

35. 出来形管理効率化を目的とした情報処理による計測技術の有効性

独立行政法人 土木研究所 先端技術チーム

〇二瓶 正康、山元 弘、田中 洋一

1. はじめに

土木工事の施工管理、監督において、工事目的物の出来形確認は、土木工事共通仕様書に確認の項目及びその頻度が明記されており、特に完成後に不可視となる施工箇所については、監督職員が確認できるよう十分な機会を提供することと記されている。また、定められた施工段階の確認だけではなく、施工の手順や現場の管理状況などを確認、把握するため、丹念に臨場することが工事目的物の品質確保につながる。しかし実際の現場では、職員数の減少と担当工事数の増加によって、全ての現場で十分な臨場を効率的に行うことは困難となっている。

情報技術を用いた計測手法は、計測の正確性や帳票処理の高速化等、少ない人員で出来形管理・段階確認を効率よく実施し監督職員を支援する効果的な確認ツールとして成立する可能性がある。

そこで、本研究では「トータルステーション（以下、TS）」と「デジタルカメラによる写真測量（以下、写真測量）」を対象に工事の出来形管理・段階確認効率化と高度化を実現する機能・計測性能について、実証実験を行い適用の可能性を検証する。

2. 出来形管理・段階確認の現状と課題

出来形管理・段階確認では、設計情報や規格値、施工計画書等の施工管理情報と現場計測情報に基づき、監督職員は確認対象の出来形及び品質が目標を満足しているか判断する。請負者は受注当初、段階確認の実施時期や手順を施工計画書に記述する。その後、工事の進捗に応じて立会願いを提出し、受発注者間で行われる工程会議により臨場立会の実施日程を調整している。

臨場立会では、監督職員が確認するために必要な資機材や写真、その他資料を請負者が準備することとなっている。また、確認記録として帳票や写真が必要である。写真は構造物の各辺を計測した巻尺と、計測結果を記載した黒板を一枚に収めるよう撮影して管理されている。しかし、実際には写真からテープの値や黒板の数値が読めないこともある。

このような状況の中で、工事目的物の品質確保を確実に担保するため、出来形管理・段階確認の重要性が議論されており、「公共工事の品質確保の促進に関する法律」も施行された。負担の増大を防止しつつ、品質確保を確実に担保するには、受発注者ともに出来形管理・段階確認の効率化・高度化が喫緊の課題である。

3. 実証実験の概要

本実証実験では、3種4級の舗装延長約50m、現場打擁壁、U型側溝、埋設管渠、集水升等を施工した。図-1に工事の概要を示す。

本実証実験は、3次元設計情報の施工段階における一貫した情報流通を前提として、道路舗装工の出来形管理・段階確認を従来の手法とTSを使った手法と・写真測量を使った手法を比較して効率化の検証を行った。また、臨場立会の効率化を目的としてインターネット共有サーバを介して遠隔地での確

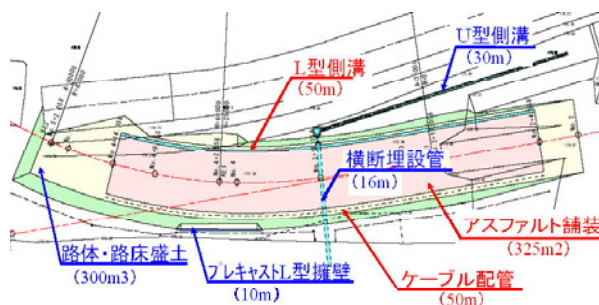
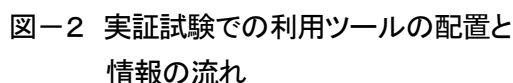


図-1 実証試験工事概要

道路部の設計データは道路中心線形を基本として線形で表現されるが、擁壁工やU型側溝などの構造物は現行では線形を持たない。そこで、本模擬試験ではあらかじめ設計段階から擁壁工やU型側溝などの構造物にも線形を定義した。



本実証実験で出来形管理・段階確認支援に使用したTS及び写真測量の適用性について確認した。以下に詳細を記述する。

TSによる計測精度は、平成17年度に計測精度検証¹⁾により距離測定精度で巻尺と同等以上、高さ精度についても計測離隔100m以内で±5mm以下と確認されている。

出来形確認ではTSで取得した現場の3次元座標と設計の3次元座標を利用し、出来形と設計値の対比を現場で即座に行うことで出来形を確認する。

また、出来形確認で取得した3次元座標値を用いて、人手による帳票への加工作業無しに全体としての出来形管理資料の作成も行う。

この結果を現行の出来形管理・段階確認と比較し、効率化について確認する。

実証実験の実施内容で想定している一般的な効果は、以下のとおりである。

請負業者： 請負者は、出来形計測と同時に出来形値と設計値のずれを確認できるため、修正指示を施工現場で迅速に行うことが可能となる。また、出来形管理の準備作業と計測後のデータ整理を省力化できる。

検査職員： 立会い計測の準備がほとんど不要となり、実地検査を容易にし、検査職員が判断した位置での検査が実現する。

図-3 TSによる出来形管理・段階確認支援の
実現イメージ

前述のTSを用いた出来形管理・段階確認では、小規模構造物の場合はTSの移動設置頻度が多くなる事や、形状によりTSでは計測出来ない場合がある。そこで組み合わせ技術として写真測量による出来形管理・段階確認の効率化を試みた。

本実証実験では、小構造物である現場打擁壁工、集水升工の施工途中段階で発生する不可視部分の

出来形確認とプレキャスト製品の寸法確認に対して写真測量を適用した。

写真測量では、高画質デジタルカメラ画像を利用し、基準寸法となる標尺とともに撮影角度を変えて検査対象を複数枚撮影する。

また、写真測量は、現場で撮影するのみで、設計との対比、確認を事後処理で行う。

撮影した写真からステレオ処理技術を利用して必要な出来形寸法を自動算出することで、出来形データを取得する。3DCAD上で3次元設計情報、数量と取得した出来形データを対比して、不可視部分の確認作業を効率化する。

実証実験の実施内容で想定している一般的な効果は、以下のとおりである。

請負業者：請負者は段階毎に、2枚以上の写真を計測し提出する。これにより出来形値が算出されるため、出来形確認の準備作業と計測後のデータ整理を省力化できる。

検査職員：不可視部分の確認の準備手間を省き、完成後でも出来形確認を再演できるデータを取得できる。

実証実験で利用した写真測量機器は以下のとおりである。

デジタルカメラ：Canon Power Shot 860

(800 万画素)

処理ソフト：Kuraves G2(株)倉敷紡績)

5. 実証試験の実施

(1) TSによる出来形管理・段階確認

① 道路土工では試験施工+3層の盛土を実施した。施工後に、TSにて出来形計測を行い、3次元設計情報と対比した。その結果の例を表-1に示す。

TSでは、現場で計測と同時に出来形の良否が分かり、データを自動的に帳票出力することができた。

② 舗装工では土工とほぼ同様であるが各層の厚さ管理が必要となる。そこで各断面で出来形を表示し厚さの管理を行った。図-4は下層路盤完成時にTSによる出来形計測を行い、設計との対比結果を

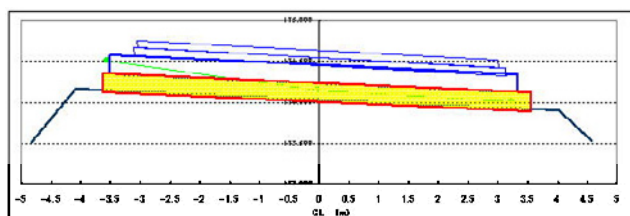


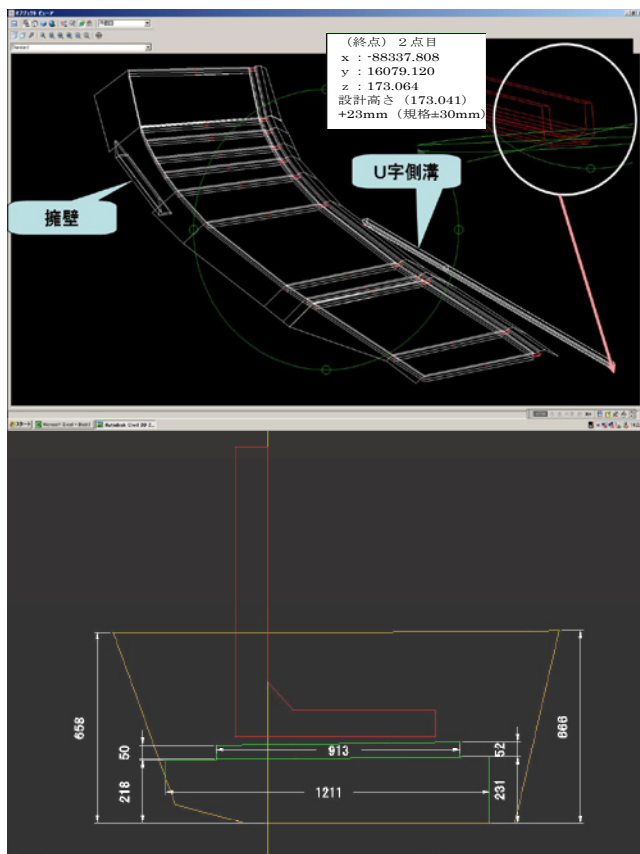
図-4 下層路盤施工出来形表示例

表示した出力例である。

③ 現場打擁壁工、側溝工、埋設管渠工では3次元設計情報と計測した3次元座標データを利用して表示した結果が図-5である。この様に、鳥瞰図として全体が確認でき、さらに最終的な擁壁・U型側溝位置を重ね合わせ、施工に支障が無いことを施工中に確認することができた。

表-1 出来形管理帳票の例

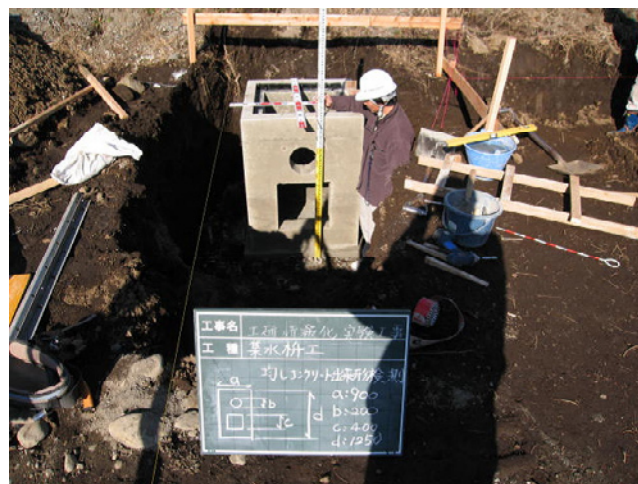
測定項目	中心線表			法線標尺 右			法線標尺 左			法長 右			法長 左			略 図
規格値	±50			±50			±50			-10			-10			
現場目標値	±50			±50			±50			-10			-10			
測点又は区別	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	
No. 2+4.508	174.757	174.700	+57	174.748	174.769	-21	174.849	174.817	+32	0.65	2.28	+163	0.09	0.47	+36	
No. 2+17.058	174.087	174.106	-19	173.995	173.979	+16	174.378	174.175	+20	0.86	0.98	+12	1.25	1.34	+9	
No. 3	173.928	173.963	-35	173.825	173.811	+14	174.031	174.010	+21	0.72	0.83	+11	1.12	1.29	+17	
No. 3+10.278	173.643	173.666	-23	173.502	173.496	+6	173.784	173.795	-11	0.50	0.44	+6	1.10	1.21	+11	
No. 4	173.763	173.804	-41	173.587	173.562	+25	173.938	173.928	+10				0.07	0.20	+13	
No. 4+2.058	173.837	173.814	+23	173.653	173.693	-40	174.021	173.989	+32				0.21	0.60	+39	
No. 4+9.505	174.137	174.109	+28	173.977	173.952	+25	174.321	174.296	+25				1.85	1.93	+8	
No. 4+14.558	174.196	174.169	+26	174.036	174.039	-3	174.380	174.354	+26				1.88	1.89	+1	
測定項目	幅員															
規格値	-10															
現場目標値	-10															
測点又は区別	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	



図－5 出来形確認表示例

④ 埋設管渠工では道路土工本体の道路中心線形からの中心離れ距離と高さの差で設計形状が決められている。図－6は埋設管の断面上で出来形計測結果と指定した設計値の対比を行った結果である。設置位置を3次的に管理することで、後施工である、舗装工の配管作業での不整合などを事前に予防できる。

⑤ 集水升工では、設置位置の隅部分の3次元座標を目標位置に設定して管理した。現行(写真－1)では、事前の丁張りに基づいた升の設置位置であるが、施工後には丁張りは無くなるため、完成後に位置が特定できない場合がある。TSを用いた出来形管理では、絶対位置を管理することで正確な集水升設置位置が確認可能であった。ただし、升の内側や底部、背面などTSで計測できない箇所もあった。



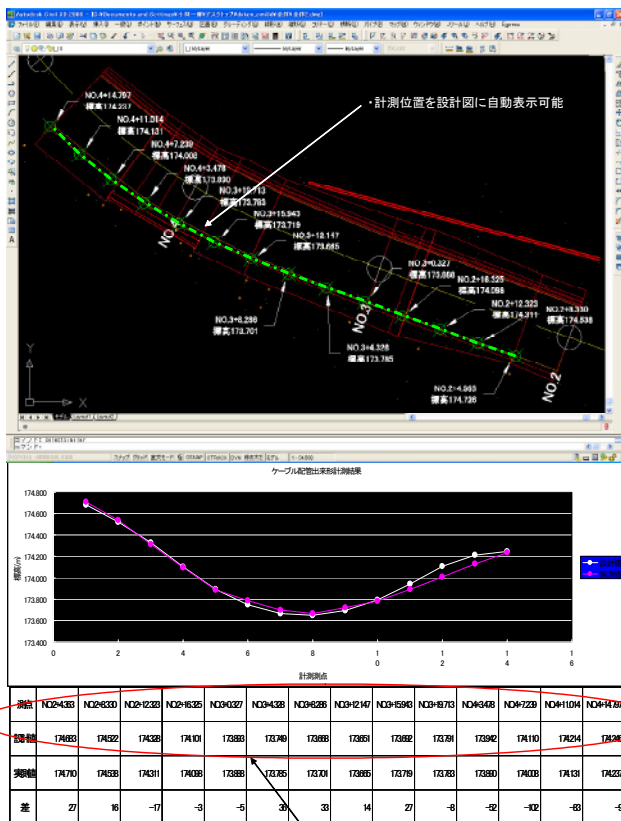
写真－1 現行の集水升の出来形管理

これらの出来形確認は全て、設計情報の3次元化、出来形データの3次元座標によって容易に確認可能となった。

各工種の出来形管理・段階確認では現行の手法に対して確認行為の合理化が実現できたため、効率化できたと言える。表－2に時間短縮率を示す。

表－2 TSを用いた出来形管理による時間短縮率

盛土工	74%減
擁壁工	63%減
排水側溝工	56%減
集水樹工(設置位置)	45%減



図－6 埋設管の出来形管理実施結果

(2)写真測量による出来形管理・段階確認

土工と舗装工は、TSで十分可能であり、写真測量で補足・併用する必要がない。

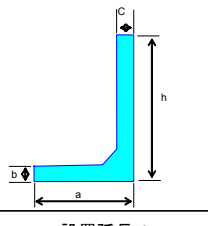
① 現場打擁壁工における不可視部分の出来形確認では、敷均しコンクリートの出来形計測において、写真測量の結果が延長方向11.7mに対し、テープでの計測結果が10.2mであった。結果として約1m程度の算出誤差が発生しており、延長方向の長さ、奥行きのある対象物の計測では誤差が大きいことが確認され、延長の長いものはTSの範疇になる。(図-7参照)

② 集水升工における不可視部分の出来形確認では、1000mm 立方程度の枠を全体が写るよう撮影した場合、計測精度で10mm(1%)程度誤差が発生している。敷均しコンクリートの計測に比べ、集水升のような小規模な構造物では精度良く計測できるが、出来形として提出する数値としては誤差が大きく、巻尺等による実測と置き換わるにはより計測精

度向上が求められる。1%の誤差が許容されるように計測箇所を大きく撮影する必要がある。(図-7参照)

③ プレキャスト製品の寸法確認では、表-3のとおり最大で60mm弱の誤差が発生しているが誤差の大きさはステレオ処理を行う写真撮影角度の移動方向によって差が発生している。

現行測量と写真測量の対比結果

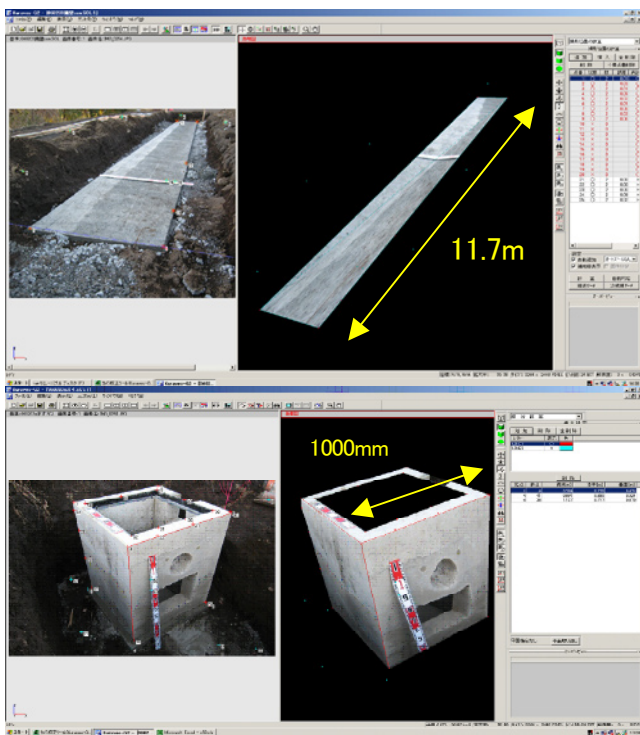
記号	実測寸法 (mm)	写真測量結果 (mm)	差 (mm)	
a	750	786	36	
b	90	90	±0	
c	120	130	10	
h	1000	1058	58	
L	9.970	10.052	82	

注)施工延長Lの実測寸法は、TS計測によるもの

表-3 写真測量による材料確認の実施結果

写真測量では数値計算の過程で2枚の画像データについて相対点の照合を行う。このため改ざんはほとんど不可能である。ただし、写真の撮影方向によってはステレオ処理できない場合もあり、現場で複数枚の予備写真を撮影する必要がある。

出来形管理・段階確認の効率化として、現場での計測に関わる手間は、写真1枚当たりの計測対象面積が大きいほど現場での計測時間は短くなり効率的である(図-8参照)、しかし計測精度は対象面積に反比例して悪くなる。そこで計測精度を維持するため、写真1枚当たりの計測対象面積を設定する必要がある。



- サービス手順—
- ・標尺を入れて写真撮影×2枚
 - ・2枚の写真のみ提出
 - ・後処理で寸法抽出

図-7 写真測量の表示結果

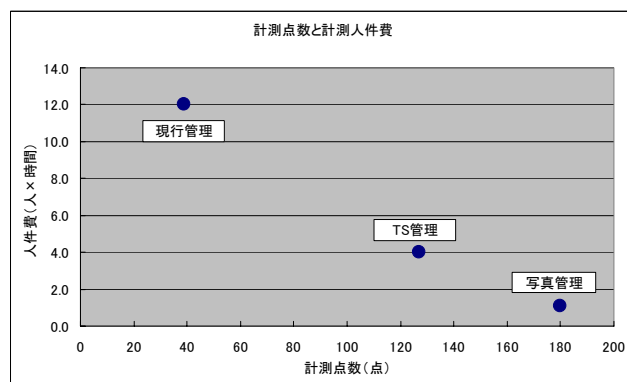


図-8 計測手法と計測人件費

6. 考察

今回の研究において、TS・写真測量共にシステムの所属による運用上の課題が明らかとなった。

出来形管理・段階確認実施時に検査職員が自ら判断するための支援システムを保有するか、請負者の保有システムを閲覧するかが必要であり、前者では発注者用支援システムの開発、後者ではシステムの機能が正確かどうかのチェックが必要となる。

TSによる出来形管理・段階確認は、設計との対比による確認の容易さ、時間短縮など有効性が確認できた。ただし、以下のような注意点が判明した。

小規模構造物では、巻尺に比べて計測時間を要する。構造物の細かい寸法までTSを用いて計測することは非効率である。

不可視部分の確認は、掘削出来形など、見通しのない部分で実施されることも多い。しかし、TSでは設置の手間が必要な上に、見通しがなければ計測ができない。

TSの計測精度は計測距離が離れることに比例して誤差が増える、延長の長い工事目的物の場合に計測箇所を一点で行うなど離隔をとりすぎると、計測誤差が管理基準に比較して大きくなる可能性がある。そこで、計測離れは100m以下とするなど注意が必要である。

③ 写真測量では、ステレオ処理する写真の撮影方法により奥行き延長の長い構造物の誤差が大きい。また、小規模構造物の出来形管理に対応できるが、プレキャスト製品の寸法確認では高さ1000mmに対して最大60mm弱の誤差が確認された。

写真の撮影角度(約10度を推奨)によってその計測精度が異なる。今回の撮影では、水平方向に角度を変えて撮影しているが上下方向に角度を変えて撮影することで縦方向の計測精度向上が見込まれる。この結果から、一層の計測精度向上が望ましく、計測範囲の設定など撮影要領が必要である。

写真測量は、現場での労力が少なく、短時間で計測できるが、机上(コンピュータ上)で写真から形状を算出する時間が必要である。

ただし、改ざんの困難な手法である事と完成後の寸法確認再現が可能である。

7. おわりに

TSと写真測量について研究してきたが、この技術が活用される基盤として3次元設計情報の流通実現が不可欠である。一貫した設計情報という前提に基づく施工管理が業務の効率化へ寄与することが確認できた。今後、既存の管理方法に対して、情報技術が置き換わった場合、これらの技術で従来よりも遙かに多くの施工管理情報を短時間で得る事ができる。特にTSでは任意位置で直ぐに設計と出来形の差異が把握できるため、受発注者共に容易に確認ができる。

しかし求められていない精度を確保するためにコストをかける恐れもあり、必要十分な計測要領を検討していく必要が有るだろう。

8. 謝辞

本研究を実施するに当たり(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所、熊本大学工学部環境システム工学科小林研究室など多くの方にご協力頂きました。記してお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 阿部寛之・他:土木工事の検査機器としてのトータルステーションの精度に関する一考察, 土木情報利用技術講演集, 土木学会, Vol.31, 2006 年 10 月
- 2) 山元弘・他:工事全体を通して設計情報を活用することによる施工管理効率化検討, 土木情報利用技術講演集, 土木学会, Vol.31, 2006 年 10 月