

【CO09】

自走式地盤調査機を用いた振動サウンディング調査法の開発

株式会社メーサイ ○山口博久, 中野真治
大阪公立大学 大島昭彦

1. はじめに

自走式地盤調査機を用いたサウンディング調査法の開発を進めている¹⁾。パイプロハンマーコーン貫入試験法は、調査ロッドの貫入力に荷重計（ロードセル）、貫入速度を深度計（リニアエンコーダー）にてそれぞれを測定し、力積（荷重/速度）を算定する。この方法だと、貫入力を測定するため、ロードセルアンプ等が必要となり、計測システムも大きくなる。硬質地盤では、パイプロによる貫入力が、最大出力の一定値になることに着目し、調査ロッドの貫入速度のみで評価することにした。計測装置を深度計（リニアエンコーダー）のみにすることで、管理システムを小型化し、車載式にできる。パイプロ振動サウンディング調査法について報告する。

2. スマートボーリングシステム

自走式地盤調査機は、土壌環境調査のサンプリング用に開発されたボーリングマシンであるが、パイプロを装備し貫入力が大きく、且つ、回転機構も有することから、一般の地質調査にも応用できる。当社では、自走式地盤調査機の応用技術をスマートボーリングシステム²⁾と名付け、系統樹（ツリー）を使って、活用分野の広がりや整理している（図-1）。当該の振動サウンディング調査法もこれに含まれる。

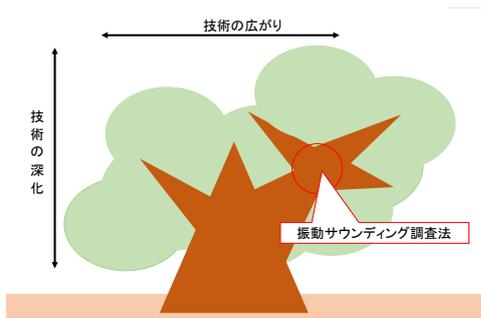


図-1 スマートボーリングシステム

自走式地盤調査機をサウンディング調査のベースマシンとするメリットは、

- ・自走して調査地点まで移動できる。（高効率）
 - ・櫓が不要で、高所作業がない。（安全）
 - ・トラック4 tで運搬でき、組立解体作業が無い。
- などである。（迅速）

調査途中に、想定外の地層が出現した場合、標準貫入試験やオープンサンプラーによる試料採取オープンサンプリング調査に変更可能である。臨機応変な対応ができる（図-2）。

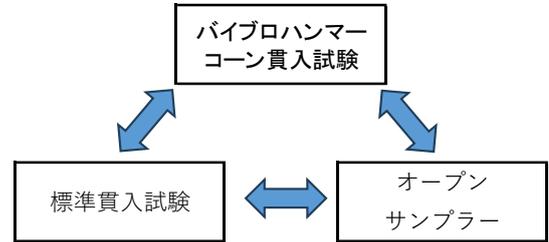


図-2 調査法の途中変更(例)

3. 自走式地盤調査機

振動サウンディング法で使用する自走式地盤調査機を写真-1に示す。調査ロッドの先端には、大型コーン（直径:60mm、写真-2）を取り付ける。

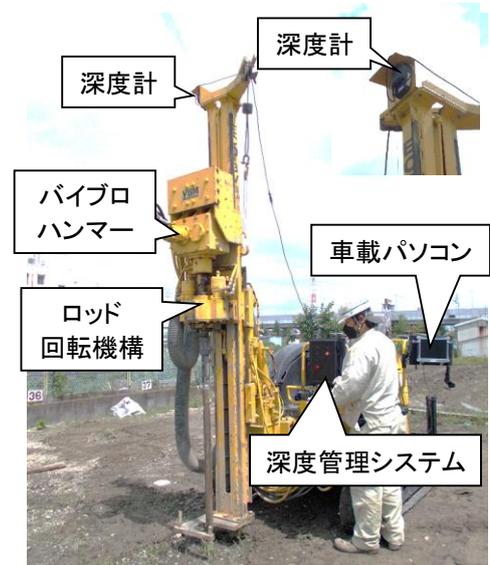


写真-1 自走式地盤調査機



写真-2 大型コーン



写真-3 深度管理システム



写真-4 小型プリンター

振動サウンディング調査では、深度管理システム（写真-3）により、調査結果を小型プリンター（写真-4）で

データシートとして、調査直後にその場で提出することができる。

4. 適用事例(1)

調査ロッドの貫入速度に着目した振動サウンディング調査法は、地中障害物の探査に適している。調査結果を直後にその場で確認し、次の調地点の選定に反映できる。

地中障害物の模擬物として、ボイド管(直径:17.5cm、高さ:30cm)にセメント改良土を充填し、深さ3.0m地点に埋設した。その上部から、大型コーンにてサウンディング調査により埋設深さと厚みが正しく測定できていることを確認した。地盤の概要については、参考文献³⁾を参照のこと。



写真-4 改良土

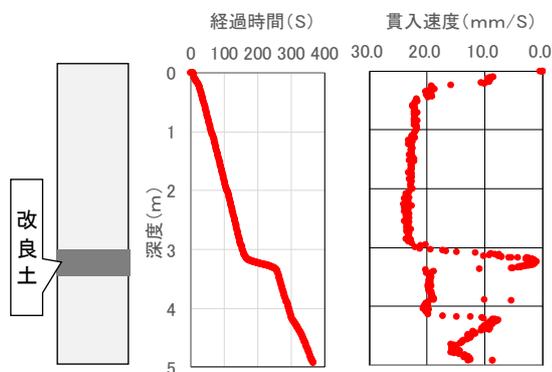


図-3 大型コーンの貫入結果

5. 適用事例(2)

大阪市内で実施した振動サウンディング結果を図-4に示す。適用地盤の詳細については、参考文献⁴⁾を参照のこと。経過時間(s)と貫入深度(m)の関係、貫入速度(mm/s)と貫入深度(m)の関係に着目すると、沖積砂層と洪積砂礫層で、貫入速度が低下しており、沖積粘土層に比べ、硬質であることが分かる。N値とも良く対応しており、貫入速度が、地盤の硬軟を示す指標になることが分かる。これまでに実サイトで実施し試験結果をN値と貫入速度の関係として整理した結果を図-5に示す。バラツキがあるものの貫入速度を低下すると、N値が増大する相関がある。各サイト(凡例の色分け)に着目すれば、貫入速度からN値を凡そ推定できることが分かる。

6. まとめ

振動サウンディング調査法は、地中障害物の探査に適している。今後、実サイトでの実績を積み重ねたいと考えている。

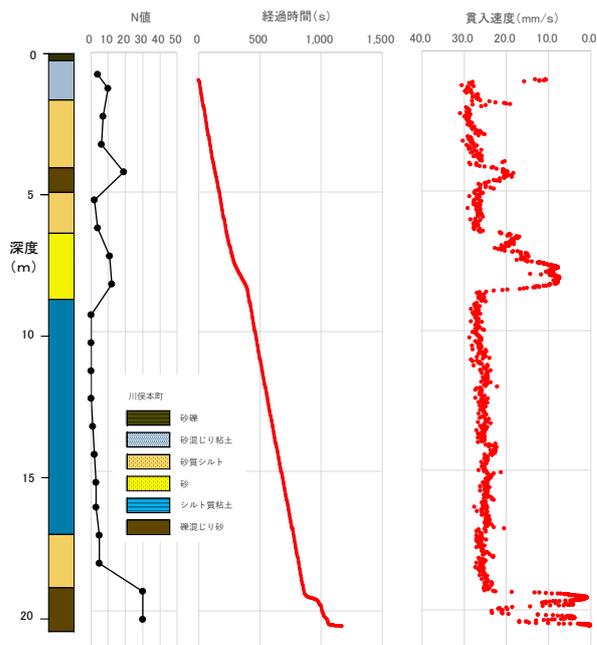


図-4 サウンディング調査結果(川俣本町)

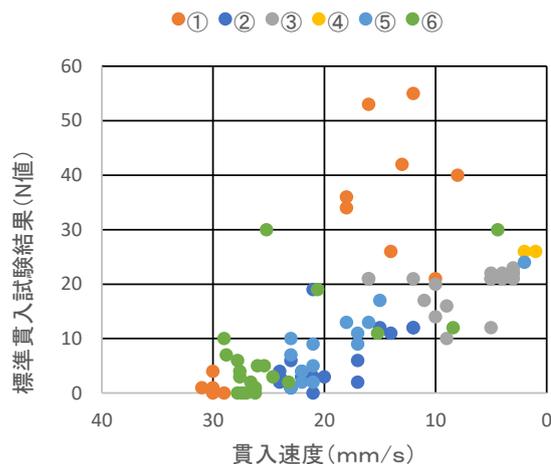


図-5 N値と貫入速度の関係

《引用・参考文献》

- 1) 山口博久, 中野真治, 萩野芳章, 福島宏明(2019): 自走式地盤調査機を用いたサウンディング調査法の開発, 全地連技術フォーラム2019論文集, 論 No. 42.
- 2) スマートボーリングシステム(商標登録番号: 655141号)
- 3) 山口博久, 中野真治, 大島昭彦(2022): 地盤の比抵抗に着目した地層の区分について, 第57回地盤工学研究発表会, 2022.9
- 4) 大島昭彦, 塩崎一樹, 林口美木, 村田匠大, 辻光平, 安岡政光: 東大阪市川俣本町での地盤調査一斉試験(その1: 調査概要とボーリング結果), 第59回地盤工学研究発表会 2024.7

DTH-SPT の試験的運用

川崎地質株式会社 ○竹内 翔, 三上 啓太, 井上 駿

1. はじめに

近年の洋上風力発電事業におけるボーリング調査は、モノパイル式と呼ばれる杭基礎の風車建設に向けて行われているものが多い。しかし今後は、より沖合での浮体式洋上風車の導入が増加し、それに向け檣上から 200m 以深の地層を対象とする長尺の掘削となることが予想される。調査で実施される標準貫入試験（JIS A 1219-2013）Standard Penetration test, SPT）は、トッププッシュ型の自動落下装置を用いるため、孔壁との摩擦などの様々な要因により、打撃エネルギーが孔底到達前に減衰している可能性がある。その結果、N 値の精度が低下し、支持層や工学的基盤の評価に影響を及ぼす恐れがある¹⁾。

今回は長尺のボーリング調査において、エネルギー減衰の問題を解決し得る、孔底打撃型のダウン・ザ・ホール SPT (DTH-SPT) を試験的に運用した結果について紹介する。

2. DTH-SPT について

図-1に示す通り、機器本体はロッドではなくワイヤーを介して昇降させ、孔底で打撃を行うことができる。機器が持つ特徴とそのメカニズムについて下記の2項目で示す。

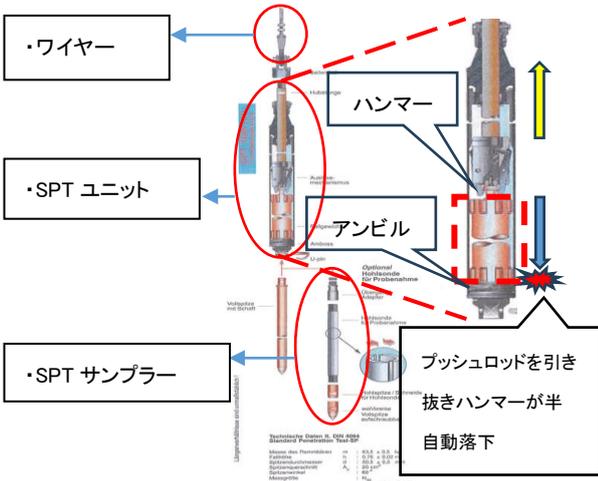


図-1 DTH-SPT の内部構造と落錘原理²⁾

(1) 内部構造

DTH-SPT は、ワイヤーラインによって実施する試験である。機器本体の構造としては、SPT ユニット、SPT サンプラーの大きく2つの部品から構成される。SPT ユニットにはハンマーが内蔵されており、内部は防水となっているため、ハンマーを気中で自由落下させることができる。下部の SPT サンプラーは、孔底地盤の N 値の測定と土質試料採取の役割を担っている。

(2) 落錘機構について

SPT ユニット内部のハンマー上部には、プッシュロッドが接続されており、接続したワイヤーを引き上げることでハンマーを落下させることが可能である。ハンマーが落下し、アンビルを打撃することで、下部の SPT サンプラー直下の地盤を打撃することができる。

3. 試験方法

DTH-SPT の試験には、図-2に示す通り、エアーウィンチ、コンプレッサーなど大きく5種類の機材を使用した。標準貫入試験を行う1サイクルの手順を、図-3に示す。

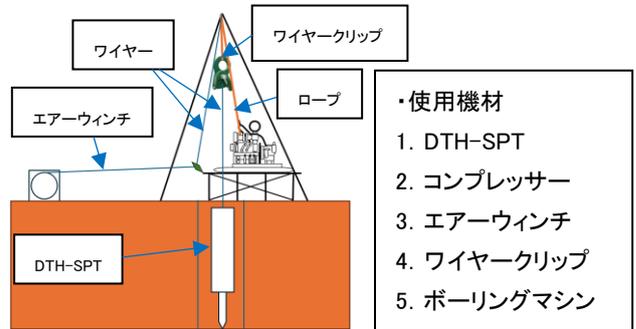


図-2 作業イメージ図と主な使用機材

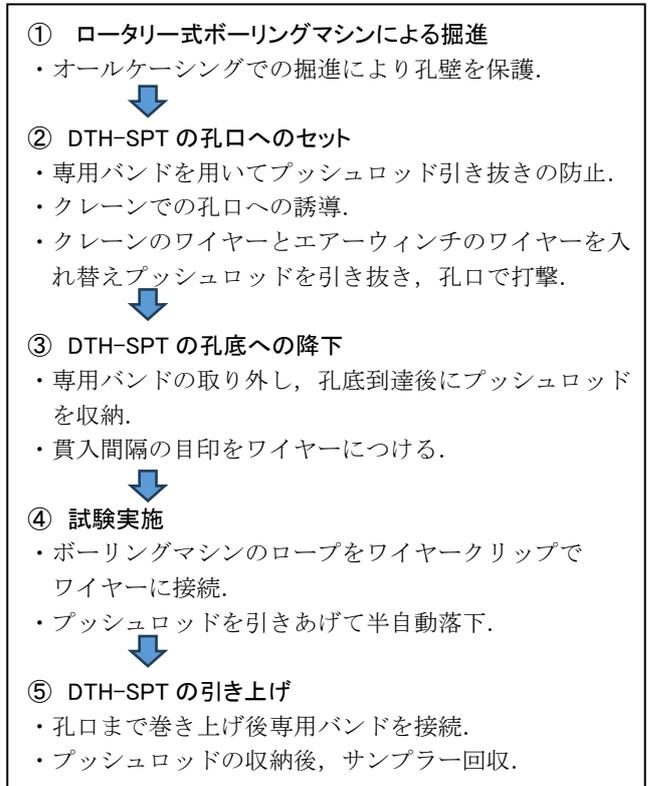


図-3 作業工程

4. 結果

(1) SPTとDTH-SPT の N 値比較結果

試験孔の特徴としては、表層にロームや有機物を含む盛土が堆積し、盛土以深は粘性土と砂質土の互層が続くような土層が見られた(図-4)。

今回 DTH-SPT により取得した N 値を、既存調査孔の SPT により取得した N 値と比較するため、式-1 から N 値の増減の割合を算出した。

2 孔の N 値を比較した結果、DTH-SPT で取得した N 値が SPT に比べ、全体で約 16.5% 高い傾向にあった。

$$R_N = (N_2 - N_1) / (N_2 + N_1) \quad \dots \text{式-1}$$

ここで、 R_N : 2 孔の N 値増減の割合
 N_1 : SPT で採取した N 値の総計
 N_2 : DTH-SPT で取得した N 値の総計

(2) 運用上の問題点について

実際に作業を行うことで運用上での問題点を把握し、大きく4つの点に着目した。

① SPT サンプラーのアダプターについて

SPT サンプラーのアダプターにゴムバンドが付随しており、サンプラー内の試料落下を防止する、逆止弁としての役割を果たしている。試験実施時にこのゴムバンドが破れる事態が度々発生した。こういった細かい機器トラブルが、作業に時間を要する要因の1つである。

② 専用バンドのピン差込口について

専用バンドは、写真-1の通り、ピンでプッシュロッドの上部と SPT ユニットを固定するものだが、プッシュロッドを数mm引き抜いた状態でのみ差込口にピンが通過する構造になっているため、エアウィンチでの細かい引き抜きの調整が必要である。

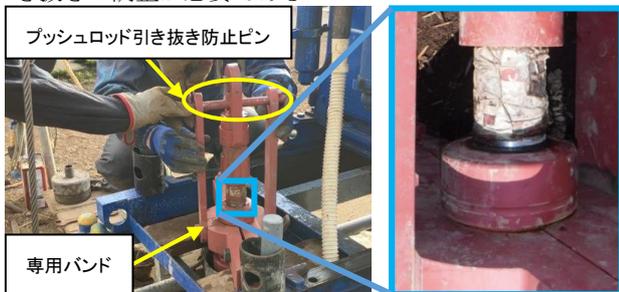


写真-1 DTH-SPT の専用バンド接続状況

③ DTH-SPT の危険性

DTH-SPT は、総重量約200kgと重いため、運搬等作業工程ごとに時間を要し危険度も大きい。孔口への DTH-SPT セット時も、地上で打撃を行うため、仮設足場やその他さまざまな機器にも負担を強いることとなる。そのため

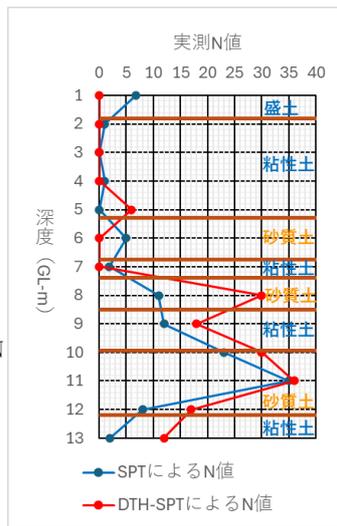


図-4 SPT と DTH-SPT の N 値深度分布

機器類の破損や作業員の怪我のリスクが増加する。

④ 貫入量の確認について

エアウィンチで DTH-SPT を孔底まで降下させた際、ワイヤーに印をつけ貫入量の確認を行ったが、この作業についても毎試験ごとに行うため作業に時間を要する。

これらの結果を踏まえ、5節 (2) では、作業効率の向上と、DTH-SPT 本体の改善点を列挙する。

5. まとめ

(1) N 値の考察

今回の DTH-SPT による試験深度は、約13m までと浅層でのデータ採取になったが、既存調査孔と近似的な傾向を持つデータが得られた。今後は DTH-SPT の改良と共に、運用実績を伸ばしデータ量を蓄積し、SPT と DTH-SPT の N 値を比較することで、より高精度な N 値を取得し、洋上風力発電事業における長尺のボーリング調査において、1つの提案材料として活用できると考えられる。

(2) 運用上の改善案

4 節 (2) で記述した問題点の改善方法を提案する。

① SPT サンプラーのアダプターについて

国内規格のものと同様ボールを内蔵した SPT サンプラーへの改良を行うなど、付属する細かい部品を、利便性を考慮したものに作り替えることで、部品の破損による手間を排除する。

② 専用バンドのピン差込口について

専用バンドのピン差込口の孔を拡張することで、プッシュロッドを完全に押し込んだ状態でのピンによる固定を可能にする必要がある。

③ DTH-SPT の危険性

ワイヤーではなくロッドを用いることで、ロッドを半回転させ孔底でプッシュロッドの昇降、固定を行い、孔口での打撃作業を無くすなど、ワイヤーライン以外での DTH-SPT の運用方法も考えられる。このように危険作業を排除するために作業手順と使用機材を再検討する余地がある。

④ 貫入量の確認について

貫入量の確認については、ワイヤーカウンター等を利用することで、簡易的に貫入量を確認できるようにする。

①~④で述べたように DTH-SPT 本体、周辺機器の改良を図ることで作業効率と安全性を確保し、今後の洋上風力発電事業におけるボーリング調査において、より沖合の長尺孔での実用化が可能と考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) 一社) 関東地質調査業協会：我が国における標準貫入試験の利用実態と留意点, pp1-11, 2021
- 2) DTH-Down The Nordmeyer, (最終閲覧日 2024. 5. 28)
http://www.nordmeyer.nl/membersonly/SPT_english.pdf

【CO11】

岩盤を対象とした軽量型ボーリングマシンと従来型ボーリングマシンの比較

大日本ダイヤモンドコンサルタント（株） ○山口 奨之, 鏡原 聖史, 岡崎 敬祐, 伊東 陽希, 池田 智博

1. はじめに

近年、移動が容易な軽量型ボーリングマシンの開発が進み、現場への利用が進んできている。軽量型ボーリングマシンは、従来型ボーリングマシンと比較して、全体的に資機材の重量が軽く済み、軽トラックや乗用車で資材の運搬が可能である。また、分解した場合は人肩運搬が可能であり、住宅地や用地制限、現地までの搬入が道路の大きさなどで困難な現場であっても、調査が可能である点に特徴¹⁾がある。本報告では、山地内における調査地で、軽量型ボーリングマシンを活用した調査事例を元に、軽量型ボーリングマシンと従来型ボーリングマシンを比較した結果を報告する。なお、従来型ボーリングマシンを従来型、軽量型ボーリングマシンを軽量型と表記することとする。

2. ボーリングマシン概要

従来型と軽量型のそれぞれについて、必要な資材やスペース等の一般的なものについて、簡単に記述する。

(1) 従来型

従来型は、主にエンジンを動力源とし、伝達部や変速機を介して掘削やロッドの昇降等の作業を行うものである。一部現場制約等を理由に電動型のものも存在するが、一般的な地質調査で実施されるボーリングマシンは、主にエンジンを動力源とするものを指す。従来型は小さいものであってもマシン重量が300kg程度あり、傾斜地・平坦地共に、掘削深度によっては掘削時の反力を得るために足場が必要となる。これら資材を現地付近まで運搬する際は、中型のトラックが必須であり、現地状況に合わせて軽トラックへの載せ替えも検討が必要である。また、平坦地であれば不整地運搬での搬入が可能であるが、傾斜地であればモノレールでの搬入が必須となる。従来型の重量や性能等の概要について表-1に整理する。

表-1 従来型ボーリングマシン概要

項目	従来型ボーリングマシン
資機材総重量	2000kg 程度
マシン重量	300kg 程度
分解重量	50kg 程度
掘削能力	機械による
給圧	オイルフィード
足場範囲	3m×3m 程度
搬入搬出	モノレール・クレーン・不整地運搬

(2) 軽量型²⁾

軽量型は電動型とエンジン型の2種類存在する。動力はそれぞれ電気とエンジンであり、エンジンの場合は、従来型より小型なエンジンを利用する。電力もしくは小型のエンジンを利用することから掘削能力は低下し、深度15m～30m程度が限界である。掘削時に必要な反力は小さく済むことから広い足場を必要としない特徴がある（図-1参照）。機械の小型化に合わせて資機材重量が大幅に減っており、軽トラックや中型の貨物バンなどで運搬可能な重量に収まる。電動型、エンジン型どちらもマシン等の軽量さが特徴であり、分解重量は15～30kg程度、1人もしくは2人で資機材の人肩運搬が可能である。電動型、エンジン型それぞれについて重量や性能等の概要について表-2に整理する。

表-2 軽量型ボーリングマシンの概要

項目	軽量型ボーリングマシン	
	電動型	エンジン型
資機材総重量	300kg 程度	400 kg程度
マシン重量	20kg 程度	200 kg程度
分解重量	15kg 程度	30 kg程度
掘削能力	15m 程度	30m 程度
給圧	ハンドフィード	ハンドフィード
足場範囲	1m×1m 程度	1m×2m 程度・不要
搬入搬出	人力	人力



図-1 軽量型ボーリングマシン(電動型)の足場状況

3. 山地内における従来型と軽量型との比較

従来型と軽量型について比較する。軽量型は電動型を対象とする。

(1) 運搬方法

軽量型は、現地までバンや軽トラックで資材を1～2回に分けた運搬が可能である。住宅地が近い山腹斜面調査では駐車位置や現地までの進入ルートに制限が多く、軽量型の場合はこれらの制限を受けにくい。また、現場内

小運搬は、人肩運搬であり、一番大きいものは三又の長さ3m程度、次いで単管の長さ1～2m程度のものである。狭い場所では長尺物を立てて運搬も可能であることから、人間が移動できる程度の幅があれば運搬が可能である。一方、従来型は、現地までの運搬に中型トラックが必要であり、調査地点付近の駐車位置や進入ルートにも注意が必要である。また、現場内小運搬はモノレールが必要となることが多く、モノレールルート上の幅1.5～2m程度の草刈りや立ち木の伐採が必要となる。また、レールは急な方向転換は難しく、曲げるために大きく迂回またはスイッチバックを入れるなど、広範囲にレールを仮設するための用地や搬入ルートに制限が多い。

(2) 掘削能力

本事例においては、土砂2～3m、DL～CL級の岩盤7～8m、深度10m程度の掘削を問題なく実施することができた。掘進長の短い山腹斜面の調査においては有効である。

ただし、掘進時に詰まった場合、従来型は油圧での引き上げが可能であるが、軽量型は電動もしくは手動ウィンチや人力での引抜き作業となり、従来型のようにエンジンパワーを利用できない分、引き上げ困難になる可能性がある。

掘削速度は軽量型が若干劣り、岩盤中は3m/日程度であった。従来型はボーリングオペレーターや岩盤の性状にもよるが概ね5m/日以上である。

(3) 標準貫入試験

両方とも問題なく実施可能である。ただし、軽量型はハンマーを上昇させる際に電動もしくは手動ウィンチでの操作となるため、従来型より若干作業性に劣る。また、岩盤中の試験後、従来型は引抜きづらい場合、かち上げを行うが、軽量型の場合、電動ウィンチ等を利用することから、かち上げができないか、もしくはしづらい。本事例においては問題なく試験できたものの、柔らかく粘度状になった岩盤や硬い地山には注意が必要である。

(4) 環境負荷

本事例では、人肩運搬かつ軽量型は足場が非常に小さいため、草刈りや枝払い、伐採は不要であった。このことから、軽量型は運搬や仮設に係る環境負荷が非常に小さく、従来型と比較して非常に有利である。

エンジン音は静穏性に優れた発電機が発する程度の音で済み、大きなエンジン音は発生しなかった。掘削時にモーター音がするが、従来型のエンジン音と比較しても非常に小さく、住宅地が近い山腹斜面調査においては非常に有利である。ただし、作業時に発生する金属打撃音は軽量型、従来型両方とも同様である。

(5) ボーリングコア

本事例では、土砂2～3m、岩盤(DL～CL級花崗岩)7～8mの計10m程度のボーリングコアを採取した。掘削に使用している資材は、従来型のボーリング資材と同じも

のを使用していることから、軽量型においてもコアの品質は十分であった。

表-3 比較結果一覧

項目	ボーリングマシン	
	従来型	軽量型(電動型)
運搬方法	不利	有利
掘削能力	有利	不利
標準貫入試験	同等	
環境負荷	不利	有利
ボーリングコア	同等	

4. まとめ

山地内で軽量型ボーリングマシンを利用した事例を元に従来型との比較について記述した。これまで、山地内のボーリング調査は、掘削延長が短く、搬入しにくい箇所で行うことが多いため、モノレール搬入ルートや足場設置場所で立木の伐採を行っていたが、立木をよけながら搬入できる点で、環境負荷が小さくできたといえる。また、10m程度の土砂軟岩の掘削については、従来型と比較して同様のコアや標準貫入試験が実施できた。

これまで、山腹斜面の調査では、仮設を含めた費用面の制約からボーリング調査箇所を限定し、簡易動的コーン貫入試験で調査データを補完する事例が多くあったと考えられる。しかし、軽量型を積極的に採用することで、環境負荷を低減しつつ、モノレール仮設にかかる費用を調査ボーリングに充てることが可能になり、調査密度を高めることができ、複雑な地盤状況を正確に把握した上で、適切な設計を行うことができると考えられる。

5. 今後の課題

今回の事例において、標準貫入試験は問題なく実施できたものの、硬い岩盤に当たることでシューが食い込み、かち上げができないため、引き抜くのに手間取ったことが何度かあった。今後は硬い岩盤に当たってシューが食い込んで引き抜けるような機構を組み込むなど、改良することで、より普及されるものとする。

《引用・参考文献》

- 1) 岩田克彦・櫻井皆生・NGO XUAN LOC：京都府の寺院境内における軽量型ボーリング調査事例、全地連「技術フォーラム2022」那覇,36,2022.
- 2) 株式会社 KANSO テクノス：技術リーフレット https://www.kanso.co.jp/Portals/0/images/development/leaflet/mobile_bowling.pdf

打ち動作に移行する。予備打ちと同様に⑭ハンマー上昇を行い、落下高さに到達すると⑮ハンマーが自由落下する。予備打ちから300mm（試験孔底から450mm）貫入すると⑯本打ちは完了となる。また、本打ち時の打撃回数が50回に到達しても本打ちは完了するように設定することができる。本打ち終了後、打撃装置を待機位置へ移動させ、ウインチでロッドとSPT サンプラーを引上げ、⑰試料を回収する。

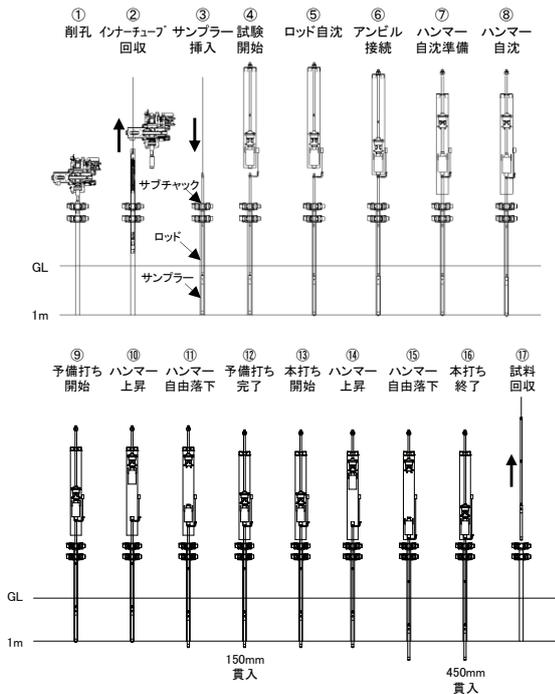


図-3 標準貫入試験フロー

この試験フローはJIS規格に準拠した試験方法であり、アンビル接続後の⑦～⑯までのフローは全て自動で行うことができる。⑭ハンマー上昇開始から、落下高さ760mmに到達後、⑮ハンマー自由落下して再びハンマーを掴むまでの打撃サイクル時間は9.3秒であった。

4. 計測システム

自動打撃装置を搭載した全自動ボーリングマシンでは標準貫入試験の計測値をマシンに搭載した管理装置でモニタリングすることができる。図-4に標準貫入試験モニター画面を示す。モニター画面では、ロッド自沈量、ハンマー自沈量、予備打ちまでの貫入量、1打撃毎の貫入量、本打ち時100mm 毎の打撃回数、貫入量、累計の打撃回数、貫入量を表示することができる。また計測データの1打撃毎の貫入量と本打ち時の打撃回数は図-5に示すとおりグラフで表示することが可能である。

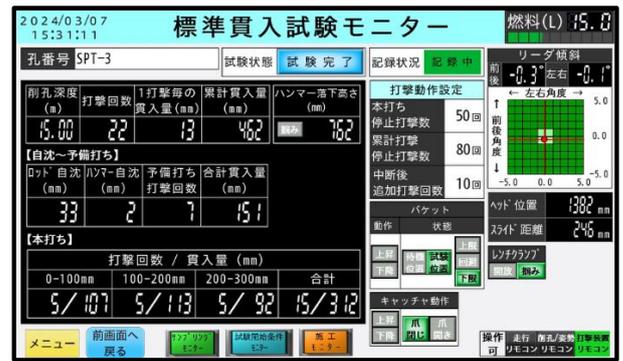


図-4 標準貫入試験モニター画面

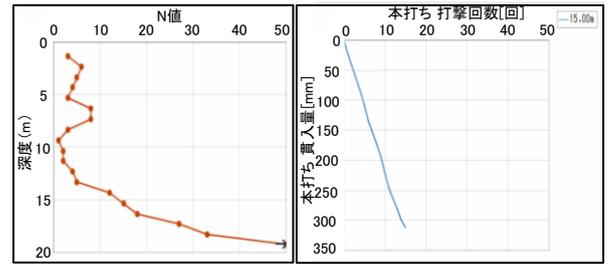


図-5 標準貫入試験グラフ表示画面

また、これらのデータは試験終了後に管理装置に保存され、保存されたデータはインターネットを介して遠隔地のPCに送信することができる。送信されたデータはソフトウェアを用いて確認することができる。さらにPC以外の情報端末機器を使用して、遠隔地からリアルタイムに標準貫入試験の状態を監視することも可能である。

5. まとめ

全自動ボーリングマシンに搭載する自動打撃装置を開発し、JIS規格に準拠した標準貫入試験手順で自動打撃・計測できることを確認した。これにより従来の標準貫入試験に比べて、自動化による作業負荷の低減、自動計測・記録によるデータの信頼性向上が確保できる。

今回の開発においては、現 JIS 規格に準拠した標準貫入試験手順を採用したことで、試験開始後のアンビル接続は手作業でロッドにねじ込む必要があった。試験開始から終了まで全工程を自動で行うためには試験手順やアンビル接続について見直す必要がある。

《引用・参考文献》

- 1) 岩崎公俊:技術伝承に関わる全地連の取り組み、地盤工学会誌、65-3、2017.3
- 2) 矢羽田祥貴・他:全自動ボーリングマシンの開発 — 制御プログラムの動作確認試験について —、全地連「技術フォーラム 2023」(横浜)、2023.9

全自動ボーリングマシンの開発

— 自動打撃計測装置を用いた標準貫入試験の実証実験について —

(株)ワイビーエム

川崎地質(株)

(株)クリステンセン・マイカイ

○津留崎一洋 奈須徹夫 矢羽田祥貴

星野一永 原田克之 鶴飼康彦

宮本哲臣 松熊晋也 三枝佳美

1. はじめに

地質調査業界では、熟練オペレータの退職増加と新規入職者の減少が進んでおり、ボーリング技術伝承の問題と将来のオペレータ不足が危惧されている¹⁾。これらの問題解決を目標として全自動ボーリングマシンの開発を行ってきた。全自動ボーリングマシンの普及に際して、標準貫入試験についても自動化が必要であるとの要望を受けて開発した自動打撃計測装置について実地盤で行った実証試験結果を報告する。

2. 全自動ボーリングマシンによる標準貫入試験方法について

図-1に自動記録装置を備えた従来型ボーリングマシンを図-2に自動打撃計測装置を搭載した全自動ボーリングマシンを示す。従来型ボーリングマシンでは、所定深度まで削孔後、地山が露出した調査孔にSPT サンプラーを挿入して、プーリーを利用してハンマー打撃を行っている。今回開発した全自動ボーリングマシンは、ワイヤーライン方式としたため、孔底はロッドで保護され、スライムの沈下堆積は抑制されており、試験孔底の状況は従来型の場合とは異なる。

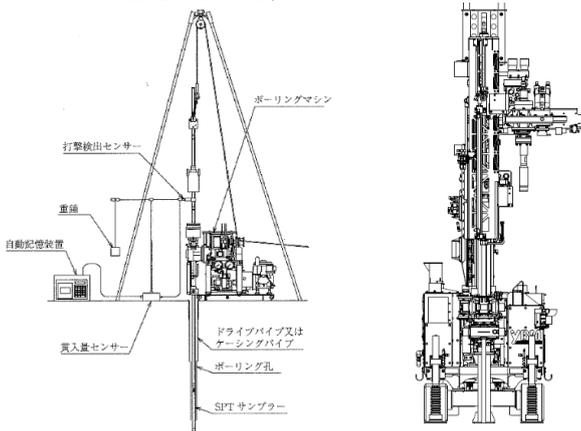


図-1 自動記録装置を備えた従来型ボーリングマシン²⁾

図-2 自動打撃計測装置を搭載した全自動ボーリングマシン

図-3に自動打撃計測装置を搭載した全自動ボーリングマシンによる標準貫入試験手順を示した。

ワイヤーライン方式を採用した全自動ボーリングマシンでは、インナーチューブを装着して所定深度まで①削孔する。その後、②コア切りによりロッドを50mm 上昇させ、削孔水圧送により、③孔底洗浄を行うとともに、孔内のスライム等を排出する。その後、ポンプを停止し、

ウインチを用いて④インナーチューブを引き上げる。ウインチを用いてロッド内に削孔深度まで⑤SPT サンプラーを挿入し、地上部のチャックピースでロッドを保持する。ロッドに貫入量計測器具を取り付けた後、チャックピースを開放し、⑥ロッド自沈量を計測する。チャックピースでロッドを拘束し、アンビルとロッドを接続後、チャックピースを開放し、⑦ハンマー自沈量を計測する。⑧軽打撃による予備打ちでSPT ロッドを貫入する。ハンマーの落下高さは、1打目は50mm とし、2打目以降のハンマー落下高さはロッド沈下量と残りの貫入量から自動計算される。削孔完了深度から150mm に達したら、ハンマー落下高さを760mm として100mm ごと3層の⑨打撃貫入を行い、打撃回数と1打ごとのロッド沈下量を計測しN値を求める。打撃貫入終了後、⑩SPT サンプラーを引き抜き回収する。ここに、SPT サンプラーの外形51mm に対しビット内径は71mm とし、ビットによるSPT サンプラーへの干渉低減を図った。

上記に使用したSPT ツール、ロッドおよび試験手順はJIS A 1219:2023³⁾ に準じており、打撃システムでは一部手作業も含むことになった。

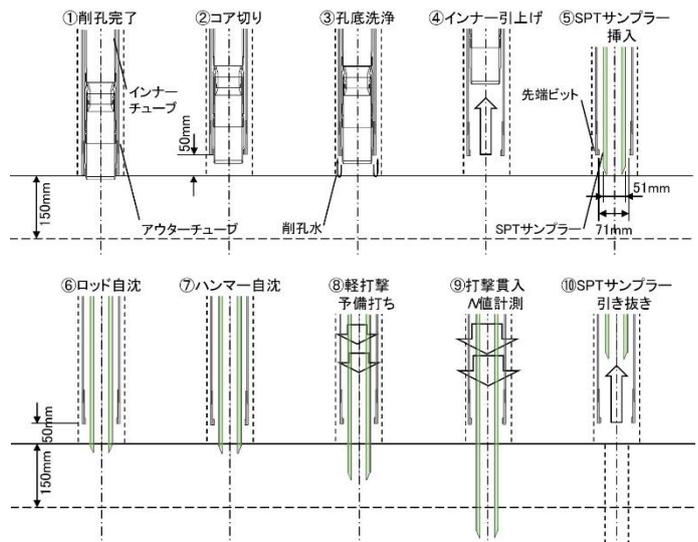


図-3 自動打撃計測装置を搭載した全自動ボーリングマシンによる標準貫入試験手順

3. 現場試験

実証試験は、佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム社有地で実施した。当該地盤は一級河川松浦川の氾濫原にあり、均質な砂地盤が厚く分布し、GL-15m 付近で強風化花崗岩層に至る。図-4に調査位置図を示す。



図-4 調査位置図⁴⁾

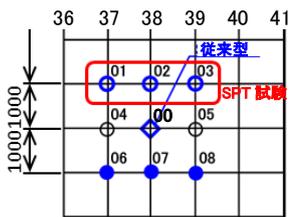


図-5 試験位置図

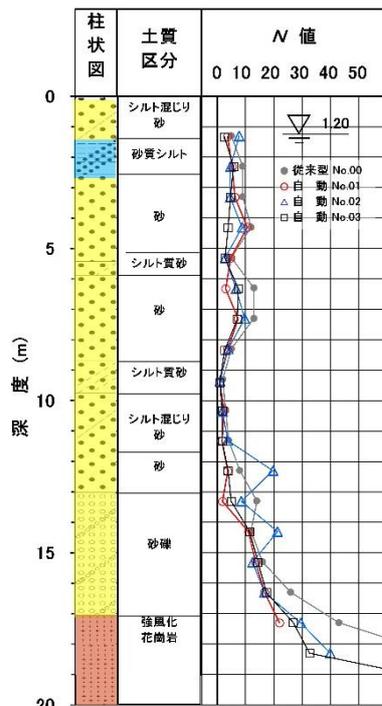


図-6 N値の比較

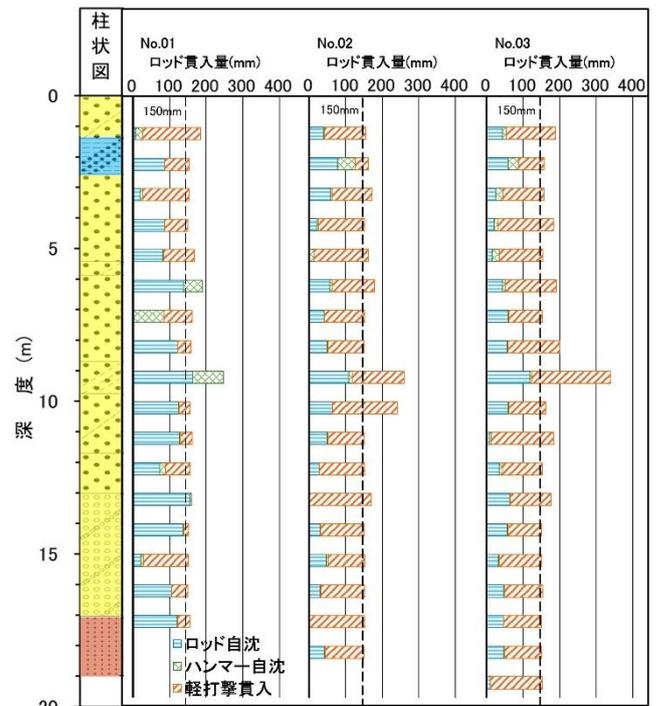


図-8 予備打ちにおけるロッド貫入量

実証実験では、比較参考のため従来型ボーリングマシンによる標準貫入試験 1 孔 (No. 00) と今回開発した自動打撃装置で 3 孔 (No. 01~03) を実施した。試験位置図を図-5 に示す。

図-6 に N 値の比較を示す。深度方向の N 値の分布傾向は全てのケースで類似している。ただし、全自動型の N 値に比べ、従来型の N 値は高く、この傾向は GL-2m 付近から全層にかけて見られる。

図-7 に従来型と全自動型の N 値の比較を示した。従来型の N 値に比べ、全自動型の N 値は低い傾向があり、直線近似では、 $y = 0.6571x$ の関係が得られた。打撃回数に依存することから、従来型では SPT サンプラー先端で何らかの抵抗増加が発生している可能性が考えられる。

全自動型で計測したロッド自沈、ハンマー自沈、軽打撃といった予備打ちにおけるロッド貫入量を図-8 に示した。目標貫入量 150mm に対して、平均貫入量は、工程ごとにロッド自沈 58mm、ハンマー自沈 9mm、軽打撃 101mm、予備打ち貫入量 168mm となった。GL-9m のシルト質砂層ではロッド自沈量が大きく、土質の影響が反映されるものと考えられる。

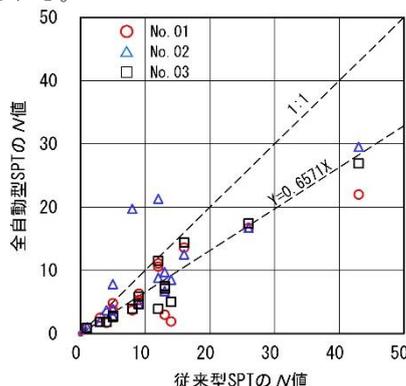


図-7 従来型と全自動型の N 値の比較

GL-9m では、No. 01 ではハンマー自沈時に 150mm を超過したため軽打撃は行っていないが、軽打撃を行った No. 02、No. 03 では予備打ち貫入長がそれぞれ、260mm (No. 02)、339mm (No. 03) と目標の 150mm を大きく超過した。ハンマー自沈までの貫入量がそれぞれ 118mm (No. 02)、124mm (No. 03) と目標の 150mm に近いにも関わらず、1 打目の軽打撃の落下高さを 50mm と固定していたことによる。ハンマー自沈までの貫入量によって 1 打目の軽打撃の落下高さを調整するプログラムが必要である。

4. まとめ

「標準貫入試験方法」(JIS A 1219:2023) に準拠した自動打撃計測装置を開発し、標準貫入試験を実施した。本装置では、ワイヤーライン工法を用いているため、 N 値に影響を与えるスライム等の孔底への沈下堆積は抑制され、洗浄によって孔底を清浄に保つことが可能である。現時点では限られたフィールドでの知見であるため、今後は多くのフィールドで実績を重ねて、様々な地盤で対応可能にすべく細部の見直しを引き続き行っていく。

《引用・参考文献》

- 1) 岩崎公俊：技術伝承に関わる全地連の取り組み、地盤工学会誌、65-3、2017. 3
- 2) 地盤調査の方法と解説 (2013)：公益社団法人地盤工学会、pp. 296
- 3) 日本産業標準調査会審議：標準貫入試験方法 JIS A 1219：2023、2023. 5
- 4) 杉本智彦：陰影起伏図、スーパー地形 (最終閲覧日 2024 年 5 月 29 日)

全自動ボーリングマシンの開発

ワイヤーライン用固定ピストンサンプラーの開発

(株)クリステンセン・マイカイ ○宮本哲臣 松熊晋也 三枝佳美
 (株)ワイビーエム 奈須徹夫 矢羽田祥貴 坂本土光
 川崎地質(株) 星野一永 原田克之 鶴飼康彦

1. はじめに

地質調査業界では、熟練オペレータの退職増加と新規入職者の減少が進んでおり、ボーリング技術伝承の問題と将来のオペレータ不足が危惧されている。これらの問題解決のため全自動ボーリングマシンに用いる軟弱地盤削孔用ワイヤーラインツールの開発を行ってきた¹⁾。

全自動ボーリングマシンを普及させていくためには固定ピストンサンプラーが必要であるとの意見があり、ワイヤーラインで用いる固定ピストンサンプラーを開発した。本報告では、現地盤での動作状況と、採取した粘性土について行った室内試験の結果について報告する。

2. ワイヤーライン用固定ピストンサンプラー

全自動ボーリングマシンの開発においては、ボーリング削孔技術のうち、主に泥水管理を機械的に補完することを目的としてワイヤーライン工法を採用した。したがって、今回、開発した固定ピストンサンプラーもワイヤーライン工法で用いる形式をとった。図-1にワイヤーライン用固定ピストンサンプラーの概要図を示す。

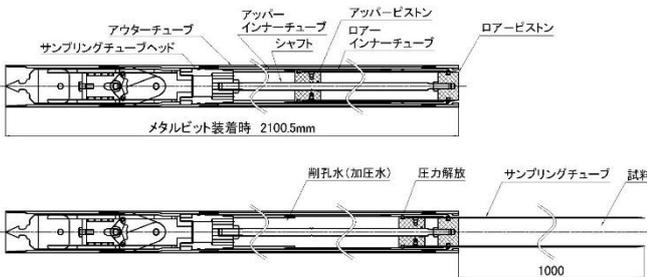


図-1 ワイヤーライン用固定ピストンサンプラーの概要図

ワイヤーライン工法を用いたサンプリングでは、削孔時のコアバレル外管およびワイヤーラインロッドは孔内に残置して、コアバレル内管（サンプラー）のみを交換する。今回、開発した固定ピストンサンプラーもワイヤーラインロッド内に自由落下して先端に装着する方式をとった。したがって、サンプラーの固定方法は従来のコアバレル内管と同じラッチ機構を採用した。

サンプリングチューブの押し出しは削孔用ポンプを利用した水圧式サンプラーとして開発した。ポンプから圧送された削孔水が、サンプリングチューブヘッド部から侵入してアッパーピストンが押し下げられ、アッパーピストンにネジ固定されたサンプリングチューブが地盤に押し込まれる構造となっている。本サンプラーは、アウターチューブを含む三重管構造となるため、最も内側に

あるサンプリングチューブは外径63.5mm、内径59.5mmとなった。

全自動ボーリングマシンでは、自動化のため1mごとに削孔する形式をとってきた。したがって、サンプリングにおいてもサンプリング長を1mとするため、サンプリングチューブは、長さ1,114mm、採取長1,000mmとした。サンプリングチューブの諸元を表-1に示す。

表-1 サンプリングチューブの諸元

項目	開発したサンプラー	JIS A 1232 :2023 ²⁾
内径 mm	59.5	47.5~75.5
肉厚 mm	2.0	1.5~2.0
刃先肉厚 mm	0.2	0.2±0.05
刃先角度 °	6	6±1
長さ mm	1,114	600~1,000

3. サンプリング試験

今回開発したワイヤーライン用固定ピストンサンプラーの動作確認を行うため、佐賀県唐津市原の造成地にあるワイビーエム社有地でサンプリング試験を実施した。

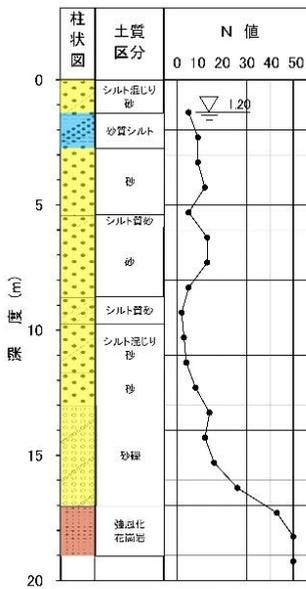


図-2に事前のボーリング結果、図-3にサンプリング試験位置を示す。当該地盤は、一級河川松浦川の氾濫原に位置し、均質なゆるい砂質土が厚く分布している。

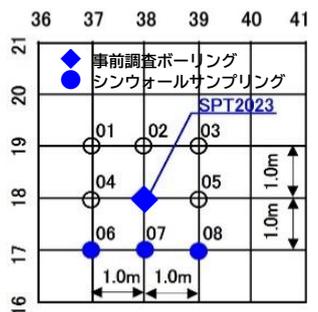


図-2 事前のボーリング結果 図-3 サンプリング試験位置

サンプリング深度については、事前のボーリング結果から記事およびN値を参考に盛土直下のGL-1.6m~2.6mの砂質シルトおよびGL-9.0m~10.0mのシルト質砂を採取することにした。また、No. 8では、GL-8.0m~9.0mの砂およびシルト質砂についても追加した。

ワイヤーライン用固定ピストンサンプラーによるサンプリング手順を図-4に示す。採取深度までノンコアツー

ルスによる①削孔完了後、スイベルを切断し、ウインチを用いて②インナー引上げを行う。その後、今回開発した③サンプラーを投入し、④スイベルを接続する。削孔用ポンプを用いて送水・加圧することでサンプリングチューブを地盤に貫入させ、⑤試料を採取する。サンプリングチューブ伸長を確認した後、⑥スイベルを切断し、ウインチで⑦サンプラーを引上げる。全自動ボーリングマシンは、ロータリー式のコア採取を目的として開発したことから、コア採取時の最適仕様でシステムおよび管路の設定を行っていたため、送水圧のリミットは、ロータリー式のコア採取と同じ0.6MPaで計画した。また、送水量は10L/minを目安とした。

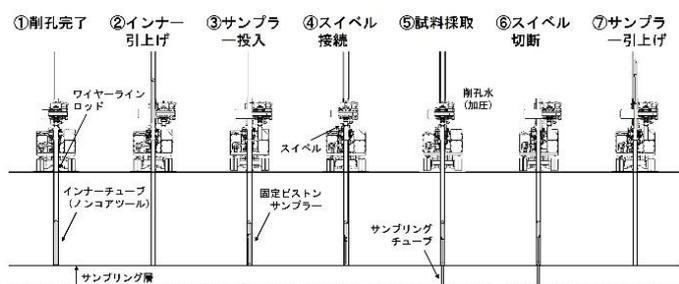


図-4 ワイヤライン用固定ピストンサンプラーによるサンプリング手順

No. 6、No. 7とサンプリングを行ったが、いずれもサンプリング後の加圧水の排出が確認できず、送水圧が0.6MPaに達したため、サンプリングチューブの伸長が不十分のままサンプリングを中断して、サンプラーを引き上げた。サンプリングチューブ伸長不十分の原因が、加圧水圧不足によるものか、砂質土の粒度組成等によるものか判別できなかった。したがって、加圧水のリミットを上げて確認することにし、No. 8のGL-8.0~9.0mおよびGL-9.0~10.0mについては、プログラム設定の変更および管路部材の一部を取り替えて、リミットを1.2MPaとしてサンプリングを行った。

また、土質区分を明確にするため、採取した試料に対して粒度試験を実施した。

4. 採取試料の室内試験結果

表-2にサンプリング加圧水圧と採取長を列記した。粒度試験からは、今回の採取試料は、一部を除けば、分類上は砂質細粒土 (FS) と細粒分質砂 (SF) に区分されるものの、概ね、砂分が40~50%付近に集中しており、類似した材料であると判断できる。追加したNo. 8のGL-8.0~9.0mは10%以上の礫分が含まれる礫まじり細粒分質砂 (SF-G) に区分された。

加圧水圧を1.2MPaにした2ケースについて、貫入・採取長は礫分が多いGL-8.0~9.0mの100cmに対して礫分が少ないGL-9.0~10.0では66cmであり、粒度分布による貫入能力には明確な差異は見られなかった。今後、固定ピストンサンプラーに適した地盤で採取試験を行い、適正な加圧水圧を求める必要がある。

表-2 サンプリング加圧水圧と採取長

孔No.	採取深度 (m) 上 ~ 下	地盤材料		ふるい分け試験 (%)			加圧水圧 (MPa)	採取長 (cm)
		分類名	記号	礫分	砂分	細粒分		
6	1.60 ~ 2.60	砂質細粒土	FS	0.3	35.8	63.9	0.6	53
6	9.00 ~ 10.00	砂質細粒土	FS	4.2	45.0	50.8	0.6	65
7	1.60 ~ 2.60	砂質細粒土	FS	3.1	44.7	52.2	0.6	62
7	9.00 ~ 10.00	細粒分質砂	SF	4.9	47.3	47.8	0.6	48
8	1.60 ~ 2.60	細粒分質砂	SF	1.0	80.2	18.8	0.6	51
8	8.00 ~ 9.00	礫まじり細粒分質砂	SF-G	10.5	68.6	20.9	1.2	100
8	9.00 ~ 10.00	細粒分質砂	SF	4.2	51.9	43.9	1.2	66

図-5に採取深度ごとの一軸圧縮試験結果を示す。サンプリングチューブの内径59.5mmに対して、供試体の直径は50mm、高さは100mmとした。

盛土直下のGL-1.6~2.6mでは、1試料をのぞき、一軸圧縮強さは、 $q_u=55\sim 65\text{kN/m}^2$ 、破壊ひずみは、6%程度であるが、明確なピークが見られない点では統一感がある。

下部のGL-9.0~10.0mについては、一軸圧縮強さは平均 $q_u=47.42\text{kN/m}^2$ 、破壊ひずみは平均 $\epsilon=2.72\%$ でいずれの供試体もピークは明確であった。地層ごとには、概ね傾向が一致しており、試料採取による乱れの影響は明確には散見できなかった。

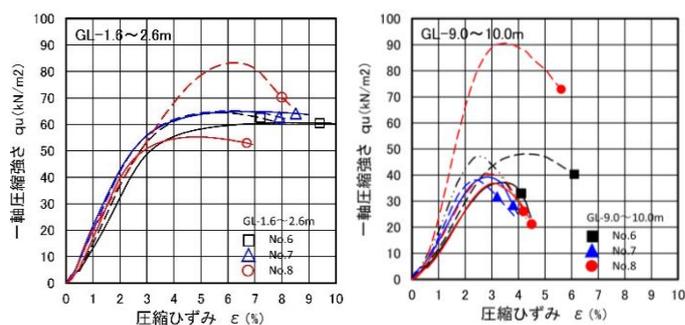


図-5 採取深度ごとの一軸圧縮試験結果

5. まとめ

ワイヤライン用固定ピストンサンプラーを開発して下記の知見を得た。

- ①サンプラーの採取深度への設置が自由落下による装着およびウインチによる引き上げとなったことで、従来のロッドを使った方法に比べ、作業負荷が削減された。
- ②サンプリングチューブの伸長については、今回試験を実施した地盤に対して加圧水圧が不十分であった。今後、固定ピストンサンプラーに適した地盤で採取試験を行い、適正な加圧水圧を求める必要がある。
- ③一軸圧縮試験を行った結果、試料採取による乱れの影響は明確には散見できなかった。

《引用・参考文献》

- 1) 奈須徹夫・他:全自動ボーリングマシンの開発 ―ワイヤラインを用いた軟弱地盤の削孔について―, 全地連「技術フォーラム2020」Web, 2020.9
- 2) 日本産業標準調査会審議:固定ピストンサンプラーによる土試料の採取方法 JIS A 1232,2023.3