

地下ダム工事における SMW 工法の精度管理システム !!

リアルタイムによる施工管理システム

鹿野和博・山田三洋

日本列島の南西諸島では鹿児島県から沖縄県にかけて琉球石灰岩の島々が数多く分布している。これらの島々では土地が平坦でほとんど河川の発達が見られず、さらに石灰岩が多孔質で保水力に乏しいため水の確保が困難である。そのために近年限られた範囲内に地下水を貯水、あるいは涵養して有効利用することができる地下ダムが計画築造されている。

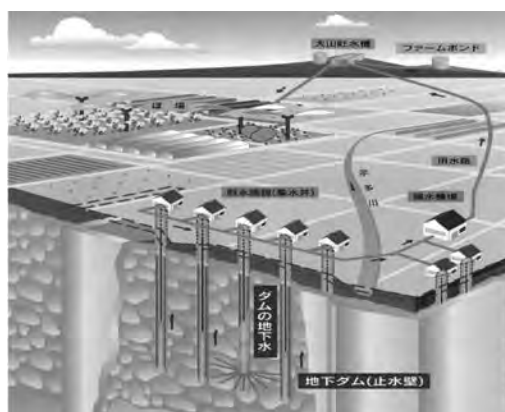
現在の地下ダム建設工事ではSMW 工法（Soil Mixing Wall）（以下「本工法」という）による地中連続壁の造成が一般的である。地下ダム工事における本工法で最も重要とされているのが杭の施工精度であり、杭ラップ長の確保である。本稿では沖永良部地下ダム建設工事における本工法の施工管理システムについて紹介する。

キーワード：SMW、施工管理システム、単軸、三軸、杭ラップ長

1. はじめに

沖永良部地下ダムは鹿児島県の奄美群島にある沖永良部島南西部に位置し、国営かんがい施設の整備・農業用水不足の解消を目的とした水資源開発の一環として平成19年より事業がスタートした。

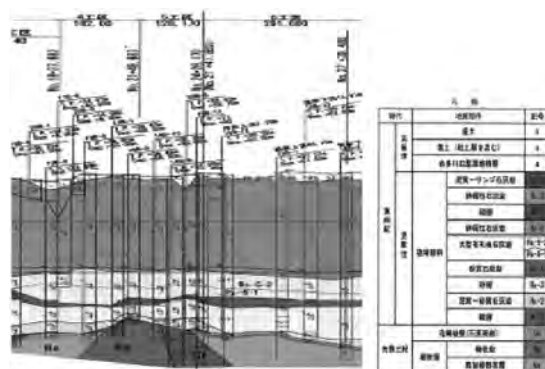
当該工事は先行削孔併用の本工法を用いて、琉球石灰岩中にソイルセメント止水壁を構築し、地下水を貯留させ、農業用水に利用するものである（図—1）。



図一1 沖永良部地下ダム概要図

2. 地質概要

沖永良部島は透水係数の高い琉球石灰岩が分布しており、この琉球石灰岩には一部風化した碎屑性石灰岩



圖—2 地質縱斷圖

や所々結晶化し硬質化したものまで幅広い特性をもっている。また、基盤層には頁岩優勢砂岩頁岩互層や硬質基盤の緑色岩・石英斑岩がありこれまでの地下ダムにはない地質的な特徴がある（図－2 参照）。

3. 施工概要

(1) 施工内容を表-1、施工状況を写真-1に示す。

表一 1 5 工区施工内容

工 種 名	規格・寸法	本数
ケーシング削孔工	削孔長：20.0 m 削孔径：710 mm	190 本
先行削孔工	削孔長：56.3 m 削孔径：600 mm	190 本
ケーシング排土工	削孔長：20.0 m 削孔径：710 mm	190 本
三軸切崩し工	削孔長：16.6 m 削孔径：550 mm	189 本
三軸削孔工	削孔長：55.7 m 削孔径：550 mm	189 本



写真—1 施工状況

4. 工法概要（図—3）

（1）ケーシング削孔

ケーシング削孔は、先行削孔の施工鉛直精度を向上させるとともに、セメント混合液が混入して越流部（ダム天端以浅の部分）の浸透性を侵すことのないように行うものである。ケーシングによって5m毎削孔し無回転で引上げ4tダンプに排土する。GL-20mまで繰り返し石灰岩を削孔するものである。

（2）先行削孔

ソイルセメント止水壁の造成をできるだけ容易にするとともに施工鉛直精度を確保するために先行削孔を行う。削孔は注入液（I液）を使用し、ケーシング削孔孔に従って90cm間隔で行う。GL-20mまでは、ケーシングに沿って無回転で錐を挿入する。ここでケーシングを切り離し錐を継ぎ足す。

ケーシングをガイド管として削孔を行う。GL-20m

以深については $\phi 600$ mmの錐でI液を注入しながら所定の深度まで削孔を行う。所定深度に到達したら、オーガーの回転を逆回転にしてI液を注入しながらGL-20mまで引き上げる。脱錐後錐とケーシングを接続しケーシングを引き上げるものである。

（3）ケーシング排土

ケーシング $\phi 710$ mmと $\phi 600$ mmの単軸オーガーを使用して、削孔液を使用せずにGL-20mまでケーシング削孔の孔に沿って孔内のI液混合土を掘削する。GL-20m到達後無回転でオーガーを引き上げケーシング内のI液混合土を4tダンプに排土し所定のピットに運搬するものである。

（4）三軸切り崩し

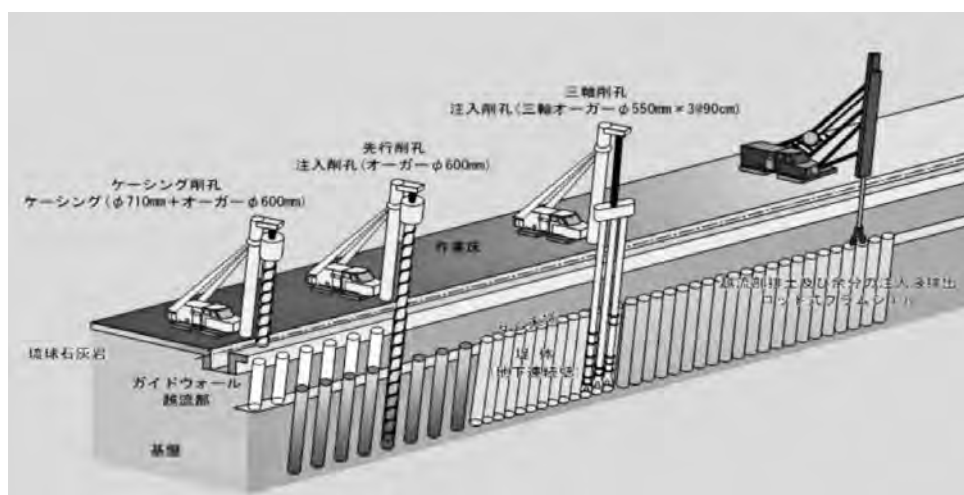
先行削孔完了後三軸オーガーに切り替えてケーシング削孔で残った地山を切り崩すものである。切り崩しはGL-16.6mまで行うものである。切り崩した土砂はテレスコパケットにて取り除く。

なお、切り崩す事により孔壁の崩落が生じないか、十分な事前点検と施工中の観察が必要である。

（5）三軸削孔

三軸削孔は切り崩し終了後切り崩し下端まで三軸錐を挿入し、I'液を注入しながら削孔を行い施工管理装置（三軸リアルタイム施工精度管理システム）にて錐の位置及び錐の傾斜傾向を観察するものである。

所定の深度へ到達後逆回転にて傾斜測定位置まで錐を引き上げ、錐を切り離して測定を行うものである。測定は挿入式傾斜計を用いて行い、測定終了後固有誤差・軸間距離のデータ検定を行い、測定が正しく行われているかどうかチェックするものである。



図—3 施工概要図

挿入式傾斜計測定終了後Ⅱ液の吐出を確認し、錐継ぎを行い所定の深度まで削孔し到達後、注入を行なながらターニングを2回行い引き上げるものである。

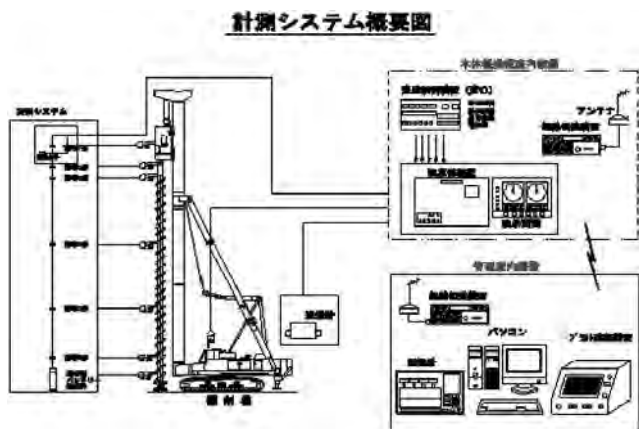
(6) 調整杭

三軸削孔後の傾斜測定の結果、三軸削孔のラップ長が50 mmを下回った場合はその部分に三軸削孔を施工するものである。

調整杭は三軸削孔の施工後7日以内が期限である。

5. 単軸施工精度管理システムの概要

単軸施工精度管理システム（図—4）は、止水壁工事のケーシング・先行削孔施工時において、オーガスクリーの鉛直精度及び掘削深度・掘削速度・オーガ負荷電流値・注入量などの施工管理に必要なデータを収集し管理するシステムである。このうち鉛直精度管理は、削孔用のオーガスクリーの先端に内蔵された固定式傾斜計からのX軸・Y軸方向の傾斜角度信号を、スクリーロッド内のケーブルを介してコンピュータに入力させ、一定深度ごとに先端部の原位置の計測を行うものである。



図—4 単軸施工精度管理システム概要図

(1) 計測室パソコン画面

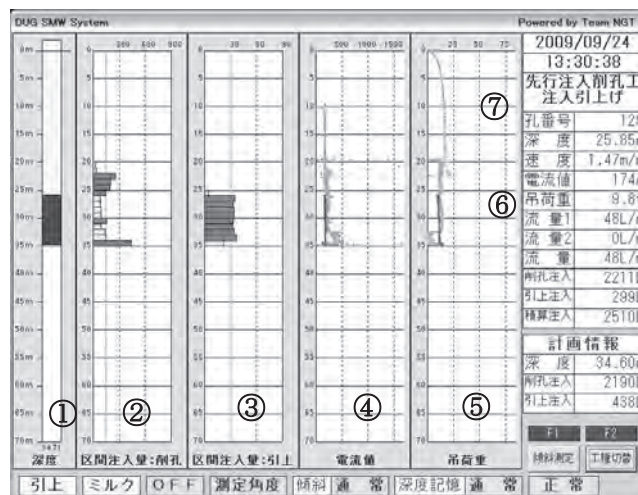
図—4の本体機から送られたデータを計測室のパソコンに表示。図—5パソコン画面に①深度、②・③区間注入量、④電流値、⑤吊荷重、⑥削孔速度、⑦積算注入量等のデータ表示されるものである。

①深度…掘削深度の表示

（削孔時が黄色、引上げ時が青色で表示）

②区間注入量（削孔時）… m 当りの区間注入量の表示 （設計：150 ℓ/m 設計値以内は水色、設計値以上は青色で表示）

③区間注入量（引上時）… m 当りの区間注入量の表示



図—5 計測室用パソコン画面

（設計：30 ℓ/m 設計値以内は水色、設計値以上は青色で表示）

④電流値…オーガの負荷電流値

（一般部の平均値 200 A、基盤部の平均 500 A）

⑤吊荷重…オーガ、錐の重量

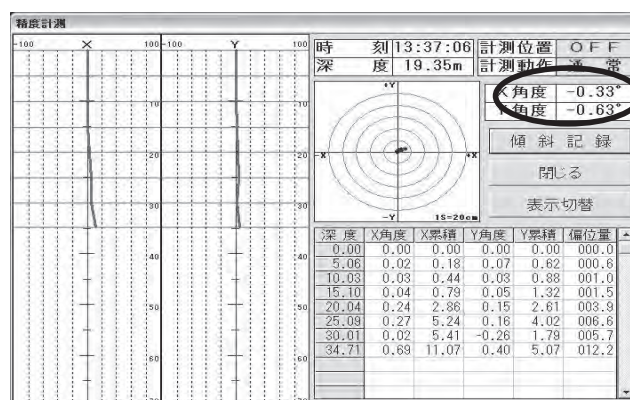
（基本装備は、20 m で約 21 t）

⑥削孔速度…削孔速度（m/分）

⑦積算注入量…削孔時、引上時の積算注入量

(2) 傾斜測定の概要

先行削孔用の単軸オーガスクリー先端内部に設置された傾斜計のX軸Y軸の絶対値を図—6のような位置にとり、所定の深度（5 m）毎にオーガスクリーの回転を止めて、その都度傾斜を測定し設計長到達までの削孔精度を記録するものである。



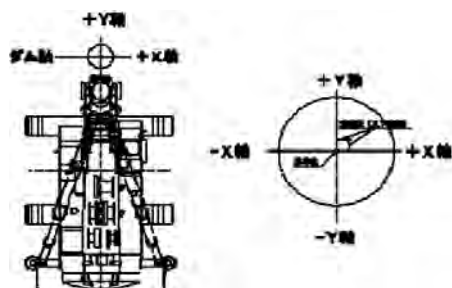
図—6 傾斜測定画面

(a) 計測順序

①施工位置にオーガスクリーをセットする。

②オーガスクリーを回転して、傾斜計のX軸・Y軸測定方向を合わせる。

- ③オーガスクリー軸の初期値を取り込む。
- ④削孔を所定の深度まで行い、傾斜計の X 軸・Y 軸測定方向を合わせてオーガスクリー軸の回転を止める（図—7 参照）。



図—7 オーガスクリー軸セット図

- ⑤傾斜の角度を読み取り、その数値を管理システムのデータとして取り込む。

6. 三軸リアルタイム施工精度管理システムとは

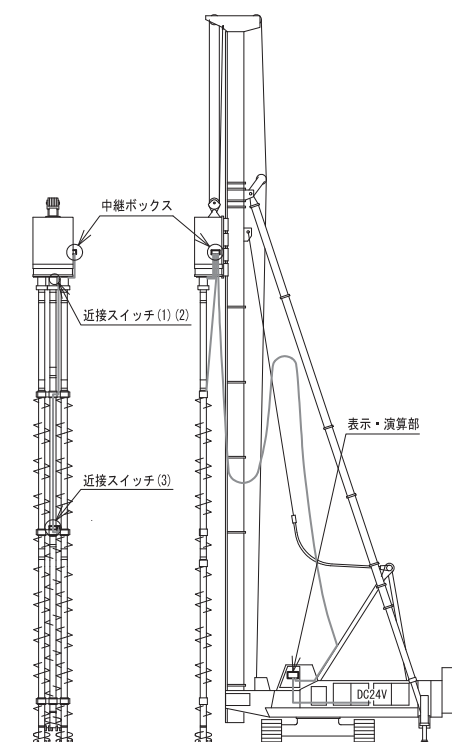
地下ダム専用に開発した精度管理システムであり、柱列式地中連続壁工法にて止水壁を造成する際に、中央の錐軸位置と三軸のねじれ角度を連続的に計測し、地中連続壁造成中の地中の錐位置を把握することで、壁体造成精度と隣接エレメントとの連続性を迅速に確認できるシステムである。

(1) 三軸リアルタイム施工精度管理システムの概要

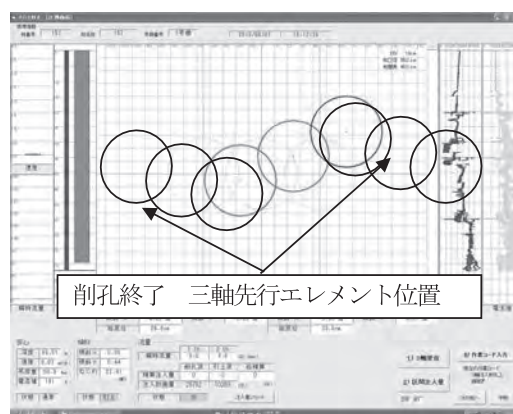
三軸錐軸の精度は、錐軸全体の曲がりの要素と錐軸のねじれの要素が合成されたものを、一般に造成精度と呼んでいる。

三軸リアルタイム施工精度管理システムは、スリッピング式連結軸に計測ユニットを取り付け、削孔作業を停止することなく三軸のねじれ計測と錐軸全体の曲がり計測を同時に行うものである。

三軸のねじれ計測データと中央軸の曲がり計測を合成演算処理することにより、地中の造成精度を把握するものである。スリッピング式連結軸の地下センサーからのデータ信号は、錐軸内蔵の信号ケーブルにより伝送され、施工機に搭載した演算装置で処理後、オペレーター室の表示装置図—8に表示され、同時にデータ送受信アンテナで管理室に伝送されたデータは、管理室のパソコンで削孔エレメントの造成精度と共に、隣接する施工済みエレメントの造成精度と合成処理され管理画面図—9に表示できるため、従来のような単一エレメントの施工精度管理システムとは異



図—8 三軸リアルタイム施工精度管理システム機械概要図



図—9 三軸リアルタイム施工精度管理システム PC 画面

なり、壁体の連続性をもリアルタイムに確認できる精度管理システムである。

(2) 計測の原理（図—10）

(a) 錐軸曲がり計測

スリッピング式連結軸に取り付けた傾斜計の信号は、演算部処理装置により、削孔中の振動・衝撃等の影響を取り除き、深度データと整合処理し、錐軸全体の変異を求めるものである。

各深度毎の変位を累積することで、地中の錐軸の変位量を算出するものである。

(b) 錐軸ねじれ計測

オーガ機の中央軸及び錐軸先端付近のスリッピング式連結軸部分に近接センサーを設置し、錐軸の回転

時の上部及び下部の近接センサー検知時の時差により、スリップリング式連結軸の回転角度を錐軸のねじれとして演算処理するものである。

(c) 造成精度

錐軸曲がり計測データと錐軸ねじれ計測データ及び計測深度を合成することで、柱列式地中連続壁の造成精度を求めるものである。

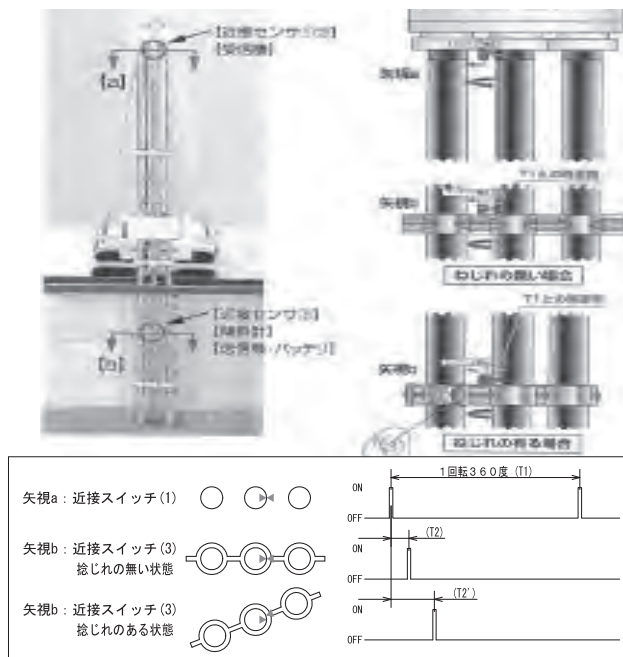


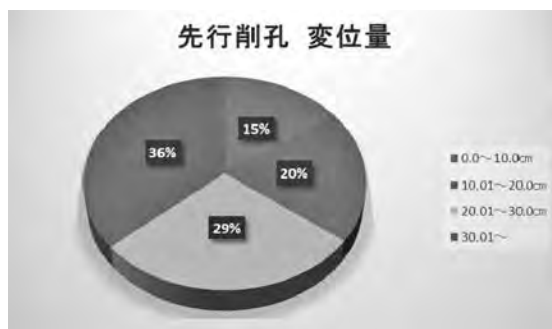
図-10 計測原理図

7. 実施結果

(1) 先行削孔精度

削孔結果としては、施工性向上（一部30mケーシング）の対策効果もあり削孔精度1/100（設計規格変位量56.3cm）に対し平均で1/215（平均変位量26.0cm）の高い精度で完工した（表-2参照）。

表-2 先行削孔工変位量グラフ



(2) 三軸削孔ラップ量

三軸削孔では、重なり合うユニットの設計最低ラッ

プ量は50mmであり、最高ラップ量は550mmである。ラップ量が50mm未満の場合は調整杭（ラップ量不足による三軸削孔）増杭となる。当工区では、設計本数35本に対して、調整杭の発生は20本と低減率40%以上を達成した（図-11、表-3参照）。

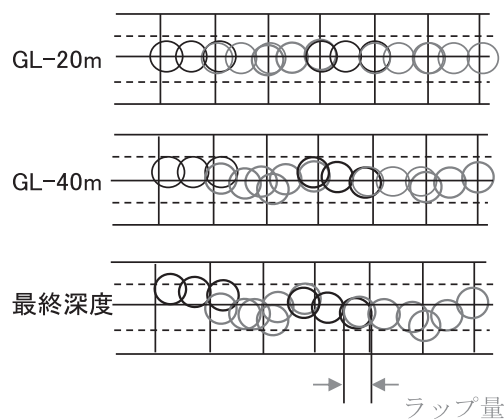


図-11 三軸削孔エラップ量サンプル図

表-3 三軸削孔エラップ量グラフ

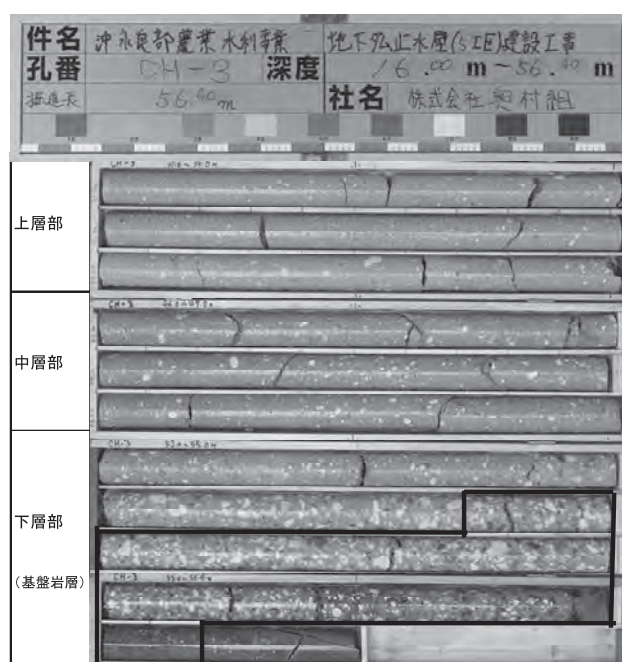


写真-2 コア写真

(3) 止水壁体品質

止水壁の品質（強度・透水係数）も十分満足するものである。チェックボーリングにて採取されたコアからも判断できるように、上層から下層まで十分に攪拌された止水壁である（写真—2 参照）。

8. 今後の課題と展望

今後、沖永良部地下ダムや沖縄地区の地下ダムの建設の計画があり、様々な土質状況のなかで地下ダム施工に対応していかなければならない。今回使用した三軸リアルタイム施工精度管理システムについても、まだまだ開発の余地があり、また、今後は三軸リアルタイム施工精度管理システムによるリアルタイムで計測した孔曲りの錐を、効率的に修正することができるかが課題である。

9. おわりに

沖永良部地下ダム工事は、平成 23 年から試験工事 10 工区、今回の 5 工区の工事に携わり、沖縄地区と異なった土質で難工事でありましたが、様々なアイデアや対策の結果、精度の高い止水壁の施工をすることができた。沖永良部地下ダム完工も全体の 50% を超え、残すところ 3 工区のみである。

安定的な農業用水の確保という目的から、地下ダム（止水壁）の工事は数多く見込まれます。本工事の実績がこれからの同種他工事の参考となれば幸いです。

J C M A

《参考文献》

- 1) 九州農政局沖永良部農業水利事業所事業概要書（パンフレット沖永良部水どう室）

【筆者紹介】

鹿野 和博（しかの かずひろ）
（株奥村組九州支店）

山田 三洋（やまだ みつひろ）
（株奥村組九州支店）