

ICT河川浚渫工事に関する出来形管理要領の適用性検証

小塚 清・岡島朝治・森川博邦

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の抜本的な生産性向上を図るi-Constructionの施策として、国土交通省発注工事の施工プロセスの各段階においてICTを全面的に活用する「ICT活用工事」を平成28年度より導入している。対象工種は、平成28年度の土工をはじめとし、平成29年度には、舗装工事、浚渫工（港湾工事）、平成30年度には、河川浚渫工、令和元年度には、地盤改良工、法面工等に順次拡大され、各工種や各技術に対応した出来形管理要領（案）が発出されている。これらの要領の多くでは、各工種に見合った計測技術を用いて取得した3次元点群データを活用し、出来形管理項目として、従来の「管理断面における基準高、幅計測」に代えて、「面管理」の概念が導入されている。

国土技術政策総合研究所においては、出来形管理要領（案）の作成を支援するとともに、要領策定後、実施されるICT活用工事が生産性の向上効果をより発揮できるような出来形管理の手法の確立を目指して運用後のフォローアップ調査等を進めている。

本稿では、平成30年3月に新たに導入された「音響測深機器を用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）」および「施工履歴データを用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）」（上記をあわせて以下「出来形管理要領案」という。）¹⁾について、使用機器の精度、成果物の精度確認など、ICTを導入した実工事を対象に、現場における適用性検証結果及び出来形管理要領の課題整理結果を紹介する。

2. 出来形管理要領案の適用性検証

2.1 ICT活用工事（河川浚渫工）の枠組み

平成30年3月に定められた「ICT活用工事（河川浚渫工）実施要領」においては、ICT活用工事は、『3次元起工測量→3次元設計データ作成→ICT建設機械による施工→3次元出来形管理等の施工管理→3次元データの納品』という施工プロセスの全ての段階においてICT施工技術を全面的に活用する工事」と位置づけられている。うち、「起工測量」「3次元出来形管理等の施工管理」については、音響測深機器や施工履歴データ等を用いて3次元点群等を取得すること、「3次元出来形管理等の施工管理」

については、取得した点群等を用いて面管理を行うことを必須としている。

2.2 現行（H30.3）の出来形管理要領案において管理すべき内容及び規格値

ICT河川浚渫工では、出来形管理に3次元計測技術を活用するため、広範囲の計測を一度に短時間でできる。そのメリットを活かすために面管理の手法を導入した。検査可否の基準である「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」において、従来の管理断面における管理では「幅・基準高・延長」が対象であるのに対し、面管理では「標高較差（実測標高－設計標高）」のみを対象とし、表-1の通り規定されている。なお、この場合、規格値は片側となっている（設計値を上回る掘削量を許容）。

表-1 土木工事施工管理基準及び規格値（単位：mm）
（浚渫船運転工（バックホウ浚渫船）：面管理）

工種	評価方法	個々の計測値	平均値	測定基準
浚渫船運転工 （バックホウ浚渫船） （面管理の場合）	標高較差	+400以下	0以下	計測は、平場と法面全面とし、全ての点で設計面との標高較差を算出する。計測密度は1点/m ² （平面投影面積当たり）以上とする。

注）測定基準には、計測精度等に関する規定の記載があり

2.3 適用性検証の内容

今回実施した河川浚渫工事（工事A：施工面積約10,000m²、施工延長約220m）を対象とした「出来形管理要領案の適用性検証」の具体的内容は以下の通りである。なお、工事Aでの実際の出来形管理には、音響測深機器を活用しており、施工履歴データを用いなかった。このため、当該工事においては、施工中に建設機械から取得された施工履歴データを用いて、仮想的に検証等を行った。なお、ICTを活用した浚渫工事の現場数との関係で、今回検証に用いた現場は1現場に留まった。

① 実際の工事における新基準への適合性検証

ICT河川浚渫工事の現場（工事A）において、音響測深機器および施工履歴データによる3次元点群データを用いた出来形計測結果が、新たな要領に基づく規格値を実際に満足したか否かを確認した。

同時に、同現場において、従来の方法による管理（管理断面における基準高と幅の設計値との差分による評価）を行い、上記結果と比較した。

②音響測深機器の計測機器としての精度検証

出来形管理要領案においては、出来形計測に用いる音響測深機器の要求精度が、表-2の通り定められている。

一般に流通している音響測深機器の精度が、表-2に示される要求精度を満足しているか、実際のICT活用工事のフィールド（工事A）を用いて検証した。

表-2 音響測深機器への要求精度

比較方法	要求精度		備考
	起工測量	±100mm以内	
標高較差	出来高部分払い	±200mm以内	井桁測線による水深差あるいは、検証点における標高差による確認
	出来形計測	±100mm以内	

※他に、「平面方向の要求精度」の規定あり。また、水面を深淺測量の基準面としない（GNSS測位の標高を利用する）場合の精度確認方法の規定あり。

③面的な出来形管理基準の妥当性の検証

要領案の策定時には、実際の工事現場（従来手法による管理）において施工精度の実態を調査し、面的に設計値との差分を計測の上、抽出検査であった従来手法と同等の出来上がりを確認できるように、全数検査に相当する面管理の規格値が設定されている。具体的には、従来の「管理断面における検査」に合格した現場において、トータルステーション（以下「TS」という。）を用いて、面的に座標を計測し、「計測点の総数」に対する「従来基準の規格値を満足しない点数」の割合（不良率）を算出、これを面管理（全数管理）の許容不良率と見なし、これに相当する面管理規格値を導く方法を用いた²⁾。そのため、本検証では、工事Aの現場において、実態調査より不良率を求め、要領案を策定した際に設定した許容不良率（河川浚渫においては1.2%）を満たしているか否かを確認する方法により、面管理の規格値の妥当性を検証した。

④生産性向上効果の検証

ICT活用工事の段階毎の作業に要する時間を従来の手法と比較検証するとともに、施工者へのヒアリングにより、河川浚渫工事へICTを活用するにあたっての効果及び課題を整理した。

2.4 適用性検証の方法及び結果

①実際の工事における新基準への適合性検証

工事Aについて、出来形管理要領案に定められた方法により出来形計測を行い、「土木工事施工管理基準及び規格値（案）」に照らし、合否を確認した。具体的には、図-1に示すとおり、出来形計測、計測点群の処理、出来形計測データ・出来形評価用データ作成を行った。

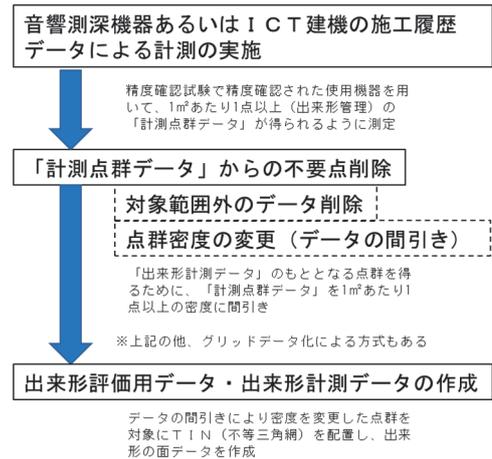


図-1 出来形計測点群処理の手順

表-3 工事Aでの音響測深機器計測による出来形計測値・規格値（単位：mm）

出来形管理項目		計測値／規格値	浚渫船運転工（バックホウ浚渫船）	
			平場	法面
標高較差	平均値	計測値	-427.1	-435.6
		規格値	0以下	
	個々の計測値	計測値	-10	-167
		規格値	+400以下	

表-4 工事Aでの施工履歴データによる出来形計測値・規格値（単位：mm）

出来形管理項目		計測値／規格値	浚渫船運転工（バックホウ浚渫船）	
			平場	法面
標高較差	平均値	計測値	-471.4	-606.7
		規格値	0以下	
	個々の計測値	計測値	-212	-212
		規格値	+400以下	

表-3、表-4に、図-1の手順により得られた「出来形評価用データと3次元設計データとの差分（表-3において「計測値」欄に示した）」と「規格値」とを対比した結果を示した。

以上により、全ての計測値は規格値を満足していた。

一方で、従来手法による出来形管理の結果を、表-5に示した。同様に所定の規格値を満足しており、音響測深機器及び施工履歴データによる面管理と同等の出来形が確保されていたことが明らかとなった。

表-5 工事Aでの従来手法による出来形管理結果

出来形管理項目	サンプル数	計測値—設計値（a） （mm）		（a）の規格値 （mm）
		最大値	最小値	
基準高	138	-256	-872	+200以下
幅	2	818	546	-200以上

②音響測深機器の計測機器としての精度検証

計測機器の精度検証として、以下に示す2つの方法により、音響測深機器の精度検証を行った。

ア) 検証1 (出来形管理要領案に記載された精度確認)

精度確認用の検証点を現場において5m間隔で5箇所計測し、検測で得られた音響測深機器の取得座標とTSにより計測された座標とを比較することで確認する。出来形計測に用いる場合、上記の標高較差が要求精度「±100mm以内」に収まっていれば、機器としての性能が十分であると判断される。

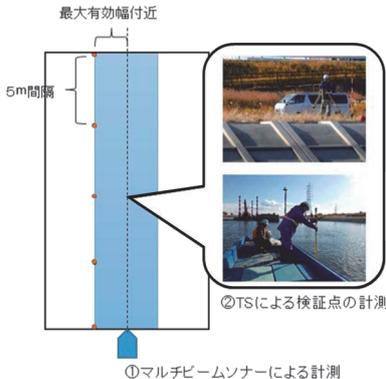


図-2 検証1 (音響測深機器：検証点標高差による確認)

イ) 検証2 (施工エリア全体の計測精度の確認)

施工エリア全体において、「1m²内で音響測深機器あるいは施工履歴データにより得られた点群の標高」と「TSにより計測された標高 (この計測値を真値と見なす)」の差の分布が許容範囲内に収まっているかを確認した。過年度の知見より、上記の「差の分布」における標準偏差 (σ) の3倍が概ね要求精度 (絶対値) の範囲に収まっていれば、機器としての音響測深機器の性能が十分であると判断される²⁾。

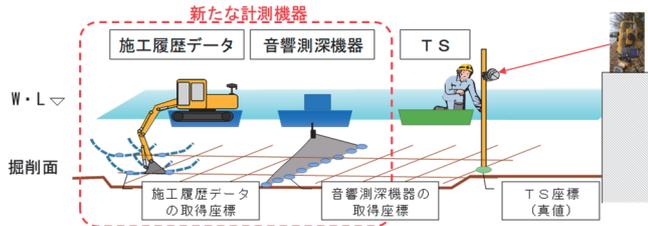


図-3 検証2 (施工エリア全体の精度検証)

検証1及び検証2の結果を表-6に示す。

検証1では、検証点5点のすべての標高較差が要求精度「100mm以内」を満たした。

検証2では、施工エリア全体の計測値の標高較差の分布を示す「標準偏差 (σ) の3倍」が「要求精度」と

表-6 音響測深機器の精度検証結果

検証方法	サンプル数	音響測深点群標高 —レベル計測標高 (mm)				要求精度 (mm)
		平均	最大値	最小値	σ	
検証1	5	-6	+81	-60	—	±100
検証2	138	+101	+180	+24	32	±100

ほぼ同程度となり、目標の範囲に収まっていたと判断される。一方、標高較差の平均値については、要求精度をわずかに超過する結果となった。この要因としては、「音響測深計測とTS計測とが異なる日に実施されたことによる河床変動の影響を受けた」、「計測船の揺れ等によりTSの計測ポールが斜めになることが鉛直較差へ影響した」、「河床面に堆積した浮泥等により、音響測深機器の計測高さとTSの計測高さとが異なることが鉛直較差へ影響した」等の可能性が考えられる。

③面的な出来形管理基準の妥当性の検証

河川浚渫工事の出来形管理基準 (面管理) の策定は、実工事の出来形の実態 (施工精度) に基づき設定された経緯があることから、本検証の対象現場において、施工精度の実態調査より不良率を求め、要領案策定時に設定された際の不良率である1.2%を満たしていることを確認することで、面管理の規格値の妥当性を確認した。

検証方法は以下の通りである。

河川浚渫工事の出来形について、実際の現場における施工エリア全面の施工精度の実態を、TSにより計測 (この計測値を真値と見なす) し、掘削面の設計値と比較し、両者の差分を算出する。従来管理における「基準高の規格値」に照らし、規格値に収まらない個数の全体に対する割合 (不良率) を算定する。この「不良率」が出来形管理基準策定時に許容されていた「1.2%以内」に収まっていたか否かを確認した。

その結果を表-7に示した。工事Aの面的な出来形計測結果をみると、不良率が0%となり、面管理の規格値を策定した際の「不良率」の1.2%を下回る結果を得た。ただし、施工者へのヒアリングで「本現場では、当初設計時に50cmの余掘厚が認められていたこと、規格値に下限値が設定されていないことから、計画掘削面より30cm深い面を目標に施工した」との結果を得ていることから、策定された出来形管理基準の規格値が妥当であるか否かについてはさらなる検証が必要と考えられる。

表-7 面的な出来形管理基準の妥当性の検証結果

サンプル数	レベル計測高さ—設計高さ (a) (mm)			(a)の規格値 (mm)	不良数	不良率	面管理基準策定時の不良率
	平均	最大値	最小値				
138	-508	-256	-872	+200以下	0	0%	1.20%

④生産性向上効果の検証

工事Aの工事担当者へのヒアリングを行った。ヒアリングにより、工事全体のそれぞれの作業に要した人工を調査し、結果を表-8の通りとりまとめた。同時に、ICT活用にあつての課題等を整理し、結果を表-9の通りとりまとめた。

表-8 作業人工の調査結果

現場作業/計測手法	従来計測		音響測深機器を用いた計測		施工履歴データを用いた計測		
	作業時間(日)	体制(人)	作業時間(日)	体制(人)	作業時間(日)	体制(人)	
事務所内準備	設計図書の照査作業	6	1	6	1	6	1
	施工計画書作成	6	1	6	1	6	1
起工測量	測量作業	5	7	2	2	2	2
工事基準点設置	基準点確認・設置作業	2	2	2	2	2	2
施工	施工(オペレータ、検測、補助作業員等)	19	3	19	2.1	19	2.1
施工管理	出来形計測作業	1	6	1	2	0	0
	立会作業	2	7	1	3	1	3

注：青枠は人工減少

表-9 ICT河川浚渫工の主な課題（施工者ヒアリング）

- ・数量算出方法が、点高法（1点法）、点高法（4点平均法）、TINN分割を用いて求積する方法、プリズマイダル法など複数あり、どれを根拠に数量を受け取るべきかの判断が難しい（音響測深機器、施工履歴データ共通）。
- ・水深が浅くなると計測できる範囲がせまくなることや計測装置が川底にあたってしまうこともあるため、計測上注意する必要がある（音響測深機器）。
- ・橋梁下など、衛星測位ができない箇所については、計測できない場合もある（音響測深機器、施工履歴データ共通）。
- ・流速、深さ等の条件による音響測深機器で計測できない場合の補完方法についての対応方法も記載してほしい（音響測深機器）。

表-8、9より、ICTを活用した河川浚渫工事の生産性向上効果に関し、以下の結果を得た。

- ・「起工測量」「施工管理」の測量作業人工が削減。
- ・「監督・検査・立会」で、検測時間が短縮。
- ・ラジコン型の音響測深機器を利用したことにより、船上作業が不要となり、安全性が向上。
- ・運用にあたり、数量算出方法の選択方法や様々な現場条件（橋梁下、浅水深、高流速など）に対する計測上の留意事項等に、施工者が課題を感じている。

3. 結果のまとめ

本検証の結果、「実際の河川浚渫工事における新基準への適合性」「適用する使用機器の計測機器としての精度」「面的な出来形管理基準の妥当性」については、概ね所要の条件を満足しており、出来形管理要領案は実際の河川浚渫工事への適用が妥当であると判断されるが、

より精度を向上させるため、計測方法等引き続き検証を進める必要がある。

「生産性向上効果」については、作業性の向上とともに、計測する機器によっては、安全性向上も期待できることがわかった。一方で、ヒアリングでは、数量算出方法、現場条件に対する留意事項等運用上の課題が明確となった。

4. おわりに

本報告では、河川浚渫工事を対象とした「音響測深機器を用いた出来形管理要領（案）」および「施工履歴データを用いた出来形管理要領（案）」に関わる適用性の検証や課題の抽出を行った。今回の検証の結果、要領に定める計測手順や計測精度、決定された出来形管理基準値が概ね妥当であること、一定の生産性向上の効果が認められることが確認された。

今後は、今回紹介した例に限らず、i-Constructionの目的である建設プロセスにおける生産性向上を実現するためには、基準類作成対象工種や対象技術の拡大のみならず、工事の実例をもとにした基準類の検証、検証結果に基づく基準類の不断の見直しが不可欠であると考えられる。そのため、引き続き、本稿同様のフォローアップ調査を行い、必要に応じた改善を行いながら進めていきたい。

謝辞

本報文作成に先立ち、(一社)日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所の椎葉祐士氏から、基準検証の有効性並びに生産性向上のための課題のポイントについて多数の助言を頂いた。ここに謝意を表するものである。

参考文献

- 1) 国土交通省：音響測深機器を用いた出来形管理要領（河川浚渫工事編）（案）、2018
- 2) 岡島朝治他：i-Constructionで適用する河川浚渫工の出来形の面管理に関わる基準類の策定、建設施工と建設機械シンポジウム、2018.11

小塚 清



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室 主任研究官
KOZUKA Kiyoshi

岡島朝治



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室、現九州地方整備局九州技術事務所
OKAJIMA Tomoharu

森川博邦



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター社会資本施工高度化研究室長
MORIKAWA Hirokuni