

14. バックホウ掘削工への情報化施工の導入と普及に向けた検討 ～機械土工のICT施工に向けて～

国土交通省中部地方整備局 中部技術事務所：○桜田 明彦、杉山 佳幸

1. はじめに

建設施工現場への情報化技術導入の取組として、中部技術事務所では施工現場でもっとも多く稼働しているバックホウに着目し、掘削工を丁張り設置なしで施工する等の情報化施工について検討を進めているところで、これまでに技術動向の整理や施工試験等を実施し、施工効率の向上等の効果とバケット位置データを活用した掘削(盛土)施工の面管理が今後の施工管理や監督・検査の効率化に極めて有効であることなどを確認している。

一方、バックホウ掘削工の情報化施工にあたり標準的な施工要領や施工管理手法等は策定されていないため、現場毎で施工精度や検査方法が異なり品質を確保するうえでの課題があると考えられることから、バックホウ掘削工の情報化施工に必要なシステム要件、情報化施工導入現場要件、施工管理方法等を取りまとめた「バックホウ掘削工における情報化施工要領(案)」の策定も検討しているので、これまでの試験結果等とあわせて紹介するものである。

2. バックホウ掘削工の情報化施工

2. 1 施工技術動向

バックホウ掘削工の情報化施工(本稿では以下「バ

ックホウ情報化施工」と略称する)は、大規模土工現場等を中心に行われている現状にあり、この施工には機械の位置情報、設計3次元情報及び作業管理情報を処理するシステムを付加したバックホウが使用される。

バックホウ情報化施工で用いられている各種システムの現状を把握するため、国内の総合建設業、建設機械メーカ、測量機器メーカの技術を抽出しシステム構成を調査した結果、各システムは細部技術は異なるものの基本構成は同様なものとなっていることが確認できた(表1)。

また、バックホウはバケットが3次元に動作する特性を持ちマシンコントロールと施工管理には3次元情報が不可欠なことから、施工の際必要なデータについてあわせて調査した結果、各社のシステムに必要な設計データとその形式は表2に示すとおりであった。

表－1 バックホウ情報化施工システムの現況

項目 メーカ等	バックホウ の種類	取得データ／機器構成					バケット位 置データの 公称精度	
		本体位置	本体向き・姿勢		作業機設置角度(3台)			
			ピッチ	ロール	ヨーイング	作業装置角		
総合建設A	既存バックホウ (後付け)	RTK-GPS (無線装置)	2線式二軸傾斜計		RTK-GPS (無線装置)	磁歪式リニア 変位センサ	±100mm	
総合建設B	既存バックホウ (後付け)	RTK-GPS (無線装置)	サーボ式二軸傾斜計		RTK-GPS (無線装置) ローリエンコーダ	磁歪式リニア 変位センサ	±100mm	
測量機A	既存バックホウ (後付け)	RTK-GPS (無線装置)	ピッチ・ロールセンサ		RTK-GPS (無線装置)	—	チルトセンサ カルセンサ	±50mm
測量機B	既存バックホウ (後付け)	RTK-GPS (無線装置)	2軸チルトセンサ		RTK-GPS (無線装置)	—	ロータリーセン サ	±100mm
測量機C	既存バックホウ (後付け)	RTK-GPS (無線装置)	加速度センサ		RTK-GPS (無線装置)	—	加速度センサ	±30mm
建設機械A	新規バックホウ	RTK-GPS (無線装置)	ピッチ・ロールセンサ		RTK-GPS (無線装置)	—	チルトセンサ カルセンサ	±50mm
建設機械B	新規バックホウ	RTK-GPS (無線装置)	電磁抵抗素子(2軸)		RTK-GPS (無線装置) 光ファイバセンサ	—	ポテンショ メータ(ピッチ 込み)	±100mm

表－2 情報化施工に必要なデータとその形式

項目 メーカ等	必要データ	形式	適用	座標系
総合建設A	・設計サーフェイス(TIN) ・設計メッシュ標高(X, Y, Z) ・平面図	・LandXML ・TEXT, CSV ・DXF, DWG	・各メッシュの接続順序 が必要 ・測点等の現場指標 を含むこと。	公共/ 現場座標
総合建設B	・設計平面メッシュ ・標高(X, Y, Z)	・TEXT ・CSV		公共/ 現場座標
測量機A	・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z)	・LandXML ・DWG, DXF, DGN		公共/ 現場座標
測量機B	・設計サーフェイス(TIN) ・3次元設計図(X, Y, Z)	・DWG, DXF, TEXT ・CSV		公共/ 現場座標
測量機C	・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z)	・LandXML ・DWG, DXF等		公共/ 現場座標
建設機械A	・3次元設計モデル ・3次元設計図(X, Y, Z)	・LandXML ・DWG, DXF, DGN		公共/ 現場座標
建設機械B	・3次元設計図(X, Y, Z)	・DXF, DWG		



写真－1 試験ヤードにおけるバックホウの情報化施工（試験施工）の様子

表－3 想定される情報化施工の導入ニーズ

ニーズ	背景
現地への丁張り設置をなくしたい	現地に立入りできない、断面変化が頻繁な設計では丁張り本数が多く、設置が手間
掘削作業を効率化したい	丁張り・延伸・盛り換え遅延による掘削工の中断をなくしたい 掘削中の丁張りによる目視確認や検測確認をなくしたい
掘削精度を向上したい	薄層掘削を実施したい 出来形精度が曖昧になる丁張りによる目視確認をなくしたい

表－4 情報化施工の導入工事と導入目的

工事区分	対象工種	施工条件	導入目的
施工者A	ダム工事 仕上げ掘削(コア) 堤体盛立(コア) 堤体盛立(ロック)	床掘り 盛土法面整形 盛土法面整形	掘削準備の効率化、夜間作業の効率化、掘削指示の効率化、出来形測量の効率化等。
施工者B	床固工事 掘削工 土砂型枠工	立入禁止区域 (無人化施工)	無人化施工で困難な丁張り設置の解消、掘削・盛土作業効率の向上。
施工者C	床固工事 掘削工 土砂型枠工	立入禁止区域 (無人化施工)	丁張り設置の効率化。丁張り設置・延伸・盛り換え時の頻繁な重機と人が接近で危険性が高いためその改善。
施工者D	床固工事 掘削工 土砂型枠工	立入禁止区域 (無人化施工)	現場への丁張り設置による手間を無くしたい。 3次元設計データ、段階施工指示データの有効活用による施工効率化。

2. 2 施工現場動向

バックホウ情報化施工が導入される理由は、「丁張り設置を省略し施工を効率化したい」など表－3に示すような項目が想定される。

今回実際に施工を行っている現場において、どのような現場条件(工種)でどのような効果を期待して情報化施工を実施したのかについて確認するため、東北地方のダム建設現場と九州地方の災害復旧現場の施工業者を対象に現場調査(件数は4件)を実施した。

調査結果は表－4に示すとおり、丁張り作業の削減や施工の効率化を目的としていることが確認できた。

2. 3 バックホウ情報化施工の現状

技術動向及び現場動向を調査した結果、バックホウ情報化施工の現状を次のように整理した。

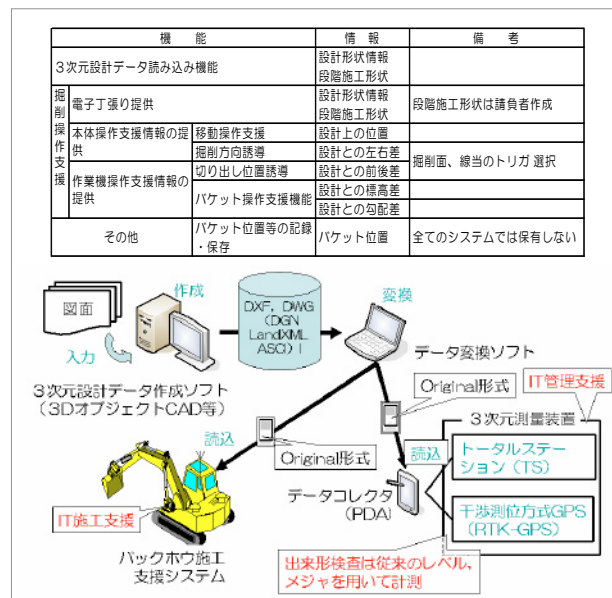
- ①情報化施工は、丁張りなしでの施工を実施することで施工の効率化、作業の安全性向上を図ることを期待して現場導入されている。(表－5)
- ②バックホウの情報化施工技術はほぼ確立しており、情報化施工システムの標準的なバックホウシステム

表－5 期待される情報化施工導入効果

導入効果	備考
掘削準備工の軽減	丁張り作業の削減
掘削作業効率の改善 (作業工程の短縮) (環境負荷軽減)	検測回数の軽減 修正施工の軽減
安全性の向上	バックホウ周辺への作業員立入回数の軽減
余堀土量の削減	出来形の均一化
オペレータへの負荷軽減	操作支援情報の提供による安心感



図－1 情報化施工システム技術
(バックホウシステムと機能)



図－2 情報化施工システム技術
(施工システムと機能)

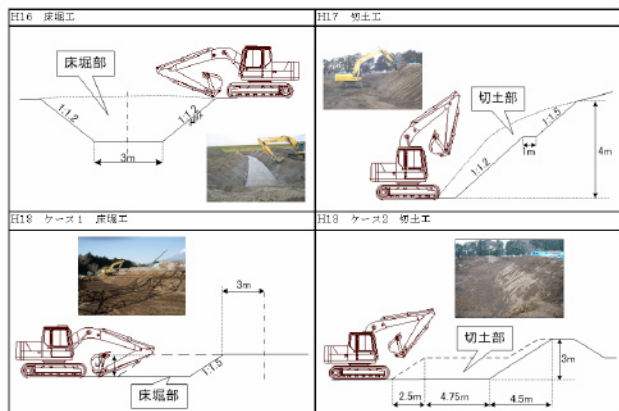
構成と機能は図－1、標準的な施工システムと機能は図－2のようにまとめられる。

3. 実証試験及び調査

3. 1 施工能力の確認

前項で整理したように一般にバックホウ情報化施工は効率的な施工を実現する事を目的に導入される。

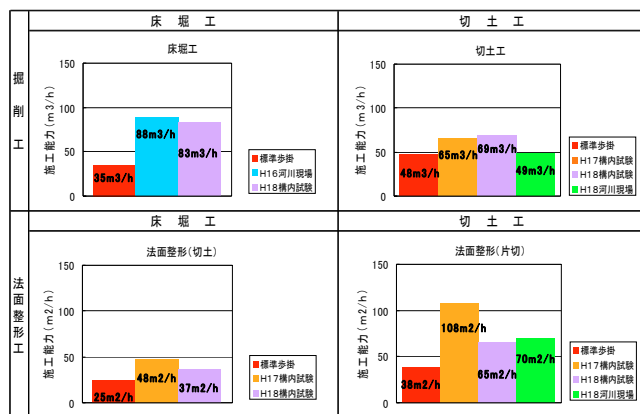
そこで、丁張りなしで施工することによる施工効率の向上を確認するため、平成16年度から平成18年度にかけて実現場及び構内に造成した試験ヤード等



図－３ 調査・試験現場の横断形状

表－６ 施工能力等の調査結果

条件		試験・データ収集箇所		試験結果	標準歩掛	標準歩掛との比較	
工種	実施年	場所	線形	施工能力		施工能力	作業時間
床掘工	H16	河川現場	R=50	88m ³ /h	35m ³ /h	2.5倍	6割減
	H18	構内試験	R=50	83m ³ /h		2.4倍	6割減
	H17	構内試験	R=50	65m ³ /h		1.4倍	3割減
切土工	H18	構内試験	R=50	69m ³ /h	48m ³ /h	1.4倍	3割減
		河川現場	直線	49m ³ /h		1.0倍	なし
法面整形 (切土)	H17	構内試験	R=50	48m ² /h	25m ² /h	1.9倍	5割減
	H18	構内試験	R=50	37m ² /h		1.5倍	3割減
法面整形 (片切)	H17	構内試験	R=50	108m ² /h	38m ² /h	2.8倍	5割減
	H18	構内試験	R=50	65m ² /h		1.7倍	4割減
		河川現場	直線	70m ² /h		1.8倍	4割減



図－４ 施工能力の比較図

で施工能力の調査を実施した(施工横断形状は図－３に示す)。

調査及び試験結果は表－６、図－４に示すとおりで、工種による多少のバラツキはあるものの平均で約３０％の施工能力向上(注：ただし確認は直接工相当のみ)が確認できた。

３．２ 施工精度の確認

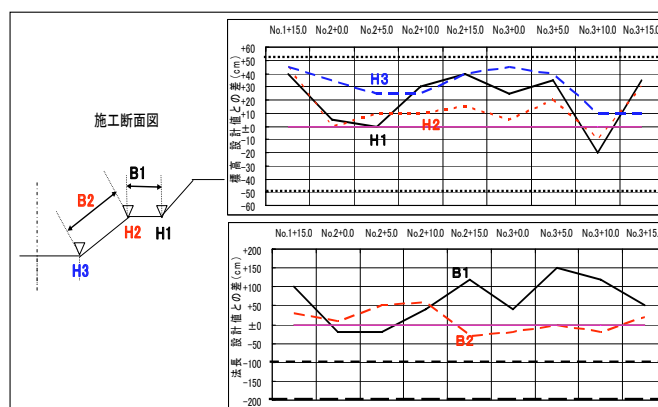
施工能力の向上は施工コスト縮減等に有効であるが、一方では品質を確保することも必須である。

そこで、図－３に示す現場等における施工能力の確認と同時に施工精度(施工出来形)についての確認も実施した。

結果の一例として平成１７年度に実施した切土工の

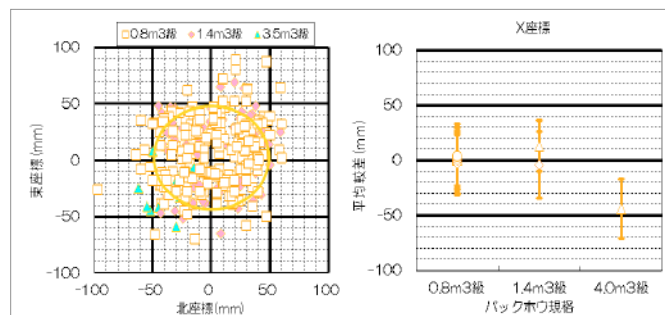
表－７ 情報化施工による出来形(設計値との差)測定結果の一例

測定項目		法面(2段目)		小段		法面(1段目)		道路基面			
		標高(H1)		幅(B1)		標高(H2)	法長(B2)	標高(H3)			
設計値/規格値		172.700	±50	1.000	-100	172.700	±50	4.500	-200	170.200	±50
実測値/設計との差	No.1+15.0	172.740	+40	1.100	+100	172.745	+45	4.530	+30	170.245	+45
	No.2+0.0	172.705	+5	0.980	-20	172.700	0	4.510	+10	170.235	+35
	No.2+5.0	172.700	0	0.980	-20	172.710	+10	4.550	+50	170.225	+25
	No.2+10.0	172.730	+30	1.040	+40	172.710	+10	4.560	+60	170.225	+25
	No.2+15.0	172.740	+40	1.120	+120	172.715	+15	4.470	-30	170.240	+40
	No.3+0.0	172.725	+25	1.040	+40	172.705	+5	4.480	-20	170.245	+45
	No.3+5.0	172.735	+35	1.150	+150	172.720	+20	4.500	0	170.240	+40
	No.3+10.0	172.680	-20	1.120	+120	172.690	-10	4.480	-20	170.210	+10
	No.3+15.0	172.735	+35	1.050	+50	172.730	+30	4.520	+20	170.210	+10
	No.4+0.0	172.685	-15	1.040	+40	172.715	+15	4.510	+10	170.240	+40



図－５ 情報化施工による出来形測定図

(表７の測定結果を図化したもの)



図－６ バケット(刃先)位置の取得精度

試験施工結果を表－７、図－５に示すが、すべての管理断面において国土交通省(地方整備局ごと)が定める「土木工事施工管理基準」の土工の規格値を満足する出来形で施工できることが確認できた。

また、施工出来形を左右する施工システムの精度(機械そのもののガタとバケット位置を決定するための各種センサーの誤差)もあわせて確認した。バックホウの規格ごと(情報化施工システムは表－１に示す各社方式が混在)にバケット位置(刃先位置)の取得データのバラツキを平面及び標高に分けて示したものを図－６に示すが、データにバラツキはあるものの統計的な平均値は±３０mm となり、出来形管理規格値の

±50mm をクリアすることを確認した。

3.3 出来形管理と監督・検査への活用検討

3.3.1 施工管理支援の可能性

バックホウ情報化施工は設計データとバケット位置データに基づき施工されるため、この値の差を活用する施工管理法を導入することで施工管理や監督・検査の効率化にも寄与するものと考えられる。

そこでバケット位置データを利用した施工管理の可能性と有効性を試験することとし、既存の3次元CADをベースにバックホウ情報化施工システムにより記録される施工中の刃先軌跡データを設計情報とあわせて3D化する3次元設計支援システムを試作した。これにより、3D表示で地形データと施工結果の重ね合わせによる施工数量の算出も可能とするなど情報化施工データと設計データを効果的に活用できることが確認できた(図-7)。

さらに読み込んだバケット軌跡データと3D設計データに基づき、設計との差異(設計とバケット軌跡との標高上の差異)の色分け分布図を作成表示(図-8)する出来形管理支援機能により、設計と出来形の差が一目でわかり施工の手直しが必要な範囲を適格かつ迅速に確認し指示することが可能になるなど連続的・面的な出来形管理の実現性と有効性も確認した。

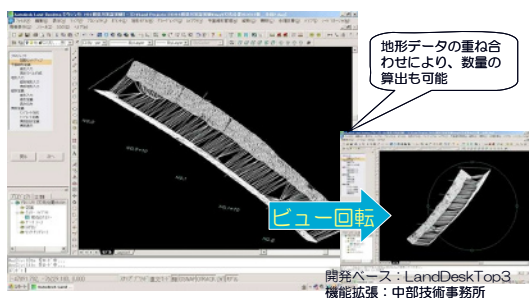


図-7 3次元設計支援システムの出力事例

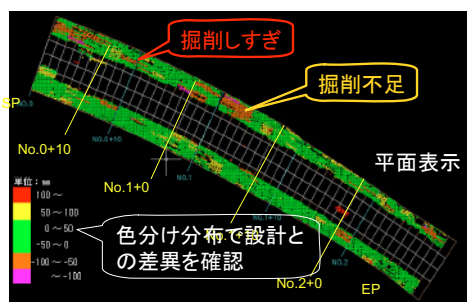


図-8 出来形管理支援システムの出力事例

3.3.2 3次元測量への適応性

3.2で述べたように情報化施工により従来同様の規格値は満足できることを確認しているが、これは設計値と出来形の差としての評価であり主に施工中の精度確認や施工の効率化に有益なものである。

一方、施工完了後の出来形検査時には標高等の測量が行われるが、バックホウ情報化施工箇所をレベル測量などの従来手法で行うのは丁張りなしでの施工メリットが十分に生かされない。

そこで、現行のレベルによる標高測量にかわる3次元測量手法として現場導入が進むトータルステーション、RTK-GPSとバックホウ情報化施工システム(バケット位置)についてレベル測量と同等の測定が行えるか確認を実施した。

確認の結果を図-9に示すが、バックホウ情報化施工システムは±50mmとGPS(一般に±30mm程度の誤差があるとされる)に比べ大きな測定値のバラツキがあることが確認された。これはGPS衛星を用いて座標算出する特性上データにバラツキが生ずるもので現状の技術ではやむを得ないと判断される。

したがって、現時点ではバックホウ情報化施工システムのみで施工管理と完成検査まで実施した場合、出来形管理規格値±50mmを満足することは難しいと考えられるので情報化施工を行った場合の検査測量はトータルステーションもしくはRTK-GPSを併用すべきであるといえる。ただし、災害復旧工事等測量が困難な現場等では、前述のバケット位置の施工精度(±50mm)も考慮し出来形管理規格値を±100mmに設定したうえで施工すれば情報化施工の導入メリットを生かすことができると考えられる。

今後のバックホウ情報化施工と監督検査の高度化に

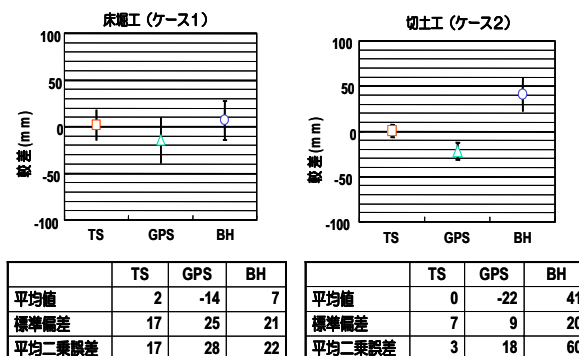


図-9 レベル測量に対する標高測定値の比較

は、精度向上が重要な技術的課題である。

4. バックホウ情報化施工の普及と活用に向けて

4. 1 施工要領の検討

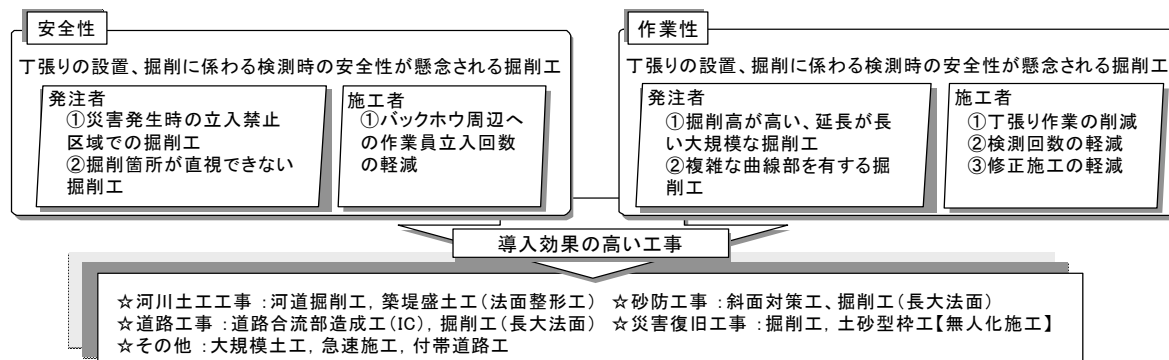
バックホウ情報化施工は、施工の効率化や安全性向上など現場導入メリットが高いことから、これまでは大規模土工や災害復旧工事等の施工にあたり施工者自らが導入しそのメリットを生かしているケースが多い。

今後、一般土工現場に普及していくには解決すべき課題は残されているものの、発注者においても安全施工やコスト縮減に効果があることから積極的な現場導入と活用が望まれる。今後バックホウによる情報化施工の普及促進にあたっては、各種条件や技術要件等を取りまとめた「情報化施工要領」が必要と考えられるため、この策定作業を進めている。

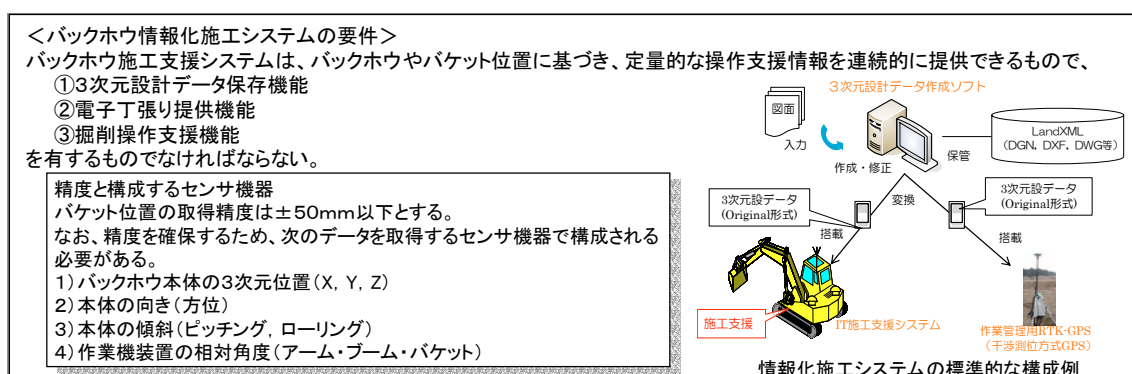
これまでの検討結果をふまえた「要領」のとりまとめ方針と素案の内容は以下のとおりである。

①適用現場

特に発注者においては情報化施工導入により工事の安全とコスト縮減が期待できる現場に対して適用のニーズが高いと考えられる。図－10に導入効果の高い工事を示す。



図－10 バックホウ情報化施工の導入効果が期待できる工事・工種（案）



図－11 バックホウ情報化施工システムの機能要件（案）

②機械・システム要件

施工に使用する機械とシステムについて一定の要件を設定しておかなければ、施工者・発注者とも施工計画時や監督検査時に多大な労力が必要となることから、使用する機械やシステムについての条件を図－11に示すようにとりまとめた。

なお、今後新たに開発された技術等が採用しやすいような必要な機能仕様についてのみの条件設定としている。

③施工要領

情報化施工による出来形管理や検査等をスムーズに実施できるよう、図－12に示すように施工精度確保のためのルールや方法を取りまとめた。

以上のような内容で、平成18年度末に「バックホウ掘削工における情報化施工要領（案）」を取りまとめたところで、今後中部地方整備局発注の試験工事等で試行していくこととしている。

4. 2 普及に向けた課題

バックホウ情報化施工普及のためには、前述の「施工要領」等の策定とあわせて、既に述べているように施工精度の向上のための技術開発並びに施工管理手法のあり方等について検討を進めていく必要があると思

＜バックホウ施工支援システムによる情報化施工＞

現場確認

バックホウ施工支援システムの導入前に、対象掘削範囲において、RTK-GPSが適用できることを確認する。

基準点

- ①バックホウ施工支援システムの導入前に、対象掘削範囲付近の基準点の数が少なくとも3点以上あることを確認する。
- ②バックホウ施工支援システム及び作業管理用RTK-GPSにおいて、使用する基準点は、監督職員の指示を受けた4級基準点と3級水準点（山間部では4級水準点を用いても良い）もしくはこれと同程度以上のものを使用する。
- ③新たな基準点の設置にあたっては、国土交通省公共測量作業規定に準拠するものとし、測量結果を監督職員に提出し、承諾を得て使用すること。

精度の確認と維持

- ①バックホウ施工支援システムの性能確認のため、掘削工着手前に、バケット位置の取得精度を確認する。
 - ②掘削期間中、バケット位置の取得精度などを適宜確認する。
- 確認頻度は、少なくとも作業日5日ごとに1回以上の割合で行うことを標準とする。

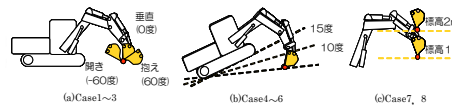
精度変化要因

- ①バケットの摩耗によるバケット寸法の変化
- ②作業機装置のピン支承の摩耗による機械ガタの変化
- ③センサ設置位置のずれ
- ④センサ性能の低下、センサ故障（較正值のドリフト等）

日常点検項目例

対象	点検項目
GPS	ブラケット（ねじ）の緩みはないか アンテナ、マストの変形はないか
センサ	ブラケット（ねじ）の緩みはないか センサの変形はないか
ケーブル	ケーブルの痛み ケーブルの損傷はないか

パラメータ	目標値			試験数	備考
	バケット 標高位置	バケット 角度	バックホウ 姿勢		
Case1	0m	0度	0度	8点以上	バケット角 度
Case2	0m	-60度	0度		
Case3	0m	60度	0度		
Case4	0m	0度	5度		
Case5	0m	0度	10度		バックホウ 姿勢（ピッチ）
Case6	0m	0度	15度		
Case7	1m	0度	0度		
Case8	2m	0度	0度		



バケット位置精度の確認方法

図－１２ バックホウ情報化施工の標準要領（案）

われる。

また、前述の技術動向調査、現場動向調査を実施するにあわせて、施工者やメーカを対象に情報化施工における課題や提案についても調査している。

調査の結果は表－８のとおりであるが、施工システムの技術的課題以外に主に施工者を中心として、施工に必要な設計３次元データに関すること、施工管理基準に関すること、システム導入費用や技術提案に対するインセンティブ等契約制度に関すること、機器やシ

ステムの流通に関すること、などバックホウ掘削工に限らず情報化施工全般にも係わる制度面に関する課題や提案を多く抽出することができた。

バックホウ情報化施工を今後本格的に普及させていくためには技術開発と並行して制度や基準の検討と整備も進めて行くことが重要と考えられる。

５．おわりに

今回の検討の結果、バックホウ情報化施工は作業における施工効率や安全性の向上等に有効なことが明らかとなったもので、今後の普及が望まれるものである。

なお、普及に向けてさらに検討すべき課題も明確になったことから、技術的課題については施工者、機械メーカや測量機メーカ等の今後の技術開発に期待するものである。中部地方整備局においても今年度以降試験施工を実施し実現現場でのデータ収集や課題の抽出を行い、現場導入効果の検証と普及に必要な検討を進めていくこととしている。

最後に、中部地方整備局関係事務所をはじめ各作業現場の施工者とメーカ関係者の皆さま及び(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所のご協力により本報告をとりまとめることができたことを記し、謝意を表します。

表－８ 情報化施工の課題と提案等

課題分野		課題・提案等
技術的課題	情報化施工システム	○センサ交換によるキャリブレーションの簡素化。（測量機B） ○キャリブレーションを十分に行わないとバケット位置の取得精度が落ちる。（施工者C） ○バケット位置精度の向上（浅深船上での掘削）。（総合建設B） ○画面表示が遅れる。（施工者B）
	設計・施工データ等	○汎用性の高いDXF形式の設計データの提供を希望。（測量機B） ○設計データを事前に精査する必要がある。（施工者C） ○発注者から提供される図面を、IT機器で利用可能なデータ化して欲しい。（総合建設A） ○設計情報の標準化が進めば、システム側でも取り込めるように対応する。（総合建設A）
制度・規定等に係わる課題	施工管理基準	○現行の出来形管理（管理断面毎の管理）では、本システムの導入のメリット（面的な仕上げ精度が向上する）が評価できない。 国土地理院の4級基準点測量にはGPSを利用可能である。出来形計測についても導入を許可してはどうか。（測量機C）
	契約制度	○バックホウ施工支援システムに対する標準積算をとりまとめてはどうか。（総合建設A） ○技術提案した場合に評価点があがるのであれば、積極的に提案していきたい。（総合建設B） ○このような取り組みが工事評価につながれば、積極的に利用したい。（総合建設B） ○システム普及のための最善の契約形態は、下請けにインセンティブを与えることである。ただし、システムは高価で、3D-CADを操作できる人が確保しにくい等考えられるので、インセンティブは工程毎に支払えるような仕組みをつくり下請け業者が報われるようにすべきである。（施工者A）
	市場流通	○裾野を広げるためには、リース・レンタルの形態で請負業者が利用できる簡易システムを作るべき。（施工者A）