

大断面シールドトンネルの併設施工による影響検討

○ 首都高速道路公団 正会員 石田 高啓
 首都高速道路公団 正会員 田嶋 仁志
 日本ビックコンサルタント 正会員 小林 靖典

1. はじめに

併設するシールドトンネルが近接する場合、先行シールドは後行シールドの影響を受ける。この先行シールドが受ける影響は、後行シールドの掘削による土圧の変化等の長期的な荷重や、後行シールドの切羽土圧や裏込め注入などの短期的な荷重による。事前にこれらによる影響度合いを把握するには有限要素法により解析することが多いが、その手法については十分に確立されていないのが現状である。一方、都市内で制約された用地内に上下線のシールドトンネルを近接して併設施工する場合は、コスト縮減の観点から、この併設の影響を適切に評価することが必要となっている。

そこで本検討では、併設トンネルに作用させる長期的な設計荷重や併設荷重の付加方法について考察し、併設による影響度合いを解析的に把握することを目的とした。

2. 設計荷重の評価方法

ここでは、併設の方法を横併設と縦併設に分けることとした。それぞれの併設時の設計荷重の評価方法を図-1、図-2に示す。ここで示す緩み幅とは、Terzaghiの緩み土圧算定式¹⁾で用いる緩み幅である。

(1) 横併設

＋：はりばねモデルで考慮する鉛直土圧は、単設緩み幅を考慮した鉛直土圧とし、併設の影響は、FEMで算出し付加させる方法

＋：はりばねモデルで考慮する鉛直土圧は、併設緩み幅を考慮した鉛直土圧とし、併設の影響は、FEMで算出し付加させる方法

のみ：はりばねモデルで考慮する鉛直土圧を、併設緩み幅を考慮した鉛直土圧とすることで、併設の影響付加とする方法

(2) 縦併設

＋：はりばねモデルで考慮する鉛直土圧は、単設緩み高さを考慮した鉛直土圧とし、併設の影響は、FEMで算出し付加させる方法

＋：はりばねモデルで考慮する鉛直土圧は、(後行トンネル頂部までの全土被り荷重) + (後行トンネルにおける緩み荷重) とし、併設の影響は、FEMで算出し付加させる方法

or：はりばねモデルで考慮する鉛直荷重を、(後行トンネル頂部までの全土被り荷重) + (後行トンネルにおける緩み荷重) とすることで、併設の影響付加とする方法

3. 解析方法

本検討では、以上に示すような種々の併設トンネル時の設計方法の中で、併設の影響をどのように考慮することが望ましいかを確認するため、パラメータ解析を行った。

(1) 解析手法

単一トンネルの完成時には、梁-バネモデルを用いて断面力を算出し、併設施工により付加される荷重についてはFEM解析により算出する。このFEMによる解析手法は、いくつか提案されているが²⁾、ここでは、2種類の手法を用いて解析を行うこととした。

手法1(横併設 1, 縦併設 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、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する。そして、梁-バネモデルにより単一トンネルとして求めた断面力をFEMで算出された変動率を用いて割増し設計断面力とする。なお、変動率は、先行トンネル覆工後と後行トンネル掘削後の増分から算出する。

手法2(横併設 2, 縦併設 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、トンネルの剛性を無限大に近づけ、併設トンネルの掘削による直接的な荷重の変動を把握して、この荷重を梁-バネモデルの外力として入力し、設計断面力を求める。

キーワード：シールドトンネル、併設、ゆるみ土圧

〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1 03-3539-9464

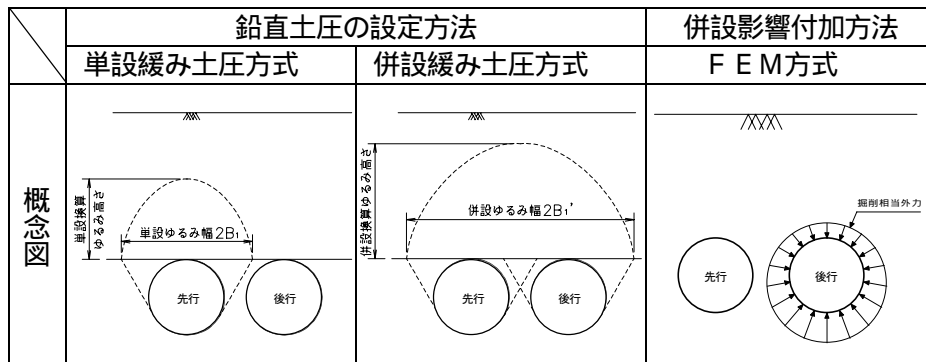


図-1 横併設シールドの設計荷重の評価方法

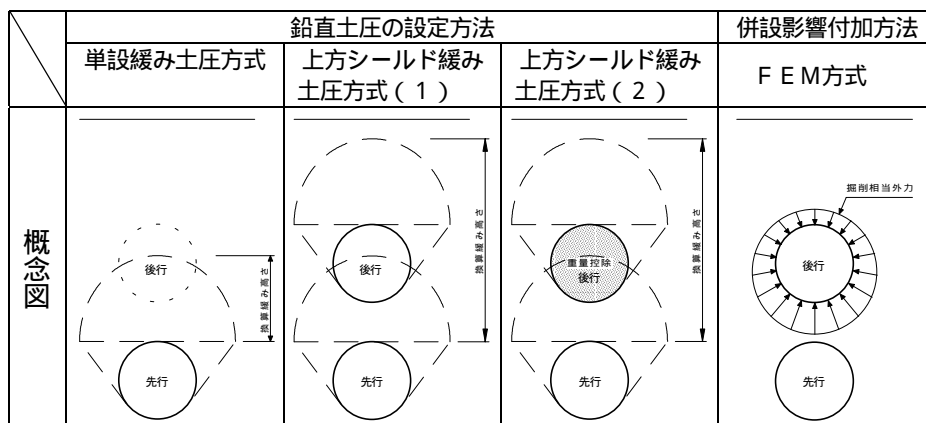


図-2 縦併設シールドの設計荷重の評価方法

(2) 解析条件

解析で用いる土質条件は、今後、建設を予定している路線の代表断面を想定して設定した。表-1に土質条件を示す。

また、パラメータを設定するにあたり、土被りについては今後の計画路線の土被りを加味し、横併設土被りを2Dと4D(最大)、縦併設土被りを1Dと2D(最大)の2種類ずつを考慮した。併設離隔については0.25D(最小離隔)、0.5D、1.0Dの3種類を設定した。

4. 解析結果

(1) 横併設

1) 後行トンネル掘削による干渉は、一般的にトンネル離隔が大きくなれば小さく、トンネル離隔が小さくなれば大きくなるのに対し、荷重ケースでは、離隔が大きくなるにつれ、曲げモーメントが増加している(図-4)。よって、併設幅で緩み荷重を算出する方法は、実状をとらえていないと考えられる。

2) 土被り4Dの場合(図-4)、+1と+2を比較すると、+1では離隔が大きくなるにつれ曲げモーメントが減少し、+2では離隔0.5Dまでは増加し、その後減少している。また、増加モーメントは、全体的に+2の方が大きい。

(2) 縦併設

1) 荷重ケースでは、離隔が大きくなるにつれ、曲げモーメントが増加している。これは、後行(上部)トンネルの土被りを一定とし、上下トンネル間の離隔を大きくさせているため先行(下部)トンネルの土被りが大きくなることによる。

2) 1や2の手法で荷重を付加した場合、付加を考慮しない場合よりも曲げモーメントは減少していることがわかる。これは、後行トンネルが掘削・覆工された影響で、後行トンネルと先行トンネル間の地中応力が上方へ引き上げられ、先行トンネルの鉛直荷重が小さくなったことによるものと思われる。

また、+1では、トンネル離隔が大きくなると曲げモーメントの減少率が小さくなり、付加を考慮しない場合に近づく傾向が読みとれる(離隔1.0Dで95%程度)(図-6)。これに対し、+2では、トンネル離隔が大きくなるにつれ曲げモーメントが小さくなっていることがわかる。

5. まとめ

(1) 鉛直土圧の検討

本検討では、荷重の緩み幅の違いによる影響を把握するため、単設の緩み幅を用いた場合と併設の緩み幅を用いた場合の検討を行ったが、併設の緩み幅を用いた場合、トンネル離隔が大きくなるにつれ影響が大きくなるという、矛盾した結果が得られた。

(2) 横併設の検討

設計荷重の評価方法で示した+が比較的実状をとらえた影響検討手法であることを確認したが、のFEM解析手法、応力解放率の設定方法、断面剛性EIの評価方法等の相違により、結果が大きく変化することを把握した。

(3) 縦併設の検討

横併設の場合と同様、のFEM解析手法、応力解放率の設定方法、断面剛性EIの評価方法等により、結果が大きく変化するという傾向がみられたが、上部の後行トンネルが施工されることにより、下部の先行トンネルの最大曲げモーメントは小さくなる傾向が明らかとなった。したがって、下部先行トンネルの鉛直荷重については、解析上、単設時の緩み土圧を考慮すれば問題ないと考えられる。

6. 今後の課題

今回の検討では、土被り、縦横併設、併設の付加方法、鉛直荷重の算定方法、離隔等をパラメータに検討を行ったが、今後は現場計測結果等を加味し、影響検討手法を提案していく予定である。

【参考文献】

- 1) トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説, 土木学会, 1996.7.
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル, 鉄道総合研究所, 1997.7.

表-1 土質定数

単位体積重量 (kN/m^3)	18.0
内部摩擦角 (度)	35.0
粘着力 (kN/m^2)	0.0
N 値	40 (砂質土)

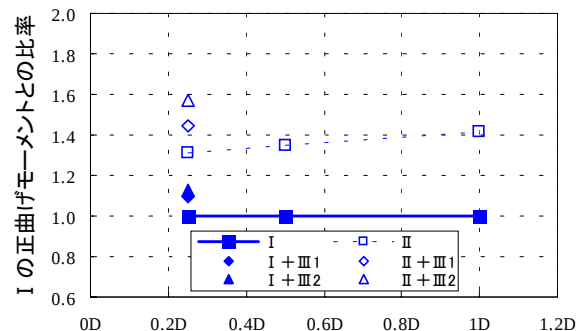


図-3 横併設付加と曲げモーメントの関係(土被り2D)

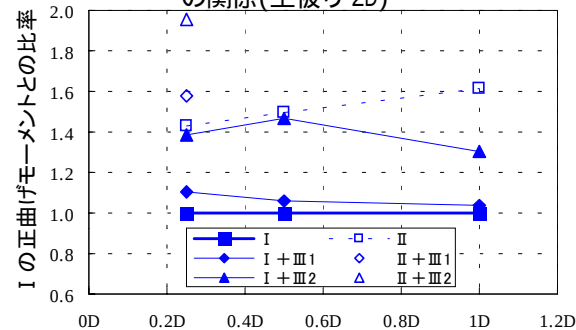


図-4 横併設付加と曲げモーメントの関係(土被り4D)

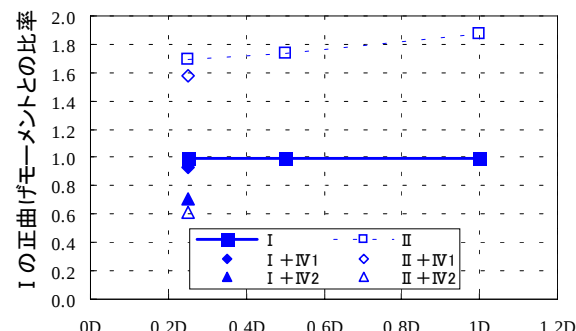


図-5 縦併設付加と曲げモーメントの関係(土被り1D)

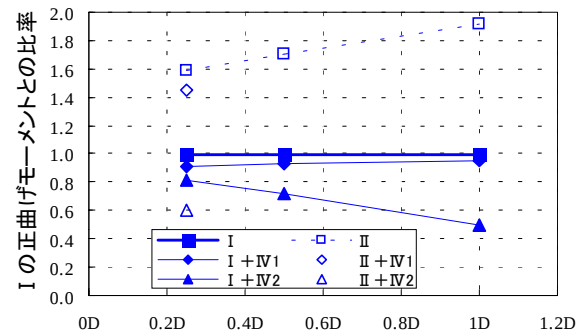


図-6 縦併設付加と曲げモーメントの関係(土被り2D)