

VI-17 スパイラルトンネルの線形形状の自動測量精度について

榎大本組 土木本部 正員 高岡 俊 司

榎大本組 土木本部 正員 木村 正 之

榎大本組 土木本部 正員 中西 祐 啓

1. はじめに

建設省では、総合技術開発プロジェクトの一環として土木研究所、財団法人先端建設技術センター、民間企業との共同で、地下空間の建設技術の開発に関する研究を実施している。その内、急曲線・急勾配シールドトンネル(以下スパイラルトンネルと呼ぶ)の研究グループでは、曲率半径40m, 勾配10%, 仕上がり内径9 m, 土被り50mのスパイラルトンネルのセンター測量の自動化を研究テーマの一つとして取り上げている。

スパイラルトンネルを掘削する場合、通常のシールド工法に比べてシールドマシンの位置の測定、姿勢の管理・制御が重要になってくる。さらに、推進ジャッキの反力は偏ったものとなり、すでに組み立てられたセグメントの状態(位置)を変化させる可能性が大きい。したがって、シールドマシンの位置・姿勢等を測定するためには、スパイラルトンネルの線形形状を何度も測量しなければならない。このため、スパイラルトンネルの線形測量の自動化、省力化が望まれている。

本報告では、スパイラルトンネルの自動測量手法をいくつか提示し、数値シミュレーション手法を用いてそれらの測量精度について検討した。

2. スパイラルトンネルの自動測量手法

自動測量を行う場合、トランシットの通常の機能以外に最低限必要であると考えられる機能を以下に示す。

- ①移動機能(軌道走行式でもよい) ②自動整準機能(定点上でなくてもよい) ③自動視準機能

その他、自動測量用トランシットに付加できる機能として次の2つが考えられる。

- ④測距機能(光波式等) ⑤真北測定機能(ジャイロ)

トランシットが軌道上(下)を走行するように作成しても、トランシットをいつも同じ場所に静止させ、同じ場所で水平にあわせるためには複雑で大規模な装置が必要になる。また、その軌道自体が動いてしまうことも考えられる。トランシットを水平に合わせる(整準)だけであれば比較的簡単な装置で行うことができる。したがって、トランシットを定位置に静止させる方法ではなく、任意位置で整準しても可能な自動測量手法を考案しなければならない。これは、トランシットを移動させるたびにその位置が確認(算出)できる手法でなければならないことを意味している。

上記の①～⑤の各機能の組み合わせにより、自動測量に使用するトランシットは表-1に示しているように4つのTypeに分類できる。表中Type0は通常行う測量手法であり、自動測量の場合の精度と比較のため示している。本報告では、Type1の手法(測角のみによる測量)を検討の対象とした。

表-1 自動トランシットの機能による分類

Type 0	通常の測量方法(測角・測距)
Type 1	最低限必要な機能のみを使用(測角のみ), ①～③
Type 2	Type 1 に測距機能を付加, ①～③+④
Type 3	Type 1 に真北測定機能を付加, ①～③+⑤
Type 4	上記のすべての機能を持たせたもの, ①～⑤

Type 1 による測量手法の一例を図-1に示す(後述のType 1-3)。この手法は、レール2本をスパイラルトンネルの側面(上下に2段)に設置し、自動測量用トランシット2台が各レールを占有し、自由に動けるようにしたものである。測点(ターゲット)は、レールの反対側に設置している。このうち、T0, T1は既知点とし、自動測量の基準としている。測角のみで測量を行った場合に、トランシットの位置を知るためには、図中φの値が必要になってくる。この値は図中に示した式を用いて求めることができる。

スパイラルトンネルの総延長は約500mとなる。ここでは、単曲線で総延長500mのスパイラルトンネルと考えた。ターゲットは、基本的にセンター距離で20m毎に設置するものとした。

3. 数値シミュレーションと結果

自動測量において測角を行う場合、ターゲットを視準する方法の1つとして画像解析を用いるものとする。画像解析を行う場合、下記の2つの条件から読み取り可能な最小単位が決まる。

〔条件1〕一般に市販されているビデオカメラの画素数は40万画素程度である。すなわち1辺の画素数は630画素程度である。

〔条件2〕通常のトランシットの倍率は30倍程度である。標準画角を50°とすると画角は1.67°となる。

以上の条件から、1画素あたりの角度は約10"となる。

測角誤差は、正規分布に従うものと考え、画素あたり10"に対応する標準偏差の値を約6"とした。シミュレーションの結果は、Type 0（通常の測量方法）との比較により判断する。Type 0の測角精度は自動測量と同じにし、測距精度については光波測距儀を使用した場合の精度としている。

測角のみを用いたスパイラルトンネルの自動測量手法としては色々な手法が考えられる。ここでは代表的なものだけを示す。各手法について1000回のシミュレーションを行った。最終的な精度（500m先のターゲットの実際の位置と測量結果との差の標準偏差）を表-2に示す。表中z軸方向は、鉛直方向を、x、y軸方向は図-1に示した方向を表している。

表-2より、Type 1-3の方法を用いれば、Type 0とあまり変わらない精度で測量できることがわかる。すなわち、測角のみでスパイラルトンネルの線形を測量することが可能であることを示唆している。

4. おわりに

本報告では、スパイラルトンネルを測角のみで自動測量した場合の精度について検討を行った。実際に自動測量用トランシットを作成する場合には、シールドマシンの位置測定等のため、測距機能等も付加されるであろう。その場合にも、同様のシミュレーションを行うことにより、最適な測量手法を模索できる。この

場合、測角のみで自動測量を行うよりもよりよい精度の測量手法となる。

〔謝辞〕本検討は、地下空間の建設技術の開発に関する研究の内、急曲線、急勾配シールドトンネルの研究グループの研究の一環として実施したものである。関係各位に深甚の謝意を表する。

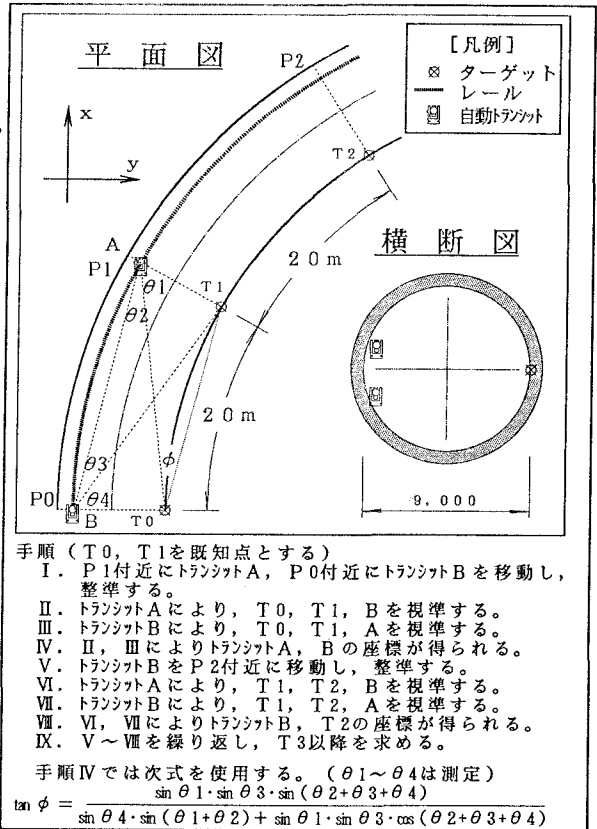


図-1 自動測量の測量手順（トランシット2台、レール2本片側）

表-2 自動測量シミュレーションの結果

	最終精度(標準偏差)		単位:m	備考
	x軸方向	y軸方向	z軸方向	
Type 0	0.021	0.022	測量せず	通常の測量方法 ターゲットはセンター 既知点2
Type 1-1	〓	〓	〓	トランシット1台 レール1本 ターゲットは側面 既知点3
Type 1-2	0.055	0.088	0.068	トランシット2台 レール1本 ターゲットは側面 既知点2
Type 1-3	0.022	0.034	0.023	トランシット2台 レール2本(片側) ターゲットは側面 既知点2
Type 1-4	0.046	0.077	0.038	トランシット2台 レール2本(両側) ターゲットはセンター 既知点2

注) Type 1-1は、数値計算上計測不能