

グラブ浚渫の効率化と精度向上を実現した トータルシステム

浚渫施工管理システムに三次元データを導入したグラブ浚渫トータル施工システム

杉浦 仁久

国土交通省港湾局では港湾工事における生産性の向上を目指し、ICTを導入した施工情報の三次元化による施工管理の実現に向けて取組みを開始している。また港湾工事では、GNSS、トータルステーション及び各種センサーを使用した施工技術の導入が既に進められている。永年、グラブ浚渫のICTによる三次元データを活用した作業の効率化と浚渫精度向上に取り組んできたが、本稿では、これらの取組みについて紹介する。

キーワード：グラブ浚渫, 3D グラブバケット, 法面掘削対応, 容量可変, 3D 浚渫施工管理システム

1. はじめに

近年のグラブ浚渫では既にGNSSや自動潮位伝送装置を活用したグラブ浚渫施工管理システムが導入されている。一般的なシステムの概要は以下の通りである。GNSSによる船位情報をもとにブームの起伏、旋回角度からグラブバケットの平面位置をリアルタイムに算定する。グラブバケットの刃先深度は、自動潮位伝送装置から送られてくる潮位情報をもとに喫水、ブームの起伏及び支持ワイヤーの繰り出し長から算定される(図-1)。これらのグラブバケットの平面位置と刃先深度を画面に常時表示してグラブバケットを1回降下させるごとに、刃先の停止深度を色分けして施工履歴として記録する(図-2)。多くのグラブ浚渫船は、グラブバケットを閉じる際に支持ワイヤーを

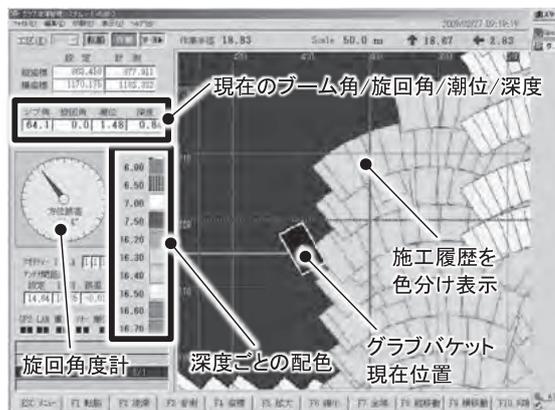


図-2 従来のグラブ浚渫施工管理システム画面

自動で繰り出し掘り跡を平坦に仕上げる水平制御掘削機能を有している(図-3, 4)。オペレータは画面を確認して、掘り残しのないよう掘り跡に現在のバケッ

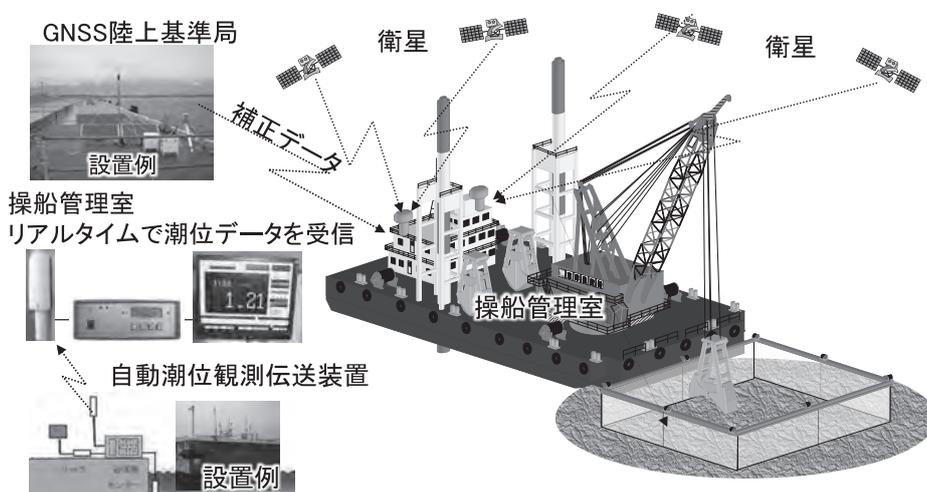
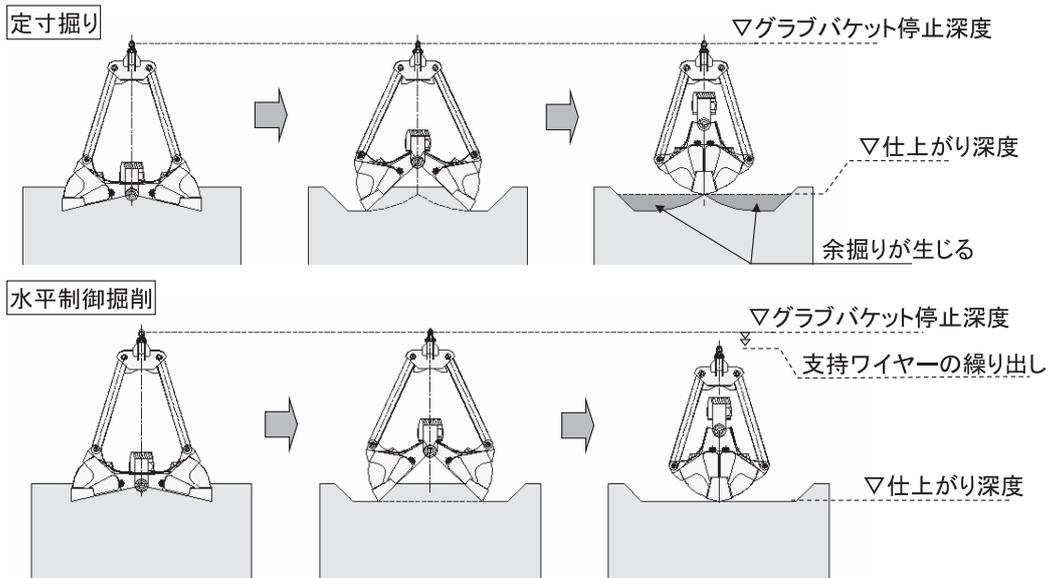
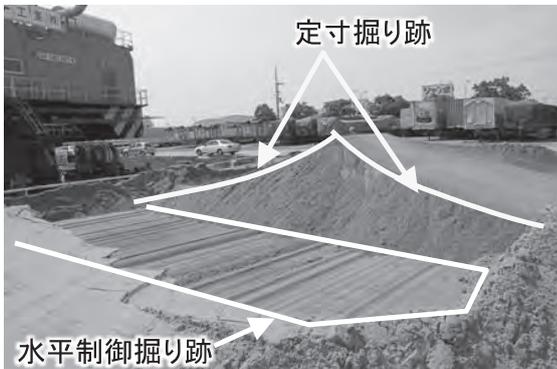


図-1 従来のグラブ浚渫施工管理システム概要



図一三 定寸掘りと水平制御掘削の比較



図一四 定寸掘りと水平制御掘削の掘り跡

低下となるうえ、濁水流出による汚濁発生の原因となる。さらに従来のグラブ浚渫では、水平にしか掘削できないため、浚渫深度の変化する法面部では階段状に掘ることとなり、深掘り気味になってしまう。また施工履歴の深度ごとの表示では、掘削場所ごとにバケットの停止深度を変化させる必要があり、管理が難しいものであった。

当社では、これらの問題を解決するために以下の3つの技術開発を行った。

- 1) 浚渫深度の変化に対応可能な「3D 浚渫施工管理システム」
- 2) 浚渫厚さに応じて容量を変化できる「容量可変グラブバケット」
- 3) 法面勾配に合わせてバケットを傾けた状態で浚渫可能な「3D グラブバケット」

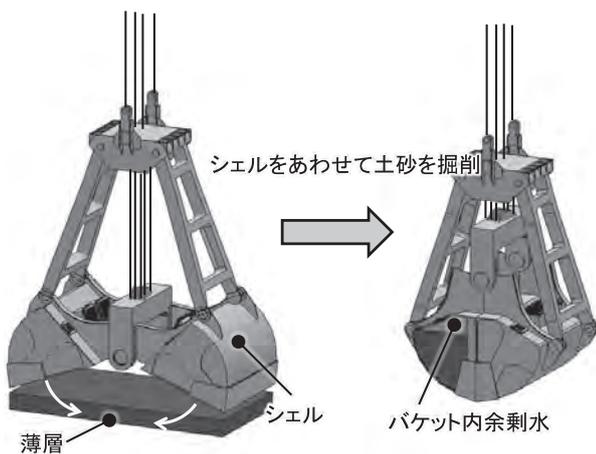
これらを合わせて「グラブ浚渫トータル施工システム」と名付け、現場への活用を図った。

2. 開発の経緯

各技術の開発の経緯は、以下の通りである。

(1) 3D 浚渫施工管理システム

これまでのグラブ浚渫施工管理システムでの施工履歴は、平面位置の色分け表示であり、浚渫深度が一定の平坦な浚渫底面では設計深度と浚渫深度の位置関係が表現可能である。これに加え、当社ではクレーンオペ室や施工管理を行う監視室において水中での作業状況が確認できるようグラブバケットを断面方向から見た状況をリアルタイムでコンピュータの表示装置を利



図一五 グラブバケットによる余剰水の取り込み

ト位置をラップさせてグラブバケットを降下させる。これらにより効率的な浚渫作業を行っている。しかし、薄層浚渫や仕上げ掘りは、浚渫厚さが薄く、バケットによる一掴みで取り込む土砂が少なく、多くの余剰水を取りこんでしまう（図一五）。このことは土運船に余剰水を多く積込むこととなり、土運船運搬の効率

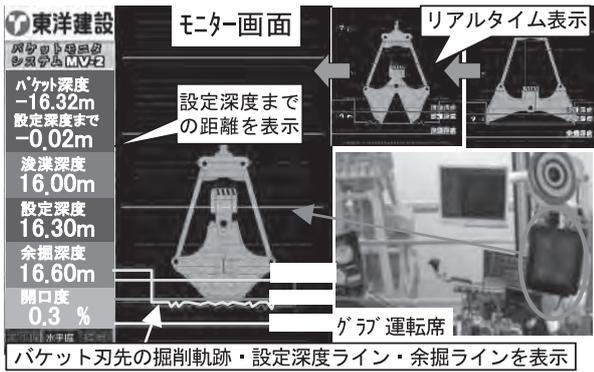


図-6 バケットモニター

用して可視化した「バケットモニター」を開発した(図-6)。本装置は、グラブバケットの上下及び開閉動作と設計深さ、施工深さ及び刃先軌跡が一目で分かるものである。このバケットモニターは多くのグラブ浚渫工事に導入し、オペレータがグラブバケットの停止深度を調整ながら掘削することで底面の余掘り低減に寄与した。しかし、施工位置により浚渫深度の変化する法面部分の施工には対応できなかったことから、法面を含む浚渫全範囲に対して、設計深度・管理深度と現在のバケット位置が容易に確認できるよう改良し、施工後のバケット刃先の軌跡を表示させ、設計深度との高さ関係を明確に表示することとした。これまでのグラブ浚渫施工管理システムでは、浚渫深度ごとに施工履歴を色分け表示していたため、設計浚渫深度が平面位置で変化する法面部では、掘り跡が適正かどうかの判断が難しかった。そこで、「不足」「適正」「過掘り」についてグラブバケットを降下させて土砂を掘んだ深度を1掴みごとに判断し、これを色分けし(不足:黄色, 適正:緑, 深掘り:赤)施工履歴として表示することとした。この色分け表示は任意に設定が可能であり、変更が可能である。また浚渫区域に近接する防波堤や地中の構造物も表示可能である。さらに新しい機能として浚渫の様子をワイヤーフレームの3次元のアニメーションとして表示する機能を追加した(図-

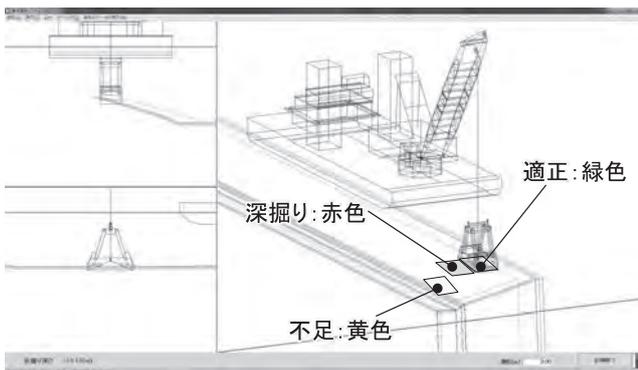


図-7 3D 浚渫施工管理システム (原型)

7)。これが「3D 浚渫施工管理システム」の原型である。本システムは神戸港ポートアイランド地区にて試験導入を行い、一定深度での水平掘削にて実用化した。

(2) 容量可変グラブバケット (NETIS 登録: No.CBK-160002-A)

通常、薄層浚渫を行う場合、グラブバケット内に多くの余剰水が混入し土砂とともに積んでいるため、土運船に土砂を満載できず、土砂運搬が非効率となっていた。また浚渫厚に応じた異なる容量のグラブバケットを浚渫船に搭載しておき、これを交換して浚渫を行うこともあるが、グラブバケットの交換には時間がかかる等の課題があった。そこでシェルカバーの外側端部をヒンジ構造とし、シェルカバーを上下させることで容量を変更できるように改良した(図-8, 9: 特開 2015-121022)。容量はレバースロック等簡易な道具で迅速に変更可能である。さらにシェル内には鋼製枠を設け、鋼製蓋を設置することでさらに容量を変更できる構造とした(図-10)。本グラブバケットは東京港中央防波堤外側地区高炉・泊地(-16m)浚渫

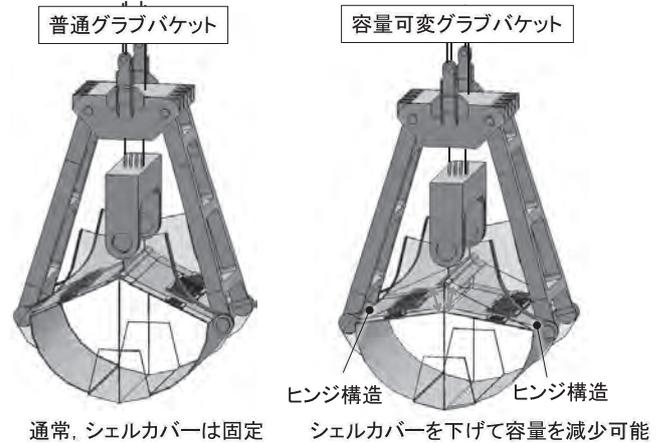


図-8 シェルカバーを上下することで容量を変更

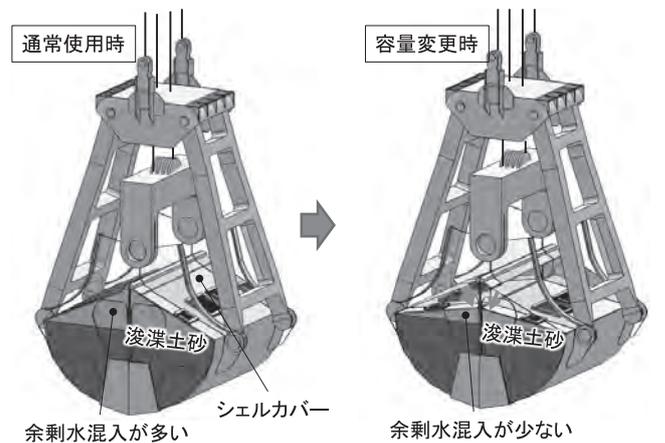


図-9 容量変更による余剰水の削減

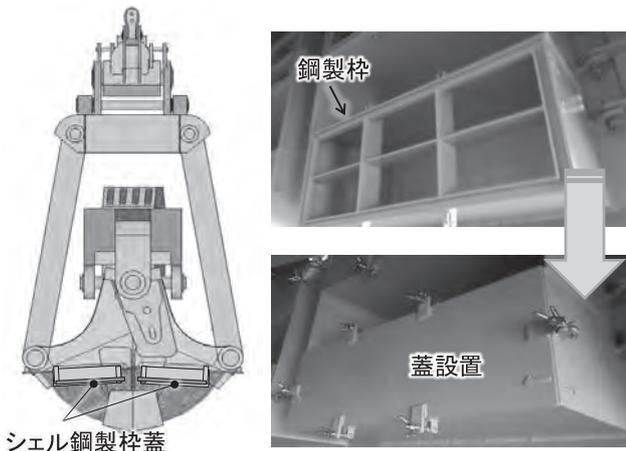


図-10 シェル内の鋼製枠及び蓋設置状況



図-11 容量可変グラブバケット実機

工事（その3）に導入し、運搬効率低下を抑制するとともに、濁水の発生を抑制した（図-11）。本工事ではシェルカバーの上下により 32 m³ と 24 m³ の切り替え、シェル内の鋼製枠への蓋設置により 19 m³ まで容量を減らせる構造とした。

(3) 3D グラブバケット

従来のグラブバケットは水平方向にしか掘削ができず、傾斜した法面部は階段状に掘削せざるを得なかった。このため法面部では深掘りとなっていた。そこで、グラブバケットの支持点位置をずらすことで掘削勾配を変化させることが可能な 3D グラブバケット（図-



図-12 3D グラブバケット実機

12) を開発した。本バケットは、水平も含め 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6 の 6 段階の勾配に設定可能であり、法面を精度良く効率的に掘ることができる。これにより、これまで階段状に複数回掘っていた法面部においてバケット幅を一掴みで斜めに掘れることから、掘む回数を減らすことができ、効率性が向上した（図-13）。本バケットは（2）で述べた容量可変機能も付加しており、標準は 25 m³ の容量でシェルカバーを下げることで 20 m³ に容量を減らせ、シェル内の鋼製枠に蓋を取り付けることで 15 m³ まで容量を減らすことができる。

(4) 3D グラブバケットの導入に伴う浚渫施工管理システムの改良

これまで開発した 3D 浚渫施工管理システムでは、掘り跡を水平にしか表示することができなかったが、3D グラブバケットの導入に伴い、勾配に合わせて掘り跡を表示して施工履歴として記録する機能を追加した（図-14）。事前に施工区域を三次元モデルとして入力しておき、GNSS により検出されるグラブバケットの平面位置での法面高さを即座に算定し、グラブバケットの停止深度として表示する（図-15）。オペレータは表示深度に従ってグラブバケットを停止させる。本システムは「広島港廿日市地区航路（-12 m）浚

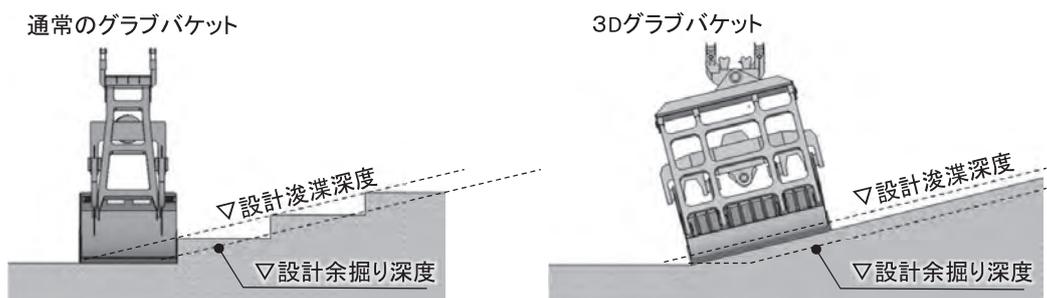
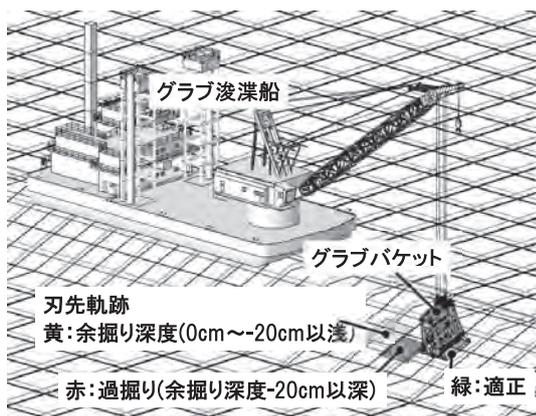
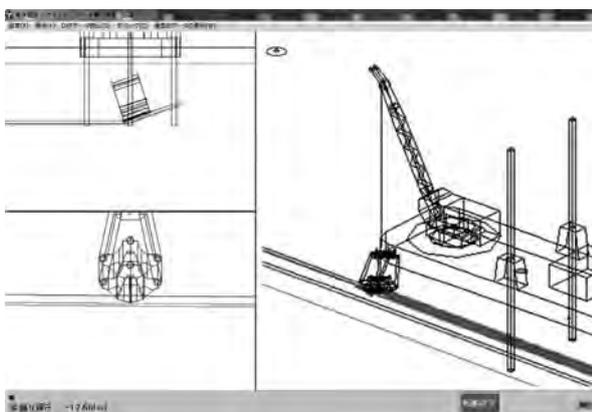


図-13 通常グラブバケットと 3D グラブバケットの比較



図一14 システム概要



図一15 実際の管理画面

渫工事」に導入し、法面部の掘削に活用した。本工事では深掘りを、『余掘り範囲内』であれば緑色，余掘り範囲から『20 cm 以内』の深掘りを黄色，『それ以上』の深掘りを赤色表示することとした。掘り跡は一掴みごとに色分け表示できるので，リアルタイムで深掘り傾向が判断できる。赤色が表示されると「20 cm 以上の深掘り」を示しているのので，深度を調整することで

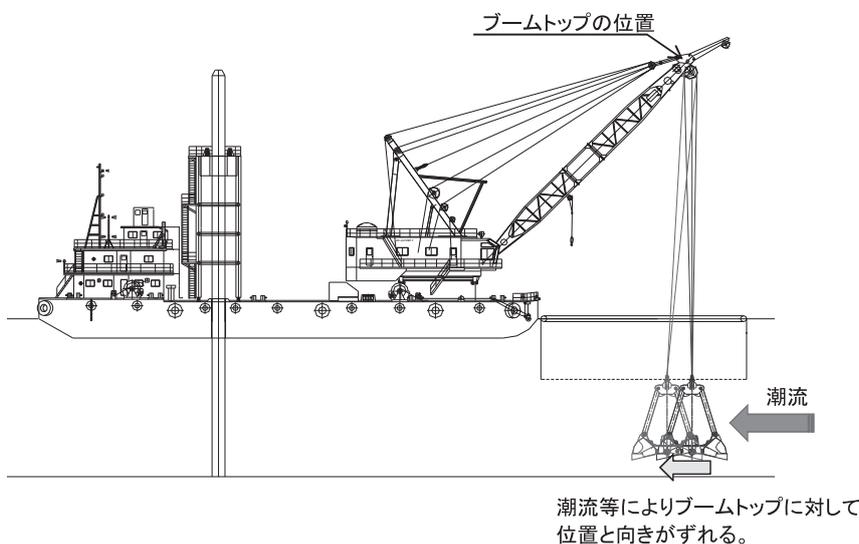
深掘りが抑制できる。これにより，ほとんどのエリアで適正な深度を保つことができ，法面の総延長，約 1.1 km を浚渫し，ほぼ適正な深度を保つことができた。

3. 今後の改善点

これまでに述べた技術開発により，バケット位置，深度，勾配に合わせた浚渫施工管理システムを構築することができた。しかし，Grabバケットの平面位置は，ブームトップの位置として施工管理システムに反映されているが，潮流が速い海域ではGrabバケットが流され，ブームトップの位置と実際のバケットの位置にズレが生じ（図一16），掘り残しが生じる恐れがある。また従来のシステムではバケットの向きはブームの向きと同方向と判断されており，バケットが回転した際の向きを反映できない。超音波による水中位置計測装置では，Grabバケットの昇降時に生じる気泡の影響による計測の困難さや1日に百回程度も行われるGrabバケットの昇降に対しセンサーの耐久性が問



図一17 レーザー距離計



図一16 Grabバケットの変位

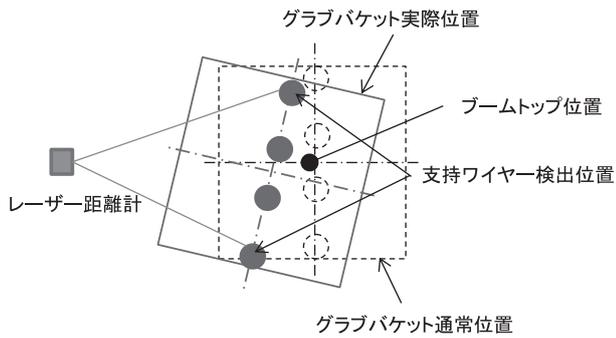


図-18 グラブバケットの位置と向きを補正

題となる。そこで支持ワイヤーの位置を計測し、バケット停止深度での変位と向きを算定してシステム画面に反映させることとした。支持ワイヤーの位置の検出は起重機部に取り付けたレーザー距離計（図-17）にて行った。ブームトップとレーザー距離計設置高さとはバケット停止深度から変位量と向きを算定し（図-18）、システムに反映することとした（特開 2015-187380）。本技術はグラブ浚渫船に装備して 3D 浚渫施工管理システムでの動作を確認済みである。また現在の 3D 浚渫施工管理システムはワイヤーフレームでの表示となっているが、リアルなアニメーション化により「作業の見える化」を発展させ、今後の施工に活用していきたい。

4. おわりに

陸上土工では、ICT を活用したマシンガイダンスやマシンコントロールがすでに広く導入されており、施工の生産性向上や省力化が図られている。港湾工事においてもマルチビームを用いた深淺測量や 3 次元データを用いた出来形管理の運用が進められており、今後日常の施工においても、ICT の活用がさらに図られると考えられる。そのため、施工管理システムの改良により作業の見える化を進めるとともに施工管理の効率化、施工精度の向上を進め、さらなる生産性の向上を図っていきたいと考えている。

JICMA

【筆者紹介】

杉浦 仁久（すぎうら ひとひさ）
東洋建設㈱ 土木事業本部技術営業部
部長

