

○ 株式会社 数理設計研究所 名倉裕
 有限会社 和泉測量 太田学志

1 レーザースキャナの一点測定

地上型レーザースキャナは地形を詳細に測定するために大変役立つが、一地点の測定は得意ではない。しかし公共座標系への座標変換、あるいは他の方法で測定された地形データと交換するため、基準点測定が必要である。基準点（以下、レーザースキャナの習慣で参照点と呼ぶ）座標を得る方法は一般に、参照点に反射体を設置して測定し、多数の点群座標値から算出した代表値として求める。

ここでは実際の測定例から、精度がトータルステーションのノンプリズムモードに近づいた事を示し、更に安定した精度を得る可能性を示す。

2 耳川の河川測定

宮崎県東臼杵郡諸塚村と美郷町の境を流れる耳川、塚原ダムの下流部で2005年9月に斜面崩壊が発生した。河川に堆積した土砂形状を2006年11月に測定した（図-1）。流れに沿った約1km、幅200mの曲線的な流域のため、5ヶ所からの測定を必要とし、50個余の参照点を設置した。

レーザースキャナ	RIEGL LMS-Z420i
制御・解析ソフトウェア	RIEGL RiSCAN PRO
検証ソフトウェア	数理設計研究所 MAD3D
トータルステーション	TOPCON GPT-3005HiPer

表-1 使用システム

3 参照点の種類と設置

参照点に設置する反射体の形状は、平板、円筒、球体である。5～20cmのサイズを用意し、距離、

設置条件によって使い分けた。（図-2～4）

3.1 反射体サイズの選択

参照点測定は角度ステップ0.004°で行うため、この角度ステップで反射体1個当たり数十～数百の測定データができるよう、サイズを選択した。例えば500mの距離に垂直に設置した20cm角の平板反射体は、データ間隔3.4cmで測定され、約40点の測定データが見込める。

3.2 反射体形状の選択

各測定地点を結ぶ外周線の内側に設置する参照点は、多方向から測定するため主に球体を用い、外側のものは片方向からの測定になるため、平板と円筒を設置した。円筒のサイズは5cmの一種類だけなので、近距離に用いた。

設置位置は、近距離（100m以内）、中距離（300m以内）、遠距離（300m以上）の各方位に設置するよう心掛けるが、実際には水平方向90～180°の範囲に、近距離と遠距離の2点設置できれば足りる。

4 参照点測定結果

表-2に、1ヶ所から測定された参照点の測定値、計算値例を示す。5ヶ所の測定地点で66回の参照点測定を行った。レーザースキャナ測定値を変換した座標値と、トータルステーション測定座標値の点間距離を誤差として、標準偏差を算出した。

全参照点の誤差の標準偏差は20mmである。

参照点は多めに設置してあり、座標変換時に誤差が大きい参照点は排除する。ここで誤差40mm以上の4点を除くと、標準偏差は15mmである。



図-1 耳川測定風景

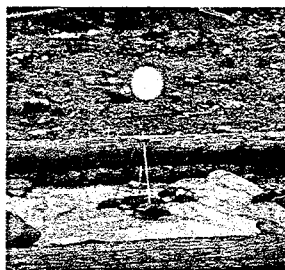


図-2 球形反射体
支柱に固定した20cmの球体。ストロボ光を反射する。

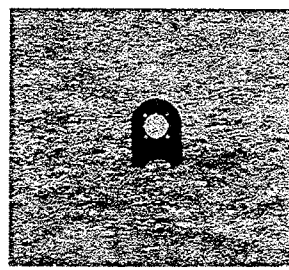


図-3 平板反射体
ブックエンドに貼付け。又は支柱で支持。



図-4 円筒反射体
地面に固定。又は支柱で支持。

T S 測定値 (基準値)			L S 測定値 (変換前)			L S 変換値			基準値-変換値 差分			
Range	ϕ	θ	Range	ϕ	θ	Range	ϕ	θ	点間距離	dX	dY	dZ
779.352	41.000	17.130	14.497	48.690	-3.508	779.356	41.000	17.130	0.006	-0.005	-0.002	0.002
768.323	38.659	17.486	42.675	10.883	0.311	768.324	38.659	17.486	0.004	-0.001	-0.002	0.004
525.170	137.120	54.923	845.416	267.397	13.865	525.181	137.122	54.923	0.014	0.001	0.012	-0.007
605.996	110.163	43.299	728.763	253.330	15.022	605.990	110.164	43.299	0.014	0.011	0.008	0.000
789.254	45.401	16.827	48.271	178.590	-1.858	789.263	45.401	16.827	0.009	-0.005	-0.006	-0.005
821.127	47.835	16.136	93.479	168.465	-1.006	821.117	47.836	16.136	0.018	-0.003	0.016	0.006
791.018	44.193	16.971	34.765	166.527	1.220	791.027	44.193	16.972	0.014	0.000	-0.008	-0.011
784.414	42.514	17.061	14.334	138.847	-0.680	784.418	42.514	17.061	0.007	-0.005	-0.002	0.004
666.357	63.562	15.941	279.169	229.760	-9.380	666.322	63.561	15.941	0.037	0.036	0.004	0.011
730.363	65.695	13.481	304.807	215.745	-10.963	730.365	65.694	13.481	0.014	0.002	-0.013	0.004
757.425	70.321	13.755	364.285	213.218	-7.522	757.432	70.319	13.755	0.027	0.002	-0.027	0.000

表-2 参照点座標変換一覧

11個の参照点を、トータルステーション(TS)とレーザースキャナ(LS)で測定、LS測定値をTS座標系に変換した。太線で囲った参照点は20cm球体反射体を距離279mで測定したもの。誤差(点間距離)37mmと大きい。

5 球体反射体の誤差

図-5に、5ヶ所の測定地点から測定した参照点の測定距離と誤差を、反射体の形状別に示した。それぞれの標準偏差は次の通りである。

平板	19 mm
円筒	12 mm
球体	27 mm

誤差が20mm以上のデータに注目すると、円筒より球体と平板が目立つ。平板が時々大きな誤差を示すのは、斜めの角度から測定せざるを得ない位置関係が生じやすいためであり、測定時に予測できる。球体の誤差が大きい原因は、球体の大きさに較べて実効データが少ない事と、トータルステーションの視準法に課題があるためだ。

5.1 球体反射体の実効データ

球体測定データの内、中心点算出に使われるのは球体正面の小さな部分であり、周辺部のデータは距離誤差が大きいので排除する。実際に使うデータは球体測定データの1/4くらいである。大きな球体を使えば実効データは増えるが、携行が難しく、支柱は風雨に耐える工夫が必要になる。誤差の分布は正規分布に近いので、何度も測ってデータ数を増やすのが良い。

5.2 トータルステーションの視準

トータルステーションで中心位置を視準する時、滑らかな表面のため数ミリの誤差は避け難い。球体を保持するポールに全方向プリズムを設置するなど、工夫が必要である。

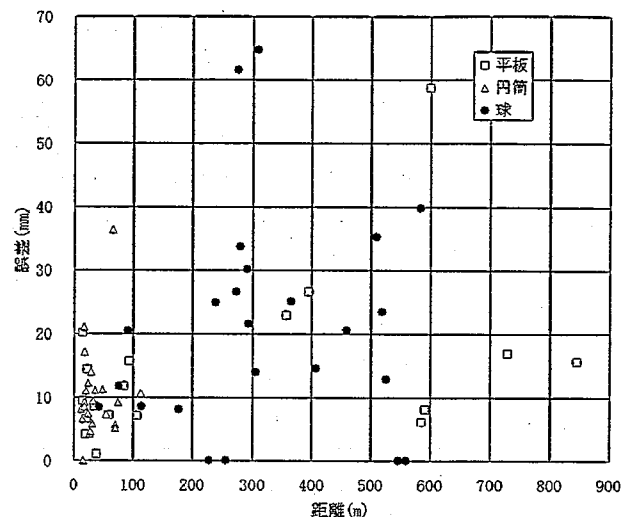


図-5 参照点測定における測定距離と誤差

レーザースキャナ RIEGL LMS-Z420i		トータルステーション TOPCON GPT-3005HiPer (ノンプリズム長距離モード)	
有効距離	<800m	有効距離	<1200m
距離精度	10~26(mm)	距離精度	12~18(mm)
角度精度	40"	角度精度	5"

表-3 測定器精度(カタログスペック)

6 結論

耳川測定の5ヶ所の参照点測定において、レーザースキャナ参照点誤差の標準偏差は20mm。反射体を適切に選択すれば、距離への依存は少なく、球体測定の工夫で15mm($2\sigma=30\text{mm}$)以下を期待できる。重ねて測定してデータ数を増やせば、精度は更に向上する。測量者、ユーザに理解しやすい範囲である。