

床掘工における施工履歴による出来形計測手法の検討について

諏訪 弘明*・横山 浩司**・春日井 康夫***・辰巳 大介****・川上 司*****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

*** (一財) 沿岸技術研究センター 代表理事・専務理事

****国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾情報化支援センター 港湾業務情報化研究室 室長

*****国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾情報化支援センター 港湾業務情報化研究室 主任研究官

港湾工事の床掘工で行われる出来形計測は、従来、レッドやシングルビーム測深で行われてきたが、「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(海上地盤改良工:床掘工・置換工編)」が策定され、近年ではマルチビーム測深で計測する建設現場もある。一方で、マルチビーム測深は、船舶艀装や、データ解析等に時間を要するという課題がある。本検討は、床掘工の施工中に取得する施工履歴を活用した出来形計測手法を用い、3ヶ所の現地実証試験でその適用性を検討した。その結果、出来形管理基準値を満足する比率が底面部で98%、法面部で91%であり、従来計測手法と同等に出来形を評価できることが示された。

キーワード: 床掘工, 施工履歴, 出来形計測

1. はじめに

国土交通省は、平成28年を「生産性革命元年」と位置づけ、あらゆる建設生産プロセスにおける生産性向上に向け、i-Constructionと呼ばれる取組みを推進している。港湾分野では、平成29年度にICT浚渫工が導入され、平成30年度からマルチビームを活用した深浅測量が本格運用された。

床掘工の出来形計測は、これまでレッドやシングルビーム測深により行われてきたが、令和3年4月に「マルチビームを用いた深浅測量マニュアル(海上地盤改良工:床掘工・置換工編)」が策定され、近年はマルチビーム測深で計測する建設現場もある。マルチビーム測深は、一度の計測で広範囲の詳細な3次元データが得られるが、機器艀装やデータ解析に時間がかかるという課題がある。施工履歴データが出来形計測に活用できれば、それらの時間や費用を削減でき、生産性向上が期待できる。

本稿では、現地実証試験により得られた施工履歴データをもとに、施工履歴を活用した出来形計測手法の適用性の検証結果について述べる。

2. 施工履歴による出来形計測手法の検討

2.1 現行出来形管理基準

床掘工の現行出来形管理基準は、「港湾工事共通仕様書(令和5年3月)」で表-1のとおり規定されている¹⁾。法面は、法面に直角の許容範囲が示されており、これら

は法面勾配によって変わること留意する必要がある。

表-1 現行出来形管理基準

管理項目	測定方法	測定密度	測定単位	許容範囲
水深(底面)	音響測深器、レッド又はレベル等により測定	特記による	10cm	±30cm 又は特記による
水深(法面)	音響測深器、レッド又はレベル等により測定	特記による	10cm	外側2m(法面に直角) 内側30cm(法面に直角) 又は特記による

2.2 施工履歴

床掘工で使用する多くのグラフ浚渫船は、施工を効率的に進めるために施工管理システムを搭載している。施工管理システムは、バケット投入位置を図-1のように深度別に色分けして示し、操作者はこれを確認しながら掘り残しがないように施工する。

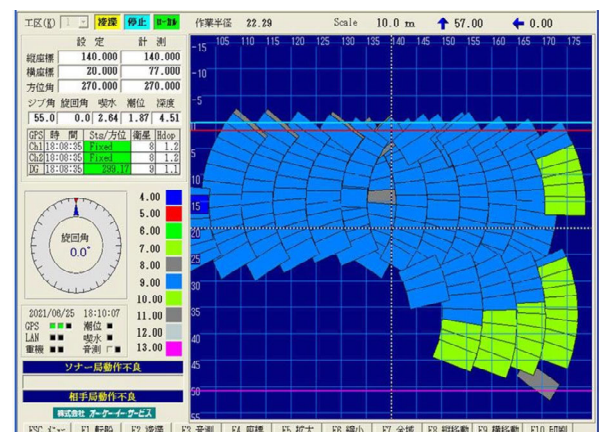


図-1 施工管理システム画面表示例

バケットの投入位置は、3次元座標と方向角より求められる。3次元座標は、クレーンブーム頂部平面位置座標をバケット中心座標として、潮位やワイヤーロープの繰り出し長から求められるバケット閉口時刃先の深度を鉛直座標として、1回のバケット投入ごとに1回取得する。さらに、その時のクレーン旋回体の旋回角度から、バケットの方向角も記録される。

本検討では、施工管理システムに記録された施工中のバケットの3次元座標及び旋回角度を施工履歴として使用する。

2.3 施工履歴による出来形計測手法

ICT 海上地盤改良工（床掘工）では、施工履歴データを用いた出来形計測および出来形管理の方法を規定する基準類がないため、本検討における基本的なデータ処理等の手順は、「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（河川浚渫工編）」の施工履歴データを活用する出来形計測を参考とする。

河川浚渫工におけるバックホウ浚渫では、1 m²（1m × 1m 格子）あたり1点以上の施工履歴による計測点を取得し、現況地形より掘削されたデータかつ、標高が最低のデータを任意の格子ごとに抽出し出来形評価用データを作成することが規定されている²⁾。

床掘工で使用するバケットは、バックホウ浚渫船のバケットよりも大型であることが多い。床掘工における施工履歴の3次元座標は、前項のとおり1回のバケット投入で得られる1点のみであるため、点群密度が小さくなるのが想定できる。さらに、掘り残しを防ぐために、掘削範囲を水平方向に一部重複させて施工することが多く、一定間隔とはならない。したがって、床掘工で得られる3次元座標を、そのまま「3次元計測技術を用いた出来形管理要領（案）（河川浚渫工編）」に準じて出来形計測に使用するのには困難であると想定された。

小嶋ら（2022）³⁾の研究によれば、点群を0.71m未満の間隔で分配することにより、点群密度が1 m²あたり1点以上とすることができる（図-2）。

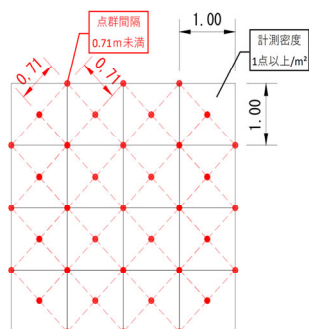


図-2 点群間隔の設定根拠図³⁾

これを参考に、使用するバケットサイズに応じてバケット範囲内に点群を分配し、施工履歴から点群データを作成し、評価することとした。点群分配例を図-3に示す。青丸がバケットの中心座標、白抜き赤丸がそれを分配した点群である。

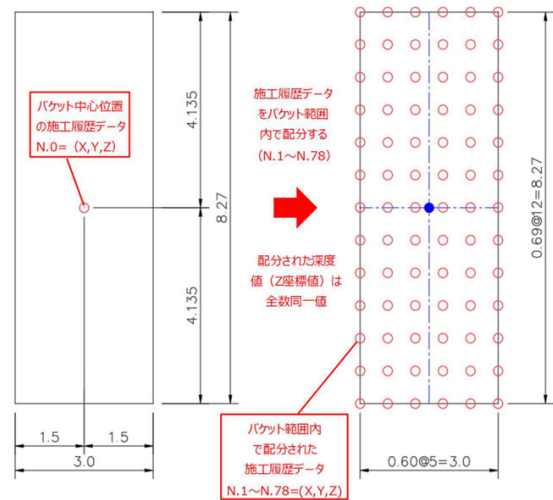


図-3 バケット形状に合わせた点群分配例

床掘工の施工では、施工条件に応じて掘削深度を層ごとに分けて施工する。掘削方法は2種類に分けられる。1、2層目等初期段階ではバケット閉口時に掘り残しが生じる荒掘り（定寸掘り）で施工する。最終層等仕上げ段階では水平掘り（仕上げ掘り）で行う。ただし、法面は、各層で仕上げる必要があり、施工初期段階は荒掘りと水平掘りが混在することになる。

水平掘りした掘削箇所は、これまでの施工実績から現行の出来形基準値を満足できる精度（±30cm）では平坦性を確保されていると考えられ、バケット1投入ごとの掘削箇所における掘削深度は同一と見なしても問題ないと判断した。

以上より、本検討では、2つの手法を比較検討した。方法1:荒掘りを含む全施工履歴を使用する手法（図-4）方法2:各層の施工履歴から水平掘りの施工履歴のみを抽出する手法（図-5）

掘削範囲が水平方向に重複した箇所は、1 m²に多数の計測点が存在することが想定される。河川浚渫工におけるバックホウ浚渫を参考に、標高が最低のデータである最深値を抽出して評価する。

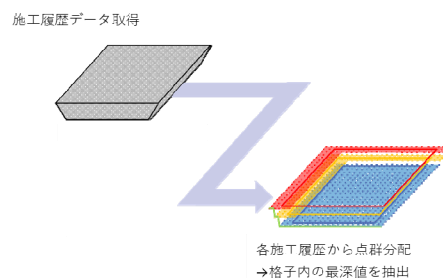


図-4 方法1による作業イメージ図

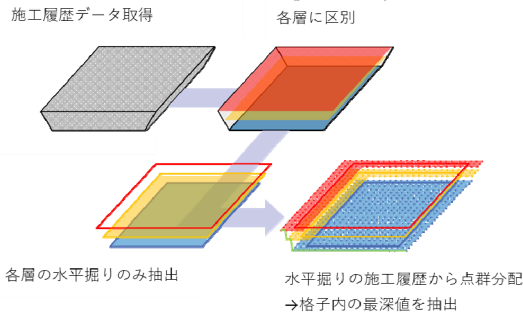


図-5 方法2による作業イメージ図

3. 現地実証試験

施工履歴による出来形計測手法の検討を行うため、3ヶ所の施工現場で現地実証試験を行い、施工履歴データを取得した。各現地実証試験の条件を表-2に示す。

表-2 現地実証試験の条件

		A工事	B工事	C工事
設計水深		-27.5m	-18.0m	-20.1m -24.0m
対象土質		砂質土	溶結凝灰岩	礫混じり砂
施工面積		約12,000㎡	約1,800㎡	約11,000㎡
法勾配		1:2	1:1.5 1:2	1:2
バケツ	容量	30㎡	9㎡	22㎡
	開口幅	8.3m	6.2m	8.4m
	奥行	3.0m	2.2m	2.7m
層厚	6.2m 荒掘り2層 水平掘り2層	14.0m 荒掘り5層 水平掘り2層	9.6m 荒掘り9層 水平掘り1層	
施工時期	令和4年 6月～7月	令和4年 6月～7月	令和4年 10月～11月	
従来計測手法	シングルビーム測深	マルチビーム測深	マルチビーム測深	

設計水深は、A工事が最も深く、B工事が最も浅かった。C工事では2種類の水深の平坦面があった。

対象土質は、A工事、C工事が砂質層、B工事が溶結凝灰岩である。B工事では原地盤が硬いため、9㎡の硬度盤バケツを使用した。

層厚は、A工事が最も薄く4層施工、B工事が最も厚く7層施工であった。C工事の層厚は、A工事とB工事の間中だが、形状が複雑であるため10層施工であった。

施工履歴による出来形計測値の比較対象として、A工事ではシングルビーム測深、B工事、C工事ではマルチビーム測深による従来計測手法での出来形計測値も取得した。

4. 現地実証試験結果と考察

4.1 設計深度との比較

現地実証試験で得た施工履歴を用いて、1㎡格子での

掘削深度が出来形管理基準値をどの程度満足していたかを調べた結果を表-3に示す。上段が方法1、下段が方法2での結果である。

表-3 現地実証試験における達成率一覧表

方法1	A工事			B工事			C工事		
	底面部	法面部	全体	底面部	法面部	全体	底面部	法面部	全体
格子数	11,905	5,375	17,280	1,898	3,880	5,778	1,599	3,150	4,749
基準値内	11,776	5,212	16,988	1,874	3,819	5,693	1,599	2,875	4,474
基準値外	浅	39	14	53	7	21	28	0	231
	深	90	149	239	17	40	57	0	44
達成率	98.92%	96.97%	98.31%	98.74%	98.43%	98.53%	100.00%	91.27%	94.21%

方法2	A工事			B工事			C工事		
	底面部	法面部	全体	底面部	法面部	全体	底面部	法面部	全体
格子数	12,244	5,537	17,781	1,825	3,916	5,741	1,599	3,150	4,749
基準値内	12,124	5,305	17,429	1,808	3,869	5,677	1,599	2,875	4,474
基準値外	浅	0	5	5	0	9	9	0	231
	深	120	227	347	17	38	55	0	44
達成率	99.02%	95.81%	98.02%	99.07%	98.80%	98.89%	100.00%	91.27%	94.21%

表内の達成率は、格子数における出来形管理基準値を満足した格子数の比率を表し、すべての工事で、90%以上を確認した。

底面部と法面部とを比較すると、底面部は最低でも98%以上であるのに対し、法面部は91%以上とやや低い傾向にあった。これは、実際の施工では、法面は階段状に仕上げるが、法面に対するバケツの向きが一定でないため、刃先の入り方が様でないこと等が影響していると考えられる。工事別に見ると、C工事の法面部では、比較的出来形管理基準値よりも浅い格子が多い。これは、バケツの重ね幅が小さいこと等が影響していると考えられる。

方法1と方法2とを比較すると、有意な差は見られず、C工事ではすべて同値であった。

なお、方法2は、点群データを作成する過程で水平掘りの施工履歴を抽出するという作業が増えるため、実用にあたっては、全施工履歴を使用する方法1がより生産性向上に寄与すると考えられる。

4.2 従来計測手法との比較

従来計測手法による出来形計測値及び施工履歴による出来形計測値を設計水深と比較した結果を図-6～8に示す。図の上段は底面部、下段は法面部の結果で、青色が従来計測手法、橙色が施工履歴による出来形計測値である。グラフの左側は設計水深より深く、右側は浅い。

従来計測手法では、測定間隔10mで出来形計測値を取得し、同地点における施工履歴による出来形計測値を比較した。なお、ここで用いる施工履歴は、前節のとおり、生産性向上の観点から、方法1の手法で抽出した最浅値である。

底面部、法面部ともに従来計測手法は、すべての工事で出来形管理基準値を満足しており、従来の出来形

検査では合格と判定できる。

底面部の施工履歴による出来形計測値は、B工事、C工事ではすべて出来形管理基準値を満足し、設計水深との差は従来計測手法と同程度であった。A工事では、165点中4点(約2%)が出来形管理基準値外であった。これは、バケットサイズが大きいため、局所的に深掘りが生じたと推察される。

法面部の施工履歴による出来形計測値は、A工事、B工事では設計水深よりも深く、C工事では浅い傾向にあった。A工事で73点中6点(約8%)、C工事で35点中1点(約3%)が出来形管理基準値外であった。法面が崩壊しやすい現場では浅めに掘り進める等、施工条件による影響が大きいと考えられる。

出来形管理基準値外となる割合が底面部よりも法面部で多いことは、前節の達成率の評価と同じ傾向である。今後もさらなるデータ収集と、具体的な施工手順を踏まえた検討が必要である。

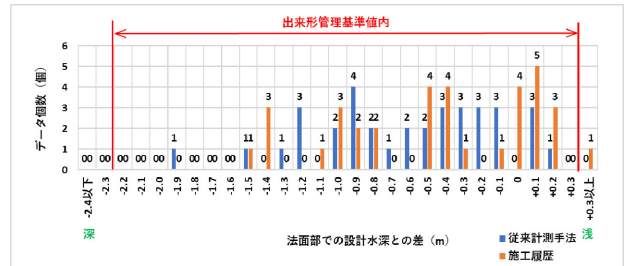
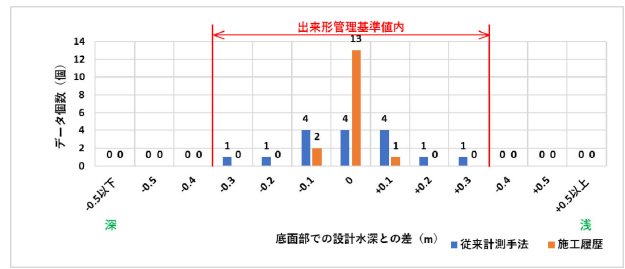


図-8 C工事における設計水深との差

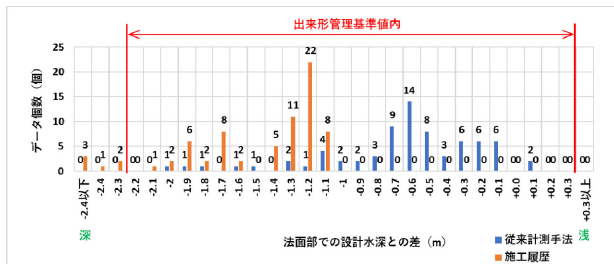
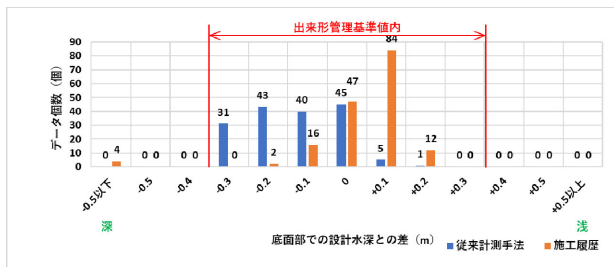


図-6 A工事における設計水深との差

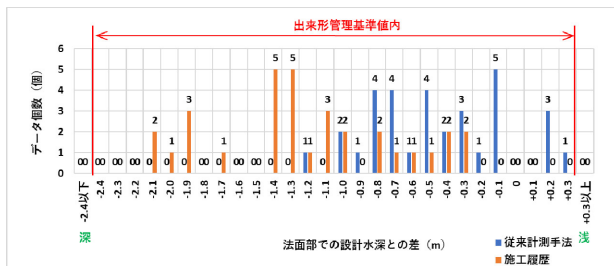
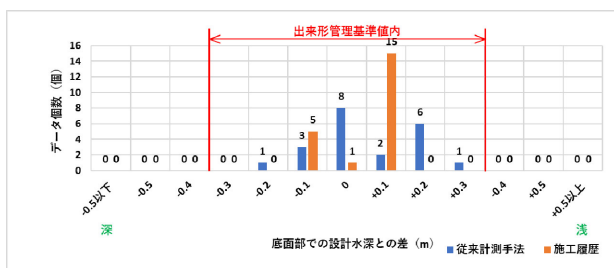


図-7 B工事における設計水深との差

5. おわりに

今回の検討では、床掘工における施工履歴による出来形計測手法を検討した。全施工履歴から最深値を抽出する手法を考案し、3ヶ所での現地実証試験での達成率は、底面部で98%以上、法面部で91%以上を確認できた。さらに、従来計測手法による出来形計測値との比較では、施工条件等に起因する差はあると推察されるものの、特に底面部では同程度の結果を得られることができた。今後の課題としては、施工条件を踏まえた法面部の検証と、出来形管理基準の設定に向けた適切な達成率の設定等が考えられる。本資料が港湾工事の生産性向上の一助になれば幸いである。

謝辞

本稿は、国土交通省国土技術政策総合研究所発注の港湾の施工における新技術導入促進・拡大のための検討業務の成果及び辰巳ら(2023)⁴⁾の一部をまとめたものである。

現地実証試験の実施にあたっては、国土交通省港湾局及び地方整備局、工事関係者に多大なご協力をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省港湾局:港湾工事共通仕様書(令和5年3月), pp. 3-33, 34, 2023
- 2) 国土交通省:3次元計測技術を用いた出来形管理要領(案)(令和5年3月版), pp. 5-45, 2023
- 3) 小嶋一弘・辰巳大介・小川雅史:ICT海上地盤改良工(床掘工)の出来形管理への施工履歴データ適用に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料, No. 1199, p. 11, 2022
- 4) 辰巳大介・小嶋一弘・川上上司・小川雅史:グラフ浚渫船の施工履歴データを活用した床掘工の出来形計測手法に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 79, No. 18 (海洋開発特集号), 2023