

3次元データによる 出来形管理について

国土交通省 総合政策局 公共事業企画調整課 課長補佐 近藤 弘嗣
 こんどう こうじ

1

はじめに

国土交通省が推進するi-Constructionのうち、測量から維持管理までのあらゆる建設生産プロセスにおいて3次元データを活用していくという「ICTの全面活用」が、トップランナー施策の一

つとされている。その具体的な取り組みとして、4月からは直轄の土工工事において「ICT活用工事」の公告が始まったが、その核となる考え方は、3次元起工測量、3次元設計データ作成、ICT施工、3次元出来形管理及び3次元データでの納品を行うというものであり、この流れを定めた15の基準類を昨年度末に発出したところである(図-1)。本稿では、ICT活用工事を規定する中

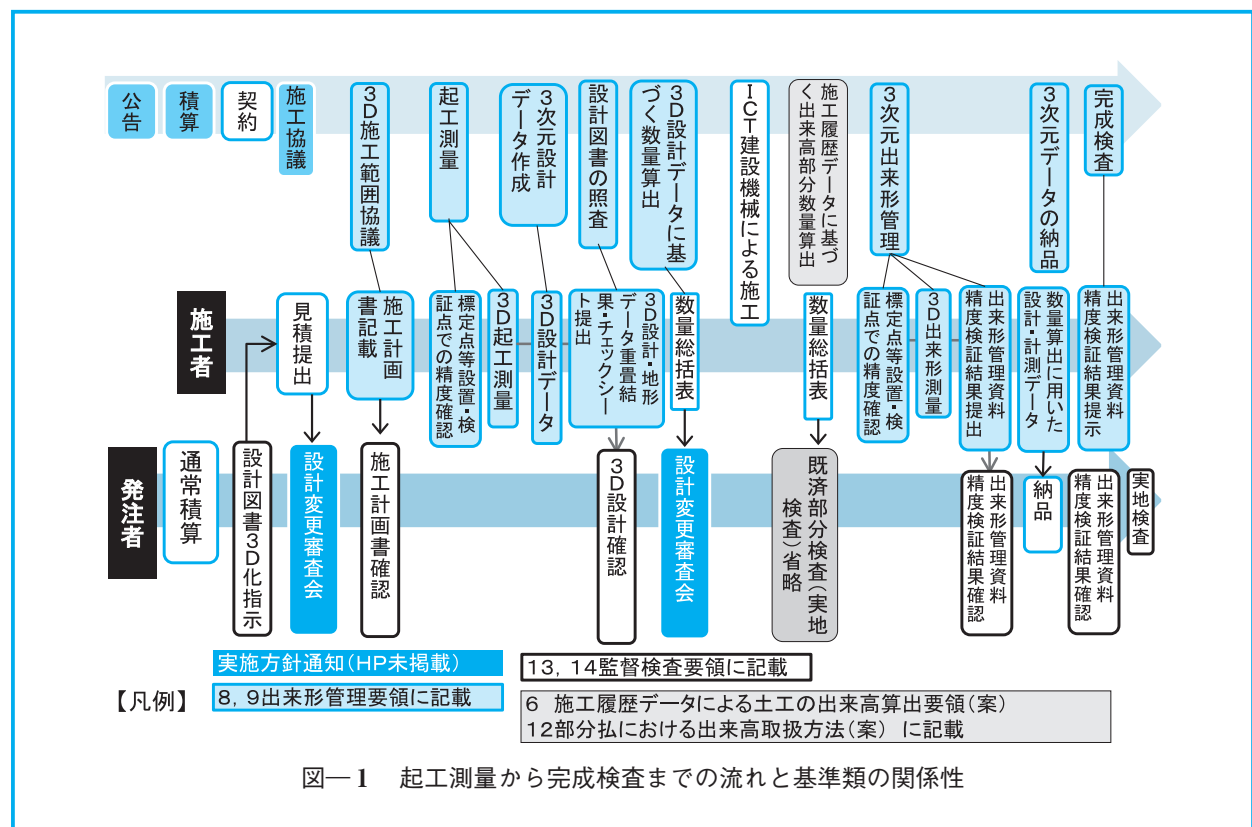


図-1 起工測量から完成検査までの流れと基準類の関係性

心的な通知である「出来形管理要領」，及び3次元データを活用するうえでの革新的な概念である「面管理」を定めた「出来形管理基準」について，その意義を含めて紹介する。

2

主な基準の概要と 策定の意義について

(1) 出来形管理基準

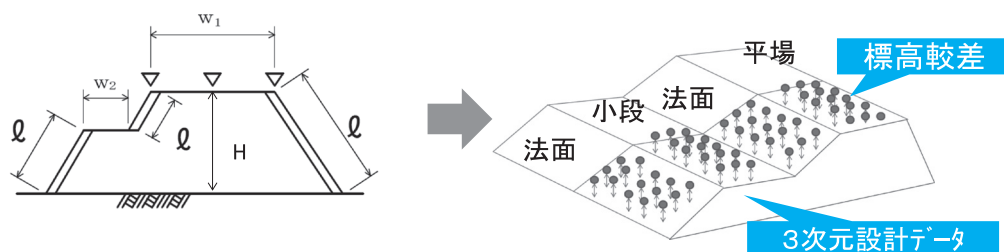
起工測量から検査までの受発注者間のやりとりを3次元データで行うにあたり，最も画期的な概念は，出来形管理における「面管理」の導入である。これは，ドローン等で計測される点群データにより施工の良否を評価する考え方として，計測点と3次元データの標高較差について規格値を定めるものである（図—2）。ここで3次元データとは，中心線形と管理断面における横断形状を示す線形からなる，いわゆるスケルトンデータだけではなく，管理断面間も面を形成した，いわゆるサーフェスデータである（図—3）。

従来の管理断面での長さや高さの計測との大き

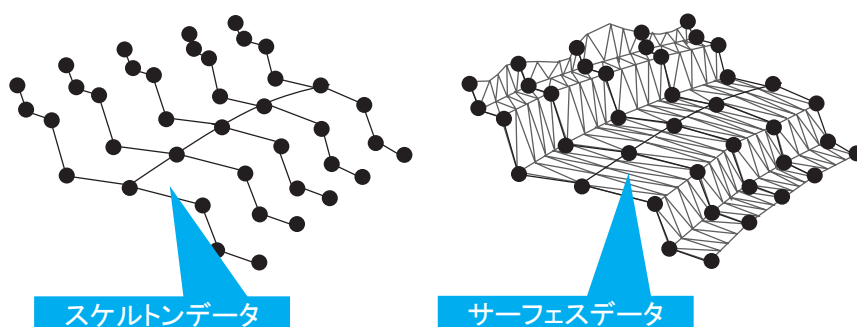
な違いは，特定の評価箇所を現地に落とす必要が無いことである。これは，大量に点を取得する計測方法であるレーザースキャナや写真測量では，個々の点の計測位置を指定することはほぼ不可能であることから，こうした機材を導入するためには必要不可欠な管理概念である。

特定の評価箇所における管理から面全体の管理に移行することで，施工が厳しくなると考える向きもあるが，抽出管理から全数管理に考え方が変わるのに合わせて，規格値自体については従前の標高の規格値 $\pm 50\text{mm}$ よりは緩和されている。元々，面的に平滑に仕上げるのが得意なICT建機を利用することを前提とした基準であるために，特別厳しい基準とは考えていない。

この面管理について，道路土工，河川土工の掘削工，盛土工（路床・路体盛土工）の出来形管理基準に追加した。詳細は（図—4）のとおりである。現場の状況に合わせて，従前の管理方法，面管理のいずれかを選択できることとなった。なお，規格値設定の考え方としては，従前の管理方法で合格となる施工精度水準の構造物は，引き続き合



図—2 面管理の概念図



図—3 スケルトンデータとサーフェスデータ

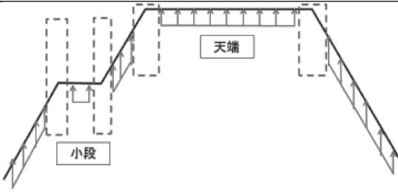
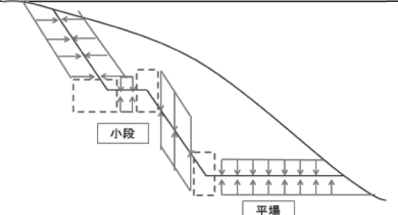
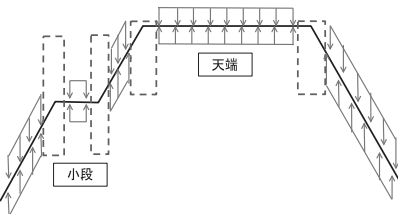
工種	測定箇所	測定項目	規格値(mm)		測定箇所
			平均値	個々の計測値	
河川盛土	天端	標高較差	-50	-150	
	4割<法面勾配	標高較差	-50	-170	
	4割≥法面勾配	標高較差	-60	-170	
掘削工	平場	標高較差	±50	±150	
	法面(小段含む)	水平or 標高較差	±70	±160	
路体 盛土工 路床 盛土工	天端	標高較差	±50	±150	
	法面(小段含む)	標高較差	±80	±190	

図-4 出来形管理基準

格とすべきというものである。

そのために、竣工検査直前の国土交通省発注工事（その後の検査でいずれも合格した工事）において、本来管理がなされていない管理断面間の箇所も含めた標高較差の現状調査を実施したうえで、規格値を定めた。

ドローン等大量に点群を取得する機材により出来形管理をはじめとする地形計測の効率が飛躍的に向上するだけでなく、自動制御ができるものを利用することで計測作業自体を無人化することも可能となるなど、生産性向上に資することが期待される。

(2) 出来形管理要領

「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）」、「レーザースキャナを用いた出来形管理要領（土工編）」として、技術別に策定した。国土交通省では「TSを用いた出来形管理要領」等をこれまで策定しており、計測精度

を担保するための計測ルールと、受発注者間の書面のやりとりを中心に規定していた。今回策定した要領では、写真測量やレーザースキャナについて測量法に基づく測量機器の精度確認ルールが確立されていないことを踏まえて、現地において発注者として精度を確認する規定を計測ルールに加えた。またそれらに加えて、起工測量や数量算出に至るまでのICT活用工事の一連の流れについての受発注者間の書面等のやりとりを解説し、受注者は本要領だけを確認すれば流れを把握できるようにしていることが特徴である。

あらゆる新技術の導入については、監督職員の判断において実施可能ではあるが、特にメリットが大きいと思われる新技術について国として出来形管理要領としてルールを定めることにより、監督職員の判断の違いによらず、国として最新技術を責任をもって導入していく素地として、有益な文書であると考えられる。

3

UAV空中写真測量による 出来形管理のルール

「空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）」で規定される出来形管理の手順について紹介したい（正確な情報は<http://www.mlit.go.jp/common/001124402.pdf>を参照されたい）。

(1) 3D施工範囲の協議

出来形管理要領によれば、ICT活用工事において必ずしも工事契約上の施工範囲全てにおいて面管理を求めるわけではない。例えば、そもそもICT施工がなじまない硬岩掘削（おそらくダイナマイトが利用される）や、光学的機器での測定が物理的に困難な水中部においては、適用範囲から除き、従前の管理方法を取るべきであろう。こういった現場条件に応じてICT活用を実施するのに適切な範囲を、あらかじめ協議することが規定されている。

(2) 施工計画書記載事項

起工測量等の計測に入る前に、機材等の性能等の確認、精度確認試験結果の確認を発注者から受ける必要がある。そのため施工計画書に確認を受けるべき事項を記載するが、主要内容は以下のとおりである。

- ① 3D施工範囲の記載
- ② 使用機材のカタログ・ソフトウェア仕様書等

の提出

③ （UAVの場合）飛行計画の提出

特に以下の点について言及を必要とする。

1) 所定のラップ率（図—5），地上画素寸法が確保できる飛行経路及び飛行高度の算出結果
地上画素寸法（1 cm/画素以下）を確保できる対地高度であることを、使用するカメラの素子寸法及び画面距離から求めて、整理する。

2) 標定点、検証点の外観及び設置位置、標定点位置の測定方法を示した設置計画

標定点等の設置間隔についての規定があり、それを満たしていることを図面等により示す。

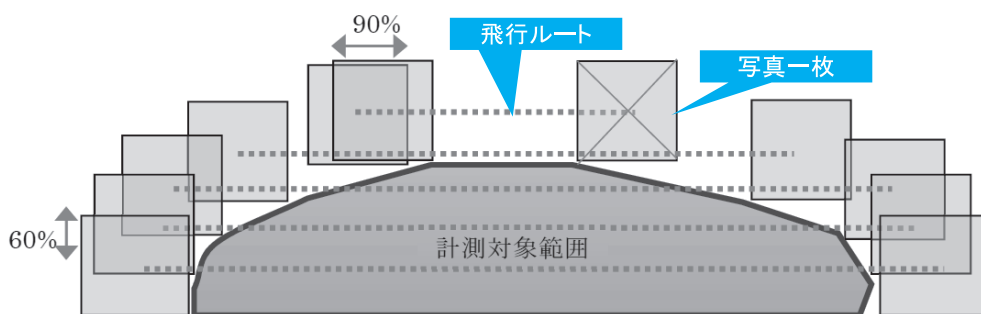
標定点等の設置方法としては、TS等の4級基準点測量・3級水準点測量として利用される計測手法で計測の上で設置する。

④ （LSの場合）精度確認結果報告書

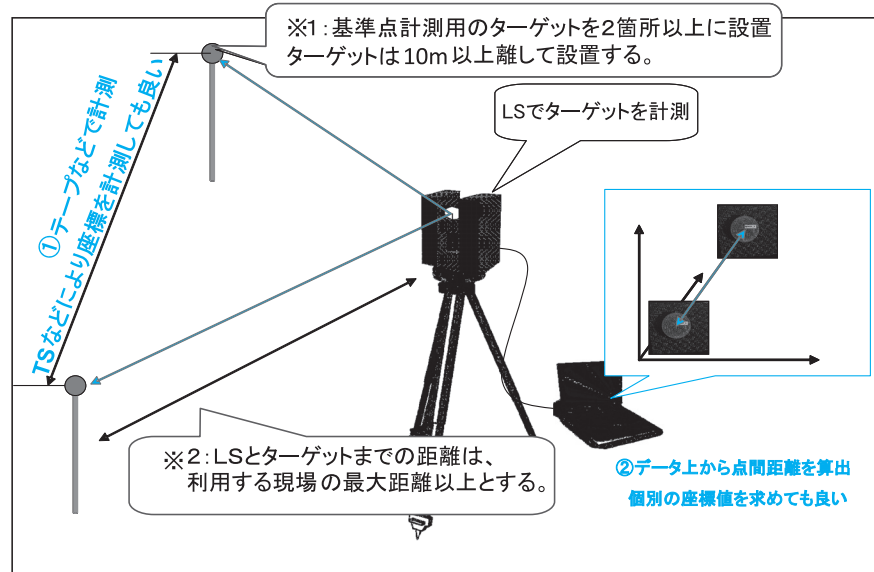
発注者として計測精度を確認する方法として、UAVの場合は、撮影の都度確認することになるが、LS（レーザースキャナ）の場合は、現地で利用する最も厳しい条件下（最も遠い距離）での事前確認が認められているため、その精度確認結果を提出する。なお、やり方としては、TS等の4級基準点測量・3級水準点測量として利用される計測手法で計測された2既知点間の距離が、真値と比べて±20mm以内に収まっていることの確認を行う（図—6）。

(3) 起工測量等活用場面別の要求精度

起工測量をはじめとして、本要領ではいくつかの計測場面について、それぞれ規定が設けられて



図—5 ラップ率のイメージ



図一六 LSにおける事前精度確認のイメージ

おり、計測結果に対する要求精度について、図一7のとおり差を設けている。起工測量の場合は、数量算出に用いるので、中央の「数量計測」にあたる。なお、ハッチングをかけているところは、UAV地形測量マニュアルから借用したので正確なところはそちらを参照されたい。

(4) 計 測

計測については、起工測量も出来形計測資料もやることに大差なく、図一7のとおり、所定の処理をする。ここでは、UAVによる出来形管理の場合の手順を紹介する。

① 標定点及び検証点の設置

標定点とは、写真測量から得られた点群データ

(相対座標値)に絶対座標を与えると同時に、誤差配分によりゆがみを修正するための座標既知点である。UAVマニュアルにおける外部標定点として、計測対象範囲を包括するように撮影区域外縁に100m以内の間隔となるように設置する。内部標定点として天端上に200m以内の間隔となるようにする。

検証点は、写真測量から得られた点群データの点検用として、モデル生成には利用しないものである。UAVマニュアルにおける外部検証点及び内部検証点として、天端上に200m以内の間隔とするものとし、さらに設置した標定点と交互になるように設置することが望ましい。

以上のことから、標準的なサイトにおいて(図

	出来形計測	数量計測	部分払い数量計測
要求精度	±50mm	±100mm	±200mm
地上画素寸法	1 cm	2 cm	2 cm
点密度	10cmメッシュ以下	50cmメッシュ以下	50cmメッシュ以下
標定点密度	外縁100m以内 天端上200m以内	外縁100m以内 天端上400m以内	外縁200m以内 天端上400m以内
検証点密度	天端上200m以内	天端上400m以内	天端上600m以内

図一七 フェーズごとの要求精度

— 8) のようなイメージでの設置となるだろう。

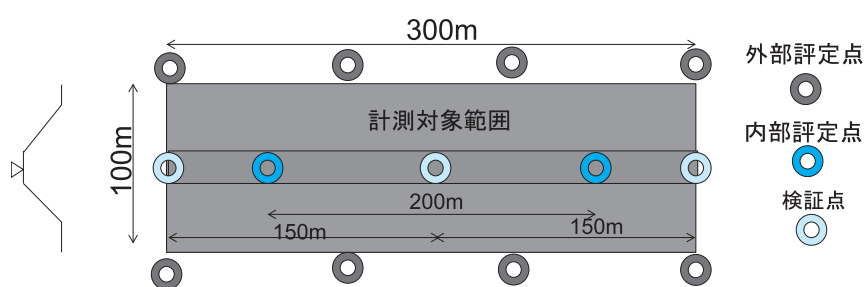
② 精度確認

標定点により補正が終わった計測データに移りこんでいる検証点の座標をデータから抽出し、あらかじめ分かっている検証点の座標と各成分 (x, y, z) で比較する。これが $\pm 50\text{mm}$ 以内であることを確認したら、精度確認結果報告書 (図— 9) として納品物として整理する。50mmから外れていたなら、ひとつ前のステップに戻っていくものとする。

(5) 出来形評価

① 出来形計測データから出来形評価データの生成

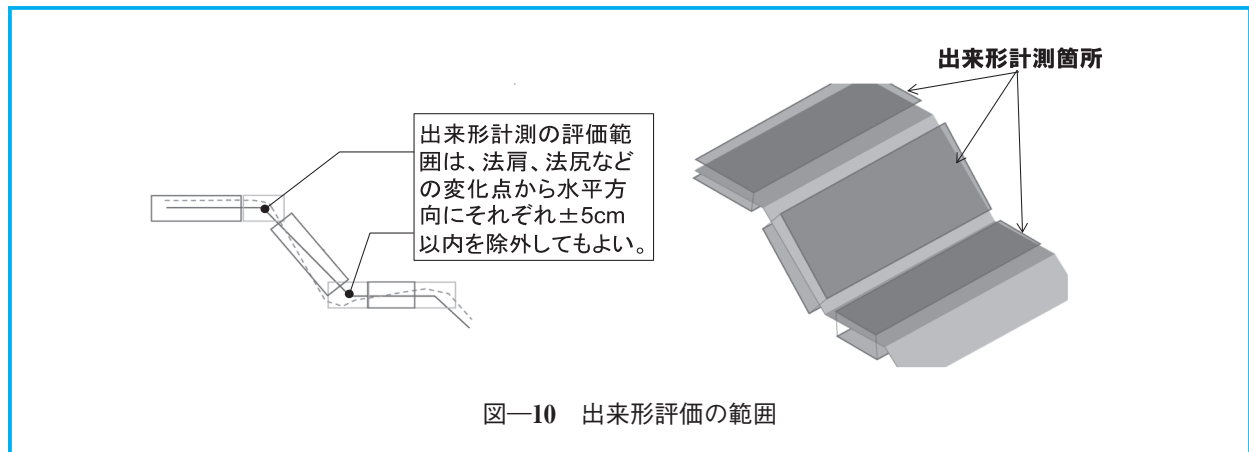
出来形計測データが10cmメッシュより細かい点群である一方で、出来形評価は1m²当たり1点以上担保されていけばよいので、これを間引く作業を行う。また、法肩、法尻から水平方向に $\pm 5\text{cm}$ 以内に存在する計測点は、標高較差の評価から除く。同様に、標高方向に $\pm 5\text{cm}$ 以内にある計測点は水平較差の評価から除く (図— 10)。



図— 8 標定点と検証点の設置イメージ

平成 年 月 日																	
工 事 名:																	
受注会社名:																	
作 成 者:																	
カメラキャリブレーションおよび精度確認試験結果																	
・カメラキャリブレーションの実施記録																	
カメラキャリブレーション実施年月	平成 年 月 日																
作業機関名																	
実施担当者																	
使用するデジタルカメラ	メーカー: (製造メーカー名) 測定装置名称: (製品名、機種名) 測定装置の製造番号: (製造番号)																
・精度確認試験結果 (概要)																	
精度確認試験実施年月	平成 年 月 日																
作業機関名																	
実施担当者																	
測定条件	天候 晴れ 気温 8℃																
測定場所	(株) UAV測量 〇〇工事現場																
検証機器 (検証点を計測する測定機器)	TS : 3級TS以上 □機種名 (級別〇級)																
精度確認方法	検証点の各座標の較差																
・精度確認試験結果 (詳細) ①真値とする検証点の確認 計測方法: 既知点 or TSによる座標値計測 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">真値とする検証点の位置座標</th> </tr> <tr> <th></th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 点目</td> <td>44044.720</td> <td>-11987.655</td> <td>17.890</td> </tr> <tr> <td>2 点目</td> <td>44060.797</td> <td>-11993.390</td> <td>17.530</td> </tr> </tbody> </table>		真値とする検証点の位置座標					X	Y	Z	1 点目	44044.720	-11987.655	17.890	2 点目	44060.797	-11993.390	17.530
真値とする検証点の位置座標																	
	X	Y	Z														
1 点目	44044.720	-11987.655	17.890														
2 点目	44060.797	-11993.390	17.530														
②空中写真測量 (UAV) による計測結果 <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">空中写真測量 (UAV) で測定した検証点の位置座標</th> </tr> <tr> <th></th> <th>X'</th> <th>Y'</th> <th>Z'</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 点目</td> <td>44044.700</td> <td>-11987.644</td> <td>17.870</td> </tr> <tr> <td>2 点目</td> <td>44060.778</td> <td>-11993.385</td> <td>17.521</td> </tr> </tbody> </table>		空中写真測量 (UAV) で測定した検証点の位置座標					X'	Y'	Z'	1 点目	44044.700	-11987.644	17.870	2 点目	44060.778	-11993.385	17.521
空中写真測量 (UAV) で測定した検証点の位置座標																	
	X'	Y'	Z'														
1 点目	44044.700	-11987.644	17.870														
2 点目	44060.778	-11993.385	17.521														
③差の確認 (測定精度) 空中写真測量による計測結果 (X', Y', Z') — 真値とする検証点の座標値 (X, Y, Z) <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">検証点の座標間較差</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Δ X</th> <th>Δ Y</th> <th>Δ Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1 点目</td> <td>-0.020</td> <td>-0.011</td> <td>-0.020</td> </tr> <tr> <td>2 点目</td> <td>-0.019</td> <td>-0.005</td> <td>-0.009</td> </tr> </tbody> </table> X成分 (最大) = -0.020m (-20mm) 以内; 合格 (基準値 20mm 以内) Y成分 (最大) = -0.011m (-11mm) 以内; 合格 (基準値 20mm 以内) Z成分 (最大) = -0.020m (-20mm) 以内; 合格 (基準値 20mm 以内)		検証点の座標間較差					Δ X	Δ Y	Δ Z	1 点目	-0.020	-0.011	-0.020	2 点目	-0.019	-0.005	-0.009
検証点の座標間較差																	
	Δ X	Δ Y	Δ Z														
1 点目	-0.020	-0.011	-0.020														
2 点目	-0.019	-0.005	-0.009														

図— 9 精度確認結果報告書



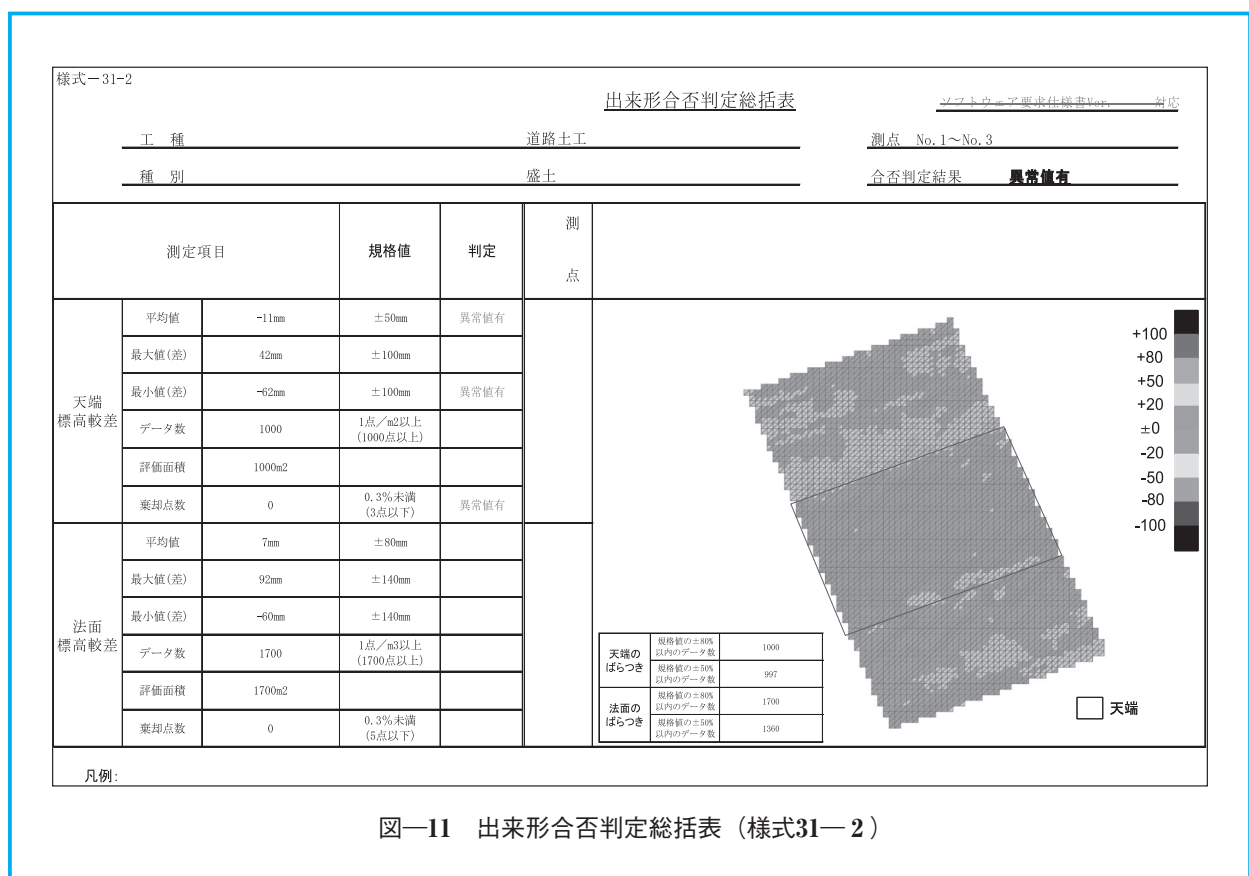
図一10 出来形評価の範囲

これは、法肩、法尻付近の点群を評価するとき、各点が最大±50mmの誤差をもっていることを考えると、例えば、法肩至近の法面上をとらえたはずの計測点为天端側にずれることで、より厳しい平場での評価を受けることとなり、最悪の場合不合格になるリスクがあるためである。この考え方によると、法肩、法尻が全く評価できないことになるが、土工の完成検査としては、供用形態での検査を余儀なくされる舗装等とは違い、それらを

評価する必要性は低いため、割り切って評価から外すこととした。

② 出来形評価と出来形管理資料の生成

共通仕様書上提出を求められる「出来形管理資料」として、従来の「出来形管理図表」に代わるものとして、「法面」等の部位ごとに一枚で机上検査に供することができる「出来形合否判定総括表」を新たに設定した(図一11)。ここにまとめられる項目は次のとおりである。



- ・設計との離れの平均値（集計結果と規格値）
- ・設計との離れの最大値（集計結果のうち正に最も悪い値と規格値）
- ・設計との離れの最小値（集計結果のうち負に最も悪い値と規格値）
- ・評価面積
- ・計測点数（集計結果と規格値。規格値は評価面積×1点）
- ・棄却点数（設計との離れの規格値を超えた点数。規格値は計測点数の0.3%）

また、発注者の工事成績評定に供する資料として、設計との離れの計算結果の規格値に対する割合を示すヒートマップとして、データのポイントごとに評価結果をプロットした分布図を付すこととする。分布図表記の規定としては、

- ・-100%～+100%の範囲で結果を色分け。
- ・±50%の前後、±80%の前後が区別できるように別の色で明示。

として、これまでの出来形管理図表のグラフに相当する評価ができるようにした。

これら出来形評価から出来形管理資料の作成に至る作業については、TSの出来形管理同様に自動化されることが生産性向上のためには必要不可欠であり、現在ソフトウェアベンダー各社で鋭意開発が進められている。本稿執筆時点では、設計との離れをCSVファイル等で出力する機能やヒートマップを出力する機能を有するソフトウェア

がいくつか存在しており、それらの機能を組み合わせて、最終的にはエクセルの表計算機能で帳票を作り上げるといった応用動作が必要である。

出来形評価から出来形管理資料の作成に至る作業の自動化を提供するソフトウェアの機能要求仕様書については、今年度の課題として策定を急ぐ所存である。

(6) 電子納品

ICT活用工事を対象とした電子成果品の納品ルールとしては、

- ① 3次元設計データ
- ② 出来形管理資料
- ③ 出来形評価用データ（1㎡当たり1点程度に間引いたデータ）
- ④ 出来形計測データ（10cmメッシュ以下のグラウンドデータ）
- ⑤ 計測点群データ（生データ）
- ⑥ 工事基準点及び標定点データ
- ⑦ 空中写真測量（UAV）で撮影したデジタル写真

を「工事完成図書の電子納品等要領」で定める「ICON」フォルダに格納することとされている。この時の命名規則は（図—12）のとおりである。

計測機器	整理番号	図面種類	番号	改訂履歴	内容	記入例
UAV	0	DR	001～	0～Z	・3次元設計データ（LandXML等のオリジナルデータ（T I N））	UAVDR001Z. 拡張子
UAV	0	CH	001～	—	・出来形管理資料（出来形管理図表（P D F）または、ビュー付き3次元データ）	UAV0CH001. 拡張子
UAV	0	IN	001～	—	・空中写真測量（U A V）による出来形評価用データ（CSV、LandXML等のポイントファイル）	UAV0IN001. 拡張子
UAV	0	EG	001～	—	・空中写真測量（U A V）による起工測量計測データ（LandXML等のオリジナルデータ（T I N））	UAV0EG001. 拡張子
UAV	0	SO	001～	—	・空中写真測量（U A V）による岩線計測データ（LandXML等のオリジナルデータ（T I N））	UAV0SO001. 拡張子
UAV	0	AS	001～	—	・空中写真測量（U A V）による出来形計測データ（LandXML等のオリジナルデータ（T I N））	UAV0AS001. 拡張子
UAV	0	GR	001～	—	・空中写真測量（U A V）による計測点群データ（CSV、LandXML等のポイントファイル）	UAV0GR001. 拡張子
UAV	0	PO	001～	—	・工事基準点および標定点データ（CSV、LandXML等のポイントファイル）	UAV0PO001. 拡張子

図—12 電子納品の命名規則（空中写真測量（無人航空機）の場合）

(7) 完成検査対応

① 書面検査

検査官からは、以下の内容について確認がなされるので、書面等の整理が必要である。

1) UAVやLSを用いた出来形管理に係わる施工計画書の記載内容

施工計画書に記載された出来形管理方法について、監督職員が実施した「施工計画書の受理・記載事項の確認結果」を工事打合せ簿で確認

2) 設計図書の3次元化に係わる確認

設計図書の3次元化の実施について、工事打合せ簿で確認

3) UAVやLSを用いた出来形管理に係わる工事基準点等の測量結果等

出来形管理に利用する工事基準点や標定点について、受注者から測量結果が提出されていることを、工事打合せ簿で確認

4) 3次元設計データチェックシートの確認

3次元設計データが設計図書を基に正しく作成されていることを受注者が確認した「3次元設計データチェックシート」が、提出されていることを工事打合せ簿で確認

5) UAVやLSを用いた出来形管理に係わる精度確認試験結果報告書の確認

UAVやLSを用いた出来形計測が適正な計測精度を満たしているかについて、受注者が確認した「精度確認試験結果報告書」が、提出されていることを工事打合せ簿で確認

6) 「出来形管理図表」の確認

出来形管理図表について、出来形管理基準に定められた測定項目、測定頻度並びに規格値を満足しているか否かを確認

バラツキについては、各測定値の設計との離れの規格値に対する割合をプロットした分布図の凡例に従い判定

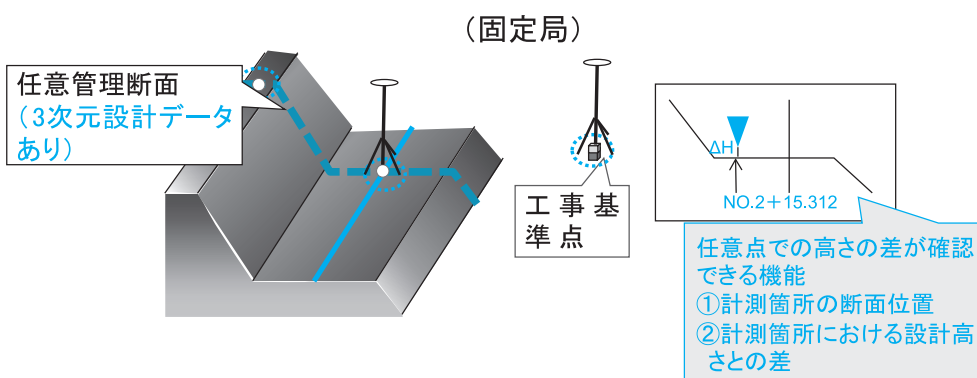
② 実地検査

出来形管理用TSやGNSSローバの誘導機能を使用して、検査官が指定した箇所の出来形計測を行い、3次元設計データの設計面と実測値との標高差が規格値内であるかを検査する。出来形管理用TSやGNSSローバには任意断面計測機能があるので、それらを利用して設計との差を端末上で確認する(図—13)。

4

おわりに

ICT活用工事に備えた15基準については、これまで建設工事に利用されることのなかった技術や手法を示したものであるため、今後活用が進むにつれて様々な不具合も想定される。より良いものとするために毎年見直しを図る所存であるが、そのためにもできるだけ多くの工事件数を重ね、課題を明らかにする必要がある。この意味においても、多くの施工業者の方々にICT活用工事にチャレンジしていただきたいと考える。



図—13 実地検査のイメージ