河川ポンプ浚渫における建設ＩＣＴの活用

馬籠　恭平[1]

[1]中部地方整備局　木曽川下流河川事務所　工務課　（〒511-0002 三重県桑名市大字福島465）.

建設業における人手不足は今後さらに加速化することが予想され，公共工事における生産性向上と属人的なスキルに頼らない体制の構築は急務である．このため国交省はICTの活用を推進しているものの，ポンプ船を用いて行う浚渫工事では未だICTの活用が進んでいない．そこで，木曽川下流河川事務所発注の工事でGNSSを用いた測位機器と3D設計データを用いた施工管理システムの活用を試行したところ，生産性を向上させることができた．

キーワード　ICT，i-Construction，生産性向上，しゅんせつ工事

1. 背景

(1)　建設業における省力化・省人化の必要性

1990年代以来，現在に至るまで建設投資額は減少の一途をたどっているが，建設業の就業者数も減少していた．平成4年度に84兆円であった建設投資は平成27年度には50兆円を下回りおよそ4割減であったのに対し，平成9年に685万人を数えた建設就業者数は平成27年度にはおよそ500万人で3割弱の減少であった[1)]ため，2010年代後半に至るまで建設産業において労働力不足が目立つことはなかった．

しかし，**図1**で示すとおり建設産業における高齢化は進行しており[1)]，特に今後10年ほどの間で急速な人手不足状態に陥ることが予想でき，公共工事における生産性向上と属人的なスキルに頼らない体制の構築は急務である．

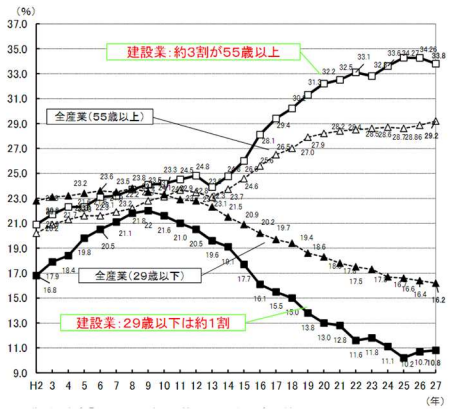

図１　29 歳以下及び 55 歳以上の建設就業者の割合推移 [1)]

(2)　中部管内におけるICT活用の先行事例

これに対応すべく中部管内でも新技術を活用した業務・工事が行われている．設計業務の例を挙げると，令和２年度19号薮原地区道路詳細設計業務（飯田国道事務所）では，CIMを用いた設計が行われ，i-Construction型工事の実施が可能になっただけでなく，**図2**のように3Dで完成パースが作成された[2)]ことで，地元の理解もスムーズになされるなどの効果があった．土工については，すでにマシンガイダンス機能（以下MG）・マシンコントロール機能（以下MC）を備えたICT建機を用いた工事が各地で行われている[3)]．

河川における浚渫工事においても，バックホウを用いた浚渫ではICT化が進んでいる．たとえば，令和2年度庄内川大蟷螂地区しゅんせつ工事（庄内川河川事務所）では，3次元MGバックホウを使用した．その結果，作業精度が作業員の技量に左右されなくなったほか，掘削深度確認作業が短縮されるという効果があった．

(3)　ポンプ船浚渫工のICT化について

このように様々な工事においてICT化が進む中，ポン

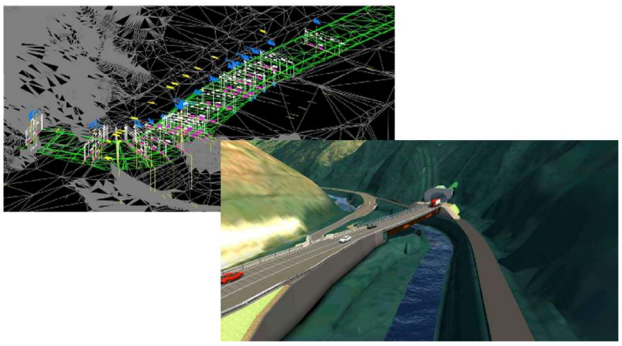

図２　道路設計業務における成果品 CIM データと，それを元にした 3D パース [2)]

プ船を用いた浚渫工事においては未だにICT化がなされていなかった．浚渫工事における工法選択においては，土質や河川環境の状況によって工法を選択するため，必ずしもICT施工技術が確立されているバックホウ浚渫で施工できるとは限らない．そこで，ポンプ船と空気圧送を用いた浚渫においてもICTを活用する技術を開発することが，課題となっていた．

そこで，木曽川下流河川事務所工務課発注の令和元年度　長良川背割堤上河道しゅんせつ工事（受注者:みらい建設工業）（以下，本工事）において，受注者希望によって全国初となるポンプ船を用いたICT浚渫工を試行した結果，生産性の向上が見られたため、報告する．

2. 浚渫工事各段階へのICTの導入

本工事は，図3に示す三重県桑名市内の長良川下流部の2カ所（福原工区・下坂手工区）において，ポンプ船を用いて河道しゅんせつを行う工事である．

本工事においては，浚渫工における起工測量・浚渫工・出来形管理のすべての段階に渡ってICT化を試行している．

(1)　起工測量

従来の浚渫工では，まず船舶に作業員が乗船して直接水準測量を行い，それを元に断面図を作成して設計図面を作成していた．これに対し本工事では，ナローマルチビーム（以下，NMB）搭載のラジコンボートにより，陸上から遠隔操作で測量を行った．取得する点密度は，0.25m^{2}あたり1点以上とした． NMBの平面精度は100mm程度とされており，鉛直精度は30mm程度となり，問題がないことが確認できた．その後，NMBでの測量成果をソフトウェアを用いて自動で3Dデータに起こし，ICT浚渫工に用いることが出来るよう加工した．

図 3　長良川福原背割堤上河道しゅんせつ工事　施工位置図

(2)　浚渫プロセス

ポンプ船による河道浚渫工事は，一般的に**図4**に示すように，以下のプロセスで行われる．

1. 船体後部のスパットを水底に刺して固定する．
2. ラダーを下ろしてポンプで河床の土砂を吸引，排砂管によって沿岸の排砂池へ排出
3. 土砂を排出しながらスパットを軸に船体を回転させ，角度方向にラダー先端を移動
4. ラダーの先端の可動範囲に達したら，スパットを打ち替えて船体を前進させる

このプロセス自体は本工事においても従来と同様に用いられたが，本工事では，船体にGNSSアンテナと本船傾斜計，そしてGPS方位計を備え，ラダー部にラダー傾斜計を備えて，つねにラダー先端部の世界測地系における座標を把握することが出来るようにした．（**図5**）

(3)　施工管理

従来の浚渫船のUIにおいては，船体の位置は平面図上で表されていたものの，いまラダーがどこにあって，あとどれくらい掘らなければいけないのか，という情報はなく，作業員の経験と勘に頼らざるを得ない部分があり，

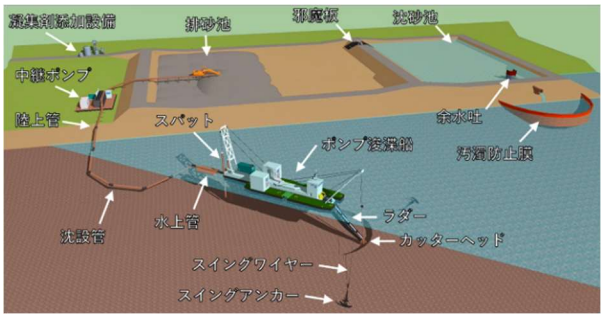

図 4　　ポンプ浚渫工　模式図

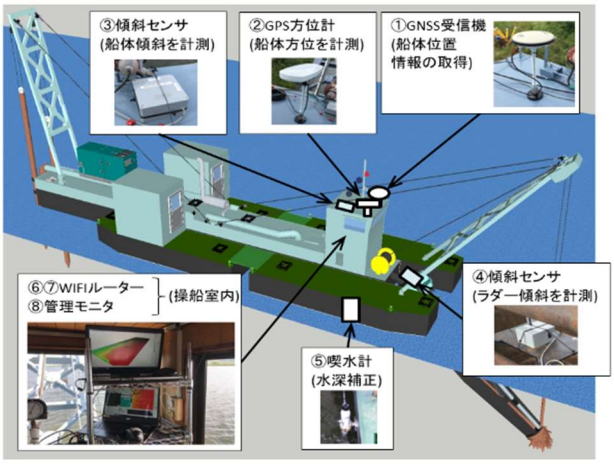

図 5　　ポンプ浚渫船　センサー配置

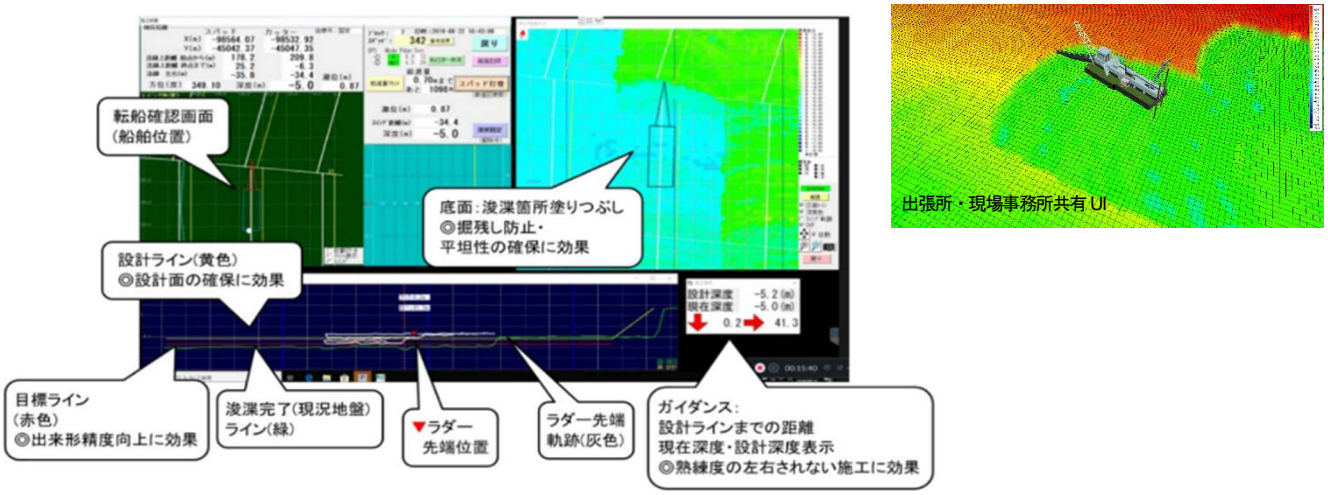

図６　　ポンプ浚渫船施工管理システム UI

技術の属人化と掘りすぎ・掘らなさすぎの多発による余計な手戻りを生んでいた．

この問題を解決するため，ICTを活用した本工事では，MG機能を備えたポンプ浚渫船施工管理システム（以下，本システム）を導入している．本システムの特徴は，船体やラダー部の計測機器から得られた位置・角度等の数値情報と起工測量時に作成した3Dモデルのデータを組み合わせ，平面図・横断図，また3Dモデル上に河床の状況を表示するという点にある．本システムでは，施工完了状態と現在の状況の差分をとって，あと何m深く掘ればよいのか・あと何mどの方向に移動して掘りに行けばいいのか，一目でわかるUIが採用されている．（図6）このシステムにおいては，施工中のラダーの軌跡はすべて施工履歴として蓄積されており，後述する出来形管理に用いることができるようになっている．

(4)　出来形管理

従来，出来形管理は，起工測量と同様に直接測量によって行っていた．起工測量にNMBを用い，施工管理システムに施工履歴が蓄積されているという状況の中で，本工事で用いることが出来る出来形管理の手段は，①起工測量と同様にNMBを用いた出来形測量，②施工履歴データの蓄積による計算，の2通りがあった．②は，河床内に1m間隔においた格子点をラダー部が通過したかどうかを施工履歴データと照らし合わせて判定し，それに基づいて最終的な出来形を，この数値より近似的に算出する方法である．

現在の基準においては，施工履歴データを用いた出来形測量は，陸上でのバックホウ土工においては認められているものの，本工事のような浚渫工では認められていない．そのため，NMBを用いた出来型管理方法が用いられたが，ICT施工の試行という観点から，施工履歴データを用いた出来形の計算も行った．なおNMBには，出水等による河床面の急な変化に対応できず，費用も高額であるという弱点があり，突発的な出水の際にはNMBを用いることが出来ないため，シングルビームとレッド測深を用いた従来式の測量を行うことも想定した．

3.　生産性向上の結果

ICTを用いない従来施工で同規模・同条件の浚渫を行った場合を仮定して施工に関する生産性（人・日）を試算し，本工事の実績と比較することで生産性向上の検証を行った．

(1)　起工測量

起工測量にGNSSを活用したNMBを用いたところ，有人船舶の使用と断面図作成の手間が省かれ，従来工法で8.5人日かかっていたのが6.3人日と，生産性の向上ができた．また，直接測量中の転落事故等のリスクも排除することができ，安全性も向上した．

(2)　施工管理

浚渫本工事自体の施工方法は従来と変わっていないが，本システムを用いたため，起工測量時の3D測量データとラダー先端位置の軌跡から機械的に土量を計算できたり，日々の進捗管理の際に測量を行う必要がなくなった．このため，施工管理に係る人工は従来52.6人日だったのに対し0.4人日と，大幅に減少した．本システムのUIは浚渫船だけではなく，現場事務所や出張所にも共有されており，職員が遠隔で施工の様子を把握することができるという効果もあった．

(3)　出来形管理

出来形管理に関しても，NMBによって人工の削減ができた．起工測量に係る人工から設計データ作成に係る部分を除いて出来形管理に係る人工を求めると，従来工法で8.0人日となるところ，4.3人日となった．

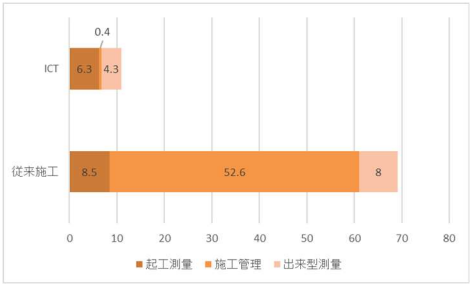

図７　ICT 浚渫工と従来施工の生産性（人・日）

さて，下坂手工区において，NMBによって算出された出来形と設計値の差と，施工履歴データを用いた計算によって算出された出来形との差を比較したのが**表8**になる．

これによると，双方とも規格値をすべて満足していたが，施工履歴データを用いて計算した出来形との差の最大値は，NMBで計測したものに比べ400mm大きな数字となっていた．一般的なNMBの測定誤差が±100mm程度であることに比較して，施工履歴データで出来形を計算した場合，大きな差が生じていることがわかった．これは，施工履歴の取得密度が不足し，起工測量時のデータが残ったためと考えられる．

(4)　発注者視点での工事管理

従来，浚渫工事の検査は，あらかじめ測点を設定して，その測点において測深ロープを用いて水深を測定し，規格値を満足しているかどうかを検査していた．受注者が検査時に提出するデータが面的な測深結果ではないため，発注者においても現場で多くの測点において測深する必要があった．しかし，本試行においては出来形測量の結果としてNMBによる面的な測深データが得られたため，測点の数を削減することが出来た．

4.　本試行における効果と今後の展望

(1)　浚渫工へのICT導入効果について考察

浚渫工事全体の延べ人工は，従来69.1人日だったのが，11.0人日まで短縮された．これにより，ICT施工をポンプ船浚渫工で行うことで，同じ工期で施工するために必要な作業員の人数を削減することができることがわかった．それだけでなく，MGにより，作業員の経験や勘にたよらない施工ができるようになり，経験を持った作業員が退職しても効率・精度の低下を防げることがわかった．

(2)　ICT施工における精度上の課題

工法上の精度と，出来形測量上の精度の双方で課題が残る．

表８　下坂手工区における浚渫工の誤差測定値(mm)

	規格	NMB	施工履歴
平均値	＜0	-485.7	-669.1
最大値	＜+400	-1	399
最小値	＞-1200	-1199	-1197

まず，工法上の精度であるが，NMBを用いた出来形誤差の最小値が，規格値の下限に近いことから，設計よりも土砂を多く掘りがちであることがわかる．測位や船体搭載機器間での通信にタイムラグが生じ，本システムのUIに反映されている状況と実際の河床の状況に差異が生じているためであると推察でき，これは5G等の技術を用いたさらなる高速通信と，船体搭載機器の処理能力向上によって解決の余地がある．

そして，出来形測量上の精度について，NMBに関しては運用上問題のない精度が確立されているが，施工履歴データの活用に関しては現段階では難しいことがわかった．掘削量判定に用いる格子点が1m間隔と粗いために，初回掘削（粗堀り）の際に履歴として残った施工記録が2回目以降の細かい掘削の際に更新されないなどの理由で，施工履歴データと実際の出来形に差ができていると考えられる．格子点間隔を密にして，出来形との差の少ない施工履歴データが得られるようになれば，この点は解決し，出来形管理に施工履歴データを利用できるようになることが推測できる．そうすれば，さらなる効率化が望め，急な出水に弱いNMBの弱点を気にする必要もなくなる．

(3)　発注者視点から見る効率化

浚渫工事のICT化は，本システムのUIによりリモートでリアルタイムで監督業務が行われるようになり，NMBを用いたことで検査の際の測深の手間が削減されることで発注者の業務量削減にもつながることがわかった。基準の改定により，提出された出来形測量の結果によって一切現地での測深をせずに検査が行えるようになれば，さらに業務量が減り，発注者の働き方改革にもつながる希望が持てる。しかしそのためには，測量技術の精度向上による信頼性の獲得が必須であり，課題となっている．

(4)　さらなる無人化施工に向けた展望

本システムの導入によって，船上作業員のいわゆる「経験とカン」に頼ることなく，設計通りの範囲・深度で掘削を行うことが出来るようになった．しかし，このシステムを以てしてもいまだに船に人が乗り込み，人が操作する必要があるという課題は残っている．MC機能の付加によって操船や掘削装置の操作を自動化すること

ができれば，船上に人員がいなくてもよくなり，さらなる必要人工の削減につながると考えられる．したがって，今後の展望として浚渫船のMC技術の開発が挙げられる．

謝辞：本稿を執筆するにあたり，受注者及び工事を管轄した桑名出張所には，情報提供や助言等多大なご協力をいただきました．ここに感謝いたします．

参考文献

1) 国土交通省 i-Construction 委員会：i-Construction 委員会　報告書概要資料
2) オリエンタルコンサルタンツ中部支社：令和 2 年度 19 号藪原地区道路詳細設計業務　報告書
3) i-Construction 中部サポートセンター：ICT 活用工事実施中リスト