

VI-188

レーザー光を使った姿勢計測装置の開発とシールド工事への適用

住友建設（株）土木部 正会員○熊谷紳一郎

土木部 柳瀬 進

機械部 田中 正樹

土木部 正会員 金子 正士

1. はじめに

シールド工事では、一般にマシンの位置・姿勢をトータルステーション、ジャイロコンパス、CCDカメラなど複数の機械を用いて計測・演算し、その結果を掘進管理に利用することが行われている。しかし、これらのシステムは比較的大がかりなものとなりやすく、著者らは、レーザー光を用いた簡素で精度の良い姿勢計測装置を考案した。以下に、この姿勢計測装置の原理と地上での性能確認試験の結果、およびこの装置を泥水加圧式シールド工事（マシン外径2680mm）に適用した結果を述べる。

2. 姿勢計測装置の原理

本装置は、通常単体でレベル測量に用いられる電子スタッフを、5本立体的に組み合わせた構造である。2台の電子レベルが成す水平・鉛直の2つのレーザー面を受光し、5つの受光点の読み値の変化から、装置自身の3軸回りの姿勢角と水平・鉛直変位量の計5自由度を逆算する。例えば、図-1に示す装置に純粋なローリングが起こったとき、電子スタッフの初期の受光点Aは、回転に従って受光点Bに移動する。発生したローリング角の大きさは、A-B点の読み値の差と、向かい合う電子スタッフ間の距離から求めることができる。

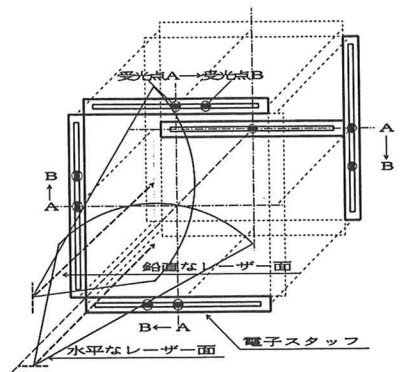


図-1 姿勢計測装置の原理

実際には同時に発生するヨーイング、ピッチング、ローリング角及び水平・鉛直変位を求めるために、それら5自由度を変数とする非線形の多次連立方程式を立て、Newton-Raphson法による収束計算を行っている。

3. 地上での性能確認試験の結果と考察

装置を段階的に傾斜させて起こした単独の回転に対し、本計測装置を用いた自動測量と確認測量との比較を、屋外地上にて行った。自動測量では、ニコン製電子スタッフEPS-05A（分解能1.0mm以下）を、電子レベルにAL-30（水平レーザー）及び30V（鉛直レーザー）を使用した。また確認測量では、傾斜の正弦長をノギスで計測して、回転角を求めた。表-1にその比較結果を示す。

自動測量と確認測量の値は、両者に誤差要因が含まれているために、その差が必ずしも真値からの誤差

表-1 自動測量と確認測量の比較

	ヨーイング角チェック		ピッチング角チェック		ローリング角チェック	
	自動測量(度)	確認測量(度)	自動測量(度)	確認測量(度)	自動測量(度)	確認測量(度)
第1回	1.384	1.394	1.476	1.476	1.379	1.378
	差 0.6分(0.7%)		差 0.0分(0.0%)		差 0.1分(0.1%)	
第2回	3.919	4.002	2.785	2.736	2.728	2.685
	差 4.9分(2.1%)		差 2.9分(1.8%)		差 2.6分(1.6%)	
第3回	6.482	6.416	3.912	3.900	5.052	5.000
	差 3.9分(1.0%)		差 0.7分(0.3%)		差 3.1分(1.0%)	
第4回	9.047	9.022	4.035	3.957	7.141	7.105
	差 1.5分(0.3%)		差 4.7分(2.0%)		差 2.2分(0.5%)	

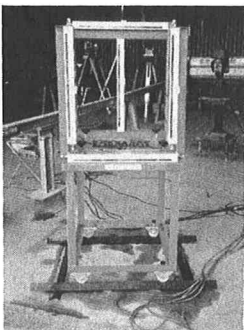


写真-1 性能確認試験

を表してはいない。しかし、各回転角の測定値が $\pm 2\%$ 程度以内の範囲で一致しており、5分以内におさまっていることから、ジャイロコンパスと同等以上の精度が期待でき、十分実用的と判断した。

4. 実工事への適用と考察

本計測装置を泥水加圧式シールド工事における約200mの掘進区間に採用した。システム構成を、図-2にしめす。

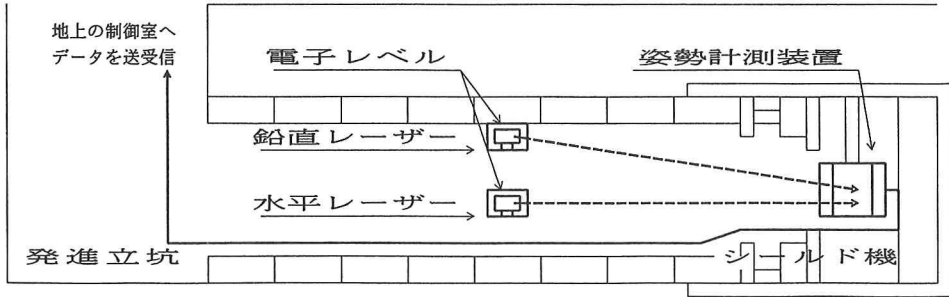


図-2 姿勢計測システム構成

計測精度を向上させ装置を小型にするために、高精度電子スタッフ改造型EPS-02A（分解能0.5mm以下）を用いた。スタッフの信号を坑外の制御室に送受信するマルチプレクサを計測装置に内蔵させた。また、装置はシールド機と一体に挙動させるため、シールド機前胴の断面中央付近に固定した。（写真-2）

水平・鉛直レーザー発光器は切羽の後方50m付近のセグメントに、それぞれ側壁と天端に固定した。縦断勾配部や曲線部などの区間で、レーザー面が受光部をはずれた場合は、発光部を切羽に向かって盛り替えた。本装置により得られたシールド機のヨーイング角は、既存のジャイロコンパスによる値と ± 5 分以内の良好な対応を示した。また、ピッチング・ローリング角に関しては、シールド機に付属する重力加速度計よりも計測値のばらつきが小さく、掘進作業中断後の再現性もあることから、同等以上の精度があるものと判断できた。ある状態の姿勢角と水平・鉛直変位を計測するのに要する標準的な時間間隔は30秒であったが、演算ソフトを改善することで15秒程度まで短縮が可能であった。掘進中のデータの即時性についても実用範囲であると考えた。測位機能については、ジャッキストローク計から掘進距離を計算し、スタッフの読み値から計算される方向ベクトルを用いて、シールド機中心の3次元座標値を演算した。演算された鉛直座標値は、計測が行われた全区間において、人力によるレベル測量と ± 3 mm以内の良好な対応を示した。

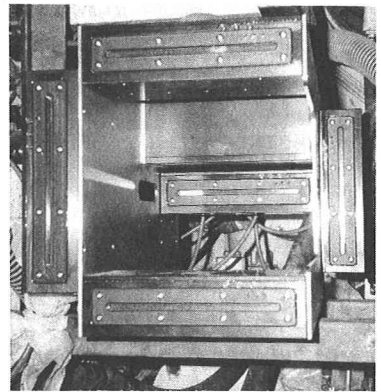


写真-2 機内の姿勢計測装置

4. まとめ

レーザーを使った姿勢計測装置を実工事に適用し、地上で確認された機能が坑内でもほぼ発揮されることが確認できた。本装置は、シールド機の5自由度を1つの装置で計測することができ、また連続的に計測データが得られる区間においては、十分な測位・測角精度と即時性を持つと判断できる。

今後は、発光部の盛り替え手間を簡略化するなどの改善を重ね、曲線施工区間での作業性を高めていきたい。