

13. TS 等光波方式を使った生産性向上について

計測技術は日進月歩、大切なことは導入し易い環境作り

国土技術政策総合研究所 ○ 伊藤 薫
 国土技術政策総合研究所 森川 博邦
 国土技術政策総合研究所 小塚 清

1. はじめに

国土交通省では、建設現場の抜本的な生産性向上を図るため、平成 28 年度から i-Construction と称して様々な施策が導入されている。

TS（トータルステーション）においても日進月歩で進化している。1 人で測量することを想定し望遠鏡の機能を省いた機種が開発されており、安価で、しかも、ネジによる整準作業も無くボタン一つで自動的に整準が完了するため、作業性に優れている。現場にてフル活用出来れば、さらなる生産性向上が期待出来る。

一方で、従来の出来形管理要領では、このような機種を利用する具体的方法が明記されていないため、現場では用途が限定されてしまっている。

舗装工事でも、TS を用いた出来形管理ができない範囲が一部残されていたため、その制限を取り払い改善することが望まれていた。

従って、平成 29 年度では、その管理の制限をなくすことや、新技術を採用する手順の要領化に取り組み、新たな基準類として公表した。

この論文では、取り組んだ検討結果とその考え方について報告する。

2. 検討のコンセプト

要領の改善は、精度の高い TS がより安価になってきたこと、生産性を向上させる機能が搭載されたこと等を踏まえ、次を目標にした。

- ① より高い精度を持った TS を用い、出来形管理可能な範囲の制限を取り払うこと。
- ② 近年の技術開発で、国土地理院の認定が無く望遠鏡の機能を省いたような機種でも、一定の性能を確認することで出来形管理に採用できるようにすること。

2.1 適用範囲

適用する出来形管理要領は以下を対象とする。

- ① TS 等光波方式を用いた出来形管理要領（土工編）

- ② TS 等光波方式を用いた出来形管理要領（舗装工事編）

2.2 従来の要領に適応する機種

利用可能な TS は、国土地理院に登録されているか、JSIMA などそれに準ずる検査証明書の提出により使用可能となっていた。次の表にその機種一覧を示す。

表-1 従来の要領に適応する機種一覧表

TS 要領	土工編 (総ての測定)	舗装工事編	
		(基層・表層の標高測定を除く測定)	(基層・表層の標高測定)
使用条件	3 級 TS	3 級 TS、かつ鉛直角度 5" 読み	
測定距離	100m (3 級 TS) 150m (2 級 TS)	100m	
主な計測器			TS 測定不可
事前確認	書類提出	書類提出	

2.3 新要領で加えられた機種

国土地理院の認定が無い機種も利用可能となっている。従来の舗装工事編では計測不可の基層・表層を可能とすることにより、総ての出来形計測が可能となった。新要領では新たに追加した機種を加え、「TS 等光波方式」と呼ぶ。

表-2 新要領で加えられた機種一覧表

TS 要領	土工編 (総ての測定)	舗装工事編	
		(基層・表層の標高測定を除く測定)	(基層・表層の標高測定)
使用条件	3 級 TS 相当の性能	3 級 TS 相当の性能	1 級 TS
測定距離	精度確認基準を満たす距離	精度確認基準を満たす距離	100m
主な計測器			
事前確認	精度確認試験	精度確認試験	書類提出

3. 精度の高いTSによる利用範囲の拡大

従来のTSを用いた出来形管理要領では、国土地理院の認定や検査証明書の確認だけで出来形管理用TSと認められているため、非常に使いやすく生産性向上に効果のある要領となっていた。

精度確認試験を行えば認定の有無関係なく導入出来るといった要領は作成可能であるが、器械固有の確認試験が必要であるため、同じ機種であっても器械が代わる毎に試験が必要となる。

このため、先ず従来のTSを用いた出来形管理要領で制限されている舗装工事編の表層・基層の標高較差について精度確認試験をしなくても測定出来るように取り組むことにした。

具体的な作業として、実際にどのくらいの精度のTSを必要としているかを検証し、利用条件を定めた。

3.1 従来の要領の中でTSが測定出来る範囲

国土地理院でのTSの認定は、3級・2級・1級・特級の4種類がある。この内、施工現場でよく使われているTSは3級、2級、1級であるため、これらを比較する。

従来のTSを用いた出来形管理要領より、各種TSが測定出来る項目と規格値を以下の表にまとめた。

表-3 従来の要領で測定出来るTS一覧表

国土地理院の認定 TS	1級	2級	2級	3級	3級
水平角の最小目盛り	1"	10"	10"	20"	20"
鉛直角の最小目盛り	1"	5"	10"	5"	20"
高度気泡管(秒/目盛)	20"	30"	30"	40"	40"
舗装工出来形規格値 (中規模)					
表層の標高較差	-7mm	×	×	×	×
基層の標高較差	-9mm	×	×	×	×
上層路盤の標高較差	-25mm	○	○	×	○
下層路盤の標高較差	±40mm	○	○	×	○
土工出来形規格値					
掘削工の基準高	±50mm	○	○	○	○

凡例
 : 土工のみ測定出来る出来形管理用 TS
 : 舗装工・土工で測定出来る出来形管理用 TS
 (ただし、基層・表層は測定不可)

ただし、鉛直角の規定は国土地理院の認定に必要ない項目であるが、出来形管理用TSとしての要件のため、水平角の並びに表示した。

この一覧表の中で、表層と上層路盤の標高較差の規格値を比較すると、表層の規格値-7mmは上層路盤の規格値-25mmの4倍程度であるので、TSの性能の違いも同等以上あれば測定可能と推測出来る。

そこでTSの鉛直角の最小目盛りに注目し、上層路盤に必要な鉛直角の読み取り最小目盛り5"読みの5倍の精度がある1級のTSであれば、要求される精度を満足すると考えた。

従って、最大計測距離100mとした場合を想定し、以下の手順で検証することとした。

- ① 鉛直角の最小目盛りが5"読みのTSの鉛直誤差が、従来のレベルやスケールを用いた出来形管理の規格値に占める割合を把握する。
- ② 鉛直角5"読みTSの誤差が上層路盤の標高較差の規格値に占める割合と、鉛直角1"読みTSの誤差が表層の標高較差の規格値に占める割合が同等であることを確認する。

3.2 鉛直角5"読みのTSの誤差による影響

情報化施工やi-Constructionが導入される前の従来の出来形管理では、直接レベルやスケールにより測定するため、規格値は純粋に設計形状に対しての施工誤差を管理するための値であった。

レベルを使用する場合の精度は、4級水準点測量を想定しても、1kmの往復観測で20mm以内、実際は100m程度であれば0~数mmに収まってしまう。スケールやロッドであればJIS規格の誤差程度が潜在的に存在するが僅かであることがわかる。

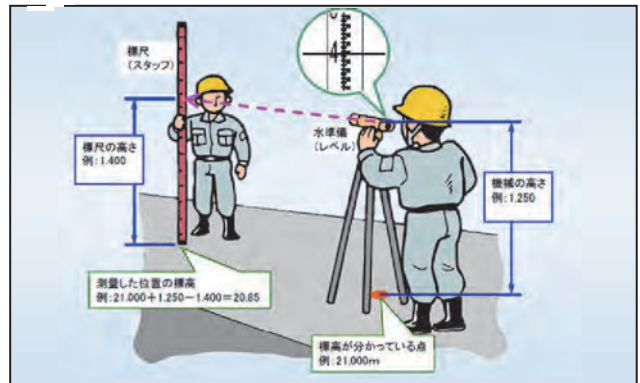


図-1 従来の水準測量 (JCMAガイドブック引用)

それに対し、TSを用いた出来形管理では、最小目盛りの読み取りから算出される誤差が発生し、その割合は、器械点から測定点までの距離に比例して大きくなる。

TSで測定する水平距離をL、鉛直角の最小目盛り $\Delta\theta$ とすれば、測定する点での鉛直成分の器械

的な誤差 ΔH を簡単に計算することが出来る。

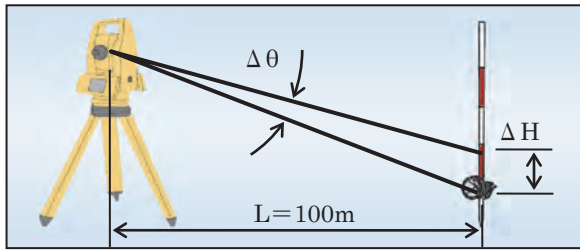


図-2 TSの最小目盛りに対する鉛直誤差

鉛直角の最小目盛りが5" 読みの3級TSと2級TSでは、実用的な測定距離を $L=100m$ 、 $\Delta\theta=5''$ とした場合、誤差 $\Delta H \approx 2.5mm$ となる。

下図に規格値に占める割合を示す。

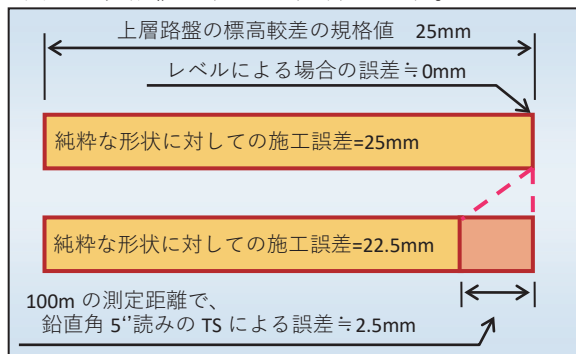


図-3 鉛直角5"読みTSの器械誤差が規格値に占める割合

従って、上図に示すように、誤差が規格値に占める割合は1/10程度であることがわかる。この程度であれば、実用的に問題が無いと判断出来る。

3.3 鉛直角1"読みのTS誤差による影響

鉛直角の最小目盛り1" 読みの1級TSでは、実用的な測定距離を $L=100m$ 、 $\Delta\theta=1''$ とした場合、誤差 $\Delta H \approx 0.5mm$ となる。

下図に、誤差が表層の標高較差の規格値に占める割合を示す。

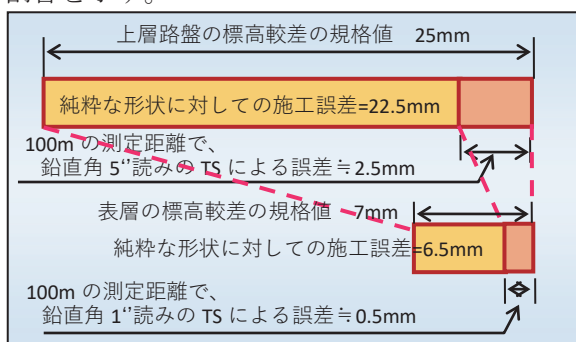


図-4 最小目盛りによる器械誤差が規格値にしめる割合の比較図

図に示すとおり、この精度の1級TSであれば、100m先の測定であっても誤差が規格値をしめる割合は1/10以下となり、表層の出来形管理が可能であると判断される。

3.4 据え付け誤差が規格値にしめる割合

TSにおいては、最小目盛りから来る誤差の他に、据え付け誤差が大きく影響する。国土地理院の認定に必要な高度気泡管の感度は20"~40"と大きい。国土地理院の認定条件だけでは誤差が大きくなるのがわかる。

TSを水平に設置する作業は、台座に取り付けられている整準ネジを回し、高度気泡管を頼りに水平を作る。(整準作業)

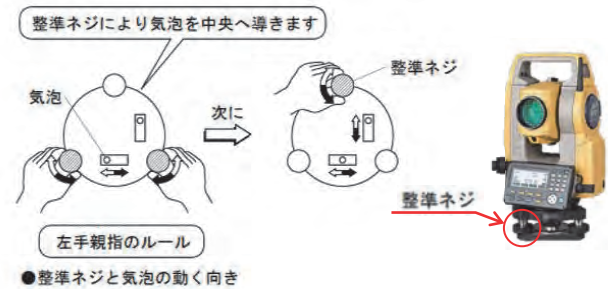


図-5 気泡管による整準作業

この気泡管の誤差は、標高較差7mmという規格値に対しては大きいので、表層の出来形管理をする場合、それを考慮する必要があると考えた。

それに対し、オートレベルの自動補正装置の基本的な仕組みは、上部から振り子のように吊り下げられている「コンペンセータ」と呼ばれる視準軸自動補正機構が、鉛直を保つと視準軸が水平になる仕組みで、コンペンセータの揺れを制御するためにオイルやマグネットによるダンパが備えられている。

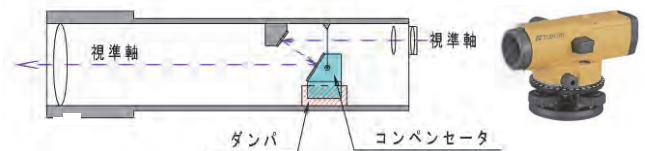


図-6 オートレベルの仕組み

TSの上級機種にも性能の高いコンペンセータが備わっており、有効にした場合、最小目盛りと同等かそれより高い精度で自動調整が行われている。

3.5 要領への記載について

上記の検討から、要領については次の2点の条件を満たせば、鉛直角1" 読みのTSが使えることとした。

- ① 国土地理院の認定、または公的機関が発行する試験証明書を確認すること。
- ② コンペンセータを搭載し、測定時にその機能を有効にすること

以上により、TSを用いた出来形管理は土工、舗装工総てのシーンにおいて、書類の確認のみで実用的な距離である100mの範囲内で使用することが出来るようになった。

4. 精度確認試験による利用機種種の拡大

望遠鏡が搭載されていないでも国土地理院が認定する TS と同じ機能（測角・測距）をもつ計測器が開発されている。

この望遠鏡が搭載されていない TS は、一般の自動追尾 TS に比べてコストが安くなっている。

さらに据え付けの手間を大幅に省く工夫がされ、一人で測量出来ることなど、生産性向上が期待されている。

なお「TS 等光波方式」は、将来新たに開発された技術でも使用出来るものとして命名した。



図-7 望遠鏡が搭載されていない TS

要領化にあたり、望遠鏡の機能を省いた TS について、カタログに掲載されている性能の確認と 1 級 TS ・ 2 級 TS と性能比較・確認を行った。

4.1 望遠鏡が搭載されていない TS の性能

公的機関の証明が出ない TS 等光波方式は、メーカーのカタログや仕様書に記載の性能で確認した。

表-4 望遠鏡が搭載されていない TS の仕様例 (カタログ抜粋)

製品名	LN-100	LN-100W
使用範囲 ¹⁾	距離 0.9 ~ 100 m 高低差 0.9 ~ 22m 高度角 ± 25° 22 ~ 100 m 高低差 ± 10m	
座標精度 ²⁾	H: 1.5 mm@ 50 m V: 3.0 mm@ 50 m	
測距測角精度	測距精度 ± 3 mm / 測角精度 5°	
自動整準範囲	± 3°	
傾斜補正部	方式 液体式 2 軸傾斜センサー 補正範囲 ± 6°	
自動追尾部	自動追尾可能距離 0.9 ~ 100m ²⁾ 駆動範囲 360° (水平方向) ± 25° (鉛直方向) 最高回転速度 60°/秒 (10rpm)	

メーカーカタログによると、測角精度は 5" であり 2 級 TS 程度の性能が備わっている。コンペンセータについては、液体式 2 軸傾斜センサーが装備されており、2 級 TS 程度の精度は期待出来る。

そこで、TS のどの級に相当する性能を有するかを、精度確認試験の結果をもとに判断することとした。

4.2 1 級 TS ・ 2 級 TS との比較

水平角・鉛直角について、水平位置・標高に置きかえ、1 級 TS ・ 2 級 TS との差異を比較することで検証を行った。結果を、以下の図に示す。

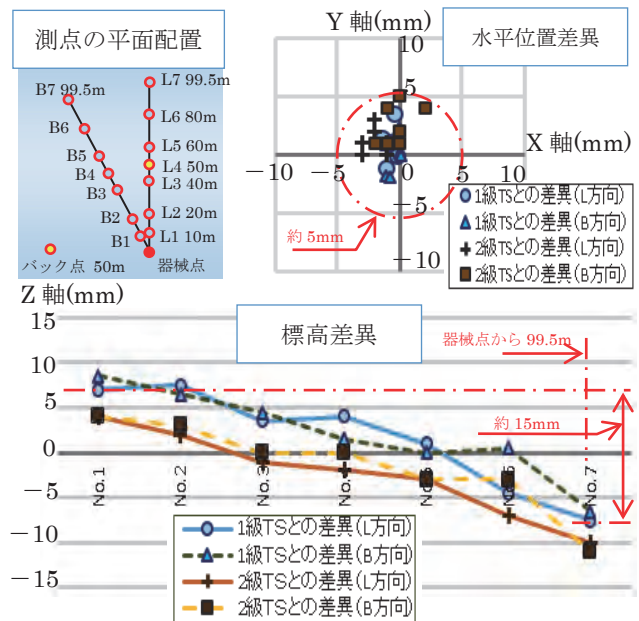


図-8 水平位置、標高の差異比較結果

比較結果より、水平位置の差異は 5mm 以内となったが、総ての TS との標高差異は器械点からの距離が遠くなるほど差異が増大する傾向 (100m で約 15mm) であった。これらより、1 級 TS ・ 2 級 TS 相当の性能を有していないと判断した。

従って、出来形管理要領中の「精度確認試験実施手順書 (案)」では、3 級 TS との差異の基準値を設け、3 級 TS が測定可能な範囲において、その基準値を満足する距離での使用を可能とした。

5. まとめ

舗装工事においては、1 級 TS を用いることにより基層・表層も含め総ての層で標高較差による出来形管理が行える様になった。同時に、土工、舗装工においては、望遠鏡が搭載されていない「TS 等光波方式」の使用が新たに認められた。

また、今回要領には反映まで至らなかったものの、2 級 1" 読みの TS でも、精度確認試験で測定可能距離を算定することにより舗装工の表層・基層の標高較差による出来形管理ができる可能性があることも確認できた。

確認試験の方法や基準値を決めることで、導入しやすい環境を作ることが出来たと考えている。

今後、より便利な新技術の出現も期待されることである。

参考文献

- 1) TS等光波方式を用いた出来形管理要領 (土工編), 2017
- 2) TS等光波方式を用いた出来形管理要領 (舗装工事編), 2017
- 3) TSを用いた出来形管理要領 (土工編), 2011
- 4) TSを用いた出来形管理要領 (舗装工事編), 2011
- 5) TS出来形管理ガイドブック平成24年度対応版 (日本建設機械施工協会), 2011