

VI-63

ビームライナーによる自動測量システムの開発と測量値の補正

前田建設工業(株) 土木設計3部 野田 賢治
 (株) 銭 高 組 技 術 本 部 斎藤 優
 (株) 地 崎 工 業 技 術 開 発 部 木本 敏秋
 (株) 地 崎 工 業 技 術 開 発 部 須藤 敦史

1. はじめに

最近のシールド工事では、施工環境や用地確保の問題に伴い曲線線形の施工が増加し、自動測量システムの開発が行われている。しかし小口径シールドあるいは急曲線線形の施工では、測量の盛り替えやそれに伴う基準点計測が煩雑になり精度上の問題が生じる。このような状況の中で、シールド工の施工において施工精度の向上や測量作業の省力化を図るために、リアルタイムにシールド機の位置・姿勢を検出し、小口径や急曲線にも対応できるビームライナーを用いた自動測量システムの開発を行った¹⁾。

そこで本報告では、本自動測量システムにより曲線半径20m～30mを有する試験軌道の測量結果と測量精度の向上のための補正手法について述べる。

2. 自動測量システムの概要

本自動測量システムは、ビームライナーをセメントなどに固定した軌道の軌跡を自動検出しながら走行させるものである。

またビームライナー本体は、図-1に示すように前胴と後胴に分割されており後胴のC点よりB点を通るレーザーが投光され、A点に設置された受光板の投影を計測し、受光板中心座標を演算する。この計測をビームライナーの連続走行中に繰り返し行う(B点がA点、C点がB点を通った時点の座標計測)ことにより、走行軌跡(ローリング座標)が逐次算出される。次に、あらかじめ求めておいた軌道上の2点(既知点)の座標によりビームライナーの走行軌跡を測量座標(グローバル座標)に変換する。

3. 測量値の補正

曲線半径20m～30mを有する試験軌道の計測を本測量システムを用いて行い、測量精度の向上のための補正手法について検討を行う。この補正方法は図-2に示すように、軌道上の2固定点の他に数点の座標が既知(補正点)とし、ビームライナーの測量によるグローバル座標値と補正点座標の差が最小となるような補正係数を求めるものとする。

ここで、補正を行ったビームライナーのグローバル座標値 (x_1, y_1, z_1) をとする。この値は各補正係数 (a_x, a_y, a_z) の関数となる。

$$(x_1, y_1, z_1) = f(\underline{x}_1, \underline{y}_1, \underline{z}_1; a_x, a_y, a_z) \quad (1)$$

$\underline{x}_1, \underline{y}_1, \underline{z}_1$: ローリング座標値

また補正座標点 (x_1^*, y_1^*, z_1^*) とし、ビームライナー座標点 (x_1, y_1, z_1) の測量誤差を最小にする評価関数 θ は次式のようにになる。

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{(x_1^*, y_1^*, z_1^*) - (x_1, y_1, z_1)\}^2 \quad (2)$$

式(2)に式(1)を代入すると次式のようにになる。

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{(x_1^*, y_1^*, z_1^*) - f(\underline{x}_1, \underline{y}_1, \underline{z}_1; a_x, a_y, a_z)\}^2 \quad (3)$$

$$\theta(a_x, a_y, a_z) \rightarrow \min \quad (4)$$

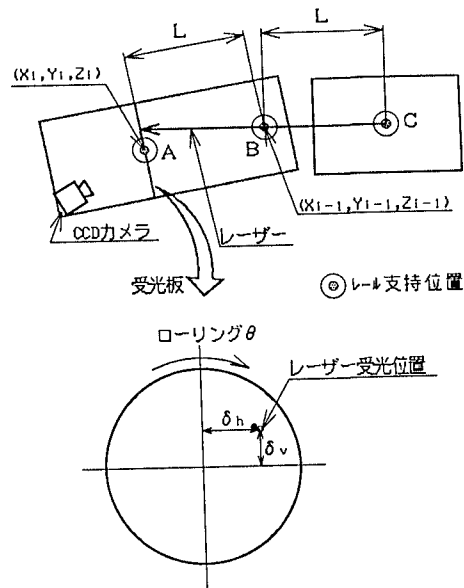


図-1 ビームライナー位置計測原理

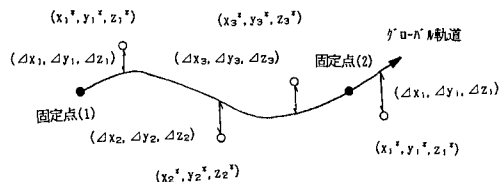


図-2 補正概念図

この評価関数 $\theta(a_x, a_y, a_z)$ を最小にする最適化問題となる。ここで補正係数 (a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}) の近傍における接線勾配を $\theta'(x_1, y_1, z_1; a_x, a_y, a_z)$ とすると、次ステップにおける補正係数は以下ようになる。

$$\theta(a_{x2}, a_{y2}, a_{z2}) = \theta(a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}) + \{ \theta(a_{x2}, a_{y2}, a_{z2}) - \theta(a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}) \} \theta'(a_{x1}, a_{y1}, a_{z1}) \quad (5)$$

(a_{x2}, a_{y2}, a_{z2}): 推定補正係数

近似的に推定値による測量誤差評価関数 $\theta(a_{x2}, a_{y2}, a_{z2}) = 0$ とし、一般化すると式(5)は次式のようにニュートン法²⁾となり繰り返し計算により推定値が得られる。

$$(a_{xk}, a_{yk}, a_{zk}) = (a_{xk-1}, a_{yk-1}, a_{zk-1}) - \frac{\theta(a_{xk-1}, a_{yk-1}, a_{zk-1})}{\theta'(a_{xk-1}, a_{yk-1}, a_{zk-1})} \quad (6)$$

また、評価関数 $\theta(a_{xk-1}, a_{yk-1}, a_{zk-1})$ の接線勾配(偏微分係数)が必要となるが、ここでは影響係数法³⁾により近似的に算出する。

$$\frac{\theta(a_{xk-1})}{a_{xk-1}} = \frac{\theta(a_{xk-1} + \Delta a_{xk-1}) - \theta(a_{xk-1})}{\Delta a_{xk-1}} \quad (7)$$

Δa_{xk-1} : 微小きざみ

4. 解析結果

前記補正手法を用いて、曲線半径20m~30mを有する延長約16mの試験軌道の水平方向測量値に対する補正を行った。表-1に得られた補正係数、表-2には補正した測量座標値を示す。表-1より補正係数の最小値は3回程度の繰り返しで得られている。また表-2より補正計測値は測量誤差が減少している。この補正では固定点近傍の5点の補正点座標値を用いている。ここで、図-3に本自動測量システムにおけるCRT表示を示す。

表-1 推定補正係数

計測 NO.	初期値	1回目	2回目	3回目
K 2 0 6	0.00	-0.167	-0.165	-0.167
K 2 0 8	0.00	-0.097	-0.093	-0.094

表-2 測量誤差

計測 NO.	計測誤差	補正計測誤差
K 2 0 6	0.0505 m	0.0136 m
K 2 0 8	-0.0277 m	0.0060 m

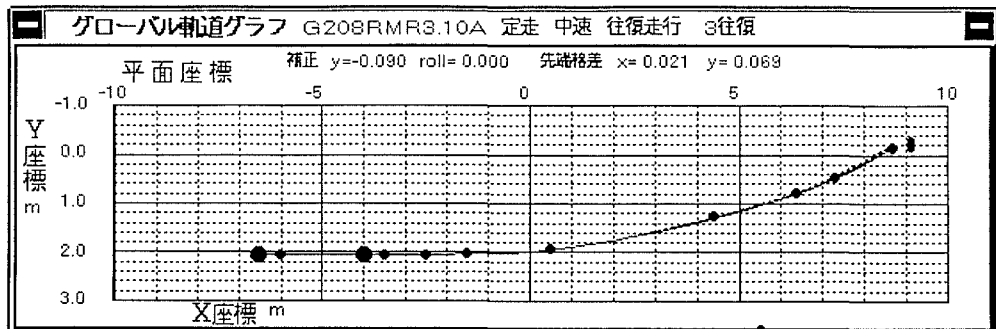


図-3 計測結果

● 固定点 ○ 測量点

5. 結 論

本報告では、ビームライザーを用いた自動測量システムによる急曲線線形の測量精度の向上を目的として測量値を補正手法を検討した。次に、その適用性を曲線半径20m~30mを有する試験軌道の測量値の補正を行うことにより検証したが、検討した補正手法は本測量システムにおいて測量精度の向上が望める結果が得られた。

6. おわりに

現在、走行レールとビームライザーの接合部および走行レールの簡略化を行い実験中であるが、今後急曲線線形を有する小口径シールドの現場において実証試験を行い、本測量システムの実用化を進める予定である。

(参考文献)

- 1) 野田・井田・木本:ビームライザーを用いた自動測量システムの開発, 土木学会第49回年次学術講演会, VI-9, pp. 358-359, 1994.
- 2) 例えば 村瀬・小山・石田:パワソンの計算力学 順・逆解析入門, 森北出版, 1990.
- 3) W. G. W. Yeh, :Review of Parameter Identification Process in Groundwater Hydrology, Water Resources Research, 22(2), pp. 95-108, 1986.