

VI-18 セグメント断面計測によるシールドマシンとの相対位置関係の測定

榎大本組 土木本部 正員 中西 祐 啓

榎大本組 土木本部 正員 木村 正 之

榎大本組 土木本部 正員 高岡 俊 司

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、シールドマシンに取り付けた測距儀からセグメントまでの距離を測定し、その測定値に基づくシールドマシンとセグメントとの相対位置関係の管理手法、セグメントの変形の管理手法の開発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の掘削・構築を行う場合、セグメント全体の線形の管理と共に、これから掘削する方向の管理、セグメントの断面変形の管理も必要となってくる。一般にシールドトンネルの曲線施工では、シールドマシンは組み立てられたセグメントとある角度を保持しながら掘進する。この角度の管理が、シールドトンネルの施工精度に大きく影響してくる。従来、シールドマシンとセグメントとの間の角度差を知るために推進ジャッキの伸び量を測定していた。しかしながら、シールドマシンとセグメントの中心軸のズレを知ることはできない。自動測量への移行、セグメントの形状変化の測定等を併せて考えると、シールドマシンからセグメントの断面を測定する方法も有効と考えられる。

測距を行う場合、短距離であれば反射用プリズムを使用しなくても測定できる光波測距儀が市販されている。この測距儀は、ある平面上で任意の角度での測距が可能である。シールドマシンに測距儀を設置し、中心軸に直角な方向にセグメントの断面を測定すると、その形状は楕円形を示すはずである。本報告では平面上に存在する楕円形の式を導き、その楕円形を得るには最低限何点の測定が必要になるかを示す。得られた座標値を使用して、楕円形の式に使われるパラメーター値の求め方について示す。さらに、測定時の測距誤差を考慮した数値シミュレーションを行い、測定値からパラメーターを求めたときの精度について調査する。

2. シールドマシンから見たセグメント形状

セグメントが変形せず、シールドマシンとある角度 θ を持っている場合には、次式で表される。

$$\frac{\{(y-b)\sin\phi+(x-a)\cos\phi\}^2}{(cr)^2} + \frac{\{(y-b)\cos\phi-(x-a)\sin\phi\}^2}{r^2} = 1 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 r :セグメントの半径、 $c=1/\cos\theta$ 、 a 、 b :楕円中心の測定原点からのズレ、 ϕ :セグメントの回転角である(図-1)。式(1)は5つのパラメーターを持っているので、最低限5点を測定しなければならないことがわかる。式(1)の式形のままでは扱いにくいので、次式で表される二次方程式の一般形として扱うことにする。

$$A'x^2+B'y^2+C'xy+D'x+E'y+1=0 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $A'=A/F$ 、 $B'=B/F$ 、 $C'=2C/F$ 、 $D'=2D/F$ 、 $E'=2E/F$ とおくと、式(1)と式(2)の関係は次のように表される。

$$A=\cos^2\phi+c^2\sin^2\phi, \quad B=\sin^2\phi+c^2\cos^2\phi,$$

$$C=(1-c^2)\sin\phi\cos\phi,$$

$$D=-a(\cos^2\phi+c^2\sin^2\phi)-b(1-c^2)\sin\phi\cos\phi,$$

$$E=-a(1-c^2)\sin\phi\cos\phi-b(\sin^2\phi+c^2\cos^2\phi),$$

$$F=a^2(\cos^2\phi+c^2\sin^2\phi)+b^2(\sin^2\phi+c^2\cos^2\phi)+2ab(1-c^2)\sin\phi\cos\phi-c^2r^2$$

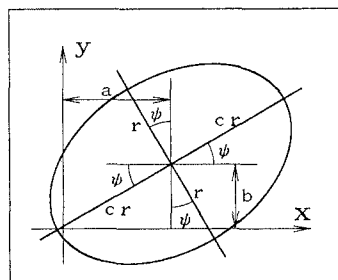


図-1 楕円の一般形

セグメントの5点を測定して座標値を求め、それらの値を式(2)に代入して、 $A' \sim E'$ の値を求める。それらの値から式(1)で使っている物理的な意味を持つパラメーターの値に変換する。

3. セグメント断面測定シミュレーション

セグメントの断面形状を測定した場合に、どの程度の誤差が生ずるのかを数値シミュレーション手法を用いて先に調査する。これにより、必要とする情報が必要な精度で得られるかどうかを知ることができる。

シールドマシン内部にはスクリーコンベア等多くの機材が存在する。作業性の向上だけを考えると機材を配置すると、シールドマシン内全体に分散することになる。このような状態はセグメントの断面形状の測定にたいへん不都合である。逆に断面形状の測定を優先的に考えると、各機材は圧縮された配置になり作業性は悪くなる。セグメント測定に関して制限を受けた状態で測定した場合、どの程度まで測定範囲を狭めることができるのかについて、数値シミュレーション手法を用いて調査する。セグメントの断面形状を測定するのに最低限必要な測定範囲がわかれば、その範囲はセグメント測定部として確保する必要があることがわかる。

前述の光波測距儀の測距精度は、標準偏差で5mmと言われている。測定原点から測点までの真の距離を平均値とし、標準偏差5mmとなるような正規乱数を模擬発生させる。これを測定された距離として座標値を求め、これらの測定値からパラメーターの値を逆算する。真のパラメーター値との差を求める。

シールドマシンの中心軸とセグメントの中心軸の角度差 θ が $0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$ の場合、頂点を中心に $72^\circ, 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ 間隔で測定した場合の断面測定シミュレーションを行った。測定原点は、ほぼ中央とした。

シミュレーション結果を表-1に示す。シミュレーション結果から次のようなことが読み取れる。

- ① すべてのパラメーターの精度は、測定間隔が狭まるにしたがって悪くなっている。
- ② 鉛直方向の楕円中点のズレを表す b の精度の方が水平方向の楕円中点のズレを表す a の精度より悪くなっている。これは頂部に測点が偏っているため、その方向に対する測定精度が悪くなったものである。
- ③ パラメーター b に着目すると、間隔を 45° 以下に狭めて測定した場合、精度（標準偏差の値）は20mm以上になっており、利用するには困難であると考えられる。
- ④ a, b, r, c の精度は、シールドマシンとセグメントとの角度差 θ による影響は少ないようである。
- ⑤ ϕ の精度は、 θ が大きいほど良くなる。 ϕ は真円($\theta = 0$)の場合不定となることに起因する。

表-1 頂部を中心に測定した場合の精度（標準偏差）

測定方向	72° 間隔で測定			60° 間隔で測定			45° 間隔で測定			30° 間隔で測定		
θ	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°	0°	5°	10°
パラメーター	1.0000	1.0038	1.0154	1.0000	1.0038	1.0154	1.0000	1.0038	1.0154	1.0000	1.0038	1.0154
a (単位 mm)	3.1	3.1	3.1	2.9	2.9	2.9	3.7	3.7	3.7	19.8	19.9	20.4
b (単位 mm)	3.1	3.1	3.1	5.7	5.7	5.6	28.5	28.5	28.7	201.1	202.7	207.6
r (単位 mm)	3.3	4.0	4.1	4.5	6.7	7.5	18.8	22.9	28.9	131.9	138.0	155.0
c (無次元)	0.0010	0.0015	0.0016	0.0015	0.0020	0.0023	0.0040	0.0041	0.0055	0.0203	0.0203	0.0203
ϕ (単位 °)	53.31	13.15	2.78	56.00	21.13	3.04	58.45	36.76	9.61	58.27	52.91	37.36

4. おわりに

セグメントの任意の5点を測定した場合の測定精度について検討を行った。この手法を用いる限り、楕円の回転角を表す ϕ の値を良い精度で得ることはできない。このパラメーターは、シールドマシンの中心軸とセグメントの中心軸の角度差を知る上で重要である。推進ジャッキの伸び量を測定する手法を用いても、この角度差を求めることができ、ここで示した手法で求めるよりも良い精度で得ることができる。よって、これら2つの手法を併用してシールドマシンとセグメントとの相対位置関係を求めることが望ましい。

〔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。