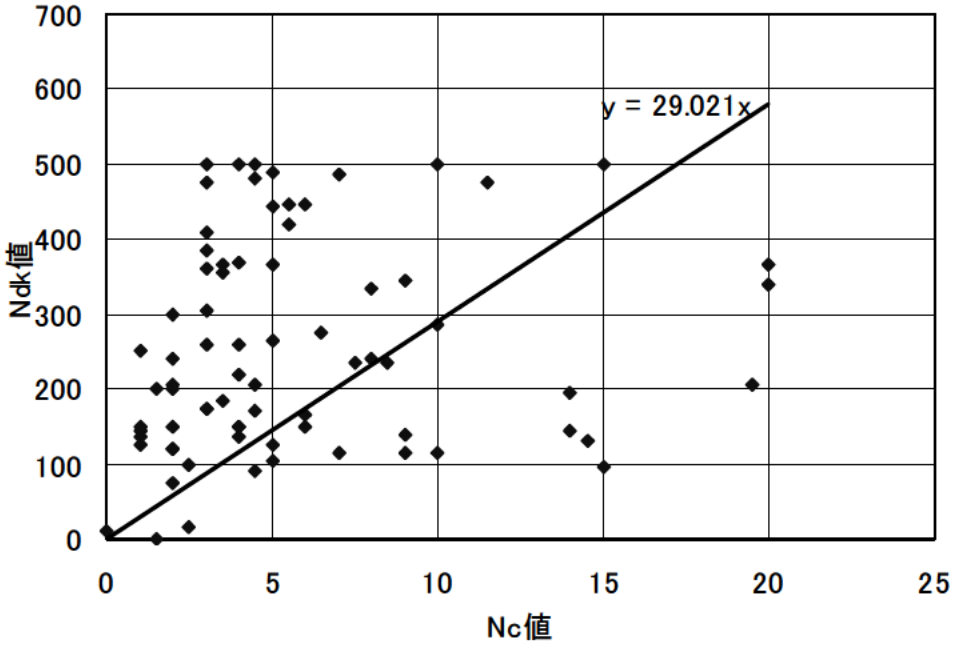


図６　２　斜面調査用簡易貫入試験による Nc 値と土検棒貫入試験による Ndk 値の関係
（３つの試験個所のデータによる）

また、図 6-3 と図 6-4 は花崗岩（まさ）からなる地質における Nc 値と Ndk 値の関係である。図 6-3 では全データを、図 6-4 では Nc 値 15 以下のデータのみについて相関を求めている。図 6-3 によると両者の関係は（4）式、図 6-4 によると（5）式のとおりである。

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 6-4 が最もばらつきの少ないデータとなっており、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、ここでは係数を丸めた（6）式を暫定予測式として採用する。

Nc　W/50　　（6）（暫定予測式）

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。これらの式はあくまで参考であり、土検棒貫入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。

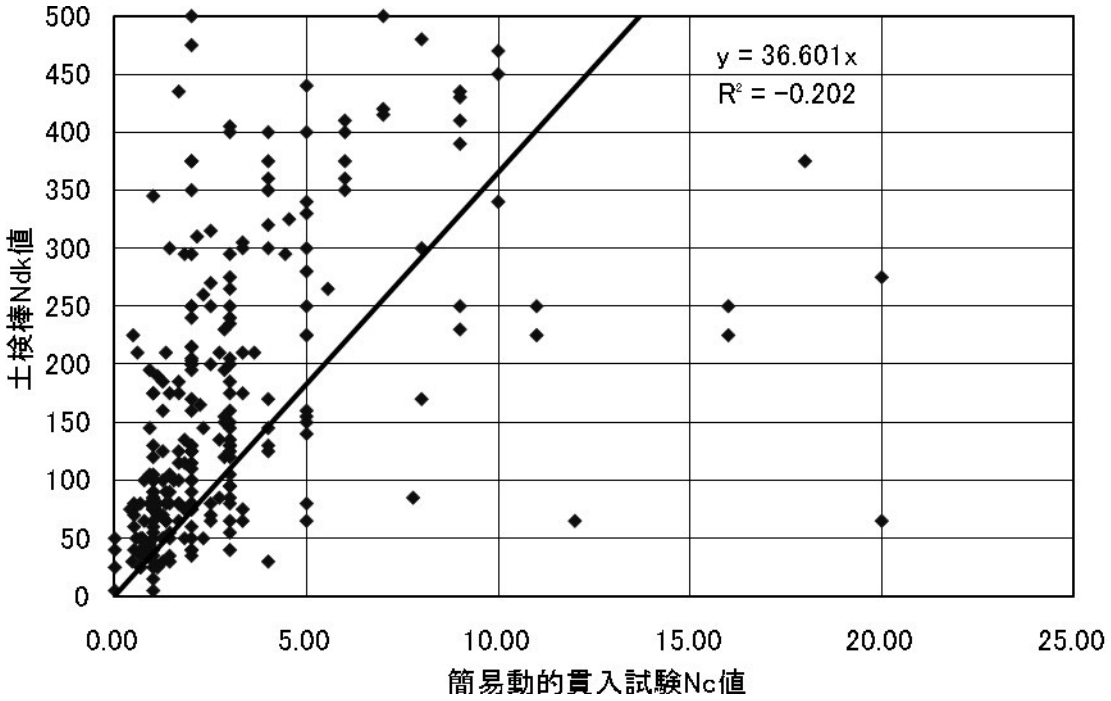


図 6-3　花崗岩地域における Nc 値と Ndk の関係（全データ）

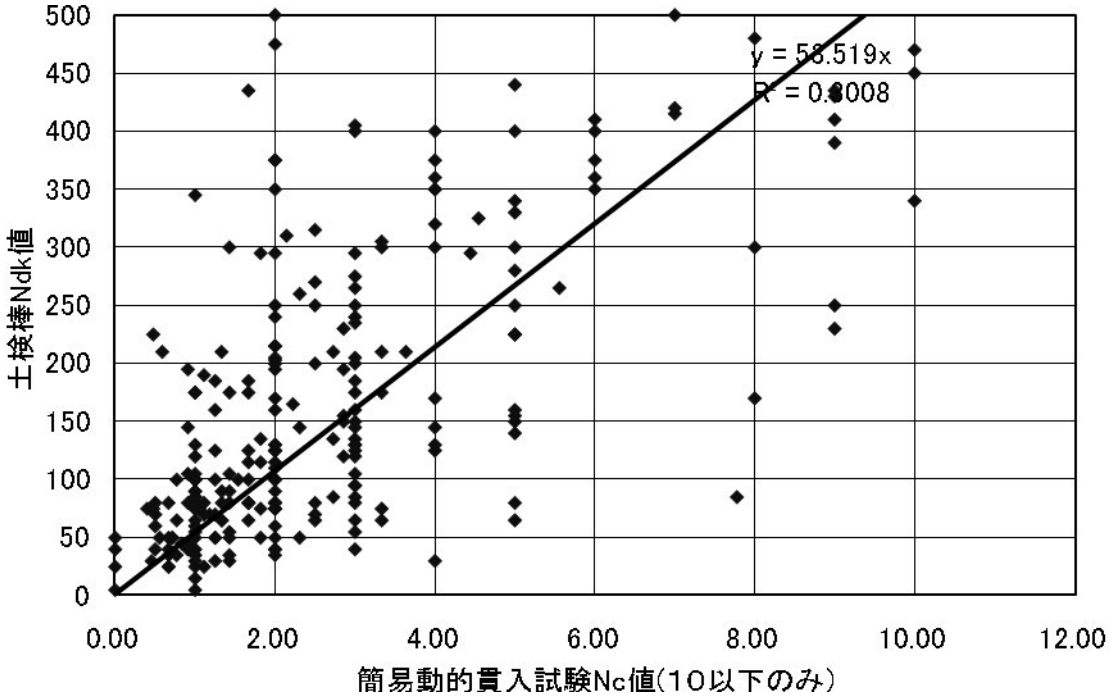


図 6-4　花崗岩地域における Nc 値と Ndk の関係（Nc 値 15 以下）

６．２　土層深の整理

土層深には以下のものがあり、これらの相違がわかるように整理する。

①「貫入強度」q_{dk}で求めた土層深Ddk

②「見かけ貫入強度」q_{dk} ‘で求めたDdk’

③調査者の貫入限界で求めた土層深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）　Ddk(1000)：土層と基盤の境界値が「貫入強度」1000kN/m²の場合

（例）　Ddk’(2000)：土層と基盤の境界値が「見かけ貫入強度」2000kN/m²の場合

また、土層深の測定結果は、平面図や断面図などに表示し、必要に応じて、微地形の調査結果なども重ねて表示する。

【解説】

土層深の定義には上記のような３つの方法がある。また、貫入強度を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も重要であり、現場によって適切な境界値を設定する必要もある。本機器で人力で貫入できる荷重は最大 500N であるが、過去の経験における動的コーン貫入試験（Nd 値）との関係、調査者の一般的な体重なども考慮すると、土層と基盤の境界値はおおよそ 2000kN/m² 程度（荷重計の値でおおよそ 350N 程度）と考えられる。これは一般的な調査者が貫入できる荷重の 2/3 程度の値であり、すなわち調査者の貫入限界から求めた土層深はやや深め(安全側)となっている。

図 6-5 にグリッド法により計測した結果の例を、また、図 6-6 にはトラバース法により計測した結果の例を示す。土層深の調査結果はこのように、原則として平面図や断面図を併用して整理し、必要に応じて、微地形の調査結果等も重ねて表示する。これは、土層深の空間的分布は過去の崩壊履歴などの影響によりかなり不均質であり、しかも土検棒貫入試験は局所的な転石の影響を強く受けるため、周囲のデータも含めて検討する必要があるためである。このとき、微地形の調査結果も重ねて表示することにより、土層深の分布をより合理的に理解しやすい。

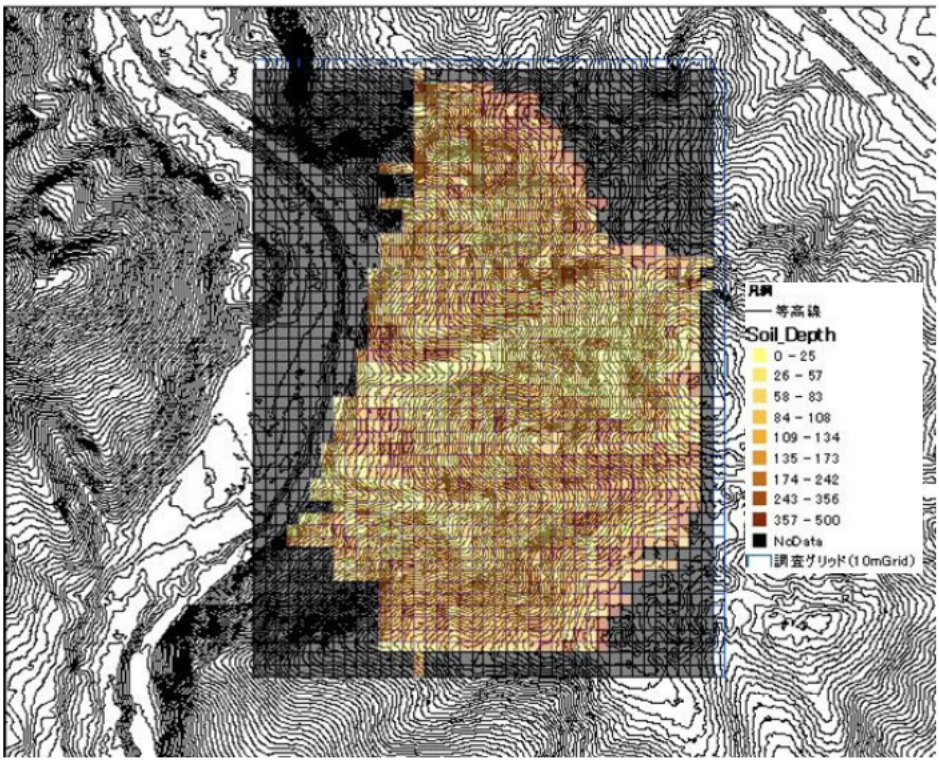
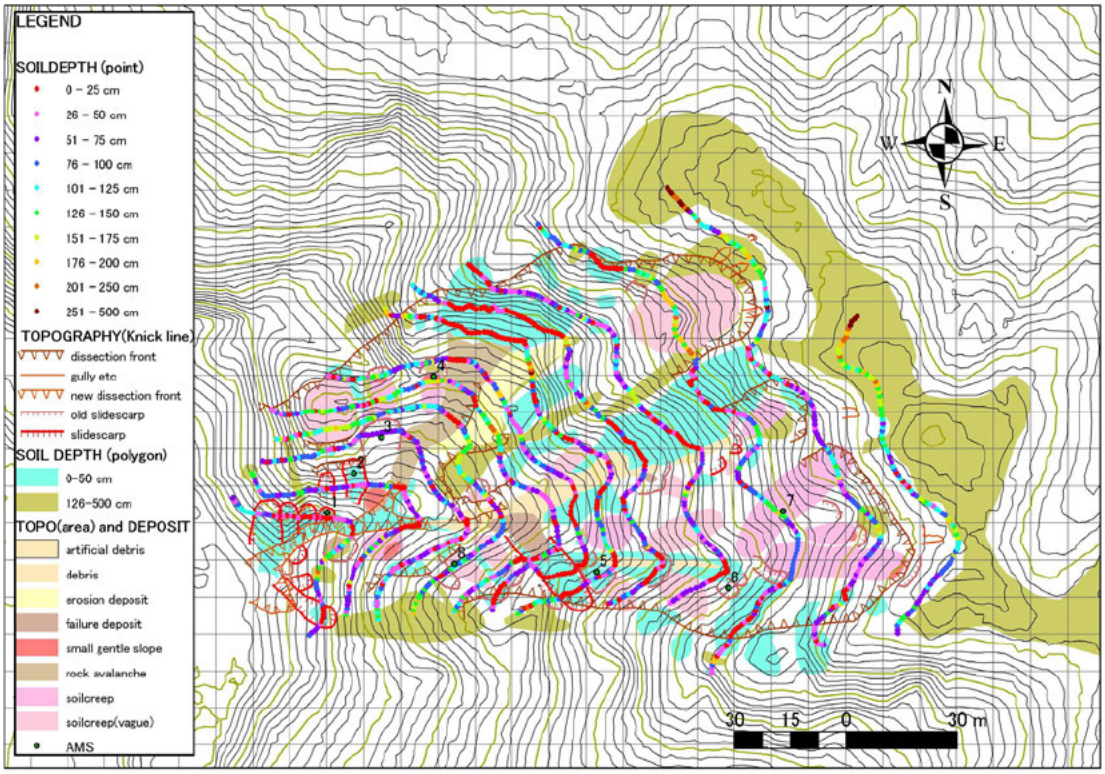


図 6-5　10m グリッドによる土層深の測定結果の表示例（福島県いわき市）



Soil Depth and Micro-topography (IWAKI)

図 6-6　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（いわき市）

６．３　その他の整理

必要に応じて試験時の感触に基づく、大まかな土質、ならびに土層と基盤の境界付近の性状などを整理する。

【解説】

土検棒を用いると、ごく大まかではあるが土層の粒度や、土層と基盤の境界付近の固さの変化(漸移的に硬くなった、急に硬質なものに当たった、など)を把握できるので、必要に応じてこのような情報についても整理する。

７．土検棒貫入試験の結果のとりまとめ

７．土検棒貫入試験の結果のとりまとめ

土検棒貫入試験の結果については、次の事項を報告する。

① 測定方法（本マニュアル案と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容）

② 地点番号および位置

③ 地盤高

④ 試験日

⑤ 試験機の仕様

⑥ 貫入強度の測定記録および計算表

⑦ 土層深、貫入強度の深さ分布図など

⑧ その他特記すべき事項

【解説】

土検棒貫入試験の結果は、上記のような項目がわかるように要領よくとりまとめる。

表７－１　データシートの例

土　検　棒　貫　入　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）	

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)
コーン底面積 A (m^2) 1.76×10^{-4}	貫入速度 cm/s	最終貫入深さ(m)

測定深 (m)	荷重計値 W (N)	ロッド数 n+1 (本)	貫入強度 q_{dk} (kN/m^2)	記　事	測定深 (m)	貫入強度 q_{dk} (kN/m^2) 400	800	1200	1600	2000	2400	2800

特記事項

貫入強度 $q_{dk} = \{W + (m_0 + n \cdot m_1) \cdot 9.81\}/0.176$ (kN/m^2)　見かけ貫入強度 $q_{dk}' = W/0.176$ (kN/m^2)

８．ベーンコーンせん断試験の方法

８．１　事前の留意事項

ベーンコーンせん断試験の前には、機器の正確な作動等について確認しておく。

【解説】

現地では、機器の修理などが不可能な場合が多いので、事前に、ロッドの曲がりがないか、部品はスムーズに着脱できるか、荷重計やトルクレンチが正確に作動するか、ベーンコーンの羽根に問題がないかなどについて事前に確認しておく。

写真８　１　　ベーンコーンせん断試験の外観

８．２　試験前の準備

試験前には、以下の資料を整えることが望ましい。

① 詳細な地形図

② 空中写真及びその微地形判読図

③ その他斜面に関する情報

④ 土層深等の測定結果

【解説】

試験測線・測点を決める前にできる限り以下の資料を整え、効率的に調査できるようにする。

① 詳細な地形図

土検棒貫入試験の場合と同様である。

② 空中写真及びその微地形判読図

土検棒貫入試験の場合と同様である。

③ その他斜面に関する情報

土検棒貫入試験の場合と同様である。

④ 土層深等の測定結果

ベーンコーンせん断試験の前に実施した土層深や土層強度の測定結果を準備する。

８．３　測線、測点、測定深度の配置方法

測線、測点、測定深度の配置は、調査目的、現地の状況、経済性等を考慮して、最適なものを選定する。

【解説】

測線、測点、測定深度の配置は、調査目的、現地の状況、経済性等を考慮して、最適なものを選定する。

測線の配置方法、測定間隔の基本的な考え方については、土検棒貫入試験の場合と同様である。斜面防災を目的とする場合は、斜面勾配が急でしかも土層深の大きい箇所が最も不安定な箇所と考えられるので、このような場所の中から測線･測点を選定すると良い。なお、斜面の土質は、斜面場によって大きく異なることがあるので、あらかじめ微地形の観察によって地形場を分類しておき、その場毎に優占的な土質を把握しておくのが望ましい。たとえば山腹の急斜面では基盤の風化土を主体とするのに対し、尾根に近い緩斜面付近では風化土のほかローム層などが、また谷型斜面には豪雨時に移動した崩土などの二次堆積物が堆積していることがある。このような土質によって物性は大きく異なる。

測定深度については、調査目的によって異なる。斜面防災を目的とする場合は、崩壊面となりやすい箇所として、基盤の直上の土層下面付近を測定深度とすることが一般的である。この理由は、土層下面付近は基盤が十分風化して基盤を構成する鉱物粒子が分離して透水性も急激に大きくなっているものの、土層の上部ほど粘土化が進んでいないために粘着力の小さい状態となっていることが多いためである。

８．４　試験手順

試験は原則として以下の手順で行う。

① 先端コーンの測定深度への設置

② 先端コーン回転による周面摩擦の測定

③ 先端コーンのベーンコーンへの交換

④ ベーンコーンの測定深度への設置

⑤ 鉛直荷重の設定

⑥ ベーンコーンの回転とトルク測定

⑦ ベーンコーンの抜き取りとベーンコーンの異常の有無の確認

⑧ 特記事項の記載

⑨ 鉛直荷重を変えて④から⑧の繰り返し

【解説】

各手順の詳細と留意事項は次のとおりである。

① 先端コーンの測定深度への設置

羽根のない先端コーンを、測定したい深度に設置する。

② 先端コーン回転による周面摩擦の測定

コーンとロッドの質量のみの状態（荷重計による鉛直荷重のない状態）でコーンおよびロッドをトルクレンチでほぼ一定速度 1°/sec 程度でゆっくりと回転させてそのときの最大トルク T0 からロッドの周面摩擦抵抗を測定する。

③ 先端コーンのベーンコーンへの交換

先端コーンをベーンコーン(羽根つきコーン)に付け替える。

④ ベーンコーンの測定深度への設置

ベーンコーンを、①と同じ深度に設定し、多少の荷重を加えてベーン全体を孔底（地盤）に貫入させる。

⑤ 鉛直荷重の設定

鉛直荷重 W1 をロッド方向に対して載荷する。

⑥ ベーンコーンの回転とトルク測定

ベーンコーンおよびロッドをトルクレンチでほぼ一定速度 1/sec 程度でゆっくりと回転させてそのときの最大トルク T1 を求める。

⑦ ベーンコーンの抜き取りとベーンコーンの異常の有無の確認

ベーンコーンを抜き取ってベーンコーンの異常の有無（羽根の変形や脱落の有無など）を確認する。

⑧ 特記事項の記載

ベーンコーンに付着している土質の記載やその他特記事項(途中で引っかかりがあったなど)を記載する。

⑨　鉛直荷重を変えて④から⑧の繰り返し

鉛直荷重をW2～Wnまで変えて試験を繰り返し、T2～Tnを得る。なお、一度せん断された場所は試験に不適なので、数cm程度やや深い深度に位置を再設定してせん断を行う。

９．ベーンコーンせん断試験の結果の整理

９．１　粘着力および内部摩擦角の整理

粘着力と内部摩擦角の整理方法については次の方法があるが、下記の①による方法は、内部摩擦角と粘着力の相対的な比較のための値であり参考程度とし、現地の粘着力および内部摩擦角は、基本的に②の手法によるものとする。

① 経験式法

以下の経験式により鉛直応力とせん断応力を求め、横軸を鉛直応力、縦軸をせん断応力としたグラフを作成して測定点毎に回帰式を求め、「経験式による粘着力」c_{dk}'「経験式による内部摩擦角」ϕ_{dk}'を求める方法。

$$\sigma \fallingdotseq 2.4\times10^{2}\ Wvc \quad (N/m^2) \qquad (1)$$

$$\tau \fallingdotseq 1.5\times10^{4}\ Tvc \quad (N/m^2) \qquad (2)$$

ここに、

Wvc：ベーンコーンにかかる鉛直荷重 (N)

Tvc：ベーンコーンにかかるトルク　(N・m)

なお、Wvc および Tvc は、

$$Wvc=W_N+(m_0+nm_1)g \quad (N/m^2)$$

$$Tvc=T_N-T_0 \quad (N\cdot m)$$

であり、ここに、

To：先端コーンで Wc=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)

W_N：荷重計の読み値　(N)

m_0：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/s^2)

② 相関式法

横軸を Wvc（ベーンコーンにかかる鉛直荷重)、縦軸を Tvc（ベーンコーンにかかるトルク）としたグラフを作成し、測定点(土質)ごとにその回帰式のＹ切片(粘着力に比例)と近似直線の傾き(内部摩擦角φの tanφに比例)を作成し、さらに幾つかの地点で室内強度試験(一面せん断試験や三軸圧縮試験)を実施してｃφを求め、両者の比較から相関式を作成して求める方法。その場合の「粘着力」をc_{dk}、「内部摩擦角」をϕ_{dk}とする。

【解説】

ベーンコーンせん断試験は、実際の試験例や、三軸圧縮試験や一面せん断試験との対比例も少ないため、粘着力および内部摩擦角の算出方法は確立されていない。しかし、これまでの結果から、以下の二つの算出方法を提示する。なお、これらの算出法のうち特に経験式法は、今後データの蓄積とともに変更されるべき性質のものであることを断っておく。

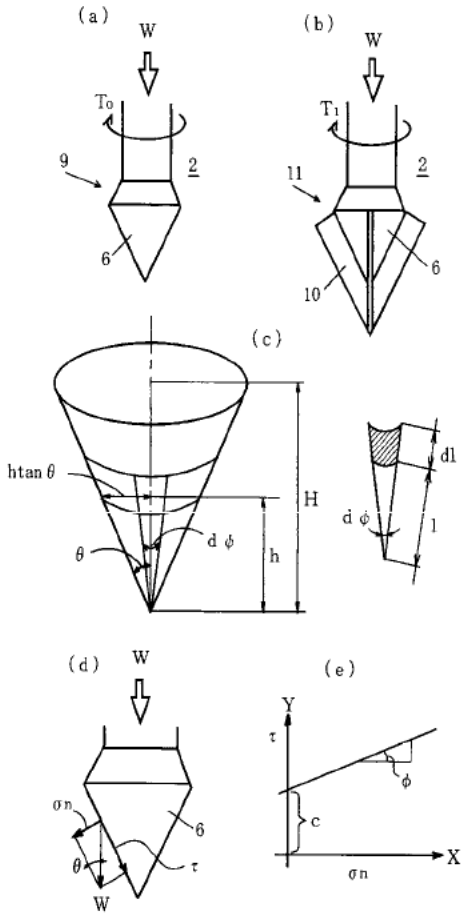


図９　１　　理論解の概念図と符号

① 経験式法

ベーンコーンがせん断する場合、ベーンの下半部のみでせん断が行われる(ベーンの上部は短く、鉛直応力も生じないので無視する)と仮定すると、理論解による「仮せん断応力」 τ_{dk}'、「仮鉛直応力」 σ_{dk}' は次のとおりである。

$$\tau_{dk}' = 3(T_N - T_0)\cos^3\theta \ / \ 2\pi H^3 \sin^2\theta \quad (N/m^2)$$

$$\sigma_{dk}' = \{W_N + (m_0 + nm_1)g\}\cos^2\theta \ / \ \pi H^2 \quad (N/m^2)$$

ここに、

T_0：先端コーンで $W_c=0$(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

W_N：荷重計の読み値　　(N)

m_0：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)

なお、マニュアルの(１)式および（２）式において、

$$W_{vc} = W_N + (m_0 + nm_1)g$$

$$T_{vc} = T_N - T_0$$

である。

通常ならば、この理論解を用いて、鉛直応力を横軸に、せん断応力を縦軸にしたグラフを作成し、複数の鉛直応力ならびにせん断応力の組合せから回帰直線を求めたうえで、粘着力と内部摩擦角を算定すればよい。

しかし、このような理論解は仮定の上のものであり、例えば以下のような問題がある。

まず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。このため、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。この点を割り引く必要がある。この割引率は羽根の幅によって異なるが、試算によると今回の標準的なベーンの大きさの場合、理論解で算出された粘着力の30%程度を差し引く必要がある。また、ベーンの幅が大きくなるほど割引率は大きくなる。

また、理論解では荷重 W のせん断面に対するコーン先端方向のせん断応力成分を考慮していないが、実際には、回転方向のせん断成分とともにコーン先端方向のせん断成分との合成成分が土層のせん断に関わっていると考えられる。その結果、せん断にともないベーンコーンが鉛直方向に沈下していく現象を、この理論式では表現できないものとなっている。このような現象を考慮すると、ベーンコーン周辺には上記の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。この点も、見かけ上、土のせん断強度を危険側に算定してしまう要素である。このような仮定が測定値にどの程度の影響を及ぼすか不明な点があり、理論解の値をそのまま用いることはできない。

そこで今回、わずかな試料ではあるが、不飽和試料による室内一面せん断試験との関係を調査したところ、室内一面せん断試験による粘着力 c は理論解の２割程度、室内一面せん断試験による tanφ は理論解の３割程度に過ぎなかった。このことから、理論解の中の数値を割引して、経験式法の(1)式ならびに(2)式を算出した。ただし、この経験式は今後数を増やして正確な数値にしていく必要がある。

②相関式法

相関式による「粘着力」 c_{dk}、ならびに「内部摩擦角」 ϕ_{dk} の求め方は以下のとおりである。

相関式法は、横軸に Wvc、縦軸に Tvc をとって、測定点毎に回帰式を作成する。この際の測定値は一土質につき４点以上とする。この Y 切片(初期回転トルク。粘着力に比例)と近似式の傾き（内部摩擦角に比例）を算出し、この数値と、ベーンコーンせん断試験の箇所と同一個所からサンプリングした複数の試料を用いて室内一面せん断試験などで求めた c および φ との間で、初期回転トルクと c、近似式の傾きと φ との相関式を求

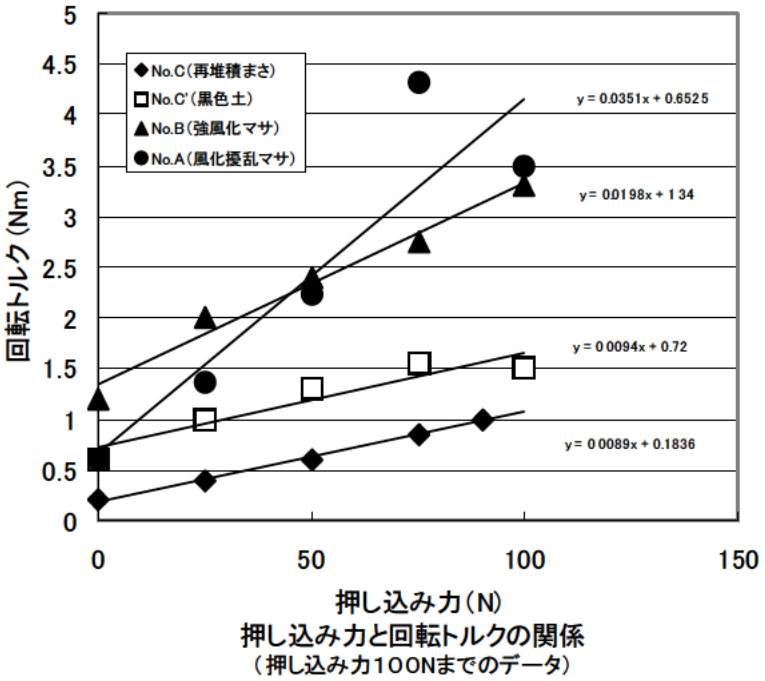


図９　２　ベーンコーンせん断試験による押し込み力と回転トルクの関係の例

め、この相関式によって室内一面せん断試験を実施していない箇所についての「粘着力」c_{dk}、「内部摩擦角」ϕ_{dk}を求めるものである。

相関法については、参考としてあるテストフィールドでの試験例を以下に示す。

図９　２は、ある斜面で３箇所のトレンチを掘削し、４種類（マサが３種類、埋没古土壌からなるしまった黒色土が１種類）の土質に対してトレンチ内で水平方向にベーンコーンせん断試験を行った結果である(一試料については三軸圧縮試験未実施)。水平方向に載荷しているのでロッドやコーンの重量を加算する必要はなく、横軸に、押し込み荷重（Wvc に相当)、縦軸に回転トルク（Tvc に相当）そのものを示した。また、試験時のロッドの長さは50cm 以内(土中に貫入している部分はおおよそ 20～30cm)であったのでロッドの周面摩擦（T_0）も考慮する必要がなかった。したがってこの場合の近似直線のY 切片(初期回転トルク)が粘着力に、また近似直線の傾きが内部摩擦角に直接比

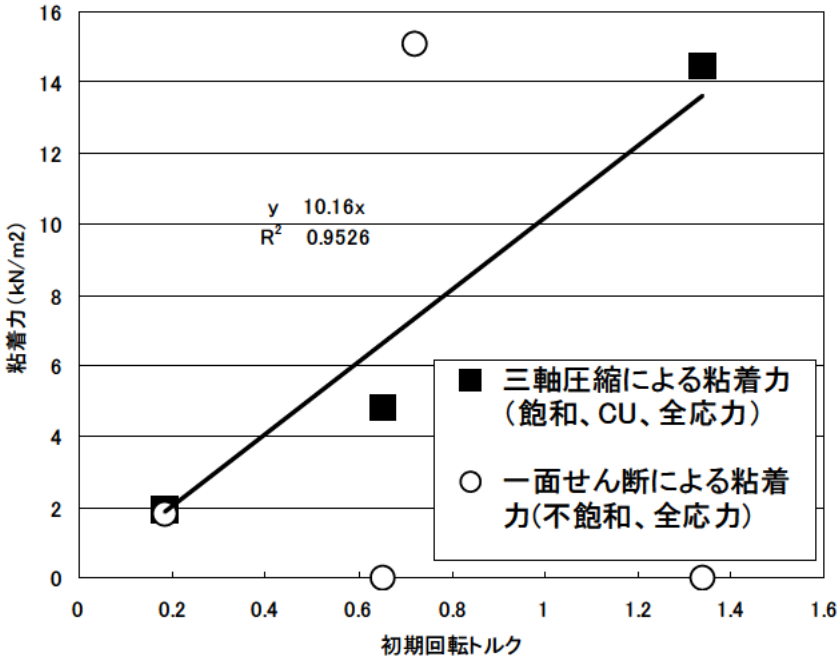


図９　３　　ベーンコーンせん断試験による初期回転トルクと室内強度試験による粘着力の関係

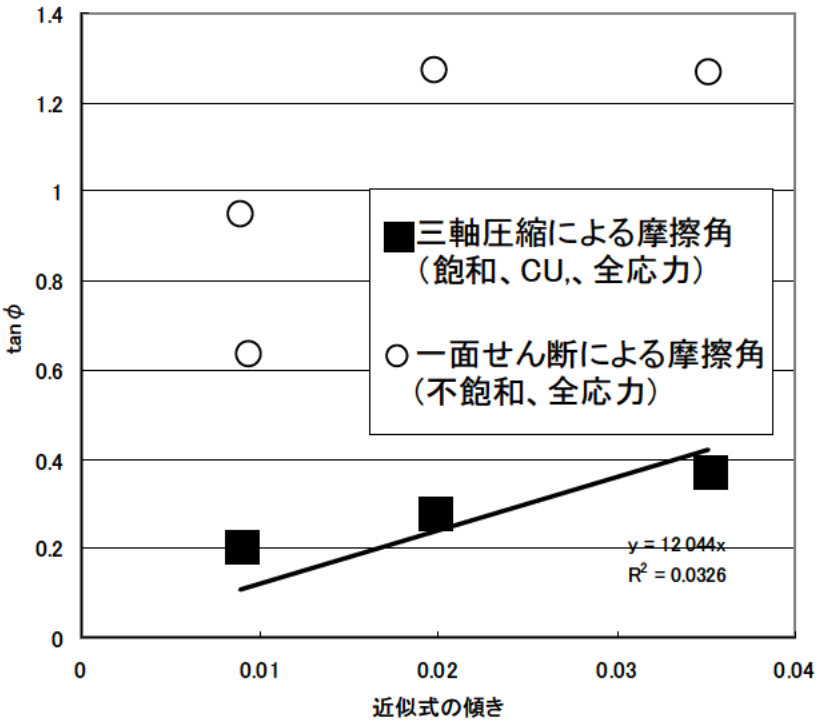


図９　４　ベーンコーンせん断試験による近似式の傾きと室内強度試験による内部摩擦角の関係

例する。

これらの試料に対し、同じ個所で室内三軸圧縮試験（CU 法、飽和）ならびに室内一面せん断(圧密定体積法、現位置含水状態)を行い、粘着力と内部摩擦角それぞれを比較したのが図９　３および図９　４である。ベーンコーンせん断試験は現位置不飽和状態、室内三軸圧縮試験は飽和状態で行っているので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。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。本来ならば三軸圧縮試験との対比結果よりも一面せん断試験との対比の結果の方が試料の含水状態が同じであるため相関性が高いと考えられるが、この試料の多くは礫まじりのマサであったため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ばらついており(そのため便宜的に粘着力を０とした試料が２試料ある)、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。

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を知りたい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を同図に示した。この結果、以下のような近似式が得られた。

$$c = 10.16 \cdot Y_0 \qquad (1) \qquad \text{(参考式)}$$

$$\tan\phi \quad 12.04 \cdot X \qquad (2) \qquad \text{(参考式)}$$

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

である。

この式はあくまでもこのテストフィールドでの参考式であることに注意する必要がある。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、とりわけ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。

なお、表９　１にベーンコーンせん断試験のデータシートを示す。

表９ １　ベーンコーンせん断試験のデータシートの例

ベ ー ン コ ー ン せ ん 断 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）	

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)
ベーンコーン羽根高 H (m)	回転速度°/分	試験深度 (m)

測定深 (m)	T0	n	W_N	T_N	Wvc	Tvc	記　事	グラフなど
								①経験式法
								τ　1.5×10^4Tvc　(N/m²)
								σ　2.4×10^2 Wvc　(N/m²)
								τ
								σ　c_{dk}'
								ϕ_{dk}'
								②相関式法
								Tvc
								Wvc
								Y 切片
								近似直線の傾き
								c_{dk}　(別途相関式による)
								ϕ_{dk}　(別途相関式による)

特記事項

$Wvc=W_N+(m_0+nm_1)/9.81$　　$Tvc=T_N-T_0$

９．２　その他の整理

必要に応じて併せて実施した土検棒貫入試験の結果や、試験時の感触に基づく、大まかな土質、ならびに土層と基盤の境界付近の性状などを整理する。

【解説】

ベーンコーンせん断試験試験個所においては、土検棒貫入試験などを併せて実施しておくことが望ましい。必要に応じてこのような情報についても整理する。

１０．ベーンコーンせん断試験の結果のとりまとめ

１０．ベーンコーンせん断試験の結果のとりまとめ

ベーンコーンせん断試験結果については、次の事項を報告する。

⑨ 測定方法（本マニュアル案と部分的に異なる方法を用いた場合には、その内容）

⑩ 地点番号および位置

⑪ 地盤高

⑫ 試験日

⑬ 試験機の仕様

⑭ せん断強度の測定記録および計算表

⑮ 算出した粘着力や内部摩擦角など

⑯ その他特記すべき事項

【解説】

ベーンコーンせん断試験の結果は、上記のような項目がわかるように要領よくとりまとめる。

本試験法に関連する文献

1) 佐々木靖人、ニコライ・ドブレフ、品川俊介、大谷知生(2001) : 表層崩壊はどこから起こるか　1999 年広島豪雨災害を例に　，平成 13 年度応用地質学会講演論文集，pp.259 -262.

2) 佐々木靖人、柴田光博、福田徹也、片山弘憲(2002) : 斜面の土層深とせん断強度の簡易試験法の開発，平成 14 年度応用地質学会講演論文集，pp. pp.359-362.

3)佐々木靖人(2003) : 土層深と土層強度の簡易測定技術による斜面崩壊危険箇所の抽出,土木技術資料,Vol.45, No.1,pp.6-7.

4) Yasuhito SASAKI,(2008) : Hazard mapping of shallow landslides by a new cone-penetration test measurement, the 33rd International Geological Congress Abstract (CD-ROM).

5) Yasuhito SASAKI (2008) : Hazard mapping of shallow landslides by a newly developed cone penetration test, 2008 Int. Joint Symp. NIRE, CERI and IEGS – Studies on Survey and Evaluation Technologies of Underground Environment, pp.B26-30.

6) 佐々木靖人(2010) : 斜面の表土分布とその斜面表層崩壊における役割,日本地球惑星科学連合 2010 年大会予稿集,HDS021-05..

おわりに

本試験法は、斜面の不均質性を明らかにしてきめ細かな防災や環境保全等に資することを目的とするものであるが、まだ発展途上の技術である。今後多くの分野の方に利用していただき、使用した結果のご意見を頂ければ幸いである。とくに現地のデータが不足しており、特に他の貫入試験との関係、三軸圧縮試験や一面せん断試験などとの関係（予測式）などについてはさらにデータ蓄積が必要である。本試験法を実施された方で、異なるデータ間の対比を行われた方について、是非データの提供をお願いする次第である。

本試験法の開発全般においては、脇坂安彦地質監に大変お世話になった。データ取得においては、土木研究所地質チームの研究員、交流研究員、およびJSPSフェローの方々のお世話になった。国道事務所には現地の提供をいただいた。ダム事務所には、一部データの提供をいただいた。特許の取得においては、土木研究所技術推進本部のお世話になった。特に機関名、氏名はあげないが、これらの方々に深く感謝する次第である。

なお、本機器は、平成２２年７月現在、（有）鈴木理化商会が本機器の製作許可を取り市販しているが、本機器の技術的な問い合わせについては土木研究所地質チームに連絡されたい。

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4176 July 2010

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所 企画部 業務課
〒305－8516 茨城県つくば市南原1－6 電話029－879－6754