

SMW 工法におけるリアルタイム着底判定システム ボトムシーク

大村 啓介・大谷 長由・荻野 寿一

地下ダム工事に於いて地下水貯留性能を満足するためには、地中連続壁の止水性能を確保することが必要である。このため地中連続壁を帯水層下部の遮水（不透水）層まで確実に着底させることが重要な要素となる。本システムは、SMW 工法で使用する地盤改良機から得られるデータを基に、不透水層の深度をリアルタイムで判断する。地盤改良機に装着した計測器で計測したデータは、パソコンに伝送し記録され、一般的な表計算ソフトを使用して解析を行い、リアルタイムでモニタ画面上にて確認できるシステムとした。本稿では、プロジェクトでの実証試験データを用いてシステムの概要を紹介する。

キーワード：SMW、地盤改良機、地下ダム、止水壁、着底管理、吊荷重、電流値

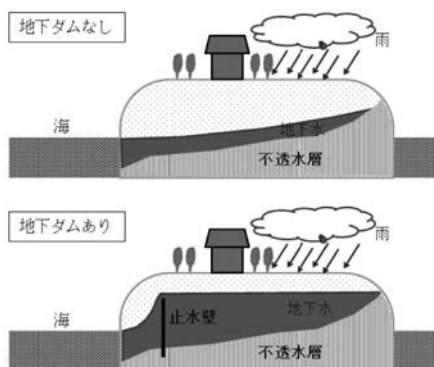
1. はじめに

地下ダムは、図一1に示すように地中連続壁（止水壁）を構築することで海に流出する地下水の流れをせき止め、地盤の間隙に水を貯留させるものである。地下ダム工事に於いて地下水貯留性能を満足するためには、止水壁の止水性能を確保することが必要である。このため地中連続壁を帯水層下部の遮水（不透水）層まで確実に着底させることが重要な要素となる。

不透水層の上端深度は、事前ボーリング調査に基づいて設計深度を決定しているが、ボーリング調査は調査地点のみの情報であり、ダム軸方向に連続的に不透水層上端深度を把握することはできない。このため、ボーリング調査地点間での地層境の大きな起伏が存在している場合にはこれを捉えることは難しい。そこで通常は写真一1に示すように、地盤改良機での削孔完了後にオーガーを引き抜き、オーガー刃先に付着した不

透水層の土塊を目視確認することで、着底の確認を行っている。しかしながらこの手法では、目視による確実性はあるものの削孔施工中に不透水層へ到達したか否かを判断し辛く、不透水層上端の深度を把握できないため根入れ長の管理が行えないという課題がある。また、一般的なオーガー掘削機の着底管理の方法としてオーガー減速機の負荷電流値による管理¹⁾が行われているが、上部に位置する地層が硬質な地盤では、不透水層を判定することができない²⁾ことが知られている。

そこで筆者らは、不透水層への到達をリアルタイムに全線に亘って把握可能とするために、ソイルセメント柱列壁（SMW）工法で使用する地盤改良機から得られるデータ（吊荷重と負荷電流値）を活用して、不透水層の深度をリアルタイムで判断するシステム「ボトムシーク」（以下「本システム」という）を開発した³⁾。本稿では、プロジェクトでの実証試験データを用いてシステムの概要を紹介する。



図一1 地下ダム概念図

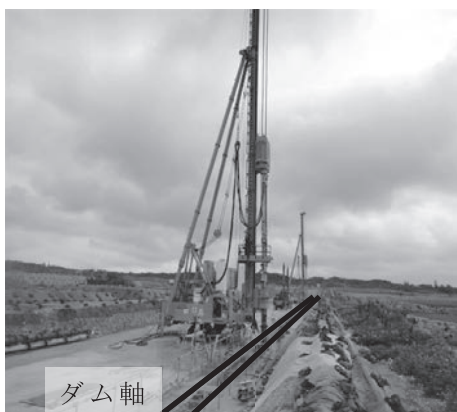


写真一1 不透水層土塊の付着確認状況

2. プロジェクトの概要

(1) プロジェクト概要

本システムを沖縄県宮古市における地下ダム工事に適用した（2013年3月実施）。本工事は、写真—2に示すように、SMW工法によって止水壁（深さ約35m）を構築する。施工箇所の地質は、地表には島尻マージと呼ばれる表土が存在し、この下層に帯水層である琉球石灰岩が厚く堆積しており、その下部に不透水層である島尻層群泥岩が分布している。



写真—2 SMW工法による止水壁構築状況

(2) 止水壁の施工方法

止水壁の施工は、透水性の良い地層である琉球石灰岩層から不透水層である島尻層群泥岩まで、SMW工法により地盤を掘削しながらセメント系固化剤と混練して、ソイルセメントの連続した壁を構築する。

止水壁の施工手順を表—1に示す。ケーシング削孔を900mm間隔でGL-20mまで行い、それ以深を

単軸オーガーで先行削孔する。その後、ケーシング削孔で残ったGL-20mまでの地山の一部をφ550mmの三軸オーガーにより切り崩し、それ以深は三軸オーガーによる削孔・注入を所定の深度まで行い、止水壁を構築する。

3. システムの概要

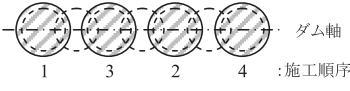
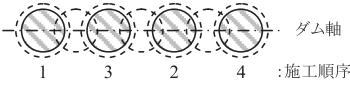
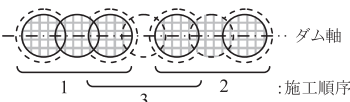
(1) 概要

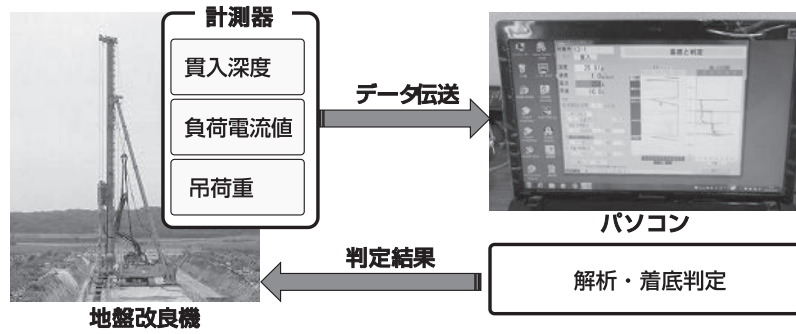
GL±0～-20m区間はケーシング削孔を行っているため、単軸オーガーでの先行削孔を行うGL-20m以深のデータを用いて不透水層の判定を行うこととした。本システムの概要図を図—2に示す。SMW工法地盤改良機に装着した計測器で、貫入深度におけるオーガーの吊荷重および減速機の負荷電流値を1秒毎に計測する。計測したデータはOSのMicrosoft Windows[®]搭載のパソコンに伝送し記録され、Microsoft Office Excel[®]を使用して解析および判定を行い、リアルタイムでモニタ画面上にて確認できるシステムとした。図—3に示すように、オーガー刃先に付着した土塊を目視確認することに加えて本手法を活用し着底深度を連続的に把握することにより、確実な根入れ長を確保することができると考えた。

(2) データ解析方法

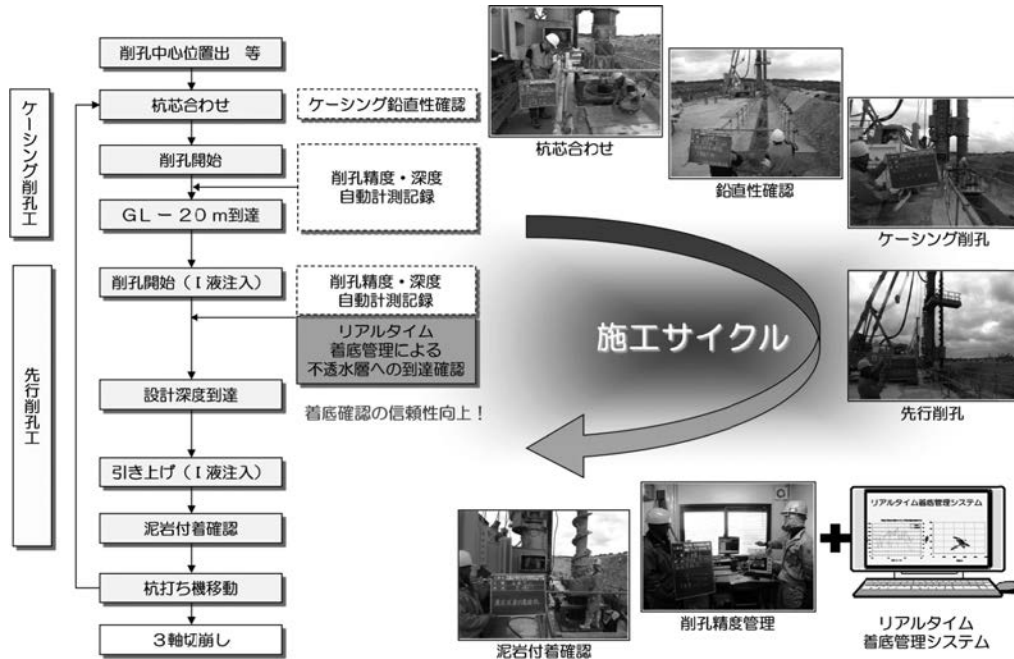
データ解析の方法を、本プロジェクトの杭No.S-48の計測値を例として説明する。対象地盤では、上部の未固結石灰岩から下部の島尻層群泥岩（不透水層）の二層構造となっていた。設計では杭No.S-48杭芯での島尻層群泥岩上面は、EL+24.121m（GL-30.879m）

表—1 止水壁の施工手順

施工手順	内 容	施工順序
1. ケーシング削孔	先行削孔の鉛直精度向上や硬質地盤での削孔負荷軽減、ダム天端以浅のセメント液混入による透水性低下の防止を目的とし、作業床から20mの深さまで削孔・排土を行う。 削孔は、φ710mmのケーシングとφ600mmの単軸オーガーを使用して行う。	 : 施工順序
2. 先行削孔	三軸削孔の鉛直精度確保と硬質地盤での削孔負荷低減を目的とし、20m貫入したケーシングをガイドとして、φ600mmの単軸オーガーで深さ20mから設計深度まで削孔注入液を吐出しながら削孔を行う。	 : 施工順序
3. 三軸切崩し	φ550mmの三軸オーガーに切り替え、天端コンクリート下端まで注入液を使用せず、ケーシング削孔で残った地山を切り崩す。	—
4. 三軸(削孔・注入)	三軸オーガーφ550mmを使用して、1セットおきに削孔液を注入しながら設計深度まで削孔し、固化液を注入しながら引き上げ、止水壁を構築する。	 : 施工順序



図一 着底管理システム概要図



図一 本システムを導入した施工サイクル

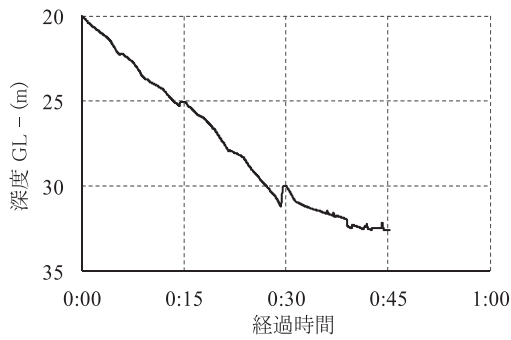
となっていた。図一4に杭 No.S-48 より 0.75 m 離れた地点での GL-25 m 以深のボーリング柱状図を示す。

地盤改良機にて 1 秒間隔で計測，伝送され加工していないデータ（生データとする）を図一5,6に示す。図一5は経過時間と削孔深度の関係，図一6は削孔深度と減速機の負荷電流値および吊荷重の関係を示している。このデータには，一時的にオーガーを引き上げ再び削孔することなどにより，掘削していない時や緩めた地盤を再度掘削した時のデータも含まれているので，自然状態の地盤を表すデータとは言えない。本来の地盤状況を把握するため，深度が重複するデータを削除し，オーガーが最初に地盤に接触し掘削した際のデータのみを抽出（トリミング処理）した。図一7にトリミング処理後の削孔深度と減速機の負荷電流値および吊荷重の関係を示すが，まだ電流値や吊荷重が瞬間的に変化する箇所があり傾向がつかみにくい。

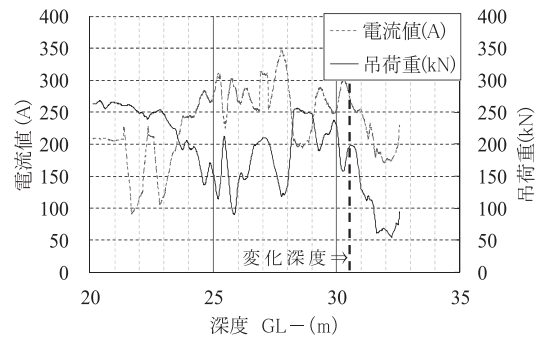
そこでデータを平滑化し傾向を読み取り易くするた

標尺	標高 EL+ (m)	深度 GL- (m)	柱状図 (m)	岩種区分 (m)	色調 (m)	記事	(N) 値
26						25.65~25.95m 岩片主体であり、やや多孔質である。	32
27					白	26.60~28.80m 岩片状コアからなる。	50/20
28						29.25~30.35m 基質に非石灰質泥を少量含む。	50/14
29	28.11	29.25		未固結石灰岩		29.65~29.90m 含水非が高い。	24
30	27.01	30.35		淡黄白		30.15~30.35m 再結晶質石灰岩からなる。	50/2
31					淡黄褐	30.35m以深 基質に非石灰質泥を多く含み、色調は淡黄褐色を呈する。サンゴ以外は雑多な化石片を含む。29.25m以深は、概ね砂状コアを呈する。	50/5
32							9
33	24.16	33.20		島尻泥岩	淡灰褐	33.20~34.35m 島尻泥岩の風化部からなる。	15
34	23.01	34.35		灰		33.25~33.30m 硬質な砂岩からなる。島尻泥岩の新鮮部からなり、塊状を呈する。	50/5
35	22.36	35.00					32
							38

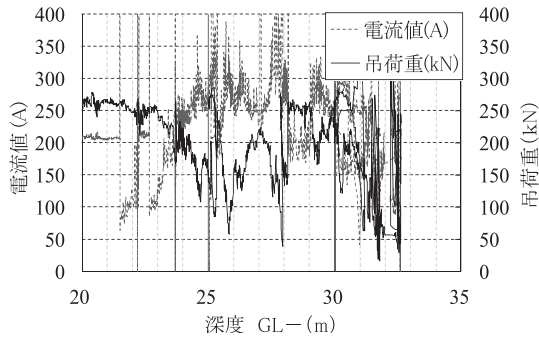
図一 杭 No.S-48 付近ボーリング柱状図 (GL-25 m 以深)



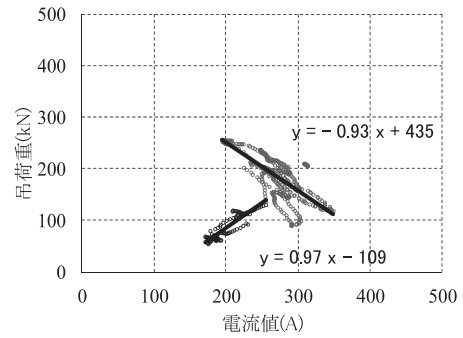
図一五 削孔状況



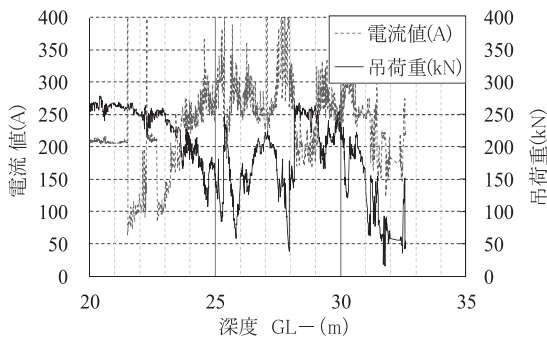
図一八 電流値と吊荷重の推移 (トリミング処理+移動平均処理後)



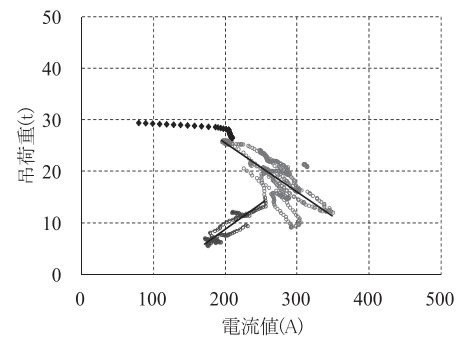
図一六 電流値と吊荷重の推移 (生データ)



図一九 電流値と吊荷重の関係 (トリミング処理+移動平均処理後)



図一七 電流値と吊荷重の推移 (トリミング処理後)



図一〇 空洞部における電流値と吊荷重の関係 (トリミング処理+移動平均処理後)

め、ある一定の区間の平均値を連続してとる移動平均処理を行った。本プロジェクトでは、移動平均処理時間を20秒間(20データ区間)とし処理した。図一八に移動平均処理後の削孔深度と減速機の負荷電流値および吊荷重の関係を示す。ある深度までは、負荷電流値が増加すると吊荷重が減少し、負荷電流値が減少すると吊荷重が増加する負の相関関係がみられるが、図中に示す変化深度以降は、負荷電流値が減少すると荷重が減少する正の相関関係に変化する。

ここで、図一八に示したデータを横軸に減速機の負荷電流値を縦軸に吊荷重として図一九にプロットすると、2つの領域に区別される。グラフには識別しやすいように、それぞれの領域に対し近似曲線を加えた。本システムでは、この領域の違いにより着底の判定を行う。図一九の負の相関関係を形成する領域が

未固結石灰岩層であり、正の相関関係を形成する領域が島尻層群泥岩(不透水層)であり、2つの領域の境界に位置するプロットが島尻層群泥岩の上面深度である。この深度は、図一八の変化深度と同じであり、島尻層群泥岩上面の設計値がEL+24.121mに対し、本システムによる判定値はEL+24.020mとなり、差は0.10mであった。

4. 空洞部評価の検討

ダム軸上の対象地盤である琉球石灰岩に空洞が存在すると、ソイルセメントの品質や壁の構造安定性が低下し、止水性を確保した止水壁構築が困難な場合がある。そのため、施工中に予期せぬ空洞に遭遇した場合には、その存在を速やかに検知し、処理対策を検討し、

実施する必要がある。

そこで、不透水層を判定する本システムを空洞部評価へ応用できないか検討を行った。本プロジェクトには空洞が存在しなかったため、ケーシング削孔により地盤が緩められ空隙が大きくなっていると考えられるGL-15～-20 m 区間を削孔している時のデータを空洞と模擬して解析を行った。杭 No.48 のGL-15 m 以深のデータに対し、トリミング処理および移動平均処理を行い、縦軸に減速機の負荷電流値を横軸に吊荷重として図-10 にプロットした。結果として、模擬空洞部深度では、地盤がオーガの荷重を支持しないため吊荷重がオーガ総荷重に近づき、地盤の削孔抵抗が小さいため電流値は小さくなる傾向を示した。つまり図-10 の左上の領域でプロットが推移する。このように空洞部では、未固結石灰岩層や鳥尻泥岩層とも異なる挙動を示すことから空洞の位置を検知できると考える。

5. おわりに

オーガ刃先に付着した土塊を目視確認することに加えて本システムを活用し着底深度を連続的に把握することにより、確実な根入れ長を確保することができる。今後は、着底判定の精度を向上させるため、実施工を行った際のさらなるデータを蓄積していきたい。また本システムは幅広い用途が考えられ、今後はSMW 工法だけでなく、地盤改良（深層混合処理）、

耐液状化格子状地盤改良工法（TOFT 工法[®]）、既成杭のプレボーリング工法や中掘り工法への適用も検討していきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書、同解説IV下部構造編（2012）
- 2) 古屋弘、伊藤不二夫、申間正敏、三田地利之：オーガ掘削施工中のリアルタイム地層判定手法の開発、土木学会論文集、665、pp.19～29（2000）
- 3) 大村啓介、市川晃央、荻野寿一：吊荷重と電流値を用いた地下ダム止水壁着底管理手法の検討、農業農村工学会誌第83巻第5号 pp.37～40（2015）

【筆者紹介】



大村 啓介（おおむら けいすけ）
 ㈱竹中土木
 技術・生産本部 技術部
 課長



大谷 長由（おおたに ながよし）
 ㈱竹中土木
 東北支店 営業部官庁グループ
 グループリーダー



荻野 寿一（おぎの ひさかず）
 ㈱竹中土木
 営業本部 営業推進部
 部長