

論文

港湾浚渫工事への ICT 導入による生産性向上の評価方法に関する 基礎的研究

Basic Study on a Method for Evaluation of Productivity Improvement brought from Introduction of ICT into Dredging Work in Port Construction

森木 亮*・大野 正人**・小黒 章二***・岩波 光保****・

泉 誠司郎*****・加藤 訓生*****

Akira MORIKI, Masato OHNO, Shoji OGURO, Mitsuyasu IWANAMI,
Seijirou IZUMI and Kunio KATOU

要旨：国土交通省は「i-Construction」政策による建設分野の生産性の向上を図っている。その政策の一つに情報通信技術（以下「ICT」という。）の全面的導入がある。港湾工事においては、2017（平成 29）年度から浚渫工事の土量計算と出来形検査にナローマルチビーム深淺測量（以下「NMB」という。）が導入されている。ICT 導入をさらに進める上で、導入の効果を評価することは重要である。本論では、浚渫工事への NMB の導入による生産性の向上を評価する方法を検討・提案する。さらに、八戸港の浚渫工事の事例に対しその方法で試算を行い、その適用性を検討する。

キーワード：港湾浚渫、ナローマルチビーム、土量計算、出来形検査、生産性向上

1. 背景

我が国では少子高齢化等による熟練労働力不足が今後一層進行することが懸念されるが、この状況下においても必要な社会資本を整備・維持するため、国土交通省は「i-Construction」政策^{1),2)}による建設分野の生産性の向上を図っている。その政策の一つに ICT の全面的導入がある。これは 2016（平成 28）年度から陸上土工に導入され、生産性の向上をもたらしたとされている。

2017 年度からは、港湾浚渫工事の土量計算と出来形検査に NMB を用いたスワス測深（注：測量

船の左右方向に指向性の鋭い音響ビームを海底に照射し、船の進行とともに一括で多数点の水深値を計測する測深システム）が試験的に導入された³⁾。しかしこの土量計算と出来形検査に NMB が導入された港湾浚渫工事（以下「ICT 浚渫工」という。）に関しては、生産性の向上を評価する方法がまだ確立していない。さらなる ICT 浚渫工の推進のため、生産性の向上を適切に評価する方法の検討が重要となっている。

* 正会員 総務省、** 正会員 （一財）港湾空港総合技術センター、*** 正会員 （一財）港湾空港総合技術センター、**** 東京工業大学環境・社会理工学院 土木・環境工学系、***** みらい建設工業(株)、***** 国土交通省

2. 浚渫工における生産性及び ICT 導入の評価方法

2.1 ICT 土工における生産性の評価の考え方

ICT 浚渫工における評価方法を検討する前に、その参考とするため、先行する ICT 土工¹⁾における生産性の評価の考え方を整理する。

ICT 土工は、測量への無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle、以下「UAV」という。) の導入及び施工への ICT 建設機械の導入をその柱としている。

レベルやトータルステーション等による従来の人力測量から UAV による空中写真測量への変更により、歩掛及び総工期が減少することを評価している^{1), 2)}。またその結果がデジタルデータとして出力・処理され、出来形管理や検査等における紙文書の分量が減少し、結果として工事受注者職員が現場から事務所に帰った後に必要となる文書作成等の労働時間が減少することを評価している¹⁾。さらに検査書類の減少を通じて工事発注者職員の労働時間が減少することを評価している¹⁾。

一方、マシンガイダンスやマシンコントロールを内蔵した ICT 建設機械の導入においては、丁張り等の歩掛が減少し、丁張りや重機周りの作業の減少により安全性が向上し、経験年数にかかわらず作業時間が減少し、非熟練者でも熟練者に近い精度に仕上げられると評価されている^{1), 2)}。すなわち、歩掛の減少、労働時間の減少、安全性の向上及び非熟練労働力の有効利用を評価している。

なお、ICT 機器等への初期投資等を含めれば、ICT 導入の初期において総費用は一般的に増加するとの認識である^{1), 4)}が、ICT の普及による将来の費用減少を勘案して、一時的な費用の増加は受け入れられると評価している¹⁾。

2.2 ICT 浚渫工における生産性等の評価の考え方

2.1 で整理した ICT 土工の評価の考え方を参考にしつつ、ICT 浚渫工における評価の項目について、適用及び相対的な優先度を検討する。

i-Construction が必要とされた理由は熟練労働力不足であり^{1), 2)}、熟練労働力不足対策は i-Construction の事実上の上位目標であると考えられる。これを考慮すれば、本論における生産性向上で最も重要な項目は、歩掛の減少である。また、非熟練労働力の有効利用も、この目標に直接関与する。

また、熟練労働力不足に対する間接的な対策となる項目も評価すべきである。一般的観点からは、安全性の向上及び労働時間の減少は、労働環境の改善を通じて、間接的な熟練労働力不足への対策となり得るので、評価するべきと考えられる。ただし、安全性の向上については、浚渫工においては NMB 導入前後で測量作業形態に大きな変更は無く (3.1 参照)、安全性の向上が見込めないことから、評価項目から除外する。

一方、総費用・総工期に関しては、本論で積極的に評価する項目ではないが、過度な増加は事業の意義に係わるため、その変化を把握し、ICT の導入において考慮する必要があると考えられる。

2.3 ICT 浚渫工の導入の評価方法の提案

2.2 を踏まえ、ICT 浚渫工の導入の評価を行う際に検討する項目を以下のとおり提案する。

評価に際しては、歩掛に関する項目でメリットがあることが必要条件であり、それに歩掛以外の項目の評価を勘案して、導入の総合的な評価を行うことを提案する。

(1) 歩掛に関する項目

1) 歩掛：対象工程の歩掛 (人日) をいう。減少をメリットとして評価する。

2) 非熟練労働力の有効利用：従来、熟練労働

力を要した対象工程を、非熟練労働力で対応できるように変更することをいう。変更によって不要となる熟練労働力の歩掛（人日）の大きさをメリットとして評価する。

(2) 歩掛以外の項目

- 1) 労働時間:対象工程の労働者の労働時間をいう。減少をメリットとして評価する。
- 2) 総費用:工事全体の費用をいう。減少をメリットとして評価する。
- 3) 総工期:工事全体の期間をいう。減少をメリットとして評価する。

3. 八戸港事例への適用

3.1 適用の方法

港湾浚渫工事では従来、測量船から直下に単一の音響ビームを照射するシングルビーム深浅測量（以下「SB」という。）によって比較的少数の測線を測量することを標準としてきた。

面的な深浅測量の技術として NMB の他に、インターフェロメトリ測深システム、水中音響カメラ、音響ソナーがあるが、一般的な港湾工事では NMB の適用性が高いとされている⁵⁾。このため、港湾浚渫工事における面的測量に係る新たな基準案^{6)~9)}（以下「新基準案」という。）では NMB が採用されている。本稿においても SB から NMB に変更した際の各項目の変化によって評価を行う。

国土交通省東北地方整備局は新基準案の作成のために八戸港等を対象とした調査⁵⁾を行っている。本稿はその調査成果に基づくものであり、工事事例は国土交通省東北地方整備局八戸港湾・空港整備事務所が発注した平成 28 年度八戸港河原木地区航路・泊地（-14m）浚渫工事である。工事区域を図 1 に、工事概要を表 1 に示す。この工事においては、深浅測量を SB と NMB の両方で行い、評価項目の比較を可能としている。測量等の方法

はそれぞれ従来の港湾工事の施工基準^{10)~12)}および新基準案に準拠している。全測量面積は浚渫面積より広く、概ね 500m×300m の領域である。SB の測線間隔・測点間隔は概ね 10m、NMB の平均測点密度は約 74 点/m²である。

表 1 評価対象工事の概要

工事名	平成 28 年度 八戸港河原木地区 航路・泊地（-14m）浚渫工事	
規定水深	-14m（浚渫水深-15m）	
浚渫面積	約 9 万 m ²	
浚渫土量	約 12 万 m ³	
浚渫工法	ポンプ浚渫	
測量方法	SB	NMB
使用機器	RS-50-4	Sonic2024
工期	H28.5～H28.11	
発注機関	国土交通省東北地方整備局 八戸港湾・空港整備事務所	

3.2 対象工事における評価

3.2.1 歩掛に関する項目

(1) 歩掛

工程の歩掛は、測量機器の艀装、キャリブレーション、計測、艀装解除、データ解析及び土量計算の 6 工程の歩掛の合計を SB と NMB で比較することによって評価する。対象工事において深浅測量は施工中に施工管理のために 2 回、施工後に検査のために 1 回、合計 3 回を実施しており、これを一回当たりの歩掛にして比較する¹³⁾。

SB のデータ解析については、アナログ計器のため、記録紙を人力で解析した。土量計算については、AutoCAD 2013 を用いて測線に沿った断面図を書いて断面積を求め、Excel 2010 を用いて平均断面法（注：平行 2 測線の

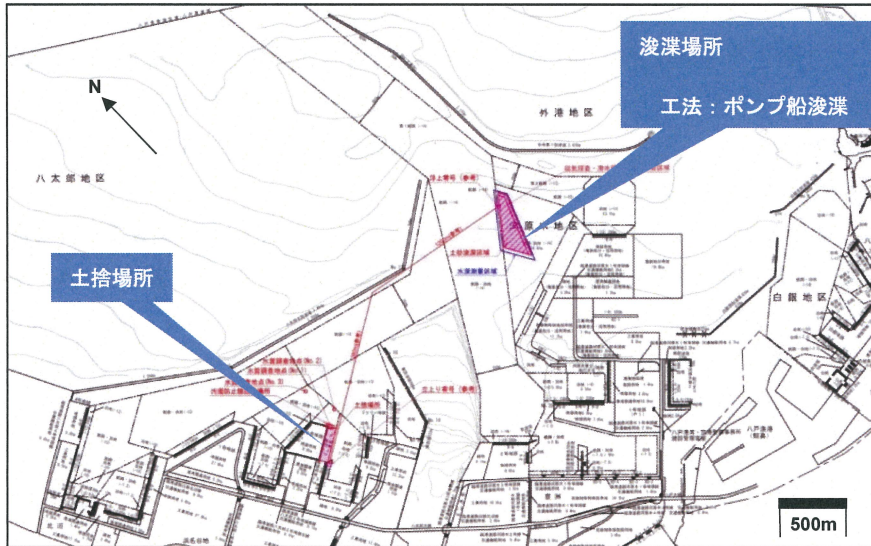


図1 工事区域

両断面積を平均して間隔を乗じる方法) で計算した。使用した PC のスペックは OS: Windows7 Professional 32bit、CPU 規格: Intel Core i3 2.53GHz、メモリ量: 4.0GB、ハードディスク容量: 500GB である。

NMB のデータ処理には Xylem 社の HYPACK を用いた。使用した PC のスペックは OS: Windows7 Professional 64bit、CPU 規格: Intel Core i7-4910MQ CPU @ 2.90GHz ~ 3.90GHz、メモリ量: 16.0GB、ハードディスク容量: 1TB である。土量計算は ESRI 社の ArcGIS を用いて TIN 法(注: 点を直線で繋いで三角形を構築して、面の集合体で地形や設計の表面形状をモデル化したものを不等辺三角網 (Triangulated Irregular Network, TIN) といい、これを用いた方法) で計算した。使用した PC のスペックは OS: Windows7 Professional 64bit、CPU 規格: Intel Xeon CPU E3-1290 V2 @ 3.70GHz~4.10GHz、メモリ量:

16.0GB、ハードディスク容量: 1TB である。

歩掛の比較の結果を表2、図2に示す。SB が 8.13 人日、NMB が 7.88 人日となり、0.25 人日とわずかながら減少した。内訳を見ると、艀装とその解除及びキャリブレーションでは NMB の方が増加し、計測と土量計算では NMB の方が減少する。

計測ではわずかが多点計測の利点が出た。土量計算において、SB の場合は平均断面法で行うため、人手が必要な部分が多い一方、NMB の場合は 3D-CAD 等の PC ソフトウェア(本事例では ArcGIS)を用いて、TIN 法により一括で計算できるため、手間が減ることによると考えられる。なお、アナログ記録からデジタル記録に変わったにもかかわらず、データ解析の歩掛が変わらないのは、NMB のデータに一定のノイズが含まれ、その除去に人間の判断が必要となるためである。

(2) 非熟練労働力の有効利用

表 2 SB と NMB の歩掛比較

作業内容	SB				NMB				歩掛の差
	労働時間(h)	人数	人時	人日	労働時間(h)	人数	人時	人日	人日
①測量船へ機材機装	1.0	2	2.0	0.25	4.0	3	12.0	1.50	-1.25
②キャリブレーション	0.5	2	1.0	0.13	2.0	3	6.0	0.75	-0.63
③計測	6.0	2	12.0	1.50	3.0	3	9.0	1.13	0.38
④測量船から機材機装解除	1.0	2	2.0	0.25	4.0	3	12.0	1.50	-1.25
⑤データ解析	8.0	2	16.0	2.00	16.0	1	16.0	2.00	0.00
⑥土量計算	16.0	2	32.0	4.00	8.0	1	8.0	1.00	3.00
合計				8.13				7.88	0.25

備考：測量は施工中 2 回、施工後 1 回実施しており、一回当たりの歩掛を表示している。

人日は人時÷8h で計算している。

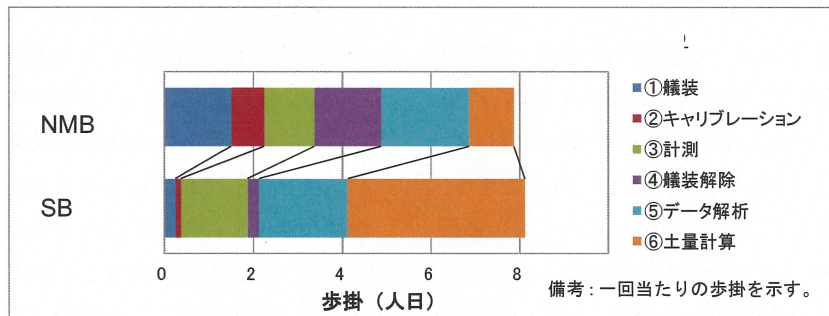


図 2 SB と NMB の歩掛比較

歩掛調査対象 6 工程のうち、土量計算を除く 5 工程については、SB・NMB のいずれも熟練者が必要であり、変化は無い。

土量計算に関しては、SB で用いる平均断面法は断面方向によって結果が変わるため、適切な結果を得るにはある程度の熟練が必要である。一方、TIN 法に関しては、そのような熟練に係る変動要素は無い。ただし、現状では主に汎用の 3D-CAD 等を計算に使うことから、3D-CAD 等に関する熟練を要する。しかし、今

後ユーザーインターフェイスを適切に工夫した専用の機能を持つ PC ソフトウェアが開発されれば、非熟練者でも熟練者と同等の成果が挙げられると考えられる。

3.2.2 生産性以外の項目

(1) 労働時間

労働時間を表 2 に示す。計測と土量計算で減少しているが、歩掛が不変のデータ解析で増加している。これはアナログ記録の処理は単純な

ので複数で分担できるが、デジタル記録のノイズ除去処理等は全体を見ながら行うため、判断が同一となるよう一人で行うためである。

(2) 総費用

まず測量費用比較を表3、図3に示す。測量自体に関しては、3回合計でSBは4,860千円、NMBは8,930千円であり、差額は4,070千円で1.84倍の増加である。

しかし、本事例において、NMBでは斜め方向にビームを出すことによって稼働中のポンプ浚渫船の直下までくまなく計測できることが確認されており、この特長を活用して試算を行うと、総費用が減少する可能性があることが分かった。総費用比較を表4、図4に示す。

すなわち、総費用減少は以下の考え方による。SBは直下しか計測できないため、施工中の測量時(2回)にはポンプ浚渫船の退避・復帰を行わねばならず、それぞれ全日が不稼働・拘束日となる。一方、NMBは斜め計測が可能のため、ポンプ浚渫船を稼働させつつ計測できる。この拘束日2日間の減少が11,800千円の費用減少になる。よって測量の費用増加と差引きで7,730千円の総費用減少となる。なお、今回の試算では検査不合格による手戻りを想定して

いないため、施工後の測量時の浚渫船の退避・復帰費用は計上しない。

なお、検査不合格による手戻りがある場合には、総費用増加の可能性もある。SBは出来形検査の可否程度はその場で記録紙から分かるが、NMBはデータ処理後にしか分からない。このため、後日検査が不合格になった場合の手戻りに備えて結果判明まで作業船を拘束しておくか、手戻りが分かった時点で呼び直すか、いずれかの対応が必要となる可能性があるからである。

(3) 総工期

測量自体の工期はSB・NMBで大差は無く、各1日以内で終了している。ただしNMBは元々広範囲の計測に利があるため、仮に範囲が広ければ差が出てくる可能性はある。

総工期については、(2)に述べた事情により、SBからNMBの変更による浚渫船の拘束日数の減少を考慮すると、2日間の短縮となる。

なお、(2)で述べたNMBの結果が即時に出ないことに関しては、あらかじめ結果判明までの期間や手直しの期間も見込んで測量を行うことにより、契約期間や漁業上の期間制限等に抵触しないようにすることは可能であると思われるが、工程調整上のデメリットにはなる。

表3 SBとNMBの費用比較(測量のみ)

単位：千円

測量方法	費用（経費込み）	測量回数	1 回当たり費用		費用の変化率
	①	②	③＝①÷②		
SB	4,860	3	④	1,620	184% (1.84 倍)
NMB	8,930	3	⑤	2,980	
差額 (NMB-SB)	4,070	－	－	1,360	

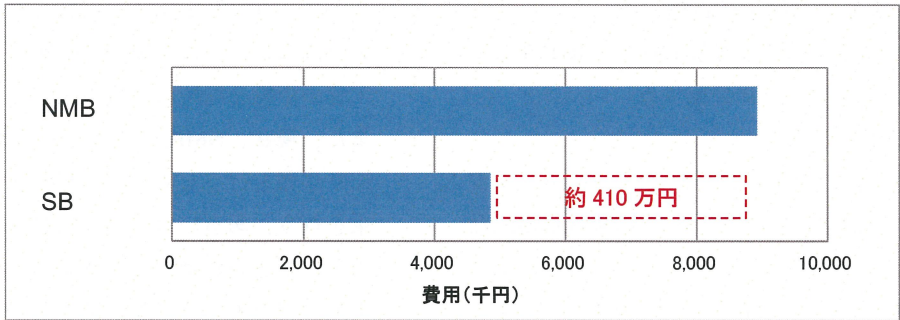


図 3 SB と NMB の費用比較（測量のみ）

表 4 SB と NMB の費用比較（全体）

単位：千円

測量方法	費用項目	費用（経費込み）		備考
SB	測量費：SB	4,860	16,660	5,900×2 回
	拘束費：ポンプ浚渫船(8,000PS) 揚錨船(35t)	11,800		
NMB	測量費：NMB	8,930	8,930	拘束費が発生しない。
	拘束費：ポンプ浚渫船(8,000PS) 揚錨船(35t)	0		
差額			-7,730	

備考：測量は施工中 2 回、施工後 1 回実施しており、費用の合計を表示している。

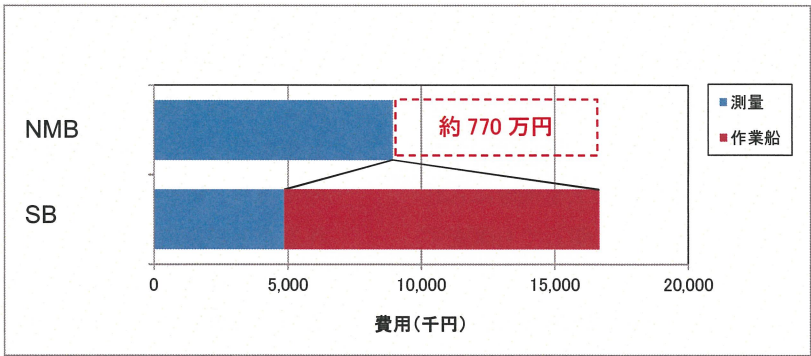


図 4 SB と NMB の費用比較（全体）

3.2.3 ICT 浚渫工の導入の評価

3.2.1、3.2.2 を踏まえ、対象工事への ICT 浚渫工の導入を、以下のように評価する。

(1) 歩掛に関する項目

測量に係る歩掛の合計はわずかながら減少するので肯定的に評価できる。将来は技術的な改良によってこの差をさらに拡大していくことが期待される。具体的には、艀装等の歩掛を装置の改良等により減少させることや、土量計算の PC ソフトウェアの改良等である。また NMB のデータ処理は現状では人手に頼らざるを得ず時間もかかり、出来形検査の合否判定が遅れる原因となっているので、将来の自動化が期待される。

非熟練労働力の有効活用については、現状では活用できていない。しかし、土量計算について、将来において PC ソフトウェアが改良されれば、非熟練労働力が有効活用できる可能性がある。

(2) 歩掛以外の項目

労働時間に関しては、工程の一部では減少したが、データ処理で増加しており、この点でも将来の自動化が期待される。また、受注者における出来形管理文書や検査文書の作成について、現場管理に属することから、従来、労働時間の調査が行われていないが、ICT 導入の評価としては調査すべきである。さらに i-Construction 政策においては、検査時間の減少等の発注者側の生産性の向上も視野に入れていることから、今後これに関しても調査すべきである。

総費用に関しては、測量工程単体の費用は明らかに増加する。総費用については、対象工事においては NMB の特性を十分に活用することにより、減少する可能性を示したが、

しかしこれは ICT 浚渫工全般に適用できる知見ではない。今後は技術的改良により、測量工程の歩掛と同時に費用の減少が望まれる。また、現状、NMB で検査を行う場合、持ち帰り作業を行うため、結果判明まで作業船拘束を行う、あるいは手戻り決定時に呼び戻すことによる総費用増加の可能性がある。これを回避できるよう、その場である程度の結果が分かるような技術的改良が望まれる。

総工期に関しては、測量工程単体の工期は対象工事程度の面積では差が無い。ただし、今後より大きな面積を対象とする場合は、NMB の方が減少する可能性がある。また、総費用で述べた NMB の特性の活用により、総工期についても減少する可能性を示した。なお NMB の結果がその場で出ないことに関しては、工程調整上のデメリットであり、この観点からも改善が望まれる。

(3) 総合的な評価

歩掛に関する項目では、測量に係る歩掛の合計がわずかながら減少し、メリットを示している。一方で、歩掛以外の項目は、対象工事の条件に限ればデメリットはほぼない。よって、対象工事における評価は肯定的である。

ただし、測量工程単体では費用増加が明らかであり、他の工事においては費用が増加することが有り得る。しかしこれは ICT 土工でも想定されている初期の費用増加と同種のものであり、ICT の普及と改良によって改善されることが期待できる。

また、現状では生産性の向上はわずかであるが、費用増加への対策と同様に、ICT の改良によってさらなる生産性の向上が期待できる。