

# 太田ジオ 土検棒ユーザー ノウハウ集

【アンケート】土層強度検査棒ノウハウ事例

回答者（会員名） 有限会社太田ジオリサーチ

(1) : 名称（ノウハウの名称を記入してください）
初期トルクの精密計測方法
(2) : 対象となる試験名
土層強度検査棒の対象となる試験名について該当するものに○を付けてください。 その他の場合は、試験名の記入をお願いします。
限界貫入深度試験／貫入強度試験 <input checked="" type="radio"/> ベーンコーンせん断試験 <input type="radio"/> その他 ( )
(3) ノウハウの概要（目的・方法・効果）
<p>①目的 初期トルクは、粘着力cの値に大きな影響を与える。標準のトルク計（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ため、より精度の高いトルク計で計測する。</p> <p>②方法 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て、上載荷重がゼロのトルクを精密に計測する。</p> <p>③効果 標準のトルク計では、目盛のないところを読む必要がある場合がしばしばあるが、このトルク計を用いることで、正確にトルクを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。</p>
【図表類】
 <p>軟弱地盤で粘着力計測のために用いる「ハンドベーン試験器」。このトルク計を、土層強度検査棒に用いることで正確なトルク計測ができる。</p>
 <p>東日製作所 トルクドライバ トルク調整範囲 30～200cN・m</p> <p>注文コード 02467604 品番 FTD200CN2-S</p> <p>販売価格(税別) ¥17,900</p>
 <p>トルクドライバ</p> <p>ソケット 高ナット</p>
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。

【アンケート】土層強度検査棒ノウハウ事例

回答者（会員名） 有限会社太田ジオリサーチ

(1) : 名称（ノウハウの名称を記入してください）	
アースドリルを用いたロッドと孔壁のフリクションカット	
(2) : 対象となる試験名	
土層強度検査棒の対象となる試験名について該当するものに○を付けてください。 その他の場合は、試験名の記入をお願いします。	
限界貫入深度試験／貫入強度試験 <input checked="" type="radio"/> ベーンコーンせん断試験 <input type="radio"/> その他（                      ）	
(3) ノウハウの概要（目的・方法・効果）	
<p>①目的 ベーンコーンせん断試験を行う際に、ロッドと孔壁の摩擦 <math>T_0</math> を補正する必要がある。しかし、<math>T_0</math> は微小量であり、標準のトルク計（CDB7N4X8D-S; 0.7~7N・m）では目盛のないところを読み取る必要が生じる。載荷荷重 0 の時の計測値は、粘着力 <math>c</math> を得るためには精度に大きく関係してくる。摩擦補正を不要にして計測精度向上（特に粘着力 <math>c</math>）を実現する。</p> <p>②方法 あらかじめアースドリルで <math>\phi 35\text{mm}</math> 程度の穴を開け、その中でベーンコーンせん断試験を実施する。</p> <p>③効果 ロッドと孔壁の摩擦 <math>T_0=0</math> となるので、補正する必要がなくなる。ただし、アースドリルで削孔できる深さが 50cm 程度なので、深部の試験には適用できない。また、アースドリルで採取された土で、土質の判定もできる。</p>	
<p>スターエム ハウス用アースドリル(両溝型) ドリル径 35<math>\phi</math> mm 全長 600mm、軸径 10<math>\phi</math>mm 注文コード 75808196 品番 31B-350 販売価格(税別) <b>¥6,990</b></p>	<p>スターエム アースドリル園芸用ハンドル 取扱終了 注文コード 75804635 品番 30-H 内容量 1本 参考基準価格(税別) ¥1,860 No.30 アースドリル園芸用のハンドルです。 大変申し訳ございませんが、この商品は取り扱いを終了いたしました。</p>
<p>【図表類】 注意)ハンドルは現在取扱終了となっているので、類似品を探してください。(ナットでドリルと固定するタイプは、ネジが緩みやすいのでプライヤーを使って占めてください) アースドリルは「両溝型」を使用していますが、方溝型との比較をしていますが、ご注意ください。</p>	
	

削孔し、土質を観察し、ベーンコーンせん断試験を行う手順



なお、このアースドリルを用いる方法では、地表下 50cm 程度の孔をあけるのが限界である。深部の試験を行いたい場合には、スウェーデン式サウンディング (SS) 試験で下穴を開ける方法がある。簡易動的コーン貫入試験では、孔の径が小さくてベーンコーンが入りづらいので、あまり適していない。



SS 試験を用いる場合には、一度最深部まで試験を行い、試験実施深度を決定した後、別孔で再度その深度まで SS 試験を行い、土層強度検査棒ベーンコーンせん断試験を行う。この方法を用いれば、同じ試験孔であらかじめ予定した複数深度で、同試験を実施することができる。

【アンケート】土層強度検査棒ノウハウ事例

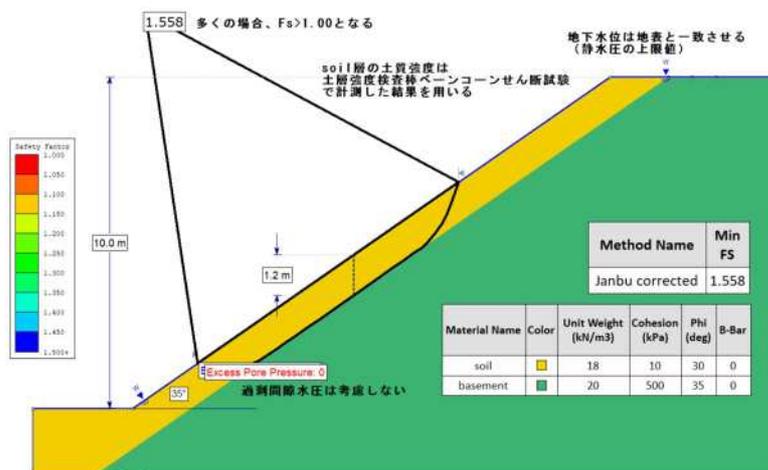
回答者（会員名） 有限会社太田ジオリサーチ

(1) : 名称（ノウハウの名称を記入してください）
崩壊時の水圧の再現方法
(2) : 対象となる試験名
土層強度検査棒の対象となる試験名について該当するものに○を付けてください。 その他の場合は、試験名の記入をお願いします。
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 <input checked="" type="radio"/> その他（安定計算）
(3) ノウハウの概要（目的・方法・効果）
<p>①目的</p> <p>記録的豪雨時に発生した崩壊地の調査において、崩壊の瞬間の再現を行う。土層の強度定数等を土層強度検査棒ベーンコーンせん断試験で得、崩壊形状等は地形情報から得ることにより、未知数は水圧のみとなる。安全率 <math>F_s</math> が 1.00 を下回る瞬間の水圧を再現することを目的とする。</p> <p>②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 <math>c=10\text{kN/m}^2</math> 前後ある場合には、最小安全率が <math>F_s &gt; 1.00</math> 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られる。</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 <math>\gamma_w \times</math> 比高 <math>\Delta h \times</math> 過剰間隙水圧比 <math>B\text{-bar}</math> の過剰間隙水圧が発生すると考える。</p> <p><math>F_s &lt; 1.00</math> となる過剰間隙水圧比 <math>B\text{-bar}</math> 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>③効果</p> <p>崩壊時の力学条件を再現すれば、効果的な対策工の開発や設計が可能となる。</p>

【図表類】

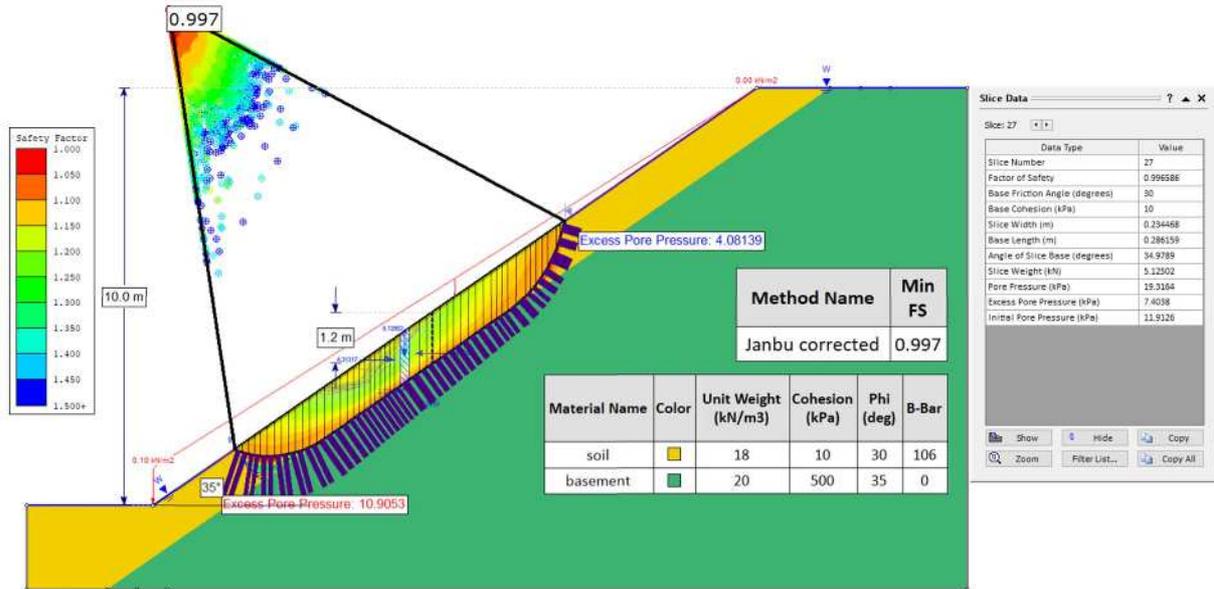
Rocscience 社の Slide2018<sup>1)</sup> を用いて計算する事例を示す。

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。



表層土層の粘着力が  $10\text{kN/m}^2$  前後あると、崩壊を再現した計算で、安全率  $F_s$  が 1.00 を下回らないことが多い。このことは、静水圧以外の水圧が存在しているためであり、それはソイルパイプ（ミズミチ）が飽和することにより発生する過剰間隙水圧と考えることができる。

①第二段階：比高 $\Delta h$ に比例する過剰間隙水圧を設定して、過剰間隙水圧比 B-bar を逆算する。



比高 $\Delta h$ 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 $\Delta h$ ×水の単位体積重量 $\gamma_w$ ×過剰間隙水圧比 B-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、計算上のテクニックとして、上載荷重 $\Delta h$ × $\gamma_w$ を1/1000とし、過剰間隙水圧比 B-bar を1000倍することで上載荷重の影響を取り除く。

上記の図の事例では、 $H=10\text{m}$ の崖なので、上載荷重を最上部が $0\text{kN/m}^2$ 、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 $0.10\text{kN/m}^2$ となっている）の三角形分布とする。過剰間隙水圧比 B-bar=0.106の場合、計算上は、過剰間隙水圧比 B-bar=0.106×1000=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。

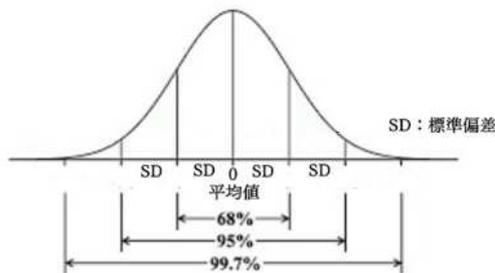
その他、重要な設定を下に示す。

1) <https://www.roscience.com/software/slide2>

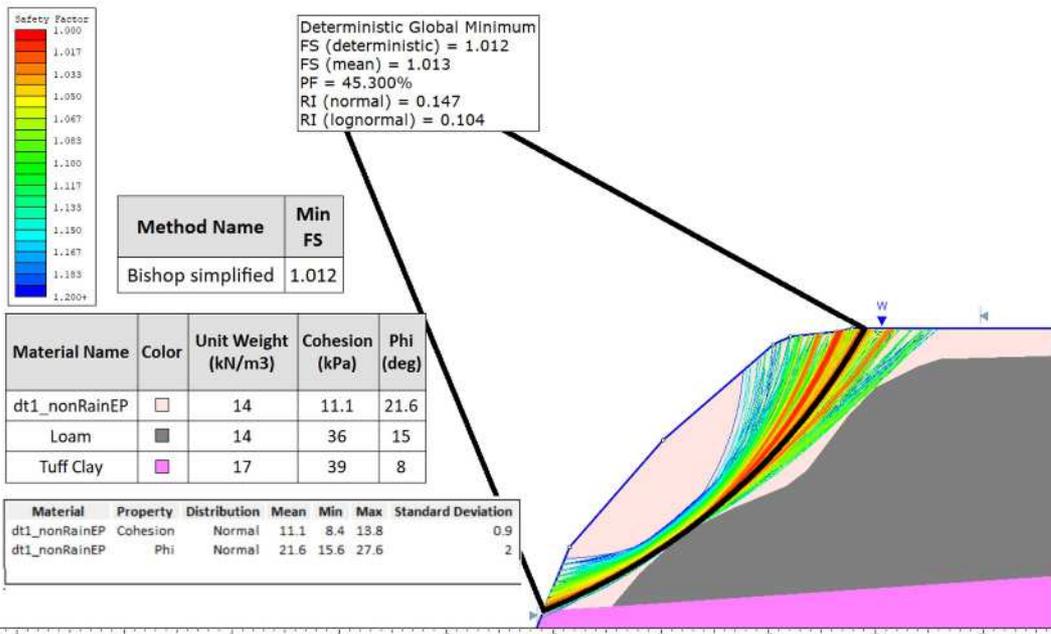
【アンケート】土層強度検査棒ノウハウ事例

回答者（会員名） 有限会社太田ジオリサーチ

<p>(1)：名称（ノウハウの名称を記入してください）</p>
<p>土検棒ベーン試験で得られた実測値を用いた確率論的安定計算方法</p>
<p>(2)：対象となる試験名</p>
<p>土層強度検査棒の対象となる試験名について該当するものに○を付けてください。 その他の場合は、試験名の記入をお願いします。</p> <p>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 <input checked="" type="radio"/> その他（安定計算）</p>
<p>(3) ノウハウの概要（目的・方法・効果）</p>
<p>①目的 土検棒ベーン試験では、土質強度（<math>c \cdot \phi</math>）が短時間で計測できるため、数回の試験を行い、土質強度のバラツキを得ることができる。そのバラツキを用いて、安全率 <math>F_s=1.00</math> を閾値とした確率解析により、斜面の崩壊確率 PF を計算することができる。</p> <p>②方法 土検棒ベーン試験では、粘着力 <math>c</math>、内部摩擦角 <math>\phi</math> について、①平均値、②標準偏差 <math>\sigma</math> が得られる。平均値を中心にして、正規分布の確率で <math>3 \times \sigma</math> 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、<math>F_s=1.00</math> なので、1000 回の計算結果のうち、<math>F_s &lt; 1.00</math> となる頻度を「崩壊確率 PF」とする。</p> <p>③効果 公共事業では確定論的安全率 <math>F_s</math> と、計画安全率 <math>F_{sp}</math> で対策工の設計が行われる。計画安全率は「経験的に定められた」とされているが、その値の設定に関する公表された論理的資料は存在しない。このことは、非公共事業の斜面安全性評価では説明に窮することにつながる。</p> <p>極限平衡法では、安全率 <math>F_s=1.00</math> 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 <math>F_s &lt; 1.00</math> 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> <p>また、土質強度は標準偏差の 3 倍の幅で変化させているが、左図に示すように、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 <math>PF=0\%</math> と計算上出たとしても、<math>0.3 \div 2 = 0.15\%</math> 程度の崩壊確率が残存していることになる。</p> <p>土砂災害警戒区域の斜面对策（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、崩壊する場面があることを想定していることを意味する。</p> <p>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「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。</p>

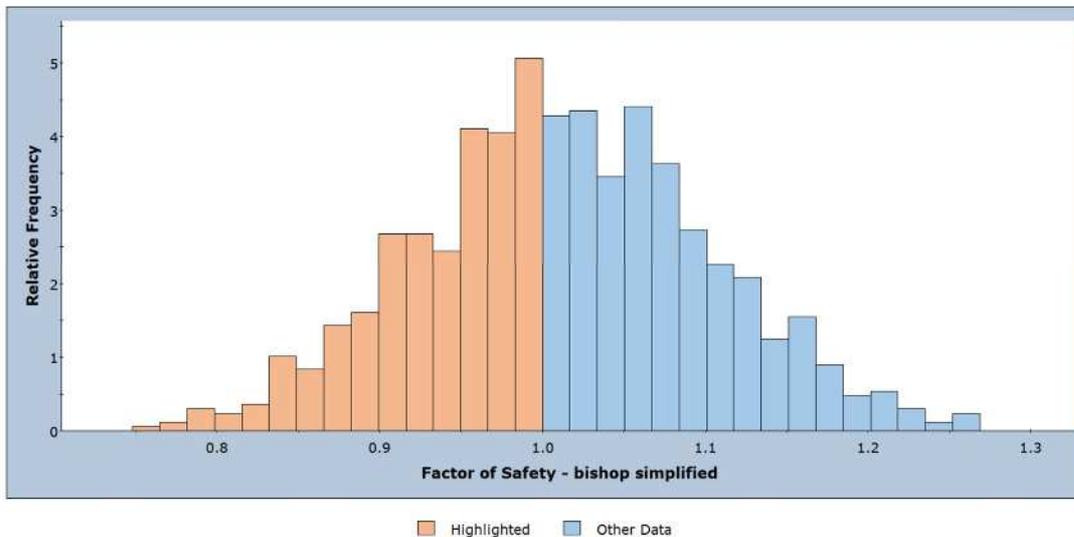


【図表類】



確率解析では、確定論的安全率(ばらつきを考慮しない計算値)と、確率論的平均安全率が計算され、 $F_s < 1.00$  となる頻度が崩壊確率 PF (%) として計算される。RI は信頼性指数という指標であるが、説明は省略する。上図の例では、1000 回計算した結果の平均が  $F_s = 1.013$  で、個別計算で  $F_s < 1.00$  となった確率が 45.3% ということを示している。

Highlighted Data = Factor of Safety - bishop simplified < 1 (453 points)



上図は、1000 回のバラツキを考慮した個別計算で算出された安全率  $F_s$  のヒストグラムである。オレンジ色は  $F_s < 1.00$  となった頻度を示す。1000 回の計算のうち、 $F_s < 1.00$  となった頻度が 453 回だったので、崩壊確率は  $PF = 453 \div 1000 = 45.3\%$  となる。

なお、この計算は Rocscience 社の Slide2018<sup>1)</sup> を用いて実施した。計算方法については太田ほか (2017)<sup>2)</sup> を参照。

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