

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

国土技術政策総合研究所 ○ 岡島 朝治
 国土技術政策総合研究所 森川 博邦
 先端建設技術センター 杉谷 康弘

1. はじめに

国土交通省では、i-Construction の施策の一つである「ICT の全面的な活用」に向け、土工・舗装工における 3 次元計測技術を用いた面的な出来形管理に関する基準を策定してきた。その適用工種拡大を図る中で、今年度より新たに「河川浚渫工」に対応した ICT 出来形管理のための「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）」、「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）」を策定するに至った。

従来の河川浚渫における出来形計測は船上からのレッド測深・トータルステーション（以下、TS）等によるものが主であったが、流れの影響を受ける水上での計測は困難であり、場所によっては人が直接水中に入り計測することもあった。そこで、ICT 技術の導入によりこれらの作業が安全かつ簡単なものとなることが期待された。

本稿では、河川浚渫工への「面管理」導入に向けた管理項目の変更・基準整備のための検討や現場検証の結果等について紹介する。

2. 規格値の検討

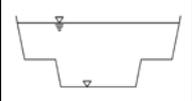
2.1 現行規格値の運用実態

現行の管理断面における抽出管理を想定した規格値（表-1）は、その計測方法に関する明確な規定が無く、目視できない水中にて如何に幅・延長（掘削開始・終了位置）を特定し計測しているのか、現場の実態を調査する必要があった。定期的に河川浚渫を施工している直轄事務所（9 事務所）に対して調査したところ、ほぼ全ての事務所において、以下の実態が確認できた。

- 掘削範囲の幅や延長を直接特定、計測することは実質不可能のため、実施していない。
- 全ての計測点で基準高▽の計測値が合格しているという結果を以て、設計上の幅・延長を掘削できているものと見なしている。

上記の基準高▽の確認を以て幅の管理に代える方法は、ICT 土工や ICT 舗装工で検討した面管理の考え方に合致しており、出来形が目視できず境界も不明瞭な浚渫工の現場においては、面管理は適していると考えた。

表-1 従来の出来形管理基準（浚渫船運転工）

| 測定項目 | 規格値 | 測定基準 | 測定箇所 |
|------|--------|---|--|
| 基準高▽ | +200以下 | 延長方向は、設計図書により指定された測点毎。 |  |
| 幅 | -200 | 横断方向は、5m毎。 又、斜面は法尻、法肩とし必要に応じ中間点も加える。ただし、各測定値の平均値の設計基準高以下であること。 | |
| 延長 | -200 | | |

2.2 面管理の規格値案の検討

面管理では従来の断面管理と比べて計測点数が大幅に増加することから、現行の規格値をそのまま面管理に適用すると現行の基準で合格していた現場まで不合格となる恐れがあり、従来の管理水準と同等の施工結果が得られるよう新たに面管理のための規格値を設定する必要がある。

規格値の設定方法は、現行の管理方法で合格する現場にて施工直後の出来形を面的に計測し、個々の計測値に対する規格値を外れる割合を不良率 P として求める。その不良率を許容する正規分布の標準偏差 σ から規格値を設定するものとした。

現場実態は、河川浚渫を実施する直轄工事の現場（4 現場）にて、施工直後の出来形を 2.5m 間隔程度で TS を用いて面的に計測し調査した（表-2）。

表-2 現場実態調査結果（不良率）

| | 平均 (m) | 標準偏差 (m) | 最大値 (m) | 最小値 (m) | 母数 | 不良個数 (上限側) | 不良率 (%) |
|------------------|--------|----------|---------|---------|-----|------------|---------|
| 現場1 | -0.294 | 0.233 | 0.265 | -1.402 | 139 | 1 | 0.7 |
| 現場2 [※] | -0.594 | 0.189 | 0.662 | -0.950 | 214 | 3 | 1.4 |
| 現場3 [※] | -0.421 | 0.095 | 0.172 | -0.642 | 278 | 2 | 0.7 |
| 現場4 | -0.125 | 0.125 | 0.300 | -0.390 | 140 | 3 | 2.1 |
| 全データ | -0.385 | 0.237 | 0.662 | -1.402 | 771 | 9 | 1.2 |

※ 現場2・3は基準高▽の規格値を「+0以下」と設定しているため、従来規格値を参考に200下がりを仮に設計値とした場合の設計値からの離れ。

調査結果の平均値を中心とし、調査結果から割り出した不良率を踏まえた正規分布について、0.3%を棄却してよい上限値 (+2.75 σ) として設定した値に計測精度を加えた値を新たな規格値とする (図-1)。

| ①規格値 (mm) | ②平均値 (mm) 【現場実態より】 | ③不良率(上側) P (%) | ④ k_p * | ⑤標準偏差 σ_p (mm) 【(①-②)÷ k_p 】 | 全数管理の上限値案 ②+2.75 σ_p (mm) |
|--------------|--------------------------|-------------------|--------------|---|--|
| 200 | -265 | 1.2 | 2.257 | 206 | 302 |

※ k_p は正規分布のグラフにおいて平均値+($k \times \sigma$)の範囲内に全体の(100-P)%が含まれることを示す数値

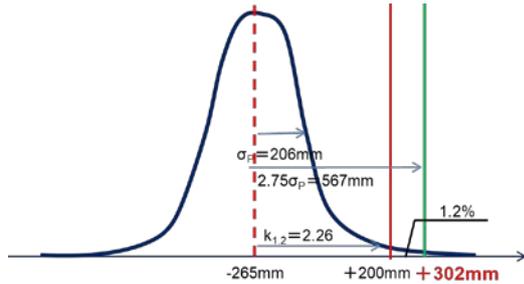


図-1 現場実態調査から算出した規格値案

実態調査結果から上限値を 302mm \approx 300mm とし、その3分の1程度となる 100mm を計測精度として許容し、これを加えて、個々の計測値の規格値は「+400mm 以下」とした。

計測値の平均値に対する規格値は、従来の基準が「各測定値の平均値の設計基準高以下」であること、浚渫の目的が流下断面の確保であることから、「+0 (設計値) 以下」と規定した (表-3)。

表-3 面管理の出来形管理基準

| 測定項目 | 規格値 | | 測定基準 |
|------|------|--------|---|
| | 平均値 | 個々の計測値 | |
| 標高較差 | +0以下 | +400以下 | 1. 3次元データによる出来形管理において「音響測深機器を用いた出来形管理要領(河川浚渫(案))」、「施工履歴データを用いた出来形管理要領(河川浚渫(案))」に基づき出来形管理を面管理で実施する場合、その他基準に規定する計測精度・計測密度を満たす計測方法により出来形管理を実施する場合に適用する。 2. 個々の計測値の規格値には計測精度として ± 100 mmが含まれている。 |

3. 計測手法について

ICT 土工・舗装工とは異なり、水中部の計測に適した新たな計測手法を採用する必要があった。今回採用したマルチビームソナー (音響測深機器) と施工履歴データについて説明する。

3.1 マルチビームソナーを用いた出来形計測

マルチビームソナーは、測量船に艀装したマルチビーム測深機より、複数の音響ビームを扇状に照射することで広範囲の水深を面的に取得することができる、ナロー (細い) マルチ (複数の) ビーム測深システムのことである。

水中部の 3 次元計測方法として港湾浚渫にて既に運用されているものであり、「マルチビームソナ

ーを用いた深淺測量マニュアル (浚渫工編) (案)」 「3 次元データを用いた出来形管理要領 (浚渫工編) (案)」において採用されている。

3.2 施工履歴データを用いた出来形計測

3 次元 MC・MG 機能を搭載した ICT 建設機械では、オペレータの操作支援や作業装置の自動制御を行うため、施工中は作業装置 (バックホウの場合はバケットの爪先位置) の 3 次元座標データ (ここでは施工履歴データと呼ぶ) をリアルタイムに取得している。ここで取得した施工履歴データを点群処理ソフトウェアにより処理することで、出来形を面的に把握することができる。

施工後の出来形計測を省略できることから、大幅な省力化が期待される手法である。

4. 精度確認手法の策定

出来形管理要領の策定にあたり、計測に用いる機器・手法が一定の精度を確保しているか確認するための精度確認手法について定めるため、次のとおり検討を行った。

4.1 マルチビームソナーの精度確認手法の検討

マルチビーム測深に関わる既存の技術基準類として、前述の港湾浚渫の要領のほか、「水路測量業務準則施行細則」(海上保安庁)、「海洋調査技術マニュアル・深淺測量編」(一般社団法人海洋調査協会)を参考に設定した。GNSS の位置精度確認、測量船への機器設置位置の確認 (オフセット)、喫水確認、パッチテストによる誤差調整、水中音速度測定を実施し、全体の精度確認として井桁計測による計測精度検証を行うものとした。詳細は前述の基準類と同様の内容のため割愛する。

上記の井桁計測以外の装置全体の精度を確認する手法として、これまでの ICT 出来形管理要領と同様に検証点と計測結果を比較する方法を検討し、試行した。その方法は以下のとおりである。

- ・図-2 のように一測線上に 10m 間隔で検証点を設置し、マルチビームソナーで計測した検証点の基準高 ∇ と TS により計測した基準高 ∇ (真値) との標高差を評価する。

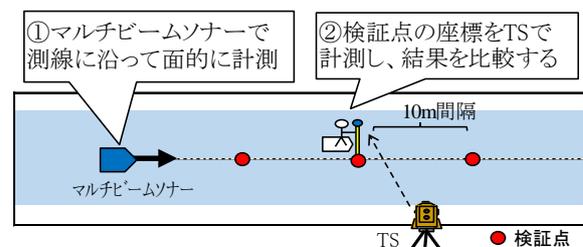


図-2 精度確認試験

計測した点の密度処理は「0.1m メッシュに 1 点」と「1m メッシュに 1 点」の 2 パターンとし、その

代表点の抽出方法は「中央値」、「最下値」、「最浅値」の3パターンで算出した。

上記精度確認方法の試行結果を表-4に示す。密度処理が1点/1mメッシュの場合でも、想定する評価基準の100mm以内に収まる結果となった。

表-4 精度確認試験結果（標高差（マルチー真値））

| | 点密度0.1m (中央値) | 点密度0.1m (最下点) | 点密度0.1m (最浅値) |
|------|------------------|------------------|------------------|
| 検証点1 | 15mm | -7mm | 35mm |
| 検証点2 | 15mm | -6mm | 46mm |
| 検証点3 | 23mm | -17mm | 50mm |

| | 点密度1m (中央値) | 点密度1m (最下点) | 点密度1m (最浅値) |
|------|----------------|----------------|----------------|
| 検証点1 | 31mm | -12mm | 59mm |
| 検証点2 | 15mm | -15mm | 62mm |
| 検証点3 | 23mm | -18mm | 66mm |

なお、今回の出来形管理要領化にあたっては、マルチビームは照射範囲の外側ほど精度が悪くなることを考慮し、検証点を設置するのは測線上ではなく、測線と平行な最大有効幅付近に設置するように規定した。

次に、マルチビームソナーの計測精度について検証するため、以下の計測を行った。

試験用プールの中で、10m×40m程度の範囲を対象に、TSを用いて1m間隔程度で面的に計測（真値）、その後マルチビームソナーにより面的に計測し、真値との基準高▽の差を評価する（図-3）。

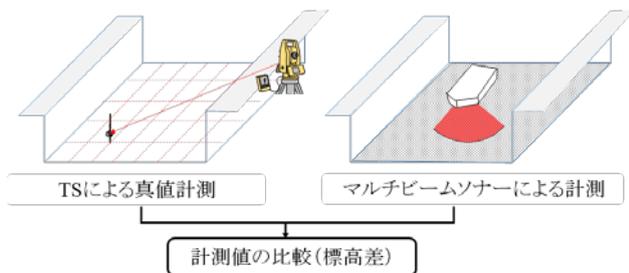


図-3 マルチビームソナーの精度検証方法

マルチビームソナーの計測点の密度処理は「0.1mメッシュに1点」と「1mメッシュに1点」の2パターンとし、代表点の抽出方法は「中央値」、「最下点」、「最浅値」の3パターンで算出した。

精度の検証結果を表-5に示す。

点密度1mの場合でも、標準偏差の3倍が100mm程度に収まることが確認できた。

4.2 施工履歴データの精度確認手法の検討

精度確認手法として、これまでのICT出来形管理と同様に検証点と計測結果を比較する方法を検討したが、水中に検証点を設置すると真値をTS等で計測するための船舶が必要となり、施工に先駆

表-5 マルチビームソナーの計測精度検証結果
（標高差（マルチー真値））

単位：mm(個数以外)

| | 平均 | 標準偏差σ | 3σ | 最大値 | 最小値 | 個数 |
|---------------|----|-------|----|-----|-----|-----|
| 点密度0.1m (最下値) | -1 | 10 | 30 | 36 | -27 | 279 |
| 点密度0.1m (中央値) | 21 | 8 | 24 | 98 | 6 | 279 |
| 点密度0.1m (最浅値) | 42 | 12 | 36 | 145 | 23 | 279 |

| | 平均 | 標準偏差σ | 3σ | 最大値 | 最小値 | 個数 |
|-------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 点密度1m (最下値) | -17 | 9 | 27 | 30 | -36 | 279 |
| 点密度1m (中央値) | 23 | 11 | 33 | 95 | 9 | 279 |
| 点密度1m (最浅値) | 68 | 34 | 102 | 258 | 37 | 279 |

けて精度確認できなくなる等の問題がある。そこで、陸上で実施することを考慮し、以下の手順①・②の案について検討した。いずれも、施工に使用するICTバックホウを用いて行う。

【手順①：実際に掘削整形作業を行う方法】

- ・陸上にて5m×5m以上の平場を平坦にする作業を行い、施工履歴データを取得する。その後TSでも1mメッシュ間隔以上（16点以上）で計測し、施工履歴データによる計測値と比較、標高の差を算出する。（図-4）

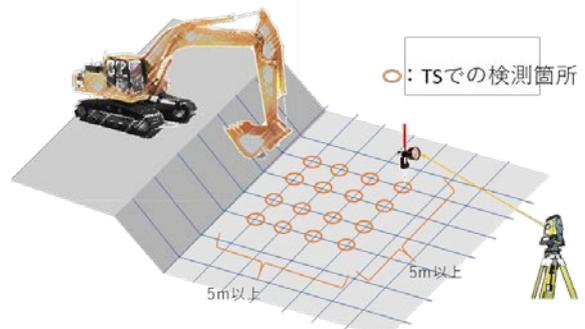


図-4 実際に掘削整形作業を行う方法

【手順②：プリズムにて爪先位置を計測する方法】

- ・バケットの爪先にプリズムを設置し、ブーム・アームを最も開いた状態から最も抱えた状態まで動作させ、爪先の軌跡を施工履歴データと自動追尾TSで計測する。TSの計測結果（3次元線データ）を真値とし、施工履歴データの計測結果との離れを計測精度として評価する（図-5）。

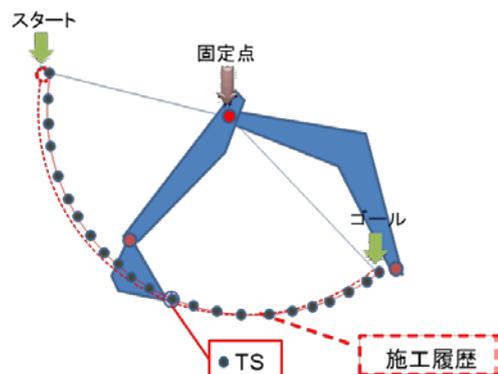


図-5 プリズムにて爪先位置を計測する方法

手順②は、手順①のような掘削可能なテストヤードを現場付近に調達できない状況を想定した。この場合、爪先位置とプリズム位置が正確には異なるため、爪先とプリズムの離れの分だけデータを補正する必要がある。

試行の際、バケットの操作速度を「低速」と「高速」の2パターンとし、更に施工履歴データ取得間隔を「1秒間隔」「2秒間隔」「(刃先の移動距離が)10cm間隔」「50cm間隔」の4パターンとして計測した結果を表-6、表-7に示す。

表-6 手順①の精度確認試験の実施結果

| バケット操作速度 | 低速 | | | | 高速 | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1秒 | 2秒 | 10cm | 50cm | 1秒 | 2秒 | 10cm | 50cm |
| 平均(mm) | 19.2 | 18 | 20.7 | 19.1 | 19.4 | 16.8 | 15.7 | 15.1 |
| 標準偏差σ(mm) | 9.1 | 10.1 | 9.3 | 11.5 | 11.8 | 6.3 | 9.9 | 7.4 |
| 3σ(mm) | 27.3 | 30.3 | 27.9 | 34.5 | 35.4 | 18.9 | 29.7 | 22.2 |

表-7 手順②の精度確認試験の実施結果

| データ取得パターン | 1秒 | 2秒 | 10cm | 50cm |
|-----------|------|------|------|------|
| 平均(mm) | 49.4 | 49.2 | 55.1 | 59.5 |
| 標準偏差σ(mm) | 19.2 | 26.5 | 18.3 | 26.9 |
| 3σ(mm) | 57.6 | 79.5 | 54.9 | 80.7 |

手順①による計測誤差は標準偏差の3倍が35mm程度、②の場合は80mm程度であり、ICT出来形管理における指標の計測誤差100mm以内であることを確認した。

実際の要領化に際しては、手順②の空中での動作は実際の掘削整形を模したものとし、動作範囲・評価点数等も手順①と同程度となるように規定した。

5. 堆砂による出来形への影響

施工履歴データによる出来形管理の利点は施工と同時に計測ができることだが、河川浚渫工の場合、施工・計測から竣工検査までの間に堆砂等により出来形が変化してしまうことが懸念された。

この河床変動の実態調査のため、2現場分の浚渫直後の出来形と3ヶ月経過後の出来形をTSにて計測し、基準高▽の変化量を調査した(表-8)。

表-8 浚渫直後から約3ヶ月経過後の標高変化量

単位:mm(個数以外)

| | 平均 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 | 個数 |
|-----|----|------|-----|------|-----|
| 現場1 | 23 | 139 | 915 | -328 | 171 |
| 現場2 | -4 | 151 | 280 | -610 | 222 |

規格値に河床変動の影響を加味することも検討したが、浚渫深が1m未満の工事があり得る中で、前項で決定した規格値400mmに河床変動の標準

偏差150mm程度を足すと規格値が大きくなり過ぎる。大きいときには数十cm程度も変動する可能性があることから、河床変動の影響を考慮した規格値とすることは避けた。

このため、実地検査までの河床変動のために施工・計測が同時にできる利点を生かせるよう、浚渫直後の職員による段階確認結果を持って、実地検査に代えることができるものとした。

6. ICT導入による効果の整理

今回の検討の際に調査した、従来型施工とICT施工との施工日数の比較結果等を図-6に示す。施工規模は2万m³として試算している。

図-6のICT浚渫工は起工測量と出来形管理にマルチビームソナーを、施工にICTバックホウを使用した場合のものである。施工中の計測データ取得により従来の検測作業員がほぼ不要となり、出来形計測も面管理・帳票作成自動化により省人化できる。なお、出来形管理に施工履歴データを使う場合は、出来形管理の日数はほぼゼロとなるため、大幅な省力化が見込める。

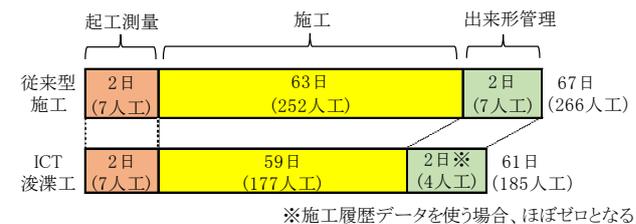


図-6 ICT施工の導入による工数の変化

工事費用については、労務費は減少するがICT導入に伴う初期費用・機械経費が増額となり、施工規模2万m³では工事価格全体に及ぼす価格増加は約1%という試算結果が出た。ただし一度導入してしまえば以降は初期費用がゼロとなるため、将来的には従来施工よりも安価となる見込みである。

何より、浚渫作業中の検測や水中での人手による計測作業が不要となることで、特に安全面への効果は大きいと言える。

施工履歴データの出来形計測への適用は、施工後の出来形計測作業が不要になるという、これまでのICT出来形管理にも無かった非常に画期的な計測手法となりうる可能性がある。

7. おわりに

河川浚渫工への面管理適用のために行った検証作業は、限られた時間の中で行ったものである。特に施工履歴データによる出来形計測は今回が初であるため、今後は実装後の実態把握とさらなる検証を進め、基準類については不断の見直しを行う所存である。