

III-697

上下に併設するシールドトンネルの設計法に関する検討

日本鉄道建設公団 東京支社 正員 宮川房夫
 日本鉄道建設公団 東京支社 正員 鈴木 明
 日本鉄道建設公団 東京支社 正員 八重樫明彦
 パシフィックコンサルタンツ 正員 林 一朗

1. はじめに 都市部における地下鉄道の敷設にあたっては、民地での用地確保が困難な状況から、道路下に計画されることが一般的である。道路交通への影響を配慮すると、シールドトンネル工法を採用するケースが多く、通常は平面的に複線を配置するが、幅員が不十分な道路においては、単線シールドトンネルを上下に併設せざるを得ない状況も考えられる。この場合、トンネル間の離隔を必要以上に大きくすることは、下側のトンネルの縦断を深く下げることにつながり、これに接続する立坑や地下駅もこれに伴い深く下げなければならない。一方、トンネル間の離隔を少なく抑えた場合、覆工の設計に対しては、併設の影響に配慮した検討を行いその安全性を確保する必要がある。ここでは、上下併設の影響に配慮した覆工の設計手法の確立を目的として検討を行い、その結果について報告するものである。

2. 検討内容

(1) 上下併設の影響 施工順序は、下方シールドが先行するものと想定し、これに伴う上下併設の影響としては、以下の事項が考えられる。

- 1) 後行シールド施工時に先行トンネルに対して与える影響
 - ・シールドマシンの自重による荷重の増加
 - ・切羽面でのシールドマシンの推進に伴う地中応力の増加
 - ・テールボイドでの地山の応力解放に伴う地中応力の減少
- 2) 後行トンネル完成後の併設の影響
 - ・上下のトンネル間の地盤を介した荷重の伝達に伴う影響
 - ・下方シールドの施工時に生じる上方地盤のゆるみの影響

(2) 併設の影響に対する検討 施工時の影響は一時的なものであると考えられるため、横断方向の増加応力に対しては変形防止工を設置するとともに、縦断方向に対しては地中応力の増加に伴う影響を検討し、覆工の安全を確保する必要がある。ただし、ここでは横断方向について検討した内容を報告する。

1) 検討断面の諸元 トンネル外径は10.1m、覆工厚は35cm(グライゼル $\gamma EI=6,905.4\text{tf}\cdot\text{m}$)、シールド間の離隔は併設の影響が大きく算定されるように小さめの値として1.0mに設定した。

2) 計算モデル 検討に用いた計算モデルは、通常の条件下で用いられる慣用計算法(慣用法)のほか、併設の影響に伴う上下リングの挙動を直接把握できるようにするため、図-1に示すようにフレーム解析と有限要素法(FEM弾性解析)の2つのモデルを用いた。フレーム解析では完成後の上下併設の影響

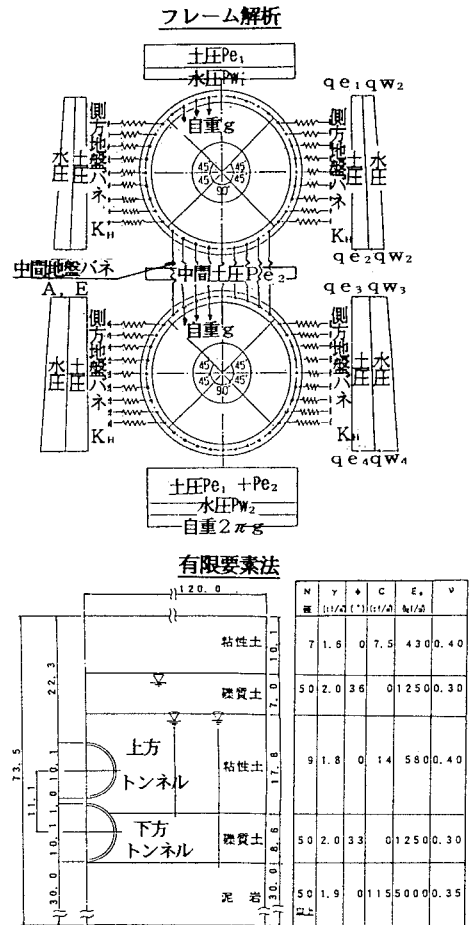


図-1 計算モデル

表-1 入力条件一覧表

計算 モデル	対 象 トンネル	ケース名	鉛直荷重 Pv(tf/㎡)	土圧係数 λ	水平地盤係数 K(tf/㎡)
慣 用 法	上	K-U-1	39.52(全土重り)	0.45	1250
		K-U-2	〃	〃	625
	下	K-D-1	59.50(全土重り)	0.45	5000
フ レ ー ム 解 析	上、下	H-1	39.52(全土重り)	(上)0.45(上)1250	(下)0.45(下)5000

を把握するため、リング間の地盤を軸方向剛性（EA）を有する線材として評価し、90° の範囲で連結した。また、水平方向抵抗土圧はスプリングラインの上下45° の範囲に地盤バネを設けこれを考慮した。一方、有限要素法では施工順序を考慮した併設の影響を把握するため逐次解析を用いることとした。また、この時の地山の応力解放率については、密閉式シールドで同時注入が行われることを前提として、覆工設置後に地山の応力が100 %解放されるものとして設定した。

3) 計算に用いた入力条件 入力条件を表-1に示す。慣用法では、水平地盤係数Kを低減してゆるみの影響を考慮した。

3. 検討結果と考察 各ケースの発生応力を比較した結果を図-2に示し、検討結果から考えられる事項を以下に示す。

(1) 曲げモーメントについて 曲げモーメントの最大値は上下のリングともに慣用法が一番大きく計算される傾向にある。上のリングでは慣用法によるクラウンでの正曲げが最大となるが、他の2つのモデルではスプリングライン付近での負曲が最大となる。一方、下のリングにおける正曲げの最大値は慣用法と他のモデルでは、異なる位置に発生し上下併設の影響が表現された結果となっている。

(2) 軸力分布について 下のリングの軸力は、フレーム解析と有限要素法では、慣用法と比べ小さく計算される結果となっている。これは、上のリングから下のリングに伝達される荷重が上下併設の影響により低減することによるものと考えられる。

(3) 計算モデルの違いによる発生応力の相違について 有限要素法では、覆工が連続体で支持されている効果により、荷重が周辺地盤に分散され、発生応力は他のモデルと比べ小さくなると考えられる。一方、フレーム解析では下のリングの曲げモーメントの分布形状は、有限要素法と比べ値は異なるが類似した形状を示し、中間地盤の影響が表現された結果となっている。

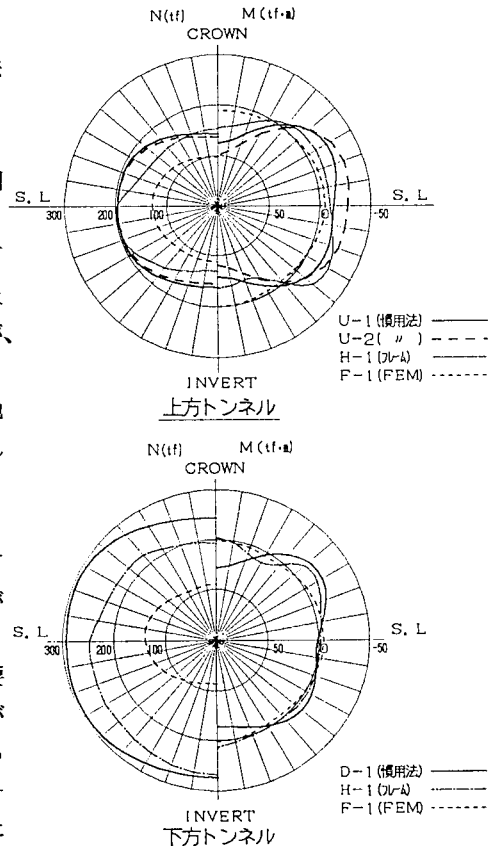


図-2 応力比較図

4. おわりに 今回検討を行ったような条件下では上下併設の影響として、①上のリングに発生する応力は、下のリングと比べ計算モデルによる差が顕著ではなく、併設の影響が比較的少ないと考えられる。②下のリングでは併設の影響が顕著となり、リングに発生する曲げモーメントの分布形状は変則的になるとともに、軸力については、上方の荷重が周辺地盤に分散され、その値は慣用法の計算結果と比べ小さくなることがわかった。なお、フレーム解析は上下併設の影響を評価する計算モデルとしての限界はあるものの、地盤バネの設定範囲、中間地盤の剛性の評価によっては、ある程度連続体に近い挙動を表現できることもわかった。一方、慣用法では他の計算モデルより大きめの応力が計算されることもわかった。したがって、実際の設計にあたっては、計算の簡便さを考え慣用法において、K値を適切に設定することで、安全側に配慮した設計が可能であると考えられる。なお、今後は施工時の縦断方向に与える影響等について検討を行っていく予定である。