

III-B 107 併設シールドトンネルの断面力算定に関する一考察

（財）鉄道総合技術研究所 小山幸則 ○佐藤 豊

1. まえがき

一般に併設トンネルの相互干渉の影響は、鉛直方向土圧の変化と、両トンネルの相互に隣接する側に生じる土圧の増加や地盤反力の変化、および隣接する側とは反対の側の土圧の減少として現れるものと考えられる。また、それに伴うトンネルの変形と変位により、トンネルと地盤の相互作用が二次的な影響として生じることも考えられるが、統一的な断面力の算定手法は未だ確立されていないのが現状である。

そこで、併設トンネルのこのような土荷重等に及ぼす長期的な相互干渉の影響評価法の一助となることを目的として、FEM掘削解析と全周ばねモデルによる併設トンネルの影響評価を行った。

2. 用いた手法

併設トンネルの影響を検討する方法として、次のような3つの手法を用いた。

- ①トンネルと地盤を含む領域を対象にしたFEMによる掘削解析を行い、その結果から直接得られた断面力を設計用断面力とする方法。
- ②トンネルと地盤を含む領域を対象にしたFEMによる掘削解析を行い、単一トンネルの場合と併設トンネルの場合の断面力を比較して、断面力の変動率を算出し、全周ばねモデルで計算した単トンネルの断面力を割り増しする方法。
- ③トンネルと地盤を含む領域を対象にしたFEMによる掘削解析を行い、トンネルの剛性を大きくすることにより、併設トンネルの掘削による直接的な荷重変動を把握し、この値を全周ばねモデルに入力して断面力を求める方法。

3. 検討条件

FEM掘削解析の場合、その掘削解放率によって解析値が大きく変化して結果の評価が難しい。ここでは、算定された最大曲げモーメントに着目して、この値が全周ばねモデルの結果に近くなるように、セグメント覆工設置前の解放率とセグメント設置後の解放率に配分して、併設の影響を検討した。解析の流れを図1に示し、解析に用いたFEMモデル図（離隔0.25D）を図2に示す。

なお、ここでは解析手法を一般化しやすいよう、地盤、覆工の応力～ひずみ関係はともに線形弾性とし、併設の離隔0.5Dと0.25Dの2種類について、対象とする地盤はN値=10と27の2種類を仮定して、検討を行った。そして、仮定した地盤のN値から、地盤の弾性係数、ポアソン比を以下の式より決定した。

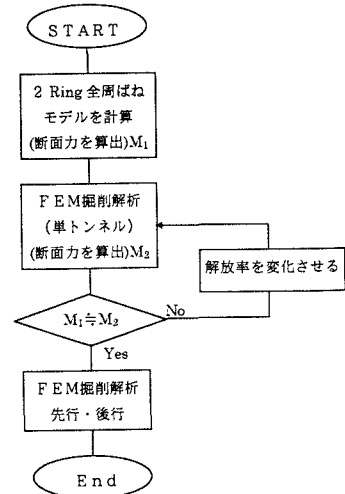


図1 併設の影響検討の流れ

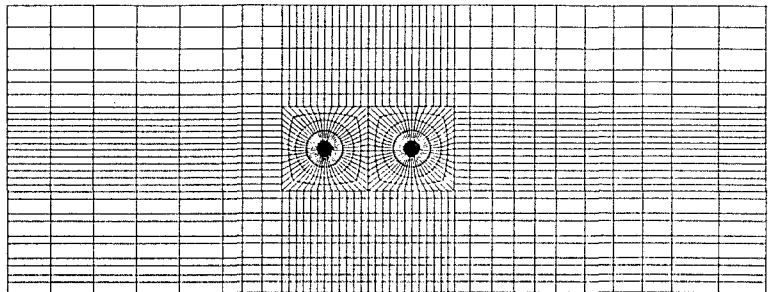


図2 解析に用いたFEMモデル

$$E = 25N \quad \dots\dots (式1)$$

$$\nu = K_0 / (1 + K_0) \quad \dots\dots (式2)$$

ただし、 $K_0 = 1 - \sin\phi$ ，
 $\phi = 0.9 (0.3N + 27)$

また、FEM解析では覆工の剛性は一様として、
 ビーム要素としてモデル化した。

4. 検討結果

①による検討

表1に「①（FEMの結果を直接利用する手法）」により算出した断面力の最大値の増加率（単円の全周ばねモデルに対する）を示す。N値＝27の地盤では、最大モーメントの最大値が、基準となる単円の全周ばねモデルの場合のそれよりも小さくなったことが特徴である。このため、比較的良質な地盤で、かつ離隔が0.25程度の場合にこの手法を適用すると、得られる断面力が単トンネルの全周ばねモデルより得られる値に対して小さくなってしまふ可能性がある。

一方、N値＝10の地盤では、併設の離隔0.5Dの場合に最大断面力の増加は示さなかったが、0.25Dの場合には、最小曲げモーメント（負曲げの最大値）は26%の増加を示す結果となった。

②による検討

表2に「②FEMの単円と併設の比較から増加率を用いる手法）」により算出した断面力の最大値の増加率（単円の全周ばねモデルに対する）を示す。N値＝10の地盤の場合、0.5D程度の離隔でも10%、0.25Dでは25%程度の最大曲げモーメント（正）の増加を示す結果となった。地盤が軟らかくなるほど、トンネルが接近するほど断面力が増加する結果が算定できている。

③による検討

表3に「③（先行トンネルのはり要素の剛性を大きくして、併設の際に生じた外力の変動のを単円の全周ばねモデルに入力する手法）」により算出した断面力の最大値の増加率（単円の全周ばねモデルに対する）を示す。N値＝10の地盤の結果が前述の②とかなり近似している結果となった。また、N値＝27の地盤の0.25Dの離隔の場合には基本としている全周ばねモデルのモーメントより小さな値が算出された。

5. おわりに

併設トンネル覆工の断面力の算定を主たる目的とする本試計算では、妥当な断面力が算定できる解放率を独自に設定して用いることとした。その結果、N値10程度の地盤では掘削時の解放率50%、N値27程度の地盤では40%程度を用いることによって、基準となる単円の全周ばねモデル解析の断面力に近い値が算定できることがわかった。

本解析に用いたFEM解析は周辺地盤、覆工体ともに線形弾性のモデルであること、掘削解放率以外の入力値には特別な操作を行っていないことから、一般化が比較的容易であるため、今後は実トンネルの計測データ等との整合性を確認していきたい。また、併せて後行トンネル通過時の一時的な併設トンネルの挙動も検討していきたい。

表1 手法1による最大断面力の増加率

離隔	N値	最大曲げモーメント増加率	最小曲げモーメント増加率	最大軸力（圧縮）増加率
0.5D	10	-1%	-1%	-16%
0.25D	10	13%	26%	0%
0.5D	27	-17%	-10%	2%
0.25D	27	-11%	-6%	17%

表2 手法2による最大断面力の増加率

離隔	N値	最大曲げモーメント増加率	最小曲げモーメント増加率	最大軸力（圧縮）増加率
0.5D	10	10%	11%	19%
0.25D	10	25%	42%	42%
0.5D	27	-4%	-3%	13%
0.25D	27	2%	2%	30%

表3 手法3による最大断面力の増加率

離隔	N値	最大曲げモーメント増加率	最小曲げモーメント増加率	最大軸力（圧縮）増加率
0.5D	10	12%	8%	14%
0.25D	10	25%	19%	30%
0.5D	27	-8%	-8%	9%
0.25D	27	-5%	-4%	26%