

現場ニーズに応えるロボット技術・IT

—施工技術総合研究所におけるロボット技術・ITへの取組み—

竹之内 博行・西ヶ谷 忠明・上石 修二

近年では、従来の機械技術、ロボット技術に加えて、設計で提供される情報と現場施工で得られる情報を、ITを用いて有効に活用することにより、建設工事の効率化、品質向上、環境負荷の低減などを目指す「情報化施工」の実現に向けた研究開発が進められている。本報文は、現場ニーズ対応型作業装置開発からロボット・IT技術に支えられた情報化施工システムへ対応した技術開発への変革の中で、施工技術総合研究所の取組みの一部を紹介するものである。

キーワード：情報化施工，ロボット技術，IT，建設工事，現場ニーズ，技術開発，出来形管理，GPS

1. はじめに

社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所では、各種建設工事の施工法および施工機械に関する調査研究を実施する中で、これまで国内外の多種多様な建設現場の要請により様々な施工機械の開発に取り組んできた。これらの多くは、安全確保、品質確保、省力化、工期・工費の縮減などの切実な現場ニーズに即座に応えようとしたもので、既往の技術を効率よく組合せたり、最先端のロボット技術を活用したりして、新機種の開発を行ってきた。また、現在でも活発に行っている。

一方、近年では、従来の機械技術、ロボット技術に加えて、設計で提供される情報と現場施工で得られる情報を、ITを用いて有効に活用することにより、建設工事の効率化、品質向上、環境負荷の低減などを目指す「情報化施工」の実現に向けた研究開発が進められており、施工技術総合研究所（以下、当研究所）においても様々な取組みが行われている。

本報文は、上述のような現場ニーズ対応型作業装置開発からロボット技術、ITに支えられた情報化施工システムへ対応した技術開発への変革の中で、施工技術総合研究所の取組みの一部を紹介するものである。

2. 受託業務における開発ニーズの傾向

当研究所は、主に建設工事あるいは社会基盤施設の維持管理のニーズに基づく機械・装置等の開発を実施

している。ここでは、過去10年間の実績を振り返り、上記ニーズの傾向を分析する。

当研究所が担当した開発課題は、世の中の機械開発のほんの一部でしかないが、道路、河川、砂防の区分ごとに示すと表1のとおりである。

開発のニーズは、次のように項目設定し、表1では各開発課題ごとに該当する項目を選定し○印を付けた。

- ・省力化：コスト縮減，効率化，苦渋作業の開放
- ・維持管理：施設の維持管理
- ・環境対策：環境保護，快適な生活環境の確保
- ・安全確保：施設の保全，作業安全，防災など

表1から分かるように、単一のニーズに基づく開発は少なく、複数のニーズを背景として開発が行われてきた。

図1は、表1の開発課題42件に対する開発ニーズの該当数を整理したものである。省力化のニーズは33件と最も多く、開発課題42件の約80%に該当していることになる。次に施設の維持管理が続く。安全確保のニーズは21件、環境対策のニーズは19件で、開発課題の約50%に該当する。

近年の大規模な自然災害の多発や地球温暖化傾向などを考慮すると、今後の10年においてはロボット技術・ITの活用を前提とした安全確保、環境対策のニーズも増加することが考えられる。

3. 情報化施工への取組み

(1) 現場施工のモデルとロボット技術・IT

表一 受託業務における開発ニーズの傾向

(1) 道路施設のニーズに基づく開発

開発装置の名称	装置の概要	開発のニーズ				開発の熟度
		省力化	維持管理	環境対策	安全確保	
耐風型橋梁巡回点検車	台風等の暴風時に長大橋梁上において、一般車が走行不能な状況下でも、橋梁上の情報収集等の作業を行う巡回車	○			○	
吊橋の主ケーブル補修用作業車	長大吊り橋主ケーブルの防錆処理のため、ケーブルに懸垂し自走が可能なケレン作業車、ラッピング作業車	○	○			
磁石車輪式塔点検補修用ゴンドラ	斜張橋などに設置される塔点検補修用設備について、永久磁石内蔵車輪により位置保持が可能で、専用ガイドレールを不要とするゴンドラ	○	○			
橋梁塗替え用ローラー塗装装置	主塔や箱桁の一般部を対象に4種素地調整と2層塗りを行う機械	○	○			
視界改善・操作レバー簡素化除雪グレーダ	除雪グレーダ作業の省人化に対応するため、運転手の視界改善及びレバー操作の簡素化を図ったグレーダを開発	○			○	
橋梁ケーブル検査車	小規模ケーブル用検査車	○	○			
排水性舗装用清掃車	排水性舗装の機能保持のため、洗浄、吸引の機構を有する清掃車	○	○	○	○	
透光性遮音壁清掃機械	形状、寸法等が多種多様な透光性遮音壁を安全かつ効率的に清掃するための機械	○	○	○		実
トンネル壁面清掃車	トンネル壁面突起物の自動回避機能と壁面に合わせたブラシ交換を現場で行える清掃機械	○	○	○		用
曲面型透光性遮音壁清掃機械	美観上の優位性から採用されるようになった、曲面で構成する透光性遮音壁の定期的な清掃用機械	○	○	○		化
作業車搭載型排水ポンプ	道路冠水や共同溝の水災害対策として、多目的作業車に搭載して用いる排水ポンプ装置	○			○	
ハンガー制振ヘリカルロープ施工機械	長大吊り橋ハンガーロープの風による振動を抑制するため、ハンガーに沿って細紐を巻き付ける機械	○	○		○	
透光性遮音壁清掃機械	多種多様な形状・構造の透光性遮音壁に対応できるように水ジェットを使った清掃機。CNGエンジンを動力とする。	○	○	○		
ソイルソーイング施工機械	急勾配盛土を実現するため層状の盛土内に水平方向に配置したジオシンセックスを、上下方向につなぐための機械装置	○			○	
トンネル覆工打音点検装置	道路トンネル覆工の定期点検を連続的に効率的に行うため、打音発生装置と打音解析装置を搭載した車両	○	○			
多機能化除雪車	除雪トラックをベースとし、プラウを一時的に外してロータリ装置を付加することができる除雪車。少雪地域に適用する。	○			○	
主塔点検補修用ロボット	長大吊り橋主塔などの点検・補修を行う、磁石車輪を内蔵し、添接板の段差を乗り越え可能なロボット走行装置及び作業用のマニピュレータ装置	○	○			
道路路肩用除草作業車	ガードレール、道路標識などの障害物が多い道路路肩の除草作業を安全・効率的に行う機械	○	○	○	○	実証試験まで
急傾斜法面用除草機械	急傾斜法面の除草機械。軽量小型で車線規制を必要としない。	○	○			
緑地帯ゴミ収集機	道路脇にある緑地帯の中のゴミ除去技術の開発	○	○	○		
法面表層貫入試験機	吹付け法面の健全度や背面地山の風化程度を把握するための装置。	○	○		○	開
水循環式排水清掃車	排水構造清掃作業に必要な、排水清掃車、側溝清掃車、散水車の機能を一台に集約した機械。泥水の再利用を行う。	○	○	○	○	発
トンネル壁面清掃機械	首都圏外郭放水路トンネル内面の点検のため、点検に先行して行うトンネル壁面清掃機械。	○	○	○	○	中

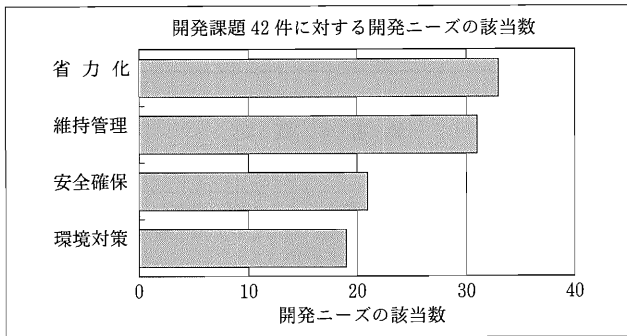
開発装置の名称	装置の概要	開発のニーズ				開発の熟度
		省力化	維持管理	環境対策	安全確保	
トンネル壁面点検装置	首都圏外郭放水路トンネル内面の点検を行うシステム。初動点検用として飛行船を用いた点検装置を提案	○	○		○	
トンネル壁面清掃車	歩道を有するトンネルの壁面清掃車。歩道スペースを走行するよう極めて薄い車体構造。	○	○	○	○	
急勾配法面除草機械	法勾配40度以上に対応する除草機械	○	○		○	
歩道緑部除草機械	歩道に生えた雑草を刈り取り、発芽を抑制するための加工を行う機械	○	○	○		

(2) 河川施設のニーズに基づく開発

開発装置の名称	装置の概要	開発のニーズ				開発の熟度
		省力化	維持管理	環境対策	安全確保	
アオコ回収船	湖面に浮遊するアオコを回収する喫水80cm、処理能力30m ³ /hの水面清掃船	○		○		
刈草焼却車	堤防等の刈草を現地で焼却する車載式小型焼却炉	○		○		実
根固めブロック掴み装置	異常出水時に堤防等洗掘防止のため、投入するテトラポッドを3本爪で掴む装置。		○		○	用
コンクリートブロック投入装置	異常出水時に堤防等洗掘防止として、コンクリートブロック投入する装置				○	化
ガタ土除去機械(船)	低流速河川の河口付近の樋門・樋管の前面に堆積するガタ土を除去する機械(船)		○		○	
河川底泥浚渫船	河川の底泥をスポット的に除去する小型で機動性の高い浚渫船		○	○	○	
植物廃材処理装置	刈草、ゴミ等植物廃材を、環境への影響が少なく安全に処理する技術として、微生物を使った処理装置				○	
軟弱地盤用除草機械	河川の高水敷でガタ土が堆積しているような軟弱地で施工可能な除草機械。刈草は結束して排出する。	○	○		○	河川底泥浚渫船
樋門等堆砂除去装置	樋門周辺に堆積し樋門操作の障害となる土砂を排除する装置。可搬式水中ポンプを使った噴流水で排除する。	○	○		○	
刈草圧縮処理装置	除草作業で発生した刈草を高温下で圧縮し板状に加工して養生マットや防草材を製造する装置				○	
水草処理機械	大量に発生したホテイアオイを回収・粉碎・脱水処理する機械	○	○	○		
流木処理装置	ダム貯水池に漂着した流木をチップ化しバインドレスボードを製造する機械	○	○	○		
水草回収処理機械	河川に繁茂する外来種水草を効率よく回収する機械を開発	○	○	○		開発中

(3) 砂防施設のニーズに基づく開発

開発装置の名称	装置の概要	開発のニーズ				開発の熟度
		省力化	維持管理	環境対策	安全確保	
峡谷部の資材運搬設備	峡谷部の植生等自然環境に与える影響を最小とする、ピンラック駆動の運搬設備				○	実用化
無人化コンクリート吹付け機械	峡谷部の砂防工事に用いる自動吹付けシステム。吹付け厚さをモニタ画像で確認し簡易操作で施工する	○			○	実証試験まで



図一 開発課題と開発ニーズの関係 (平成 6 年度～平成 15 年度)

(a) 現場作業の分析

工事現場に投入されるリソースは、人、機械、調査機器等であり、一定の作業手順によって施工することで要求された出来形、品質を実現している。

道路土工を例にみると、施工者（請負者、あるいは現場での施工の責任者）、職長、測量者、オペレータなどの関係者が、以下のようなプロセスで業務を行っている。

- ① 施工者は、設計図書に基づき、管理断面に丁張りを設置し、管理する。
- ② 施工者は、施工計画、運土計画、工事進捗状況から施工場所について職長を通じてオペレータに指示する。
- ③ オペレータは丁張り、対象物の状態、機械の位置、姿勢を見ながら機械を操作し、作業を行う。オペレータは、通常、直接機械を操作するが、無人化施工などの場合は、映像を見ながら遠隔操縦装置を介して操作信号を伝達している。
- ④ 施工者は、出来形形状を測量し、出来形の管理図、出来高を整理する。

以上に示した、人、機械、調査機器などについて、それぞれの機能と扱う情報を踏まえてモデル化すると図-2のように表すことができる。

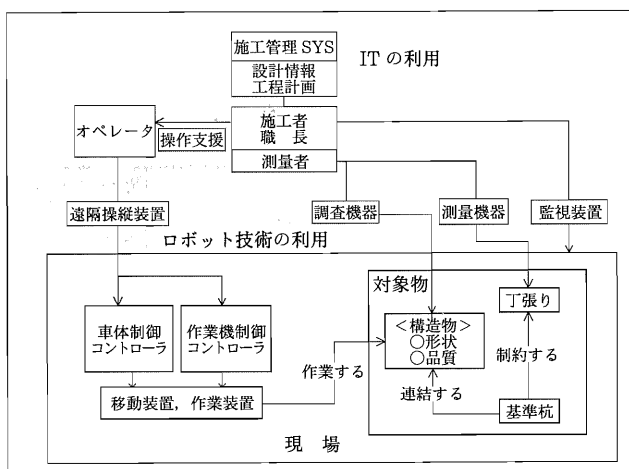


図-2 現場施工のモデル

(b) 新たな「情報化施工」

これまでの、ロボット技術として、遠隔操縦機械、自動化機械、また、ITとして、機械情報を利用した管理システム、高度な測量器械など様々な技術が利用されてきているが、最近では、3Dデータの取得が可能な測量器械、3D設計情報の利用、施工情報の共有等の新たなツールに支えられた「情報化施工」の兆しが見えてきている。図-2の現場施工のモデルには、ロボット技術、ITの適用範囲を示した。

施工技術総合研究所では、このような背景の中で現在提案され、構築されつつあるいくつかの情報化施工システムに対して、それを実際の施工現場に適用して、その実効性や改善点を検証するための実証実験に取り組んでいる。その例として、

- ・のり面切り土工の出来形管理、
- ・アスファルト舗装の出来形管理、
- ・盛土締固め管理

の3例の実証実験の概要を以下に示す。

(2) のり面切り土工の出来形管理

(a) 技術の概要

トータルステーション (TS) と設計データを扱えるデータコレクタを用いて、測量者および施工者が計測機器から出力した3次元座標データを利用して、出来形値と設計値との差を自動算出できるシステムにより、のり面切り土工の出来形管理を効率化する。

(b) 実験内容

国道の歩道設置工事における出来形管理作業において従来型とIT型の双方を実施して、それらの作業効率を比較分析した(写真-1)。



写真-1 のり面切り土工の実証実験

IT型出来形管理では、測量者は任意の位置で測量し図-3に示すポイントネーム付きの3Dデータを得る。施工者は、このデータから設計と出来形の差違を

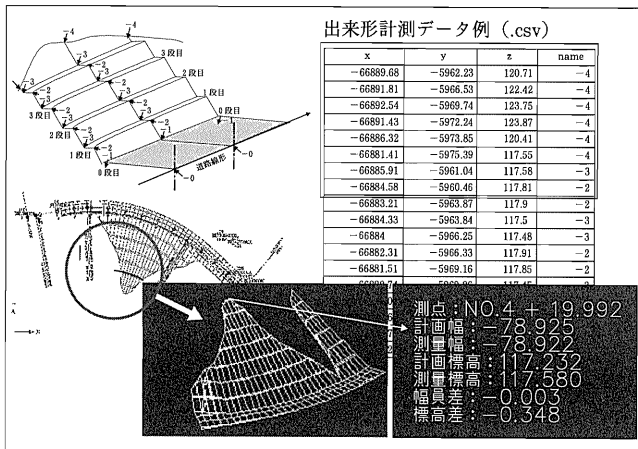


図-3 出来形と設計との差を確認画面例

画面で確認する。

図-4は、計測機器から出力した3次元座標データを利用して、出来形値と設計値との差を自動算出した画面の一例である。図のように、計測値、設計値を共に計画中心からの横断方向距離（道路中心平面線形に垂直）と高さ方向距離に変換し、それぞれの差で管理した。また、現行の規格値は全幅員に対して与えられているが、今回は計画中心から右と左に2分割して管理しているため、現行基準の1/2の値を基準として使用した。

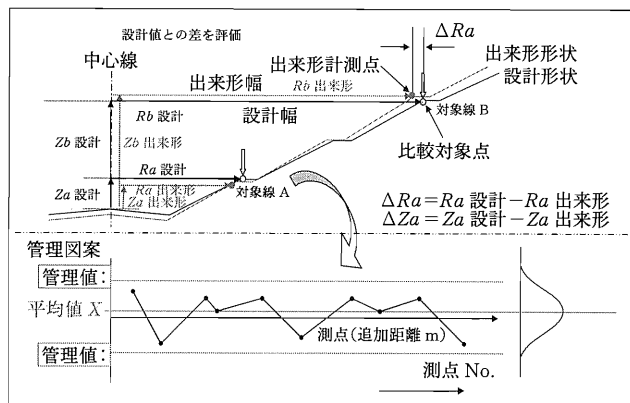


図-4 IT型出来形管理の管理基準

(c) 実験結果

実験の結果、測量における事前の机上計算などの準備作業や、丁張りなどの設置作業に時間短縮効果があることがわかった。図-5は作業従事者を対象として、どの程度作業の手間が省略されたかをヒアリングした結果をまとめたものである。それによると、測量作業は1/2になり、資料作成は1/4になるなど、大幅な時間短縮効果が認められ、これによるコスト低減も見込まれる。

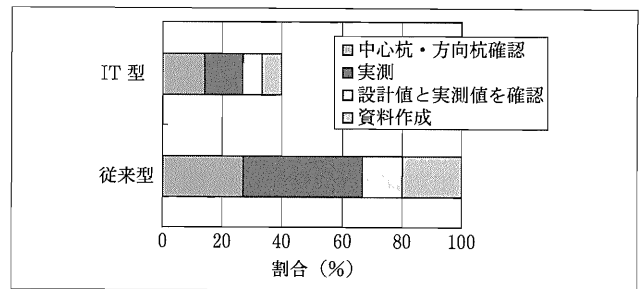


図-5 IT型出来形管理の推定効果

(3) アスファルト舗装の出来形管理

(a) 技術の概要

トータルステーションとデータコレクタを用いて、アスファルト舗装の層厚分布を面的に把握することにより、適性かつ迅速な出来形管理を実現する。図-6にその概念を示す。

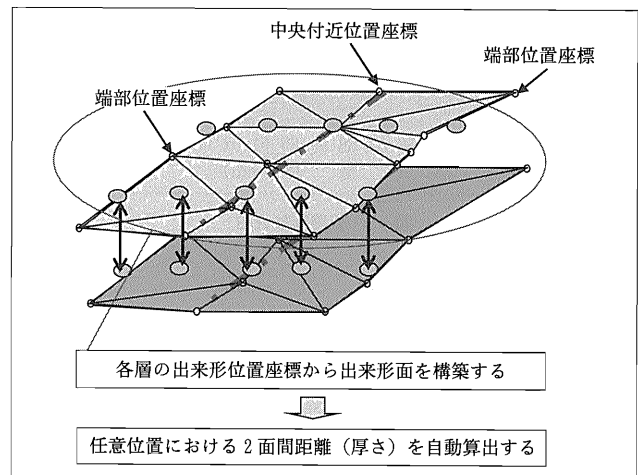


図-6 新しい管理方法概念図

(b) 実験内容

計測は、舗装工における各層の仕上がり面の道路中心、端部を5m間隔で行い、各層の3次元面形状が

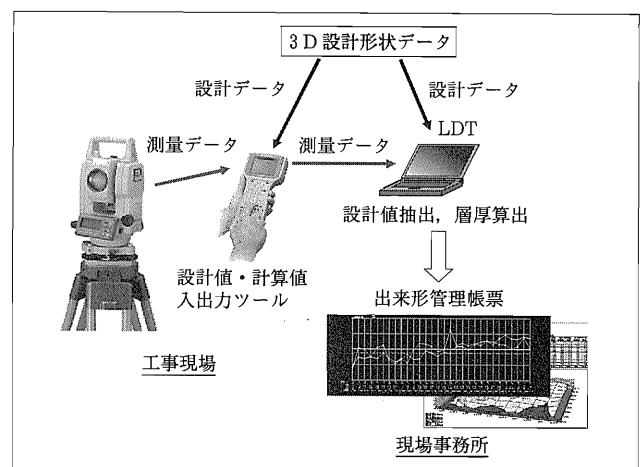


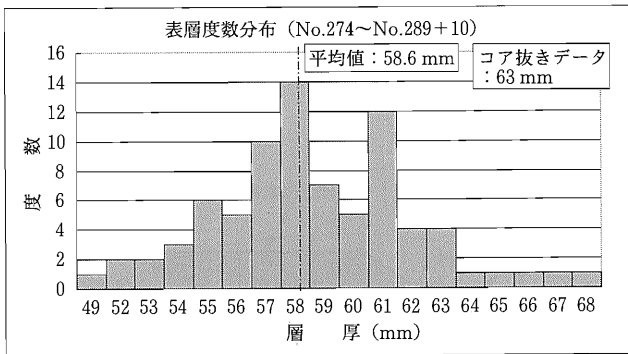
図-7 実験機器

ら、任意の位置（管理断面@10 m，中心からの離れ@1 m）で層厚を算出した。

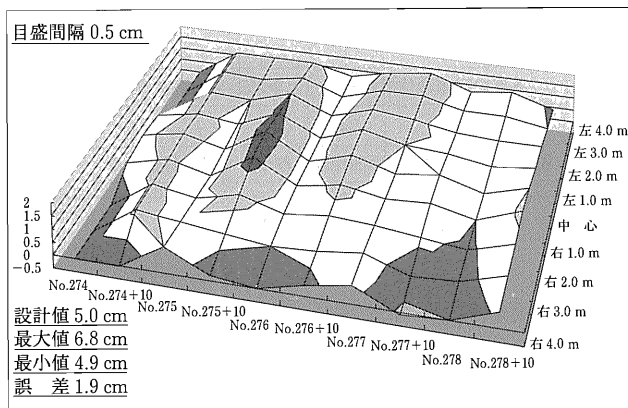
用いた実験機器は図一七に示すようなものである。

(c) 実験結果

図一八に、新規設置道路 100 m 区間（幅員 10 m）における表層厚の平均値および度数分布を示す。また、図一九に表層厚の差異の分布図を示す。これらの図に示されているようにこの区間内で比較的大きなばらつきを持っており、現行の層厚管理計測として、この区間内の 1 箇所だけコア採取により計測しても、層厚の代表値とはいえないことは明らかである。



図一八 表層度数分布



図一九 表層厚の差異分布図

この実験結果から以下のような事項が指摘できる。

- ① トータルステーション，レーザースキャナ等の計測器機を用いることで，舗装層厚の面的管理が実現できるものと考えられ，それら機器を用いた舗装層厚の面的管理手法の確立が必要である。
- ② 現状では，路盤工の不陸をアスファルト層厚によって調整している現状があり，路盤工を精度よく施工が可能であれば，高価で環境負荷が大きいアスファルト（表層）の使用量の削減につながる可能性がある。

(4) 盛土締固め管理

トータルステーション，GPS（全地球測位システム）を用いた敷均し締固め機械を用いた盛土施工の 2 事例を紹介する。

(a) 事例 1

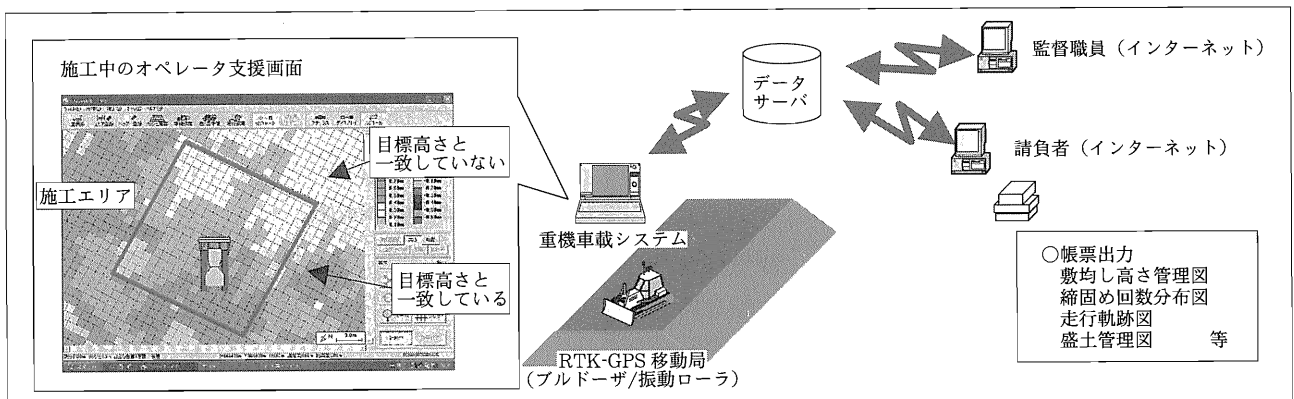
この技術は，敷均し，締固め施工において，施工機械に位置計測装置（RTK-GPS；Real-time kinematic GPS）を取付け，これらから取得できる走行軌跡を利用して敷均し高さ，締固め回数を求めつつ施工を行うものである。この技術により，施工状況の情報を施工者と監督職員，発注者が共有することで，施工状況の把握および出来型確認の迅速化が図られる。

図一十にこのシステムの概念を示す。また，測量者が任意の出来形取得位置で得たデータを，データコレクタが道路中心杭からの離れと高さに変換し，パソコンで帳票出力を行える方法で管理した（図一十一）。

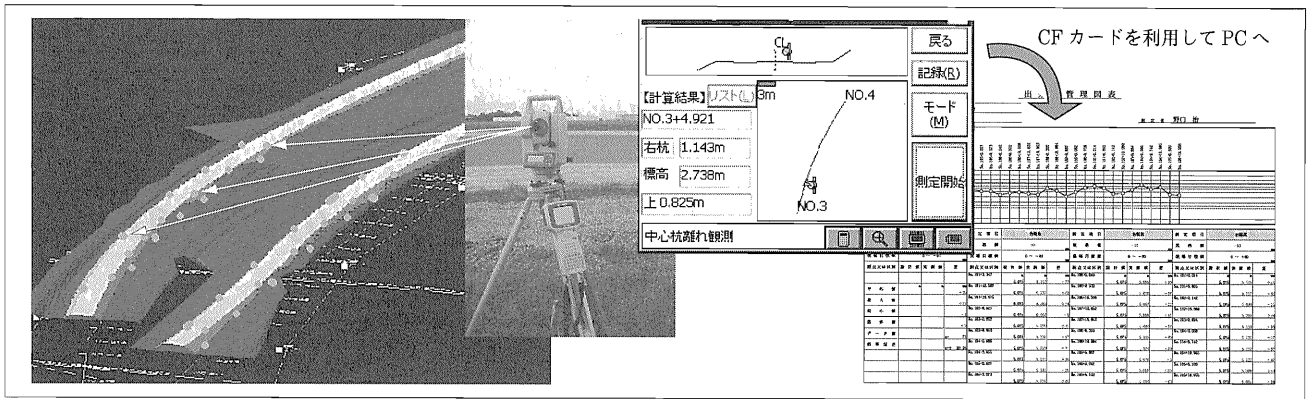
この事例については，すでに実証実験が終了しており，現在，これらの効果，今後の課題などについてとりまとめ中である。

(b) 事例 2

この技術は「事例 1」とほぼ同様であるが，ブルドーザでの締固め作業が必要なことと複数の搬入土を利用することが特徴である。そのため，施工機械に位置計



図一十 現場システムのイメージ図



図一11 出来形取得点と出来形管理方法

測装置 (RTK-GPS) を取付け、これらから取得できる走行軌跡を利用して敷均し高さ、締固め回数を管理するほか、これらのデータと材料情報を関連づけて管理するものである。

この事例についても、現在実証実験を終了し、これらの効果、今後の課題などについてとりまとめ中である。

4. 今後の取組み

今後、ロボット技術・ITの進展により、現場のニーズに答えるための新たな施工機械の開発、あるいは構造物の3次元形状データを短時間に取得し解析する技術などの開発が進むことが考えられる。

当研究所では、これらの開発に際し、実証実験を最も重要なプロセスとして捉え、これまでどおり現場実験を踏まえて技術を確立する取組みを継続するつもりである。また、情報化施工については、これまで培ったノウハウを他の工種に展開し、建設施工の一層の合理化に貢献したいと考えている。

5. あとがき

施工技術総合研究所では、自らの頭と手足を使って

技術開発に取り組んでいるが、各種の開発成果を具体的な装置やシステムとして生み出す製作技術が必要である。幸い、これまで理解のある協力会社に恵まれて、共に多大なリスクを負いながらも難題に果敢に挑戦することにより開発を推し進めてくることが出来た。改めて、ここにこれらの協力会社に感謝の意を表する。

JICMA

【筆者紹介】



竹之内博行 (たけのうち ひろゆき)
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
技師長



西ヶ谷忠明 (にしがや ただあき)
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第四部
部長



上石 修二 (あげいし しゅうじ)
社団法人日本建設機械化協会
施工技術総合研究所
研究第四部
研究課長