

3次元測量データを活用した ICT建設機械による河床掘削について

上野 祐生¹・岡本 麻里²

¹大阪府都市整備部茨木土木事務所建設課 (〒567-0034茨木市中穂積一丁目3番43号)

²大阪府都市整備部西大阪治水事務所神崎川出張所 (〒532-0033大阪市淀川区新高五丁目18番25号)

本府では令和3年度から、3次元深浅測量など一部ICTを活用した河床掘削工事を実施してきた。出来形管理についても3次元深浅測量を実施することとしていたが、一級河川神崎川の河床材料はシルト、粘土が大半を占め、施工直後は浮泥が滞留することから音響探査による深浅測量が適応しづらいことがこれまでの施工状況から分かっていた。令和6年度には新たに、3次元深浅測量データを活用したICT建設機械による河床掘削を実施した。施工履歴による出来形管理を行い、その知見を得たので有用性、技術的課題と今後の発展について述べる。

キーワード ICT, 河床掘削, 浚渫, 3次元深浅測量, 泥質河床

1. 神崎川について¹⁾

神崎川は、摂津市の一津屋で淀川より分派し、安威川をはじめ糸田川、高川、天竺川を合流しながら西へ流下し、右支川猪名川を合流して南下すると共に、左門渡川、中島川を分派しつつ大阪湾へ注ぐ、流路延長が18.6kmの一級河川である。



図-1 神崎川の位置

(1) 地形・地質

地形は、上流の山地部は北摂山地、丘陵部は北大阪丘陵、平野部は大阪平野で構成されている。北摂山地は急峻な斜面が発達しているが、山頂部には定高性がみられ、

標高は700m以下で、全体としては高原状の地形的特徴を示している。上流の山間部では、砂岩・泥岩の互層、泥岩及び花崗岩質岩石等がみられ、低地部には未固結堆積物の砂や泥が広く分布している。西部の丘陵部の地質は、泥・砂・礫の互層となっている。

(2) 河川特性

全区間にわたり河床勾配が水平から1/6000程度と緩く、潮位の影響を受けやすい河川である。周辺は古くから開発が進み、市街地が形成されている。

a) 水質

公共水域の水質測定地点における平成23年度から27年度までの5年間のBOD75%値は3mg/L以下であり、B類型の環境基準を満足する良好な水質で推移している。

b) 底質

ダイオキシン類等による底質の汚染が確認されており、対策を行う必要があるほか、油流出などの水質事故が多発していることから、その対策も必要である。

(3) 治水の現状と課題

昭和9年の室戸台風と昭和25年のジェーン台風、昭和36年の第2室戸台風による高潮の被害を受けたため、昭和期から高潮対策を中心に堤防の整備が進められてきた。

昭和36年から神崎川改修事業が開始され、昭和42年7月豪雨（北摂豪雨）を契機に神崎川基本計画（昭和42年11月）が策定され改修が進められてきた。多数架けられている橋梁の橋脚への影響を考慮して神崎川全体計画（平成9年11月）が策定され、加島基準点での計画高水

流量を1,300m³/sとする改修が行われている。しかし、一部区間については、時間雨量50ミリ程度の降雨による洪水を安全に流下させることが出来ない区間がある。

a) 河道改修

現在、加島基準点（猪名川合流点）上流から新三国橋下流の2.7km区間において河床掘削を行っている。また、河床掘削に伴い環境基準を超過するダイオキシン類などが発見された場合には、適宜処理方法を検討し対処している。

2. 3次元深浅測量について²⁾

3次元深浅測量とは、船やボートにソナー（音響測深機）を取り付け、音波によって水中の地形を面的に測量することにより、水域の水底地形を3次的に計測する技術である。従来のレッド測量やシングルビーム測量に代わり、より高密度かつ高精度な地形情報を取得することが可能となっており、港湾、河川、湖沼、ダムなどの管理や整備、防災計画、環境モニタリングにおいて重要な役割を果たしている。

(1) 計測の原理

深浅測量は、扇状の音波ビームによって、ソナーから水底までの距離を計測している。この計測データに「水面の標高」や「水面からボートに取り付けたソナーまでの距離」を反映する補正を行い、正確な「水深」を取得している。また、水深データとGNSS測量で計測した位置情報（XY値）を合わせ、3次元測量データとしている。

(2) 使用機械

本府で実施した3次元深浅測量においては、マルチビームソナー搭載無人ボートを利用しており、遠隔操作、または有人ボートで牽引することで、効率的な計測が可能である。



図-2 マルチビームソナー搭載無人ボート

(3) 従来手法の特徴と課題

従来の手法による深浅測量について特徴と課題を簡単に併記する。

a) レッド測量

1点ずつ紐の先端に重りを付けて水中に垂らし、河床に到達した時点での長さをもって、水面から水底までの深さを測定している。流速の速い箇所では誤差が大きくなる可能性がある。

b) シングルビーム測量

1点ずつ船やボートに取り付けられたソナーから垂直方向に音波を発射し、戻ってくるまでの時間を測定して水深を取得している。測定点が船の動きに依存するため、測定密度が不均一になる可能性がある。

3. 3次元深浅測量の利点と課題について

本府では令和3年度から起工及び竣工測量にて3次元深浅測量を活用してきた。ICT建設機械による施工と組み合わせることで3次元測量データを最大限活用できるが、従来の建設機械で施工する場合においても次に示す利点、課題があることが分かっている。

(1) 起工測量における利点と課題

起工測量においては、従来手法によって計測する浚渫土砂量と3次元測量データから得られる浚渫土砂量に若干の差があることが分かっている。これは従来の深浅測量によって得られる河床の高さがピンポイントであること、平均断面法による体積計算の中に誤差を落とし込んでいることが原因である。

a) 3次元深浅測量の利点

従来手法と比べてより正確な施工数量を把握することができ、滑らかな河床面を確認できるので、局所的な凹凸がある場合でも地形を正確に把握できる。

b) 3次元深浅測量の課題

取得したデータの解析、平面データの作成、土砂量の算定に従来手法よりも時間を要する。GNSSを活用していることから、橋梁下等使用の制限がかかる箇所がある。また、技術の醸成に資するため、通常積算している現場管理費に加えて先行投資的な工事費の積上げがあり、従前と比較して高額になる。

(2) 竣工測量における課題

従前から上流からの土砂流入による出来形不足を考慮し、施工直後に出来形確認を実施してきた。施工直後は底質がまき上がり浮泥層が厚くなるため、ICT浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域におけるマルチビーム測深の効率化に関する検討³⁾でも述べられているように、音波が浮泥層上面で反射され浅く計測されてしまう場合がある。

（図-3）

本府ではレッド測量による出来形確認も平行して実施しており、レッド測量においては出来形管理基準内であることを確認している。しかし、図-4に示すようにレッド測量と3次元深浅測量には概ね200mmの差が生じており、出来形管理基準（+200mm以下）を満たさなくなるので、神崎川の竣工測量においては3次元深浅測量と併せて低周波のシングルビーム測量を実施し補完する等の工夫が必要になることが分かっている。

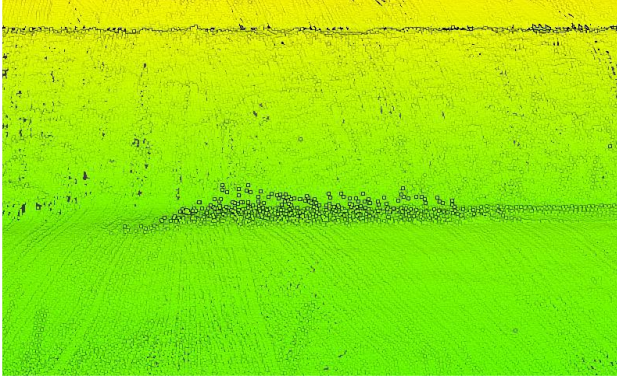


図-3 浮泥層の計測状況

表-1 竣工時のレッド測量と3次元深浅測量結果

事後レッド測量結果

	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	測点6	測点7	測点8	測点9	測点10
no.24+79	-3510	-3510	-3510	-3610	-3610	-3610	-3610	-3610	-3710	-3710
no.24+87	-3380	-3480	-3580	-3580	-3580	-3580	-3580	-3580	-3580	-3480
no.24+90	-3390	-3490	-3590	-3490	-3490	-3490	-3490	-3490	-3490	-3390
no.25+00	-3330	-3630	-3730	-3630	-3430	-3430	-3530	-3530	-3530	-3530
no.25+10	-3430	-3530	-3630	-3530	-3430	-3530	-3530	-3530	-3530	-3430
no.25+20	-3410	-3510	-3410	-3510	-3610	-3510	-3510	-3610	-3610	-3510

事後マルチ測量結果

	測点1	測点2	測点3	測点4	測点5	測点6	測点7	測点8	測点9	測点10
no.24+79	-3260	-3350	-3420	-3200	-3260	-3500	-3450	-3620	-3980	-3950
no.24+87	-3250	-3090	-3500	-3060	-3180	-3220	-3020	-3690	-3390	-3190
no.24+90	-3170	-3130	-3480	-3280	-2910	-3160	-3400	-3160	-3070	-2920
no.25+00	-3190	-3020	-3390	-3550	-2910	-3310	-3350	-3170	-3280	-3890
no.25+10	-3090	-3110	-3150	-3450	-3650	-3440	-3560	-3180	-3270	-3160
no.25+20	-3020	-3060	-3530	-3150	-3410	-3540	-3540	-3200	-3520	-3500

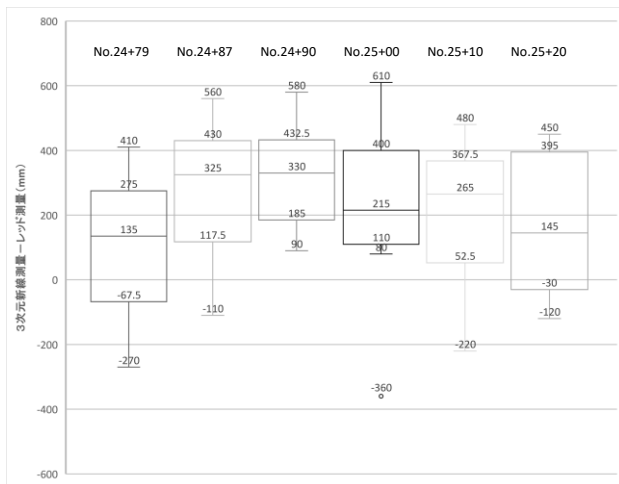


図-4 レッド測量と3次元深浅測量の差分箱ひげ図

4. ICT建設機械について

本施工で使用したICT浚渫船は神崎川の事情を考慮した特殊な仕様であり、一般的にICT浚渫工で利用されるバックホウ浚渫船と異なるため簡単に紹介する。

(1) 汚濁防止柵の使用

神崎川ではダイオキシン類等による底質の汚染が確認されているため、浚渫による拡散を防止するため汚濁防止柵を使用して河床掘削を行っている。このためバケットの可動範囲が限定され施工性が著しく低下する。

(2) 油圧クラムバケット

図-5に示すように、バックホウによる河床掘削では、ブーム・アーム・バケットを浚渫船方向に動かすため、掘削した土砂が浚渫船下に堆積し、汚染された土砂が残置する可能性がある。先述の汚濁防止柵によって可動範囲が限定されるため、より土砂が残置されやすい状態にある。一方で、図-6に示すように油圧クラムバケット（油圧クラムシェル）は、ブームの垂直方向に配置されたバケットで真下に向かって掘削を行うため、汚染された土砂を逃すことなく掘削することが可能であり、汚濁防止柵による可動範囲の制限についても影響を受けずらい。

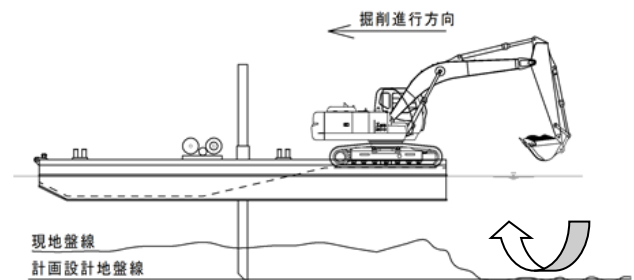


図-5 バックホウによる浚渫

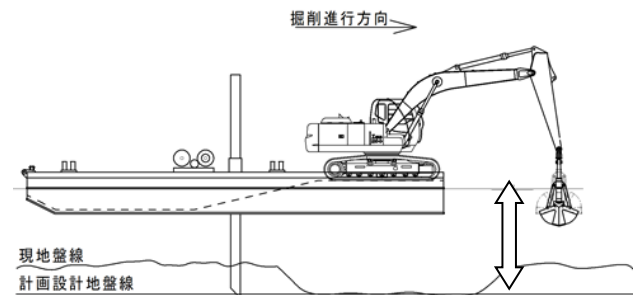


図-6 油圧クラムバケットによる浚渫

(3) 各種センサ類の概要

a) GNSS受信機

ICT建設機械の本体位置三次元座標と本体向き横軸に対する回転角を把握する。

b) コントロールユニット兼車体傾斜センサ

設計データとバケット位置との差異等を把握する。

c) 姿勢センサ

作業装置支点角度を把握する.

d) PC, モニター, ガイダンスソフト

設計とバケット位置との差異、現況データの表示等施工履歴データの蓄積とオペレータの作業補助を行う。

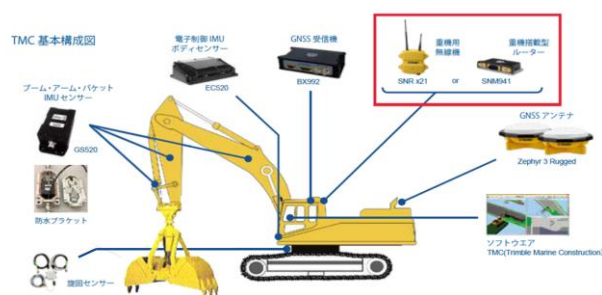


図-7 各種センサ類

5. 施工履歴による出来形管理の有用性

ICT浚渫船を導入し施工履歴による出来形管理を行うことで、次のような有用性があることが分かった。

(1) 不可視部の出来形確認

出来形確認においてはレッド測量により確認していたが、神崎川においては潮位を把握し掘削した高さに換算する必要があるため非常に煩雑であるとともに、都度重機の作業半径に立ち入る必要があり、測量の都度、安全確保のための工程が発生していた。

ICT浚渫船を導入すると、計画河床と油圧クラムバケットの座標情報を参照して施工履歴を蓄積するため潮位の影響を受けずに出来形確認ができ、レッド測量が不要なため安全確保と測量の工程を省略できるので工期の短縮にも期待できる。

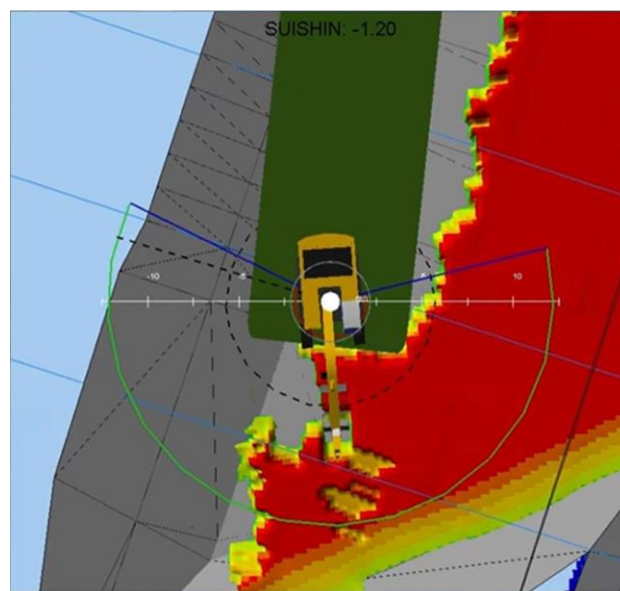


図-8 施工中の出来形確認

(2) リアルタイムの進捗管理

従来は縦断面図、横断面図をもとに全体の掘削範囲、施工済み箇所と未実施箇所を想像し、潮位の影響を考慮しながら掘削していた。しかし、バックホウ搭載PCの画面上に図-8に示すような掘削エリアを表示しているのでイメージしやすく、図-9に示すような画面に表示された現地盤、バケットの開閉位置、計画河床、余掘り線の視覚的な確認や、油圧クラムバケットの座標情報を用いて掘削状況のリアルタイム表示が可能となったため、熟練技術を有しないオペレータでも作業が可能となった。加えて、オペレーターが確認している画面を現場事務所等でも閲覧することが出来るため、掘削状況の遠隔確認も可能となった。

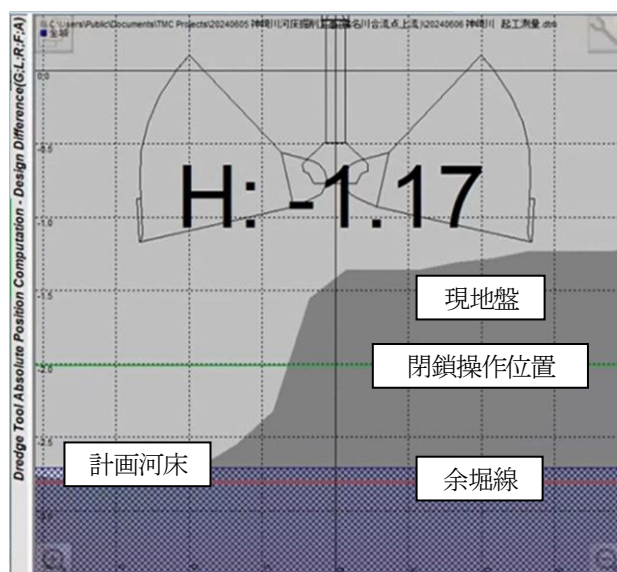


図-9 クラムバケットのリアルタイム表示

(3) 出来形確認の立会の削減

ICT浚渫船の施工履歴による出来形管理を実施する以前は、大雨等により掘削完了箇所を上流からの土砂が流入して堆積する可能性を考慮し、掘削が完了した箇所ごとに、随時施工業者による測量を実施した後に検査官による出来形確認を行っていたが、随時測量を行う必要がなくなり、施工完了後の検査のみで足りるようになった。

(4) 出来形管理図表の作成

従来は発注時の図表をもとに出来形管理基準に基づいて縦断面図、横断面図を作成し、平均断面法を用いて掘削土砂量を計算、整理していた。しかし、3次元測量をもとに掘削土砂量を算出しており、施工履歴をもとに図-10のような出来形合否判定総括表を作りまとめ、測定項目が規格値内に収まっていることを確認することで足りるため、図表の作成、計算に係る手間が削減できるのに加え、出来形の確認手間も削減することができる。

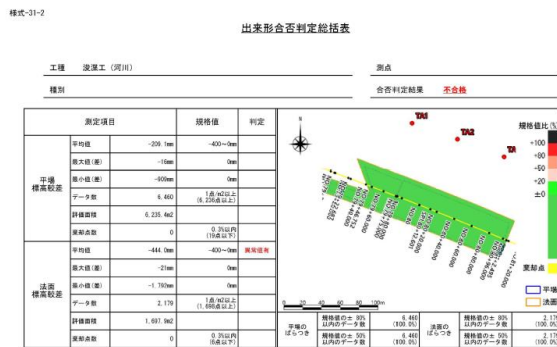


図-10 出来形合否判定総括表

6. ICT建設機械の技術的課題

ICT建設機械による河床掘削を実施したことで顕在化した課題を以下に整理する。

(1) データのリアルタイム通信

Wi-FiによりGPSの位置補正データをリアルタイムで取得、更新する必要があるが、基地局や橋梁などの構造物との離隔の関係でデータの送受信に不具合があると作業ができない。

(2) センサ、PCの不具合

不具合が発生すると原因究明及び解消に時間を要する上に作業を中断する必要があるため、工程管理が煩雑になる。

(3) 施工履歴の取得方法

バックホウによる河床掘削と異なり、油圧クラムバケットによる掘削の際には、レバーによるバケットの開閉操作に加えて、ボタン操作により開閉動作の履歴を取得

する必要がある。このため、ICT建設機械導入初期はボタンの押し忘れによる施工履歴の欠測があった。

(4) 掘削（開閉）方向の反映

油圧クラムバケットを360度回転させることができるので、開閉方向を自由に制御できるが、バックホウによる施工履歴を取得するシステムを改修して開発した現行のシステムでは画面上の表示及び施工履歴の取得にバケットの方向を反映することができない。最終的に施工履歴を1mメッシュで判定するため影響は軽微であるが、実際の掘削方向と施工履歴に差がある。

7. 今後の発展について

ICT建設機械による河床掘削は、特に神崎川のように水深が深く、潮の干満の影響を受け、常に土砂が移動している河川においては、出来形確認の立会の削減や不可視部の出来形が容易に確認できること、リアルタイムで進捗状況を確認、管理できるので熟練技術を有しないオペレータでも作業が可能になるなど、有用であることが分かった。

一方で、事例が少なくWi-Fiによるデータ通信やセンサ、PCの不具合について原因究明、解消に時間を要したり、施工履歴の取得方法がボタン操作によるなどの技術的な課題があり、今後も改善していく必要がある。

今後、ICT建設機械による河床掘削が一般化し、事例の蓄積による技術的な課題の克服を進めるために、以下のような発展が必要である。

(1) ICT建設機械の規格の拡充

神崎川に合わせたICT浚渫船の油圧クラムシェルはブーム長7.0m、アーム長3.4m、クラムシェルバケット1.4m³と大型である。例えば大阪平野には神崎川と比べると川幅、水深の小さな河川が多数あり、小型な機械であれば現場に適応できる。ICT建設機械の規格が拡充されれば適応できる施工箇所が増え、事例の蓄積を加速することができる。

(2) 河床掘削の自動化

ICT建設機械を利用すればオペレーターはガイダンスに従って河床を掘削できるので、河床掘削に係る技術の習熟に要する時間を削減できるが、ICT建設機械を無人化し河床掘削を自動化できると更にオペレーターの育成にかかる時間、費用を縮小することができる。

また、自動化することで施工に必要な人員を削減することができるので、人手不足の解消や河床掘削に係る工事費の圧縮にも対応できる。

謝辞：本論文の作成にあたり，施工に基づく資料の収集や図表の作成については野田興業株式会社を始め関係各社に様々なご協力をいただいたので，ここに厚く御礼を申し上げます．

参考文献

- 1) 大阪府，淀川水系神崎川ブロック河川整備計画，2018
- 2) 株式会社ワキタ CSS 技術開発，マルチビーム深淺測量，<https://service.css24.jp/column/1637/>，2023.
- 3) 坂田憲治，井山繁．ICT 浚渫工の導入に伴う浮泥堆積域におけるマルチビーム測探の効率化に関する検討．国土技術政策総合研究所資料．No.1079，2019