

- 19 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

Study about the precision of the total station as an inspection machine of the engineering works

阿部寛之¹・上坂克巳²・有富孝一³・金澤文彦⁴・田中洋一¹

Abe Hiroyuki, Uesaka katsumi, Aritomi Koichi, Kanazawa Fumihiko, and Tanaka Youichi

抄録：本稿では、トータルステーション (TS) の一部機能に関する測定精度検証を行った。TS を土工工事の出来形管理で従来の巻尺・レベルに替わって使用する場合、TS による間接水準測量機能と TS 器械位置の後方交会法による算出機能とが作業効率向上に有効である。しかしこれら機能の測定精度に関する報告はこれまで行われていない。筆者らはこれら機能の精度を確認するため、実験フィールドにおいて測定距離等が異なる 10 パターンの計測を行い、その結果を考察した。検証の結果、測定距離が 100m 以内であれば、土工工事の出来形確認に使用できることを確認した。

キーワード：出来形管理，トータルステーション，測定精度

Keywords : as-built management, total station, measurement precision

1. はじめに

筆者らは、トータルステーション (以下「TS」という) を活用した道路土工の出来形管理システムの検討を進めている。このシステムの内容については参考文献 1) を参照されたいが、TS 計測の作業手間を縮減するために、TS の間接水準測量機能 (単観測器高式) と後方交会法による器械位置算出機能を採用することを考えている。

この 2 つの機能については、施工現場の計測作業効率向上に有効であることが従来の研究 (参考文献 2)) において明らかになっている。しかし測定原理上、精度が低下する欠点があるため一般的な測量業務では用いられておらず、精度に関する試験報告もこれまで行われていない。

本稿は、この 2 つの機能の測定精度を確認する実証実験報告である。また実験結果から、TS を道路土工の出来形管理において、現行の測量機器 (巻尺・レベル) に替えて使用できることを確認するものである。

2. 実験の概要

(1) 検証項目と方法

TS の測定精度は、TS の設置方法、測定距離の長短、

作業者の技量、TS の校正等に依存する。検証は実験フィールドにあらかじめ既知点を設置し、測定距離と既知点配置のパターンを変化させ、①TS による間接水準測量 (単観測器高式) の測定誤差と、②後方交会法による TS 器械位置の算出誤差を真値の最確値と比較して検証した。計測は複数回、測量熟練度の異なる 5 名で実施した。

(2) 使用機器と実験場所

実験に使用した TS は、トプコン社製 CS235WF、機器の性能は、登録認定:3 級トータルステーション、測角部:最小読定値 5 秒読、測距部:測定精度 2mm +2×10⁻⁶D である。ミラーはピンポールプリズムを用いた。実験場所は、静岡県富士市の(社)施工技術総合研究所構内のテストコース、実験日は平成 18 年 2 月 17 日~27 日である。

3. 測定精度の机上シミュレーション

ここでは、現場での実証実験前に行った測定精度の机上シミュレーション結果を示す。

(1) 間接水準測量

TS は距離測定精度に関しては巻尺と同等以上であるが、高さ精度が弱く、レベルに比べて劣る。一般に水準測量で最も高精度なものはレベルによる直接水準測量であり、TS に高い測定精度は期待でき

-
- 1 : 非会員 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
(〒305-0804 茨城県つくば市大字旭1番地, Tel :029-864-4916, E-mail :abe-h924a@nilim.go.jp)
- 2 : 正会員 工博 国土交通省 中国地方整備局 広島国道事務所 所長
(元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 室長)
- 3 : 正会員 国土交通省近畿地方整備局淀川水系総合調査事務所
(元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)
- 4 : 正会員 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 室長

ない。TSによる間接水準測量は、単観測器高式と単観測昇降式（TSをレベルと考えて目標点の比高を順次測定していく方法で、器高式より精度が高い）に大別される。図-1に単観測器高式の原理を示す⁴⁾。標高値(H2)の算出には、器機高(i)、ミラー高(Z)、斜距離(D)と高度角(α)を測定する必要がある。この数式から測定精度を机上シミュレーションすると、仮に高度角(α)が真値に対して10″大きく測定されると、100m離れた地点の標高値は、100(m)×sin10″≒5.0(mm)、真値よりも高く測定されることになる。

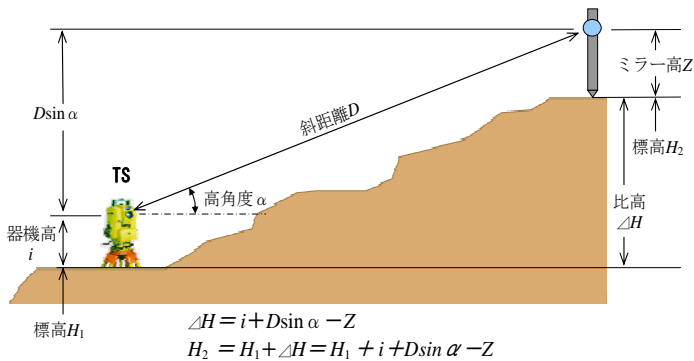


図-1 TSによる間接水準測量（単観測器高式）

(2) 後方交会法

後方交会法は2点法と多点法に分かれるが、本実験では2点法の検証を行った。図-2に後方交会法の原理を示す。2つの既知点の座標値とTSまでの水平距離からTSの位置座標を算出する方法である。

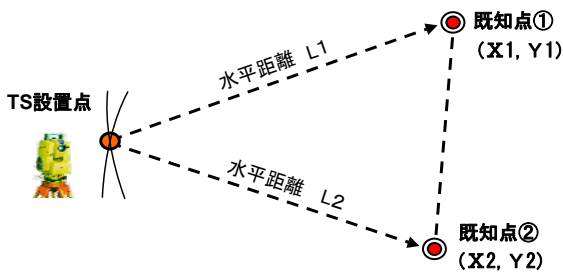


図-2 TSによる後方交会法

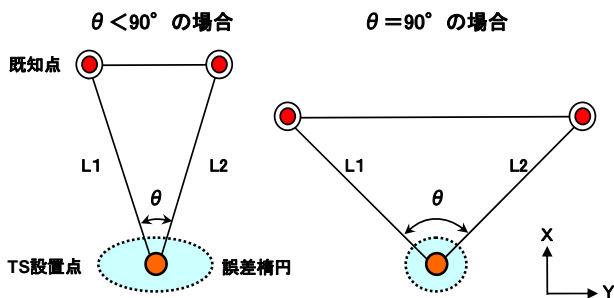


図-3 後方交会法の誤差シミュレーション

図-3は測定距離(L1, L2)の測定誤差が後方交会法に及ぼす影響のシミュレーションである。水平距離が100mでθ=5°の場合(図-3左参照), 仮にL1が真値に対して5mm長く, L2が5mm短く測定されると, 原理上, 器械点はY方法(右側)に100mm以上ずれる。また, θが180°に近いケースでも誤差が大きくなる。理想的な配置は図-3右のθ=90°の場合であり, 誤差楕円が最も小さい真円になる。

4. 実験の結果

(1) 間接水準測量

a) 実験方法

実験は、測定距離と測定精度の関係を検証するため、TSから25、50、70、100、140、150m離れた地点に木杭を設置し、TSで計測した各杭頭の標高と、レベルにより精密に測定した値との差を比較した。計測は異なる5名の作業者が、各人1回、TSの据付から行った。

b) 結果

表-1並びに図-4に実験結果を示す。TSからの測定距離100m以内の範囲では最確値との差は±4mm以内(最大4mm, 最小0mm)であった。しかし測定距離が100mを越えると、誤差が顕著に大きくなった。誤差は測定距離に正比例せず測定距離が100mを超えると大きくなった。ピンポールタイプのプリズムの場合、測定距離が100mを超えると計測者から非常に小さく見えるために正確な視準が難しいことが要因に挙げられる。

表-1 水準測量の結果

観測点までの距離	観測した標高値の最確値との差(mm)					
	25m	50m	70m	100m	140m	150m
1回目	-3	0	-3	-3	-	16
2回目	-2	0	1	4	-	22
3回目	0	-2	0	1	-	19
4回目	-3	-3	-1	0	7	-
5回目	-1	-2	0	0	4	-

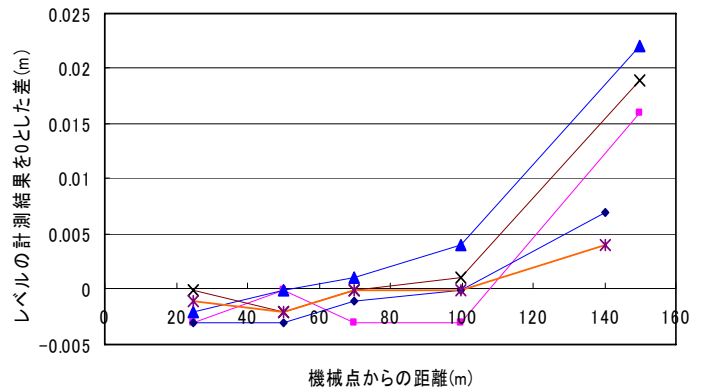


図-4 水準測量結果と測定距離の関係

(2) 後方交会法

a) 実験方法

実験は、**図-3**で机上シミュレーションした挟角・水平距離と精度との関係を検証するため、**図-5**に示す実験フィールドに9つの既知点を設置し、点0上にTSを据え、あらかじめ計測した点0の座標と後方交会法により算出される座標との差を比較した。挟角・水平距離のパターンは**表-2**に示す10通りとし、各々4回の測定を行なった。なお、**図-5**の既知点1~8はTS器械高さと同ー標高に設置した。

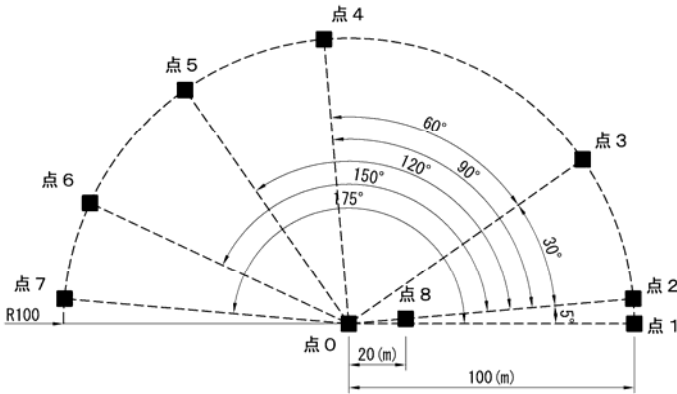


図-5 実験フィールドの既知点の配置図

表-2 後方交会法の実験結果

挟角°	既知点①までの距離(m)	既知点③までの距離(m)	項目	TS設置点の計算座標値(mm)	
				X	Y
5	100	100	平均値	-290	28
			最大値	-119	44
			最小値	-542	18
			標準偏差	155	10
			平均値	3	8
5	20	100	平均値	8	18
			最大値	-7	-6
			最小値	6	9
			標準偏差	14	-4
			平均値	14	-4
30	100	100	平均値	26	0
			最大値	-9	-9
			最小値	14	4
			標準偏差	8	2
			平均値	18	7
30	20	100	平均値	-5	-3
			最大値	8	4
			最小値	36	41
			標準偏差	47	52
			平均値	19	22
60	100	100	平均値	11	11
			最大値	0	0
			最小値	6	6
			標準偏差	-6	-10
			平均値	4	7
90	100	100	平均値	-6	-5
			最大値	-1	7
			最小値	-19	-17
			標準偏差	7	9
			平均値	4	12
120	100	100	平均値	12	20
			最大値	0	6
			最小値	5	6
			標準偏差	-10	-4
			平均値	-1	0
150	100	100	平均値	-17	-6
			最大値	6	2
			最小値	-5	15
			標準偏差	-2	24
			平均値	-12	7
175	100	100	平均値	-4	7
			最大値		
			最小値		
			標準偏差		
			平均値		

b) 結果

表-2並びに**図-6**に実験結果を図表にしたものを示す。なお、**図-6**の下図は上図を部分拡大したものであり、グラフの中心(0,0)が実際にTSを設置した位置である。**図-6**上図に示すとおり、挟角が5°の場合が最も誤差が大きく、最大500mm以上、平均300mmの誤差が生じることを確認した。**図-6**下図からは、挟角30~175°では最大で52mmの誤差が生じるが、ほぼ誤差50mm以内に分布することを確認した。机上シミュレーションでは、挟角が175°の場合も挟角5°と同様、誤差が大きくなることを予想したが、良好な結果を得られた。

(3) 実験結果のまとめ

実験の結果から、道路土工の出来形管理システム
1)へ反映すべき事項を以下にまとめる。

- ① 間接水準測量機能(単観測器高式)の利用条件は、測定距離100m以内とする。その場合の測定誤差は±5mm程度である。
- ② 後方交会法による器械位置算出機能の利用条件は、測定距離が100m以内の既知点を使用し、その挟角は30°~150°であることが望ましい。その場合の測定誤差は±50mm程度である。

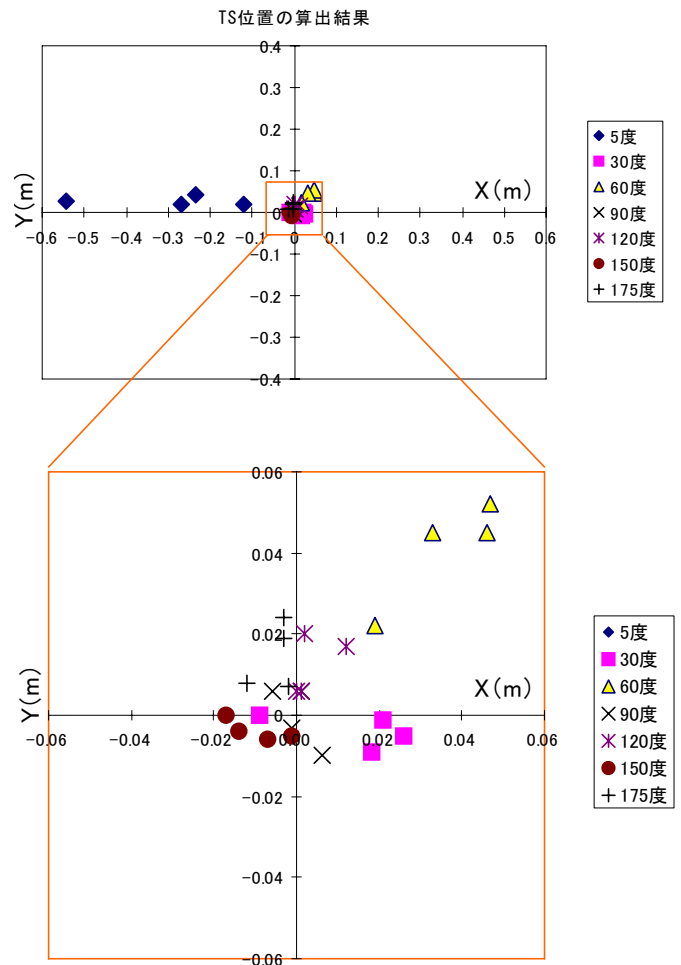
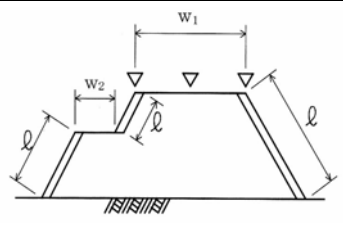


図-6 後方交会法の実験結果 (TS 計算座標値)

5. 検査機器としてのTSの精度

測定精度の観点から、TSを土木工事の検査機器として使用できるか否かは、そもそも検査が測定機器にどの程度厳密な計測を求めているのかで判断できる。出来形計測に使用する測量機器は、出来形規格値との関係から要求される測定精度が決まる。道路土工の場合の出来形規格値を図-7に示す。

測定箇所	管理項目	規格値(mm)	
	基準高▽	±50	
	法長	L<5m	切土:-200 盛土:-100
		L≥5m	切土:法長の-4% 盛土:法長の-2%
	幅(W1, W2)		-100

備考) 基準高はレベル、法長と幅はテープ(巻き尺)による。

図-7 土木施工管理基準(出来形管理基準及び規格値)

道路土工では出来形形状の高さが設計図の±50mm以内、長さが-100mm以上であれば設計図書に適合すると判定する。TSの弱点である高さの精度は、今回の実験で±5mmであることを確認したので、合否判定を行うのに十分な精度があると考え。±5mmの誤差であれば、実際の現場の立会検査時に、請負者の施工管理資料の値と立会いで計測した値の差が大きく、設計図書との適合が判断できず、結局再度測定し直さなければならないことが起こる心配もないと考える。

6. まとめ

本稿では、トータルステーション(TS)の一部機能に関する測定精度検証を行い、以下のことを確認した。

- ① 間接水準測量(単観測器高式)の精度は、測定距離が100m以内の場合、高さ±5mmの誤差に納まる。
- ② 後方交会法による器械位置算出の精度は、測定距離が100m以内の既知点を使用し、その挟角は30°~150°である場合、±50mmの誤差に納まる。

またこの検証結果を踏まえて、TSを道路土工工事の出来形管理に使用できることを確認した。

今回の実験では、1社の一般的スペックのTSの精度検証を行ったが、より高性能な機種やノンプリズム、自動追尾機能をもつTS、GPS等様々な3次元計

測機器が施工現場に普及してきている。本稿が、TSやその他の3次元計測機器を施工現場で使用する際の目安として使用されれば幸いである。

謝辞: 本研究を進めるに当たって、国土交通省国土技術政策総合研究所・青山主任研究官、松岡研究官、(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所、(株)トプコンなど多くの方々に助言を頂いた。この場を借りてお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 有富孝一, 上坂克巳, 阿部寛之, 田中洋一, 柴崎亮介, トータルステーションを活用した道路土工における出来形管理システムの構築と現場検証, 土木学会情報利用技術委員会, 第31回情報利用技術論文集(投稿中)
- 2) 有富孝一, 松岡謙介, 上坂克巳, 奥谷正: 3次元設計情報を用いた出来形管理技術の提案, 建設マネジメント研究論文集, 土木学会 建設マネジメント委員会, Vol.11, pp81-90, 2004年
- 3) 「施工管理情報を搭載できるトータルステーションを用いた出来形管理要領(試行案)」(道路土工編), 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, 2006年
<http://www.gis.nilim.go.jp/jouho/portal/archive/youryou.pdf> (入手2006.7)
- 4) 「トータルステーションを用いた出来形管理実施時の監督・検査マニュアル(案)」, 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
<http://www.gis.nilim.go.jp/jouho/portal/archive/manual.pdf> (入手2006.7)
- 5) 吉澤孝和: 図解 測量学要論, (社)日本測量協会
- 6) 測量と測量機のレポート, (株)ソキア, 2005年11月
- 7) 解説 公共土木工事検査の体系・技術・実際, 建設省土木工事監督検査研究会
- 8) 廣川隆男, 遠藤修, 小島茂之, 岡本正広, 光永純一: 自動追尾トータルステーションを用いた盛土の施工管理システム, 土木学会年次学術講演会講演概要集第6部 Vol.54, pp40-41, 1999年