

懸濁地下水中の鉄・マンガン濃度の現地計測

株式会社 日さく ○VO PHI SON, 高橋 直人

株式会社 バイオシーズ(北陸先端科学技術大学) Manish Biyani

1. はじめに

さく井工事において、地下水中の鉄・マンガン濃度が高いことはしばしばあり、鉄細菌によるスケールが井戸内に形成されて井戸の寿命を縮める要因になる。地下水の水質は、井戸の長期的な利用を検討するためには必要不可欠で重要な情報である。

しかし、井戸掘削後、井戸仕上げ～揚水試験を行い、採水し公定法で地下水の水質分析を行う場合は、通常 1～2 週間を必要とする。現地において迅速に鉄・マンガン濃度を知る簡易な方法として、パックテストによる濃度判定があるが、定性的で数値化が難しいことや懸濁水の場合に精度の高い測定ができないなどの課題があった。

本稿では、電気化学的な手法を用いて、掘削時の懸濁水の中の鉄・マンガン濃度の現地計測方法を開発した事例を紹介し、本手法の可能性について検討した。



写真-1 さく井工事(ダウンザホールハンマ工法)の懸濁水発生状況



図-1 パックテストによる鉄濃度判定例

2. 計測の原理

今回検討中の計測システムは、サンプル中の複数の重金属を電気化学的に検出する手法である。この手法は、使い捨ての電極と検出器、制御のための PC ソフトウェアから構成される。図-2(a)に分析装置の測定原理を示す。採取された試料水と特定の試薬を混合させて、電極に浸

している。電極に対して徐々に電圧を加えることで、試料水中の重金属はイオン化され、このときに電極を流れる電流値が変化する。測定対象となる重金属と試薬の成分により、重金属がイオン化されるために必要な印加電圧はおおむね固有の値を取るが、電流値の変化量は重金属の濃度に比例するため、印加電圧値と電流値の関係をグラフ化することにより、試料水中の重金属濃度を計測することができる¹⁾。

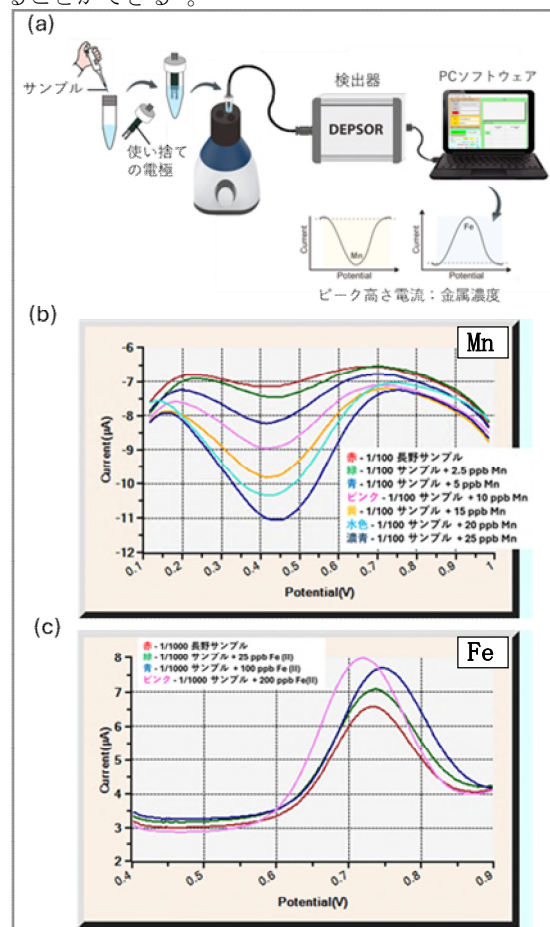


図-2 試料水中の重金属濃度を計測するポータブル型 DEPSOR 装置。装置の概略図 (a)、マンガン (b) と鉄 (c) の電極に印加した電圧と電流値の変化の関係¹⁾

実際の計測にあたっては、懸濁物質と分析対象重金属の干渉があるため、試験水と複数の標準物質を混合させて測定を行い(図-2(b) & c),検量線を作成して定量化を行った。この手法は、これまで Pb, Cd, Zn, Cu, As, Hg, Se, Au, Ag, Bi などの重金属濃度を ppb レベルで定量できることが知られていた。しかしながら、鉄・マンガンに対しては適切な電極および試薬の組み合わせは確立されていなかった。ここでは、地下水中に多くの頻度で検出され、井戸の維持管理上重要な要素である鉄・マンガン計測できる電極と試薬の開発を試みた。

3. 検討対象現場

本試験では、長野県御代田町のダウンザホールハンマ工法によるさく井工事現場及び茨城県結城市の井戸改修工事現場にて採取した地下水の濁水サンプルを用い、鉄及びマンガン濃度の定量を試みた。2023年の実証試験ではマンガンの定量に成功した。一方、鉄は測定前にサンプルをフェナントロリン緩衝液で保温し、任意のFe(III)-フェナントロリン錯体が時間の経過とともにFe(II)-フェナントロリン錯体に変換されるようにして、総鉄を定量した²⁾。しかし、地下水中の鉄はFe²⁺とFe³⁺の両方が不安定に存在するため、フェナントロリン緩衝液のみで正確に定量することが困難であった。

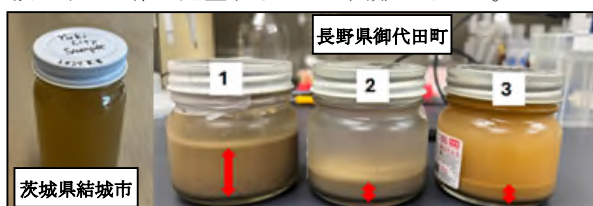


写真-2 各現場から採取された懸濁サンプル

4. 検討結果

マンガン濃度の測定結果は良好であり、ICP 法による結果と高い一致性を示した（表-1）。低濁度サンプルは、前処理なしでも適切に測定可能であり、高濁度サンプルでは、1M 塩酸による酸前処理を行うことで安定して測定できた。これにより、濁水サンプルの特性に応じた適切な前処理で、高精度な定量が可能となった。

鉄の濃度測定については粒子状および溶存態の両方の形で存在することで定量が課題であったが、試料水に塩酸を添加することで、粒子状の鉄を溶存鉄へ変換し、電極による測定が可能な状態へと整えた（図-3）。

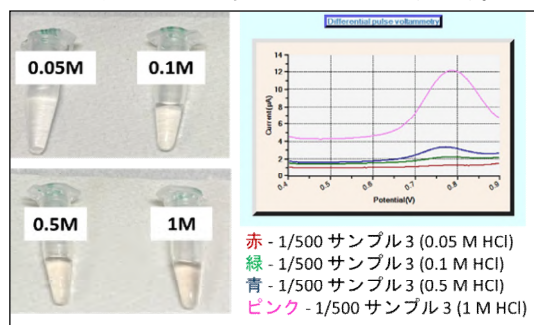


図-3 塩酸処理状況・酸濃度と電流値の関係

これにより、2つの形態が共存することによって生じていた測定の不正確さが改善され、鉄をより高精度で定量することが可能となった。さらに、測定時間の短縮にも成功した。2023年度では、Fe(III)-フェナントロリン錯体をFe(II)-フェナントロリン錯体に完全に変換するために、サンプルをフェナントロリンバッファーで1日間保温していたが、今回は、ほぼ完全な変換が2時間で得られることが確認され、処理時間が大幅に短縮された（図4）。この短縮により、現場での迅速な測定が可能となり、実用性が大幅に向上した。掘削現場や井戸の維持管理作業

において、リアルタイムで水質変化を確認できるメリットが期待される。

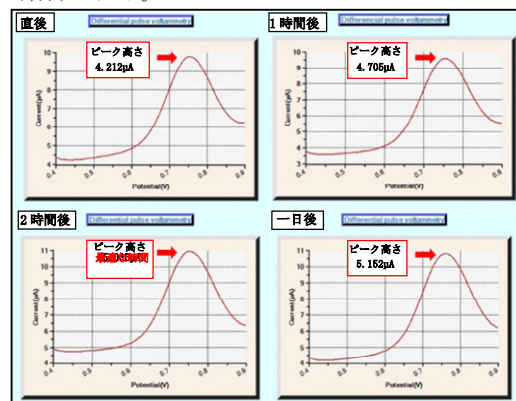


図-4 鉄濃度分析における時間と電流値の関係

表-1 本手法とICP法の結果の比較表

サンプル名	成分	サンプリング条件	本手法	従来の手法 (原子吸光度計)
茨城県 結城市	Mn	添加なし	0.21 mg/L	0.27 mg/L
	Fe	添加なし	0.1 mg/L	1.6 mg/L
長野県③	Mn	0.05M HCl 添加	2 mg/L	
		添加なし	0.096 mg/L	2.7 mg/L
	Fe	1M HCl 添加	4.1 mg/L	
		添加なし	9.39 mg/L	
		0.05M HCl 添加	23.5 mg/L	680 mg/L
		1M HCl 添加	409.3 mg/L	
長野県②	Mn	2M HCl 添加	667.4 mg/L	
		添加なし	0.115 mg/L	6.9 mg/L
	Fe	1M HCl 添加	5.9 mg/L	
		2M HCl 添加	1495.3 mg/L	1400 mg/L

5. おわりに

懸濁水中の地下水成分を現場で定量化することは、井戸掘削作業において長年の課題であった。本試験では、濁水サンプルに粒子状および溶解状態の鉄が混在することによる鉄定量の課題を、塩酸の添加および測定前にサンプルをフェナントロリン緩衝液で2時間保温することで解決した。特に、濁水サンプルにおいても鉄とマンガンを正確に定量化する方法が確立されれば、今後の現場での利用において高い実用性が期待される。

《引用・参考文献》

- Madhu Biyani (2017) ; DEP-On-Go for Simultaneous Sensing of Multiple Heavy Metals Pollutants in Environmental Samples. Sensors 2017: 17(1), 45.
- Gábor Bellér (2010) ; Central Role of Phenanthroline Mono-N-oxide in the Decomposition Reactions of Tris(1,10-phenanthroline)iron(II) and -iron(III) Complexes. Inorganic Chemistry 2010: 49(9), 3968-3970.

ボーリング孔を用いた可燃性ガス調査の事例

興亜開発株式会社 中部支店 ○杉本 佳優, 森山 登

1.はじめに

本調査は丘陵地において計画されているシールド工の設計施工に伴い実施された既往地質調査の追加調査として2箇所のボーリング調査を実施した。

調査項目の一つであるメタンガス調査について、微量であるが既往調査および本調査ともにメタンガスが検出された。既往調査と本調査とでメタンガスの調査頻度(回数および検体数)に対するメタンガス検出数の傾向に差がみられた為、本報告では既往調査と本調査の結果を整理し要因の考察を行った。

2.調査対象地盤について

調査地は起伏を伴う丘陵地にあたり、シールド計画区間において本調査および既往調査が実施されている。

丘陵地を形成する地質は新第三期 鮮新世の粘性土、砂質土、礫質土からなり、粘性土においては固結状を呈す。N値は地表部付近等を除き概ね50以上を呈する。

図-1に今回実施した追加調査の簡略柱状図を示す。同図には計画されているシールド通過断面を示した。メタンガスの詳細調査(遊離ガス採取、地下水溶存ガス採取)はシールド通過断面における砂質土を対象に実施した。

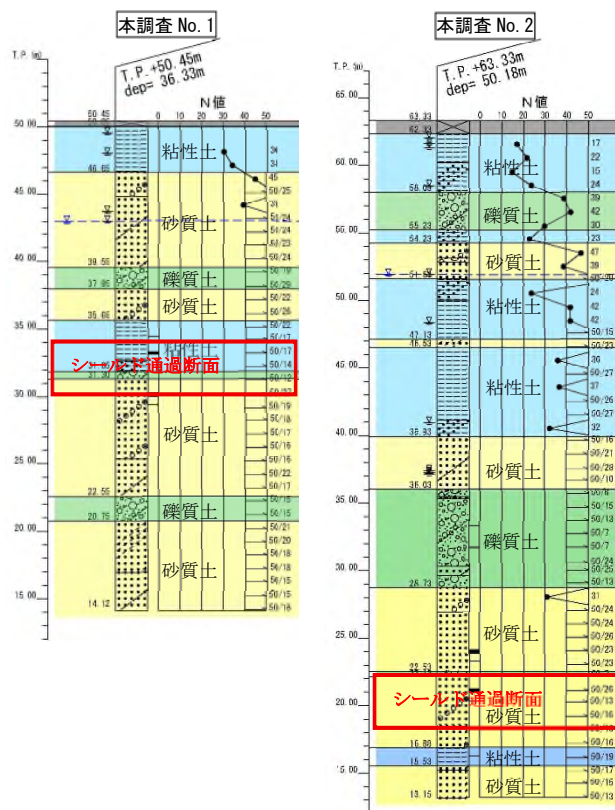


図-1 本調査の簡略柱状図

3.メタンガス調査方法

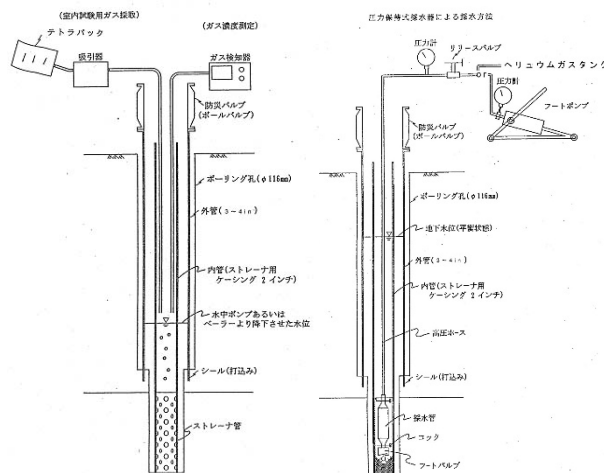
メタンガス調査はポータブルガス検知器による孔口の遊離ガス簡易測定および、室内分析の為の詳細調査として孔口の遊離ガス採取および地下水溶存ガス採取を実施した。

遊離ガスは孔口で捕集バッグに密封して採取し、地下水溶存ガス分析の為の地下水採取には、圧力保持式採水器を使用した。圧力保持式採水器は地下水に圧力(間隙水圧+大気圧)を保持した状態で採取する採水器である。

メタンガス調査にあたっては、孔内の掘削泥水を清水で洗浄後、孔内水を地下水に置換する為に自然地下水位(清水位)を目安とした孔内水容積の3倍程度以上を揚水した。

孔内水揚水後に孔口のケーシングパイプに防災バルブを設置して孔口を閉塞した後、本調査では24時間以上経過後にポータブル検知器による遊離ガスの簡易測定および遊離ガス採取、圧力保持式採水器による地下水採取を実施した。

図-2にメタンガス調査(遊離ガス採取、地下水溶存ガス採取)の概要図を示す。

図-2 遊離ガス採取、地下水溶存ガス採取の概要図¹⁾

4.メタンガス調査結果

表-1にメタンガスをはじめとする地中ガスの特性を示す。同表よりメタンガスの爆発濃度は5.3vol%~14vol%とされており、メタンガスの濃度の表示について爆発下限値の5%を100%LELとされることが多い。

本調査結果におけるメタンガス濃度を%LELの単位で整理するものとした。

表-2に本調査および既往調査によるメタンガス調査結果を整理した集計データを示す。

表-1 ガスの特性他²⁾

ガスの種類	ガスの特性 ^{a)}			予想される 障害・危険	法令上 ^{c)} 、就 労禁止すべき 値
	比重 ^{b)}	色・臭気等	燃発限界（容積%）		
一酸化炭素（CO）	1.0	無色・無臭	12.5～74	中毒・爆発	100ppm
炭酸ガス（CO ₂ ）	1.5	—	—	酸素欠乏症	1.5%
硫化水素（H ₂ S）	1.2	無色・腐卵臭	4.3～45	中毒・爆発	10ppm
酸素（O ₂ ）	1.1	無色・無臭	—	酸素欠乏症	18%
メタン（CH ₄ ）	0.6	無色・無臭	5.3～14	爆発	1.5% ^{d)}

^{a)} 人体に対する症状は、濃度と経過時間によりそれぞれ異なるので、労働科学研究所：現代労働衛生ハンドブック等の文献を参考にするのがよい。

^{b)} 気体の標準状態（0℃、1気圧）における同じ状態の空気に対する比重

^{c)} 労働安全衛生規則、酸素欠乏症防止規則、労働省告示等

^{d)} メタンの爆発下限値は5.3～14%であり、安全衛生規則によれば「可燃性ガスの濃度は爆発下限値の30%以下」と規定されており、1.5%としている。

表-2 本調査および既往調査のメタンガス調査結果

			(単位)	本調査	既往調査
調査箇所数			(箇所数)	2	28
孔口簡易測定	遊離ガス	測定回数	(回)	3	47
		検出回数	(回)	2	18
		検出率	(%)	67	38
		最小値	%LEL	0	0
		最大値	%LEL	3	9
		平均値	%LEL	1.7	1.1
詳細調査	遊離ガス	分析検体数	(検体)	2	21
		検出数	(検体)	1	0
		検出率	(%)	50	0
		最小値	%LEL	<0.2	<0.2
		最大値	%LEL	0.036	-
		平均値	%LEL	-	-
	地下水溶存ガス	分析検体数	(検体)	2	21
		検出数	(検体)	2	1
		検出率	(%)	100	5
		最小値	%LEL	0.020	<0.002
		最大値	%LEL	2.8	0.002
		平均値	%LEL	1.410	-

(1) 孔口簡易測定(遊離ガス)

本調査では3回測定し、2回メタンガスが検出された。
既往調査では47回測定され、18回検出された。

検出率は本調査が67%、既往調査が38%であった。

(2) 詳細調査(遊離ガス)

本調査では2検体分析し、1検体でメタンガスが検出された。既往調査では21検体分析し、検出数は0検体であった。

検出率は本調査が50%、既往調査が0%であった。

(3) 詳細調査(地下水溶存ガス)

本調査では2検体分析し、2検体ともメタンガスが検出された。既往調査では21検体分析し、1検体が検出された。

検出率は本調査が100%、既往調査が5%であった。

5.まとめ

本調査2箇所におけるメタンガス調査は、孔口簡易測定3回、詳細調査2検体と少ないが、既往調査28箇所の孔口簡易測定47回、詳細調査21検体に対してメタン

ガス検出率が高かった。既往調査の孔口簡易測定では47回のうち18回でメタンガスが検出され、最大値で9%LELが検出されているが、詳細調査ではほぼ検出されていない。

既往調査でメタンガスの検出率が低い要因について下記可能性を考えた。

(1) 調査時期による可能性

- ・既往調査：10月～2月
- ・本調査：4月～5月

既往調査は秋期から冬期へと降水量が減少していく時期にあたり、自然地下水位の低下に伴う水圧の減少で溶存ガスが遊離し、地下水中に賦存しているガス量が減少した可能性が考えられる。

(2) 調査対象地下水の違いによる可能性

本調査および既往調査はシールド計画区間沿いに配置され、同じ地質時代の地層が分布する丘陵地にあたる。分布する地層は傾斜しているため、調査対象となる帯水層は複数層にわたり、メタンガスの賦存程度に差がある可能性が考えられる。

(3) 作業用水および泥水回収容量不足の可能性

孔内洗浄および揚水による地下水置換に必要な作業用水および排出される泥水の回収容量が不足することで、孔内水の地下水置換が不十分となる可能性が考えられる。

現場状況により作業用水の運搬が必要な場合もあり、十分な水量を確保できない可能性も考えられる。

(4) 防災バルブおよびケーシング継ぎ目のシール不良の可能性

ケーシング孔内の気密状態が不十分で貯留されたメタンガスが漏出し、正確な調査が行えなかった可能性が考えられる。

今回の調査地で検出されたメタンガス濃度は微量であったが、本調査と既往調査で検出率の差がみられ、その要因を考察した。

シールド工の設計施工に伴うメタンガスのリスクに対して、シールド坑内など閉塞された空間や粘性土が傘のようにキャップ層として分布している箇所では貯留し濃度が高まる可能性があるため留意が必要であると評価した。

ボーリング調査の現場は様々な制約や条件が生じる可能性があるが、調査手法を適切に遂行してより正確な調査結果の把握に努めることが大切であると考え。

《引用・参考文献》

- 1) 改訂版現場技術者のための地質調査技術マニュアル（2015）：（一社）関東地質調査協会，pp. 189.
- 2) トンネル工事における可燃性ガス対策技術基準：大阪市交通局，pp. 19-1-19-35.

安価な透明塩ビ管を用いたボアホールカメラ撮影補助の工夫

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 大蔵 一光

1. はじめに

地質調査において、ボアホールカメラによる孔内観察は重要な手法である。しかし現場条件によっては、機材の使用が困難な場合も多く、特に水平方向に近い孔や孔壁の脆弱な地質においては、通常のカメラ挿入が不可能となることがある。本稿では、透明塩ビ管という安価かつ加工容易な資材を活用し、ボアホールカメラの撮影補助具として工夫・実用した現場事例を紹介する。加えて、調査にあたって直面した技術的課題や試行錯誤の経過、ならびに他資材との比較も交え、現場における対応力の重要性について論じる。

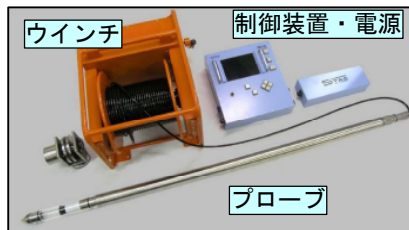


図-1 ボアホールカメラ機材一式の一例（左からウインチ・制御機器、電源・プローブ）

2. 背景と課題

当該現場では、調査孔の角度が水平方向に近く、重力を利用したカメラ挿入が難しい状況であった。加えて、鉛直での撮影においても孔壁が非常に脆く、通常の誘導装置を使用することで崩落のリスクが高まる可能性があった。

このような場合では従来用いられてきた方法として、透明アクリル管を加工して使用していたが、近年は新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の世界的拡大に伴い、アクリル樹脂（PMMA）の価格が原料であるメタクリル酸メチル（MMA）が、医療用パーテーションなどへの需要急増により需要、価格が上昇し、入手困難な状況が生じた。また、アクリル管はネジ加工の際に非常に割れやすく、加工の難しさで作業工期や費用も高くなる課題もあった。

また現場では掘削期間中に確実に資材を準備する必要があり、撮影の精度を確保しつつ安全性、作業工期も確保する複数の課題があり、迅速かつ的確な判断が求められていた。これらのことから代替となる材料の検討を加速させる要因となった。

以下は参考資料として、アクリルの原材料の価格推移として、MMA、PMMA 価格の推移を、示したグラフを示す。

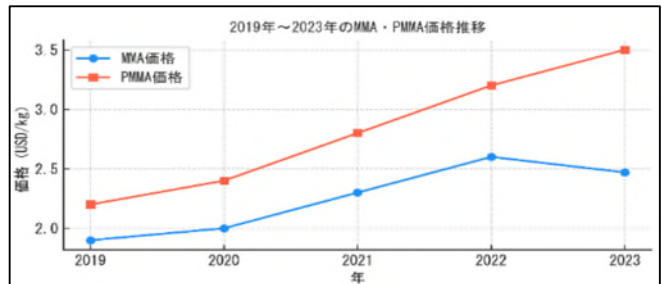


図-2 2019年～2023年のアクリル原材料の価格推移

BusinessAnalytiq（2024年6月）、IMARC Group、ChemAnalyst等の市場調査データに基づき作成

3. 材料選定（アクリル管との比較）

本事例では、アクリル管の代替え材料として、透明塩ビ管（PVC）のVP50管を用いた。

柔軟性と耐衝撃性に優れ、VP50管の内径がΦ50mmとボアホールカメラのプローブ外径がΦ42mmと若干のクリアランスを含み挿入できることから採用した。また、1本あたりの長さは、普通自動車に積載できる大きさを想定し、全長2m程度の長さにして、管の両端はネジ加工を行うことで、作業性や運搬の行いやすさを重視した。ネジ加工についても塩ビ管加工と同様の作業難易度で実施ができるため、加工費の費用と時間が短縮した。



図-3 PVC塩ビ管（VP50）

透明アクリル管と透明塩ビ管の特性比較を以下に示す。

表-1 透明塩ビ管とアクリル管の比較表

比較項目	透明塩ビ管	透明アクリル管
材料費	安い	高い
加工のしやすさ	容易	難しい
耐久性	割れにくい	割れやすい
透明度	十分	優れている
柔軟性	高い	非常に高い
柔軟性	高い	低い
入手性	容易	やや困難

4. 作業方法

使用方法としては、ボーリング孔口のケーシング内に透明塩ビ管を挿入し、上端（メスネジ）を次の管の（オスネジ）部に手作業で回転して接続を行い、これを繰り返し予定撮影長分の透明塩ビ管の挿入を完了する。

（図-4 および図-5）



図-4 撮影前の挿入状況



図-5 PVC 塩ビ管挿入（近景）



図-7 水平孔の撮影状況

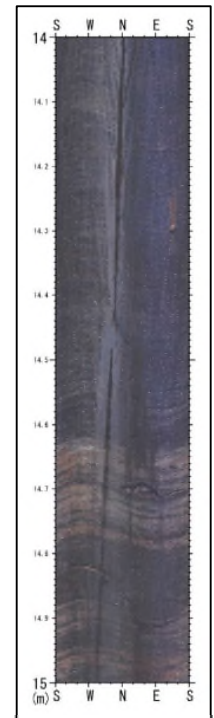


図-8 注水なしの撮影例

併せて、撮影前に管内に清水注入を実施しこれにより撮影ライトの反射を抑制し、撮影時の視認性を確保した。

5. 撮影結果、アクリル管撮影との比較

以下に実際の撮影結果を示す。参考画像として、アクリル管使用の撮影画像も参考画像として示す。

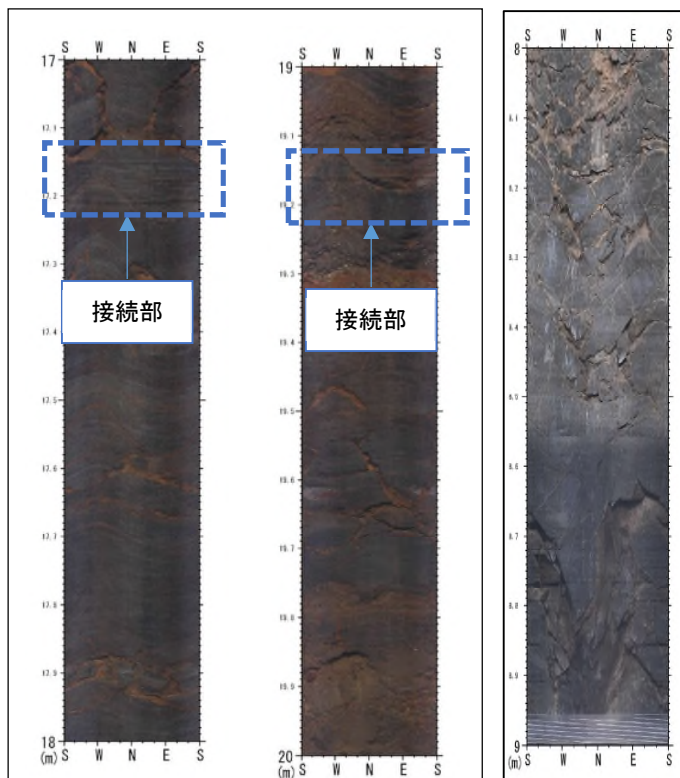


図-6 PVC を使用したボアホール撮影画像（左）
アクリル管を使用したボアホール撮影画像（右）

6. 透明アクリル管の評価

今回の撮影で透明管を用いることで、孔壁の状態、亀裂の大きさや位置などが確認できる品質の撮影を行うことができた。

図-6に示す通り透明塩ビ管の接続ネジ部について完全に透過せず撮影されているが、これは塩ビ管の挿入位置をずらすことにより、ネジ部をずらすことで回避することができた。設置の作業時においても塩ビ管の柔軟性と耐衝撃性が活かされ、持ち運び時や施工中の破損リスクが軽減された。加えて、比較的容易に調達可能である点は、突発的な機材不足への即応性を高める上でも有効であると考えられる。

7. 今後の課題

今回実施に伴い課題も発生した。水平孔及び、鉛直孔の地下水が著しく低い場合など、透明管自体に撮影ライトが反射してしまい白飛びしてしまう問題が発生した。

この対処として、清水を注水することで意図的に孔内を清水で満たすことにより対処ができたが、水平孔にて注水する際には孔口部の下端部をウエス等で止水し上端のみを開放し注入するなど現場状況に応じて対応する必要がある。また、撮影時にプローブが、塩ビ管を同時に引き込んでしまい、撮影が中断した。これは透明塩ビ管の内径段差が発生しており、プローブが当たり、塩ビ管と一緒に引き上げてしまうことが原因であった。対処としてヤスリなどで角を丸めて段差を解消し、撮影を継続した。

8. まとめ

今回比較的安価に代替手段を構築できる一例を示すことが出来た。従来のアクリル管に比べ透明度など不利などの課題もあるが、他のボアホールカメラ実施の現場でも転用が可能であり、提案として一定の有用性があるものと考えられる。

ダムにおける“Nソナー”調査事例

中央開発株式会社 ○八重樫 亮伍, 岩田 賢, 長田 実也

1. はじめに

ダム貯水池土砂管理の基礎情報である堆砂状況は通常、200m～400m置きに設定されている貯水池横断測線に沿ったシングルビーム音響測深機を用いた深浅測量によって把握されていることが多い。取得データが測線上に限定されることから国土交通省は、マルチビーム等による面的測量が可能な手法の採用が望ましいとしている¹⁾が、費用面の制約からそうした手法はあまり普及していないのが現状である。

そこで著者らは現行の深浅測量よりも迅速かつ安価に面的な堆砂状況を把握する手法として、市販の魚群探知機を用いて水中の点群データを取得し、水中地形図を作成する「Nソナー」を実用化し、各地で適用している。機動的な貯水池内堆砂特性の把握と土砂管理コストの削減に貢献しているとして、2024年1月、第7回「インフラメンテナンス大賞 - 優秀賞」を受賞した²⁾。本報告では、この手法の概要と現場での実施事例を紹介する。

2. Nソナーの概要と調査事例

魚群探知機は、水中に超音波を発射し、その反射波を捉え、分析し可視化する漁労用電子機器であり、操作・表示・記録を行う本体と超音波を送受信する振動子から構成される。魚群探知機は内蔵あるいは外部 GNSS 受信機により自船の測位を行う。測深データを含む情報と位置情報とを同期させて SD カードに保存し、外部出力可能な機種を使い、操作の平易な専用のデータ処理ソフトウェアと合わせて、特別な技能がなくても簡単に水底地形図を作成するシステムを調べ、Nソナーと呼んでいる。計器類一式は40万円程度で調達できる。

2024年11月、Z ダム（総貯水量31,600千トン、湛水面積150ha）において、魚群探知機一式を艀装した無人船（長さ125cm、幅65cm、高さ45cm、重量24kg）をインフレーターボートで図-1のように伴走しながら、測深データを収集した。



図-1 無人船とNソナー現地計測の様子

計測はのべ三日間、合計13時間をかけ、図-2に示す従前測線とそれに平行した約50m 間隔の横断航路で、貯水池全域を網羅するように航行し、7万5千点余の測深データを収集した。2024年10月、同ダムでは音響測深機による深浅測量によって、図-3の測線上で合計1,160点の計測値を得ている。Nソナー計測データ数は、この数十倍に相当する。

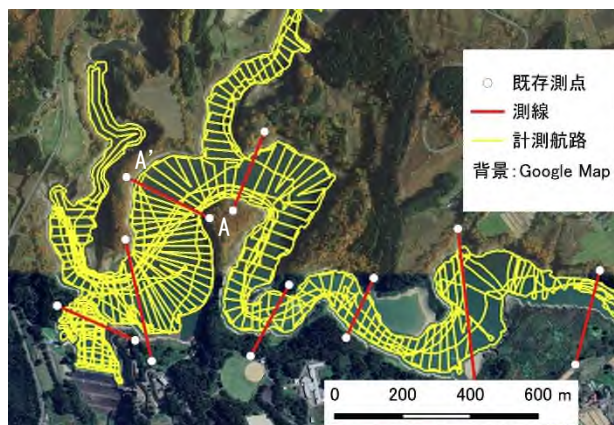


図-2 計測航路

取得データは、通常のパソコンに読み込み、市販の専用データ処理ソフト（ReefMaster）により処理する。航路上での計測データをもとに航路間の未計測エリアに内挿補間した水深を与えて、計測水域全域の1m格子の水深グリッドデータにまとめ、数値地形モデル（DEM）を作成する。それらはGISソフトを使って水底地形等高線図や任意の位置での断面図に加工・出力することができる。図-3にこうして得られた水中地形図を示す。

従来の測線上の断面情報のみの深浅測量ではとらえられなかった貯水池内の面的な土砂堆積状況がはっきりになる。これまで平均断面法で近似していた貯水容量・堆砂量が、地形変化を反映したDEMから、確からしく算定することができる。

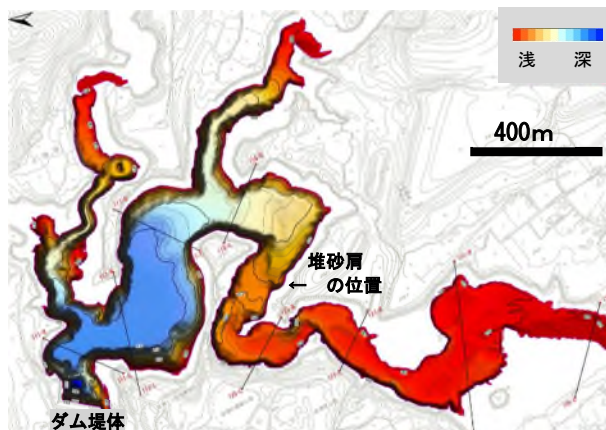


図-3 Nソナー計測による等深線図

3. Nソナーの成果

魚群探知機は、測深だけではなく、水中の地形・構造を超音波反射映像で表現する機能があり、計測された水深値の信ぴょう性を映像で確認することができる。図-4に貯水池横断測線（図-2中の A-A'断面、幅約 200m、最大水深28m）での「ダウンスキャンソナー」と呼ばれる振動子で捉えた水底の超音波反射映像例をあげた。水底は平らではなく、地形の段差があり、水底の植生や斜面の様子も確認できる。貯水が濁っていても、超音波は懸濁物質間を透過し、画像化が可能である。

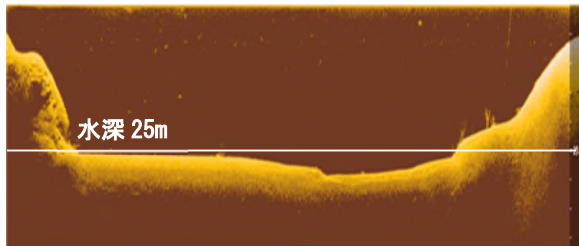


図-4 ダウンスキャンソナー水中画像

このほか、水中設置の管理施設の現況確認にはライブソナーという振動子が有効である。図-5にライブソナー振動子を取水施設に向けて記録した超音波反射断面画像を添付した。施設の細かな構造や、施設周辺の堆砂状況を船上でリアルタイムに見ることができる。

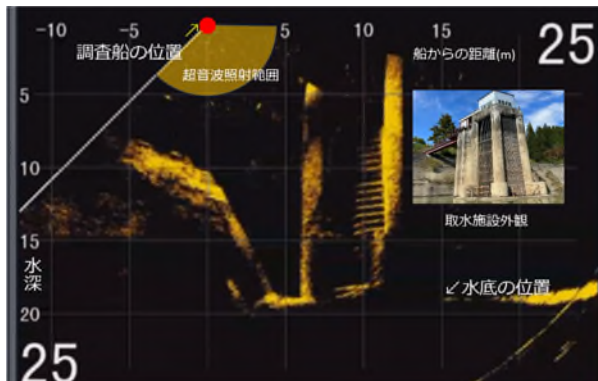


図-5 ライブソナーで見る水中施設画像例

さらに、発信した超音波の底部からの一次反射の強度は底質の粗度（表面がざらざらしている、あるいは滑らかさの指標）を、また、一次反射から二次反射への減衰の程度が底質の硬度を、それぞれ反映していることから、魚群探知機は、超音波の反射の様子を自動分析し、「粗度」と「硬度」の相対的な区分図として出力することができる。底質の相対的な硬度分布図を図-6に例示した。

色の薄い部分は軟質の滑らかで細粒土砂が堆積しており、色の濃い部分は相対的にざらざらした硬い土砂で覆われていることが示されており、その境界が堆砂肩の進出位置と整合しており、貯水池内堆砂現象の合理的な理解を助けるものと期待される。

現地計測時には、随時、水底が平坦なところで停船し、錘を付けたロープを下して着底までの深さを測り、魚群探知機計測値との相違を確認するようしており、

これまで、いずれの地点でも、差は±数 cm 以内におさまっている。また、別の現場ではあるが、ナローマルチビーム測深が行われた貯水池で、大きな出水がなかった期間を経てNソナー計測を実施した複数のダム貯水池でも、平坦部の計測差は、水深20m以上の地点でも20cm以内とよい一致をみている。魚群探知機の測深の計測精度は音響測深機と同水準であるとみられる。

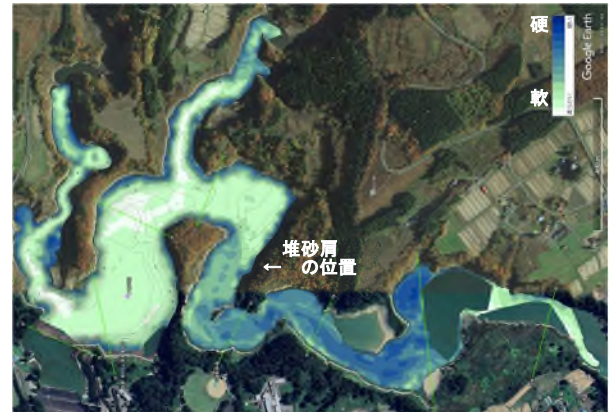


図-6 底質相対的硬度分布

4. Nソナーの活用

Nソナーの導入によって、これまで測線断面に限定されていた水中地形に関する情報が貯水池の全面について得られ、継続的に繰り返して計測を行うことで、流入土砂の貯水池内での経年変化が追跡できるようになった。加えて、水中地形や構造物に関する映像資料の取得も可能なことから、こうした資料の蓄積が、貯水池の適切な土砂管理・施設管理を支援するだろう。

本手法はダム貯水池での地形測量技術として、NETIS登録されている³⁾が、ダムに限らず、河川や港湾、海域など、あらゆる水域で適用可能である。2025年4月には橋梁周りの洗掘調査技術として、国土交通省点検支援技術性能カタログ（橋梁・トンネル）令和7年4月版に登録された⁴⁾ところである。今後、インフラメンテナンス分野において貢献したい。

《引用文献・参考資料》

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：ダム貯水池土砂管理の手引き（案）（2018）
- 2) https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/03activity/03_award.html
- 3) 国土交通省 NETIS（新技術情報提供システム）登録 QS-220006-A
<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=QS-220006>
- 4) 国土交通省点検支援技術性能カタログ（橋梁・トンネル）令和7年4月版
<https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/inspection-support/pdf/c/BR030070.pdf>

音響トモグラフィ地盤探査を用いた支持層、地中障害物等の調査

株式会社 KANSO テクノス ○澤田 雅言、加藤 裕将
JFE シビル株式会社 榊原 淳一、田子 彰大

1. はじめに

近年、都市部において地表陥没事故や基礎杭の施工不良など地盤に関わる問題が発生している。地表構造物が多い都市部では十分にボーリ

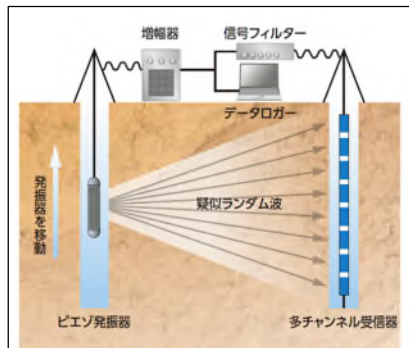


図-1 音響トモグラフィ地盤探査の概要

ング調査ができ 図-1 音響トモグラフィ地盤探査の概要がない場合がある。一方、地表構造物の影響をあまり受けない手法の一つとして音響トモグラフィ地盤探査¹⁾が挙げられる。この手法は2本のボーリング孔の一方に孔内発振器、他方に孔内受信器を設置し、発振器と受信器間で高周波数の弾性波を送受信することで、2本のボーリング孔の間を連続的に可視化できる手法である(図-1)。本報では、この音響トモグラフィ地盤探査の概要と調査例、適用時の留意点、正確な計測によるメリットについて述べる。

2. 音響トモグラフィ地盤探査の概要と調査例

(1) 音響トモグラフィ地盤探査の概要

本手法は、通常の弾性波探査とは異なり、周波数と振幅を正確に制御した疑似ランダム波²⁾と呼ばれる連続波を発振する。受信器で受信した波形と発振波形の相関関数を計算しパルス波に変換することで到達波の到達時間と振幅を取得する。疑似ランダム波は見かけの振幅を数10倍に増幅できるため、50m以上離れた2孔間でkHz単位の高周波数の波を送受信することができる。その結果、受信器で受信した波の到達時間から地盤断面の速度分布図を取得し地層構造や支持層の把握が可能に、発振波と受信波の振幅の差分から地盤断面の減衰率分布図を取得し2孔間に存在する空洞や地中障害物等の把握が可能となる。

(2) 調査例①(杭基礎支持層の調査)³⁾

本調査は杭基礎の支持層を把握することを目的に、A'孔 B'孔 C孔 D孔のボーリング孔を用いて実施した。孔間距離は約40mおよび約57m、調査深度はGL-10m~GL-55mの範囲であった。弾性波の速度分布の展開図とA孔~D孔のボーリング調査結果を図-2に示す。GL-20m以下のDs2層下端からDg層までの地層境界はN値の結果と整合的である。特にGL-40m以下のN値の変化とよく対応しており、支持層直上の弱部の層厚変化を把握できている。C孔-D孔-A'孔間ではDs3層の上端下端の速度コ

ンターは変化が小さく、C孔のN値もDs3層の上下境界で変化が緩く速度コンターの変化と整合的であるため、地層境界が遷移的かつ水平方向の連続性が低いことを示唆している。また、6測線の結果をもとに支持層深度(N値>50)の三次元モデルを作成した。No.1孔、A孔、B孔の支持層深度(青斜字)と合わせた支持層深度の三次元モデルを図-3に示す。このモデル図から支持層の不陸が少なく、D孔付近はやや浅くなっていることがわかる。また、同図はNo.1、A孔、B孔のN値>50の深度と誤差1mの範囲内で一致している。

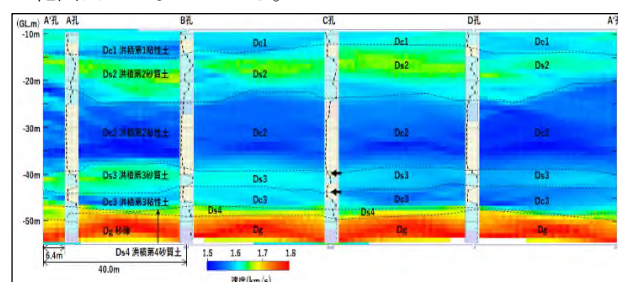


図-2 4孔間での弾性波の速度分布図

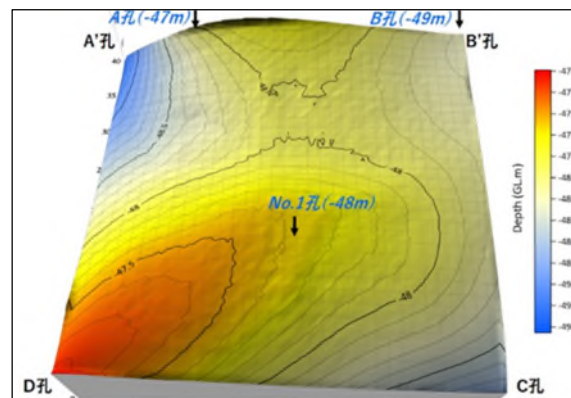


図-3 支持層深度の三次元モデル

(3) 調査例②(地下空洞の調査)⁴⁾

道路橋の橋脚工事での予備調査から橋脚下部に地下空洞の存在が示唆されたため、Br.1~Br.4の4孔でボーリング調査を行ったのち地下空洞の空間分布を調査した。調査は測線 Br.1-Br.4と Br.2-Br.3の2D断面の2測線で行い、内挿により3D画像として出力した結果を図-4に示す。

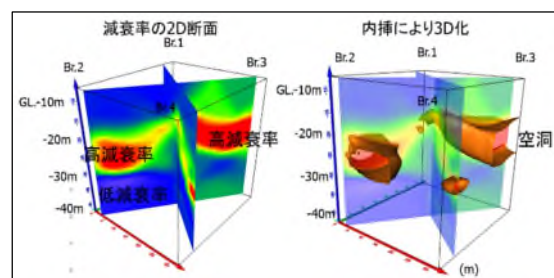


図-4 地下空洞の調査結果

同図から深度20m~30mの間には想定していなかった高

さ10mの大空洞が確認されたため、3D画像を用いて近隣住民への説明を行い、速やかに充填工事を行った。調査結果から計算した空洞の容積と充填剤の量が概ね一致したことから調査結果は妥当であったと考えられた。

3. 音響トモグラフィ地盤探査適用時の留意点

音響トモグラフィ地盤探査を正しく実施するために必要な4つの留意点について述べる。

(1) 地下水位と地盤の飽和度の確認

弾性波は地盤中の飽和度に左右され、飽和度が低下すると速度は減少⁵⁾し減衰率は増加する(図-5)。この飽和度の影響を調査結果から取り除くのは困難であるため、地下水位より浅い部分や飽和度が低下している地盤での調査は難しい。調査前に調査対象深度が地下水以下にあるかどうかの確認は必要不可欠である。また、調査対象深度が地下水以下であっても、飽和度の低下が予想される盛土や地下水位低下工法を実施した場所では既存のボーリング結果などから、事前に地盤状態を確認する必要がある。

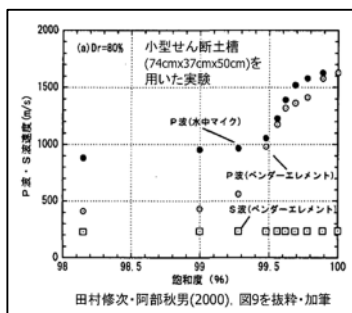


図-5 飽和度とP/S波速度の関係

(2) 計測に用いるボーリングの離隔距離

本手法は断面内部をセルで分割し逆計算を行いセル内の速度値、減衰率値を計算しているが、理論上、波線の角度よりも高角度な構造の解析を行うことができない。図-6の左図は離隔距離L、右図は離隔距離2Lの場合での波線経路の模式図である。離隔距離2Lにおける解析可能な角度 θ_{2L} は離隔距離Lの角 θ_L よりも小さくなっている。従って、急角度な地層構造が予想される場合には最大角度を想定して適切な離隔距離を選ぶ必要がある。

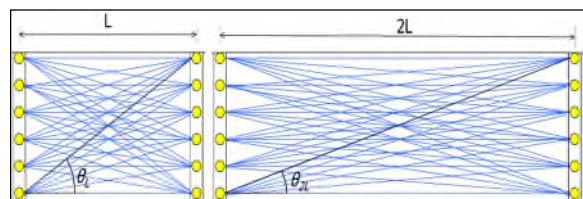


図-6 離隔距離と解析可能な最大角度の関係

(3) 縁辺部の調査精度の低下

断面内部をセル分割して計算を行う場合、セルの計算精度はセル内を通る波線の数に比例する。図-7において中央のセル①、上端部のセル②内を通る波線数は①で11本、②で3本となり、縁辺部のセルの波線数は少なく精度も低いいため評価

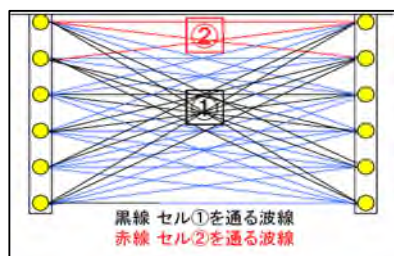


図-7 断面内セルを通る波線の数

できないことを考慮して、調査範囲が縁辺部にかからないように計画する必要がある。

(4) 土質柱状図などの比較データの準備

解析結果から得られる弾性波の速度や振幅減衰率は、強度定数など土質工学的な値や地層の種類などと直接的な関係はないため土質工学的な情報の把握はできない。この問題を

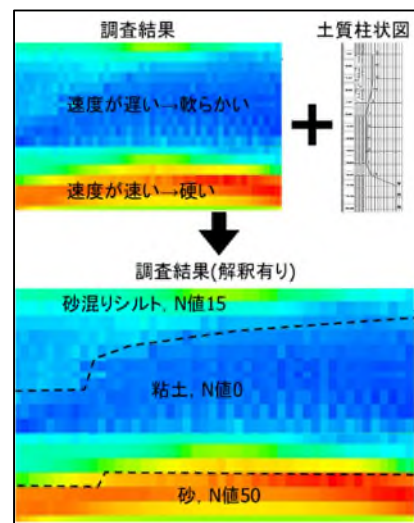


図-8 調査結果と土質柱状図の比較

解決するには土質柱状図等の比較データが必要不可欠である(図-8)。支持層調査などN値の情報が必要な場合は、計測に用いたボーリング孔の両方またはどちらか一方のN値が必要である。また、地中障害物や空洞の調査時には、得られた結果が地層構造あるいは地中障害物や空洞の影響かどうかを判断する必要があるため、土質柱状図に加え、地中障害物や空洞がないキャリブレーション用の測線との比較が必要である。

4. まとめ

最後に正確な計測がもたらすメリットを述べる。ボーリング調査のみだと「杭長不足や高止まりによる施工の手戻り」などの可能性があるが、本手法を追加することで物理探査との統合的な評価により高効率な設計の実現と施工時の安全性向上が考えられる。今後も本事例の経験を活かし、地盤探査に貢献していく所存である。

《引用・参考文献》

- 1) 榎原 淳一, 山本 督夫 (2009) : 高周波数の弾性波を用いた高精度地盤調査手法の開発, 土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 1, 97-106.
- 2) 問山 清和・林 高弘・神谷 庄司 : 改良型パルス圧縮方法によるガイド信号の高分解能化, 超音波テクノ, No. 9-10, pp. 12-16, 2006
- 3) 榎原 淳一・田子 彰大・渡邊 徹・久世 直哉・木谷 好伸・井上 波彦 : 杭の支持層に関する段階的地盤調査 その3 音響トモグラフィ地盤探査法, 2025年度日本建築学会全国大会梗概集
- 4) 榎原 淳一 : 高周波数の音波を用いた高精度な地盤の可視化技術, 検査技術 2017年3月号, 2017
- 5) 田村 修次・阿部 秋男 : P波を用いた地盤の飽和度計測法の開発, 第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, p. 249-254, 2000

F保育所を取り囲む擁壁点検と対策工検討

1. はじめに

本業務は、保育所を取り囲む市道擁壁に変状が確認されたことから、現地踏査、ミニラムサウンディング試験、簡易動的コーン貫入試験の機器を用いた擁壁の基礎確認、簡易測量、擁壁点検・評価を行い、擁壁の健全度判定と対策工の検討を行った。

調査地の擁壁は、昭和 40 年代後半～50 年代の初頭に構築され、50 年程度経過している。この間、東日本大震災も経験しており、崩壊等の大きな被害は見られないが、擁壁には、目地部の開きと段差が多く発生している。本稿では擁壁基礎の構造が分からなかったため、下図の業務フロー図に示した内容で、擁壁点検・評価を行った結果を報告する。

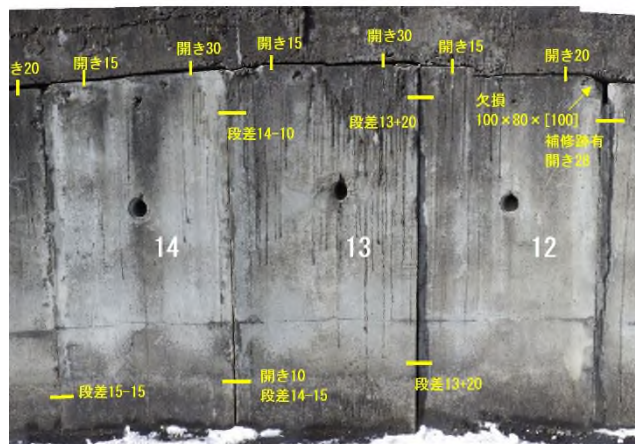


写真-1 当該地の擁壁の様子

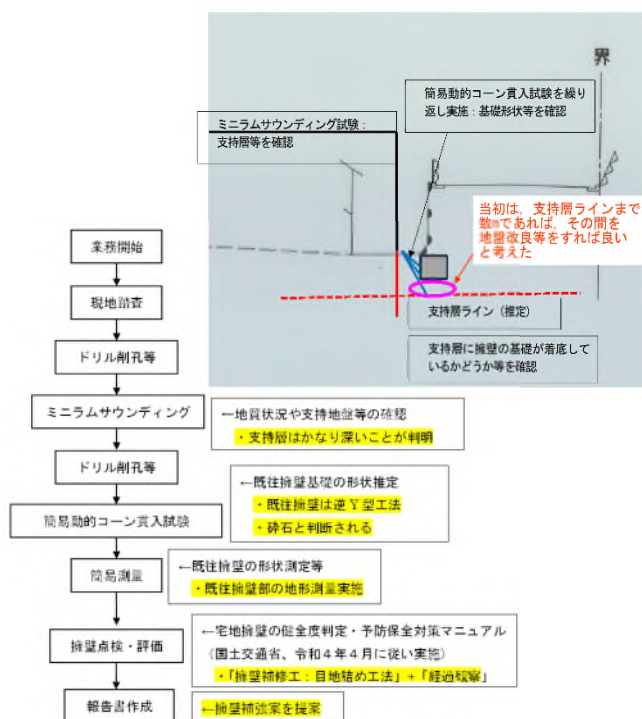


図-1 業務フロー図

2. 現地状況

当該地では、高さ約 0.3m～2.0m の擁壁が保育所を取り囲むように構築されていた。メーカー等の聞き取りからこの擁壁は、逆 Y 型擁壁 1 段積であると想定された。擁壁は建設から 50 年程度経過しており、東日本大震災も経験している。崩壊等の大きな被害は発生していないが、擁壁には、目地部の開き、隣接する擁壁の段差によるずれが所々みられた。（写真-1 参照）

3. ミニラムサウンディング試験結果

当該地の地盤状況と良好な支持層確認のため、ミニラムサウンディング試験を 3 地点で行った。サウンディング試験では詳細な土質は不明であるが、別途実施された既往の「調査設計業務報告書」を参考に地層を想定した。サウンディング試験結果より、良好な支持層は GL-7～17m に存在することが分かった。また、支持層がかなり深くばらついていいることにより、支持層まで着底した擁壁は施工が困難であることが判明し、現況の擁壁構造と同じ（想定）逆 Y 型擁壁 1 段積が構造的に有利であると判断した。

逆 Y 型擁壁 1 段積

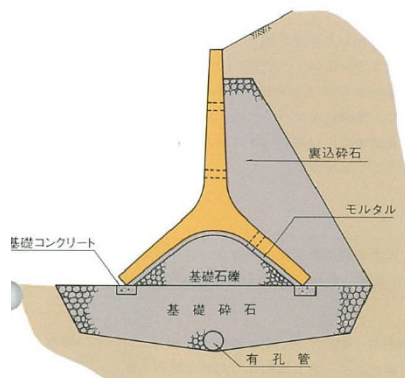


図-2 逆 Y 型擁壁¹⁾

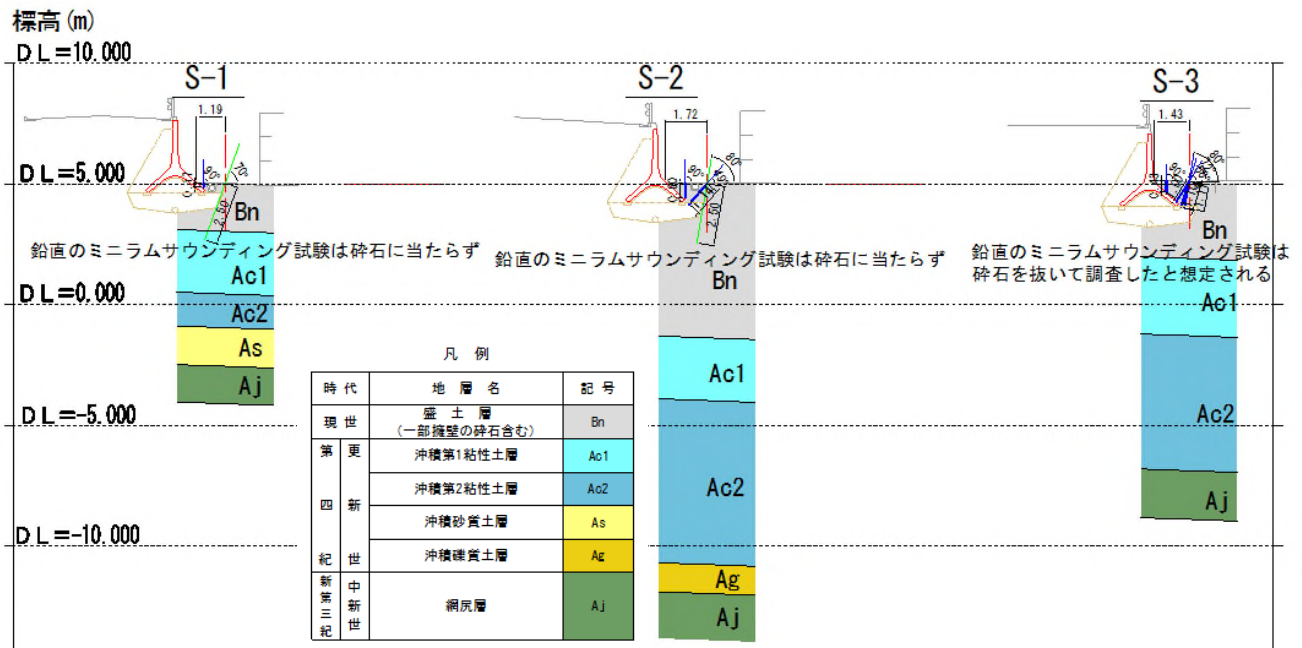


図-3 地層断面と基礎確認結果

4. 簡易動的コーン貫入試験器による基礎確認

簡易動的コーン貫入試験は、既設擁壁の基礎の形状を調査するために、斜めから貫入して基礎に当たったかで形状を推定した。なお、簡易動的コーン貫入試験はミニラムサウンディング試験を実施した 3 地点で実施した。図-2 に示した基礎砕石も参考とし、当該地の地層断面と簡易動的コーン貫入試験の結果を図-3 に示す。

5. 簡易擁壁点検・評価結果

保育所を取り囲む擁壁において「宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル」²⁾に従い宅地擁壁の健全度を判定した。その結果を表-1に示す。

表-1 宅地擁壁の健全度判定
宅地擁壁の健全度判定区分

①基礎点	②変状点	合計(①+②)	健全度 評価区分
1.5	6.0	7.5	中

【健全度判定区分】

- ・5.0点未満：「小」， 5.0点以上～9.0点未満：「中」
9.0点以上「大」

6. まとめ

本業務において、当該地の擁壁の調査や点検業務等を
実施し以下のことが分かった。

- ・擁壁には、目地の開きと段差が多く発生しているが、擁壁の構造状問題となる変状はないと判断される（擁壁躯体の折損等はない）。
- ・良好な支持層は GL-7～17m に存在する。支持層がかなり深いため、支持層まで着底した擁壁の施工が困難であったことが判明し、当該地で想定されている逆 Y 型工法

擁壁が構造的に有利であったと判断される.

- ・宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアルに従い実施した結果、健全度は「中」判定された。（中は必要に応じて補修を実施し、経過観察で対応する程度の区分である。）
- ・今回の判定結果は、「中」の内やや高い 7.5 点であったことから、「擁壁補強工」も見据えた「擁壁補修工：目地詰め工法」＋「経過観察」が妥当と判断し提案した。経過観察は、1 年に 1 回程度の変状の進行を想定している。また、擁壁補修工（目地詰め工法）として、「アステル工法」，「アラミド繊維補強施工」が最も妥当と判断された（表-2 参照）。

表-2 工法比較表

[illegible]

《引用·参考文献》

- 1) 逆 Y 型工法：国土道路株式会社パンフレット，p. 17.
- 2) 宅地擁壁の健全度判定・予防保全マニュアル：国土交通省，2022年4月.

手動式牽引装置を使用したボーリング機材の搬入出について

北海道土質コンサルタント株式会社 ○菅原 大輔、松本 和正、福島 孝太、斉藤 学

1. はじめに

傾斜地や狹隘地におけるボーリング機材の搬入・搬出においては、クローラーや索道、モノレールといった機械的手段が用いられることが一般的である。これらの導入にあたっては、現場の地形条件や安全性、作業効率、コスト等の観点からの適切な検討が必要となる。当社では、移動距離が比較的短く、かつ動力機材の搬入が困難な現場において、「チルホール」と呼ばれる手動式牽引装置（以下、本稿では「手動ウインチ」と記す）を用いた搬送手法を採用している。手動ウインチは構造が簡易で取り回しやすく、狹隘地や急傾斜地でも使用可能な実用的手段である。本稿では、手動ウインチを用いたボーリング機材の搬送方法を紹介し、その作業手順、使用上の工夫や留意点、利点および課題について整理することで、本手法の有効性を考察する。

2. 装置の概要

手動ウインチは、手動操作によりワイヤーロープを巻き取ることで、物体を牽引・移動させる装置である。本体に加え、ワイヤーロープ、スリングベルト、アンカーベルト等の付属機材を組み合わせる使用される。

動力を使わずに人力のみで安定した牽引が可能であり、ワイヤーは巻き取り方向に応じて入出力が可能で反転作業が不要な点も特徴の一つである。

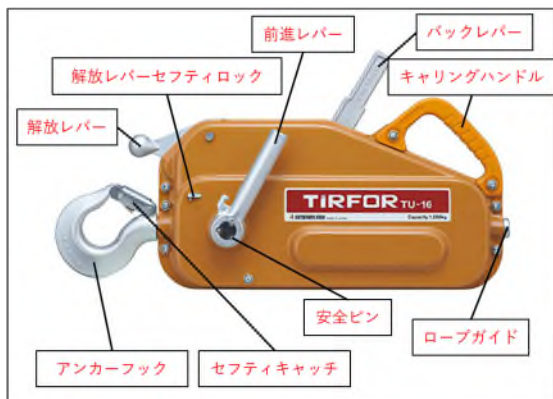


図-1 装置の概要(例:TIRFOR TU-16)



写真-1 付属機材

3. 作業手順と留意点

手動ウインチを用いた搬入出作業にあたっては、まず対象機材の重量や斜面条件を踏まえて、適切な機種を選定する必要がある。表-1 に代表的な手動ウインチの仕様を示す。

表-1 仕様一覧(参考)

型式	X-5	T-7	TU-16	T-35
本体重量 (kg)	4	7	18	26
最大能力 (kg)	500	750	1600	3000
ワイヤーロープ破断強度 (kN)	34.3	44.1	94.1	177

選定後、以下の手順に沿って機材の設置と牽引作業を行う。

① アンカー設置

固定点（例：樹木）にアンカーベルト・スリング等を巻き付け、手動ウインチ本体を安全に固定する。地形や法面構造に応じて、樹木や仮設アンカーなどを適宜使い分ける。



写真-2 固定点との連結例

② ワイヤーロープの展張

牽引対象（ボーリングマシン等）までワイヤーを展開し、対象物と連結する。必要に応じて滑車や補助ベルトを併用することで、摩擦軽減や方向調整が可能となる。

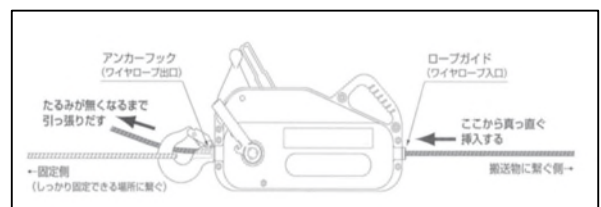


図-2 ワイヤーロープの展張方法

③ 牽引作業

バックレバーを操作しワイヤーを巻き取り、機材を徐々に搬送する。搬送距離が長い場合や斜面勾配が変化する場合は、数回に分けて中継アンカーを設置し、作業を段階的に進める。

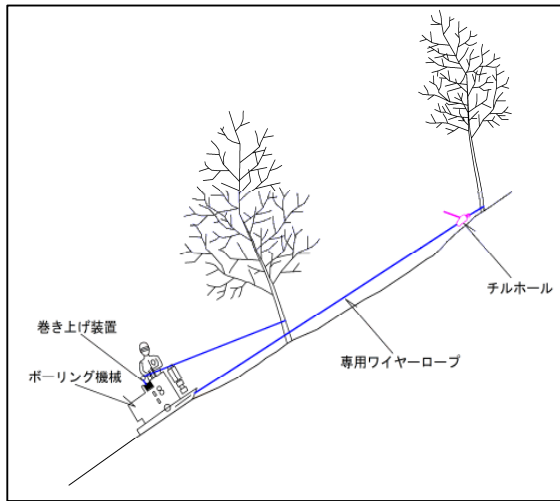


図-3 作業概念図

作業中はワイヤーロープの張力維持と安全な作業動線の確保を常に意識し、特に滑落防止と巻き戻しリスクに対する対策が不可欠である。また視認性の悪い場所や声が届きにくい環境では、ハンドサインや無線機を併用したコミュニケーション手段の確保も効果的である。

4. 現場での工夫と安全上の留意点

・アンカー設置時の工夫

アンカーとして樹木を利用する際には、スリングやワイヤーが樹皮に直接接触しないよう、毛布や保護シートを巻いて損傷を防ぐ措置を講じる。これにより、樹木の損傷を防ぐとともに、スリング自体の摩耗や滑りを軽減し安全性の向上にも寄与する。

・搬送ルートの確保と障害回避

搬送経路上には、落石や浮石、樹根などワイヤーの滑走や資機材の通過を妨げる障害物が存在することがある。そのため、作業前にはルート全体の巡視・除去作業を実施しスムーズな牽引が可能な状態を整える。

・作業員の配置と安全確保

搬送対象が斜面を滑落した際に備え、斜面下方には作業員を立ち入らせないように徹底する。特にバックレバー操作中は、巻き戻しや予期せぬ機材の動きが発生する可能性があるため、操作担当者は安全帯の装着・避難位置の確保を習慣化することが重要である。また、作業監視者を配置し、全体の動線・作業員位置・巻き上げ状況を把握する体制を構築する。

・コミュニケーションと連携体制

見通しの悪い斜面や高低差のある現場では、視認性や音声伝達が不十分になることがある。このため、無線機の使用やハンドサイン等の代替伝達手段を事前に共有し、操作開始・停止のタイミングを確実に伝達できる体制を整える。連携不足による誤操作が重大な事故を引き起こすリスクがあるため、事前ミーティングや役割分担の明確化が不可欠である。

・機材の点検と使用限界の認識

手動ウインチおよび付属機材（ワイヤー、スリングベルト、滑車等）は、定期的な摩耗・変形・損傷の点検が必要であり、使用限界の超えた機材の継続使用は厳禁である。特にワイヤーのささくれやスリングベルトのほつれは、破断等の引き金となるため、日常点検記録の蓄積と交換基準の設定が重要となる。

・天候への対応

雨天時や降雪・凍結条件下では、資機材の滑落や作業員の転倒リスクが高まる。天候に応じた作業の延期判断を行う基準を設け、作業強行を避けるよう現場判断を徹底する必要がある。

5. 利点と課題

【利点】

・軽量で携帯性が高い

本体重量は約 4～26kg と軽量で、搬入出が困難な場所でも持ち運びが可能。

・電力・燃料不要で環境を選ばない

動力を必要としないため、自由度が高い。

・構造がシンプルで整備が容易。

日常点検や現場での応急対応がしやすく、メンテナンス性に優れる。

・導入コスト・準備工数が少ない

小規模な現場でも即応性の高い搬送手段として活用できる。

【課題】

・牽引力に限界がある

重量物や長距離搬送には不向きであり、機材や距離に応じた判断が必要。

・作業者の負担が大きい

すべて人力での操作となるため、疲労蓄積への配慮が求められる。

・地形条件に依存しやすい

障害物の多い現場や、安定した固定点の確保が困難な場合には対応が難しい。

6. おわりに

本稿では、人力による牽引装置を使用した資機材の搬送方法を紹介し、運用上の工夫や注意点、機構的な特徴と課題について整理した。このような手動式の牽引機構は重機の進入が困難な現場や限られた資材と人員での対応が求められる場面において、一つの手段となりえると考えられる。一方で、作業員の負荷や安全確保には十分な配慮が必要であり、一定の経験と判断が求められる。

今後は、現場の状況に応じて動力を用いない搬送手段の可能性と限界を踏まえつつ、引き続き検討を進めていく必要がある。

CPT システムを利用した土壌固有熱抵抗測定器の有効性の検証

応用地質株式会社 ○山田 拓, 正岡 裕之, 平出 亜
中電技術コンサルタント株式会社 白井 秀幸

1. 土壌固有熱抵抗測定の方法と課題

洋上風力発電事業において、地中に埋設するケーブルの許容電流を設定することを目的として、海底地盤の土壌固有熱抵抗値 g ($^{\circ}\text{C}/\text{cm} \cdot \text{W}$) の測定が行われている。

海底地盤の土壌固有熱抵抗値 g を直接測定する方法としては潜水士が海底地盤面に測定棒(この測定器を従来器と称する)を設置して測定する方法や調査船から着座式の専用機器を海底地盤に設置して測定する方法がある。しかしながら前者は潜水作業に危険が伴うこと、後者は装置が大がかりとなり水深 10m 以下の浅海域に調査船が進入できないなどの課題があった。

2. 浅海域における土壌固有熱抵抗測定器の開発

上記の課題解決のために、浅い海域（水深10m以下）を対象としてSEP 船に搭載したダイレクトプッシュ方式の電気式コーン貫入試験（以下、CPT）を利用した土壌固有熱抵抗測定棒（新型器、 $\Phi 36.0\text{mm}$ ）を開発した（図-1）。

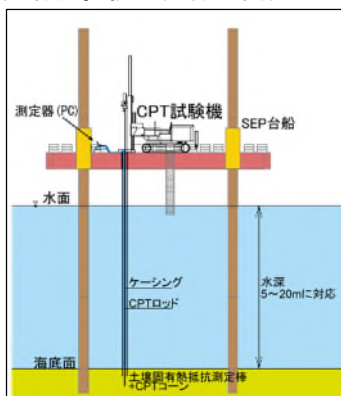


図-1 新型器による土壌固有熱抵抗(g)測定イメージ

3. 新型器の概要

新型器は従来器と同様に、直流電源装置、データロガーおよび測定棒（探針）で構成される（図-2）。探針は地盤面から2m 程度までの土層を対象とし、（財）電力中央研究所報告¹⁾に準拠して探針の長さを直径の20倍以上、下端測定点から探針端部までの長さを直径の10倍以上としている。なお、地盤面から深度0.8m, 1.2m, 1.6m の位置に T 型熱電対を取り付けていて、3深度の温度を測定できる構造²⁾である。また、従来器と新型器の違いについて表-1にまとめた。

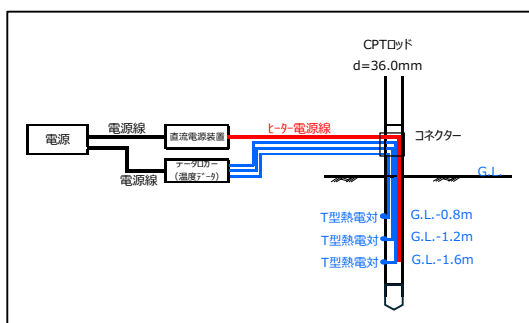


図-2 土壤固有熱抵抗測定器の概要(新型器)

表-1 従来器と新型器の違い

項目	従来器	新型器
直径	21.7mm	36.0mm
材質	ステンレス	鋼材
測定時間	2時間	2時間

4. 従来器と新型器及び室内試験の測定結果の比較

(1) 比較実験の概要

新型器の有効性を検証するために、陸上の試験ヤードにて従来器により得られた測定結果との比較実験を行った。また、熱電対最上部の深度に合わせて試料採取を行い、室内試験にて熱伝導率測定を行った。なお、比較実験では従来器が貫入予定深度の10cm上で高止まりしたため、新型器・従来器とも地盤面から深度0.7m, 1.1m, 1.5mで測定を行った。

試験値の分布地質は、図-3に示すように細砂で構成されている。物理試験結果から含水比6.0%と低く、湿潤密度 1.56Mg/m^3 と非常に緩い砂となる。

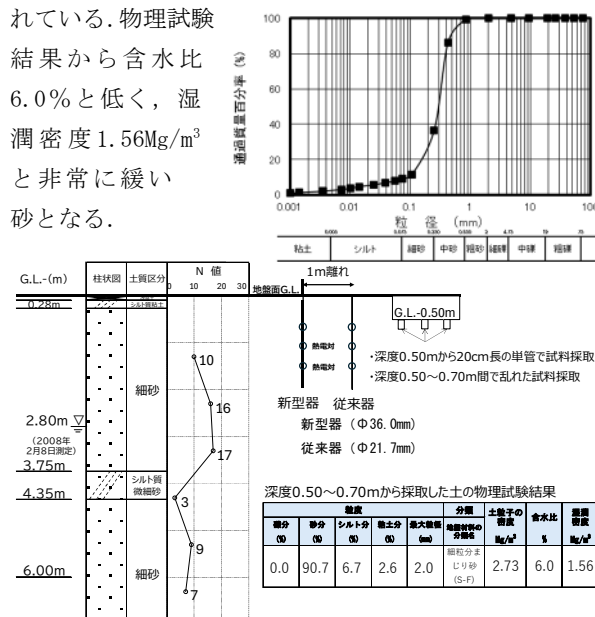


図-3 試験地の地盤情報

(2) 測定方法

測定は試験地の3箇所(No.1~No.3)で行い、新型器と従来器の試験地点の間隔は1mとして、互いの地中内温度の影響が出ること避けるため、測定日を変えて行った(図-4)。なお、従来器と新型器では探針の挿入方法が異なる。従来器はドリルで先行して穴をあけ、そこに探針を挿入し、ハンマーで探針上部をたたくことで所定深度まで挿入させた。一方、新型器はCPTを利用した測定器であるため、CPTマシンを用いて押し込むことで所定深度までの挿入を行った。

また、室内試験に供する試料は、新型器で測定した

No.1地点の近傍にて深度0.50m から20cm 長の単管によって採取した乱れの少ない試料（CPT 機で圧入）と、深度0.50～0.70m 間で採取した攪乱試料を用いた。攪乱試料については密度調整を実施したうえで熱伝導率測定を行った。

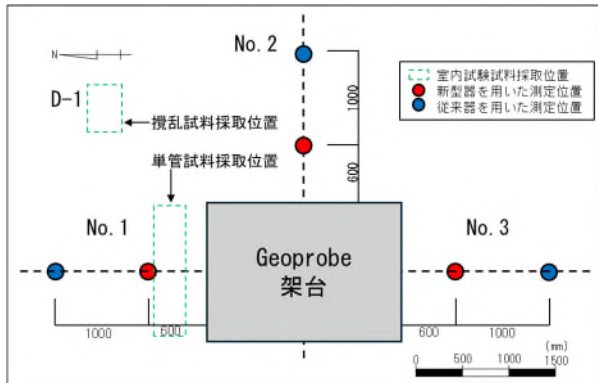


図-4 比較実験の位置関係

(3) 測定結果

従来器と新型器から得られた土壌固有熱抵抗 g の測定結果及び熱伝導率測定から得られた土壌固有熱抵抗 g を表-2に示した。なお、熱伝導率測定から得られた熱伝導率 λ ($W/m \cdot K$) は関係式 (1) を用いて土壌固有熱抵抗値 g に変換した。

$$g = 100 / \lambda \quad (1)$$

その結果、従来器及び新型器から得られた値は一部のデータを除き、普通地の土壌固有熱抵抗値 $100 (^\circ C \cdot cm/W)$ に近い値を示し、室内での熱伝導率測定から得られた値は乱れの少ない試料で $119 (^\circ C \cdot cm/W)$ 、密度調整試料で $102 (^\circ C \cdot cm/W)$ の値を示し、ほぼ同じ値が得られた。

表-2 土壌固有熱抵抗測定結果

測定箇所	測定深度 (GL-m)	従来器		新型器	室内試験				備考
		土壌固有熱抵抗値 g (°C・cm/W)		供試体 No.	状態	プローブ 挿入方向	土壌固有 熱抵抗値 g (°C・cm/W)		
D-1	0.5~0.7	—	—	1	密度 調整	—	96.2	密度調整試料平均値 102.3	
		—	—	2			108.7		
		—	—	3			102.0		
No.1	0.7	100.1	102.8	4	乱れの 少ない 試料	上部	91.7	乱れの少ない試料平均値 全体: 120.2 上部: 105.1 下部: 135.4	
				5		下部	142.9		
				6		上部	108.7		
						下部	129.9		
	1.1	91.7	103.9	—	—	—	—		
	1.5	101.6	89.0	—	—	—	—		
	No.2	0.7	146.7	108.1	—	—	—	従来器過大値	
		1.1	119.9	102.5	—	—	—	—	
1.5		114.0	86.3	—	—	—	—		
No.3	0.7	108.3	232.8	—	—	—	新型器過大値		
	1.1	103.5	101.0	—	—	—	—		
	1.5	104.6	82.2	—	—	—	—		

5. 考察

比較実験の結果から、従来器と新型器から得られた土壌固有熱抵抗値 g は概ね一致するか、新型器の値が従来器の値の75～85%程度の値を示す結果となった（図-5）。なお、従来器と新型器によって得られた値で乖離が認められたデータについては、温度と時間の関係から明らかに土質が異なる傾向を示しており、細粒分含有率や含水比などの違いによるものと考えられた。また、新型器と従来器の測定結果を比較すると（図-6）、新型器

のデータは温度が上昇するのに時間がかかっているものの、同様な測定時間で従来器と相違ないデータが得られていることが確認された。

熱伝導率測定結果については、乱れの少ない試料と密度調整試料での測定結果に差異が生じており、密度調整試料での測定値の方が、探針による測定値と近い値を示す結果となった。これは、密度調整試料の方が乱れの影響等を受けず、現地盤の状態を再現した状態で測定を行うことができたためであると考えられる。

以上から従来器と新型器の違い、すなわち材質と直径の違いによる影響は少ないことが確認できた。

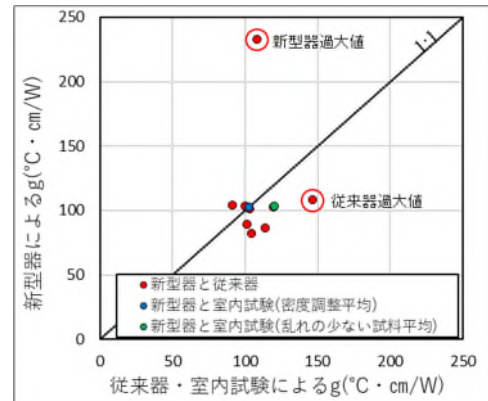


図-5 新型器と従来器・室内試験による g の比較

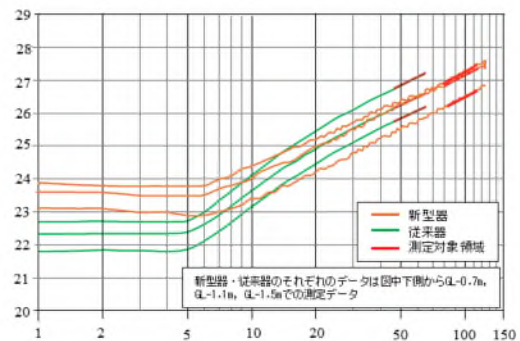


図-6 新型器と従来器の測定結果例の重ね合わせ(No.1)

6. 今後の展望

比較実験により、新型器の有効性を検証することができた。新型器を作成した目的である海底地盤を対象とした土壌固有熱抵抗値 g の測定にも取り組んでいく方針である。

《引用・参考文献》

- 1) 一般財団法人 電力中央研究所:深部土壌の固有熱抵抗測定法, 電力中央研究所研究報告183030, 1984.
- 2) 正岡裕之・平出亜・山田拓: CPT システムを利用した土壌固有熱抵抗測定器の開発, 第60回地盤工学研究発表会論文報告集, 2025.
- 3) 一般社団法人 日本電線工業会: 66kV 以上電力ケーブルの許容電流計算 JCS0501: 2022, 2022年10月改正, p54.
- 4) Hukseflux Thermal Sensors: TP08 manual v1009.

視覚的理解とミス防止！試験自動化を成功に導く動画マニュアル

株式会社高田地研 ○鈴木 拓巳, 高橋 信一

1. はじめに

近年、建設業界では人手不足や高齢化といった課題に直面しており、生産性向上と業務効率化が喫緊の課題となっている。このような状況下で、建設 DX（デジタルトランスフォーメーション）の推進が強く求められている。建設 DX は、デジタル技術を導入することで建設プロセス全体の変革を目指すものであり、その一環として原位置試験自動化への期待が高まっている。原位置試験の自動化は、作業員の負担軽減、データ精度の向上、工期短縮に大きく貢献し、今後の建設プロジェクトの成功に不可欠な要素となる。しかし、新しい技術やシステムを導入する際には、それを円滑に運用するための適切なマニュアルが不可欠であるが、従来の文章主体のマニュアルでは、複雑な操作や手順を正確に伝えることが難しく、習熟に時間がかかるという点が課題である。

本稿では、この課題に対し、動画マニュアルが有効な解決策となることを論じ、その優位性と今後の展望について考察する。

2. 文章主体マニュアルと動画マニュアルの比較

従来の文章主体のマニュアルと動画マニュアルを比較すると、動画マニュアルが原位置試験自動化の現場でより高い効果を発揮することは明らかなだ。両者の比較表を表-1に示す。

表-1 動画マニュアルと文章主体のマニュアルの比較表

項目	文章主体 マニュアル	動画マニュアル
視覚情報	○(写真・図)	◎
理解度	△	◎
習得速度	△	◎
臨場感・再現性	△	◎
更新性	○	○
携帯性	○	○

表-1の比較表からもわかるように、特に複雑な操作や手順を伴う原位置試験自動化の分野においては、視覚と聴覚に訴えかける動画マニュアルの方が、より高い情報伝達性と理解度を提供し、作業者の習熟速度を飛躍的に向上させる可能性を秘めていることがわかる。動きや音、そしてリアルタイムでの操作状況を再現できる動画は、実際に現場で作業を行う際のイメージを明確にし、手順の誤解を減らすことに貢献する。

3. 動画マニュアルの有効性と標準化への貢献

動画マニュアルは、原位置試験自動化における作業手順の標準化に大きく寄与する。動画を用いることで、熟練技術者の暗黙知であった「コツ」や「注意点」を具体的に可視化し、非熟練者でも容易に習得できる形に落とし込むことが可能となる。これにより、試験結果のばらつきを抑え、品質の均一化につながる。また、繰り返し視聴できるという特性は、個人の学習ペースに合わせた習得を可能にし、教育コストの削減にも繋がる。新たな装置が導入された際や、作業手順に変更があった場合も、動画マニュアルを更新するだけで迅速な情報共有と習熟を促すことが可能となる。これにより、誰が行っても同じ品質の試験を実施でき、精度の高い試験結果が得られることとなる。

4. 動画マニュアルの課題と解決策

動画マニュアルの導入には多くのメリットがある一方で、いくつかの課題もある。下記にその課題と解決策を示す。

(1). 作成にかかる手間とコストについて

専門的な知識や撮影・編集技術が必要となるため、内容によっては内製化が難しくコストがかかる。これに対しては、当面は社内での活用に限定することを前提に無料版のソフトウェアを活用して作成することで、初期費用を抑えることができる。

本事例では、動画編集の初心者でもスマートフォンやタブレットで簡単に作成できる InShot という無料版アプリを使用した。このアプリは、編集機能が充実しており、トリミングやカット、結合はもちろん、テキストやエフェクト、速度調整などを用いた凝った演出も手軽に使用できる。

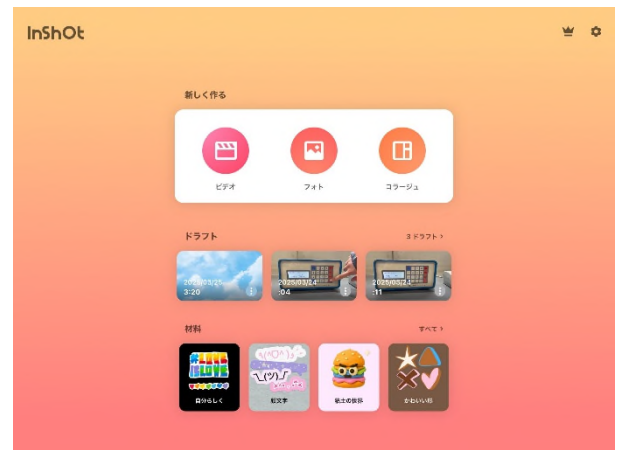


図-1 編集に使用したソフト(InShot)

(2). 検索性と視聴環境の整備について

作成した動画が多くなった場合、目的の情報を迅速に見つけることに時間を要することが課題である。これに対しては、各動画にQRコードを付与し、必要なマニュアルにすぐにアクセスできるようにすることで、現場での検索性を高めた。また、視聴環境については、スマートフォンやタブレットでの再生を前提とするが通信環境の悪い現場でも動画を閲覧できるよう、事前に端末にダウンロードしておくなどの対応も必要である。

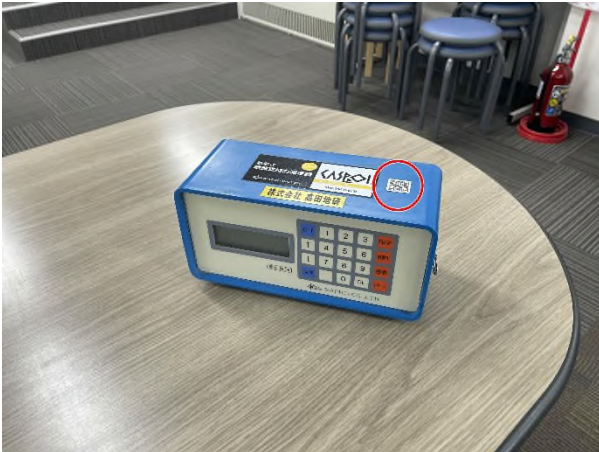


図-2 QRコードの活用

(3). 更新性について

作業手順を頻繁に変更する必要性が生じた際に、効率良く動画を作成するかが課題である。この対策としては、編集段階で動画を細かく区切り、必要な部分だけを差し替えられるように構成しておくことで、効率的な更新が可能となる。



図-3 動画編集画面

これらの課題を克服することで、動画マニュアルはさらにその効果が発揮されることとなる。

5. まとめ

本稿では、原位置試験自動化に伴う作業習熟において、動画マニュアルが極めて有効な手段であることを検討した。従来の文章主体マニュアルと比較し、情報伝達性、理解度、習熟速度、臨場感において優位性を持つ動画マニュアルは、建設DXを推進する上で不可欠なツールであるといえる。作業手順の標準化への貢献も大きく、成果品質の安定化と生産性向上に寄与する。作成コストや更新性の点で課題はあるものの、これらは技術や運用の工夫によって克服可能であると考えられる。

6. 今後の展望

今後の展望としては、動画マニュアル作成で培ったノウハウを活かし、技術的な教材資料の作成にも展開していきたいと考える。具体的には、小学生から大学生を対象とした職場見学やインターンシップ用の動画教材を作成し、当社の技術や建設業界の魅力をわかりやすく伝える。これにより、建設業界への興味や理解を深めてもらい、将来の人手不足解消の一助となることを目指す。動画マニュアルが、単に作業効率を上げるためのものだけでなく、業界全体の未来を担う人材の確保・育成にもつながる重要な取り組みであると確信する。

河川改修工における発生土利用の事例

株式会社高田地研 石澤瑞穂

1. はじめに

2000 年時点、工事現場で建設発生土が利用される割合は約 61%と全体の 2/3 未満だったが、2018 年時点で約 89%と増加している⁴⁾。廃棄物の削減への関心は年々高まっており、2025 年現在は「建設発生土は可能な限り再利用すべき」とする見方が主流である。他方で建設発生土の改良には購入土より時間と手間がかかり、現場では土質試験に煩わしさを感じる声も聞く。

そこで、今回はある地域の河川改修工にて、「建設発生土利用マニュアル」や「河川土工マニュアル」を参考に、工事現場の発生土を土質改善させて築堤盛土に使用した事例、並びにその過程で起きた問題に対して実施した対処法を紹介する。

2. 盛土材の条件

今回取り上げる河川改修工事で出た発生土は一般的な堤防盛土への利用を検討している。そのため、使用する材料には適度な遮水生と透水性を有していることに加え、施工する重機の走行に耐えうる強度が必要となる。具体的には、材料に含まれる細粒分（シルト・粘土）が 15% ≤、≤ 50%²⁾の範囲にあり、施工機械の走行に耐えうる 400～1000kN/m²のコーン指数を有する状態である。このそれぞれの条件を確認するために行う室内土質試験が、「土の粒度試験」「土のコーン指数試験」である。

3. 調査フローの設定（Ⅰ～Ⅲ）

発生土の特性を調べ、盛土材として利用までの簡易的なフロー図を作成した。図-1の各工程にⅠ～Ⅵの番号を付け、本文で対応する章にも番号をつけた。

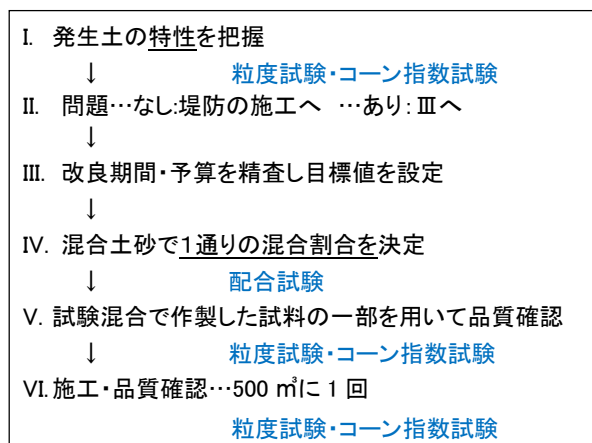


図-1. 発生土の改良フロー

上述したフローに従い発生土で土質試験を行ったところ、細粒分の割合が69.9%と50%を超え、かつコーン指数

が228.4kN/m²と軟らかい土性だった。細粒分が50%以上含まれる盛土は、乾燥時にクラックを生じる可能性があり、堤体材料として使用するのとは望ましくない。また、コーン指数400kN/m²未満の発生土は「第4種建設発生土」に当たり、盛土材としては○:何らかの改良が必要と判断される（表-1）。この結果より現況の発生土を表-1の盛土材に利用できる「第2～3種建設発生土」まで改善し、施工性を確保する方針となった。なお、施工担当者よりダンプトラックが走行可能な施工性がほしいと要望があり、対応するコーン指数1200kN/m²を目標に設定した。

表-1. 発生土の分類（簡易版）

	発生土分類	土質/コーン指数	盛土材の適否（一般堤防）
建設発生土	第1種建設発生土	礫および砂状	—
	第2種建設発生土	コーン指数 800kN/m ² 以上	◎ 現況で利用可
	第3種建設発生土	コーン指数 400kN/m ² 以上	◎ 現況で利用可
	第4種建設発生土	コーン指数 200kN/m ² 以上	○ 改良が必要
	泥土（建設汚泥）	コーン指数 200kN/m ² 未満	△ 改良に高コスト

※地盤改良マニュアル第5版より引用したものに著者加筆

4. 混合・配合比率の決定（Ⅳ～Ⅴ）

最初に、発生土の粒度分布と施工性を一度に改善するために山砂利（岩ずり）と川砂利で配合試験を行った。まず、現場のヤード仮設に用いていた山砂利（岩ずり）で配合試験を行った結果、細粒分は 50%以下まで低下したものの、混合割合を増やしても、コーン指数が目標値まで改善する兆しがなかった。他工区の川砂利で同様の試験を行った結果、発生土:川砂利=1.0:1.1 の割合で、細粒分の割合は 36.6 ≤ 50%、コーン指数 1200 ≤ 1256kN/m²といずれも目標値を満足する値が得られた。

よって室内試験では、発生土:川砂利=1.0:1.1 で混合割合が決定したが、実際に使用するには現場で重機混合した場合も同じ品質になる必要がある。そのため、現場で発生土と川砂利の試験混合を実施し、作製した盛土材が室内と同等の品質を有していることを試験で確認した。

5. 現場施工と品質管理（Ⅵ）

河川土工マニュアルでは、粒度調整による混合改良方法を用いた場合、500 m³に 1 回の割合で土質試験を実施する²⁾と記載がある。今回の工事における総改良土量は

1707 m³あり、少なくとも4回の室内土質試験を実施する必要がある。表-3の通り、現場での混合開始から3回目の品質管理まで盛土材の品質に問題は見られず、改良は順調に進んでいた。しかし、その後の施工中に改良した盛土上をバックホウが走行した際、キャタピラが地中に沈んで走行が困難になる事例が発生したため、改良を一時中断した。

沈下が発生した盛土材を確認したところ、今までより色が黒く軟質な印象を持った。採取した試料を室内試験で確認すると、粒度分布は目標の範囲まで改善していた（表-2）。しかし、コーン指数は目標値 1200 kN/m²と比べ、大幅に低い 105.1kN/m²しか得られなかった。表-2より4回目の品質管理の結果を精査すると、今までの結果と比べて粒度分布に大きな変化はないが、含水比は上昇しており、乾燥密度については大幅に低下していた。これは土粒子よりも密度が軽く、水分を保持しやすい性質を持つ有機物の割合が増えたためと考えられた。

表-2. 品質管理結果一覧表

項目	礫	砂	粘土	qc ^{*1}	ρd^{*2}	ωn^{*3}
単位	%	%	%	kN/m ²	g/cm ³	%
1回	39.5	26.9	33.6	1408.1	1.717	24.2
2回	32.5	33.0	34.5	—	—	20.3
3回	30.0	44.0	26.0	1413.3	1.807	20.2
4回	29.3	37.7	33.0	105.1	1.453	29.6

*1…qcはコーン指数を示す。品質管理の回数規定が無い
ため1/2回実施し、4回目のみ強度確認のため追加
で実施した。

*2… ρd は乾燥密度で、コーン指数試験のデータを用いて
いるため2回目は記録が無い。

*3… ωn は自然含水比のことを示す。

6. 混合土砂の改良

前章の通り、発生土に含まれる有機物の割合が増加したことで粒度分布の改善できても目標コーン指数を確保するのは難しいことが判明した。よって現場の施工では粒度調整した材料に、固化材を添加してコーン指数を確保する方針に転換した。なお、現場周辺は田畑として利用され、セメント系固化材では六価クロムによる汚染が懸念されたため改良材は石灰を用いた。石灰による追加の土質改良が行われたことでコーン指数が改善し、再び盛土の施工へ利用することができた。

7. 土質の変化に備えるために

今回の事例では、現場施工の進行によって、想定していなかった土質の変化が起こった。それに伴い、工事の工程がずれ込むなどの影響が生じた。今回紹介したような不測の事態に備えるため、現場で改良などを進める施工担当者と積極的にコミュニケーションを取ることの重要性を感じた。

今回の経験を踏まえ、再び同様の施工事例があれば次の2点を実行したい。第1に、土質改良を行う施工担当者に改良後の材料のイメージを共有することである（例：図-2）。例えば、改良後の理想的な土質状況について、写真や試験時のサンプル等を用いて視覚的に分かるようにしておく。施工担当者は、試験担当者より現場における材料の土質変化を肌で感じている。よって、改良の過程でサンプルと比較して異変を感じたら報告してもらうなど事前に協議することでリスクを下げる。

第2に、理想的な混合割合で改良した材料の含水比と乾燥密度を、施工管理時の測定値と比較することである。試料中に有機物の占める割合が増加しても、粒度分布にはその存在は反映されない。しかし、含水分の増加や色合い、締固め度の変化などから、有機物などの存在は容易に推測できる。



図-2. 理想的な土質状況



図-3. 有機物を含む土

8. 総括

土質試験は現場を安全・円滑に進めるために必要な試験である。そのため、試験を担当する者は採取した試料だけではなく、現場ごとに使う重機・施工環境、周辺の地盤の成り立ちをよく観察することでリスクを想定し、工事の工程・施工の負担が少なくなるような様々な対応を検討できるようにしたい。

最後に、土質改良は現場環境や発生土の性質によって対処法は違うが、未だ事例を載せた論文は少なく感じる。本論文をご覧いただき、土質試験がどのように現場の施工に関係しているか、理解の一助となれば幸いである。

《引用・参考文献》

- 『建設発生土利用マニュアル 第4版』独立行政法人土木研究所 編著 2013年。
- 「河川土工マニュアル」一般財団法人 国土技術研究センター 平成21年4月 改訂版。
- 『セメント系固化材による地盤改良マニュアル第5版』一般社団法人セメント協会 擬報堂出版。
- 「建設リサイクル推進計画2020」国土交通省令和2年9月。