

2.9. 設計データを搭載した3次元測量機器による出来形管理手法の導入について

情報化施工における出来形管理手法の適用工種と利用技術の拡大

国土交通省 国土技術政策総合研究所 情報基盤研究室 ○ 梶田 洋規
 同上 北川 順
 国土交通省 関東地方整備局 千葉国道事務所 遠藤 和重

1. はじめに

国土交通省（国交省）では、コスト削減や品質確保などへの対応の一つとして、情報化施工の導入・普及に取り組んでいる。設計～施工～維持管理の建設生産プロセスにおいて、個々に構築・利用している情報の有効活用を図るべく、施工段階で3次元座標の電子データを扱う測量機器を利用して効率的な出来形管理手法を構築し、将来、その情報を他フェーズと連携させることを考えた。先ず、土工を対象に設計データを搭載したトータルステーション（TS）による出来形管理手法を構築し、その後、ニーズに対応すべく情報化施工の適用工種・技術の拡大に取り組んでいる。

本稿では、3次元測量機器による出来形管理手法の適用拡大に関する取り組みを紹介する。

2. TSによる出来形管理手法の構築

情報の有効利用による業務の合理化や建設生産システムの高度化に向けた業務分析を基に、出来形情報の流通サービスの構築を行った。

2.1 出来形に関係する情報の流れ

出来形管理用TSの研究の契機は、情報の流れの観点から従前の施工プロセスを分析した結果である。施工プロセス上、土木構造物の長さや幅といった形状データや位置データが、帳票や図面を作成する際に何度も入力されていることが分かった。研究の焦点を施工（施工管理）段階にあって、重複するデータ入力作業の無駄を無くすと共に入力ミスも減らすため、3次元位置情報を情報流通に適した電子データとして取得できる3次元測量機器を出来形管理に利用することを検討することとした（図-1）。

2.2 出来形管理基準

公共土木工事においては、「土木工事施工管理基準」が定められ、工種毎に出来形管理の測定項目や規格値が決められており、監督・検査においても、その内容に沿って行われている（図-2）。利用する3次元測量機器は、この規格値の計測を行う

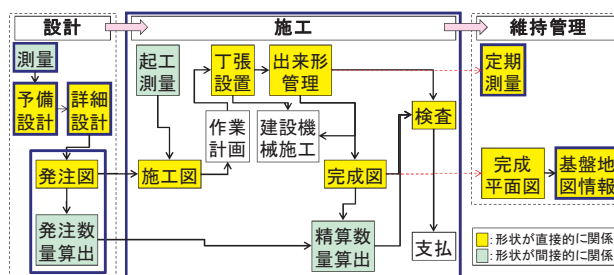


図-1 施工プロセスの分析

工種	測定項目	規格値 (mm)	測定基準	測定箇所
道路 土工	基準高 ▽	±50	施工延長40mにつき1箇所、延長40m以下のものは1施工箇所につき2箇所。基準高は、道路中心線及び端部で測定。	【盛土の場合】
	法長	L < 5m	掘削：-200 盛土：-100	
		L ≥ 5m	掘削：法長の-4% 盛土：法長の-2%	
	幅 (W1, W2)	-100		

図-2 出来形管理基準（道路土工）

に足る精度（規格値に対する再現性の確保）を保有している必要がある。

3次元位置座標の電子データを扱う測量機器で、近年、広く用いられているTSの計測誤差は、実験の結果、3級TSだと計測距離が100mの地点で、水平方向が±20mm以内、鉛直方向が±10mm以内であり、「土工」の出来形管理に利用可能な精度が確認できた。

2.3 3次元プロダクトモデル

3次元座標データを活用し、作業の効率化やデータの有効利用を考えると、製造業で利用され高い生産効率をあげている3次元CAD技術があげられる。3次元CADは部品などをモデル化し、単なる点の3次元座標値でなく、点の意味も含めてデータを流通することで、後処理の合理化を可能としている。同様に、土工の「法肩」など出来形管理の構成点を定義付けし、構造物の3次元形状を表すモデルを構築した。道路土工の場合、道路中心線形と各断面で定義した（図-3）。構成点の

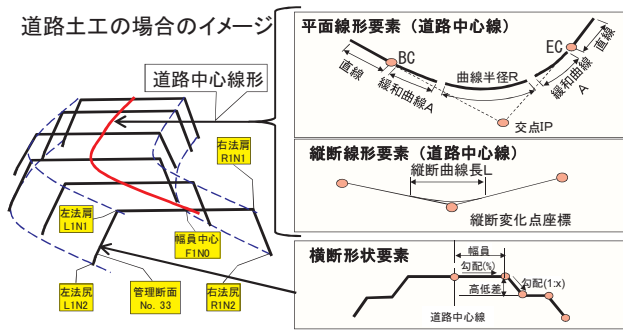


図-3 道路土工のモデルとその構成点の位置付け

定義付けにより、計測した座標が何の点かソフトウェアに認識させることが可能となり、例えば、法肩と法尻の3次元座標値から法長を自動算出、出来形管理帳票の自動作成などが行える。

2.4 出来形管理用TS

(1) システム構成

出来形管理用TSは、出来形管理に用いる設計データを3次元座標値としてTSに搭載するものであり、「3次元設計データの作成ソフト」、「TSハード及び搭載ソフト」、「帳票の作成ソフト」により構成され、各ソフトに必要な最低限の標準機能を定めると共に、ソフト間でデータの互換性を確保するためにデータ交換標準を策定し、必要な性能の確保と互換性の確保を図った(図-4)。

(2) 特徴と効果

従前の出来形管理は、計測する断面に丁張りを設置し、レベル・巻尺で長さ・高さを計測しており、丁張り設置や計測に手間・人数を要し、また、帳票類作成時には転記ミス懸念があった。

TSは、設計データを基に計測したい箇所へTSのミラーを誘導する機能を搭載することから丁張りが不要である。なお、丁張りの効率的な設置も可能である。また、断面毎に計測する必要はなく、計測は2名で行え(自動追尾機能搭載機種だと1名で行える)、自動帳票作成により労力削減と転記ミス防止が図られる(図-5)。他にも、3次元座標の設計データを搭載しているため、設計値との誤差を計測と同時に把握でき迅速な修正作業が

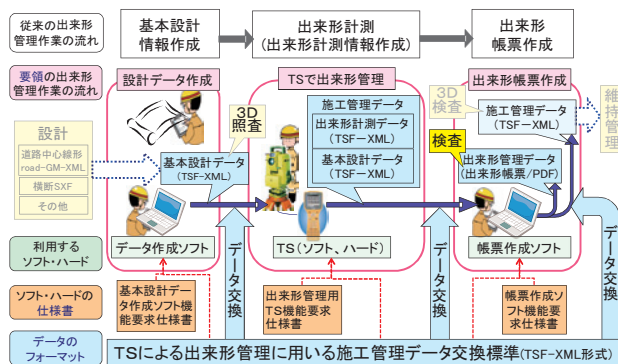
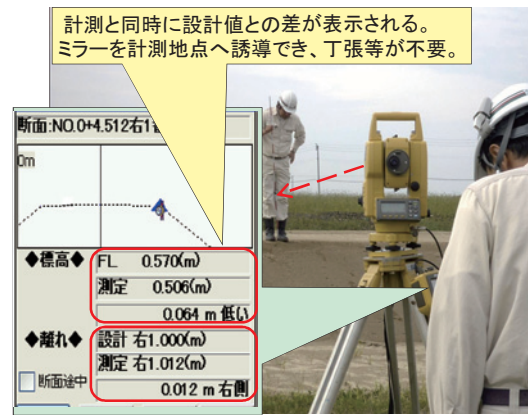


図-4 出来形管理用TSのシステム構成



従来(巻き尺)

丁張りや杭の設置
断面毎に計測・移動

出来形管理用TS

TS

作業内容	従来	本手法	短縮効果	
出来形管理	測量準備	9日	2日	78%減
	測量	6日	4日	33%減
	帳票作成	3日	0.3日	90%減
2400m 合計	18日	6.3日	65%減	

①ミラーを計測箇所へ誘導可能(→丁張り設置が不要)
②断面毎に計測する必要無し
③計測と同時に出来形確認

図-5 出来形管理用TSによる計測状況と効果

行えると共に、監督・検査で利用すれば、施工者の計測箇所を特定、管理断面以外の任意断面で確認を行うこと等も可能である。

3. 適用拡大の方向性

TSによる土工の出来形管理にとどまらず、取り組みの発展を考えると、大きく分け、ニーズ(効果が期待される機会)とシーズ(利用する技術)があり、ニーズは工種と利用場面に細分できる。その3つが適用拡大要因となることから、その組合せによる3次元的な展開が考えられる(図-6)。その組合せの中から、効果や実現性が期待できる組合せを選定し、検討していくこととなる。

3.1 工種の拡大

1つの工事を全てTSで計測すれば、機器の利

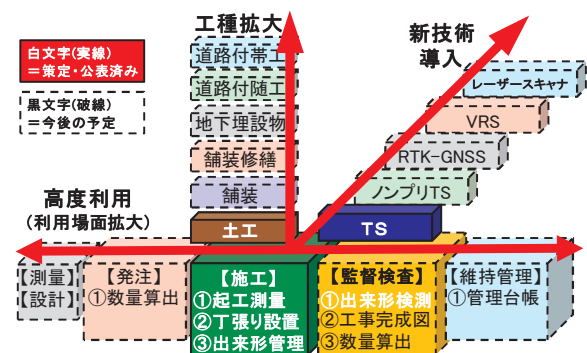


図-6 適用拡大の方向のイメージ

用効率が上がると共に、維持管理や修繕工事などの後工程での広い活用用途が期待できる。

例えば、道路工事に着目すると、既に完成している道路土工と同じ工事目的物という観点から「舗装（新設・修繕）、路盤工、地下埋設物、道路付属物（縁石、排水溝）、道路付随工（ブロック積、擁壁）」などへの展開が考えられる。

なお、ダムは大規模工事のため効果を得やすいが、直轄工事だけでは数が限られることから、データ交換標準の策定の必要性が低い。

3.2 新技術の導入

3次元座標を電子データで扱う測量機器には、TS以外にも様々な特徴を有する技術がある。例えば、プリズムを用いず非接触で計測が可能なノンプリズム方式TS（ノンプリTS）、測位衛星（米国GPS等）を利用し広域の計測が可能なRTK-GNSSやVRS、広範囲の大量な点データを遠隔地から非接触で取得可能なレーザースキャナ、TSとデジタルカメラが一体となり画像と3次元データを合成表示し視覚的に作業が行えるイメージングステーション等があげられる。

3.3 利用場面の拡大

出来形管理を行う場面として、受注者による施工管理と共に、発注者による監督検査があるが、出来形管理用TSは3次元設計データを作成することから、その作業における設計図書の照査の確実性・効率性の向上が期待される。

また、3次元座標データが得られることから、工事完成図や精算数量算出に利用したり、測量段階で利用し3次元座標データを得てCADソフトで設計を行うことで発注用数量を自動算出したり、維持管理の管理台帳のデータとして利用したりといった展開も考えられる。

4. 導入検討について

利用場面として「出来形管理」について、新たな工種・測量技術の導入対象として、「RTK-GNSS・土工」と「ノンプリTS・舗装修繕工」について前記視点で整理する。

4.1 RTK-GNSS【土工】の導入検討

(1) ニーズ

TSの場合、出来形計測に必要な精度確保のため、計測距離は3級TSの場合で100m以内（2級TSの場合は150m以内）の制限を設けており、それを超える場合、TSを移設し設定する必要がある。そのため、試行工事における意見として、計測距離の長距離化の要望が寄せられている。

(2) シーズ

1箇所に設置し広範囲の測量が可能な機器として、測位衛星を用いた測量機器の1つであるRTK-GNSSがある。座標が既知の点に基地局を設

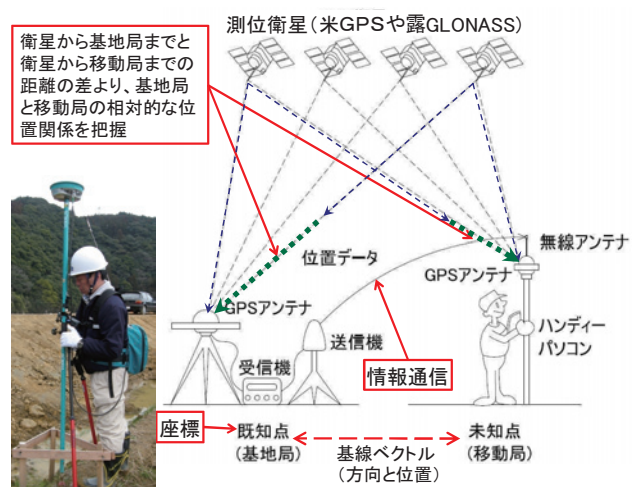


図-7 RTK-GNSSによる計測の概要

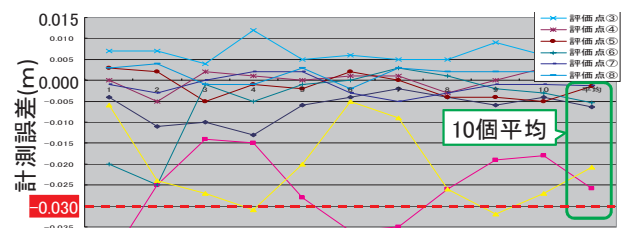


図-8 RTK-GNSSの計測誤差(個々のデータと平均値)

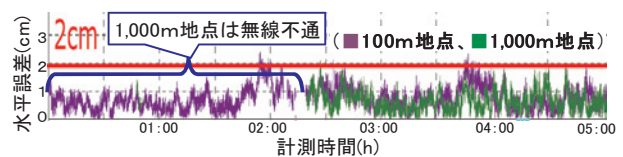


図-9 RTK-GNSSの計測精度検証(距離の影響)

置し、移動局と両方で位置計測し、その情報を無線通信することで、精度向上を図っている。(図-7)

計測精度は、実験や試行を通じ、1回の計測値では誤差が大きい場合があるが、10回平均値を取れば土工の出来形計測に利用可能な精度確保が可能なこと(図-8)、基地局から移動局の距離が1kmくらいであれば距離による精度の低下は無く無線通信性能が制約になること(図-9)を確認することができ、導入可能なことが明らかになった。

(3) 効果の検証

試行現場における出来形管理を、TSとRTK-GNSSで二重管理し比較検証した結果、延長が長くTSの移設が必要な現場ではRTK-GNSSの高い効率性が確認でき、逆に、延長が短くTSの移設が無い場所では効率が悪くなる場合があることも確認できた(図-10)。重機による情報化施工を行っている場合、重機の位置検出に利用している基地局と共用できること、施工後に重機に搭載された移動局を取り外して出来形管理を行える形が構築できる点からも大規模な現場での活用は有望である。

試行延長 (m)	計測点数 (点)	GNSS				TS				効率向上率 (%)
		計測人数 (人)	計測時間 (人・分)	機器設置 (分)	ローカライズ (分)	計測人数 (人)	計測時間 (人・分)	機器設置 (分)	設置回数 (回)	
200	17	1	108	15	45	2	135.6	74	2	20
180	27	1	50	18	30	2	236.4	102	3	71
40	15	1	58	18	0	2	120	20	1	46
40	10	1	25	20	28	2	28	16	1	-66

図-10 RTK-GNSSの効果検証結果

作業項目	現行手法			TS手法		
	時間 (分)	作業員 (人)	作業員 (人・日)	時間 (分)	作業員 (人)	作業員 (人・日)
基準点設置	130.0	2.000	0.542	265.0	2.000	1.104
工事測量	396.0	2.000	1.650	363.0	1.494	1.130
出来形測量(表層)	134.2	4.000	1.118	161.8	1.240	0.418
計	660.2	-	3.310	789.8	-	2.652
TS手法による低減効果	-	-	-	-	-	20%

図-13 ノンプリTSの効果検証結果

4.2 ノンプリTS【舗裝修繕工】の導入検討

(1) ニーズ

舗装の打換え工事の特徴として、特に都市部で交通規制に対する社会的影響が大きく交通規制時間の短縮に対し強い発注者ニーズがある。また、短時間での輻輳作業による安全性への懸念も課題である。そのため、総合評価方式においても、その対策が技術提案テーマとして設定されることが見受けられる。

(2) シーズ

舗装の現況・切削後・施工後の各段階の計測作業を歩道より行える機器として、非接触で計測可能なノンプリTSの利用が有効と考え、関東地方整備局 関東技術事務所が主体で検討している(図-11)。出来形管理基準の測定項目には「厚み」があるため(図-12)、切削面・基層・表層の同じ箇所の高さ座標の差より厚さを算出している。

測定機器に求められる精度は、現場ヒアリングや有識者の意見より±3mmであり、試験で利用したノンプリTSは計測距離30m以内であれば精度が確保できることが構内試験や試行現場で確認でき、導入可能なことが明らかになった。

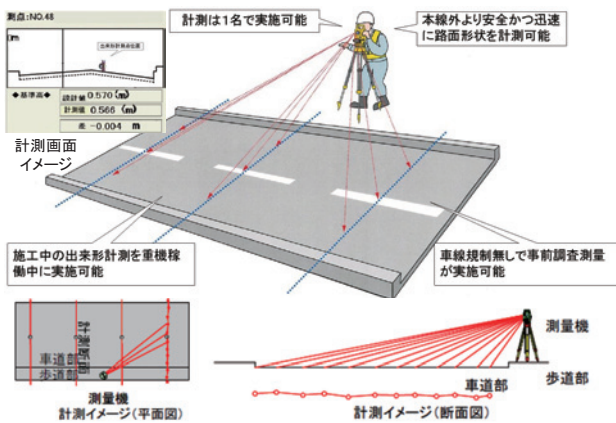


図-11 ノンプリTSによる出来形管理

工種	測定項目	規格値(mm)	測定基準	測定箇所
切削オーバーレイ工	厚さ t	-9	測定点は車道中心線、車道端及びその中心とする。幅は、延長80m毎に1箇所の割合とし、延長40m未満の場合は、2箇所/施工箇所とする。断面状況で、間隔、測点数を要する。維持工事においては、平坦性の項目を省略することが出来る。	
	幅 w	-25		
	延長 L	-100		
	平坦性	3mプロファイルメーター(σ) 2.4mm以下、直読式(足付き)(σ)1.75mm以下		

図-12 出来形管理基準(道路維持修繕)

しかし、舗装の種類(密粒、排水性)や現場条件(勾配など)の影響があり、全ての現場条件で精度を保証し得る根拠とデータ量が無く、また、ノンプリTSで舗装面へ斜光し計測する精度は、機種で差があることも確認できている。よって、各現場でノンプリTSを利用する際は、先ず、その現場で精度確認するルールを導入し要領に定める方向で検討している。

(3) 効果の検証

試験的な工事においては、30mの距離制限であっても導入効果は得られた。夜間交通規制で舗装打換え工事を行った現場では、交通解放後の計測となるため、一般交通がレーザー光を遮断し計測時間は従来よりも長くなったが、作業員(人・日)削減、交通規制時間の短縮、及び輻輳作業の解消という効果は満たされた(図-13)。

5. おわりに

利用場面を「出来形管理」に固定すれば、ニーズに対応する特徴を持ったシーズ(3次元測量機器)とマッチングを行うことで、適用拡大の候補は抽出できる。また、検討していく中で、要領などルールでフォローする内容、工事規模や地域性等の現場条件による制約条件も整理されてくる。

ただし、出来形管理用TSの構築に際しての役割分担として、国交省が出来形管理要領、機能要求仕様書、データ交換標準を策定・公表し、それに基づき民間企業が製品開発・販売を行っている。民間企業が開発・販売するには、利益の見込みが必要である。そのため、将来的に期待できる可能性のある効果では無く、発注者・受注者が直ぐに得られる範囲で効果を出す必要があり、また、「受・発注者の総利益>受注者の総導入費用>メーカーの開発・製造費用」が成り立つことが必須である。

そのためには、受・発注者の総利益を大きくすることが必要であり、維持・修繕での活用サービスの構築、測量・設計からの情報流通、自治体への普及が必要である。また、発注者側の積算では見え難くても、施工者にとっては大きな効果があるニーズや国民にとって重要なニーズを抽出することが必要である。