

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1240

March 2023

機械均しの施工履歴データを活用した 基礎捨石均し出来形管理の効率化に関する検討

小嶋一弘・辰巳大介・川上司・小川雅史

Study on the Application of Construction History Data of Mechanical Rubble
Leveling to Finished Form Management for Port Foundation Works

KOJIMA Kazuhiro, TATSUMI Daisuke, KAWAKAMI Tsukasa, OGAWA Masashi

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

機械均しの施工履歴データを活用した 基礎捨石均し出来形管理の効率化に関する検討

小嶋一弘*・辰巳大介**・川上司***・小川雅史****

要 旨

国土交通省は、建設現場における少子高齢化に伴う労働者の減少を上回る生産性を向上させ、経済成長の実現を可能とする取組みi-Constructionを進めている。港湾工事の基礎工では「3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（基礎工編）（令和4年4月改定版）」が策定・公表され、基礎捨石工（捨石投入）でのマルチビームを用いた発注・施工数量等を算出する場合に適用されている。しかしながら、基礎捨石均し出来形管理でのマルチビームの適用においては、現行の出来形管理基準に対する機器の計測性能や取得データの解析時間等が課題となっており基準類等の策定はされていない。

現在、基礎捨石均しは潜水士による人力均しまたは捨石均し機による機械均しでの施工が行われている。機械均しにおいて、捨石均し機に付属する計測装置により計測した施工履歴データを捨石均し機の施工管理システムに連動させ施工管理が行われているが、この施工履歴データを活用した出来形管理は行われていない。そこで本研究では、基礎捨石均しにおける機械均しを対象として、捨石均し機に付属する計測装置による施工履歴データを活用した出来形管理の効率化に向けた検討を行った。現地試験での施工履歴データによる出来形計測手法の分析・検証、計測精度の検証、出来形管理における課題と対応方法の検討を行い、機械均しの施工履歴データを活用した出来形管理方法について提案した。

キーワード：基礎捨石均し，機械均し，施工履歴データ，出来形管理

* 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 交流研究員（若築建設株式会社）

** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 室長

*** 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 主任研究官

**** 前 港湾研究部 港湾施工システム・保全研究室 主任研究官（現 中国地方整備局 港湾空港部）

Study on the Application of Construction History Data of Mechanical Rubble Leveling to Finished Form Management for Port Foundation Works

KOJIMA Kazuhiro*
TATSUMI Daisuke**
KAWAKAMI Tsukasa***
OGAWA Masashi****

Synopsis

In order to achieve economic growth in the context of the decline in the working population, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT) carries out the “i-Construction” initiative, which is aimed at improving the productivity of construction sites. With regard to port foundation works, "Guidelines for Quantity Calculation of Port Foundation Works Using 3D Data (April, 2022)" has been formulated, and multibeam echo sounding has already been used to calculate installed rubble quantities. However, due to the accuracy of measurement equipment and the length of data analysis time, multibeam echo sounding has not yet been used for the finished form management for port foundation works.

Currently, rubble leveling is conducted either by divers or by leveling machines such as tampers. Regarding leveling machines, construction history data obtained by the position of a tamper is utilized for the operation management system of mechanical rubble leveling. However, construction history data of mechanical rubble leveling has not yet been applied to the finished form management.

This study aims to utilize construction history data of mechanical rubble leveling for the efficient finished form management of port foundation works. Field experiments are carried out to examine the accuracy of construction history data of mechanical rubble leveling. Also, construction history data of mechanical rubble leveling is compared to the conventional measurement for finished form management. The accuracy of construction history data is clarified, and the challenges to be solved are summarized for introducing construction history data of mechanical rubble leveling to the finished form management.

Key Words: Port Foundation Works, Mechanical Rubble Leveling, Construction History Data,
Finished Form Management

* Visiting Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department
(WAKACHIKU CONSTRUCTION Co., Ltd.)

** Head, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department

*** Senior Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department

**** Ex-Senior Researcher, Port Construction Systems and Management Division, Port and Harbor Department
(Port and Airport Department, Chugoku Regional Development Bureau)

National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail: ysk.nil-46pr@ml.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
1.1 背景と目的	1
1.2 陸上分野における現状	1
1.3 構成	2
2. 機械均しについて	2
2.1 機械均し（捨石均し機）の特徴	2
2.2 重錘式均し機の施工方法	3
2.3 従来の重錘式均し機での出来形管理方法	4
3. 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形管理方法について	5
3.1 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形管理方法	5
3.2 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形計測手法の検証	5
3.3 重錘式均し機の計測精度	9
3.4 施工履歴データによる出来形管理における課題と対応方法	11
3.5 施工履歴データを用いた出来形管理方法の提案	16
4. おわりに	18
謝辞	19
参考文献	19
付録A	20

1. はじめに

1.1 背景と目的

国土交通省では、調査・測量から設計、施工、検査、維持管理・更新までのあらゆる建設生産プロセスにおける、生産性を向上させる i-Construction を 2015 年(平成 27 年)から導入開始した。i-Construction の導入工種として、陸上分野では、2016 年度(平成 28 年度)から ICT 土工が開始され、順次対象工種を拡大している。港湾分野では、2017 年度(平成 29 年度)から ICT 浚渫工が先行する形で開始され、2020 年度(令和 2 年度)より ICT 基礎工、ICT ブロック据付工等、順次対象工種を拡大するとともに各種基準類等の策定対象範囲も拡大されている。

水中部での施工が多い港湾工事では、3 次元計測技術を出来形管理に活用するには試行や検証事例が少なく、水中部での計測技術が確立していない。このような中で 3 次元計測が可能なマルチビームを活用し、建設生産プロセスの過程における業務効率化を図り、生産性向上を目指している。ICT 基礎工(本均し・荒均し)における出来形管理へのマルチビームの適用においては、現行の出来形管理基準に対する機器の計測性能や取得データの解析時間等が課題となっており、基礎捨石工(捨石投入)においてマルチビームを用いた起工時の深浅測量、基礎捨石投入数量算出の簡素化を目的とした「3 次元データを用いた港湾工事数量算出要領(基礎工編)」¹⁾の策定・運用にとどまっているのが現状である。また、マルチビームによる ICT 基礎工の出来形管理の実現に向け、現地試験を実施し従来の測量方法との比較等による検証を行い、具体的な対応策の検討が現在行われている。

近年、海洋土木工事の大型化に伴いケーソン等の港湾構造物の大型化・大水深化・大量急速施工が必要とされている。そのため、大量急速施工のための作業効率の向上、気象海象条件が厳しく通年の海上作業日数が少ない港での早期施工、大水深下での潜水作業時間の減少に伴う施工能力低下を補うための潜水士の増員配置や潜水災害発生リスクの低減等が要求される。このような中で基礎捨石均しについて、ICT 活用による捨石均し機を用いた機械化施工を行うことで、均し作業効率の向上と施工日数の短縮が可能となり、また潜水作業でのリスク低減が図られている。

本研究では、機械均しによる基礎捨石均し(本均し・荒均し)について、捨石均し機に付属する計測装置により計測される施工履歴データを活用した出来形管理の効率化に向け検討するものである。従来の出来形計測手法との比較検証を行うため現地試験を実施し、現地試験での施工履歴データによる出来形計測手法の分析・検証、計測精度の

検証、出来形管理における課題と対応方法の検討を行い、機械均しの施工履歴データを活用した出来形管理方法について提案する。

1.2 陸上分野における現状

現在、港湾分野での施工履歴データを活用した出来形管理は行われていない。一方、陸上分野での施工履歴データを用いた出来形管理は、令和 4 年 3 月時点で「土工」、「路面切削工」、「河川浚渫工」、「表層安定処理等・中層地盤改良工」、「固結工(スラリー攪拌工)」の 5 工種において基準類が策定され運用されている。

施工履歴データは、施工中の作業装置位置(3 次元座標)を GNSS(Global Navigation Satellite System)、各種センサー、TS(Total Station)等によりリアルタイムに計測・記録し、その情報を統合する施工管理システムを搭載した ICT 建設機械により取得される。施工中に得られた施工履歴データを用いることで、出来形を面的に把握したり出来形数量等を容易に算出したりすることが可能となり、従来の巻尺やレベルによる幅・延長・高さの計測が不要となる。また、施工と同時に施工履歴データが記録されるため、出来形計測を待たず次工程の段取りが可能となり、施工管理の手間とコストの削減が期待されている。

施工履歴データの適用例として「3 次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第 2 編土工編)」²⁾における、適用工種を表-1.1 および適用機種を表-1.2 に示す。

表-1.1 陸上分野における施工履歴データの適用工種

編	章	節	工種
共通編	土工	道路土工	盛土工(面管理の場合) 掘削工(面管理の場合) 路体盛土工(面管理の場合) 路床盛土工(面管理の場合) 法面整形工(面管理の場合)
共通編	土工	河川・海岸・砂防土工	盛土工(面管理の場合) 掘削工(面管理の場合) 法面整形工(面管理の場合)

出典：3 次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第 2 編土工編)

表-1.2 陸上分野における施工履歴データの適用機種

工種	適用できる ICT 建設機械	施工履歴データを記録する箇所	施工履歴データを記録する作業
盛土工(面管理の場合) 路体盛土工(面管理の場合) 路床盛土工(面管理の場合)	3DMC ^{※1} バックホウ	・バケット刃先	整形作業 (法面・平場)
	3DMG ^{※2} バックホウ	・バケット背面等で土が接する箇所	
	3DMC ^{※1} ブルドーザ 3DMG ^{※2} ブルドーザ	・履帯下面	締固め作業等 (法面・平場)
掘削工(面管理の場合)	3DMG ^{※2} ローラ	・鉄輪接地面	整形作業 (法面・平場)
	3DMC ^{※1} バックホウ	・バケット刃先	
	3DMG ^{※2} バックホウ	・バケット背面等で土が接する箇所	
掘削工(面管理の場合)	3DMC ^{※1} ブルドーザ	・排土板下端	整形作業 (法面・平場)
	3DMG ^{※2} ブルドーザ	・履帯下面	

※1 MC：作業機械の3次元位置情報を3次元設計データと照らし合わせ操作を自動制御する技術
※2 MG：作業機械の3次元位置情報を3次元設計データと照らし合わせモニターにより操作をガイダンスする技術

出典：3 次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(第 2 編土工編)

1.3 構成

本稿の構成は、次のとおりである。第1章では、研究背景と目的および陸上分野での現状について示した。第2章では、現在、機械均しで使用される主な捨石均し機の形式とその特徴を示すとともに、本検討対象とする重錘式均し機の施工方法および出来形管理方法について示した。第3章では、従来の出来形管理手法との比較検証をするために行った、現地試験での施工履歴データによる出来形計測手法の分析・検証、計測精度の検証、出来形管理における課題とその対応方法および出来形管理方法について検討を行った。第4章では、まとめを示した(図-1.1)。

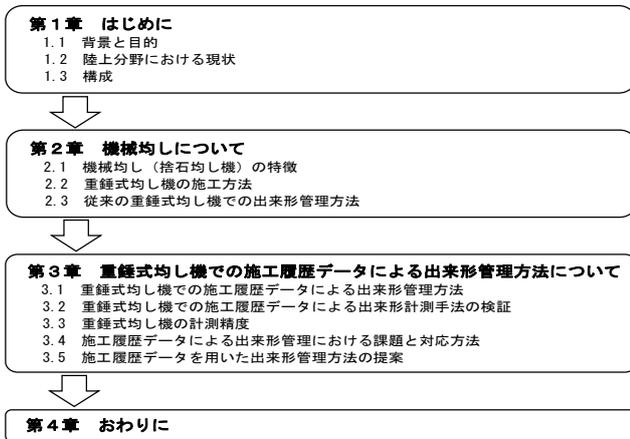


図-1.1 本検討の構成

2. 機械均しについて

2.1 機械均し(捨石均し機)の特徴

国土交通省港湾局が制定する「港湾請負工事積算基準」³⁾における基礎工-基礎捨石工-捨石本均し・捨石荒均しでは、「人力均し」、「機械均し」、「バックホウ均し」が基準化されている。但し、機械均しおよびバックホウ均しは参考資料扱いとなっており、機械均しは基礎捨石天端の均し工事に適用するものとなっている。

現在、機械均しで使用される主な捨石均し機の種類は、「垂直転圧方式」、「水平力回転方式」、「垂直振動方式」、「水中バックホウ方式」に分類され、それぞれ特徴・長所・短所がある(図-2.1)。

2021年度(令和3年度)、国土交通省直轄工事のICT基礎工活用工事において、捨石均し機を用いて施工を行った件数は6件であり、そのすべてが「垂直転圧方式」いわゆる重錘式均し機を用いて施工が行われた。これは今日多く用いられている捨石均し機である。本研究においては、この重錘式均し機を検討対象とした。

形式名称	垂直転圧方式	水平力回転方式	垂直振動方式	水中バックホウ方式
写真概要図				
特徴	3次元の施工管理システムを搭載した全旋回起重機船により重錘を自由落下させて転圧を行う	マウンド上に着底した歩行均し機が、母船上のオペレータ操作により自動走行し、レーキおよびローラにより転圧を行う	旋回するタンパを装備した架台をマウンド上に着座させ、タンパの振動により転圧を行う	潜水士が水中バックホウを直接捜査して均しを行う
長所	シンプルな構造で油圧系統の弱点が少ないため、一日当りの連続時間を長くとれる	均し機本体が完全に水中部に没しているため、波浪の影響を受けにくい 本体からのGNSSアンテナでGNSS測量により平面位置と高さの管理が行える	タンパを強制振動させるので捨石の締固め効果が高い	他の均し機械に比べて本体がコンパクトであるため、可搬性に優れている オペレータが目視により操作するため、きめ細かな作業ができる
短所	自動追尾3次元測距測角機による位置管理を行っているため、中間区間に母船等の障害物があると作業が中断する	他の機種より機械構造が複雑であるため、細かいメンテナンスが必要となる	着座する脚部付近(1~2m)の均しができないため深度管理が必要となる	透視度が3m未満になると作業能力が低下する 熟練した潜水オペレータを必要とする

出典：港湾工事施工ハンドブック

図-2.1 捨石均し機の特徴⁴⁾

2.2 重錘式均し機の施工方法

重錘式均し機による施工方法は、起重機船で吊り下げた重錘をクレーン操作にて自由落下させることにより、基礎捨石天端を締固め所定の高さに均す方法である。

重錘を用いて施工を開始した当初は、重錘位置や捨石均し高さの確認は、潜水士による目視と水中スタッフ等で行われていたことから、作業では起重機船のクレーンオペレータの習熟度が求められ、安定した作業能力の確保が難しかった。しかし、近年のGNSSや自動追尾式TSといった技術開発により、これらによる計測データをパソコンに連動させてシステム化することにより、施工途中のリアルタイムな測定管理を行うことが可能となった。また、これにより水中部の施工状況を可視化することで、確実な施工管理が容易に行えるようになった。重錘式均し機の施工管理システムの概要を図-2.2に示す。

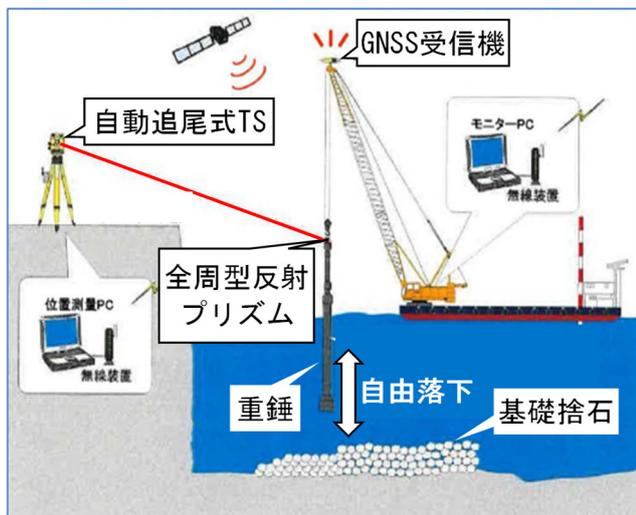


図-2.2 重錘式均し機の施工管理システム概要

重錘式均し機の施工管理システムは、起重機船のクレーンブームトップに取り付けたGNSS受信機および重錘に取り付けた全周型反射プリズムを自動追尾式TSにより、リアルタイムに施工位置・均し高さを計測し、その計測データをPCシステムに連動させ施工管理を行う。重錘式均し機による施工フローを図-2.3に示す。

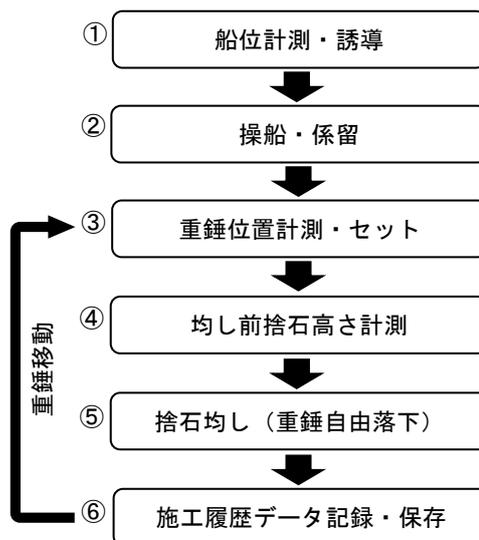


図-2.3 重錘式均し機の施工フロー

重錘式均し機での施工管理システムを用いた施工手順は、次のとおりである。

- ①起重機船のGNSSにより船位計測を行い、施工管理システムの船位誘導画面に従い、船体を施工位置に誘導する。
 - ②船体を施工位置に操船し係留する。
 - ③重錘に取り付けた全周型反射プリズムと自動追尾式TSにより重錘位置を計測し、施工管理システム画面にて重錘位置を確認しながら均し位置に移動・セットする。
 - ④重錘を捨石天端に吊り降ろし着底させ、均し前の捨石天端高を自動追尾式TSにより計測し、設計水深との差を施工管理システム画面に表示する。
 - ⑤重錘位置および均し高さを随時確認しながら重錘を自由落下させ均し作業を行い、捨石天端高を自動追尾式TSにより計測し、計測値が出来形管理基準値内に収まるまで繰り返し行う。
 - ⑥捨石天端高が出来形管理基準値内になった時点での、重錘位置(X,Y)および均し高さ(Z)を施工履歴データとして施工管理システムに記録・保存し、施工管理システム画面に均し済箇所をスタンプ表示する。
- 起重機船のクレーン旋回半径内で③～⑥の一連作業を行い、終了後ウィンチ操作にて起重機船を移動させ同様に均し作業を行う。

施工管理システムモニター画面の一例を図-2.4, システム機能内容の一例を表-2.1に示す。

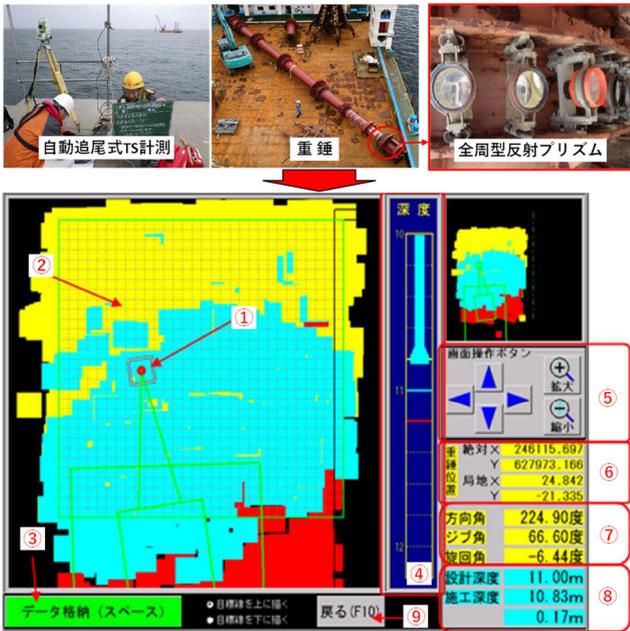


図-2.4 施工管理システムモニター画面例

表-2.1 施工管理システム機能内容例

番号	項目	内容
①	重錘現在位置	重錘の現在位置を表示する
②	均し済印 (スタンプ)	重錘の均し完了時に重錘位置・深度が記録され、画面上に深度毎に色分けされ表示する
③	データ格納ボタン (施工履歴データ保存)	重錘の均し完了時の重錘位置座標・深度・日付・時間をPC内に保存する際にボタンを押す
④	重錘深度表示	重錘深度を画像表示する
⑤	画面操作ボタン	システム画面の拡大・縮小、上下左右移動を行う際に使用する
⑥	重錘座標表示	重錘の現在位置を絶対・局地座標値で表示する
⑦	船体計測情報表示	台船の方向角、クレーンのジブ角・旋回角を数値表示する
⑧	重錘下端深度表示 (均し高さ)	設計深度、重錘下端 (均し高さ) 深度、差を数値表示する

重錘式均し機の施工管理システムの特徴は、自動追尾式TSにて計測した重錘位置・深度データが、施工の履歴とともに記録され、深度毎に色分けされたスタンプ図として表示し管理を行うことにある。各施工業者が保有する施工管理システム機能の内容は統一されたものではないが、上記の基本的な機能を有するものと考えられる。

2.3 従来の重錘式均し機での出来形管理方法

基礎捨石マウンドは、ガット船等により海面から石材を投入する。そのため捨石マウンド上は凹凸が生じることから、ケーソン等の重要構造物を設置する上でセンチ単位の精度で石材の均しを行う必要がある。表-2.2に基礎捨石均し出来形管理基準を示す。

表-2.2 基礎捨石均し出来形管理基準⁵⁾

工種	管理項目	許容範囲	測定単位	測定密度
捨石本均し	天端高	±5cm	1cm	測線及び測点間隔は10m以下
	天端幅	+規定しない -10cm	10cm	測線間隔は10m以下
	延長	+規定しない -10cm	10cm	法線上又は監督職員の指示による
捨石荒均し	天端高	±50cm 岸壁全面+0、-20cm	10cm	測線及び測点間隔は10m以下
	法面	±50cm (法面に直角) 異形ブロック据付面±30cm	10cm	測線間隔は10m以下測点3点以上 但し、マウンド厚2m以下の場合 は2点以上
	天端幅	+規定しない -10cm	10cm	測線間隔は10m以下
	延長	+規定しない -10cm	10cm	法線上又は監督職員の指示による

出典：港湾工事共通仕様書（令和3年3月）

従来の重錘式均し機による出来形測定は、捨石均し完了後に重錘をスタッフ替わりにしレベルにて高さを計測、潜水士によりスチールテープ等を用いて幅・延長を計測する。また、水中部施工状況検査は検査潜水士がスチールテープ等を用いて幅・延長の確認を行うとともに捨石均し面の割栗石のかみ合わせの状態、浮石・支障物の有無といった出来ばえを目視確認する。従来の重錘式均し機による出来形測定フローを図-2.5に示す。

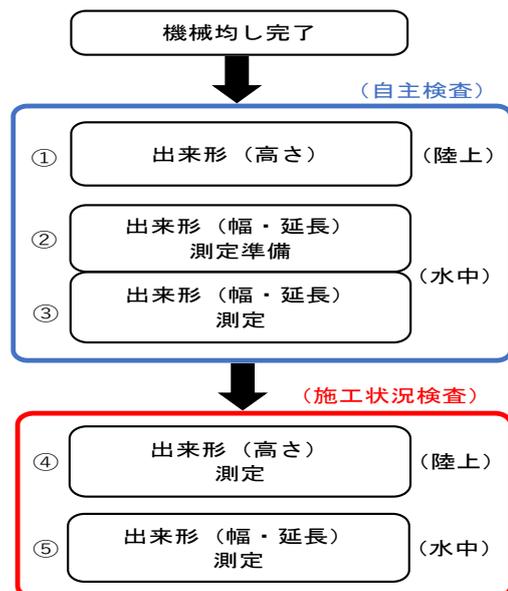


図-2.5 重錘式均し機の出来形測定フロー

従来の重錘式均し機による出来形測定手順は、次のとおりである。

- ①捨石均し高さの測定は、施工範囲内の捨石均し完了後に重錘を出来形測定点に移動・着底させ、重錘に取り付けた標尺をレベルにて視準し計測する（図-2.6）。
- ②捨石天端幅・延長の測定は、潜水士により測定箇所的位置出しを行いロープ等にて測定箇所を明示する準備を行う。
- ③潜水士により、測定箇所をスチールテープ等にて天端幅・延長を計測する。

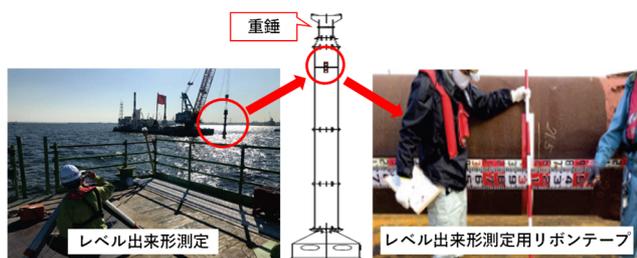


図-2.6 捨石高さレベル出来形測定

受注者は高さ・幅・延長の測定結果を出来形管理図表に整理し、監督職員へ提出する。監督職員はこの測定結果を基に施工状況検査を行い出来形を確認する。なお、施工状況検査における測定頻度は、各管理項目での全測定数の3割程度である。

- ④前記①と同様。
- ⑤捨石天端幅・延長の確認は、検査潜水士により測定箇所をスチールテープ等にて計測する。

受注者は、検査結果を出来形管理図表に整理し、監督職員へ提出する。

3. 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形管理方法について

3.1 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形管理方法

前述 2.2 および 2.3 のとおり、施工においては ICT 活用による機械均しを行うことにより、捨石均しの作業効率向上が図られている。しかしながら、出来形管理においては施工時の ICT 活用が活かされていないのが現状である。今後、施工時の自動追尾式 TS により計測・記録された施工履歴データを出来形管理に活用することにより、施工から出来形管理まで効率化することが期待できる。

出来形管理に施工履歴データを活用することによる効果は、以下の事項が挙げられる。

- ①施工中に捨石均し高さの出来形を把握できる。
- ②捨石均し完了と同時に出来形が記録され、従来のレベルによる出来形測定が不要となり、出来形測定を省力化できる。
- ③施工管理システムから帳票類（出来形管理資料）を出力し確認することで、施工状況検査での検査項目を省略できる。
- ④施工管理システムから帳票類（出来形管理資料）を出力することで、従来の出来形書類作成を省力化できる。

3.2 重錘式均し機での施工履歴データによる出来形計測手法の検証

(1) 現地試験の目的と概要

機械均し（捨石均し機）による出来形管理の効率化に向けて、捨石均し機に付属する計測装置により計測される施工履歴データが、従来の出来形計測手法と同程度の精度であることを確認する必要がある。そこで、従来の出来形計測手法との比較検証を行うことを目的に現地試験を横浜港新本牧地区の3現場にて実施した。現地試験一覧を表-3.1、現地試験場所を図-3.1、現地試験方法を図-3.2、現地試験平面図を図-3.3 に示す。

表-3.1 現地試験一覧表

	施工水深	割り栗石規格	均し区分 (規格値)	捨石均し機種類 (形状寸法)	試験範囲	実施年月
現地試験 ①	-15.0m	30~200kg/個	本均し (±5cm)	重錘式(□3m×3m) (L28.9m,W約43t)	20m×18m A=360m ²	R4. 1月
現地試験 ②	-23.0m	5~30kg/個	本均し (±5cm)	重錘式(□3m×3m) (L32.15m,W約71t)	10m×27.3m A=273m ²	R3.10月
現地試験 ③	-15.0m	30~200kg/個	本均し (±5cm)	重錘式(□3m×3m) (L28.9m,W約43t)	16m×20m A=320m ²	R3.12月



図-3.1 現地試験場所

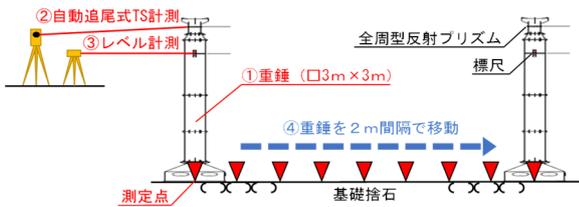
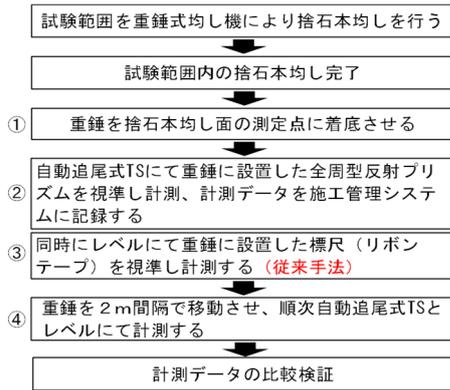


図-3.2 現地試験方法

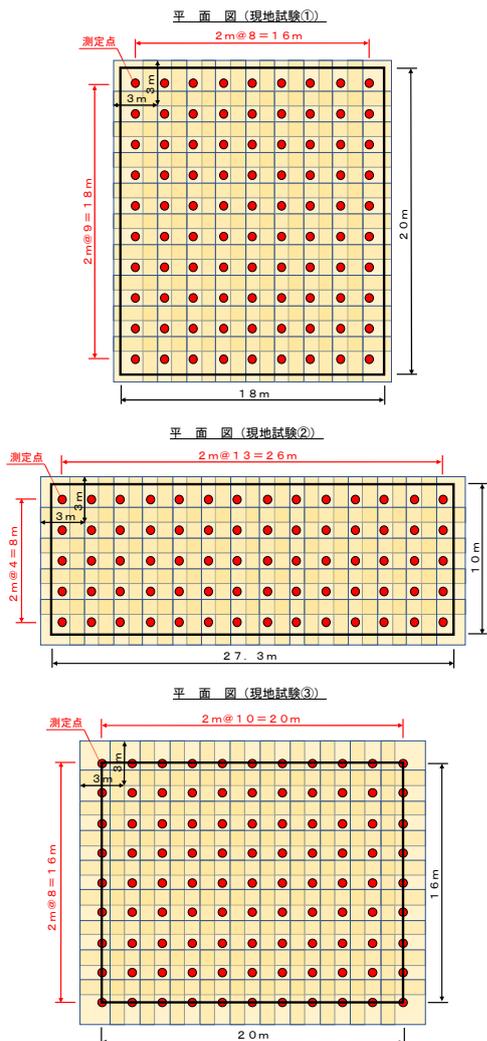


図-3.3 現地試験平面図

今回の3試験で使用した重錘先端の底盤形状は $3\text{m} \times 3\text{m}$ であり、均し不足が生じないように重錘のラップ幅を 1m として捨石本均しを行った(図-3.4)。よって、現地試験での自動追尾式TSとレベルによる計測は 2m 間隔で行うこととした。なお、自動追尾式TSにより計測した施工管理システムの施工履歴データは、重錘の底盤 $3\text{m} \times 3\text{m}$ の中心位置での値である。

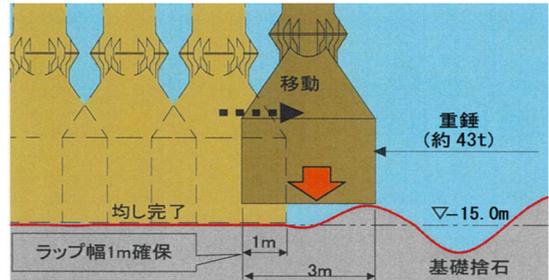


図-3.4 重錘ラップ幅概念図

(2) 各現地試験の結果

現地試験での重錘式均し機による捨石本均し高さ精度について、自動追尾式TSにより計測した施工管理システムの施工データ値と従来手法であるレベル測定値の計測値を整理し、比較検証を行うことでその精度確認を行った。

① 現地試験①の試験結果

全測定数90点の施工データ値とレベル測定値の測定結果を表-3.2、施工データ値とレベル測定値の各々の平均値、最大・最小値を表-3.3に示す。

表-3.2 測定結果一覧表

		上段：施工データ値 中段：レベル測定値 下段：差								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		-14.97	-14.97	-14.99	-15.02	-15.05	-15.02	-15.02	-14.97	-15.01
		-14.99	-14.99	-15.01	-15.04	-15.05	-15.02	-15.05	-14.99	-15.02
		0.02	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
2		-15.00	-14.99	-15.01	-15.04	-15.04	-15.04	-15.05	-14.98	-15.03
		-15.01	-15.00	-15.02	-15.05	-15.05	-15.05	-15.00	-15.04	-15.04
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01
3		-15.00	-15.00	-15.00	-14.98	-15.02	-15.05	-15.03	-15.03	-15.00
		-15.01	-15.02	-15.01	-15.00	-15.04	-15.05	-15.04	-15.04	-15.02
		0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.02
4		-14.97	-14.97	-14.98	-14.98	-15.00	-15.03	-15.05	-15.00	-15.00
		-14.99	-15.00	-15.01	-14.99	-15.02	-15.05	-15.05	-15.02	-15.01
		0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01
5		-14.98	-14.98	-14.97	-14.97	-15.00	-15.01	-14.98	-14.97	-15.01
		-15.00	-15.01	-14.99	-14.99	-15.01	-15.03	-14.99	-14.98	-15.03
		0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
6		-15.00	-14.97	-14.99	-14.97	-14.98	-14.98	-14.97	-14.96	-15.01
		-15.02	-14.98	-15.00	-14.99	-15.00	-15.00	-14.97	-14.98	-15.04
		0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
7		-14.98	-14.99	-15.00	-15.03	-15.01	-14.97	-14.95	-14.96	-14.99
		-15.00	-15.00	-15.02	-15.04	-15.03	-14.98	-14.96	-14.98	-15.00
		0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
8		-14.97	-15.03	-15.02	-15.03	-14.98	-14.96	-14.96	-14.97	-14.95
		-14.99	-15.04	-15.04	-15.05	-15.01	-14.98	-14.97	-14.98	-14.97
		0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
9		-14.97	-15.01	-15.03	-15	-14.99	-14.98	-14.98	-14.97	-14.96
		-15.00	-15.03	-15.05	-15.02	-15.01	-15.00	-15.00	-14.98	-14.97
		0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
10		-14.97	-15.02	-15.05	-15.05	-15.03	-15.04	-15.00	-14.97	-14.99
		-14.99	-15.04	-15.05	-15.05	-15.05	-15.04	-15.01	-14.98	-15.00
		0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01

表-3.3 各測定値の平均値，最大・最小値

	平均値 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
施工データ値	-15.00	-14.95	-15.05
レベル測定値	-15.01	-14.96	-15.05

次に、表-3.2における各測点毎の施工データ値とレベル測定値との比較散布を図-3.5に示す。

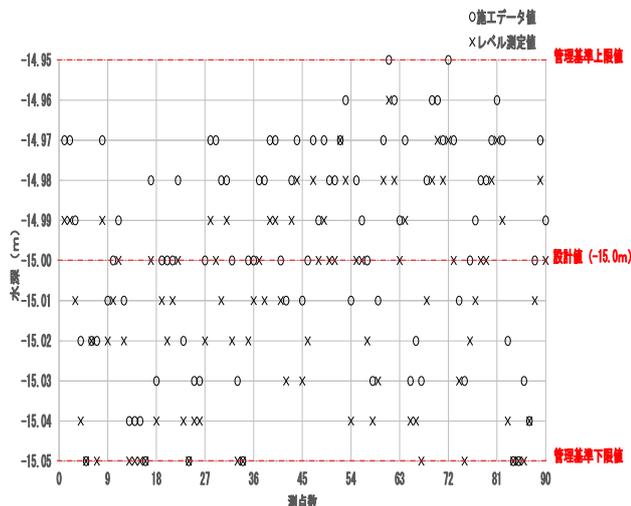


図-3.5 施工データ値とレベル測定値の比較散布図

次に、表-3.2における施工データ値とレベル測定値の測定差分の頻度を図-3.6に示す。

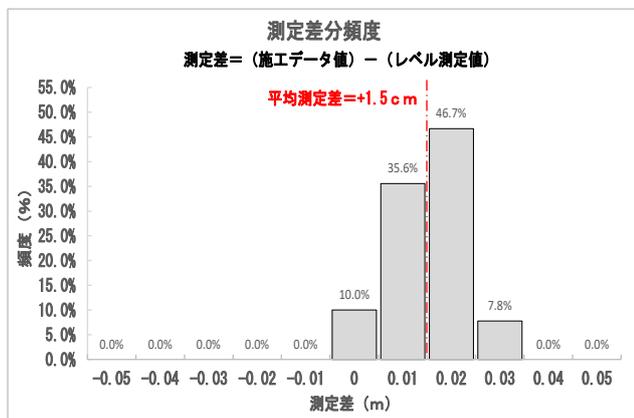


図-3.6 施工データ値とレベル測定値の測定差分頻度図

以上の結果より、施工データ値とレベル測定値は共にばらつきはあるが、捨石本均し設計天端高-15.0mに対し出来形管理基準値±5cmを外れる値はなかった。また、施工データ値とレベル測定値には最大で+3cm，最小で±0cm，平均で+1.5cmの測定差があり，全測点において施工データ値はレベル測定値より高い値（測定差±0cmの分を含む）であった。

② 現地試験②の試験結果

全測定数 70 点の施工データ値とレベル測定値の測定結果を表-3.4，施工データ値とレベル測定値の各々の平均値，最大・最小値を表-3.5に示す。

表-3.4 測定結果一覧表

上段：施工データ値 中段：レベル測定値 下段：差

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	-23.00	-22.98	-22.99	-22.95	-22.97	-23.02	-22.96	-22.97	-23.00	-22.96	-23.00	-23.00	-22.98	-22.96
	-22.97	-22.99	-22.98	-22.99	-23.00	-23.00	-22.98	-22.98	-23.00	-22.97	-23.00	-23.00	-22.99	-22.98
	-0.03	0.01	-0.01	0.04	0.03	-0.02	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02
2	-22.98	-22.99	-22.98	-22.95	-22.97	-22.96	-23.04	-23.04	-23.04	-23.04	-22.98	-22.99	-23.01	-23.01
	-22.99	-23.00	-22.98	-23.00	-22.99	-22.97	-22.99	-23.00	-23.00	-22.99	-22.97	-22.98	-22.99	-22.99
	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.01	-0.05	-0.04	-0.04	-0.04	0.01	-0.02	-0.03	-0.02
3	-22.96	-22.96	-22.98	-22.99	-22.96	-23	-23.03	-22.96	-22.97	-23.00	-22.98	-22.96	-23.01	-22.96
	-22.97	-22.96	-22.98	-22.99	-22.99	-22.99	-23.01	-22.98	-22.98	-23.01	-22.99	-23.00	-23.01	-22.99
	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	-0.01	-0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.00	0.03
4	-22.99	-22.97	-22.97	-22.97	-22.99	-22.96	-22.95	-23.01	-22.97	-22.99	-22.98	-22.98	-22.97	-22.95
	-22.98	-22.97	-22.99	-22.97	-23.00	-22.99	-22.97	-23.02	-22.99	-23.01	-23.00	-22.98	-22.99	-22.98
	-0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.00	0.02	0.03
5	-22.96	-22.96	-22.96	-22.97	-22.95	-22.96	-22.97	-22.97	-22.97	-22.98	-22.96	-22.96	-22.98	-22.95
	-22.99	-22.98	-22.99	-22.99	-22.99	-23.00	-22.98	-22.97	-23.00	-23.00	-23.01	-22.99	-22.99	-22.97
	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.01	0.00	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01	0.02

表-3.5 各測定値の平均値，最大・最小値

	平均値 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
施工データ値	-22.98	-22.95	-23.04
レベル測定値	-22.99	-22.96	-23.02

次に、表-3.4における各測点毎の施工データ値とレベル測定値との比較散布を図-3.7に示す。

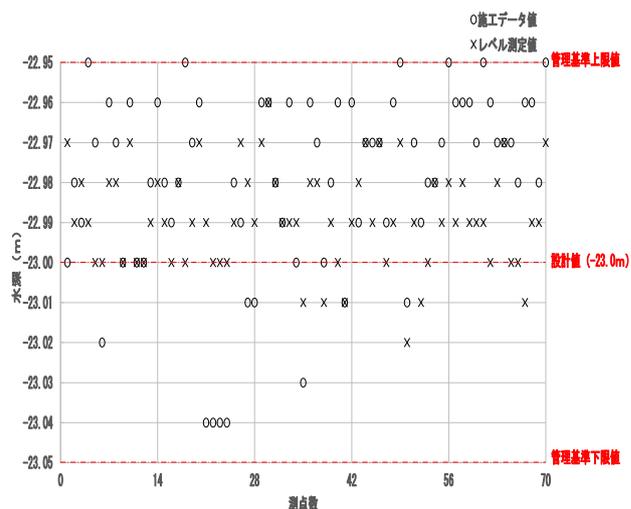


図-3.7 施工データ値とレベル測定値の比較散布図

次に、表-3.4における施工データ値とレベル測定値の測定差分の頻度を図-3.8に示す。

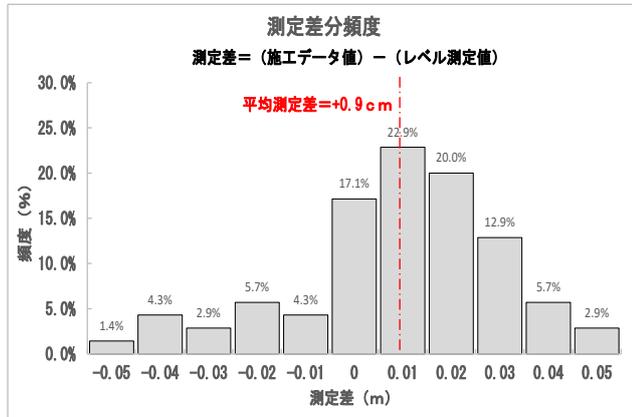


図-3.8 施工データ値とレベル測定値の測定差分頻度図

以上の結果より、施工データ値とレベル測定値は共にばらつきはあるが、捨石本均し設計天端高-23.0m に対し出来形管理基準値±5cm を外れる値はなかった。また、施工データ値とレベル測定値には最大で+5cm、最小で-5cm、平均で+0.9cmの測定差があり、施工データ値の約82%がレベル測定値より高い値（測定差±0cm の分を含む）であった。

③ 現地試験③の試験結果

全測定数 99 点の施工データ値とレベル測定値の測定結果を表-3.6、施工データ値とレベル測定値の平均値、最大・最小値を表-3.7に示す。

表-3.6 測定結果一覧表

	上段：施工データ値					中段：レベル測定値					下段：差	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	-14.98	-14.97	-14.99	-14.97	-14.98	-15.00	-15.00	-15.01	-15.05	-14.98	-15.04	
	-15.01	-15.01	-15.00	-15.02	-15.02	-15.00	-15.00	-15.01	-15.02	-15.02	-15.02	
	0.03	0.04	0.01	0.05	0.04	0.00	0.00	-0.01	-0.04	0.04	-0.02	
2	-14.98	-14.99	-14.99	-15.00	-15.03	-15.00	-15.00	-15.01	-15.01	-14.99	-15.01	
	-15.00	-15.01	-15.02	-15.00	-15.02	-15.00	-15.02	-15.00	-15.01	-15.01	-15.01	
	0.02	0.02	0.03	0.00	-0.01	0.00	0.02	-0.01	0.00	0.02	0.00	
3	-14.99	-14.99	-15.00	-15.00	-15.03	-15.03	-14.98	-15.00	-14.99	-14.99	-14.99	
	-15.02	-15.03	-15.03	-15.03	-15.02	-15.01	-15.02	-15.03	-15.02	-15.02	-15.03	
	0.03	0.04	0.03	0.03	-0.01	-0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	
4	-14.99	-14.99	-15.00	-15.00	-15.02	-15.02	-15.02	-15.00	-15.00	-14.99	-14.99	
	-15.03	-15.03	-15.03	-15.04	-15.04	-15.02	-15.01	-15.01	-15.03	-15.03	-15.01	
	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.00	-0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	
5	-14.97	-14.99	-14.96	-14.98	-14.98	-15.02	-14.99	-15.01	-15.00	-14.98	-14.98	
	-15.03	-15.02	-15.02	-15.03	-15.04	-15.01	-15.03	-15.02	-15.02	-15.02	-15.03	
	0.06	0.03	0.06	0.05	0.06	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.05	
6	-14.98	-15.00	-15.00	-14.99	-14.98	-14.99	-14.99	-15.01	-15.01	-15.00	-15.00	
	-15.02	-15.04	-15.02	-15.04	-15.03	-15.02	-15.01	-15.02	-15.03	-15.01	-15.03	
	0.04	0.04	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	
7	-14.98	-15.00	-14.99	-15.01	-14.99	-14.99	-15.01	-15.00	-15.00	-15.00	-15.00	
	-15.03	-15.04	-15.03	-15.04	-15.05	-15.03	-15.03	-15.05	-15.03	-15.03	-15.03	
	0.05	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.02	0.05	0.03	0.03	0.03	
8	-15.03	-15.05	-14.99	-15.04	-15.01	-15.00	-15.01	-15.01	-15.02	-14.99	-14.99	
	-15.04	-15.03	-15.03	-15.04	-15.04	-15.04	-15.05	-15.05	-15.05	-15.03	-15.04	
	0.01	-0.02	0.04	0.00	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	
9	-15.03	-15.05	-14.99	-15.04	-14.99	-15.00	-15.01	-15.00	-15.02	-14.99	-14.99	
	-15.04	-15.05	-15.04	-15.04	-15.05	-15.03	-15.04	-15.03	-15.04	-15.05	-15.03	
	0.01	0.00	0.05	0.00	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.06	0.04	

表-3.7 各測定値の平均値、最大・最小値

	平均値 (m)	最大値 (m)	最小値 (m)
施工データ値	-15.00	-14.96	-15.05
レベル測定値	-15.03	-15.00	-15.05

次に、表-3.6における各測点毎の施工データ値とレベル測定値との比較散布を図-3.9に示す。

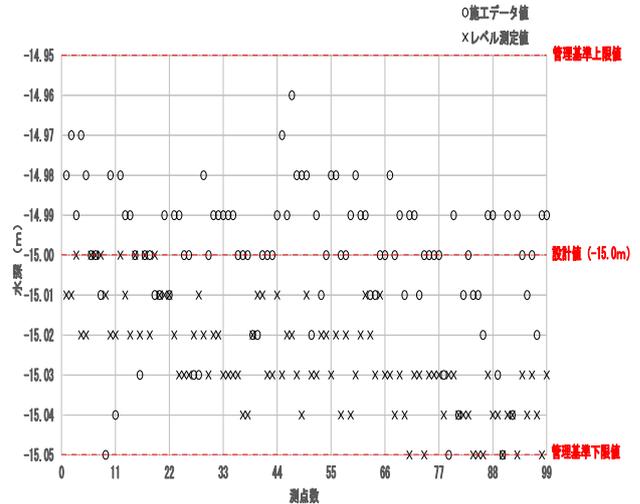


図-3.9 施工データ値とレベル測定値の比較散布図

次に、表-3.6における施工データ値とレベル測定値の測定差分の頻度を図-3.10に示す。

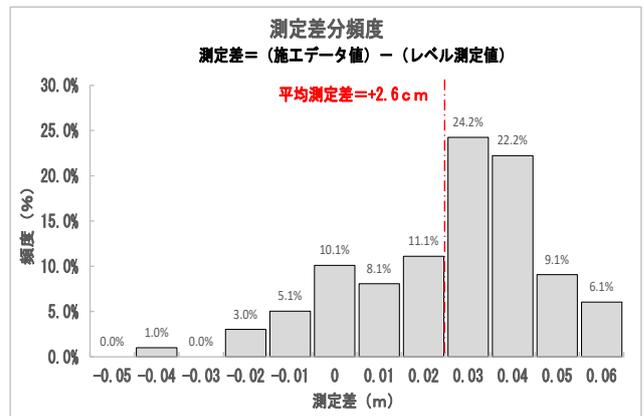


図-3.10 施工データ値とレベル測定値の測定差分頻度図

以上の結果より、施工データ値とレベル測定値は共にばらつきはあるが、捨石本均し設計天端高-15.0m に対し出来形管理基準値±5cm を外れる値はなかった。また、施工データ値とレベル測定値には最大で+6cm、最小で-4cm、平均で+2.6cmの測定差があり、施工データ値の約91%がレベル測定値より高い値（測定差±0cm の分を含む）であった。

(3) 現地試験結果のまとめ

現地試験①～③の全測点 259 点について、施工データ値とレベル測定値の測定差分の頻度を取りまとめたものを図-3.11 に示す。

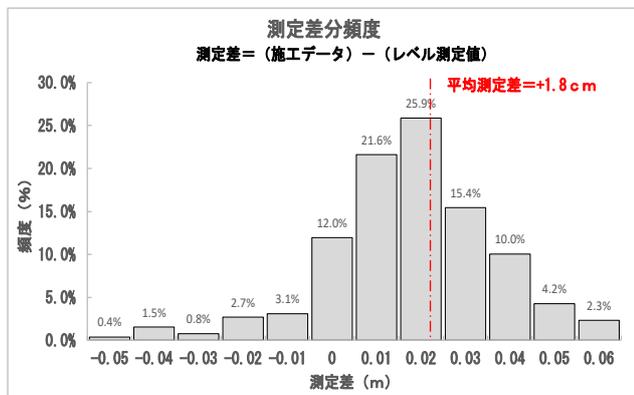


図-3.11 施工データ値とレベル測定値の測定差分頻度図

図-3.11 より、施工データ値とレベル測定値には最大で +6cm、最小で -5cm、平均で +1.8cm の測定差があり、施工データ値の約 91% がレベル測定値より高い値(測定差 ± 0cm の分を含む)であった。現地試験結果より、自動追尾式 TS により計測した施工データ値と従来手法であるレベル測定値のどちらの計測精度が高いかという点は明確ではないが、施工データ値は捨石本均し出来形管理基準値 ± 5cm の規格内であり、従来手法であるレベル測定値との平均測定差が +1.8cm であったことから、施工履歴データを用いて出来形計測を行うことは特に問題ないと考える。

3.3 重錘式均し機の計測精度

機械均しの施工履歴データを活用した出来形管理導入に際し、現地試験から重錘式均し機に付属する計測装置による施工データ値が、従来の出来形計測手法と同程度の計測精度であることを確認したが、重錘式均し機の出来形計測手法における計測精度に、影響を与える可能性がある以下の事項について検証を行った。

- ①計測器の精度による影響
- ②計測器の据え付け誤差による影響
- ③重錘の傾斜による影響
- ④水深・石材・波浪による影響

(1) 計測器の精度による影響

重錘式均し機の施工履歴データは、自動追尾式 TS により計測されることから、計測器の精度について検証を行った。国土地理院での TS の性能分類は、表-3.8 に示すとおり 1 級・2 級・3 級の 3 種類がある。

表-3.8 TS の性能分類⁶⁾

判定項目	級別性能基準			
	1級	2級		3級
		A	B	
測角部	水平角の最小目盛値 (秒)	1以下	10以下 (5/10)	20以下 (10/20)
	鉛直角の最小目盛値 (秒)	1以下	10以下 (5/10)	20以下 (10/20)
	高度気泡管 (秒/目盛)	20以下	30以下	40以下
測距部	公称測定可能距離 (km)	2以上	2以上	1以上

出典：国土地理院 測量機器性能基準 (平成 28 年 3 月)

特に鉛直角は重錘式均し機での出来形 (高さ) 管理における TS の要件となるため、表-3.8 中の鉛直角の最小目盛値 (秒) に注目する。TS で計測する水平距離 L, 鉛直角の最小目盛値 $\Delta\theta$ による、測点での鉛直成分の器械誤差 ΔH (図-3.12) を計算した結果を表-3.9 に示す。

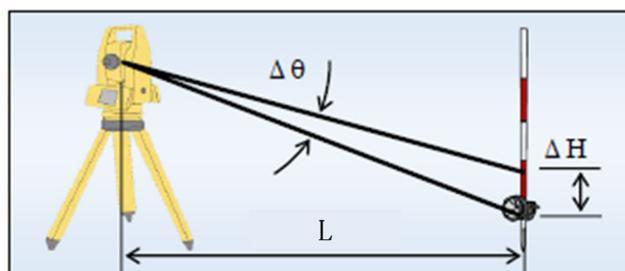


図-3.12 計測器の器械誤差 ΔH

表-3.9 器械誤差 ΔH 計算結果

測定距離 L (m)	誤差 ΔH (cm)			
	鉛直角 $\Delta\theta$ の最小目盛値 (秒)			
	1	5	10	20
100	0.05	0.24	0.48	0.97
500	0.24	1.21	2.42	4.85
1000	0.48	2.42	4.84	9.70
1500	0.73	3.63	7.27	14.54
本均し出来形管理基準値 ± 5 cm				

表-3.9 に示す TS の鉛直角最小目盛値 $\Delta\theta$ が 5 秒の場合を例に挙げると、測定距離 L = 100m では誤差 $\Delta H \approx 0.2\text{cm}$ 、測定距離 L = 1500m では誤差 $\Delta H \approx 3.6\text{cm}$ となる。鉛直角の最小目盛値から算出される誤差は、器械点から測定点までの距離に比例して大きくなる。レベル測量の場合、視準距離が 100m 程度であれば読み値の誤差は、陸上では 0~数ミリ程度に収まり、海上では船舶の動揺による水中スタッフの揺れを考慮しても 1cm 以内に収まる。よって、TS の場合においても、器械誤差 ΔH が 1cm 以上であると計測精度に影響するものとする。

重錘式均し機の施工履歴データによる出来形 (高さ) 計測精度を上げるためには、TS の器械誤差を小さくする必要がある。そのためには器械点から重錘に取り付けた全周

型反射プリズムまでの測定距離に応じて、使用する自動追尾式 TS の選定基準を設定する必要があると考える。TS の器械誤差が 1cm 以下であれば問題ないと判断し、自動追尾式 TS の選定基準を表-3.10 に示すとおり設定することを提案する。

表-3.10 自動追尾式 TS の選定基準

鉛直角の 最小目盛値	器械点から測定点までの距離L (m)			
	100以下	200以下	400以下	400以上 2000以下
1"	○	○	○	○
5"	○	○	○	×
10"	○	○	×	×
20"	○	×	×	×

今回の現地試験において、使用した自動追尾式 TS の性能と自動追尾式 TS の器械点から重錘までの測定距離 L から生じる器械誤差 ΔH による、捨石本均し出来形（高さ）計測値の影響について検証を行った。

現地試験②での器械点と試験箇所を図-3.13 に例として示し、計算結果を表-3.11 に示す。

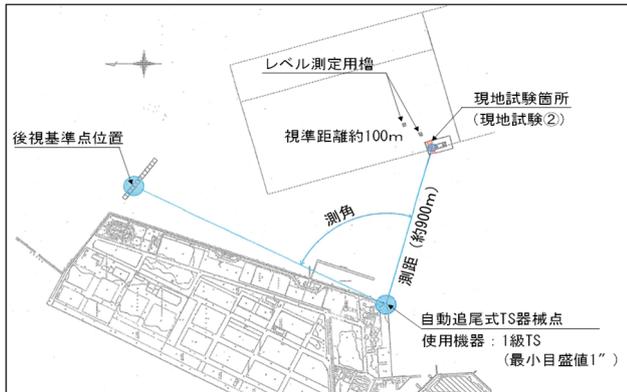


図-3.13 現地試験②の器械点と試験位置

表-3.11 現地試験での測定距離 L による器械誤差 ΔH

	使用器械 性能分類	鉛直角の 最小目盛値	測定距離 (L)	器械誤差 (ΔH)
現地試験①	2級TS	5秒	約240 m	5.8 mm
現地試験②	1級TS	1秒	約900 m	4.4 mm
現地試験③	2級TS	5秒	約70 m	1.7 mm

表-3.11 から、3 試験とも使用した自動追尾式 TS の性能とその測定距離による器械誤差 ΔH は数ミリで、TS の器械誤差が 1cm 以下であったことから、現地試験での出来形（高さ）計測値に大きな影響はなかったと言える。

(2) 計測器の据え付け誤差による影響

TS においては、最小目盛値による誤差の他に据え付け誤差が影響することも考えられる。重錘式均し機で使用する自動追尾式 TS は、岸壁や防波堤あるいは海上に設置した鋼製測量檜に据え付けられることから、風の影響を受けやすく特に鋼製測量檜では波の影響も受ける。これにより据え付けた TS に揺れや振動が生じる。

TS の据え付けは TS の下部にある整準ネジを利用して、高度気泡管の気泡が水平位置を指すよう調整し水平に設置する。しかし、TS の揺れや振動および長時間に渡る計測により、TS が傾くことで水平が維持できず誤差が生じる。

オートレベルには、器機内部の上部から振り子のように吊り下げられている「コンペンセータ」と呼ばれる視準軸自動補正機構が備わっている（図-3.14）。このコンペンセータが鉛直を保つと視準軸が水平となり、補正可能な範囲内であれば望遠鏡の多少の傾きにかかわらず、常に自動的に水平な視準線を得ることができる。

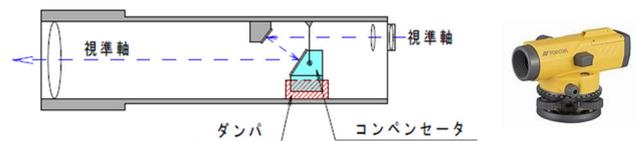


図-3.14 オートレベルの仕組み

TS の一部機種にも XY 一体型構造の 2 軸コンペンセータが搭載されており、この機能を有効にした場合、計測中に TS が傾いても鉛直角・水平角をスムーズかつスピーディに自動調整が行われる（図-3.15）。風や波の影響を受け TS が傾きやすい状況下において、コンペンセータを搭載した自動追尾式 TS の使用は、据え付け誤差を小さくするうえで有用である。

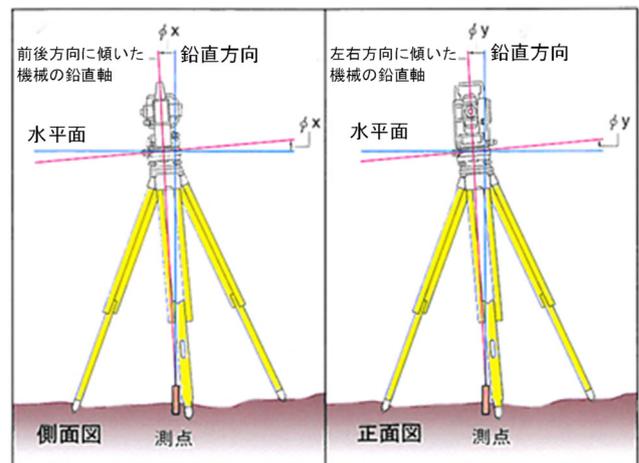


図-3.15 TS のコンペンセータによる 2 軸補正

(3) 重錘の傾斜による影響

捨石均し高さを自動追尾式 TS で正確に計測するためには、重錘が捨石均し面に対して垂直に立っていることが必要と思われる。現状では重錘式均し機には、重錘の傾きを補正するための傾斜計等の計測器は設置されておらず、実施工での重錘の傾斜補正方法は、重錘が捨石均し面に着底した際、クレーンオペレータが目視確認しながら、重錘底面が捨石均し面に接地した状態で、重錘を吊り下げているワイヤーロープにテンションをかけることにより、垂直に立つよう操作している。この時、重錘に傾きが生じた場合、どの程度の計測誤差が生じるか検証を行なった。図-3.16 に示す捨石天端から重錘に取り付けた全周型反射プリズムまでの距離 L と重錘の傾き θ による水平距離 Δx と鉛直距離 Δy は、次式 (1)、(2) のとおりであり計算結果を表-3.12 に示す。

水平距離 $\Delta x = L \sin \theta$ 式 (1)

鉛直距離 $\Delta y = L - L \cos \theta$ 式 (2)

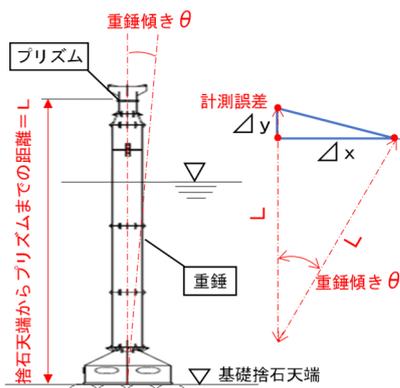


図-3.16 重錘の傾き θ による水平距離 Δx と鉛直距離 Δy

表-3.12 水平距離 Δx と鉛直距離 Δy の計算結果

単位：m

θ	1° 30' 00"		1°		0° 30' 00"	
	水平距離 (Δx)	鉛直距離 (Δy)	水平距離 (Δx)	鉛直距離 (Δy)	水平距離 (Δx)	鉛直距離 (Δy)
L						
20	0.524	0.007	0.349	0.003	0.175	0.001
25	0.654	0.009	0.436	0.004	0.218	0.001
25.88	0.677	0.009	0.452	0.004	0.226	0.001
30	0.785	0.010	0.524	0.005	0.262	0.001
30.7	0.804	0.011	0.536	0.005	0.268	0.001
35	0.916	0.012	0.611	0.005	0.305	0.001

※L=25.88mは現地試験①、③での値、L=30.7mは現地試験②での値

クレーンオペレータは、表-3.12 に示す重錘の傾き θ により生じる計測誤差 Δy に留意してクレーン操作を行い、計測誤差を小さくすることが必要と考える。

(4) 水深・石材・波浪による影響

水深による影響については、今回の現地試験における施工水深は-15.0m および-23.0m で、各試験での施工データ値は出来形管理基準値±5cm を満足していたことから、水深による計測精度には影響がないものと言える。

石材による影響については、今回の現地試験における使用した石材の大きさは 30~200kg/個および 5~30kg/個で、各試験での施工データ値は出来形管理基準値±5cm を満足していたことから、石材の大きさによる計測精度には影響がないものと言える。これは石材の大小にかかわらず重錘を自由落下させることにより、基礎捨石天端を締固め出来形管理基準値内に収まるよう、所定の高さに均すことができることによる。

波浪による影響については、重錘式均しは起重機船で重錘を吊り下げる海上でのクレーン作業となることから、海象条件が波高1m以下および風速10m以下で安全に作業が行われる。よって、大きな波浪による計測精度には影響がないものと言える。

3.4 施工履歴データによる出来形管理における課題と対応方法

前述 3.2 および 3.3 から、重錘式均し機での自動追尾式 TS により計測した施工履歴データは、従来手法で計測した出来形（高さ）計測値と同程度の精度であることを確認した。これにより、捨石均し出来形（高さ）計測値は施工履歴データを活用することで、従来手法による出来形測定が不要となり出来形管理の効率化が期待できる。

一方、施工履歴データを活用し基礎捨石マウンド全体の出来形管理を行うためには、基礎捨石均しの出来形管理項目（表-2.2）である天端幅・延長、および法面の確認も必要である。しかしながら、重錘式均し機では実際に均した本均し・荒均しの施工区分境界位置や捨石マウンド法肩位置を判別することが不可能なため、距離計測においては重錘式均し機の施工履歴データを用いることは適さない。また、今回検討する重錘式均し機は、捨石マウンド天端での施工に使用され法面均しは行えない。このような観点から重錘式均し機での出来形管理における課題として、次の3項目について整理を行った。

- ① 捨石本均し天端幅・延長出来形測定における課題
- ② 捨石荒均し天端幅・延長出来形測定における課題
- ③ 捨石荒均し法面出来形測定における課題

(1) 捨石本均し天端幅・延長出来形測定における課題
 従来、捨石本均しの天端幅 (W)・延長 (L) の出来形は、
 図-3.17 に示すとおり法線および測線毎の出来形測点間を
 潜水士がスチールテープ等で計測し、設計値と比較すること
 で捨石本均し①~④の出来形範囲を確認する。

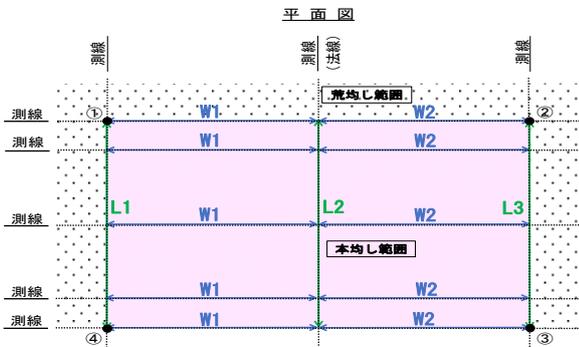


図-3.17 従来の捨石本均し天端幅・延長測定

これに対して、重錘式均し機での施工履歴データによる
 捨石本均しの天端幅 (W)・延長 (L) の出来形測定方法を
 考えた場合、次の2つの方法があると考えられる。

第一の方法は、施工中に取得した重錘中心位置の施工履歴
 データ (X, Y) により天端幅 (W)・延長 (L) の距離計測
 を行う方法であり、重錘式均し機での施工は起重機船の
 クレーンを旋回し弧を描くように重錘を順次移動させ、均
 し残しがないように捨石本均し範囲を均す。この方法では、
 重錘中心位置は図-3.18 に示すように測線上を順次移動す
 るものではないため、従来の法線および測線毎の出来形測
 点間距離を計測できない課題がある。

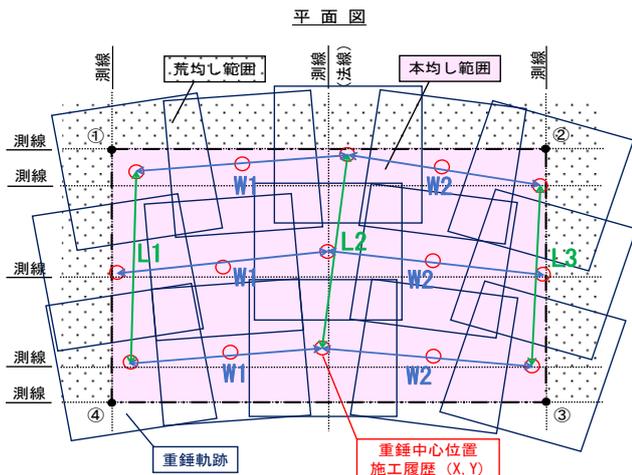


図-3.18 施工中の施工履歴データによる捨石本均しの距離計測

第二の方法は、施工完了後に重錘中心位置を測線上の出
 来形測点に移動し、その地点の施工履歴データ (X, Y) に
 より天端幅 (W)・延長 (L) の距離計測を行う方法であり、

重錘式均し機での施工は、図-3.18 に示すように設計本均
 し範囲を均し残しがないよう確実に施工するため、設計本
 均し範囲を超えるように重錘を移動させて均している。従
 って、実施工では図-3.19 の斜線部分が、設計本均し範囲
 よりも広く均されていることになり、出来形測定の対象範
 囲となる。距離計測を行うための出来形測点を出来形測定
 範囲内の測線上に設定する必要があるが、その測線上のど
 こを出来形測点とするか判断できない。そのため、重錘中
 心位置を出来形測点に移動させる方法では、施工履歴デー
 タ (X, Y) による出来形測点間距離を計測できない課題が
 ある。

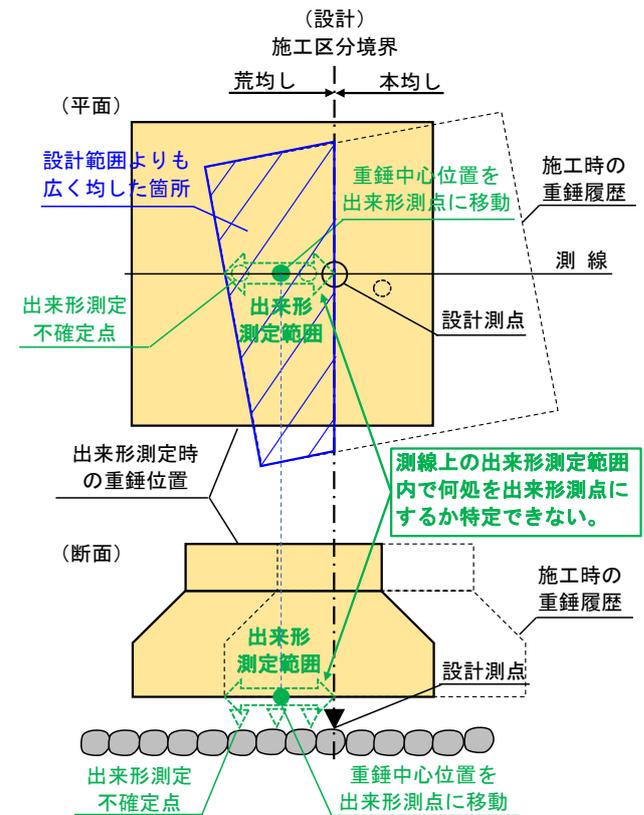


図-3.19 施工完了後の施工履歴データによる捨石本均しの距離計測

(2) 捨石荒均し天端幅・延長出来形測定における課題
 従来、捨石荒均しの天端幅 (W)・延長 (L) の出来形は、
 図-3.20 に示すとおり法線および測線毎の出来形測点間を
 潜水士がスチールテープ等で計測し、設計値と比較すること
 で捨石荒均し①～⑧の出来形範囲を確認する。

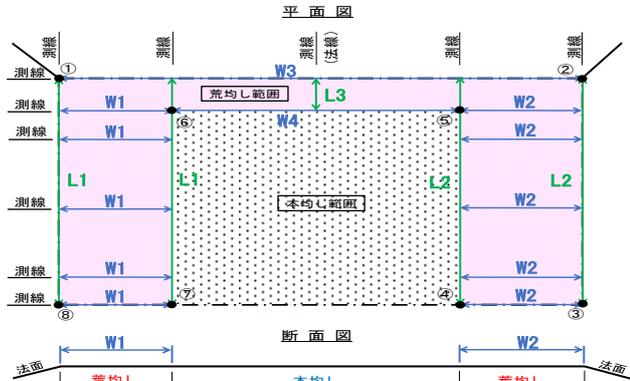


図-3.20 従来の捨石荒均し天端幅・延長測定

これに対して、重錘式均し機での施工履歴データによる
 捨石荒均しの天端幅 (W)・延長 (L) の出来形測定方法を
 考えた場合、次の2つの方法があると考えられる。

第一の方法は、施工中に取得した重錘中心位置の施工履
 歴データ (X, Y) により天端幅 (W)・延長 (L) の距離計
 測を行う方法であり、捨石本均しと同様に重錘式均し機で
 の施工は起重機船のクレーンを巡回し弧を描くように重
 錘を順次移動させ、均し残しがないように捨石荒均し範
 囲を均す。この方法では、重錘中心位置は図-3.21 に示す
 ように測線上を順次移動するものではないため、従来の法線
 および測線毎の出来形測点間距離を計測できない課題が
 ある。

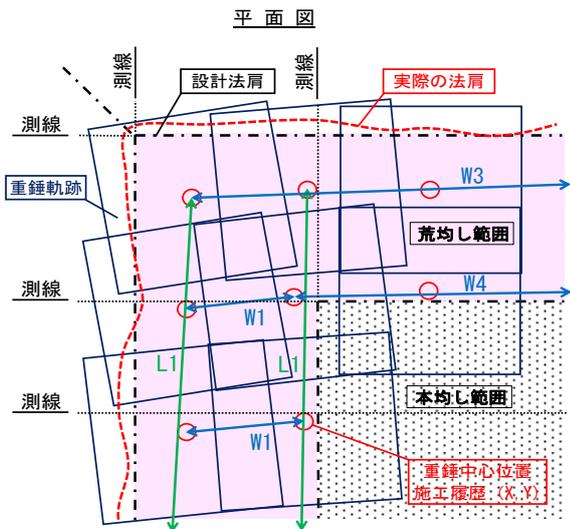


図-3.21 施工中の施工履歴データによる捨石荒均しの距離計測

第二の方法は、施工完了後に重錘中心位置を測線上の法
 肩出来形測点に移動し、その地点の施工履歴データ (X,
 Y) により天端幅 (W)・延長 (L) の距離計測を行う方法
 であり、実際にガット船等で捨石投入し形成される捨石マ
 ウンド断面は設計断面とは一致しないため、図-3.21 に示
 すように実際の法肩位置と設計法肩位置は異なる。このこ
 とから、図-3.22 に示すように海上から水中部は目視でき
 ないため、実際の法肩位置を特定できない。そのため、重
 錘中心位置を法肩出来形測点に移動させる方法では、施工
 履歴データ (X, Y) による出来形測点間距離を計測できな
 い課題がある。

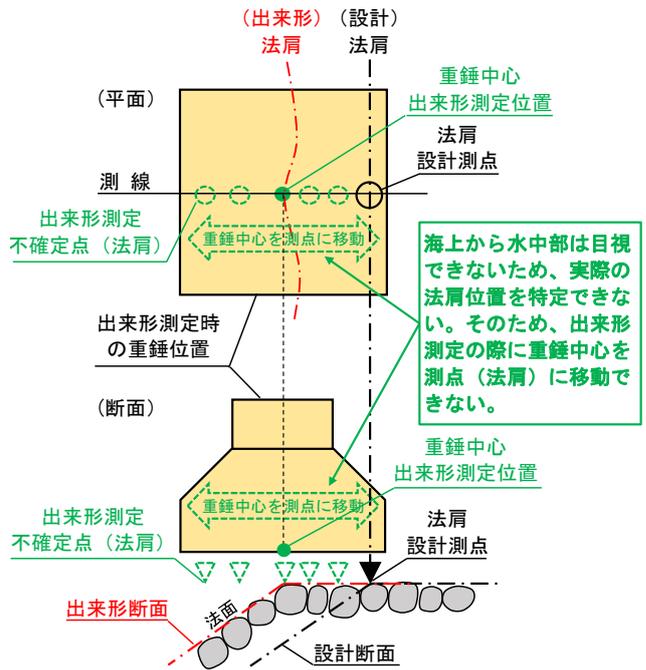


図-3.22 施工完了後の施工履歴データによる捨石荒均しの距離計測

(3) 捨石荒均し法面出来形測定における課題
 機械均しにおける、重錘式均し機をはじめとする捨石均
 し機 (図-2.1) は、捨石天端均しに使用され法面均しには
 適していない。このため法面均しを行うには、法面均し用
 の捨石均し機を使用する必要がある。一部の工事において、
 法面均し用の捨石均し機を使用し施工は行われているが、
 その施工精度については検証されておらず、また出来形測
 定においても均し完了後に従来手法である、水中スタッフ
 や水中水準器により計測されている。

今後、機械均しでの ICT 施工により取得した基礎捨石天
 端および法面の施工履歴データを統合し、基礎捨石工全体
 (図-3.23) の出来形管理の効率化を図るには、法面用の捨
 石均し機による出来形計測手法の検証を行い、法面の出来
 形管理方法を検討する必要がある。

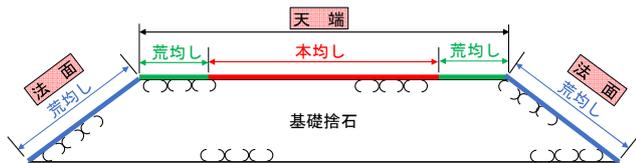


図-3.23 基礎捨石均し施工区分

ここに、ICT 活用による法面での機械均し施工例を以下に示す。

【重錘（法面転圧用）方式】

カウンターと重錘（法面転圧用）をワイヤーロープで連結し、起重機船により設計法勾配に調整した重錘を吊り下げ落下することで法面を転圧する。クレーンブームトップに取り付けた GNSS と自動追尾式 TS により、転圧位置および高さを計測し施工管理システムにより施工管理する（図-3.24）。

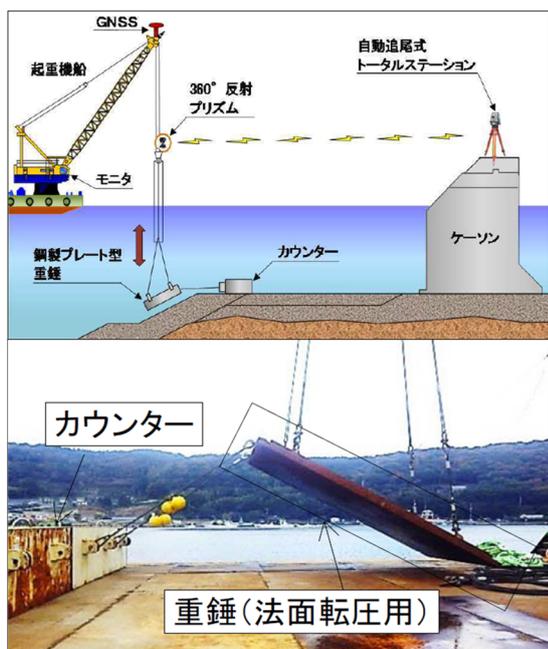


図-3.24 法面転圧用重錘（施工例）

【法面グラブバケット方式】

設計法勾配に対応した法面用グラブバケットを起重機船により吊り下げ落下することで法面を転圧する。クレーンブームトップに取り付けた GNSS と法面用グラブバケットの支持ワイヤーロープの繰り出し長さにより、転圧位置および高さを計測し施工管理システムにより施工管理する（図-3.25）。

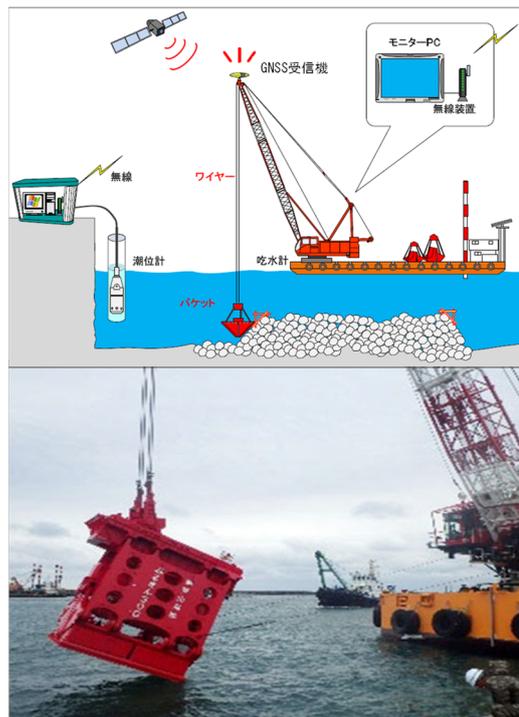


図-3.25 法面用グラブバケット（施工例）

前述 3.4 (1) から (3) における、重錘式均し機での出来形管理における課題について対応することができれば、施工履歴データを出来形管理に活用し、施工から出来形管理までを効率化することが期待できる。次に、重錘式均し機での出来形管理における課題の対応方法について検討する。

(4) 捨石本均しでの天端幅・延長出来形測定における課題の対応方法

従来、捨石本均しの出来形範囲を確認するため、図-3.17 に示す法線および測線毎の天端幅・延長を計測する必要があるが、重錘式均し機での施工履歴データからでは測線上の出来形測点間の距離計測が不可能である。

そこで、その対応方法として重錘式均し機での施工は、基本的に設計本均し範囲よりも広く均すことにより出来形を満足させていることから、図-3.26 に示すように重錘の施工履歴スタンプが設計本均し範囲 (L×W) を全て網羅し、かつ全ての施工履歴データの Z 値 (高さ) が出来形管理基準値内であれば、設計本均し範囲の出来形を満足するものと判断する。この方法により、従来の法線および測線毎の天端幅・延長の距離計測が不要となり、出来形測定を省力化できる。

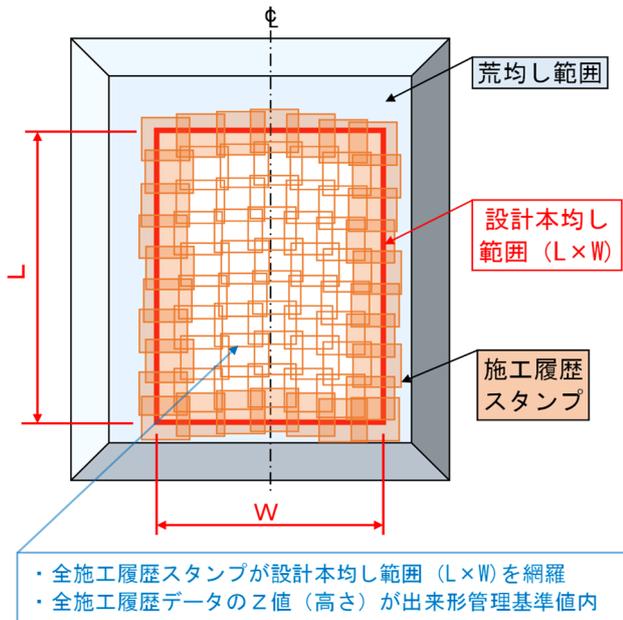


図-3.26 施工履歴スタンプによる本均し範囲確認

捨石本均しの出来形範囲を重錘の施工履歴スタンプで確認するにあたり、今回実施した現地試験③での施工履歴データを基に検証を行った。重錘式均し機により試験範囲(16.0m×20.0m)を均した際に、取得した施工履歴データ(X, Y)による重錘の施工軌跡は図-3.27に示すとおりとなり、取得した施工履歴データ(Z)による本均し高さの度数分布は図-3.28に示すとおりとなる。

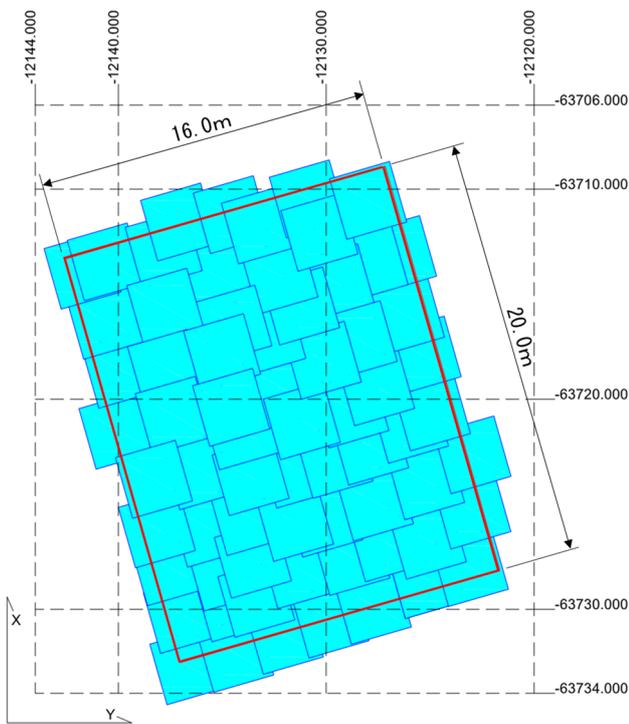


図-3.27 重錘式均し機の施工軌跡 (現地試験③より)

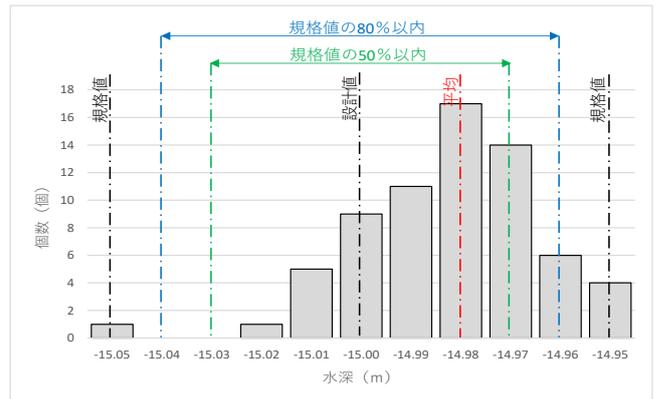


図-3.28 本均し高さの度数分布 (現地試験③より)

結果、施工履歴データ(X, Y)による重錘の施工軌跡は試験範囲(16.0m×20.0m)を均し残しがなく全て網羅しており(図-3.27)、施工履歴データ(Z)による本均し高さは出来形管理基準値±5cm内に全て収まっていた(図-3.28)。以上のことから、設計本均し範囲の出来形を重錘の施工履歴スタンプにより確認することができる。

(5) 捨石荒均しでの天端幅・延長出来形測定における課題の対応方法

従来、捨石荒均しの出来形範囲を確認するため、図-3.20に示す法線および測線毎の天端幅・延長を計測する必要があるが、捨石本均しと同様に重錘式均し機での施工履歴データでは測線上の出来形測点間の距離計測が不可能である。また、捨石本均しでは石材で敷き詰められた天端内の出来形範囲を施工履歴スタンプで確認できるが、捨石荒均しにおいて同様に、施工履歴スタンプにより出来形範囲を確認(図-3.29)する場合、施工履歴スタンプ上での実際に均した法肩の変化点が判らない。そのため、実際に均した法肩までの出来形範囲の確認が行えない(図-3.30)。

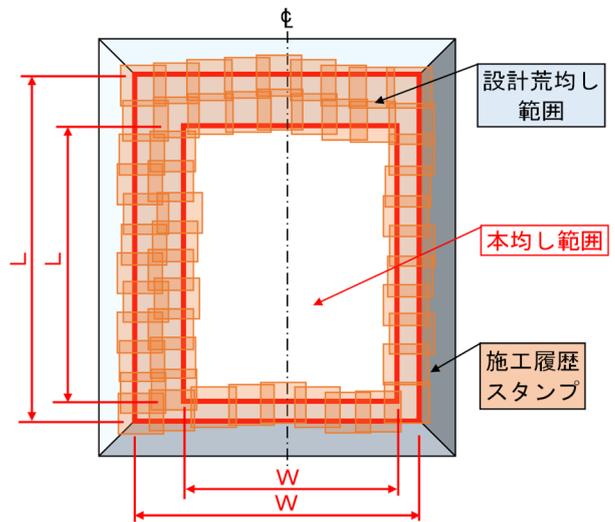


図-3.29 施工履歴スタンプによる荒均し範囲確認

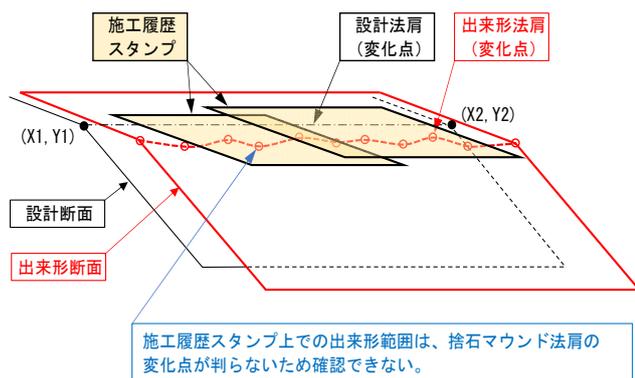


図-3.30 施工履歴スタンプと法肩（変化点）の関係

このことから、現在の重錘式均し機の技術による施工履歴データを活用した、捨石荒均しの出来形範囲の確認は不可能と判断し、従来とおりの潜水士による法線および測線毎の出来形測点間距離を計測し（図-3.20）、設計値と比較するものとする。

(6) 捨石荒均しでの法面出来形測定における課題の対応方法

前述 3.4 (3) に記したとおり、ICT 活用による基礎捨石工全体の出来形管理の効率化を図るためには、捨石荒均し法面の出来形管理を統合する必要がある。そのためには、法面用の捨石均し機による出来形計測手法の検証および出来形管理方法を検討する必要がある。今後、これらを検証・検討するにあたり以下の9項目等の事項が必要と考えられる。

- ①現在、使用されている法面での各種機械均し施工方法の情報収集。
- ②上記①に付属する計測装置（TS・GNSS・音響ソナー等）による、計測データを集約する施工管理システムの概要を把握。
- ③上記②の計測装置による計測手法の把握。
- ④現状での、上記③で計測管理し施工された出来形の測定・管理方法を把握。
- ⑤上記④に代わり、ICT 施工による施工履歴データの出来形管理への活用方法を検討。
- ⑥上記⑤を検証するための現地試験方法を検討。
- ⑦上記⑥の現地試験を実施し、試験結果の分析・検証により出来形測定における精度を確認。
- ⑧上記⑦に合わせて、使用する計測装置の計測精度およびその精度が出来形計測値に及ぼす影響を検証。
- ⑨上記①から⑧を踏まえ、ICT 施工による施工履歴データを活用した出来形管理方法および出来形管理の効率化に向けて総合的に検討。

3.5 施工履歴データを用いた出来形管理方法の提案

重錘式均し機での自動追尾式 TS により計測した施工履歴データが、従来手法で計測した出来形（高さ）計測値と同程度の精度であることおよびその計測精度の検証、また重錘式均し機での出来形管理における課題とその対応方法について検討を行った結果から、重錘式均し機での施工履歴データを用いた基礎捨石均し（本均し・荒均し）の出来形評価方法等について整理し提案する。なお、捨石荒均し法面の出来形管理方法については、今後の検討課題であるため除外する。

(1) 出来形評価方法

施工中に取得した重錘中心位置の施工履歴データと3次元設計データとの差分（水深差）および施工履歴データ一覧（個々の出来形値）を用いて、捨石均しを行う所定の範囲をもれなく施工されていることを確認することにより出来形の良否判定を行う。

なお、以下の出来形管理資料を作成し、作成した出来形管理資料を監督職員に提出する。

- ・出来形管理基準上の管理項目の計算結果（水深差の平均値等）と出来形の良否結果、および設計面と施工履歴データとの差分（水深差）を評価範囲の平面図上にプロットした分布図（スタンプ図）を明示した出来形管理図表。
- ・施工中に取得した施工履歴データ一覧表。

a) 出来形管理図表

- ①3次元設計データから管理を行うべき範囲（本均し・荒均しの区別）を抽出する。
- ②設計面上の設計水深値と施工履歴データとの差分（水深差）を計算し、平均値、最大値、最小値を明示する。
- ③出来形計測結果のばらつきを評価するため、全施工履歴データ数ならびに規格値の50%以内および80%以内に収まっている計測点の個数・割合を明示する。
- ④設計面と施工履歴データとの差分（水深差）の計算結果を重錘の均し完了時の施工軌跡ごとに分布図（スタンプ図）として明示する。
- ⑤分布図（スタンプ図）が具備すべき情報は以下のとおりとする。
 - ・評価範囲全体が含まれる平面図（区別に別葉）とし、評価範囲を平面図上に明示する。
 - ・重錘の施工軌跡を表すスタンプの大きさは、重錘の底盤寸法に準じる。
 - ・差分（水深差）の計算結果の規格値に対する割合を示すヒートマップとして、-100%～+100%の範囲で重錘の均し完了時の施工軌跡ごとに着色し結果

を示すとともに、色の凡例を明示する。

- ・規格値に対する割合の±50%，±80%が区別できるように別の色で明示する。
- ・捨石均しの施工完了した範囲（出来形範囲）が所定の範囲をもちなく施工されていることを確認できるように明示する。

⑥捨石本均しの出来形範囲の確認は、分布図（スタンプ図）にて行い、従来の潜水士による法線および測線毎の天端幅・延長の計測は行わない。

⑦捨石荒均しの出来形範囲の確認は、従来とおり潜水士により法線および測線毎の天端幅・延長の計測を行い、結果を別途出来形図に整理し出来形管理資料とする。

これら出来形評価方法を図-3.31に示す。また、出来形管理図表の作成例を付録A図-A.1、図-A.2に示す。

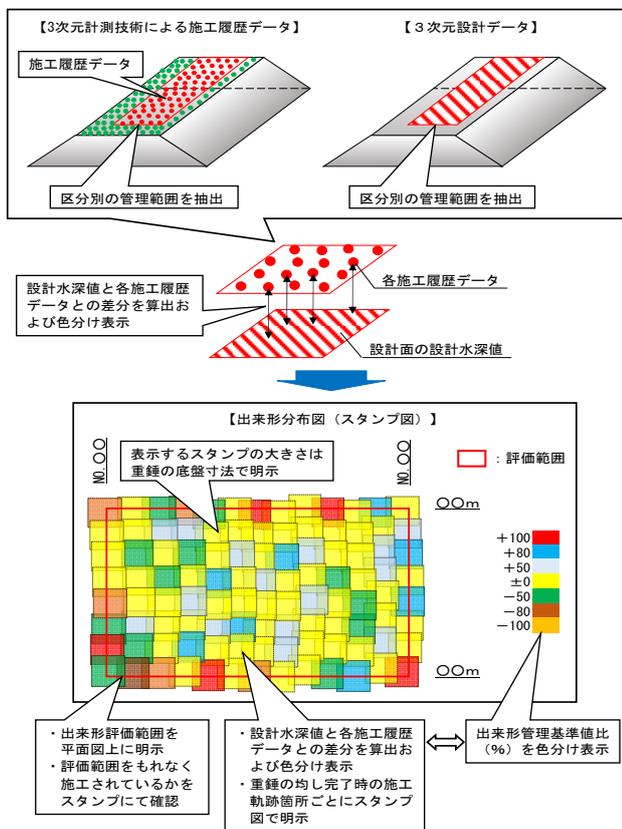


図-3.31 出来形評価方法のイメージ

b) 施工履歴データ

①施工中に取得した重錘中心位置の施工履歴データを一覧表に整理する（図-3.32）。

②必要な施工履歴データ項目は、以下のとおりとする。

- ・施工履歴取得年月日時分
- ・重錘中心位置座標（X，Y，Z）

※水深(H)で管理する施工管理システムの場合には、Z座標に替えて水深値とする。

表-3.13 施工履歴データの内容例

番号	①	②	③	④	【必須データ項目】
1	20220101_0901	-63733.3452	-12135.0711	-14.9656	① 施工年月日_時分
2	20220101_0907	-63732.3839	-12135.3466	-14.9742	② X座標
3	20220101_0916	-63731.4226	-12135.6221	-14.9863	③ Y座標
4	20220101_0925	-63733.0697	-12134.1098	-14.9905	④ 水深値
5	20220101_0931	-63732.1084	-12134.3853	-15.0126	
6	20220101_0940	-63731.1471	-12134.6608	-15.0245	
7	20220101_0955	-63732.7942	-12133.1485	-14.9874	
8	20220101_1006	-63731.8329	-12133.424	-15.0236	
9	20220101_1018	-63730.8716	-12133.6995	-15.0185	

(2) 自動追尾式 TS の選定基準とその計測性能および精度管理方法

自動追尾式 TS による出来形管理を正確に実施するため、使用する自動追尾式 TS が必要な性能を有し適正に管理されているかを確認し、適正な機種を選定する必要がある。

施工計画書に自動追尾式 TS による出来形計測方法を記載し、使用する自動追尾式 TS の資料を添付することで確認することができる。

a) 機器選定基準

出来形（高さ）計測精度においては、自動追尾式 TS の器械誤差を小さくする必要があるため、器械点から重錘に取り付けた全周型反射プリズムまでの測定距離に応じて、使用する自動追尾式 TS を選定する。なお、選定基準（案）は表-3.10に示すとおりである。

b) 計測性能

出来形管理の測定精度を確保するため、自動追尾式 TS の計測性能は国土地理院認定3級以上とし、使用機器メーカーのカタログあるいは機器仕様書にて確認する。

c) 精度管理

自動追尾式 TS の精度管理が適正に行われていることを検定機関が発行する有効な検定証明書あるいは測量機器メーカー等が発行する有効な校正証明書にて確認する。

(3) 施工管理システムの精度確認方法

重錘式均し機の施工管理システムは、自動追尾式 TS によりリアルタイムに均し施工位置・高さを計測し、その計測データを無線 LAN にて起重機船に搭載した施工管理システム PC へ送信・連動させ施工管理を行う。そのため、自動追尾式 TS により計測したデータが施工管理システムと正確に連動され、施工管理システムの管理が適正に行われていることを確認するため、現場における確認試験を実施する必要がある。

a) 施工管理システムの計測値確認

起重機船に搭載した施工管理システム画面に表示される測定値 (X, Y, Z) が、正確でシステム全体が正常に機能していることを確認するための試験を着工前に実施し、その結果を提出する。また、作業日一日ごと始業前にも同様の試験を実施し、その結果は監督職員の求めに応じて提出できるよう保管する。

確認試験方法は、使用する自動追尾式 TS を工事基準点 (器械点) 上に設置し工事基準点 (視準点) を視準後、重錘に取り付ける全周型反射プリズムと同型のプリズムを使用し、任意の未知点 (計測点) を測角・測距を行い計測点の座標値 (X, Y, Z) を算出する。算出した座標値が施工管理システムモニター画面に表示される座標値 (X, Y, Z) と同値であることをとする (図-3.33)。

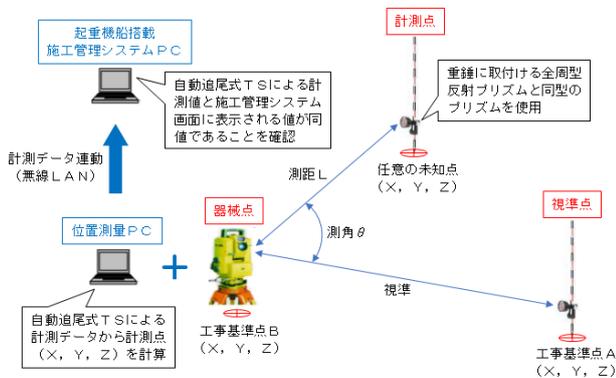


図-3.33 施工管理システムの計測値確認方法

b) 重錘の検尺

捨石均し高さの測定値は、重錘先端から全周型反射プリズムまでの距離 (L) を自動追尾式 TS で計測した Z 値からオフセットした値となるため、施工管理システムの初期設定時にこのオフセット値を入力する必要がある。

着工前に使用する重錘の全周型反射プリズムの取付位置を重錘先端からスチールテープ等で検尺 (図-3.34) し、その検尺値 (L) が施工管理システムに設定したオフセット値と同じであることをとし、その結果を提出する。

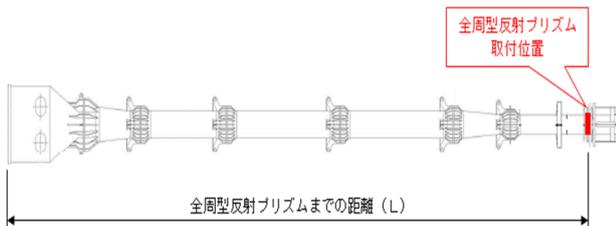


図-3.34 重錘の検尺

4. おわりに

本資料では、機械均しによる基礎捨石均し (本均し・荒均し) について、捨石均し機に付属する計測装置により計測される施工履歴データを活用した出来形管理の効率化に向け、従来の出来形計測手法との比較検証を行うため現地試験を実施した。現地試験での施工履歴データによる出来形計測手法の分析・検証、計測精度の検証、出来形管理における課題と対応方法を検討し、重錘式均し機での自動追尾式 TS により計測・記録された施工履歴データを活用した出来形管理方法について提案した。

出来形管理に施工履歴データを活用した場合、現行の出来形管理方法と比較 (表-4.1) すると、施工における捨石本均しでは管理項目の「天端高・天端幅・延長」の実測作業が省略でき、出来形管理資料の書類作成を省力できることが見込まれる。捨石荒均しでは管理項目の「天端高」について捨石本均しと同様の効果が見込まれる。また、検査においては出来形管理資料による電子検査を行うことで、捨石本均しでの「天端高・天端幅・延長」および捨石荒均しでの「天端高」の実測作業による確認を省略できることが見込まれる。

令和4年度に重錘式均し機を使用し、基礎捨石均しの施工を行った施工業者 (3社) にヒアリングした結果、捨石本均しの出来形管理項目である「天端高、天端幅・延長」の出来形測定および出来形管理書類作成に要した日数は、施工完了後の自主検査では4~10日を要し、施工状況検査では1~2日要した結果であった。なお、従来の計測手法による出来形管理に要する日数は、施工規模や施工場所の気象海象条件等の現場条件により差異が生じる。

施工履歴データを活用し出来形管理の効率化 (図-4.1) を図ることにより、従来の出来形管理に要した日数が削減され、施工完了後の出来形計測を待たずに次工程の段取りができる可能性があり、施工管理の手間とコストの削減、出来形確認・検査時の潜水土の確保や潜水災害のリスク低減が期待できる。

今後、基礎捨石工全体の出来形管理の効率化を図るため、本稿 3.4 (2), (3) について検討する必要があるといった課題がある。一方、この課題を解消することにより、被覆・根固工における機械均しでの被覆石均しへ展開することも可能であると考えられる。また、本研究で得られた結論が、機械均しで使用される多種多様な他の捨石均し機についても、同様に成立するかは更なる検討が必要である。捨石均し機の工法別あるいは3次元計測技術別に、その施工方法や施工管理システム内容等の情報を収集し、特に捨石均し機の種類によって異なる出来形計測手法 (3次元計測技術: TS・GNSS・水中ソナー・その他) は出来形管理にお

表-4.1 出来形管理方法の比較

工種	本均し			荒均し			
	管理項目	天端高	天端幅	延長	天端高	天端幅	延長
現行	測定方法	レベル又は④により測定	スチールテープ、間縄等により測定		レベル又は④により測定	スチールテープ、間縄等により測定	
	測定密度	測線及び測点間隔は10m以下	測線間隔は10m以下	法線上又は監督職員の指示による	測線及び測点間隔は10m以下	測線間隔は10m以下	法線上又は監督職員の指示による
	結果の整理方法	出来形図を作成し提出			出来形図を作成し提出		
	施工状況検査	本均し完了時、監督職員が行う	本均し完了時、検査潜水士が行い、監督職員が測定結果を確認する（水中部施工状況検査）		荒均し完了時、監督職員が行う	荒均し完了時、検査潜水士が行い、監督職員が測定結果を確認する（水中部施工状況検査）	
	測定方法	施工時の施工履歴データを用いる（実測は不要）			施工時の施工履歴データを用いる（実測は不要）	現行とおり	現行とおり
施工履歴データ活用（案）	評価方法	出来形評価範囲の平面図上に、施工が完了した重錘軌跡をプロットし分布図（スタンプ図）に表示		同左	現行とおり	現行とおり	
		設計面と各施工履歴データとの差分（水深差）を算出し、結果をヒートマップで確認	施工軌跡が出来形評価範囲をもれなく施工されていることを確認	設計面と各施工履歴データとの差分（水深差）を算出し、結果をヒートマップで確認			
	結果の整理方法	帳票（出来形管理図表）及び施工履歴データ一覧表を出来形管理資料として整理（施工管理システムより出力）		同左	現行とおり		
	施工状況検査	上記出来形管理資料による電子検査（実測は不要）		同左	現行とおり		
出来形管理の効率化	受注者	○ 実測作業省略 書類作成省力	○ 実測作業省略 書類作成省力	○ 実測作業省略 書類作成省力	○ 実測作業省略 書類作成省力	×	× 現行とおり
	発注者	○ 実測作業省略	○ 実測作業省略	○ 実測作業省略	○ 実測作業省略	×	× 現行とおり

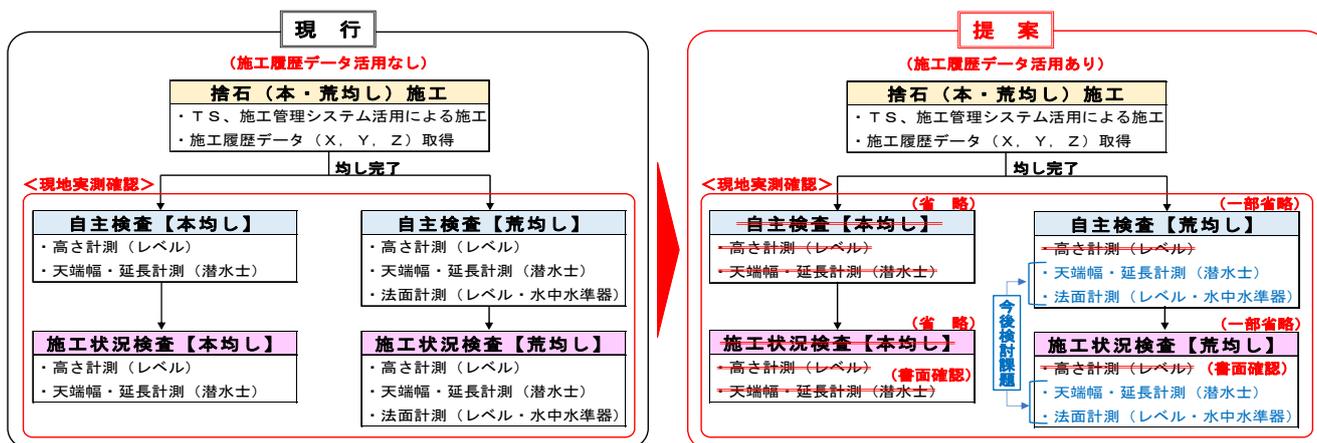


図-4.1 出来形管理の効率化

いて重要となるので、その計測精度の検証を行なった上で、基準類等への適用方法や運用方法等について検討することが必要である。

(2023年2月15日受付)

謝辞

本資料をとりまとめるにあたり、現地試験では関東地方整備局、京浜港湾事務所ならびに施工業者の皆様にご協力頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：3次元データを用いた港湾工事数量算出要領（基礎工編）（令和4年4月改定版），2022年。
- 2) 国土交通省：3次元計測技術を用いた出来形要領（案）（第2編土工編）（令和4年3月），2022年。

- 3) 国土交通省港湾局：港湾請負工事積算基準（令和4年度），2022年，pp3-3-（1）。
- 4) 一般財団法人港湾空港総合技術センター：港湾工事施工ハンドブック（第2版）（令和4年4月），2022年，pp2-3-6～2-3-7。
- 5) 国土交通省：港湾工事共通仕様書（令和3年3月），2021年，pp3-37～3-38。
- 6) 国土交通省国土地理院：測量機器性能基準（平成28年3月一部改正），2016年，<<https://psgs2.gsi.go.jp/koukyou/kihon/seino/seinokijun.pdf>>，（2023.2.15アクセス）。

付録A 出来形評価（面管理）方法における帳票（出来形管理図表）の案

1. 捨石本均し・荒均し出来形管理図表（案）

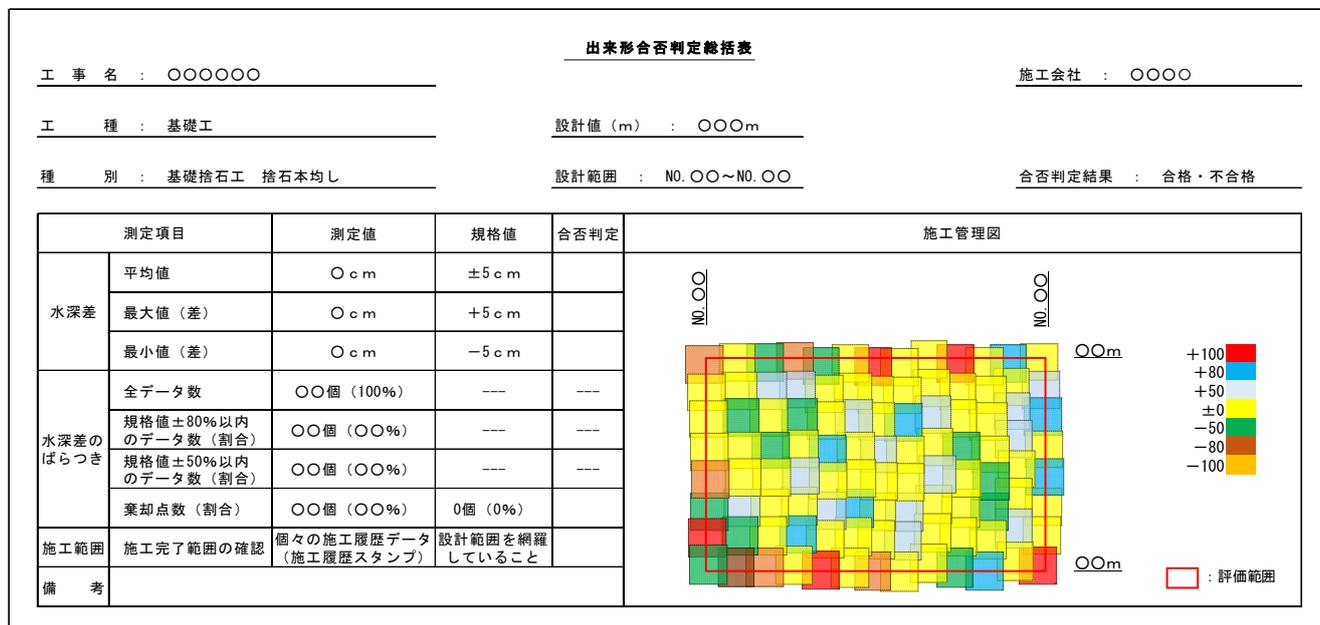


図-A.1 捨石本均し出来形管理図表作成例

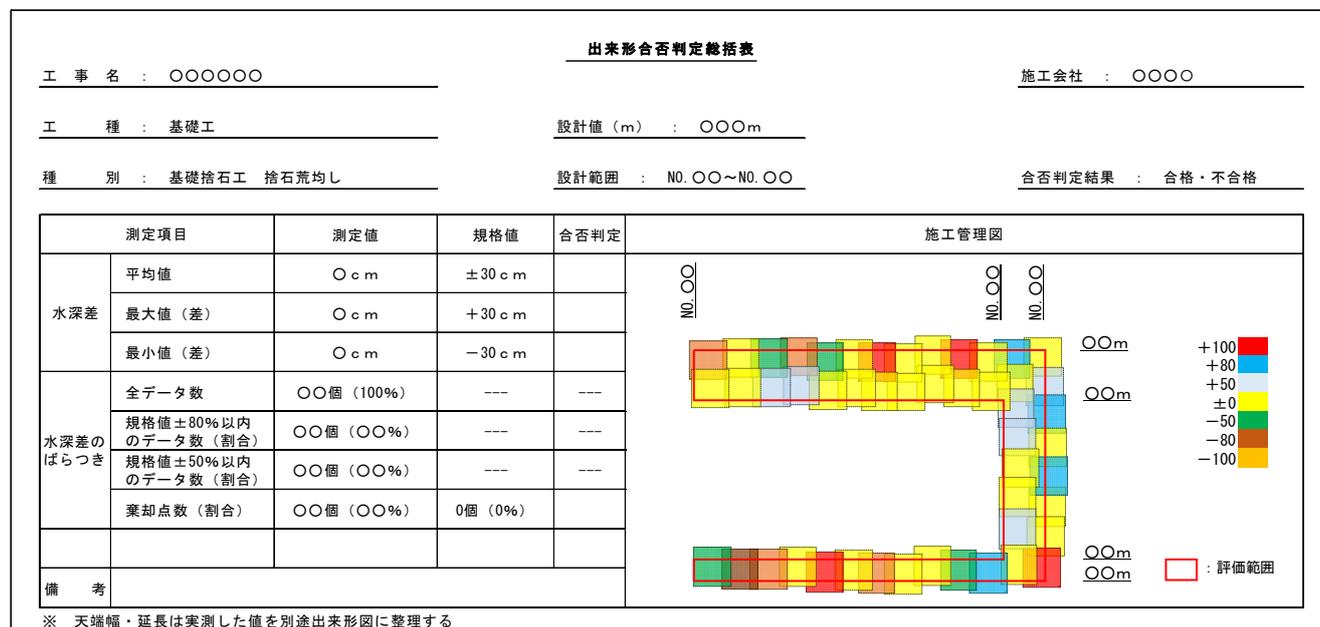


図-A.2 捨石荒均し出来形管理図表作成

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1240

March 2023

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〔〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019〕
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp