

■地すべり調査におけるTips —現場の問題解決のための工夫例—

Tips on landslide investigation —Approaches to solve on-site problems—

片山直樹\* Naoki KATAYAMA / (株)日本海技術コンサルタント Nihonkai Technical Consultants Co., Ltd.

キーワード：水位観測孔，間隙水圧，部分ストレーナ管，ボアホールカメラ，全天球カメラ，土壌硬度計

Key words: Borehole for water level observation, Pore water pressure, Partial strainer pipe, Borehole camera, Omnidirectional camera, Soil hardness tester

1. はじめに

わが国における科学的な地すべり調査は、「地すべり」という用語とその概念が確立する前の1900年～1903年に、岡田英男らによる調査から始まったとされる<sup>1)</sup>。その後、柵口地すべり災害（1947年）を契機とした地すべり調査の公共事業化や地すべり等防止法の制定（1958年）などにより、地すべり対策事業で扱える予算額が大幅に増え、それにともない地すべり調査技術も大きく発展してきた。また、新潟県や長野県、富山県、徳島県などの地すべり先進県では、独自の工夫や創造による地すべり調査技術の開発が活発に行われ、その知見が全国に広まることで、わが国の地すべり調査技術の底上げがなされた。

地すべりに関わる技術者や研究者たちの今日までの努力の結果から、現在では各省庁や都道府県では地すべり調査に関する技術指針が整備されており、わが国の地すべり調査は標準化されたといえよう。

ひとたび標準化されると、そこからの逸脱が許され難しくなり、工夫や創造への挑戦の芽を摘むことにもつながってしまう。しかし、地中の複雑な地質や土質を扱う地すべり調査技術は完成されるようなものではなく、これからも工夫し進歩させる必要があり、また、その過程にこそ技術者としての面白さがあるように思う。

ここでは、標準化された地すべり調査技術からは少し外れる方法ではあるが、有用と考える3つのちょっとした工夫（Tips）を紹介する。

2. 一孔で二深度の間隙水圧測定が可能な水位観測孔

2.1 すべり面間隙水圧測定の実状

すべり面の間隙水圧を適切に測定するには、地盤の水理構造を考慮し適切に仕上げた観測孔が必要である<sup>2)</sup>。例えば、地すべり移動層内に複数の帯水層や逸水層が存在する場合、それらをボーリングで貫き仕上げたオールストレーナ管の孔内水位は、多くのノイズが混ざり合った水位、すなわち“狂水面”<sup>3)</sup>となり、その水位がもつ物理的意味は失われる（図-1）。そして、このような水位データでは、地すべり安定解析を適切に行うことはできない。

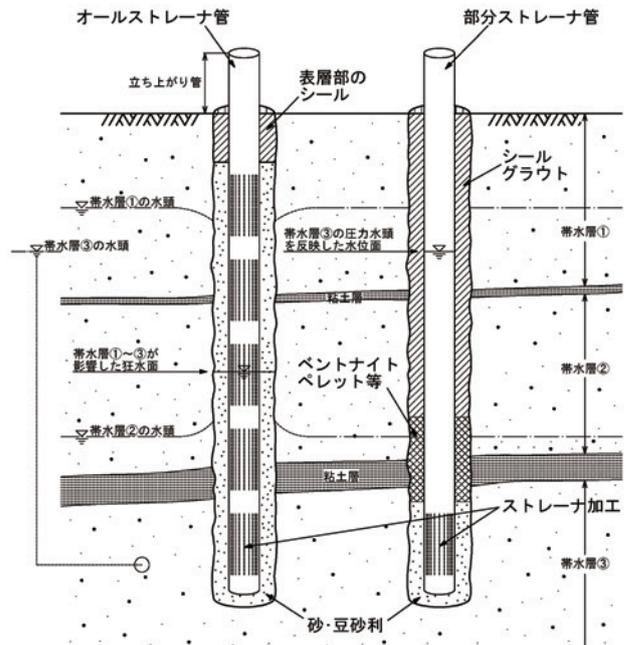


図-1 オールストレーナ管と部分ストレーナ管による水位観測孔の模式図

この問題を避けるため、すべり面間隙水圧の測定は埋設型間隙水圧計による方法や、部分ストレーナ管を利用する場合が多い。埋設型間隙水圧計は、目的とする深度に水圧センサを埋設し、すべり面間隙水圧を直接的に測定するため良好なデータが得られるが、設置作業が難しく、埋設後の点検や回収が不可能であるなどの欠点がある<sup>4)</sup>。また、水圧センサの再利用ができないため観測にかかる費用は高額となる。

一方、部分ストレーナ管による水位観測孔は、目的とする深度にストレーナ区間を限定した水位観測孔である。この構造はピエゾメータ（Piezometer）とも呼ばれ<sup>5)</sup>、孔内水位はすべり面間隙水圧に相当する水頭を表すため、観測水位から間隙水圧を把握することができる。また、埋設型間隙水圧計と比べ観測孔の設置は容易であり、設置した水圧センサの回収や点検、再利用も可能なため設置および観測の費用を抑えることができる。

しかしながら、国内の地すべり調査における水位観測孔は、依然としてオールストレーナ管による観測が普及している。この主な要因として「①部分ストレーナ孔を

\* 連絡著者 / corresponding author  
〒699-0403 島根県松江市宍道町西来待2570-1  
2570-1, Nishikimachi, Shinji-cho, Matsue-City, Shimane Pref. 699-0403, Japan

計画・設置する標準的な手法が示されていないこと、②オールストレーナ孔と比較すると設置が難しいこと<sup>6)</sup>などが挙げられている。

近年では、多深度の間隙水圧測定が可能な手法（例えば奥山ら<sup>7)</sup>、太田ら<sup>8)</sup>など）が開発されているが、これらの手法についても施工難易度は高く、また設置費用も高額となるなどの要因から広く普及していないものと思われる。

このような現状を踏まえ、安価で簡便な水位観測孔として、1本のボーリング孔で2深度のすべり面間隙水圧測定が可能な水位観測孔を設置した事例を紹介する。

## 2.2 すべり面に作用する間隙水圧の形態

紹介するボーリング孔では、ボーリングコアの状態等からすべり面がGL-25.4m (=A面)とGL-61.4m (=B面)に想定されたことから、2深度での間隙水圧測定を計画した。

地質は、GL-25.4mまでは礫質土主体の崩積土、それ以深は砂岩泥質岩互層の軟岩であった。

崩積土は砂岩や泥質岩の礫や岩塊を不均質に含み、隙間は砂質土が充填するが緩く、空隙が比較的多く認められた。このため、崩積土内の地下水は、連続した空隙を水みちとするパイプフローとして流下するものと考えられた。ただし、空隙が多いことから複数の水みちは網状に連結することが想定され、また、その大半は地表に開放され大気と接するであろうことから、不圧水と考えられた。これらのことから、網目状に存在する水みちを流れる地下水が互いに影響し合い、合成された位置水頭が間隙水圧としてA面に作用すると考えられた。したがって、合成された位置水頭はA面を基準面とする平均水位とみなすことができる。すなわち、自由地下水位に相当する。このため、A面に作用する間隙水圧は、A面を底としたオールストレーナ孔による水位観測孔でも測定可能と判断した。

一方、B面が内在する砂岩泥質岩互層は、ボーリングコアにおいて5cm~30cm程度の間隔でヘアクラックや開口亀裂が認められた。とくに泥質岩の部分は礫状破碎する箇所も多く、A面からB面に至るまでの区間のRQD (Rock Quality Designation) は0~32%と低い状態であった。このため、岩盤内の地下水は、これらの亀裂や破碎部を伝う裂隙水として存在し、B面に接続された裂隙水による全水頭がすべり面間隙水圧として作用するものと考えられた。

したがって、オールストレーナ孔では、すべり面に接続されない裂隙水の流入や岩盤亀裂からの逸水の影響を受けることがあるため、B面の間隙水圧を測定できない場合がある。適切な間隙水圧を捉えるためには、すべり面B面付近のみに開口部を設けた部分ストレーナ孔とする必要がある。

以上のように、2深度のすべり面の間隙水圧を測定するには、それぞれ異なる構造の孔仕上げが求められた。

## 2.3 水位観測孔の基本構造

安価な水位観測孔とするため、ボーリング孔は1本とし、その孔内に2本の観測パイプ(A面：オールストレーナ管、B面：部分ストレーナ管)を設置することを基本構造とした。このため、設置するパイプは小径のものを選択し、硬質塩化ビニル管VP30(外径φ38mm、内径φ31mm)とした。孔内水位観測用の水圧センサの多くは外径25mm前後のため、孔内へのセンサ設置は可能である。ただし、より大径のゾンデの挿入が必要となる地下水検層は実施できない。なお、観測孔設置時の支障となるパイプ凸部を無くすため、継手はネジ加工とした。

部分ストレーナ管は、B面付近のみをストレーナとし、その上部を遮水する必要があった。このため、遮水区間の上下端をパッカーで止水した後、パッカー間をグラウト(セメントミルク)で充填することで完全に遮水し、すべり面以外の地下水が観測孔に流入しない構造とした。これにより、すべり面の間隙水圧に相当する水位が孔内水位として観測することが可能となる。

このとき、上パッカーをA面直下に設置することで、崩積土内の地下水が岩盤内に逸水することを防止し、A面に作用する間隙水圧相当の地下水位を、オールストレーナ管の孔内水位として観測できる。

図-2に、設置した観測孔の構造模式図を示す。

## 2.4 施工の準備と手順

本事例の水位観測孔の施工の準備と手順を以下に示す。

### ①. パイプ等資材の準備

オールストレーナ管はA面まで、部分ストレーナ管はB面までの深度分のVP管を準備する。なお、地上部の立ち上がり管は別途準備する。

部分ストレーナ管のストレーナ区間長は、B面付近のボーリングコアの状態から判断した。ここでは、B面より上部70cm程度の範囲で岩盤亀裂が密で礫状破碎することを確認したことから、すべり面から破碎部にかけての間隙水圧は同等と考えられた。このため、部分ストレーナ管は余裕を含め1mとし、ストレーナ区間はGL-60.4m~61.4mとした。

また、部分ストレーナ管の遮水区間は、上端はA面直下、下端はストレーナ直上とするため、GL-25.4mからGL-60.4mまでの35.0m区間にグラウトを行うこととし、この区間の上下端にパッカーを設置する計画とした。

ここではパッカー長は1mとした。ただし、顕著な開口亀裂がパッカー直近に認められる場合は、その亀裂を含む範囲をパッカーとするなど、長さの検討が必要である。

グラウトの注入ホースについては、パッカー用が各1本ずつ、遮水範囲への注入用およびリターン確認用がそれぞれ1本、計4本のホースとした。ホースは、パッカー用を扁平なフラットパイプ(幅27mm×高さ10mm)とし、遮水区間注入用とリターン確認用をポリエチレンパイプ(外径φ27mm)とした。

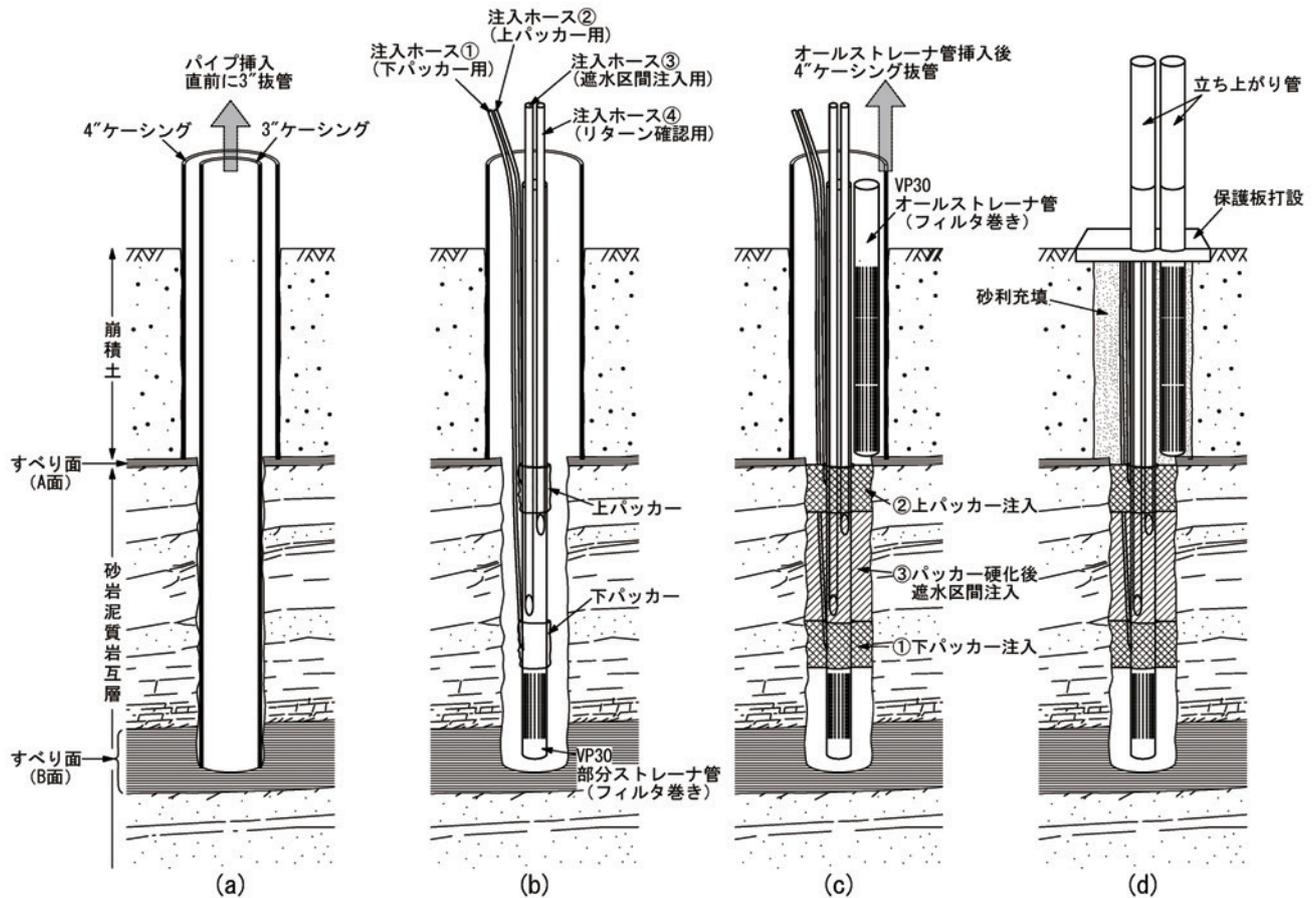


図-2 水位観測孔の施工手順と構造模式図

②. ボーリング…図-2 (a)

深部のすべり面B面までボーリングを行う。地表からA面までは4インチケーシングを挿入し孔壁崩壊を防止した。A面からB面にかけての区間は3インチケーシングで孔壁を仕上げ、その後抜管し裸孔とした。ただし、岩盤は亀裂が多く裸孔では孔壁が安定しない部分もあったため、ストレーナ部分を除きセメンテーションにより孔壁崩壊を防止した。

なお、ケーシングはメーカーによって寸法が若干異なる。ケーシングクラウンの刃先が最も狭い内空となるため、挿入するパイプやホース類がすべて収まるかを事前に確認する必要がある。

③. 部分ストレーナ管の挿入…図-2 (a)～(b)

3インチケーシング抜管後、速やかにB面の水位観測孔となる部分ストレーナ管を孔底（B面深度）まで降ろす。降ろす際に、パイプの所定深度にパッカーと注入ホースをビニルテープ等で固定する。なお、布パッカーを用いる場合、パッカーの口元はブチルゴムテープを巻き、パイプやホースとの隙間を埋めた上で結束バンドや番線で十分に締めるとグラウトの漏出防止に効果的である。また、挿入時に布パッカーが開かないよう仮固定する際には強度の弱い養生テープを用いるとよい。

④. グラウト注入…図-2 (b)～(c)

下パッカー、上パッカーの順でグラウトを注入し膨ら

ませ、パッカーを十分に効かせる。パッカーの注入の際は、グラウトポンプの吐出圧力の増加に注意し、圧力上昇が確認できた段階で注入を終える。グラウトの自重でパッカーと孔壁は密着するため、パッカー内をグラウトで完全に満たす必要はない。

パッカーへのグラウト注入後は、セメントの硬化を待ち、遮水区間にグラウトを注入する。早強セメントの場合は半日養生程度で十分である。なお、パッカーを効かせた後、遮水区間の注入ホースに注水し、部分ストレーナ管の水位変化を確認することで、下パッカーの効き具合がある程度判断可能である。注水量と比べ孔内水位の上昇量が少ない、あるいは水位上昇の時間差が大きい場合には、パッカーは十分効いていると判断できる。

遮水区間へのグラウト注入は注入ホース③で行い、注入ホース④から泥水やグラウトのリターンを確認することを基本とする。ただし、グラウト注入圧の急増が認められた場合は、孔壁からパッカーが剥離するなどの問題が生じる可能性があるため無理な注入は行わず、注入ホース③からの注入を打ち切る。注入ホース④からグラウトの追い注入を行い、注入圧の上昇を確認してからグラウト注入を終える。

⑤. オールストレーナ管の挿入…図-2 (c)

グラウト注入後は、オールストレーナ管をA面深度（GL-25.4m）まで挿入し、パイプとホース類を4イン

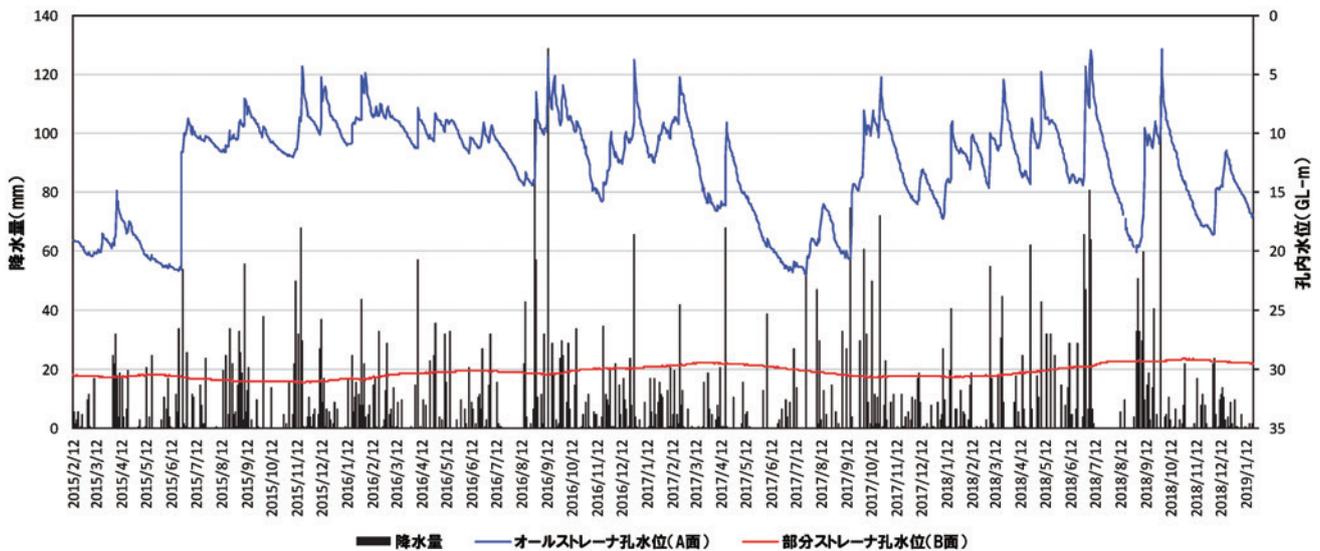


図-3 孔内水位観測結果

チケーシング内に全て収める。このとき、ホースの不要な部分は切断し、ケーシング内壁に触れないようビニルテープ等で束ねておく。

その後、4インチケーシングを抜管する。抜管の際には、パイプの破損防止のためケーシングの回転は行わず、油圧による引き上げのみで抜管する。ケーシング抜管後は、パイプが共上がりしていないかを確認する。

#### ⑥. 砂利充填…図-2 (d)

必要に応じ立ち上がり管を取り付け、豆砂利を充填する。豆砂利は十分な水締めをしたとしても時間の経過で口元が下がる場合があるため、充填後は一昼夜置くことが望ましい。

最後に、孔口には保護板(40cm四方×厚さ20cm程度)をコンクリートで打設し仕上げる。

#### ⑦. 孔内洗浄

ボーリングは清水掘りとするが、孔壁に泥膜が付着するため、孔仕上げ後に、各パイプに注水し孔内洗浄を行う。この際、1孔ずつ注水を行い、他方の孔内水位を確認することで、孔の仕上がりがある程度確認できる。

### 2.5 水位観測結果

図-3に各水位観測孔での観測結果を示す。A面に対しては直近の降雨に反応した鋭敏な水位変化が確認された一方で、B面では降雨に反応した水位上昇は認められず、長周期で水位(間隙水圧)の上下が緩慢にみられる結果が得られた。

併せて実施している孔内傾斜計観測結果より、A面では微弱だが累積性のある変位が認められており、間隙水圧が頻繁に高まるのが誘因となっているものと考えられる。一方、B面の変位はほぼ認められず、間隙水圧の変化が少なく安定している状態と調和的といえる。

これらのことから、各すべり面に作用する適切な間隙水圧を把握できているものと考えられる。

### 3. 簡易ボアホールカメラによるすべり面判定

#### 3.1 ボーリング孔壁の確認方法

すべり面の一次判定はボーリングコア観察によるものがほとんどだが、礫状に破碎するなどコアの状態が悪い場合などはすべり面の判断が困難となる。このような場合、ボーリング孔壁の状態も把握できていれば、すべり面の誤判断防止に役立つ。

孔壁状態の確認には、一般にボアホールカメラが用いられる。ボアホールカメラには「BIPシステム<sup>®</sup>」に代表されるような円錐鏡で孔壁全周の画像を連続的に撮影できる高精度のものから、前方視カメラのような孔内状況の確認を目的としたものまで様々である。また、孔内に泥水が溜まり視界の悪い状態でも孔壁の状態などが把握できる超音波検層(BHTV)といった方法もある。

しかし、これらの機材の購入あるいはレンタル費用は高価なものが多く、このため現場で必要なときに即時確認することが難しい。

ここでは、より手軽に孔壁観察が行えるよう、市販の全天球カメラ(360°カメラ)を利用してボアホールカメラを作成し、すべり面判定に利用した事例を紹介する。

#### 3.2 簡易ボアホールカメラの仕様

内蔵するカメラは、孔壁全周の確認を容易とするため全天球カメラを用いることとし、リコー製「THETA V<sup>10)</sup>」(外形寸法45.2×130.6×22.9mm)を使用した。

カメラを収める防水ハウジングは、メーカーオプション品では3インチケーシング(内径φ73mm)内にも収めることができなかつたため自作した。作成したハウジングの外形はシンプルな円筒型とし、一般的なボーリング孔径φ66mmにも収まるサイズを考え、外径φ60mmの汎用の透明ホース(ポリ塩化ビニル製)を使用した。

水密性確保のために、ホース両端の内側に栓(キャップ)を取り付けた。ここでのキャップは、簡便のため、孔内傾斜計用ガイドパイプ(測商技研北陸製)のボトム

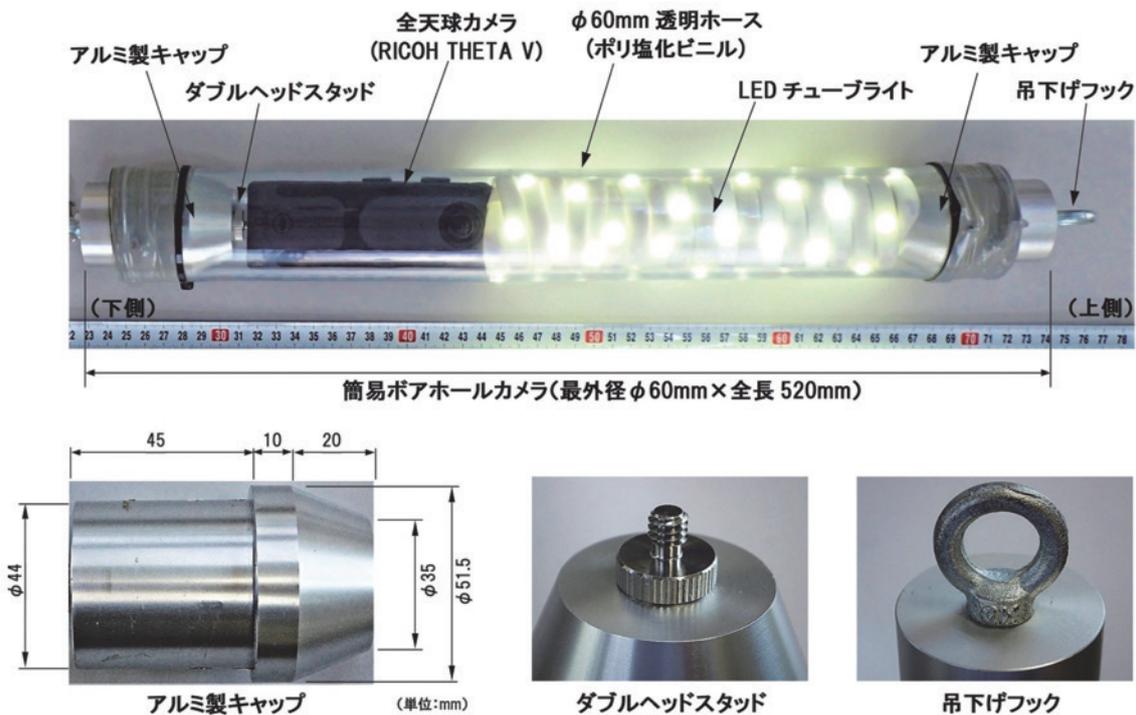


図-4 簡易ボアホールカメラの構造

キャップ（最外径φ51.5mm）を流用した。このキャップは、一方の端部がテーパ状のためホース内に挿入しやすく、また材質がアルミのため切削加工しやすい点で、防水ハウジングの止水用キャップとして適していた。このキャップにネジ穴（ユニファイ規格：1/4-20UNC）を切り、吊下げフックやカメラ固定用のダブルヘッドスタッドを取り付けた。

孔内を照らす光源には、LEDチューブライト（明るさ：360ルーメン）を用いた。円筒状のハウジング内にチューブライトを螺旋状に巻いて収納し、その螺旋の内側に電源となる円筒状のモバイルバッテリーを収めた。

図-4に作成した簡易ボアホールカメラの構造を示す。

### 3.3 孔壁の動画撮影手順

「THETA V」は静止画と動画の撮影が可能だが、静止画撮影はその都度カメラのシャッターボタンを押す必要があり、孔内挿入時には利用できない。このため、この簡易ボアホールカメラでは動画撮影での対応のみが可能である。なお、「THETA V」はスマートフォン等携帯端末と無線接続し遠隔操作することも可能だが、孔内には無線信号が届かず、この機能は使用できなかった。

撮影手順を以下に示す。

#### ①. 撮影準備

撮影深度までボーリングし裸孔区間を設ける。裸孔区間は地盤の状態に応じ、孔壁の自立が可能な区間長とする必要があるため、場合によっては撮影を数回に分ける。

なお、ボーリング直後は孔内水が濁り撮影が困難となるため十分な時間を置き、浮遊物の沈殿を待ってから撮影を行う。凝集剤を用いると沈殿時間を短縮できる。

#### ②. 防水ハウジングの組み立て

この簡易ボアホールカメラは、防水ハウジングの外からライトの操作ができないため、カメラ挿入直前にライトを点灯させ、ハウジングを組み立てる必要がある。なお、動画の撮影を開始させるカメラのシャッターボタンは、ハウジングのホースが軟質で変形するため、ハウジングの外からボタンを押すことが可能である。

両端のアルミ製キャップを取り付けた後、外側から結束バンドで十分に締める。このとき、ゴム製Oリングを併用すると水密性が高まる。なお、この方法で水深25m程度までは、動画撮影のための短時間であれば水密性が保たれることを確認している。

#### ③. 孔壁の動画撮影

挿入直前にカメラのシャッターボタンを押し動画撮影を開始する。

ハウジング上端の吊下げフックにロープを取り付け、孔内にカメラを挿入する。安定して孔の中心に下ろせるように、ボーリング槽（三又）に滑車を設置するとよい。また、カメラの深度を把握するため、ロープは目盛りが刻まれたものとする。

撮影対象範囲の裸孔区間上端までカメラを下ろした後、撮影区間の下端までゆっくりとカメラを下ろす。このとき、撮影された動画では撮影深度がわからないため、10cm毎にカメラの降下を止めるなどの合図を入れておくとよい。

### 3.4 すべり面判定事例

この簡易ボアホールカメラを用い、ボーリングコア観察から「すべり面の可能性あり」と評価された2箇所の孔壁状況を確認した。

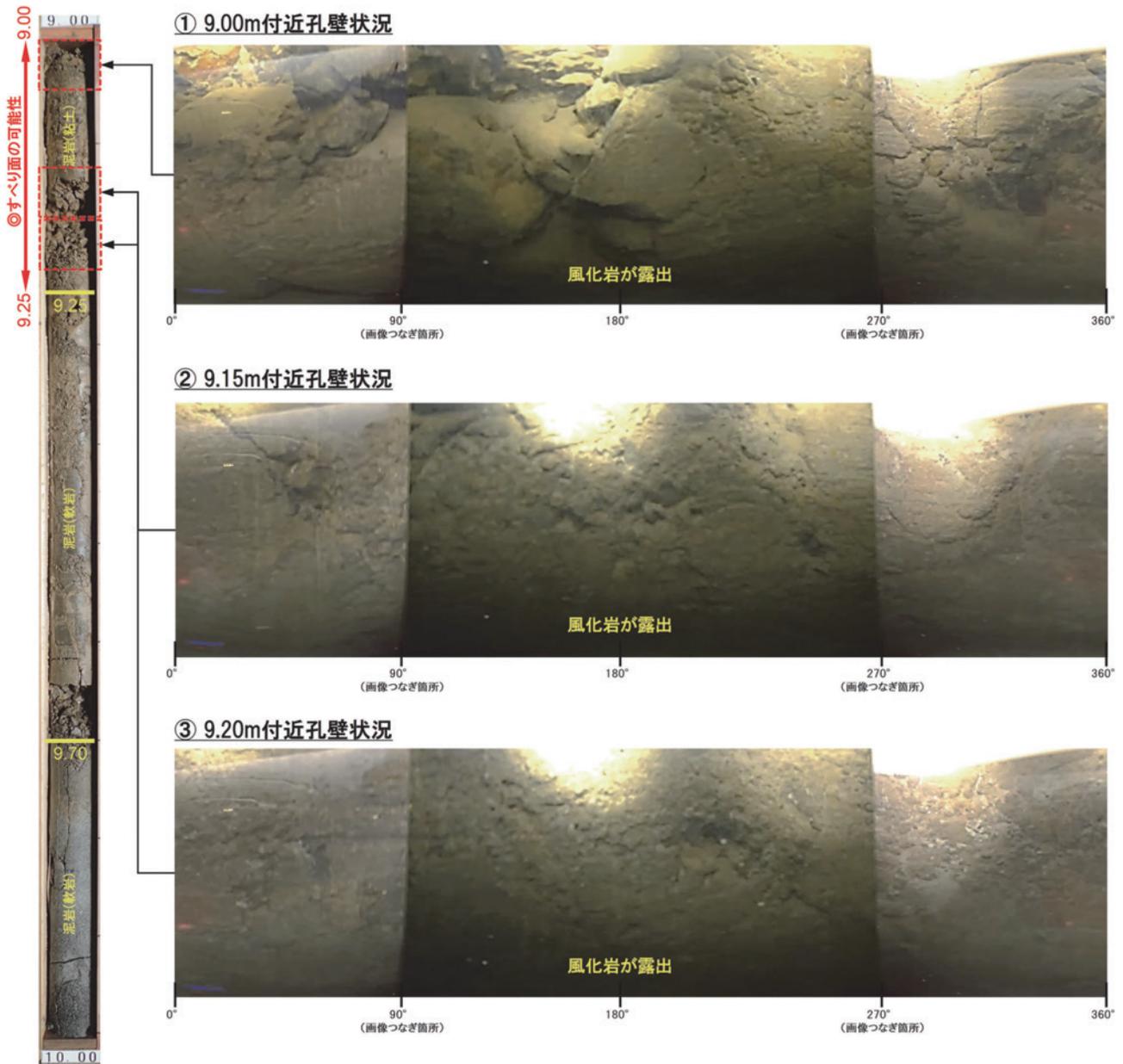


図-5 すべり面の可能性があったボーリングコアと簡易ボアホールカメラによる孔壁画像 (BV16-2)

図-5に示す箇所では、GL-9.00~9.25m間のコアに礫状破碎や粘土化が顕著に認められたため、地すべりによるせん断を受けた箇所と思われたが、孔壁画像では風化岩の細片化や粘土化は認められなかった。これにより、当該箇所は地すべりの影響を受けていないと判断でき、すべり面の可能性を否定する根拠の一つとすることができた。

図-6に示すもう1箇所では、コア観察の結果、新鮮な軟岩状の泥岩上部に、細片化した泥岩片を含む粘土部が認められ、せん断帯である可能性が考えられた。とくにGL-5.50~5.75m間にすべり面が存在する可能性が考えられたため、簡易ボアホールカメラで孔壁状況を確認した。その結果、孔壁もコアと同様の状態であることが確認できた。また、深部ほど泥岩礫の細片化が進行する傾向にあり、GL-5.70m付近では土質状態が急変する

明瞭な不連続面と、その下位には粘土薄層の挟在を認めることができ、この粘土層がすべり面であると判断した。

このように、簡易ボアホールカメラを用いたことによって、すべり面判定の精度向上に加え、適切な地すべり対策工の検討に資することができたと考える。

#### 4. 土壌硬度試験によるボーリングコアの土質区分

##### 4.1 コアの土質区分上の課題

ボーリングコアの土質区分では、併せて実施する標準貫入試験によるN値を参考にすることが多い。しかし、N値などの強度指標値がない場合は、コア観察者の主観に基づく土質区分がなされることとなる。

このような場合、例えば花崗岩類の風化層（いわゆる真砂土）のように深度方向に漸移的な強度変化をみせ、層相変化が不明瞭な地質では、コア観察のみから土質境

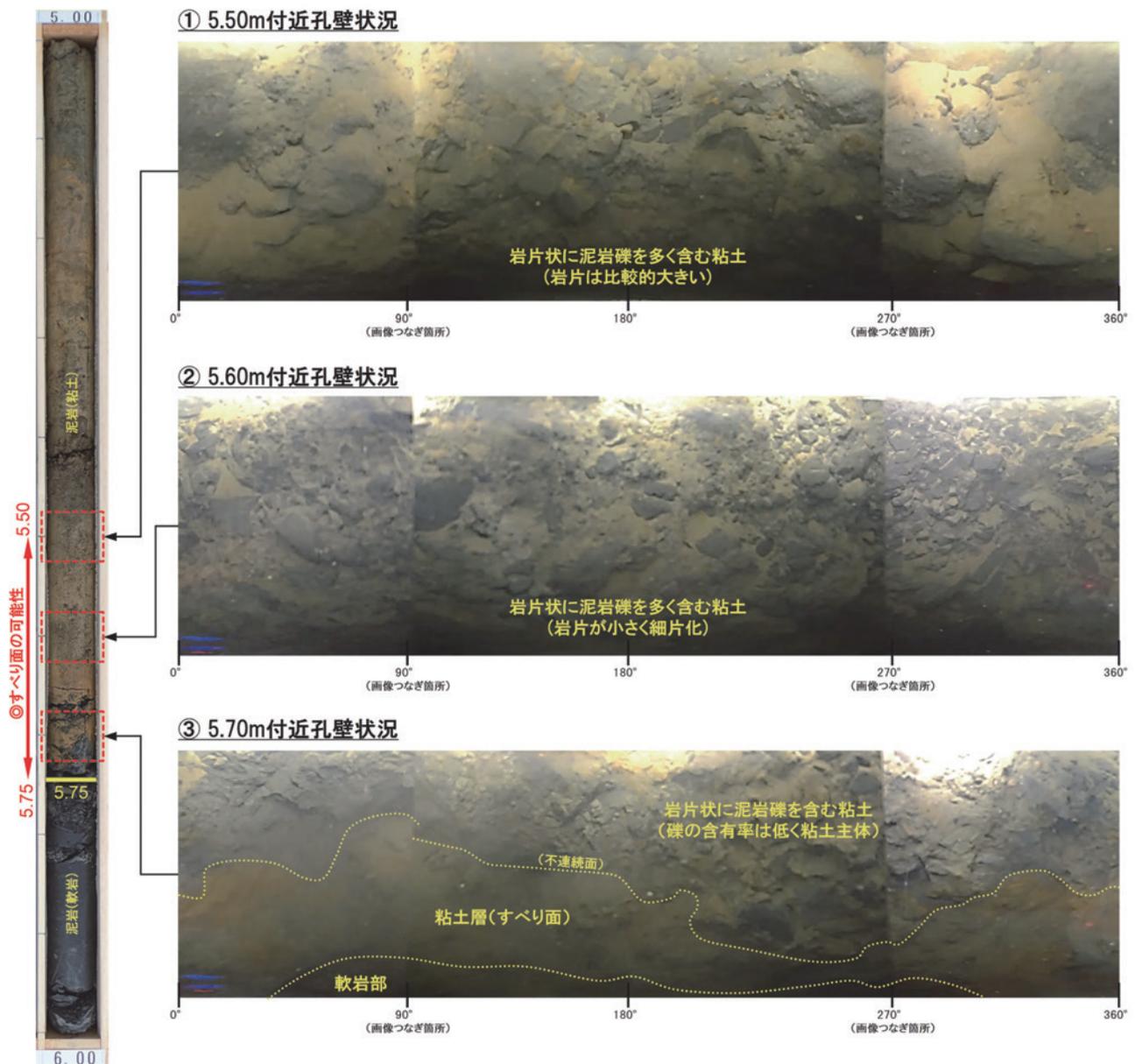


図-6 すべり面の可能性があったボーリングコアと簡易ポアホールカメラによる孔壁画像 (BV16-1)

界線を引くことは困難である。

とくに、グラウンドアンカーのチェックボーリングなど斜掘りの場合、標準貫入試験が実施できないためN値を参考にすることができず、コア観察のみから土質境界やアンカー定着層の判断を求めることとなり、その判断の客観性を示すことは難しい。

#### 4.2 コアの強度指標値を得る簡易手法

採取後のボーリングコアを利用して強度指標値を得る簡易な手法もあり、その代表的なものとして針貫入試験や土壌硬度計試験がある。

針貫入試験をボーリングコアに対して行う場合は、岩石材料の一軸圧縮強さの推定に用いられることが多いが、相対的な強度の対比により地層境界の推定にも利用されている<sup>11)</sup>。

しかし、針貫入試験に用いられる針の直径は $\phi 0.84$

mmと細く、極めて強い応力が1点に集中する。このため、針を当てる箇所の状態に大きく影響を受けることとなり、局所的な評価になりがちである。とくに、礫混じり土のようなやや粗い土質材料の場合、砂や礫などの粒子や空隙のサイズが針のスケールに対して大きいため、貫入荷重は粒子自体の硬さや局所的な粗密に左右されることとなり、広範な地盤の強度指標値として用いるのが難しい面がある。

一方、土壌硬度試験は最外径 $\phi 18\text{mm}$ ×長さ40mmのコーンを試料に押し当てる試験であり、対象材料を押し広げる作用が働く。したがって、得られる指標硬度はその材料のせん断強度と密度を反映したものとイえる。また、コーンの貫入応力は試験箇所周囲の材料に伝播するため、指標硬度はその周囲の平均的な抵抗値と捉えることができる。ただし、土壌硬度試験は貫入可能な材料であ

ることが前提の試験であるため、岩石材料には適さない。

これらのことから、土質材料のボーリングコアの土質区分に用いるのであれば、土壤硬度試験の方が適しているといえる。なお、土壤硬度試験においてもボーリングコアへの適用や、硬度指標を他の強度指標値に換算する事例がある<sup>12)</sup>。

ここでは、ボーリングコアに土壤硬度試験を適用する方法と、実際の事例を紹介する。

### 4.3 土壤硬度試験の適用方法

土壤硬度計は一般的な「山中式土壤硬度計」を用いた。ここでの土壤硬度試験の方法は以下のとおりである。

- ① 試験対象区間すべてにわたりダブルコアチューブでボーリングを行い、スリーブに入った状態でコアを採取し、コア箱に収める。
- ② スリーブに入った状態のまま、コア側面に5 cm間隔で土壤硬度計を押し当て、指標硬度を計測する。
- ③ その際、コアに乱れがあった場合や、押し当てる過程でコアが割裂した場合などは、その状態を記録し異常値の判断など結果の考察に利用する。

スリーブに入っていない状態で土壤硬度計を押し当てると、砂質土の場合はコアが崩れやすく適切な測定が行えない。このため、スリーブによる封圧を加えることでコアの崩れを防止することとした。スリーブはビニル製で軟らかく、地盤内の状態を想定した適切な封圧とはいえない。しかし、崩れやすい土質材料に対しても土壤硬度試験が行える程度にコアの変形を防止することができる。そして、試験対象区間にわたり同じ封圧条件での試験となるため、コアの相対的な硬度指標差を把握することが可能となる。ただし、同一封圧条件とするため、使用するスリーブの種類や厚さを途中で変更してはならない。

なお、スリーブに入った状態で試験をするため、スリーブを剥いだ状態でのコア写真撮影が必要な場合は、試験後に行う必要がある。試験後のコア表面は写真-1のよ



写真-1 ボーリングコアへの土壤硬度試験実施状況

うに穴が開き乱れた状態となるが、そのままコアを180°回転させスリーブを剥ぐことで外観上乱れないコア写真を撮影することが可能である(図-7,8のコア写真参照)。

### 4.4 アンカーチェックボーリングへの適用事例

土壤硬度試験をボーリングコアに適用し、アンカー定着層の判断に利用した事例を紹介する。

花崗閃緑岩の上に載る崩積土すべりの対策としてアンカー工が計画され、チェックボーリングを行うこととなった。アンカー体の定着は花崗閃緑岩のN値 $\geq 50$ の層に求める設計であったが、対象地の花崗閃緑岩は深層風化し、ボーリングコアは全体的に褐色を帯びた真砂土の土棒状コアであった。コアの目視観察のみでアンカーの定着深度、すなわちN値 $\geq 50$ の境界を判断することは困難であったため、ボーリングコアに土壤硬度試験を適用した。

相対的な強度差による土質区分であれば、指標硬度の深度分布を確認するだけで十分だが、N値 $\geq 50$ の境界を判断するためには指標硬度とN値との較正(キャリブレーション)を行う必要があった。このため、アンカー

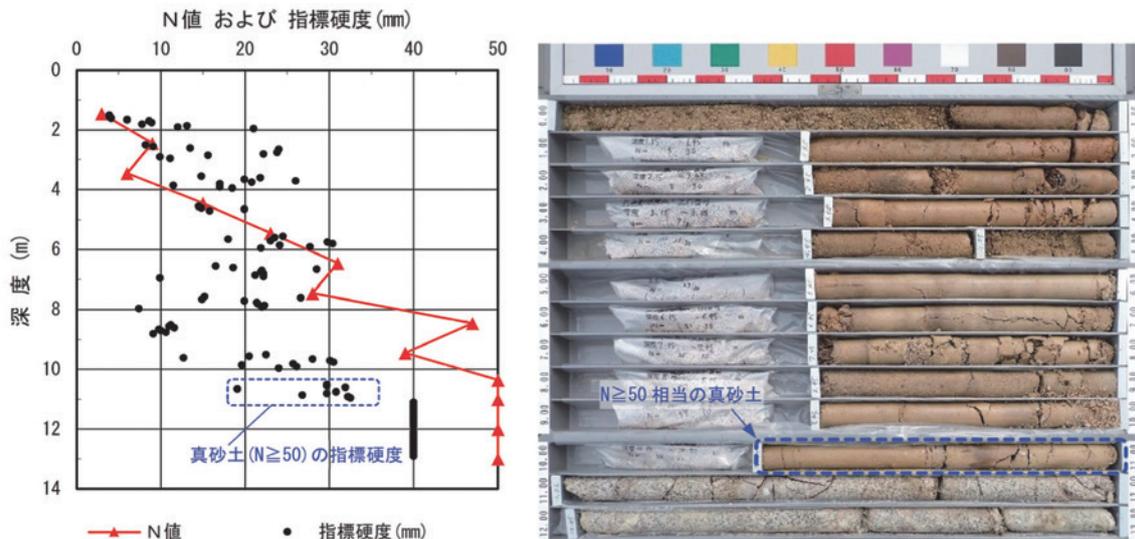


図-7 N値および指標硬度の深度分布(左)とボーリングコア写真(右)  
鉛直で実施したアンカー引抜き試験のためのチェックボーリング

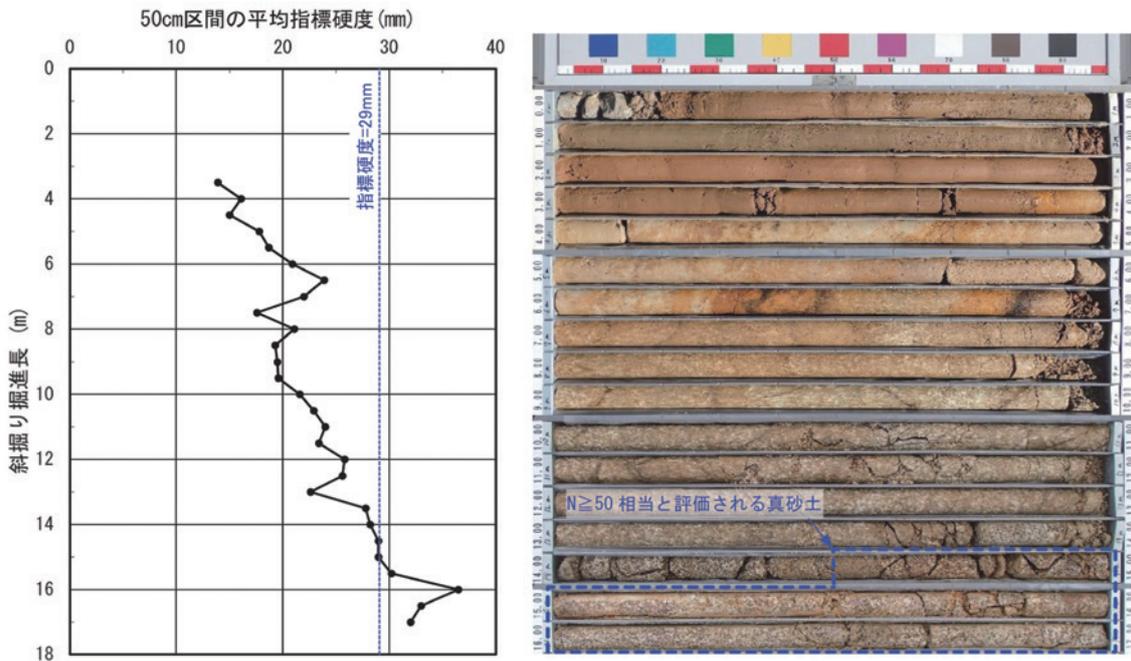


図-8 斜掘り掘進長に応じた平均指標硬度の変化(左)とボーリングコア写真(右)  
斜掘りで実施したチェックボーリング

施工前に行われるアンカー引抜き試験孔は鉛直ボーリングとし、N値の確認とともにコアの土壌硬度試験を行った。

N値と指標硬度の深度分布を図-7に示す。コア外観は真砂土だがN値 $\geq 50$ を示した区間となるGL-10.5m~11.0m間の指標硬度は平均29mmであった。この結果から、N値 $\geq 50$ 相当層の下限目安は「50cm区間の指標硬度平均 $\geq 29\text{mm}$ 」と判断した。

なお、土壌硬度試験時にコアが割裂するなどし極端に低い値が得られた場合は、異常値と判断しN値との較正には用いるべきではない。例えばGL-8.5~9.0m間のコアの状態は風化岩に近く割れやすい性状であったため、土壌硬度試験ではコアが割裂し指標硬度は低い、比較的硬質なためN値は高い結果が得られている。このような場合の指標硬度は、土壌硬度試験では正しく物性が評価できていない異常値として判断するのがよい。

このキャリブレーション結果を用いて、斜掘りでのチェックボーリングでもコアの土壌硬度試験を行い、N値 $\geq 50$ 相当層を定量的に評価することを試みた。

図-8に土壌硬度試験結果とボーリングコア写真を示す。ここでは、50cm区間の指標硬度平均値によりN値 $\geq 50$ 相当層を判断することとしたため、5cm間隔で得られた指標硬度を50cm区間で平均した値を用いている。

この結果、コアの状態では一様に褐色の土棒状コアで硬軟の境が判然としなかったが、土壌硬度試験結果から掘進長14.5m以深がN値 $\geq 50$ に相当すると判断することができた。

## 5. おわりに

ここで紹介した3つの事例は、いずれも地すべり調査業務の現場で発生した問題を解決すべく考えた“ちょっとした工夫”である。

最初に、2深度のすべり面間隙水圧に対応するための水位観測孔を1本のボーリングで仕上げた事例を紹介した。この事例では、自由地下水と裂隙水の組み合わせであったが、裂隙水が2深度の場合など、現場状況に応じた工夫により様々な状況にも対応することが可能である。

なお、地すべり調査の実務では、現場の地下水賦存形態によらず、安価で簡便なオールストレート管による水位観測がいまだに多く行われており<sup>13)</sup>、それが標準的な位置づけとなっている。このことは、すべり面間隙水圧を把握するためのより適切な調査を妨げる一つの要因となっていると思われる。

2つ目に、全天球カメラを利用した簡易ポアホールカメラの作成方法と、それを利用しすべり面評価を行った事例を紹介した。近年は全天球カメラのほか、無人航空機(UAV; Unmanned Aerial Vehicle)など撮影に利用できる機材が比較的安価に手に入れることができるため、今後地すべり調査においても新たな用途で活用できる場面が増えてくるものと思われる。

そして最後の事例では、ボーリングコアの強度指標を簡便に得る方法として土壌硬度試験を利用した事例を紹介した。土壌硬度試験は土質材料であれば適用が可能であるため、N値が得られない強風化土砂層等の土質区分に有効である。

ここで紹介した事例に共通することは、なるべくコストをかけないことである。このため、従来の方法を少し

変える、あるいは、既存の技術を活用する程度の工夫ではあるが、問題を解決することができた事例である。このような内容は、学術的には軽視されがちだが、実務者にとってはすぐ現場で実践できる“使える”地すべり調査技術として有用なものだと考える。今後、本誌の技術報告等において、このような実務的な工夫や創造に関する報告が増加することを切望する。

## 引用文献

- 1) 福本安正 (1995)：地すべり災害と対策技術発展の歴史，地すべり，第32巻第2号，pp. 45-52.
- 2) 菅原紀明 (2006)：野外的間隙水圧を正しく測定するための覚書-間隙水圧計の歴史の変遷と野外計測事例を基に-，応用地質技術年報，No. 26, pp. 46-47.
- 3) 申潤植 (1989)：地すべり工学-理論と実践-，山海堂, 78p.
- 4) 地すべり観測便覧編集委員会編 (2012)：2.3.2間隙水圧計，地すべり観測便覧，斜面防災対策技術協会，pp. 224-225.
- 5) Dunicliff, J. (1988)：Chapter 9 Measurement of Groundwater Pressure, in Geotechnical instrumentation for monitoring field performance, John Wiley & Sons, Inc., pp. 117-164.
- 6) 土木研究所 (2014)：はじめに，土木研究所資料 部分ストレナ孔による間隙水圧観測の手引き(案), 土木研究所資料第4283号，p. 1.
- 7) 奥山武彦・大塚文哉・菊池茂史・時田剛弘・黒田清一郎・有吉充 (2007)：深度別地下水調査のための区間遮断構造ポアホール，日本地すべり学会誌43(5)，pp. 57-61.
- 8) 太田雅之・大賀政秀・山下正 (2009)：多深度間隙水圧測定の紹介と設置事例，全地連技術e-フォーラム2009, No. 131.
- 9) 亀和田俊一・遠藤努・国分英彦・西垣好彦 (1989)：BIPシステムの装置とその能力について，第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 196-200.
- 10) 庄原誠 (2018)：“RICHO THETA V”の開発，日本写真学会誌, 81巻3号，pp. 252-256.
- 11) 地盤工学会地盤調査規格・基準委員会編 (2013)：第10章針貫入試験，地盤調査の方法と解説-二分冊の1-，地盤工学会，pp. 426-432.
- 12) 地盤工学会地盤調査規格・基準委員会編 (2013)：第9章土壌硬度試験，地盤調査の方法と解説-二分冊の1-，地盤工学会，pp. 420-425.
- 13) 土木研究所 (2014)：2.地下水調査・観測の実態と課題，地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究報告書，整理番号第457号，pp. 5-49.  
(原稿受付2020年7月3日，原稿受理8月20日)