

VI-142 シールドトンネルの測量シミュレーションと実測との比較例

大 本 組 正会員 中西 祐 啓
東亜建設工業 内 藤 正 三
村 本 建 設 明 瀬 史 典
中 村 組 寺 田 智 秋

1. はじめに

測量の結果には必ず誤差が含まれている。得られた結果に誤差が含まれていることを認めた上で、その後の判断の基準にするべきである。このためには、測量全体のシステムとしての精度を把握しておくことが必要となる。測量機器メーカーでは、各測定器の測定精度（誤差）を調査し、カタログにも明記している。これは1回の測定を行った場合の精度であり、測量を行った後の最終的な精度について明記しているものではない。測量全体の精度は、測角・測距の数、そのときの測点の全体的な形状（ユーザー側の利用形態）等によって変化するためである。

実施工時において、特にトンネル等地下を施工する場合には、開トラバースによる施工管理が余儀なく強いられている。開トラバースには始点と終点に制約条件がなく、閉合トラバース、結合トラバースに比べて精度が劣る。特にトンネルの曲線施工の場合には測点の数も多くなり、誤差拡大の要因となっている。施工精度がどの程度なのか、既知点に到達するまで不安なものである。

著者らは、測量を行った後の精度を知るために測量シミュレーション手法を提案し¹⁾、この手法を用いて色々な測量の精度に対して検討を行ってきた^{2)~4)}。シールドトンネル工事において、測量シミュレーションと実測とを比較する機会が得られたのでその結果を報告する。

2. シールドトンネル工事の概要

本工事の概要は以下の通りである。

- ・シールド外径： $\phi 4680\text{mm}$
- ・セグメント外径： $\phi 4550\text{mm}$
- ・仕上がり内径： $\phi 3750\text{mm}$
- ・土 被 り：12.4～13.6m
- ・測量シミュレーションを行った

区間の延長：L=461.055m

本工事は、発進立坑からいくつかの通過立坑を経由して到達立坑に達するものである。各立坑間の中で最も長い区間は、半径100mの曲線が2カ所、半径70mの曲線が1カ所含まれている。

この区間の線形と測点の模式図、座標

値を図-1に示す。図中BP、EPはどちらも通過立坑内の測点である。BP～T1の間を基線としてEPまで到達させなければならない。EPの通過立坑は、内径 $\phi 5500\text{mm}$ の円形の立坑であり、シールド通過前に躯体を築造している。躯体とシールド機とのクリアランスは5cmである。すなわち、5cm以内の精度で到達させなければならない。シールド機の外周カッタービットを考慮すれば、要求される精度はもっと厳しくなる。このためEPに到達する前にチェックボーリング(図中Bor)を行い、シールド位置の確認を行った後にEPに到達させた。チェックボーリング位置は、スチールセグメントを使用している曲線区間に設けた。

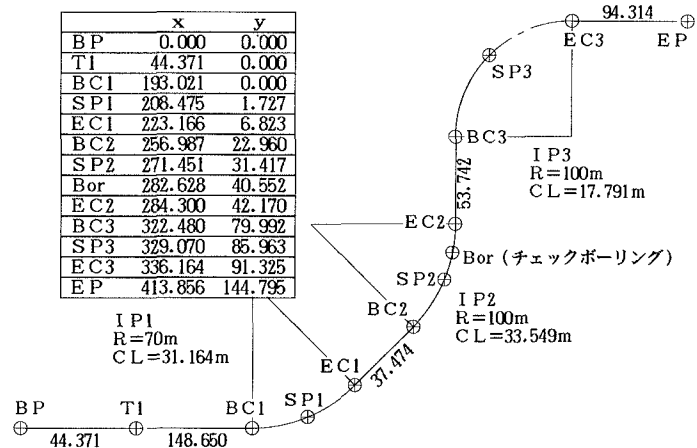


図-1 シールドトンネルの線形と測点の模式図

3. シールドトンネルの測量シミュレーション

測定誤差が正規分布となる測角及び測距シミュレーション手法（モンテカルロシミュレーション）¹⁾を用いて通常の開トラバースの測量シミュレーションを行った。シールドトンネルの線形管理の測量には、光波測距儀付きのトランシットを用いたので、測定一回あたりの誤差（標準偏差）としては一般的に考えられる測距誤差を5mm、測角誤差を10"と仮定した。測点としては、以後の管理が容易となるよう各変化点（B C, S P, E P）をとることにした。測量シミュレーションを1000回行い、平均値と標準偏差を求めた。この結果と実測したときの値とを比較したものを表-1に示す。「B P～E P」に示した値はチェックボーリングを行わずに測量した場合のものである。また、「B P～Bor」、「Bor～E P」はチェックボーリング位置（Bor）まで測量し、そこで測定誤差について調査した後に補正を行い、そこからE Pまで測量したときのものである。参考までに、測距誤差を10mm、測角誤差を20"とした場合についても示している。

表-1 測量シミュレーション結果と実測との比較（シミュレーション：1000回、単位：m）

		測距精度 5mm, 測角精度 10"			測距精度 10mm, 測角精度 20"		
		B P～E P	B P～Bor	Bor～E P	B P～E P	B P～Bor	Bor～E P
x 軸	平均値	-0.0010	-0.0002	0.0001	0.0015	0.0001	-0.0010
	標準偏差	0.0243	0.0131	0.0113	0.0477	0.0272	0.0212
y 軸	平均値	0.0015	0.0007	0.0003	-0.0017	-0.0014	0.0004
	標準偏差	0.0353	0.0204	0.0126	0.0706	0.0394	0.0231
差の平均値		0.0372	0.0213	0.0151	0.0736	0.0424	0.0280
差の標準偏差		0.0215	0.0117	0.0077	0.0429	0.0224	0.0143
実測の誤差		—	0.021	0.011	—	0.021	0.011

B P～E Pまでのシミュレーション結果を見ると、x軸方向で24.3mm、y軸方向で35.3mmの標準偏差が得られており、32%の確率でこの数値を超えることがわかる。また差の平均値・標準偏差はそれぞれ37.2mm、21.5mmとなっており、チェックボーリングを行わずに掘進するとE P点で58.7mm(=37.2+21.5)以上の差となる確率が16%であることがわかる。すなわち、想定した測量方法でE P点に到達させた場合にはすでに出来上がっている躯体に接触する可能性が大きいと考えられる。一方、B P～Borの実測の誤差とシミュレーションによる誤差の平均値とを比較するとほぼ等しくなっており、実測は予想される程度の精度で測量されていることもわかる。これを補正してE P点までの管理を行うとすると、差の平均値・標準偏差として15.1mm、7.7mm が得られており、これまでの測量方法で掘進を進めていけば躯体に接触することなく到達させることができるものと予測できる。実際に躯体に接触することなくE Pを通過させることができた。

「Bor～E P」に示した実測の誤差は、シールド通過後セグメントを取り除いてから確認のために測定した結果である。これについても実測とシミュレーション結果とはうまく一致しているようである。

4. おわりに

シールド工事の線形管理に測量シミュレーションを適用し、実際の測量と比較した。これにより、測量シミュレーションを行えば、実際に測量する前に測量全体の精度を把握することができ、この結果を参考に実際の管理に用いることができる。近年、GPSの利用等測量に対して新しい技術が導入されてきている。このような新しい技術に対しても、個々の測定精度さえ明らかになれば、測量全体の精度も測量シミュレーションによって知ることができる。

〔参考文献〕

- 1) 木村・中西・上森：数値シミュレーションによる測量精度推定の提案，年講，1991.9.
- 2) 中西・木村・高岡：セグメント断面計測によるシールド機との相対位置関係の測定，年講，1991.9.
- 3) 高岡・木村・中西：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，年講，1991.9.
- 4) 中西・市川・片山・内藤・丹下：最小自乗法を用いたシールド機とセグメントの相対位置関係の測定，年講，1994.9.