

情報化施工の特性を活かした施工管理基準

辻野 直義

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 施設管理課（〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2丁目12番35号）

情報化施工は、情報通信技術（以下、ICTという）を活用し建設施工の生産性向上、品質確保、労働者不足への対応など、建設施工が直面している諸課題に対応する技術であり、国土交通省では、普及に向けて情報化施工推進会議が行われ、平成25年には「使うから活かす」をテーマに環境整備の必要性が明記されている。さらに平成27年度に発表されたi-ConstructionでICTによる一層の生産性向上などが求められている。本報告は、土工の出来形管理に着目し、情報化施工の特性を活かした多点計測データを用いた出来形管理（以下、面的管理という）の実現に向けた基礎資料として実現場を対象に、管理断面以外の施工箇所の実態を調査し、その検討結果を報告するものである。

キーワード：情報化施工，施工管理基準，i-Construction

1. はじめに

国土交通省では、建設工事における生産性の向上、品質確保、労働者不足への対応などを図ることをがでる情報化施工の普及促進に取り組んでおり、平成25年度から「一般化推進技術」として、①10,000m³より少ない土工を含む工事におけるトータルステーション（以下「TS」と記す）の出来形管理技術、②TS・衛星測位システムによる締固め管理技術、③グレーダのマシンコントロール（以下「MC」と記す）技術、④ブルドーザのMC技術、⑤ブルドーザのマシンガイダンス（以下「MG」と記す）技術、⑥バックホウのMG技術の計6技術が指定され、その中でもTSの出来形管理技術は10,000m³以上の土工を含む工事で使用原則化を図り、積極的な普及促進を図ってきた。

さらに、平成27年度からは、設計から検査までの各プロセスにおいてICTを積極的に活用することで建設施工の生産性の向上を図るi-Constructionのうち「土工におけるICTの全面的な活用」の実現に取り組んでいる。

これらの取組みにおいて、現状では情報化施工で用いる3次元設計データと、無人飛行機（UAV）を用いた空中写真測量やレーザースキャナー等で得られる多点計測データを用いた出来形管理に対応する管理基準や規格値が無いため、出来形管理や検査の段階では従来手法と同様に管理断面での計測、施工管理、検査を行う必要があり、情報化施工の特性を活かしきれていないことが課題とされている（図-1）。

このため、情報化施工の特性を積極的に活用し、施工管理や検査の効率化を実現するための環境整備として、多点計測データを用いた出来形管理手法の構築と出来形管理基準や規格値の策定が求められている。また、多点

計測データを用いた出来形管理の実現に向けては、従来施工と同等の出来形確保とともに、現場実現性の高い新たな基準と規格値の策定が必要である。

本報告では、土工の出来形管理を対象に、面的管理の対象となる実現場において、管理断面以外の施工箇所の出来形実態を調査し、面的な出来形管理の策定に反映すべき事項をとりまとめたものである。



【効率化が期待される作業】

現状は、断面上での設計値との対比を行うために出来形管理を行う断面への誘導計測を行う。同位置の検査準備として目串等を設置する。

図-1 従来手法（断面管理）による土工の出来形管理

2. 面的管理手法の概要

(1) 多点計測技術の特徴

従来の出来形管理は管理断面上での寸法（幅や長さ）と法肩や法尻の高さなど、測定者が管理断面上の計測箇所を指定して計測・管理されている。一方、TSを用いた出来形管理技術では、測定者が指定する任意箇所での3次元座標が取得可能で、任意箇所での出来形を確認でき

る。さらに、無人飛行機（UAV）による空中写真測量やレーザースキャナー等による3次元の多点計測技術は、管理断面上の法肩や法尻などの特定の計測箇所を指定した計測ではなく、対象範囲の任意箇所を短時間に計測することを得意とする技術である（図-2）。

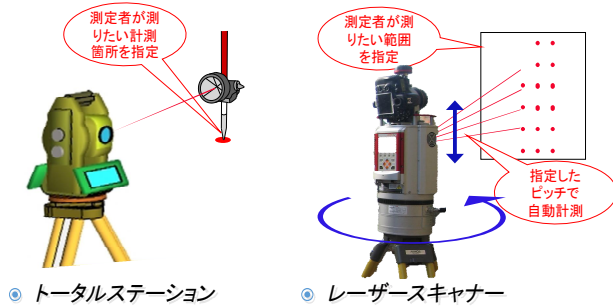


図-2 TSとレーザースキャナーの特徴（イメージ）

(2) 面的管理手法（案）

面的管理手法（案）とは、多点計測技術で取得した多点計測データを用い、従来の管理断面上での出来形管理ではなく、管理断面以外の任意箇所の3次元座標値を用いた面的な出来形管理手法（案）である（図-3）。

本手法により、情報化施工で用いる3次元設計データを活用することで、出来形管理や検査時の計測作業の効率化が期待できる。

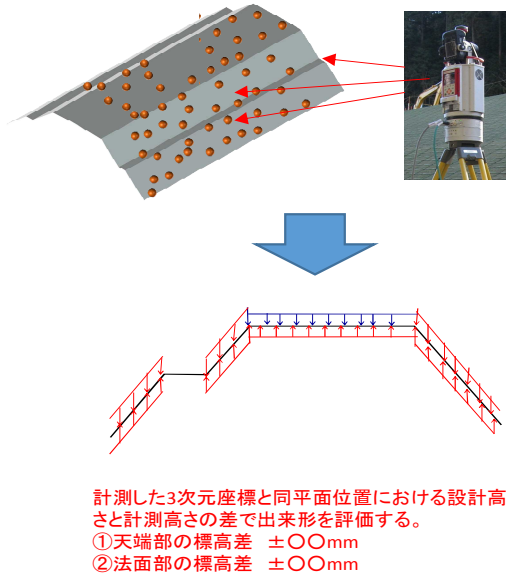


図-3 面的管理手法のイメージ

3. 現状の出来形実態の把握

従来施工と同等の出来形確保の実現に向けては、従来施工によって管理断面以外の面的な出来形の実態を把握

する必要がある。このため、土工の天端部や法面部の横断方向に約2m間隔（測線を配置）、測線の縦断方向に沿って約2m間隔の格子状に出来形座標の取得を行った。また、出来形座標の平面位置における計測標高と設計高さとの差により出来形実態を把握することとした（図-4）。

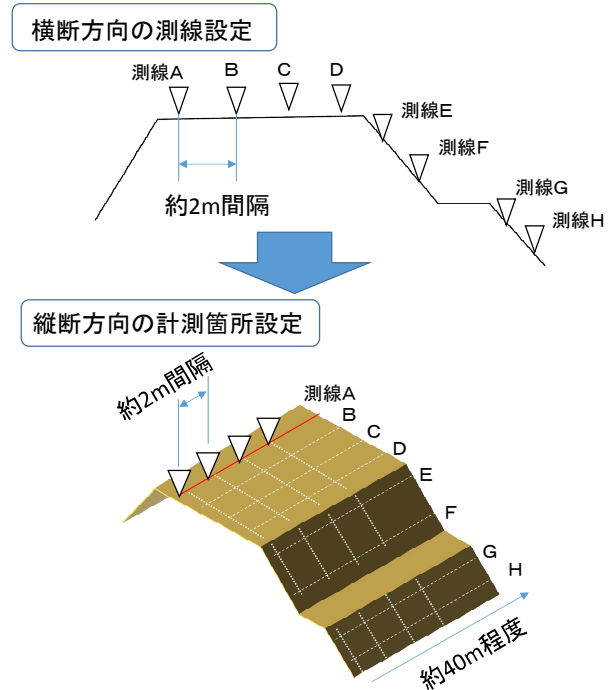


図-4 出来形実態を把握する計測箇所の設定方法

(1) 実態把握の対象作業と計測範囲

対象作業は、道路土工（掘削工、路体盛土工、路床盛土工）、河川・海岸・砂防土工（掘削工、盛土工）とした。計測範囲は、盛土（又は掘削）区間が40m程度確保できる現場（連続的な機械による仕上げ作業が実施できる工事を対象）とし、図-4に示す格子状に各現場で約300点を計測した。また、各作業において、MC技術やMG技術等の情報化施工の活用の有無別に調査した。

(2) 設計値との差の確認方法

計測機器はTSを用いることとし、TSを用いた出来形管理技術で利用される3次元設計データを利用し、出来形計測座標の平面位置における設計標高との差を求めた。

(3) 実態把握結果の整理区分

調査対象となる土工において、道路土工と河川土工では構造物としての役割が異なることから出来形管理基準および規格値も異なる。また、天端部と法面部では利用する施工機械も異なる場合が多い。以上より、道路土工と河川土工、それぞれの天端部と法面部では、出来形実態の特性に違いが想定される。そのため、出来形実態の

整理においては、図-5に示す工種・作業区分・施工箇所毎に実態を整理することとした。

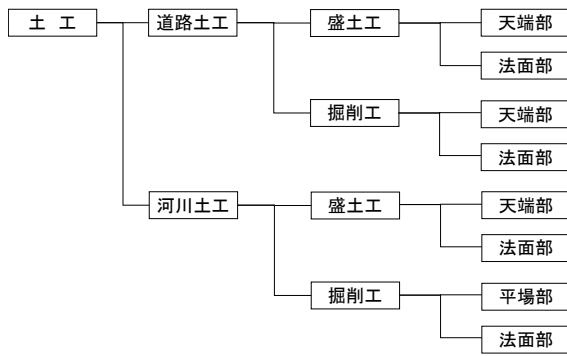


図-5 調査対象とした作業区分

4. 調査の実施

(1) 3次元設計データの作成

出来形管理の基準となる3次元設計データは、TSを用いた出来形管理技術で利用する3次元設計データを利用した。この3次元設計データは、線形（道路中心線や堤防法線）と横断形状の組合せで構成されており、断面の間は平均処理により補完することで任意箇所の3次元計測座標と同じ平面位置における設計高さが算出できる（図-6）。

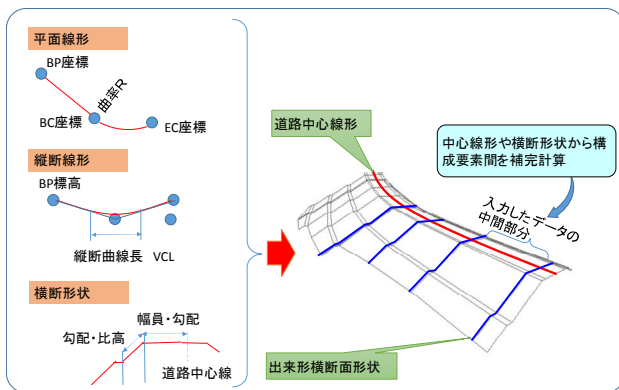


図-6 3次元設計データのイメージ

(2) 出来形の計測

各現場の調査は施工完了直後にTSを用いて出来形計測を実施した。計測は、約2m間隔の格子状となるように計測を実施した（図-7）。

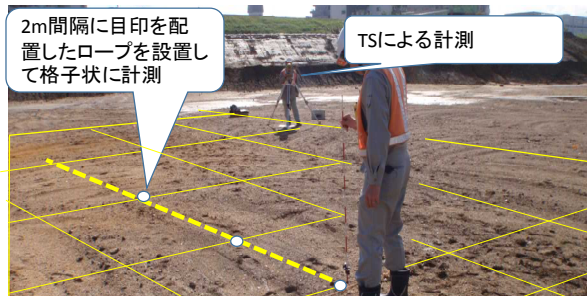


図-7 出来形計測状況

(3) 設計値との標高較差の確認

TSを用いた出来形管理ソフトウェアを用い、計測した3次元計測座標と同一平面状の設計高さを算出し、計測座標の差を確認した。図-8に、河川土工の掘削工における出来形状況の例を示す。管理断面から離れた箇所では、現状の出来形管理の規格値（±50mm）以外となっている箇所も存在している。

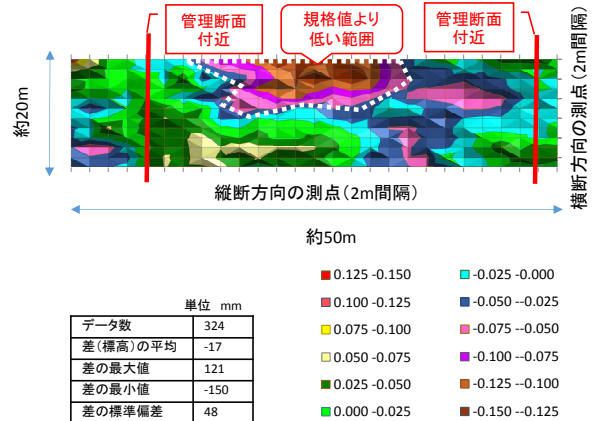


図-8 各現場の出来形状況確認

5. 調査結果

(1) 情報化施工の有無による出来形実態

調査は、データの偏り無くすことを目的として図-5の条件について、全国で調査を実施した。情報化施工の利用の有無で整理した結果を図-9に示す。図-9より、各工種の部位別に見ると、情報化施工を利用した場合は全ての部位で設計値に対する差の平均値が±20mm以内となっており、従来施工の最大値+36mmに比べて小さくなっている。また、標準偏差では、情報化施工の有無による差は±10mm程度であり、従来施工と大きな差は無い。

以上より、丁張りなどの施工の目印が少ない情報化施工を適用した現場でも従来施工と同等の出来形が確保出来ていることが確認できる。

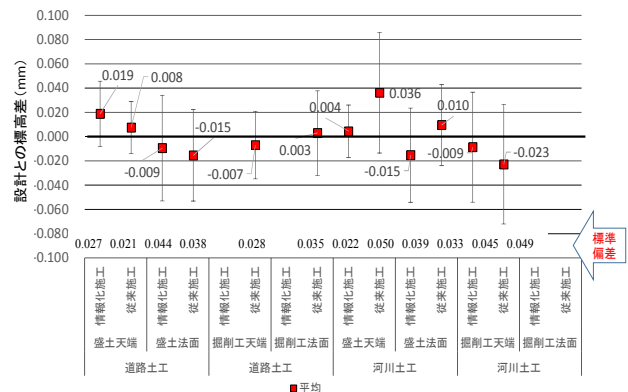


図-9 情報化施工の有無による違い
(天端はMCブルドーザ、法面はMGバックホウ)

(2) 標高差のとりまとめ結果と分布状況

表-1に各施工箇所について、設計との標高差の①平均値と②標準偏差の整理結果をとりまとめた。また、図-10に道路土工と河川土工の盛土部および掘削部の天端あるいは平場部の出来形分布の整理結果を示す。

表-1 出来形実態の調査区分と把握結果一覧

工種	作業区分	施工箇所	調査件数	施工箇所別の集計 (標高較差 =TS計測値－設計標高)	
				①平均値 (mm)	②標準偏差 (mm)
道路 土工	盛土工	天端部	6	13	25
		法面部	5	-13	41
	掘削工	天端部	3	-7	28
		法面部	3	3	35
河川 土工	盛土工	天端部	5	1	37
		法面部	4	-3	38
	掘削工	平場部	3	-17	48
		法面部	—	—	—

※“—”：該当データ無し

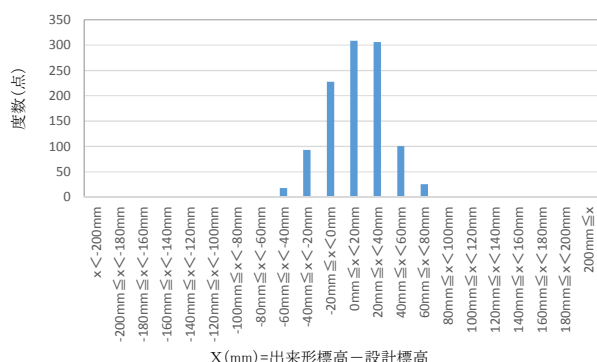
表-1より、道路土工の天端部では標準偏差が30mm以下と小さく、平均値に標準偏差を加えても設計との標高較差が±40mm以内である。また、図-10の出来形の分布を見ると、道路土工の天端部は出来形管理の規格値が±50mm（上限と下限の制限）であることから、標高差もほぼ0を中心とした分布である。また、計測点の9割以

上が±50mm以内であった。

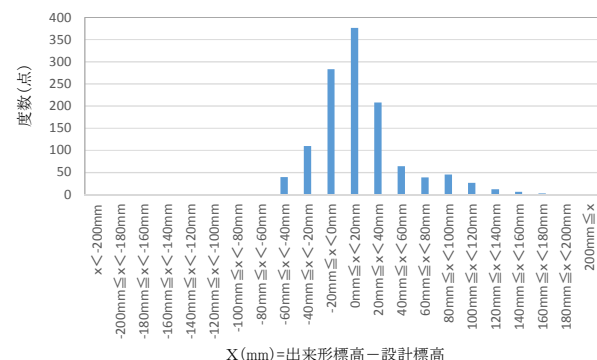
道路土工の法面部では、天端部に比べると平均値および標準偏差が大きくなっている。法面部の従来管理は天端幅（法肩の位置）や法長であり、規格値は設計のマイナス側のみ制限されている。このことから実施工では出来形不足にならないよう横断方向には広めの施工となる場合が多いことが考えられる。この場合、同一平面上の標高差が大きくなる。

一方、表-1より、河川土工では、天端部あるいは平場部のばらつきが道路土工に比べて大きくなっている。図-10の出来形の分布をみると、河川土工の盛土工では出来形管理の規格値が－50mm以上（下限のみ制限）となっているため、分布は道路土工と比べてプラス側に広がっている（図-10の左下）。河川土工・掘削工・平場部は、規格値は±50mmであるが、全体的にマイナス側に大きく広がっている（図-10の右下）。これは、河川流水断面面積の確保が優先されていることも一つの要因と考えられる。

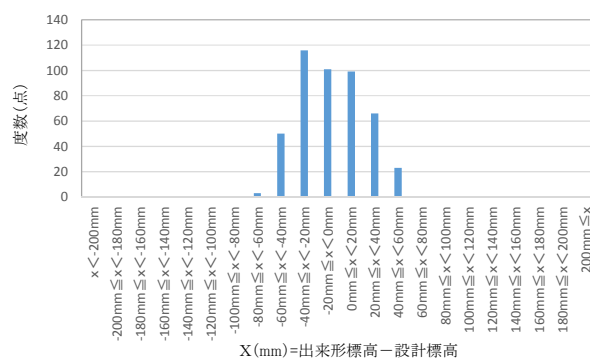
表-1の河川土工の法面部（盛土工）を見ると、差の平均値および標準偏差は天端部（盛土工）とほぼ同等である。河川土工の盛土工は主に築堤であり、法面勾配が緩やかなことから、施工方法も天端面の施工に類似していることにより、道路土工に比べて差が小さい結果となっていると推測される。



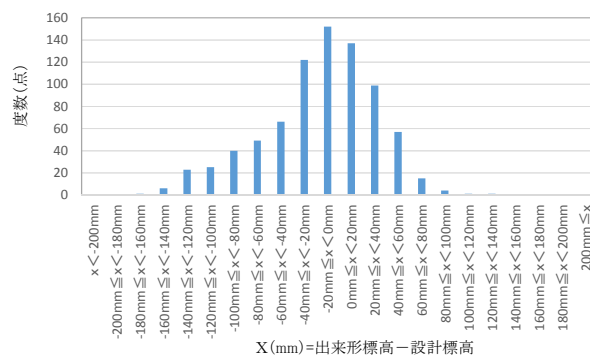
道路土工・盛土(路体)工・天端部の出来形実態



河川土工・盛土(築堤)工・天端部の出来形分布



道路土工・掘削工・天端部の出来形実態



河川土工・掘削工・平場部の出来形分布

※施工箇所に該当するデータの全てを集計した分布

図-10 天端部および平場部の出来形分布状況

6. 施工管理基準への反映事項

面的管理の前提となるMCやMGを利用した施工では、3次元設計データを目標に建設機械の作業装置を自動操作あるいはオペレータが目標との差のガイダンスを元に操作する。このことから、施工目標に対する出来形のばらつきが正規分布に従うと仮定する。この時、平均値と標準偏差の関係は図-11に示す関係がある。本仮定の下に、上記の出来形管理実態の把握結果を踏まえ、従来と同等の出来形確保と現場実現性の確保の観点から、面的管理基準および規格値への反映事項を以下にまとめた。

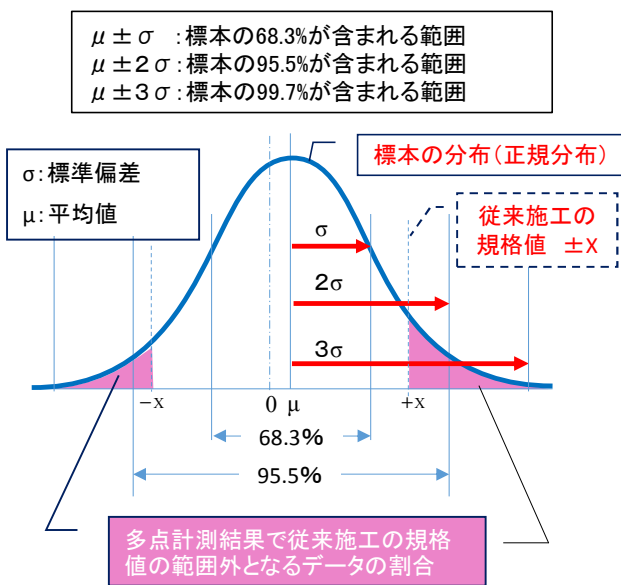


図-11 正規分布における平均値と標準偏差の関係性

- 情報化施工による施工結果と従来施工による施工結果を比較すると、情報化施工を用いた施工の仕上げ面の出来形精度は従来施工と同等ではあるが施工の効率については向上が期待できる。一方で、管理断面での管理・検査には適合している場合でも、管理断面以外では従来の規格値の範囲外となる箇所も存在している。以上より、多点計測データを用いた面的な出来形管理基準および規格値の策定においては、全ての計測箇所に従来の規格値を適用すると、実現場の負担が大きくなるため、本調査結果を踏まえ、規格値の範囲外となる割合を定めることが有効である。
- 本調査の結果から、情報化施工を用いて施工することにより、設計（施工の目標値）に対して標高差の平均値は $\pm 20\text{mm}$ 程度で実現することが確認されており、平均値に対する規格値として従来の出来形管理の規格値を用いることが可能である。しかし、平均値に対する規格値だけでは、ばらつきを管理できず均一な出来形は確保できない。以上より、多点計測データを用いた面的な出来形管理

基準および規格値の策定においては、平均値に対して従来の出来形管理の規格値を適用すると共に、ばらつき管理を併用することで従来と同等の出来形確保が可能と考えられる。

- 道路土工と河川土工では、出来形（設計標高との差）の分布に違いがあることが判明した。これは、土工に期待する機能（役割）の違いによって生じていると推定される。以上より、多点計測データを用いた面的な出来形管理基準および規格値の策定において、河川盛土では従来管理と同様に下限値のみ制限するなど、目的構造物に要求される機能の確保を条件として、過度に厳しい規格値とならないよう配慮する必要がある。

7. さいごに

本業務では、情報化施工の特性である3次元設計データの作成、3次元設計データを用いたMCやMG施工、管理断面に依存しない多点計測技術を活かし、従来と同等の出来形確保と現場実現性を考慮した施工管理基準の策定に向けた基礎資料として実現場の出来形実態を整理し、面的な出来形管理の規格値検討において考慮すべき事項を整理した。さらに、本検討で得られた知見を踏まえた面的な出来形管理の規格値（素案）を策定した。本業務の成果は、平成28年3月に発表された*i-Construction*で新たに導入される15の基準類のうち「土木工事施工管理基準（案）（出来形管理基準及び規格値）【改訂】」の基礎資料となっている。

しかし、本調査による現場の出来形管理実態の把握結果は限られた現場条件と件数による結果であり、今後も多様な現場条件での実態把握の継続あるいは適用性確認を継続して確認していく必要がある。

さらに、出来形管理基準および規格値の策定は手段であり、面的管理の円滑な現場導入による施工管理や検査の効率化の実現に向けた技術支援にも積極的に取り組んでいく必要がある。

この他、面的管理を用いた出来映えの自動判定による監督・検査の省力化や自動化など、3次元設計データや多点計測データの活用範囲の拡張についても積極的に検討を進めていく必要がある。

参考文献

- 国土交通省 HP：情報化施工推進会議
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/sosei_constplan_fr_000015.html¹
- 国土交通省：i-Construction
http://www.mlit.go.jp/tec/tec_tk_000028.html