

Ⅲ-669 曲線シールド施工における地盤変位評価法の一考察

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 小山 幸則 松本 吉雄
 帝都高速度交通営団 正会員 米島 賢二
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 清水 満
 （株）トーニチコンサルタント 正会員 藤原 毅

1. はじめに

シールドトンネル掘削における地盤変位の評価法は、これまで多くの研究者によって提案がなされている。これら既往の評価法は、鉛直方向の沈下に着目した解析手法が中心であり、地中水平変位に着目した解析例は少ない。また、都市インフラ構造物の範疇化によりシールドトンネルを構築する場合において鉛直方向の位置関係で近接する場合と同様水平方向の位置関係で近接する場合が多くなっている。そのため、近接施工問題において、水平方向に着目した精度のよい地盤変位の評価法が必要とされている。そこで、既往の解析手法について検討した結果、曲線シールドの例では、解析値が実測値を的確に表現し得ていないと判断され、これは地中水平変位に寄与する施工要因が考慮されていないためであると考えた。

本研究では、曲線シールドにおける地中水平変位を評価する解析手法について水平変位に寄与する施工要因を考慮した評価法を提案するものである。

2. 解析手法

曲線シールドは、施工過程において直線部と異なり線形沿ったシールドマシンの方向修正が必要である（以後旋回工程と称する）。本研究では、この旋回工程が水平方向の地盤変位に影響を及ぼす主要因の一つと考え、以下の解析手順により地盤変位を算定した。

①曲線諸元より決定されるシールドマシンの方向修正量（旋回量

： δ_H ）を算出。

$$\text{旋回量 } \delta_H = L \times \sin \theta$$

$$\text{旋回角度 } \theta = \sin^{-1} (B/R)$$

L ：シールドマシン全長（m）

B ：セグメント幅（m）

R ：トンネル線形の曲率半径（m）

②その旋回量を生じさせる状態をスプリングライン断面でシールドマシンを剛性EIとするはりモデル、地盤を弾性バネにモデル化して強制変位 δ_H が作用した場合の地盤反力度を計算する。

地盤は、圧縮側・引張側共に弾性バネとして考慮する。

③算出された地盤反力度は、旋回工程で生じ、地山に作用する外力であると仮定する。この強度は、スプリングライン部の強度であり、シールドマシンの形状が円筒形であることを考慮すると地山に載荷させる方法はスプリングラインを最大とする三角形分布荷重にモデル化できるものと考えた。

④次に、旋回工程で生じる外力を二次元有限要素法解析の節点外力に換算し、旋回工程の解析ステップとして考慮する。なお、地盤変位の算出は、中村、中島らにより提案された補正係数（応力解放率）を考慮した解析手法を用いることとした。

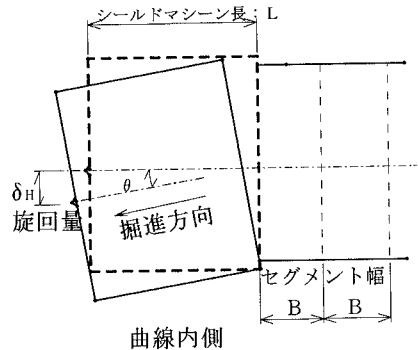


図-1. 旋回工程概念図

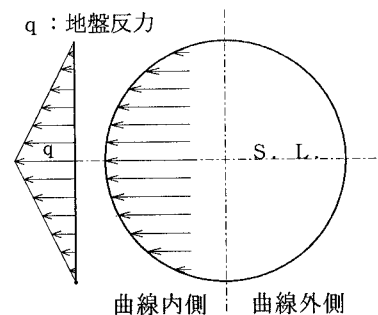


図-2. 旋回荷重の載荷法

3. 解析結果

本研究では、図－3に示す沖積粘性土地盤中における複線シールドトンネルを例に解析検討を実施した。

計測地点におけるトンネル線形は、半径 $R=325.0\text{m}$ の曲線中であり、使用しているセグメント幅 $B=1.0\text{m}$ 、シールドマシン長 $L=9.0\text{m}$ より旋回角度 θ 、旋回量 δ_H は表－1のようになる。

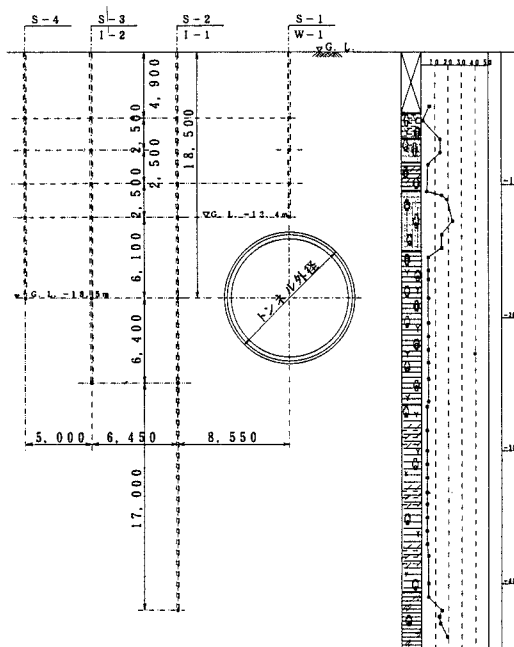
表－1の地盤反力度（旋回荷重）を考慮した解析を実施すると図－4の地中水平変位分布図が作図できる。

解析結果は、図－4に示す通り旋回荷重を考慮しない場合、地中最大水平変位量は、 1.8mm であり、旋回荷重を考慮した解析値の地中最大水平変位量は、 18.5mm である。この解析値は、実測値 28.0mm と比較して若干過小評価された値を示しているが、旋回荷重を考慮した有効性は十分に確認できるものである。解析値と実測値の差は、泥水圧の評価が実施工状態よりも過小評価したために生じたものであり、実施工と同様の評価ができれば実測値に近似した水平変位量が計算できるものとする。

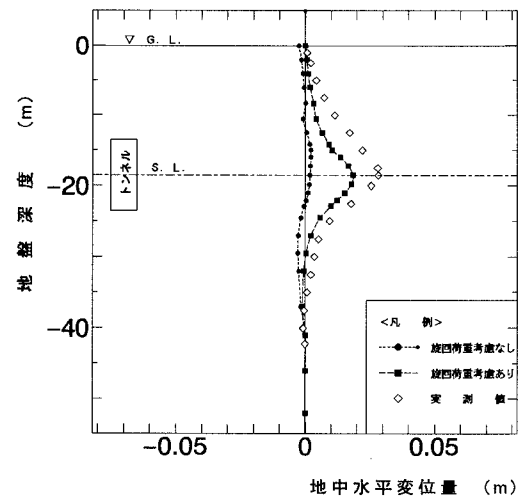
また、旋回荷重を考慮した解析では、旋回荷重を考慮しない解析結果に比べ、地中水平変位分布形状が実測値と非常に近似しており、旋回荷重の有効性を示しているものと言える。なお、実測値及び解析値はテールボイド沈下までの累積変位量を示す。

表－1. 旋回荷重の計算結果

項 目	記 号	数 値
平面曲率半径	R	325.0 m
旋 回 角 度	θ	$0^\circ - 10' - 34''$
旋 回 量	δ_H	27.7 mm
旋回モーメント	M	2,030 tfm
地 盤 反 力 度	q	5.05 tf/m^2



図－3. 地質柱状図



図－4. 解析結果（地中水平変位）

4. おわりに

本研究において、曲線シールドトンネルにおける地盤変位の評価法は、シールドマシンの旋回工程を考慮した解析を行えば実測値を適切に表現できることが確認できた。ゆえに、シールドトンネルにおける地盤変位の評価法は、シールドマシンの姿勢挙動を考慮した解析を実施する必要があると思われる。

最後に本研究を進めるにあたり多くの実測データを提供頂いた帝都高速度交通営団、東京都交通局、大阪市交通局の方々に深謝意を申し上げます。