

「TS を用いた出来形管理」で規定した機能と今後の取り組み ICT を利用した作業性・信頼性向上及び判断支援に資する機能

梶 田 洋 規・北 川 順

国土技術政策総合研究所は、トータルステーション (TS) に3次元座標値と付加情報で構成する3次元設計データを搭載し出来形管理の高度化を図る研究を行っている。その研究成果の一つとして、有益と考えられる機能が搭載された製品が開発企業から供給されるように、国土交通省の取り組みにおける情報化施工として最低限必要と考えられる機能の仕様を明示する技術仕様書を策定・公表している。TS を用いた出来形管理技術は、施工管理と監督検査に利用することから、情報通信技術 (ICT) を利用し「作業性向上 (判断支援を含む)」と「信頼性向上」に資する多くの機能を規定している。本稿では、技術仕様書で定めたこれら機能の特徴を紹介すると共に、今後の考えられる展開について紹介する。

キーワード：TS, トータルステーション, 出来形管理, 施工管理, 監督検査, 情報化施工, データ交換標準, 機能要求仕様書

1. はじめに

国土交通省 (以下、国交省) では、平成 20 年 7 月に「情報化施工推進戦略」を策定し、ICT (情報通信技術) を利用した情報化施工の普及に取り組んでおり、国土技術政策総合研究所 (以下、国総研) では、普及に注力して取り組んでいる情報化施工の1つである「TS を用いた出来形管理」に関し、研究・技術支援を行ってきた。

TS を用いた出来形管理は、近年普及してきたレーザー光による3次元測量技術であるトータルステーション (以下、TS) と CAD 技術を組み合わせたものであり、計測と同時に結果の良否を判断できる情報を得ると共に、現場状況による予定外の急な位置出しに即座に対応できる等、現場技術者の即応力の向上を図り、工事の進捗を円滑に行うことに資するツールである。

国総研では、業務や情報の流れを分析してコンセプトを構築し、フィールド試験による実現性の評価、現場試行を通じた現場適用性や効果の評価などを行い、また、開発者業界団体との意見交換や技術協力を得ながら、技術的側面から「TS を用いた出来形管理」の実現化を進めてきた。国総研が策定した関係基準類は、ユーザーである施工者や監督職員・検査職員ではなく、ソフトウェア開発者が主な対象であり、ソフトウェアに必要な機能とその仕様を定めた技術仕様書であ

る。平成 24 年 3 月の出来形管理要領等の改訂にあわせ、それに対応する技術仕様書を策定している。

本稿では、これら技術仕様書で定めた機能や情報項目を紹介すると共に、今後の考えられる展開について紹介する。

2. TS を用いた出来形管理の基準類の関係

TS を用いた出来形管理の作業の流れに対する要領類や仕様書類の関係を図-1 に示す。

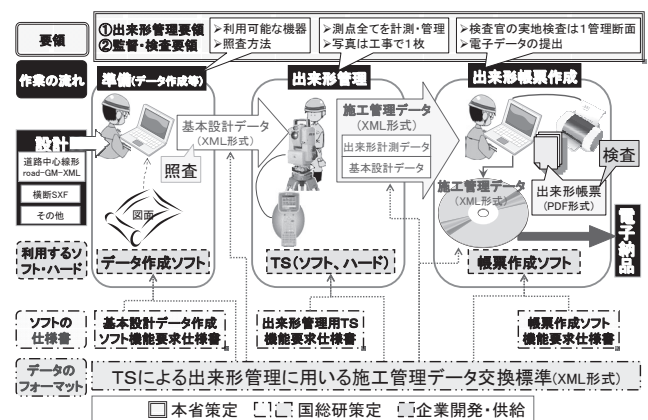


図-1 TS を用いた出来形管理と基準類の関係

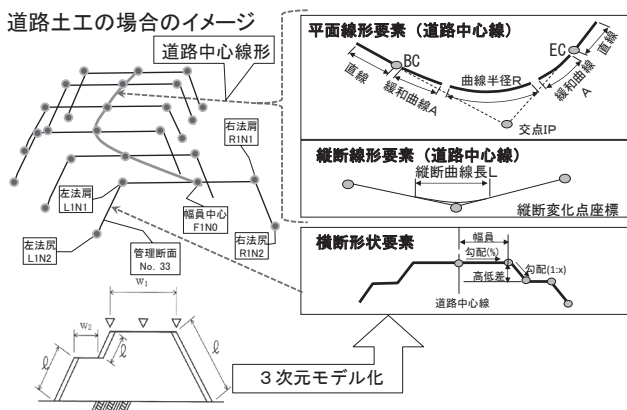
本省が、主に施工者を対象に出来形管理の行い方のルールを示した「TS を用いた出来形管理要領」(以下、TS 管理要領) や、主に監督職員・検査職員を対象に

監督・検査の行い方のルールを示した「TSを用いた出来形管理の監督検査要領」(以下, TS 監督検査要領)を策定するのに対し, 国総研では, ソフトウェア開発者を対象として, 本省が策定する要領類に記載された内容を実現するため, ソフトウェアに必要な機能とその仕様を定めた「出来形管理用トータルステーション機能要求仕様書」(以下, TS ソフト仕様書)と「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ作成・帳票作成ソフトウェアの機能要求仕様書」(以下, サポートソフト仕様書)や, 国交省に電子成果品として納品するよう, また, 異なるメーカーの製品間でデータが交換できるように定めた「TSによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案)」(以下, TS データ交換標準)を策定し公開¹⁾している。開発者は, 国総研が策定した「TSソフト仕様書, サポートソフト仕様書」(以下, TS 機能要求仕様書)及び「TS データ交換標準」に沿って, 仕様に準拠したソフトウェアを開発・提供している。

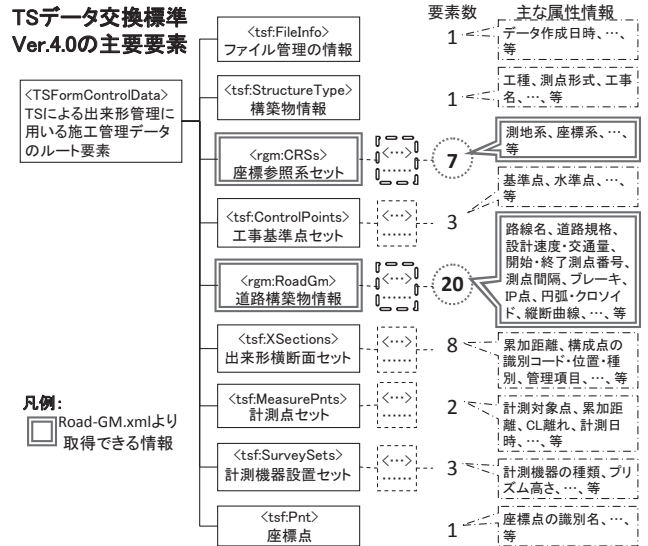
TSを用いた出来形管理では, CAD技術を利用して予め3次元設計データに付加情報が付属した「基本設計データ(XMLファイル)」を作成し, これをTSに搭載して効率的に出来形管理等を行い, 出来形計測データが合わさった3次元データである「施工管理データ(XMLファイル)」を得て, 帳票作成ソフトで出来形管理帳票を半自動的に作成する流れで行われる。

3. データ交換標準

TS データ交換標準に準拠した施工管理データの土工のイメージを図一2に示す。平面線形と縦断線形から成る中心線形と, 横断形状を組み合わせたスケルトンと呼ばれるモデルである。出来形管理は, 土工であれば20mピッチの測点毎の横断面で行われることから, 面的なTINモデルでなくて事足りる。また,



図一2 土工の施工管理データのイメージ



図一3 TS データ交換標準の情報

目的上, 自ずと出来形管理基準の模式図と似通ったものとなっている。3次元形状に目が行きがちであるが, データ交換標準の重要な点は, 3次元座標値と共に付加情報(属性情報)を持つことである(図一3)。そのことで, プログラムが3次元座標値を設計値か計測値か区別でき, また, どの地点の点かを認識できるため, 現場で計測すると同時に幅員や法長が算出され設計値と計測値を比較表示したり, 出来形管理帳票を半自動的に作成することが可能となる。

TS データ交換標準は, 平成20年3月に土工を対象に Ver.2.0 を策定し, 舗装をはじめ多くの工種に対応できるよう, Ver.4.0 を平成23年9月に策定(平成24年3月に一部修正)した。Ver.4.0では, 工種拡大に向け管理項目の追加など²⁾を行ったが, 時刻が自動記録されることから, 将来, 3次元座標軸に時間軸を加えた4次元でのデータ解析や維持管理での利活用が考えられる。

4. 機能要求仕様書

TS 機能要求仕様書は, TS 管理要領に記載された内容を実現するため, ソフトウェアに必要な最低限の機能とその仕様を定めたものである。各社が販売するソフトウェアには, 各開発者の創意工夫で, より有益な機能が追加搭載されている。TS ソフト仕様書は現場計測に利用するソフトウェアを対象とし, サポートソフト仕様書は事務所内で基本設計データや出来形帳票の作成に利用するソフトウェアを対象としたものである。サポートソフト仕様書は, 「基本設計データ作成」に関わる部分と「出来形帳票作成」に関わる部分に分かれている。

TS 機能要求仕様書に規定した機能項目は表—1 の通りであり、1つの機能項目に対し複数の具体機能を有するものもある。TS を用いた出来形管理では、施工者の施工管理及び発注者の監督・検査に利用するため、ICT 技術を利用することで、大きく分類して「作業性向上（判断支援を含む）」と「信頼性向上」に資する数多くの機能を搭載している。以下に、それぞれに関する機能の中から特徴的なものを取り上げ紹介する。なお、1つの機能項目中の具体機能が異なる性質を有する場合は分けて両方に記載し、1つの具体機能が両性質を持つものは便宜的に一方に記載した。

表—1 機能要求仕様書で規定する機能

仕様書	機能項目	土工編		舗装工事編	
		土工編	舗装工事編	土工編	舗装工事編
TS ソフト	1 施工管理データの読込機能	○	○	○	○
	2 TS の器械位置算出機能	○	○	○	○
	3 線形データの切替え選択機能	○	○	○	○
	4 基本設計データの確認機能	○	○	○	○
	5 TS との通信設定確認機能	○	○	○	○
	6 工事測量機能	×	△	○	○
	7 任意点での出来形管理機能	○	○	○	○
	8 管理断面での出来形管理機能	○	○	○	○
	9 延長の管理機能	△	○	○	○
	10 計測距離制限機能	○	○	○	○
	11 出来形計測データの登録機能	○	○	○	○
	12 出来形計測データの取得漏れ確認機能	○	○	○	○
	13 監督・検査現場立会い確認機能	○	○	○	○
	14 施工管理データの書出し機能	○	○	○	○
サポートソフト (データ作成)	1 基本情報作成機能	○	○	○	○
	2 道路中心線定義読込み・作成機能	○	○	○	○
	3 管理断面設定機能	○	○	○	○
	4 横断形状定義作成機能	○	○	○	○
	5 出来形管理箇所の設定機能	○	○	○	○
	6 交換データの入出力機能	○	○	○	○
	7 横断図作成機能	△	△	○	○
サポートソフト (帳票作成)	1 施工管理データの読込み機能	○	○	○	○
	2 計測点データの管理機能	○	○	○	○
	3 基本帳票作成機能	○	○	○	○
	4 横断図作成機能	△	△	○	○

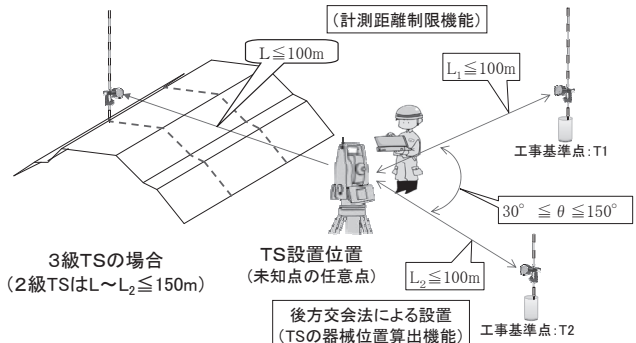
【凡例】 ○:必須機能, △:効果を高めるためのオプション機能, ×:無し

(1) 作業性向上（判断支援を含む）に資する機能
(a) TS ソフト仕様書

① TS の器械位置算出機能

TS は、レーザー光を利用し距離と角度から計測点

の座標を求める原理のため、計測時に TS 設置点の座標が分かっている必要があり、そのため、通常は座標の既知点上に TS を設置する。効率的な計測を行うために、TS を任意の未知点に設置した場合であっても、複数の工事基準点を観測することで TS の設置位置を求めることが可能な後方交会法による TS 設置機能（図—4）を規定した。



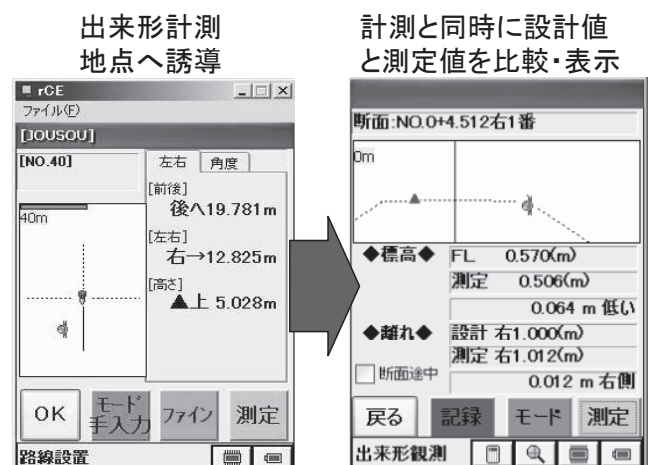
図—4 後方交会法による TS 設置

② TS との通信設定確認機能

ICT を利用する TS を用いた出来形管理では、アナログ技術のレベル・巻き尺など従来手法にはなかったトラブル発生の可能性があり、かつ、発生時には ICT への不慣れもあり、原因究明に時間を要し作業が長時間止まることが懸念される。そこで、操作端末が本体と分離したタイプでデータが正しく通信され指示に対し正しく応答しているか確認できる機能や、計測開始前に TS 本体の計測条件設定が正しいか画面表示で確認できる機能を規定した。

③管理断面での出来形管理機能

基本設計データの計測したい箇所を指定することで、プリズムの現在位置と指定位置の離れ距離を表示しプリズムを誘導し、TS により出来形計測すると同時に、計測した3次元座標と属性情報より、出来形管

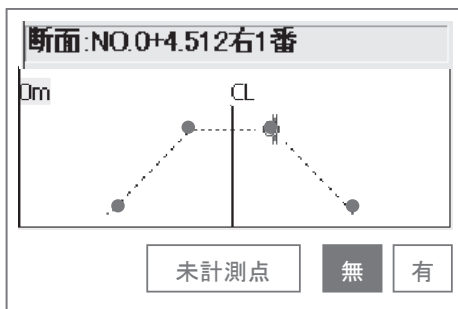


図—5 管理断面での出来形管理機能

理の測定項目（法長，幅員，基準高等）を算出し，その場で設計値と比較する機能を規定（図—5）した。

④ 出来形計測データの取得漏れ確認機能

計測漏れによる手戻り作業の発生防止のため，基本設計データ上で設定した計測箇所を基に，出来形計測後に出来形管理箇所の未計測点の有無を確認する機能（図—6）を規定した。



図—6 取得漏れ確認機能

(b) サポートソフト仕様書（基本設計データ作成）

① 道路中心線定義読み込み・作成機能

道路中心線形は，平面線形と縦断線形を入力して作成できると共に，設計で作成される「道路中心線形データ交換標準 基本道路中心線形編 Ver.1.0」（以下，道路中心データ交換標準）に準拠した道路中心線形データ（Road-GM.xml）を読み込むことができる機能を規定した。

TSデータ交換標準を構成する情報項目の半分は，道路中心データ交換標準に規定され，Road-GM.xmlで読み込める内容である（図—3）。データ作成の作業時間としては，数多くの横断図より横断データを作成する時間が長く，中心線形データの作成が全体で占める割合は大きくはない。しかし，TSを用いた出来形管理の普及を図るためには，作業の効率化と共に，初心者が導入しやすい「容易化」という観点も重要である。横断データの作成は，時間はかかっても同じ作業の繰り返しであり，入力すべき情報項目の約半分が自動作成されれば，大幅な容易化につながる。

道路予備設計Bで作成される道路中心線形は，以降の場面ではほぼ変わらないことから，電子データとして流通し後工程で活用できると考えられ，Road-GM.xmlが策定された。予備設計に用いるCADソフトにはRoad-GM.xmlを出力する機能を持つものが多くあるが，策定当時は，利用場面が明確でなかったため，現在，ほとんど予備設計でRoad-GM.xmlの納品を求めている。今後，納品を徹底することで，TSを用いた出来形管理の基本設計データ作成で効果をあ

げることが期待できる。

② 横断形状定義作成機能

オプション機能ではあるが，測点毎の横断形状について，地山との交点位置を設定する際に，土工定規的な設計の横断形状を作成しておき，断面毎に地山交点を追加するため，地形情報として測量で普及している横断地形情報（SIMA）データを読み込み，自動的に横断形状と地山交点を算出・設定する機能を規定した。また，入力された地形情報をTSデータ交換標準に規定する「地形構築形状」の項目に準拠して施工管理データとして出力できることも規定した。

(c) サポートソフト仕様書（出来形帳票作成）

① 基本帳票作成機能

出来形帳票を半自動作成するため，出来形管理の管理項目とその算出方法，また，監督職員・検査職員が立ち会った際のデータを，属性情報より自動的に見分け，朱書きなど分かり易く識別表示する機能を規定した。

(2) 信頼性確保に資する機能

(a) TSソフト仕様書

① TSの器械位置算出機能

計測精度を確保する観点から，TSと利用する既知点の夾角が30～150°以内（図—4）を外れる場合は警告を表示し，出来形計測データとして登録できない機能を規定した。

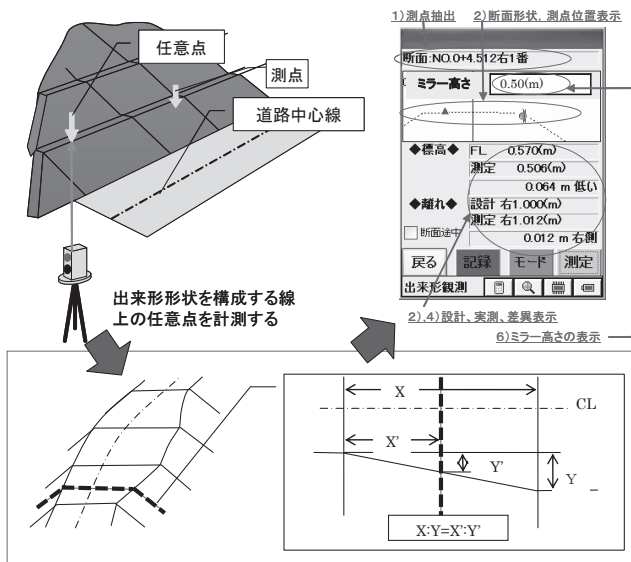
② 任意点での出来形管理機能

従来の管理手法では，例えば，高さの設計値は管理断面しか分からないため，現場立会時に任意点の出来形の確認を行いたい場合，まず，平面位置を測量して求め，前後断面の設計値より任意点の設計値を算出する必要があり，自主管理で急に確認を行いたい場合であっても時間を要し，監督・検査では確認できなかった。

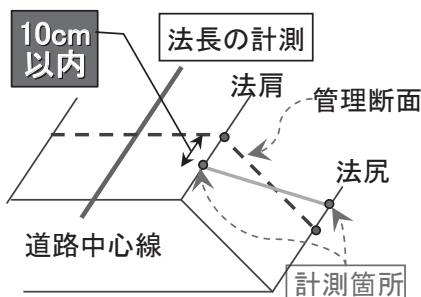
そこで，TSを用いた出来形管理では，データ作成していない任意の断面であっても，計測者が法肩・法尻などで出来形計測を行った場合に，TSに搭載している基本設計データの前後の管理断面の3次元座標値より比例配分計算して中間点の設計座標値を自動算出し，設計値と計測値の差を示す機能（図—7）を規定した。

③ 管理断面での出来形管理機能

丁張り無しで計測を行う場合，誘導機能で計測点に寸分違わず誘導するのは作業性の観点から非効率である。とは言え，例えば，法長計測時に2点が計測断面から逆側にずれて斜交する形になると，計測値は長くなり適正な管理が行えない（図—8）。そこで，計測



図一七 任意点での出来形管理機能



図一八 管理断面の計測可能な範囲

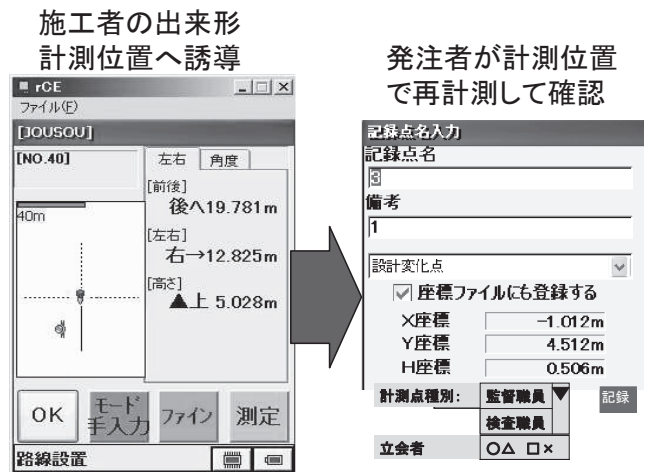
精度を確保する観点から、管理断面に対して直角方向に±10cm以上離れた場合、出来形計測データとして記録できない機能を規定した。

④計測距離制限機能

TSは計測距離に比例し計測誤差が大きくなる。出来形管理基準において土工の規格値は高さが±5cm以内であり、施工者や監督・検査職員のヒアリング結果等より計測誤差の許容範囲は±1cm以内と設定され、その精度が確保できる計測距離はフィールド実験の結果より、3級TSは100m、2級TSは150mであった(図一四)。そのため、計測精度を確保する観点から、TS設置時や出来形計測時に、TSから計測対象までの計測距離を制限する機能を規定した。

⑤監督・検査現場立会い確認機能

通常のTSによる計測では、従来のレベルや巻尺による計測と異なり、現地において目視で簡単に実測値が把握できない。そのため、監督職員や検査職員が、現地で迅速に、出来形帳票に利用した計測データを利用し再計測し確認できるよう、TS端末の画面上で計測済みの計測点を選択することで、丁張りや目串等の目標がなくても計測点へ誘導し、再計測して確認が行



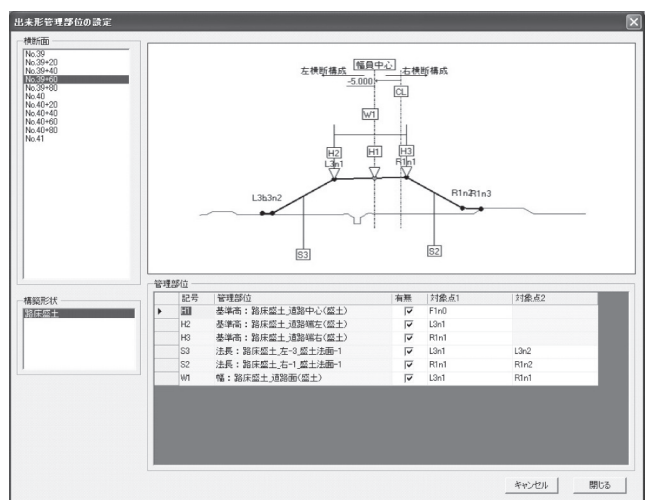
図一九 監督・検査現場立会い確認機能

える機能を規定(図一九)した。

(b) サポートソフト仕様書(基本設計データ作成)

①出来形管理箇所の設定機能

単なるTSの計測値は点の3次元座標情報(x, y, z)であるが、出来形管理では、「幅員、法長」といった管理項目は1点の3次元座標情報では求まらない。そのため、例えば、法長であれば2点間の斜距離を、幅員であれば2点間の水平距離を、計測した3次元座標から算出する必要がある。そこで、基本設計データでは、各計測点の3次元座標情報に加え、その点の出来形管理における役割の属性情報を設定する機能を規定した(図一十)。この属性情報により、プログラムが計測点の意味を理解し、例えば、2点が計測されると同時に幅員や法長といった管理項目の数値が自動算出され端末に表示され、また、従来手法で懸念されるデータの転記ミスなどなく帳票が半自動的に作成できる。



図一十 出来形管理項目の設定画面例

(c) サポートソフト仕様書（出来形帳票作成）

① 施工管理データの読み込み機能

信頼性確保のため、読み込んだ施工管理データは、計測データの座標値を編集できないことを規定した。なお、計測点の座標値自体は編集できないこととしているが、基本設計データを作成する際、属性情報（例えば、左の法肩といった出来形計測データの位置を示す情報）を間違える場合が想定され、その変更は信頼性を損なうものではないため、「計測点データの管理機能」において、それらを編集できる機能を規定した。

② 基本帳票作成機能

狹隘部といった TS での計測が困難な箇所では、スケール等で計測することとなるため、出来形帳票を TS を用いた出来形管理と他の手法で分けて作らなくてもよいように、他の手法で取得した計測結果を入力し加える機能を有してもよいことを規定した。ただし、TS の計測と明確に区別されるよう記載し、各資料に凡例を設けておくことを規定した。

3. 今後の考えられる展開

TS を用いた出来形管理の普及展開の大まかな方向性を図-11 に示す。

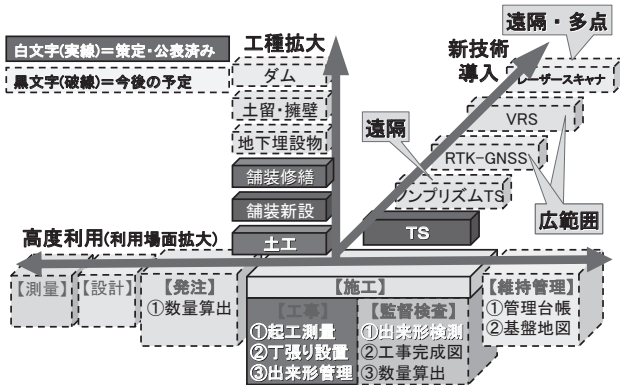


図-11 検討の方向

高度利用の大きな柱の1つとして、電子データの2次利用による業務の効率化が考えられる。TSを用いた出来形管理の検査では、3次元電子データを持っているにもかかわらず、結局、従来のレベル・巻き尺と同様に、紙の検査と同じ帳票で確認することになっており、3次元データを活かし切れていない。帳票作成ソフトウェアの製品には、異常値があれば赤表示する機能を有したものがある。既に、プログラム上では自動判定を行っているにもかかわらず、わざわざ帳票形式に出力して人の目で確認している。合理的に考えれば、帳票1枚で異常の有無と、異常がある場合は箇所

と設計値と計測値を表示するだけでよく、監督職員や検査職員は、必要な箇所全てが管理されているか、見栄えとして違和感がないかといった人でないと判断が難しい内容の確認や、現場で施工管理データを利用した逆打ち確認をしっかりと行うこと等に集中すべきで、そのためには、紙(PDF)でなく電子納品された施工管理データ(XMLファイル)を利用した電子検査の実現が今後の検討課題である。なお、必要な箇所の管理の有無の確認は、工事着手前の施工計画書段階に数量総括表の情報を基にした当該工事に必要な管理メニューと計測点数の一覧が自動提示され、受発注者間で図面を基に現場状況に応じた計測箇所となるよう調整し、それを検査時に確認することが1つの形として考えられる。

また、設計から施工へのデータ流通・利用では、設計に大きな負担を追加しても施工や後工程でそれ以上の効果が見えるサービスがすぐに構築できないため、現在、設計コンサルタントへ大きな負担を求めずに効果が見込める、Road-GM.xmlの納品や、CADデータ(SXF)の実寸記載・位置関係の明確化(図-12)の導入に向け取り組んでいる。今回は、早期に実現可能な内容に絞って進めているところであるが、設計データの二次利用を意識した、より効果的(かつ現実的)なルールの改定などが次の検討として考えられる。

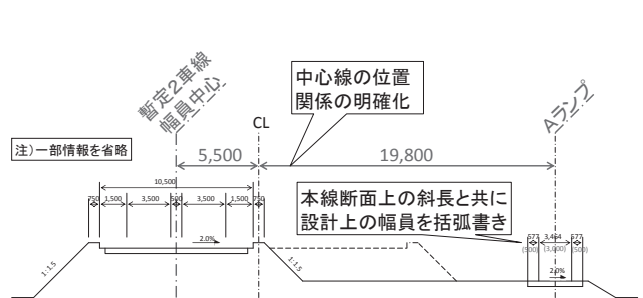


図-12 CADデータの改善案

新技術導入の大きな柱の1つとして、図-11に示す新たな3次元測量機器の導入が考えられる。便利な機器ではあるが、現時点では非常に高価な機器であるため、広く現場で普及するには、価格低下あるいは用途(工種や利用場面など)拡大の進展が望まれる。また、例えば、ノンプリズム方式TSやレーザーキャナは遠隔地から非接触で計測できるが、従来の20mピッチ側点での断面管理には計測精度が不足することから、面的管理といった従来と異なる運用方法を導入する必要があり、そのために、規格値(計測機器の許容誤差、計測値の許容誤差)や評価方法といった新たな基準策定が必要になると考えられる。

4. おわりに

TSを用いた出来形管理は、ICTを利用し「作業性向上（判断支援を含む）」と「信頼性向上」に資するものとなっているが、あくまで従来のレベル・巻き尺などを対象とした「出来形管理基準及び規格値」を念頭に置いている。例えば、土工の法面の場合、設計段階は「勾配」が主たる必要な性能であるが、施工段階で管理するのは「法長」である。従来手法（レベル・巻き尺など）の場合、勾配でなく法長の方が直接的に管理や確認でき、作業性が良く（監督・検査時も素早く確認できる）、法長を管理することで間接的に勾配が管理できるため適切な施工・管理を行っている限り問題も発生しないことから、法長管理の方が適していると思われる。ただし、法長が5m以上の場合の規格値は「法長－2%以上（掘削工）」や「法長－4%以上（盛土工）」であるが、現地擦り付けがあるため各測点毎に法長が異なり、法面毎に計算で算出した規格値で確認する必要がある。

TSの場合、2点の3次元座標から算出するため、プログラムに機能を持たせれば勾配も法長と同様に算出でき、しかも、位置が少し曖昧な法肩や法尻から少し法面側にずらして計測することで、正確な法勾配の計測が行える。設計思想の観点からも、TSでは勾配を管理する方がよいように思える。ただ、詳細設計の図面では、擦り付け等の関係から法勾配は端数を持つ場合があるが、丸めて表示することが多いため、3次元的位置（3次元座標）で管理する方がよいかもしれない。

また、出来形管理では、断面の長さや高さを計測するが、これでは断面が計画された場所に施工されてい

るか平面位置が確認できていない。施工者は測量して位置出しをしており、また、用地的な制約や既存構造物との擦り付けもあることから、出来形の実地検査において3次元座標値を確認しないことで後で大きな問題になることは希ではあるが、TSの能力を活用して3次元座標値も管理する方が万全である。また、海外の出来形管理基準では、3次元的位置を確認するのが見受けられることから、施工者や本TSソフトの海外展開という視点からも良いように思える。

TSを用いた出来形管理は普及してきたとは言え、新しい技術のため発展途上とも言え、普及する程に利用者や関係者からの要望も出てくると考えられる。今後、それらも踏まえICTの機能を十分に活かし効果を楽しめる機能やルール作りを行っていききたい。

JCMA

《参考文献》

- 1) トータルステーションを用いた出来形管理 情報提供サイト
<http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/ts/>
- 2) 「トータルステーションを用いた出来形管理の適用場面拡大に向けた取り組み」, 土木技術資料 53-12, 2012年12月

【筆者紹介】



梶田 洋規（かじた ひろき）
国土交通省
国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター
情報基盤研究室
主任研究官



北川 順（きたがわ じゅん）
国土交通省
国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター
情報基盤研究室
研究官