

# 不均質改良地盤のサンプリング事例

ハイテック株式会社 ○辻井 響己, 櫻井 皆生, 谷口 拓海

## 1. はじめに

調査ボーリングで実施する乱れの少ない試料採取, いわゆるサンプリングは, 土木・建築構造物の設計・施工に必要な地盤定数を得るため室内土質試験(力学試験)に供する試料採取を目的として行われるものである<sup>1)</sup>. より正確な地盤定数を得るためには, いかに採取時の乱れを少なくすることが非常に重要になる.

本稿では, 実際の地盤状況に合わせて採取方法を工夫し, 不均質な盛土地盤のセメント改良土からサンプリングを行った結果, 比較的良好な試料が得られたことから, サンプリング技術の事例として紹介する.

## 2. 調査概要と方法

### (1) 調査地の概要

調査地は標高140~200m程度の丘陵地内に位置する大規模造成地で, 調査地の地質は第四系更新統の未固結の粘性土・砂・砂礫層からなる. ボーリングは大規模造成地の谷部を埋める盛土法面で実施した. 盛土地盤は切土地盤から掘削された土砂からなり, 通常の締固めでは盛土法面の安定性が不足していたため, セメント配合による地盤改良が実施された.

調査は盛土法面の16箇所を対象とし, 法面の勾配は1:1.8~2.5, 盛土高は5~20m程度である. 盛土地盤の改良土のセメント添加量は, 円弧すべりが発生しないことを考慮した結果, 浅層改良における最小添加量の50kg/m<sup>3</sup>とされた. 図-1に調査地点の模式平面図を示す.

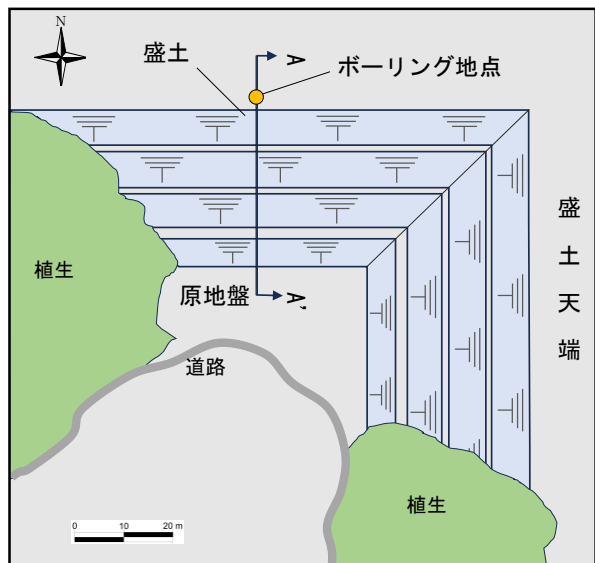


図-1 調査の対象とした盛土地盤の模式平面図

### (2) 調査方法・目的

ボーリングは盛土1箇所につき天端または法面上の中心付近にて鉛直方向に1孔ずつとし, 1孔につき盛土部の

上部, 中部, 下部で計3本のサンプリングを実施した. ボーリングは孔径φ86mmで実施し, サンプリング箇所以外はすべてノンコア削孔とした. 図-2に調査の対象とした盛土地盤の模式断面図を示す.

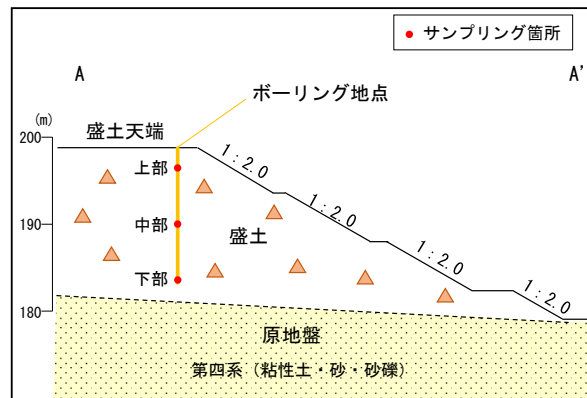


図-2 調査の対象とした盛土地盤の模式断面図

これらの試料を用いて改良体の品質を確認するための室内土質試験(力学試験)として, 一軸圧縮試験または三軸圧縮試験が別途実施された.

### (3) サンプリングに際しての課題

当該地点の盛土地盤は粘性土・砂・礫の混合物であり, 施工時にどうしても発生してしまうセメントの配合ムラにより改良地盤の強度がバラついていることが予想された.

### (4) サンプラーと今回用いた方法

地盤はその地質条件によって性質が異なるため, サンプラーも種々の地盤の性質に対応したものが数多く存在する. 表-1に地質調査におけるサンプリングで, 一般的に使用されるサンプラーの種類と対応する地盤の関係を示す.

表-1 サンプラーの種類と対応地盤<sup>1)</sup>

サンプラーの種類	構造	孔径(mm)	地盤の種類														
			粘性土		砂質土		砂礫		岩盤		軟岩	中硬岩	硬岩				
			軟質	中くらい	硬質	ゆるい	中くらい	密な	ゆるい	密な							
			N値の目安														
			0~4	4~8	8以上	10以下	10~30	30以上	30以下	30以上							
固定ピストン式 シノンロッド式 サンプリング	エキステン	単管	86	◎	○	○											
	水圧式	"	86	◎	◎	○	○										
ロータリー式二重管サンプリング (デニソン)		二重管	116		◎	○											
ロータリー式三重管サンプリング (トリプル)		三重管	116		◎	◎	◎	◎	◎	○							
ロータリー式スリーブ内蔵 二重管サンプリング		二重管	66~116		○	○	○	○	○				◎	◎	◎		

今回対象とした盛土地盤の材料と改良の不均質性を考慮すると、固定ピストン式シンウォールサンプラーやロータリー式二重管サンプラー（デニソン）によるサンプリングは困難である。ロータリー式三重管サンプラー（トリプル）は幅広い地盤に適用できるが、今回は改良により硬質化し、軟岩相当の部分が存在することが懸念されたため、ロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーを採用した。

また、今回のサンプリングにあたっては写真-1に示す通り、内管をポリカパイプ（ポリカーボネイト製パイプ）に変更した。ポリカパイプは、透明で耐衝撃性、耐熱・耐寒性等に優れる素材である。これにより、運搬時の振動による変形を防止でき、さらに試験室でコアの取り出しも容易になり、サンプリング後の試料の乱れも防ぐことができた。



写真-1 内管をポリカパイプに変更した二重管サンプラー

### 3. 調査結果

#### (1) 採取作業における工夫

前述のように盛土地盤は硬質な礫や軟質な粘性土や流出しやすい砂が混在する不均質な組成であり、改良体の強度にもバラツキがあると考えられることから、硬質な礫を切れるビットを選定するとともに、軟質部を乱したり、流出させたりすることのないように回転数、給圧、循環水の送水量を慎重に見極めてサンプリングを行った。

具体的には送水量はコアの流出を防ぐために極力少なくし、1.50～2.00/分とした。ビットはダイヤモンドビット（インブリグネイテッドビット）を使用し、ビット側面に穴あけ加工を施すことによって、コアに直接当たる水の量を低減し、掘削水によってコアの軟質部が流出することを防いだ。また、孔壁保護およびコア採取率の向上を目的として掘削水にポリマー系増粘剤を添加した。増粘剤の濃度は高くしつつも送水を阻害しない程度の流動体となるように調節し、この状態を保つように注意した。

なお、サンプリングを実施しないノンコア部では、送水量は70/分程度とし、掘進速度を上げて工程の短縮に努めた。

#### (2) サンプリング結果

前述のような様々な工夫を施したサンプリングの結果、改良が十分ではない（コアパックから出すと崩れる

ほど）黄褐色の軟質な部分も、改良が十分効いていて軟岩相当（ハンマーの打撃で濁音、容易に割れる程度の硬さ）の灰色の比較的硬質な部分と同様に、乱れの少ない試料として採取することができた（写真-2）。

また、礫の多い箇所の一部では、礫と礫の間に数 cm 程度の空洞部が存在することを確認した。

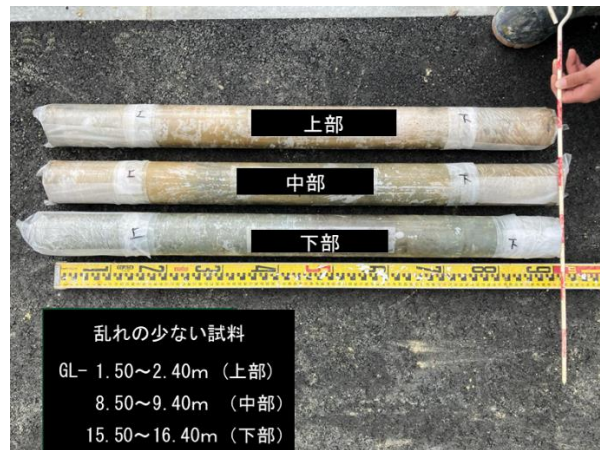


写真-2 乱れの少ないサンプリング試料

#### (3) 室内試験結果

サンプリング試料を室内試験用に供して一軸圧縮試験または三軸圧縮試験を実施した結果、大半の試料では盛土法面の安定性を確保できる必要な強度を満たしていることが確認された。一部、改良不足により強度を満たさない部分については、追加の地盤改良が実施された。

### 4. まとめ

盛土地盤は概して不均質で性質は場所ごとに大きく異なることから、機械的に対応するのではなく、現場ごとに地盤材料の特徴を把握することが重要である。今回はロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーを用いたことで室内試験に供することの可能な乱れの少ない試料を採取することができた。

具体的には、①ダイヤモンドビットを用いたこと、②ビット側面に小孔を設けたこと、③送水量を極力絞って工夫したこと、④掘削水にポリマー系増粘剤を添加した等を行った。また⑤ポリカパイプを用いることで採取試料運搬時と室内での試料取り出し時での乱れ防止を実現した。

なお、経験上、送水量を絞り過ぎるとコア詰まりを起し、試料を乱す原因となるため、送水量の調節が極めて重要であることを実感した。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 地盤調査の方法と解説（2013）：公益社団法人地盤工学会, p. 173-174（一部加筆）

【FE02】

ボーリング熟練技術者判断の言語化による掘進技能向上の試み

株式会社相愛 ○須佐美 俊和, 坂本 正幸, 谷崎 優也, カオ ダク トウアン

1. 背景と目的

ボーリングマシンを用いた地質コア採取において、若手技術者の育成が喫緊の課題となっている。その要因の一つは、高品質な地質コアを採取するためには長期間の訓練が必要なことである。地質コア採取時、熟練技術者は掘進条件の微細な変化を、目、指、音、計測器波形で捉え、目に見えない地質変化や孔内変化を推定し、掘進条件を感覚的に修正している。このように、高品質なコア採取には、長期の訓練で得られる経験的スキルが必要である。

若手技術者が熟練技術者の暗黙知から学び、掘進技能をより速く向上させるためには、掘進中の各掘進条件を数値化するとともに、熟練技術者の標準的な掘進条件や、掘進条件変化時の判断を言語化することが有用であると考えた。本稿では、掘進条件の数値化と熟練技術者判断の言語化の手法、およびそれらの有用性について述べる。

2. 掘進条件の数値化

(1) 数値化方法

掘進条件の変化を数値で捉えるため、掘進条件数値化システム（以下、システム）を開発した<sup>1)</sup>。図-1にシステムの構成を示す。本システムは、各種センサ、制御ユニット、電源ユニット、操作ユニットから構成される。

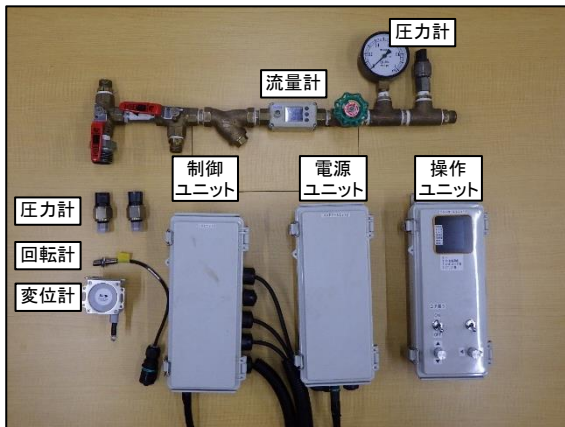


図-1 掘進条件数値化システムの構成

各種センサは制御ユニットに接続され、制御ユニットが送水量、送水圧、先端荷重、回転数、掘進速度を取得する。これらの掘進データを、技術者（機長）の手元に設置された操作ユニットに無線で送信し、図-2に示す操作ユニットのディスプレイに表示することで、数値に基づく掘進を実現した。また、内蔵した IoT SIM によって掘進データをクラウドに送信することで、掘進結果の迅速な振り返りを可能とした。さらに、電源にはモバイルバッテリーを採用し、小型化を実現した。



図-2 操作ユニットのディスプレイ

(2) 数値化結果

本システムを現場に適用し、掘進を実施した。取得した掘進データのうち、砂岩割れ目の充填物でコア詰まりした際のデータを、図-3に示す。縦軸は掘進深度（28.80m～29.00m、1目盛り2cm）、横軸は左から順に、送水量、送水圧、先端荷重、ビット回転数、掘進速度である。

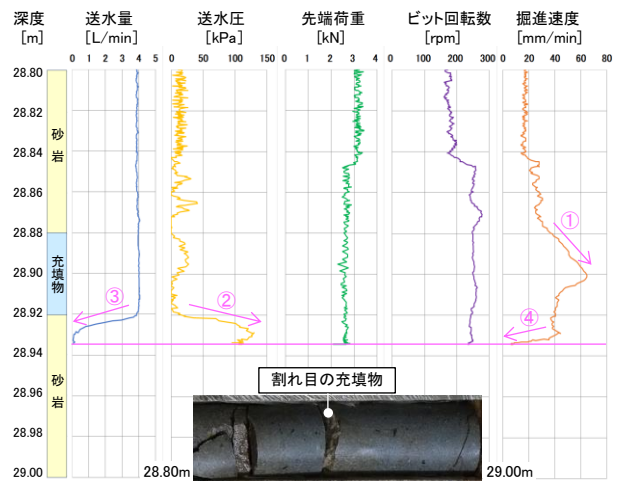


図-3 コア詰まり時の掘進データ

このグラフから、砂岩割れ目に達した際、掘進速度が20mm/minから65mm/minに上昇し（図-3①）、その後割れ目の充填物（難透水性）がビット通水口（ウォーターウェイ）を塞いだため送水圧が20kPaから130kPaに上昇し（図-3②）、同時に送水量が4L/minから0L/minに減少した（図-3③）ことが読み取れる。結果的に掘進速度がほぼ0mm/minとなり（図-3④）、コア詰まりとなった。

このように、コア詰まり直前には掘進条件の変化という予兆が明確に発生していることが分かる。コア詰まり回避のためには、掘進条件の変化から孔内の現象を理解し、適切な機械操作を即座に実施する必要がある。そのため、掘進条件の数値化に加え、掘進条件変化時の判断を言語化することが重要であると考えた。

### 3. 熟練技術者判断の言語化

#### (1) 言語化方法

言語化にあたって、70代の熟練技術者の協力を得た。熟練技術者が有する暗黙知を言語化するためには、「条件・場面」×「行為・行動様式」×「理由」として記載することが有用である<sup>2)</sup>。まず、条件・場面に関しては、ボーリングの掘進が①ビットの回転、②ビットへの荷重、③送水から成り立ち(図-4)、これらの条件の一つでも不良であると高品質なコアを採取することができない<sup>3)</sup>ことから、掘進条件変化時に着目した。行為・行動様式および理由に関しては、熟練技術者のボーリングマシンに掘進条件数値化システムを取り付け、さらにヒアリングを行うことで、地質ごとの標準的な掘進条件、掘進条件変化時の孔内現象、および掘進条件変化時の機械操作方法とその操作の理由を言語化した。

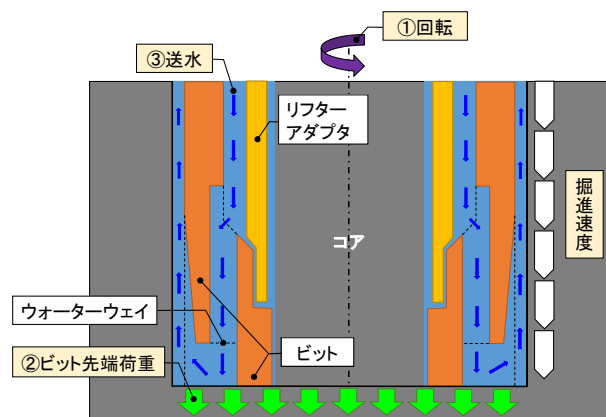


図-4 ボーリング孔内模式図

#### (2) 言語化結果

言語化した熟練技術者判断のうち、送水圧上昇時の熟練技術者判断について詳細を述べる。送水圧上昇の主要因は、図-4に示したウォーターウェイが粘性土で目詰まりすることである。この目詰まりという孔内現象を、送水圧上昇という掘進条件変化で捉えた際の熟練技術者判断を、図-5のフローチャートにまとめた。

送水圧が急激に上昇した場合、ウォーターウェイ全箇所が目詰まりしたと考えられる。一方、送水圧が徐々に上昇した場合は、一部が目詰まりしたと考えられる。送水圧上昇後に安定する場合を除き、送水圧が下がるまで次の対処を行う。

まず、ビット給圧を下げ、ビット回転を止め、ビットを1-2cm 上昇させ、ビットと孔底の間に隙間を作る。次に、1-2速でビットを回転させて遠心力を与える。さらに、ビットを孔底まで下降させ、ビット上昇とビット回転を2-3回繰り返す。それでも解決しない場合は、1速でビット回転させ、ビットを1-2cm 上昇させ、送水量を徐々に上げて送水圧を高める。ヒアリングした熟練技術者は、この一連の操作によって、送水圧上昇という掘進条件変化を対処している。

要因①ウォーターウェイ全箇所目詰まり  
要因②ウォーターウェイ一部目詰まり

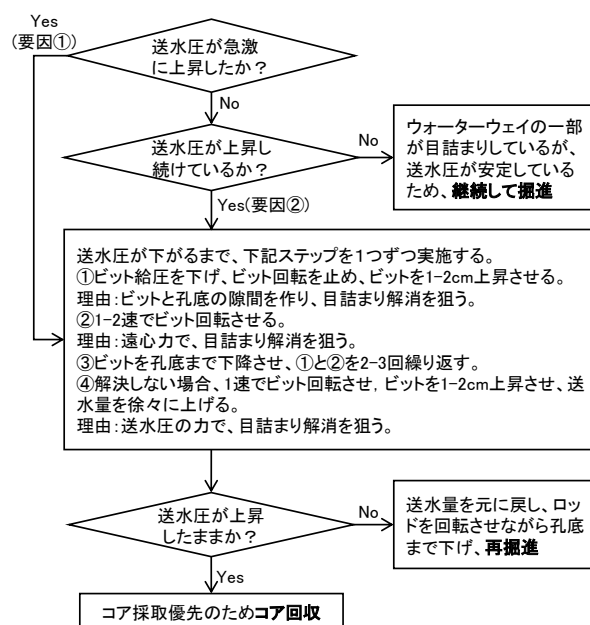


図-5 送水圧上昇時の熟練技術者判断

送水圧上昇に加え、送水量や掘進速度の変化に対する機械操作とその操作の理由をフローチャートに落とし込むことで、熟練技術者が有する暗黙知の一部を言語化することができた。

#### 4. まとめと今後の課題

地質ボーリングの現場に掘進条件数値化システムを導入することで、掘進条件を数値で把握し、狙いの掘進条件に調整し、掘進条件の変化を数値で捉えることが可能となった。さらに、掘進条件変化時の熟練技術者判断を言語化することで、孔内で発生している現象と機械操作方法の理解が大幅に促進された。

掘進条件の数値化と熟練技術者の判断の言語化を組み合わせることで、判断根拠が明確化され、若手技術者が自信を持って掘進することができるようになり、若手技術者の技能向上が図られた。

今後は、言語化の取り組みをさらに推し進めるとともに、掘進条件変化時に適切な機械操作を促す仕組みの高度化や、部分的な自動化などに取り組み、若手技術者の掘進技能向上に寄与したい。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 須佐美俊和, 西村博幸, 坂本正幸, 谷崎優也 (2023) : ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み, 全地連技術フォーラム2023論文集, 論文 No. 0P4.
- 2) 森和夫 (2020) : 実践 現場の能力管理 生産性が向上する人材育成マネジメント, p. 86.
- 3) 全国地質調査業協会連合会編 (2023) : ボーリングポケットブック [第6版], p. 158.

# 施工中のトンネルにおける先進ボーリング調査

株式会社エーティック ○清水 義博、港 高学

## 1. はじめに

山岳トンネルの施工では、地山条件の予知と把握が極めて重要である。設計時の地質等調査結果と施工時の状況は必ずしも一致するとは限らない。また、トンネル掘削作業における熟練工は不足しつつあり、経験的な危険予知意識の薄れから安全性が低下する懸念がある。そのため北海道内で施工される道路トンネルでは、原則として設計時調査に加え、施工中調査としてトンネル切羽からの先進ボーリング調査がトンネル全線で行われている。

先進ボーリング調査では、ボーリングコアによるトンネル切羽前方の地質状況を把握する。またボーリング孔を利用した原位置試験および採取コアの室内試験により物性値を把握する。この先進ボーリング調査結果より、直近切羽前方の地質評価を行いトンネル施工が安全、確実に行われている。

併せてトンネル掘削による発生土の処理を検討するために、採取したコアを用いて化学分析が行われている。

また、先進ボーリング孔は、地山の地下水に対する水抜き効果もあり、施工時の突発的な湧水を防止し、施工上の安全性向上にも繋がっている。

## 2. 先進ボーリング調査内容

### (1) 調査項目

#### 1) ボーリングコア採取

ロータリー式ボーリングによるオールコア採取を行い、岩質、断層破砕帯、褶曲構造、変質帯等の分布・性状の詳細の把握、ガスなどの性状把握、地山試験試料の採取を目的としている。

#### 2) 原位置試験

ボーリング孔を利用して、プレッシャーメータ試験、孔内P波速度検層を行い、原位置での地山の特性を把握することを目的としている。プレッシャーメータ試験では、取得した変形係数によるトンネル掘削時の変形特性を検討する。孔内P波検層では、当初の地山区分の再評価、緩み領域、地層の亀裂、変質の程度、岩盤としての強度を検討する。

#### 3) 室内試験

ボーリングコアより試験試料を採取し、室内試験を行い地山の特性を把握することを目的としている。

室内試験は、通常は一軸圧縮試験、超音波伝播速度測定、単位体積重量試験、吸水率試験を行い、地質の物理的・力学的特性を検討する。また、脆弱地山や膨張性が懸念される地質の場合には、三軸圧縮試験、浸水崩壊度試験、X線回折試験、陽イオン交換容量(CEC)試験を実施する。

#### 4) 化学分析

ボーリングコアより分析試料を採取し、土壌汚染対策法に準じた重金属等項目について分析を行い、トンネル掘削発生土の処理検討のための資料を取得することを目的とする。

### (2) 地山判定

地山判定は、日本道路協会および北海道開発局の地山分類の項目に基づき、前述の調査内容から主に以下の項目により判定を行う<sup>1)</sup>。

- ・岩種、岩質 ・水による影響
- ・不連続面の間隔、状態 ・コアの状態、RQD
- ・弾性波速度 ・亀裂係数 ・準岩盤圧縮強度
- ・粘着力 ・内部摩擦角 ・変形係数
- ・ポアソン比 ・地山強度比

以上の項目の結果と、設計時のデータとを比較し総合的に地山判定を行い施工管理にフィードバックし、適正なトンネル支保パターンを選定、対策工等を決定する。

### (3) 調査頻度

各調査項目の調査実施の頻度を表-1に示す。なお、頻度は、トンネル掘削延長に対するものである。

表-1 調査実施頻度・間隔

項目	頻度・間隔
ボーリング	90~100mに1回
プレッシャーメータ試験	90~100mに1回、または地質毎
孔内P波検層	90~100mに1回
室内試験	90~100mに1回、または地質毎
化学分析	10m毎に1回

化学分析の試料は、図-1に示すように先進ボーリングコアから10mを1区間として、2m間隔で採取した5試料を均等配合して1試料とする。分析結果による処理検討は、トンネル掘進長10m単位で判定する。

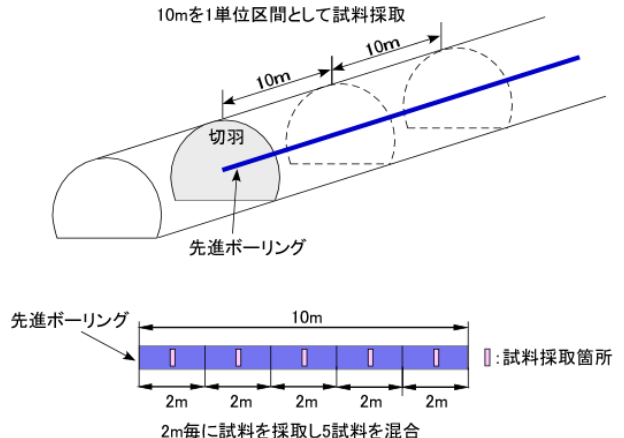


図-1 化学分析の試料採取

### 3. 調査時施工サイクル

先進ボーリング調査は、施工中のトンネル切羽から行うため、切羽でのトンネル工事作業を休止して行われる。通例的に切羽での調査期間は、2日間ないしは3日間が標準となっている。現地作業は、通常のトンネル掘削工事作業と同様に昼夜の2交代制で行われる。

1回あたりの調査深度は、不良地質、多量湧水等の問題がない場合には前項の調査頻度から100mが目安となる。

表-2に調査1回あたりの標準的な施工サイクルを示す。

表-2 先進ボーリング調査施工サイクル

日数	時間	作業内容
1日目 昼	7:00~11:00(4時間)	資機材搬入・掘削準備
	11:00~16:00(6時間)	掘削作業
1日目 夜	19:00~6:00(10時間)	掘削作業
2日目 昼	7:00~18:00(10時間)	掘削作業
2日目 夜	19:00~6:00(10時間)	掘削作業
3日目 昼	7:00~11:00(4時間)	掘削作業
3日目 昼	11:00~15:00(3時間)	検尺・試験
	15:00~18:00(3時間)	資機材撤去・搬出

### 4. 調査時の作業効率向上

先進ボーリング調査は、制限のある時間内に所定深度の掘削が必要となる。そのため、調査時には以下の事項により作業効率を向上している。

#### (1) 原動機の変更

ボーリングマシンは、市販のものを使用しているが、動力をエンジンから電気式モーターに換装している。またプーリーの変更を行い高回転、高出力での掘削を可能としている。スピンドル回転数は、インバーター（写真-1）により制御し、回転数を通常の倍程度までに上げ、掘進率を上げている。

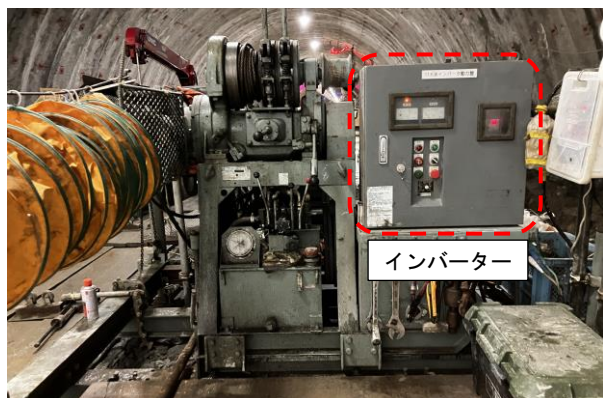


写真-1 回転数制御のためのインバーター追加

#### (2) 掘削ツール

掘削ツールには、市販品の他、以下の特注品や改良品を使用し、作業量の向上を図っている。

- ・掘削ビット：調査対象トンネルの地質に併せた特注品
- ・リーマー：切粉（スライム）の排出を向上させるために通常より外径を大きくした改良品
- ・ダブルコアチューブ：掘削1サイクル当たりの掘削長を長くするためのチューブ長さ3m程度の特注品

#### (3) ボーリング架台

ボーリング架台は、先進ボーリング専用のものを製作し作業効率を向上させている。架台制作の工夫点は以下の通りである。

- ・ボーリングロッド脱着回数の減少：ボーリング架台の全長を6m以上とし、ロッドの脱着を6m（3.0m ロッド×2本）毎に実施
- ・架台のユニット化：ボーリング架台を2つまたは3つにユニット化し、設置時間の短縮、安全性を向上
- ・反力確保：架台自体をボーリング掘削の反力としてアンカー等の設置を省略し、掘削作業の時間を多く確保  
写真-2 に架台の使用状況を示す。



写真-2 ボーリング架台

#### (4) その他

原位置試験の孔内P波速度検層は、自社制作の受振器（写真-3）を塩ビ管に接続して連続的に孔内に挿入し、不安定な孔壁への対応、塩ビ管と受振機を同時に引き抜きながらの測定により測定時間の短縮を図っている。



写真-3 孔内P波検層受振機

以上の対応により、掘削時間の確保及び作業効率の向上により時間当たり3~4mの掘削ができ、短時間で調査深度100mの調査を可能としている。

### 5. まとめ

先進ボーリング調査は工事施工中の調査となるため、短期間調査の工夫や作業の安全性の向上が重要である。また、建設業界における働き方改革への適応も重要な課題である。

そのため、今後もさらなる工夫、改善を行い進化していければと考えている。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 北海道開発局道路設計要領 第4集 トンネル（2024）：北海道開発局

## 高品質ボーリングにおけるコア採取と付随する

## ボアホールスキャナー観測の精度向上に対する一事例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○清水宏剛, 濱本拓志, 池端雄太, 北尾秀夫, 二階堂学, 佐伯健太郎

## 1. はじめに

地すべり地質調査において、地すべり土塊中の層理面やすべり面の構造・方向性、岩盤中の脆弱部の構造・方向性の把握は、地すべりの機構改正や構造物の設計・施工を行う際に重要な基礎データとなってくる。近年では地すべり土塊の地盤性状や岩盤中の脆弱部の状態を精度よく確認するために、増粘泥水や気泡を循環流体にした高品質ボーリングを行うケースが多くみられ、付随してボアホールスキャナー観測を行い、空洞の有無や脆弱部の方向について精度良く解析する事例が広がっている。

一般に、高品質ボーリングとは断層破砕帯、地すべり土塊、亀裂密集部、硬軟混在部等の通常ボーリングでは採取率が低下する地層に対して、コアの乱れや軟質部や細粒分の流出を抑制することにより、自然な状態に限りなく近く採取率 100%のボーリングコアを採取するものである。

高品質ボーリングでは、掘削中（掘削技術、流量管理、増粘泥水等）の要素、掘削後の要素（コア運搬、洗浄、保管等）の二つが重要な要素であり、弊社では「高品質ボーリング技能認定制度」の立上げや「高品質ボーリング業務対応マニュアル」作成により、品質の向上を行ってきた。

上記に示した高品質ボーリングコアのデータを補完する原位置試験として行われるボアホールスキャナー観測とは、掘削後の孔壁をカメラで360度撮影することにより、原位置の割れ目や挟在層、層理面等の走向・傾斜のデータを取得することができるものである。高品質ボーリングにより乱れの少ないコアを採取しても、ゆるみ岩盤や空隙・開口割れ目を含む岩盤では、コア採取が困難になるケースが発生する。このような場合は、ボアホールスキャナー観測結果と対比して総合的に判定することが有効である。本講演では、高品質ボーリングコア採取における重要な点とボアホールスキャナー画像の精度向上に向けた実践と事例について報告する。

## 2. 担当技術者の役割分担について

## (1) ボーリングオペレーター

掘削において、孔径が大きくなると採取されるコアの品質も向上する傾向があり、一般的にはφ86mm以上を選定することが多い。また、ツールはビニールスリブを収納できるダブルコアチューブを使用することが最低条件となる。<sup>1)2)</sup>その他に、地山状況に適した循環流体（増粘泥水や気泡）や特殊加工ビットを用いる。コア採取後にボ

ーリングオペレーターは回収したコアを所定の長さに切断しコア箱収納する。この際、コア切断時にコア長の過不足がないように整理する必要がある。

掘削後のボアホールスキャナー観測の実施にあたっては、掘削に使用した増粘泥水等を清水に置き換え、孔内に浮遊するスライム（掘削ズリ等）の濁り除去が必要不可欠である。孔壁の状況によるが、孔内洗浄用ブラシを用いて孔壁を洗浄すること鮮明な画像を取得できる場合が多い。孔壁にマッドケーキが付着している場合は、孔壁に細粒分を引き延ばし孔壁画像が不明瞭になる可能性があるため、注意が必要である。また、礫層や空隙を伴う地すべり土塊等については、孔壁洗浄時に孔壁が崩壊する恐れがあるので、慎重に行う必要がある。

## (2) ボアホールスキャナー測定技術者

ボアホールスキャナー測定技術者は孔壁洗浄後に、孔壁画像を測定する。測定の際に孔内水位があり、孔壁洗浄直後だと細粒分が舞っていることがあるため、ある程度の時間放置した方が良い。もしくは、孔壁画像を測定中に孔内洗浄用ホースを挿入し、清水を循環することにより、細粒分の排除が上手く行えるケースがある。脆弱な孔壁、ゆるみが著しい岩盤、砂礫、地すべり土塊等におけるボアホールスキャナー観測の際は、ボアホールカメラ自体のジャーミング等が考慮されるため慎重に行う必要がある。ジャーミング対策としては、孔内にケーシングを挿入している場合は、ケーシングを徐々に抜管しながらの測定や孔径にあった透明管（写真-1：ただし、地下水位以深であることが条件）を挿入した上での測定もしくは、測定範囲より上部をセメンチングしてからの撮影が有効であると考えられる。

## (3) 地質技術者

地質技術者はボアホールスキャナー測定後にコア写真のデータとボアホールスキャナーのデータを対比して整合確認する必要がある。ごく稀なケースではあるが、ボーリングコアをコア箱へ入れ間違えをチェックできる効果もある。対比の際には、実際のコア長、コア状況と比較した際に大差ないことを確認してから、解析を行う必要がある。異常が見受けられた場合は、試錐日報を確認すると同時にボーリングオペレーターに掘削時の状況を確認する必要がある。なお、データ解析については、本論では割愛する。



写真-1 透明管(φ76mm ポリカーボネート製)について

### 3. 高品質ボーリングコアの採取およびボアホールスキャナー観測の例

#### (1) 地すべり土塊における事例

写真-2は、地すべり土塊中のコア写真と孔壁展開画像を対比したものである。写真-2に示す様な空隙を多く伴う区間が連続する場合は、ボアホールスキャナー観測の測定自体が困難な場合がある。この事例は写真-2の様な空隙を伴う区間が20m程度連続しておりボアホールスキャナー観測の孔壁展開画像とコアを対比することによりコアの信頼性を高めることができた。また、この事例は、先に述べた透明管を用いて測定したものであり、ジャミングすることなく測定することができた。透明管を用いた測定の際の留意事項として、下記に留意した。

- ・透明管の選定(管種, 孔径, 肉厚)
- ・地下水位の有無
- ・ネジ部の測定

なお、この事例で用いたものは、ポリカーボネートパイプ、外径76mm、肉厚2mm、長さ3mである。この他に透明塩ビ管も候補として考えたが、若干透明度が落ちるため選定しなかった。透明管を用いるにあたり、地下水位が無いと乱反射して測定することができなくなるため、注意が必要であった。また、ネジ部(透明感の繋ぎ目)の測定の際には、10cm程度透明感の位置をずらしてから撮影する必要があった。

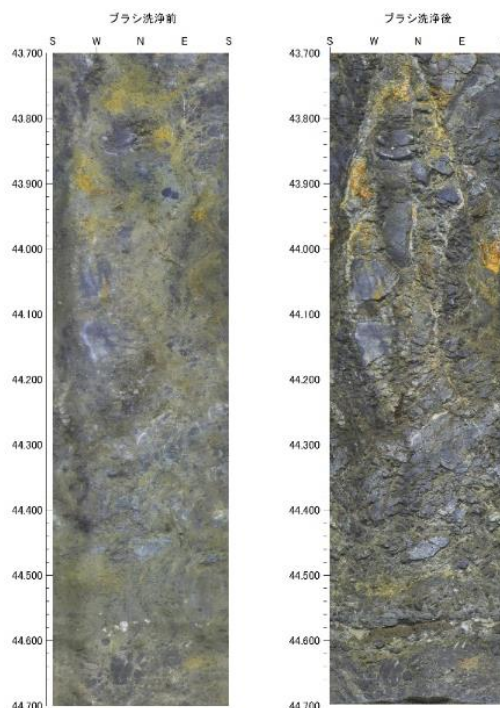
#### (2) 泥岩中の脆弱部における事例

写真-3は、脆弱部における孔壁洗浄前後の孔壁展開画像を対比したものである。孔壁洗浄後の孔壁展開画像の方が割れ目の走向・傾斜や孔壁状況が明瞭である。この事例は、先に述べた孔内洗浄用ブラシを用いて孔壁を洗浄したものである。この事例で孔壁を洗浄したブラシは、幅3cm程度の硬めなワイヤーブラシを用いてロッドを若干回転させながら3回程度上下させながら洗浄したものである。孔壁洗浄後は、洗浄用ホースを孔内に挿入し清水を流し込みスライム等が排除されてから測定を実施した。



【高品質コア写真】 【ボアホールスキャナー展開画像】

写真-2 地すべり土塊中のコアと孔壁展開画像



【ブラシ洗浄前】 【ブラシ洗浄後】

写真-3 脆弱部における孔壁洗浄前後の孔壁展開画像

#### 《引用・参考文献》

- 1) 濱本 拓志, 伊藤 靖雄, 山口 奨之(2020): 高品質ボーリングコア採取に向けてのコアの取扱いの一事例(その2). 日本応用地質学会令和2年度研究発表会講演論文集, p46-47.
- 2) 山口 奨之, 濱本 拓志, 北尾 秀夫, 田中 昭好(2021): 高品質ボーリングコアの取扱い事例. 全地連「技術フォーラム2021」大阪, 004.



【FE05】

# ラムサウンディング試験における地下水位測定器具の開発

㈱セイコー ○齊田 敏道, 後藤 敏之, 田中 英明, 中谷 寛, 村嶋 光明, 黒田 憲介, 原口 洋平

## 1. はじめに

ラムサウンディング試験は、他の原位置試験と比較して貫入力が大きい試験であることからボーリングの補間調査として需要が多くなっている。また、盛土規制法の制定に伴い、既存の盛土調査時にボーリングに代わる調査方法として期待され、その中でも地下水位を把握することが重要事項となる。そこで、ラムサウンディング試験時に地下水位を容易に計測できる器具を開発中である。

測定器具は、保孔管を兼ねた有孔のSGP管を用いて作成し、地下水位以深まで設置した後、地下水の回復を待つて水位を測定するものである。

## 2. 測定方法

ラムサウンディングによる掘削孔径は、45 mmである。よって、掘削径に入るSGP管に地下水位観測用として穴をあけ、水位測定管に地下水を引き込んで地下水位をSGP管の中で測定する。

水位測定は、裸孔で測定する方が正確に水位を測定することは出来るが、土質によっては孔壁が崩壊し測定不能となるリスクがあるため、水位測定管を設置することで継続した測定を行うことが可能となる。

水位測定管の設置は、深度が浅い場合は人力で設置が可能であるが、深度が深い場合は昇降機を利用しながら設置する。

図-1 にラムサウンディング機材と水位測定管および昇降機を示す。

なお、掘削深度まで入らない場合は、打撃にて挿入することも可能である。



図-1 試験機材一式

地下水位の観測は、小型の触診式水位計を水位測定管内に挿入し、水位測定管内の地下水位を直接測定するものである。観測後の抜管においては、測定深度が浅い場合は人力で抜管し、測定深度が深い場合は設置時同様に昇降機を使用し抜管を行う。

## 3. 水位測定管の仕様

水位測定管については、施工性と開口率の2つの側面から比較した仕様に基づいて表-1 に示す測定管を作成した。

表-1 水位測定管仕様

項目	施工性優先	開口率優先
開口部	丸穴 径 5 mm	縦スリット 幅 2 mm
配置	5 cm 千鳥	4 cm 千鳥
接続	ソケット	ねじ切り
管種	SGP15A, 1.35kg/m	SGP20A, 2.35kg/m
孔壁との開き	11.7 mm	8.9 mm

図-2 には 2 種類の水位測定管の写真と図-3 には水位測定管の構造図を示した。

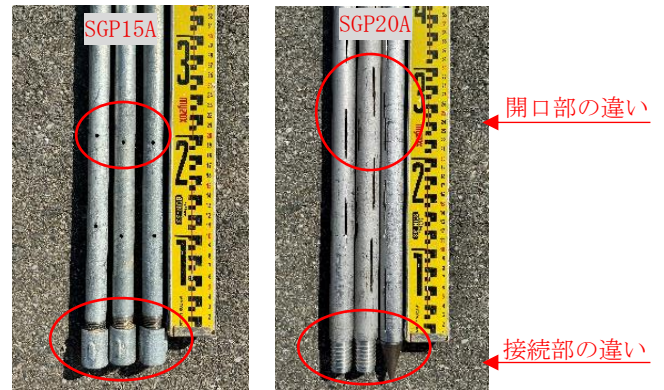


図-2 2種類の水位測定管

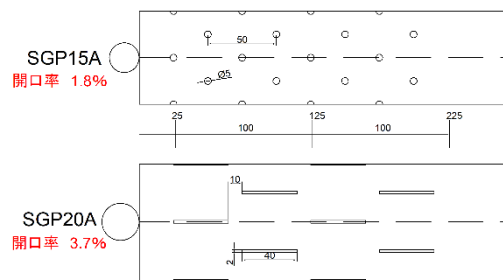


図-3 水位測定管の構造図

## 4. 試験施工の結果

試験施工は、当社の敷地において実施しており、水位観測井設置時に確認した土質分布・地下水位の情報は、以下のとおりである。

- 深度 0.0m～2.0m ; 盛土 (砂質土)
- 深度 2.0m～4.0m ; 砂礫
- 深度 4.0m～6.0m ; 粘土混じり砂
- 地下水位 ; GL-1.77m

水位測定管は、図-4 に示すような形で設置を行い、既存の水位観測井から上流側に1m 離し、2 孔の間隔は0.5m とした（図-5）。水位測定管の深度は6m とし、盛土および砂礫層に分布している地下水位を観測できるものとしている。



図-4 水位測定管の設置状況



図-5 水位測定管の配置状況



図-6 水位測定状況

水位測定管設置後に、図-6 に示すような方法で水位を測定し、水位の回復傾向を把握した。なお、既存の水位観測井には自記水位計を設置し、10 分ごとに水位データを取得した。

今回の試験では、観測井の水位と一致するまでにどのくらいの時間を要するかの比較検証を行った。

水位の観測結果を図-7 に示す。水位測定管の違いによる水位測定結果の差については、表-2 に示すように、1 時間後は11 cm、2 時間後は10 cm、3 時間後は10 cm、24 時間後は12 cmの差が生じている。

測定結果から判断すると、少なくとも安定するまでの計測時間としては、2 時間以上が望ましい。

抜管後の水位管の状況として、SGP15A は1.5m ほど管内に土砂の流入があった。一方 SGP20A はほとんど土砂

の流入がなく0.2m 程度であった。この違いについては、開口部の形状の違いと考えられ、縦スリットタイプが作業上有利と推測される。

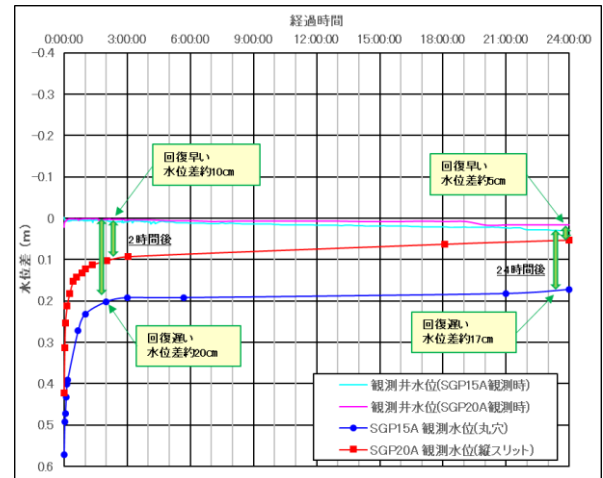


図-7 水位測定結果図

表-2 水位測定結果表

項目	基準水位との水位差 (cm)				
	初期	1 時間	2 時間	3 時間	24 時間
SGP15A	57	23	20	19	17
SGP20A	42	12	10	9	5

## 5. 今後の開発に向けての課題

試験結果を総合的に判断すると、水位測定管としてはSGP20A の方が作業効率、水位計測精度が良い結果となったことを鑑みて今後の課題を整理した。

- ① 打ち込み等を行った場合の安全性を確認するために、一定の打撃でどの程度の耐久性があるか検証する。
- ② 計測の精度に関しては、現状 24 時間後の計測では5 cmまで回復しているが、1 時間後の計測は12 cmまでしか回復出来ていないので精度を高めるために開口率のアップを検討していきたい。その際に問題となるのが耐久性の低下になるので①と併行しながら検証する。

## 《参考文献》

- 1) 改定版 現場技術者のための地質調査技術マニュアル (平成27年11月), (一社)関東地質調査業協会。
- 2) 地盤調査-基本と手引き-(令和4年6月), (社)地盤工学会。

【FE06】

地盤材料の違いによる変形係数  $E$  と  $N$  値の関係

明治コンサルタント(株) ○西尾 和也, 三又 凜太郎, 八重樫 剛志

1. はじめに

変形係数  $E$  は、杭基礎の設計や開削工事等における周辺地盤の挙動を予測する場合など、設計時に必要となる場合が多い。

一般に  $E$  を求める方法として、孔内载荷試験での測定、供試体の一軸または三軸圧縮試験から求める、標準貫入試験の  $N$  値から推定するなどが挙げられる。この内、孔内载荷試験から得られる  $E$  と標準貫入試験の  $N$  値には、図-1 に示すように  $E=670N^{0.986}$  (kN/m<sup>2</sup>) の相関が認められており、地盤材料に関わらず  $E=400\sim 1,000N$  (kN/m<sup>2</sup>)、平均的には  $E=700N$  (kN/m<sup>2</sup>) という関係が近似的に成立している<sup>1)</sup>。(以下、変形係数  $E$  の単位は (kN/m<sup>2</sup>) とし表記を省略する)。

本報告では、孔内载荷試験から得られた  $E$  と標準貫入試験の  $N$  値の関係を、地盤材料の違いに着目して考察した。

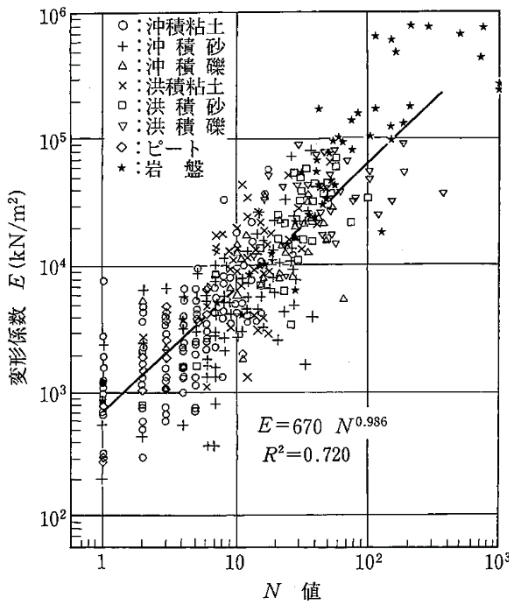


図-1 孔内载荷試験から得た変形係数  $E$  と  $N$  値の関係<sup>1)</sup>

2. 試験方法

本報告の対象データを取得するのに実施した孔内载荷試験は JGS 1531「地盤の指標値を求めるためのプレッシャーメータ試験方法」に準拠し、試験機は1室型等分布荷重方式を使用した。また、標準貫入試験は JIS A 1219 に準拠し実施した。

3. 対象データおよび分析結果

対象データについて表-1に示す。データは地盤材料によって分けて整理した。また、各データの粗粒含有率  $C_c$  (coarse fraction content から、便宜上  $C_c$  とした)、細粒含有率  $F_c$  による影響を分析するため、粒度分析

の結果からそれぞれを5%未満、5%以上15%未満、15%以上の含有率で分けて地盤材料毎に整理した(表-2参照)。粒度分析を未実施のデータがあることから、表-2のデータ総数は表-1のものより3個少ない。

表-1 対象データ(地盤材料別)

		粘性土	砂質土	礫質土
データ数	計	122	57	44
	最小値	1	1	11
	最大値	100	375	188
$N$ 値	平均値	11	38	61
	最小値	1,413	349	4,102
	最大値	112,700	186,000	107,209
変形係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	平均値	21,954	31,860	40,103

表-2 対象データ(各地盤材料の粒度別)

$C_c$ : 粗粒含有率 $F_c$ : 細粒含有率 -: データなし	粘性土			砂質土			礫質土			
	$C_c < 5\%$	$5\% \leq C_c < 15\%$	$15\% \leq C_c$	$F_c < 5\%$	$5\% \leq F_c < 15\%$	$15\% \leq F_c$	$F_c < 5\%$	$5\% \leq F_c < 15\%$	$15\% \leq F_c$	
データ数	計 119	12	18	27	1	15	25	0	14	7
$N$ 値	最小値	1	1	1	13	9	1	-	11	29
	最大値	100	43	52	13	136	150	-	188	100
	平均値	15	9	11	13	40	24	-	66	51
変形係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	最小値	1,413	4,284	1,670	17,469	349	866	-	4,102	12,836
	最大値	112,700	94,620	55,037	17,469	100,146	104,451	-	107,209	50,538
	平均値	18,621	24,225	21,921	17,469	33,807	24,140	-	41,529	37,252

(1) 地盤材料別の分析結果

全データを粘性土、砂質土、礫質土に分けて分析した結果を図-2に示す。

粘性土では、多くのデータが  $E=1,000N$  を超えており、2,000~6,000 $N$  の範囲内(平均  $E=2,720N$ ) に分布する。

砂質土では、多くのデータが  $E=400\sim 2,000N$  の範囲内(平均  $E=1,211N$ ) に分布する。

礫質土では、多くのデータが  $E=400\sim 1,000N$  の範囲内(平均  $E=753N$ ) に分布する。

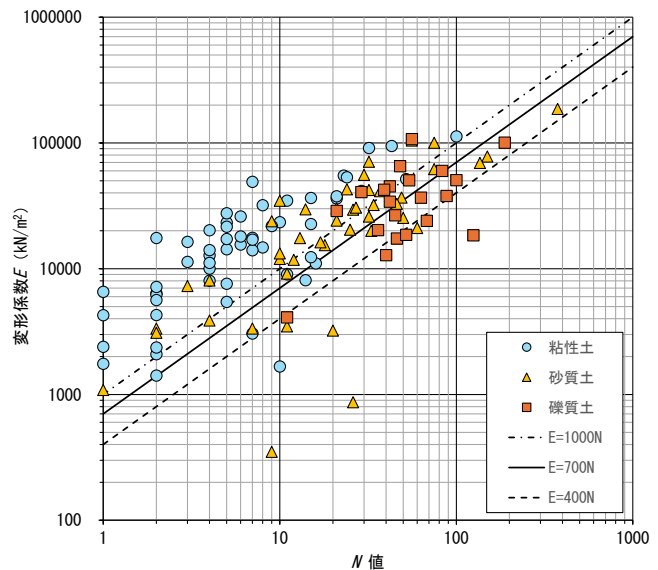


図-2 変形係数  $E$  と  $N$  値の関係(地盤材料別)

(2) 各地盤材料の粒度別分析結果

粘性土では  $C_c$  を、砂質土、礫質土では  $F_c$  をそれぞれ 5%未満、5%以上15%未満、15%以上の含有率で分けて分析した結果を図-3に示す。また、各データのばらつきの大さを比較するため、変形係数  $E$  と  $N$  の関係について、標準偏差  $\sigma$ 、変動係数  $CV$  について整理した(表-3参照)。

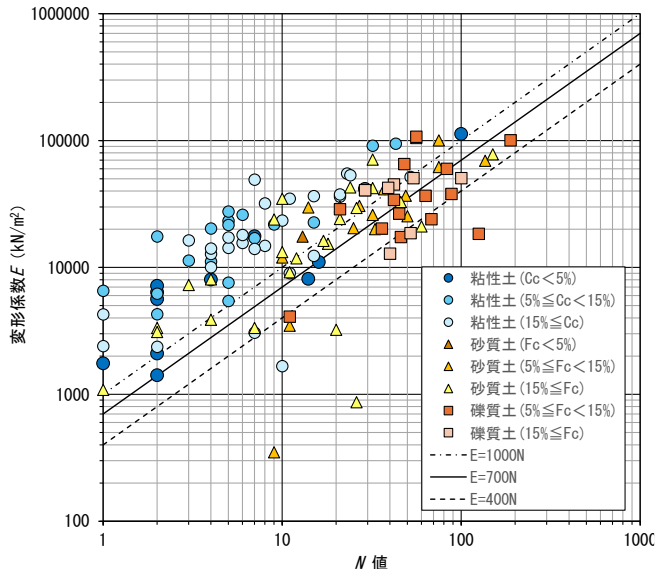


図-3 変形係数  $E$  と  $N$  値の関係(各地盤材料の粒度別)

表-3 各地盤材料の粒度別の変形係数  $E$  と  $N$  値の関係

データ数	計117	粘性土			砂質土			礫質土		
		$C_c < 5\%$	$5\% \leq C_c < 15\%$	$15\% \leq C_c$	$F_c < 5\%$	$5\% \leq F_c < 15\%$	$15\% \leq F_c$	$F_c < 5\%$	$5\% \leq F_c < 15\%$	$15\% \leq F_c$
変形係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )										
最小値	579	1,088	167	1,344	316	161	147	321		
最大値	3,578	8,764	7,018	1,344	2,118	3,469		1,914	1,400	
平均値	1,786	3,612	2,540	1,344	962	1,351		724	812	
標準偏差 $\sigma$	1,033	1,980	1,505	-	470	794		492	418	
変動係数 $CV$ (%)	0.58	0.55	0.59	-	0.49	0.59		0.68	0.51	

(※1) 変形係数  $E=A*N$  (kN/m<sup>2</sup>)

(※2) 係数  $A$  が 100 未満は特異値と判断し棄却して統計処理をした

① 粘性土の変形係数  $E$  と  $N$  値の関係

粘性土のデータで  $C_c < 5\%$  のものでは、 $E=579 \sim 3,578N$  を示し、 $E=1,000N$  を超えるものが多い。

$5\% \leq C_c \leq 15\%$  のものでは、 $E=1,088 \sim 8,764N$  を示し、多くが  $E=2,000 \sim 6,000N$  の範囲内に分布する。

$15\% \leq C_c$  のものでは、 $E=167 \sim 7,018N$  を示し、多くが  $E=2000 \sim 4000N$  の範囲内に分布する。

変動係数  $CV$  は、0.55~0.59であり、粘性土のデータにおける粒度の違いによるばらつきの差は小さい。

② 砂質土の変形係数  $E$  と細粒分含有率  $F_c$  の関係

砂質土のデータで  $F_c < 5\%$  のものは1個のみのため分析できず、 $5\% \leq F_c$  のものと比較しても特筆すべき点は認められなかった。

$5\% \leq F_c \leq 15\%$  のものでは、 $E=316 \sim 2,118N$  を示し、多くが  $E=400 \sim 1,000N$  の範囲内に分布する。

$15\% \leq F_c$  のものでは、 $E=161 \sim 3,469N$  を示し、多くが  $E=700 \sim 2,000N$  の範囲内に分布する。

変動係数  $CV$  は、0.49~0.59であり、砂質土のデータに

おける粒度の違いによるばらつきの差は小さい。

③ 礫質土の変形係数  $E$  と細粒分含有率  $F_c$  の関係

礫質土のデータで  $F_c < 5\%$  のものは得られなかった。

$5\% \leq F_c \leq 15\%$  のものでは、 $E=147 \sim 1,914N$  を示し、多くが  $E=400 \sim 1000N$  の範囲内に分布する。

$15\% \leq F_c$  のものでは、 $E=321 \sim 1,400N$  を示し、多くが  $E=400 \sim 1,000N$  の範囲内に分布する。

変動係数  $CV$  は、0.51~0.68であり、 $5\% \leq F_c \leq 15\%$  のものが0.68を示し、礫質土の  $15\% \leq F_c$  のものや、砂質土及び粘性土と比較すると、ばらつきが大きい。

4. 考察

(1) 地盤材料別分析結果の考察

地盤材料の違いのみで分析した場合、粘性土については概ね  $E=2,000 \sim 6,000N$  の範囲内(平均  $E=2,720N$ ) で分布する傾向にあった。砂質土については概ね  $E=400 \sim 2,000N$  (平均  $E=1,211N$ ) の範囲内に分布する傾向にあった。礫質土については概ね  $E=400 \sim 1,000N$  の範囲内(平均  $E=753N$ ) に分布する傾向にあった。

以上のことから、変形係数  $E$  を  $N$  値から推定する場合、礫質土、砂質土、粘性土の順で精度が悪くなり、一般的な関係式( $E=700N$ ) と比べると、礫質土は同程度であるが、砂質土は2倍程度、粘性土は4倍程度、孔内載荷試験結果の方が高い値を示している。

(2) 各地盤材料の粒度別分析結果の考察

地盤材料に加えて粒度も考慮し分析した場合、どの地盤材料でも  $C_c$ 、 $F_c$  によって  $E$  のばらつきの範囲に差が認められた。砂質土では  $5\% \leq F_c \leq 15\%$  のものが、礫質土では  $15\% \leq F_c$  のものが比較的ばらつきが小さい。

また、細粒分が多くなるほど、また、地盤材料の平均的な粒径が小さくなるほど変形係数  $E$  と  $N$  値の関係の係数  $A$  が大きくなる傾向が見られ(粘性土の  $C_c < 5\%$ 、砂質土の  $F_c < 5\%$  は除く)、粒度別に細分しても(1)に示した大局的な傾向(礫質土、砂質土、粘性土の順に係数  $A$  が大きくなる)と同様の傾向であった。

5. 今後の課題

本報告では各地盤材料でそれぞれ相関が認められたものの、データ総数は122と多くはなく、地盤材料ごとのデータ数に差があるものとなった。粘性土のデータ数は相対的には多いが、変形係数  $E$  が一般的な関係式によるものよりも孔内載荷試験結果によるものの方が4倍程度高い値となっており、その妥当性を検証するためにも、より多くのデータを収集し、再検討する必要がある。

《引用・参考文献》

1) 地盤調査の方法と解説 (2013) : 公益社団法人地盤工学会, p. 687

【FE07】

地下水の流向流速測定において、ボアホールカメラと食紅を用いて測定した事例

大日本ダイヤコンサルタント株式会社 ○今村 陽太, 遠藤 理, 藤永 優

1. はじめに

地下水観測井内において、流向流速を測定する際、一般的には熱量法地下水流向流速計を用いる。しかし、熱量法地下水流向流速計には「測定深度 60m 以内・ストレーナ開孔率が 10%以上<sup>1)</sup>」といった条件がある。今回の測定対象箇所はストレーナ開孔率が 10%未満であった。そこで、食紅とコンパスを主体とした簡易な流向流速測定器具を孔内に挿入し、食紅の拡散する方向をボアホールカメラで撮影することで流向流速を測定した。その結果についてまとめ、報告する。

2. 一般的な孔内流向流速測定の概要

(1) 熱量法地下水流向流速計の概要

孔内流向流速測定の測定方法は、一般的に熱量法地下水流向流速計を用いて測定することが主流である。熱量法地下水流向流速計の概要を図-1に示す。

測定原理は、測定器の中央にあるヒーターが暖められ、地下水の流れにより上流側は温度センサーが冷やされる。同時に下流の温度センサーは温度が上昇するため、温度差の傾向により流向と流速を測定する方法である。

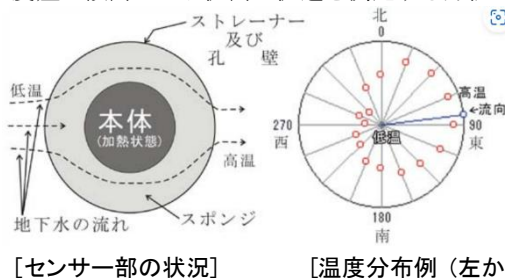


図-1 流向・流速計測定原理<sup>2)</sup>

(2) 測定条件

熱量法地下水流向流速計には、測定にあたって以下の条件がある。

- ・測定深度60m 以内
- ・ストレーナ開孔率が10%以上

今回の測定対象箇所はストレーナ開孔率が10%未満であった。したがって、熱量法地下水流向流速計以外の手法で、流向・流速を計測する。

3. 簡易な流向流速測定器具について

(1) 簡易流向流速測定器の概要

井戸の孔内の映像をリアルタイムで確認できるボアホールカメラを用意する。それに、中心に水に溶けるカプセルが固定できるように加工したコンパスを取り付ける。カプセルの中に食紅を注入し、ボアホールカメラを井戸孔内の対象深度まで下ろし、カプセルが水に溶けだし、食紅が拡散する状況をカメラで確認する。

簡易流向流速測定器の仕様器具を表-1、簡易流向流速測定器を写真-1、概略図を図-2に示す。

表-1 使用器具一覧

使用器具一覧	備考
ボアホールカメラ	サンコー製 ケーブル長 40m <sup>3)</sup>
コンパス	半径 2.0 cmのもの
食紅	-
カプセル	水に溶けるもの



写真-1 簡易流向流速測定器

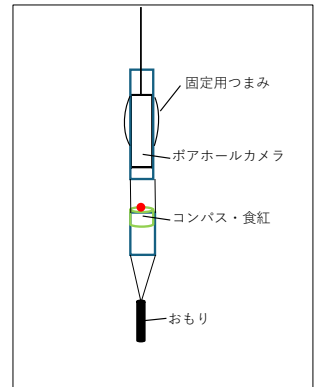


図-2 先端概略図

(2) 測定方法

簡易流向流速測定器のコンパスを対象深度のストレーナ開口部分に設置する。カプセルが溶け、食紅が拡散し始めた時間と、食紅がコンパスの外縁に到着した時間を記録する。半径2.0cmのコンパスを使用しているため、食紅の拡散時間を計測することによって、流速を求める。また、流向については、コンパスの方位を読むことにより地下水の流れの方向を確認する。

(3) 測定時の工夫点

流向流速測定を行う際、事前にグルンドフォスを使用し、観測孔内の地下水（対象深度付近）を循環させ、より鮮明に食紅の拡散状況を観察できるように試みた。

また、簡易流向流速測定器について、ボアホールカメラが調査孔の中心になるようにボアホールカメラにつまみを取り付け、孔の中心で測定するようにした。(写真-1、写真-2参照)



写真-2 つまみ取付無し



写真-3 つまみ取付あり

#### 4. 測定結果

今回の調査では、中層部を対象に14孔、深層部を対象に4孔の計18孔で観測を行った。

今回観測を行ったうちの1孔について、観測状況、食紅拡散状況を写真-4、写真-5に示す。

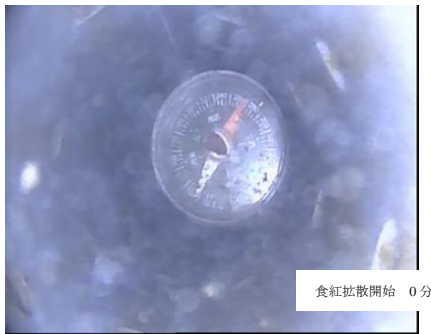


写真-4 観測状況

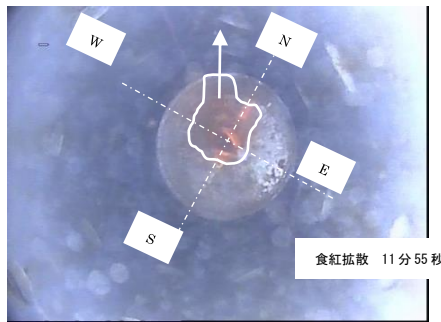


写真-5 食紅拡散後状況

簡易流向流速測定器を対象深度（16.0m）に設置してから、約8分後に食紅が拡散し始めた。拡散し始めは、じわじわと全体的に広がり、拡散開始から5分ほど経過したころから、次第にNNW方向に拡散し始め、拡散開始から11分55秒経過した時に、コンパスの外縁まで、食紅が到着した。

結果として、拡散速度は $20\text{mm}/715\text{秒} \approx 0.03\text{mm}/\text{秒}$ となり、流向はNNW方向であった。

以下に、今回観測で得られた結果の一覧表を示す。

表-2 測定結果 一覧

		中層部					
調査箇所		1-72	1-19	260+70	261+40	(No.6) 1-8	(No.13) 1-18
	対象層	Ds2	Ds2	Ds2u	Ds2u	Ds2	Ds2
	深度 (GL-m)	22.0	18.5	17.2	16.0	23.5	19.0
調査結果	拡散方向	測定不可	SSE方向	SW方向	NNW方向	SE方向	測定不可
	流速 (mm/sec)		0.03	0.02	0.03	0.05	
		中層部					
調査箇所		(No.10)	(No.11)	(No.20) 1-24	(No.22) W-8	(No.29) 1-31	(No.31) 1-34
	対象層	Ds2	Ds2	Ds2	Ds2	Ds2	Ds2u
	深度 (GL-m)	20.3	20.2	24.5	19.8	22.0	22.8
調査結果	拡散方向	S方向	SE方向	NWS方向	E方向	NNE方向	E方向
	流速 (mm/sec)	0.01	0.03	0.02	0.08	0.03	0.04
		中層部			深層部		
調査箇所		(No.32) 1-33	(No.34) 1-68	(No.8) 1-10	(No.9)	(No.43) 1-16	(No.22) W-8
	対象層	Ds2u	Ds2u	Ds3	Ds3	Ds3u	Ds3
	深度 (GL-m)	22.0	24.6	37.5	48.0	38.0	36.5
調査結果	拡散方向	WVN方向	S E 方向	WWS方向	EES方向	EES方向	NW方向
	流速 (mm/sec)	0.04	0.2	0.03	0.02	0.03	0.05

測定結果について、流速は概ね0.02mm/秒～0.05mm/秒の値となった。また、中層部と深層部において流速に大きな変化等はないことがわかった。

また、今回調査した18孔の内の2孔においては、孔内の浮遊物等によって食紅の拡散状況が確認できず、結果を得ることができなかった。（状況写真を写真-6に示す。）

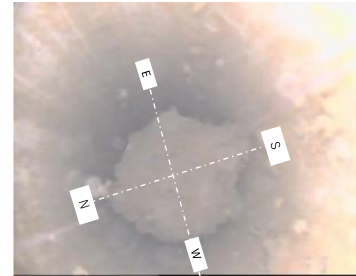


写真-6 測定不可地点 観測状況

浮遊物等で、食紅の拡散状況が確認できなかった原因は、簡易流向流速測定器に、ボアホールカメラが調査孔の中心になるようにつまみを取り付けたことによって、つまみが孔壁に付着していた、ごみ等を削りながら対象深度まで下ろしたため、剥がれた付着物がコンパスの上に堆積したためと考えられる。

対策として、観測作業をする前に、事前に井戸の孔壁等を洗浄し、付着物を取ったのちに観測することが必要である。

#### 5. まとめ

ストレーナ開孔率が10%未満の地下水観測孔において、食紅とコンパスを主体とした簡易な流向流速測定器具を孔内に挿入し、食紅の拡散する方向をボアホールカメラで撮影することで地下水の流向流速を測定した。結果として、食紅の拡散状況を観察することによって、大まかな流向と流速を把握することができた。

しかし、井戸の孔壁についての付着物や、浮遊物の影響で、食紅の拡散状況が見えず、流向流速を測定できない箇所があった。食紅の拡散状況を正確に把握するために、測定前に井戸内（孔壁）を洗浄し、井戸の中がきれいになった状態で観測する必要がある。

#### 《引用・参考文献》

- 1) , 2) NPG 日本物理探査株式会社 地質調査手法 熱量法地下水流向流速測定（最終閲覧日2024.5.20）  
[https://www.nbuturi.co.jp/technology/geology/gw\\_ater/current/heat.html](https://www.nbuturi.co.jp/technology/geology/gw_ater/current/heat.html)
- 3) サンコー株式会社配管用内視鏡スコープ premier40M 商品概要（最終閲覧日2024.5.20）  
[https://www.data.thanko.jp/download/catalog/CA\\_RPSCA\\_catalog.pdf](https://www.data.thanko.jp/download/catalog/CA_RPSCA_catalog.pdf)

# 杭の根入れ深度調査

日本物理探査株式会社 ○木村 優太、大垣 泰宏

## 1. はじめに

近年、地中構造物（本設杭、仮設杭、残置杭、躯体構造物）の下端深度調査に関する需要が高まっている。主な調査対象物は鋼矢板、H 鋼、各種杭、ボックスカルバートなどである。本稿はこのうちフーチング撤去後の既設杭（PC 系杭）を対象とした磁気検層と速度検層についてとりあげ、その事例と作業を行う上での留意点について述べるものである。

## 2. 調査手法

杭の根入れ深度調査方法は磁気検層と速度検層である。これらの調査方法について表-1に示す。

表-1 杭の根入れ深度調査手法

手法	求めるもの	実質計測時間
磁気検層	磁場の強さや変化率	20分
速度検層	杭体と地盤の弾性波速度変化点	30分

### (1) 磁気検層

磁気検層は調査対象物が磁性体であることに着目し、その磁場の強さや変化率を測定して杭下端の根入れ深度を求める手法である。図-1は磁気検層で取得されるモデル波形である。杭の根入れ深度を求めるときは、まず磁気ピークを読み取って磁極深度とする。一般的に磁極深度は杭の下端深度に合致しないから、その磁極深度に実験等で求めた値か推定値を深度方向に加算して根入れ深度とする。

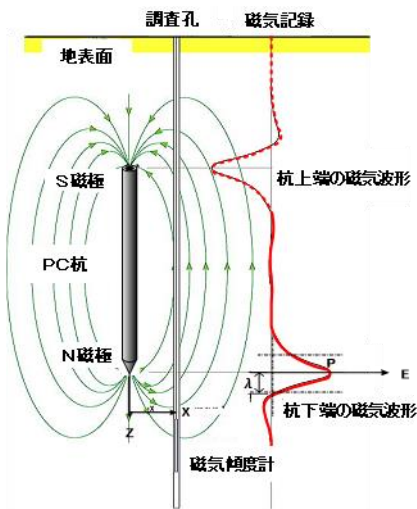


図-1 磁気検層波形記録の模式図

### (2) 速度検層

速度検層は、杭体と地盤の弾性波速度差に着目して杭の根入れ深度を求める手法である。

調査は、杭の近傍に設置した調査孔内に受振器(12連)をセットし、杭頭を打撃して行う。受振した時間を走時曲線上にプロットし、その速度勾配変化点を求めればよい(図-2参照)。

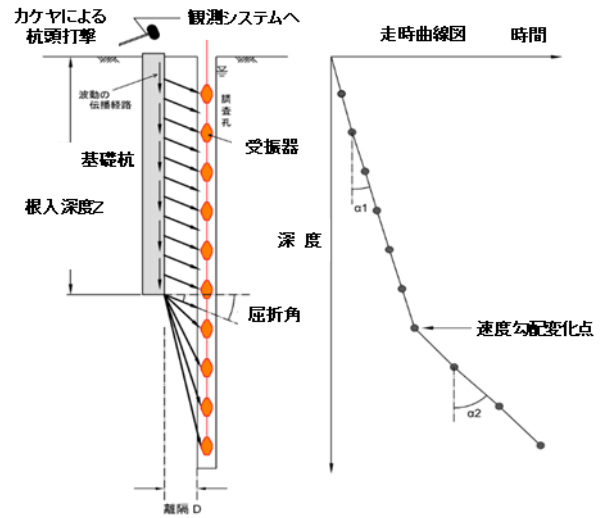


図-2 速度検層結果模式図

### (3) 実際の作業手順

現場における作業状況を下記に示す(図-3参照)。

- ① 杭頭付近の状況把握  
フーチング撤去時に、杭位置、杭天端深さ、杭径、水位、鉄筋有無、などを入念に確認する。
- ② 調査孔の準備  
状況確認後、杭頭直前に保孔管をセットして埋め戻す。保孔管直下のガラなどは丁寧に取り除いておく。
- ③ 削孔～調査孔設置  
保孔管を引き抜き、ボーリングマシンを用いて所定深度まで削孔する。塩ビパイプを立て込んで調査孔とする。
- ④ 磁気検層測定  
磁気検層を行って、杭の根入れ深度を求める。
- ⑤ 速度検層準備  
杭天端を露出させ、研磨具等を用いて整形する。受振器挿入、トリガスイッチの確認、湧水対策、計測孔内の水位回復を済ませて、計測環境が整うのを待つ。
- ⑥ 速度検層測定～片づけ  
受振器をセットして杭打撃時の走時を観測する。計測後孔内を閉塞して作業終了とする。



図-3 測定状況

### 3. 結果事例

図-4、図-5は磁気検層と速度検層の実際に得られた結果の一例である。杭下端部の磁気反応（測定機器からの深度10.5m 付近）が明瞭に認められ、走時曲線の折れ点深度（深度10m～11m 付近）と一致することがわかる。

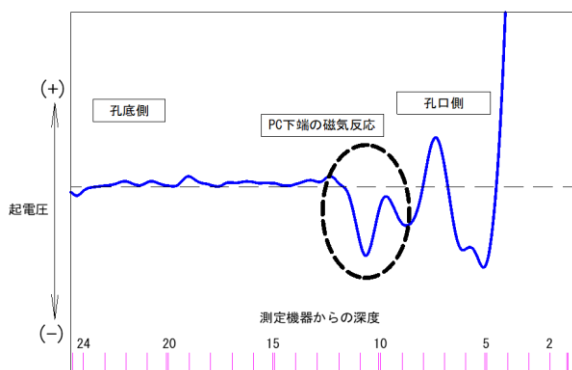


図-4 磁気検層結果図例(PC 杭)

磁気検層は速度検層に先行して実施するため、根入れ深度は予想可能である。速度検層では多チャンネル受振器を使用しているから、その予測した深度付近に複数のチャンネルをセットすれば、観測モニター画面上で折れ点を確認できる。そして、杭の支持層となりうるような砂～砂礫層の出現深度は掘削時に把握できている。

つまり、速度検層の時点では、「磁気検層結果の確認」、という作業となる。このように、3つの情報に裏付けられた報告を行うこととなるから、精度は確実性を増す。

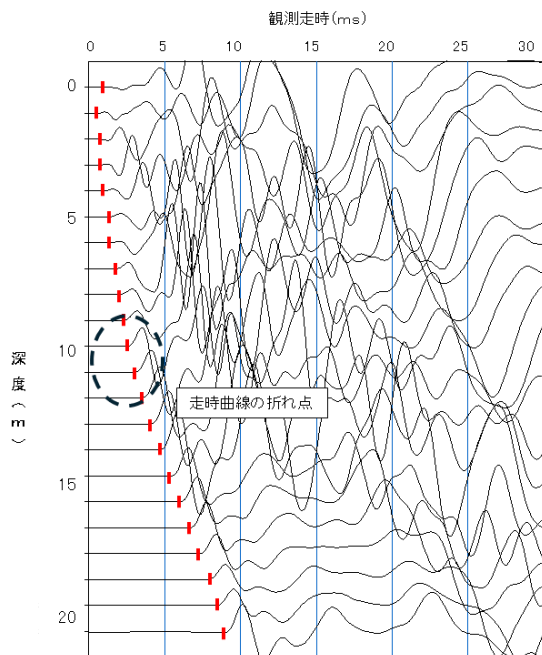


図-5 速度検層波形記録

### 4. 調査における留意点

本調査手法における留意点を下記に示す。

#### ① 磁気検層

磁気検層は磁性体を対象に取り扱う調査手法である。磁化している対象物に対しては非常に有利な調査手法と言えるが、一部の無筋杭や柱状地盤改良杭のような非磁化杭には適用できない。また、配筋密度が小さい、もしくは細い芯材を使用しているような杭体では明瞭な磁気反応が求められないことが多い。よって、杭の信号強度を増すために調査孔は杭の直近に設ける。

#### ② 速度検層

弾性波を扱う業務は信号以外のノイズをいかに排除するかが重要といえる。現場によっては重機等が停止するお昼の休憩時に作業時間帯を合わせるなどの工夫が必要である。

杭の頭出し時にも留意が必要である。フーチング撤去時に杭自体を損傷させてしまうと起振時の振動が明瞭に伝わらないことがある。よって可能な限りその場に臨場しておきたい。

杭頭が地下水位より低い時は、杭頭が水没するため起振作業に苦勞する。排水のため水中ポンプを用いざるを得ないが、打撃時には一度停止させなくてはならない。作業床も悪条件となることが多く、事前確認と準備が必要となる。

磁気検層の結果と異なる可能性があることを予測しておく必要がある。有筋杭と無筋杭の継ぎ杭である。既往柱状図、地盤図、設計当時の資料なども考慮してデータ整理を行う必要がある。

### 5. まとめ

PC 系杭の根入れ深度調査事例として磁気検層と速度検層を取り上げ、結果ならびに留意点について述べた。磁気検層と速度検層を併用し、両者の結果を確認すれば、結果の品質と信頼性は増す。

現場作業は情報収集と状況把握が重要である。

杭頭の状態、杭頭の深さ、地下水、杭種、測定環境、掘削時に得られる土層情報。

これらの情報を整理して正しい結果を導けるように工夫をすることが技術者としての責務であると考えます。

最後に、安全作業が行えるように作業床の整備を行うことも忘れてはならない。筆者は、杭頭確認後の埋め戻し時にセメントを持ち込み、鍬とスコップを用いて簡単な表層改良を行うようにしている。削孔時にボーリングマシンが傾くようなことがあってはならないからである。現場状況を把握し、安全に最大限の配慮をする。良好な調査結果を得るためには、安全作業は欠かせないことを明記して、本稿の結びとする。