

矩形シールドトンネルを対象とした構造解析に関する検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○藤田 輝一 津野 究

船越 宏治 木下 果穂

中央復建コンサルタンツ (株) 正会員 室谷 耕輔 坂田 智基

1. はじめに

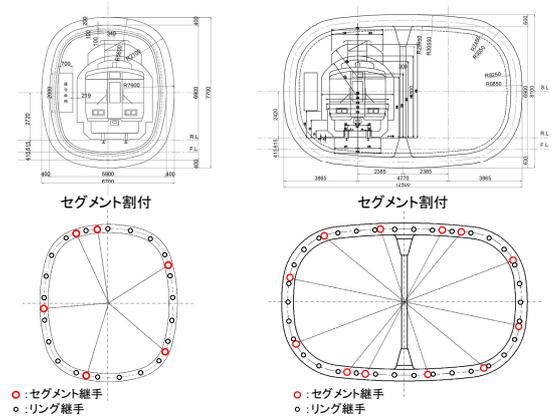
矩形シールドトンネルは、断面形状が真円ではないことから、構造モデルによる影響や設計作用の影響を受けることが想定される。そこで、本検討では、鉄道を想定した矩形シールドトンネルを対象とした、はりばねモデルによる骨組構造解析を実施し、断面形状の影響や側方土圧の作用係数の影響について、検討した結果を報告する。

2. 検討概要

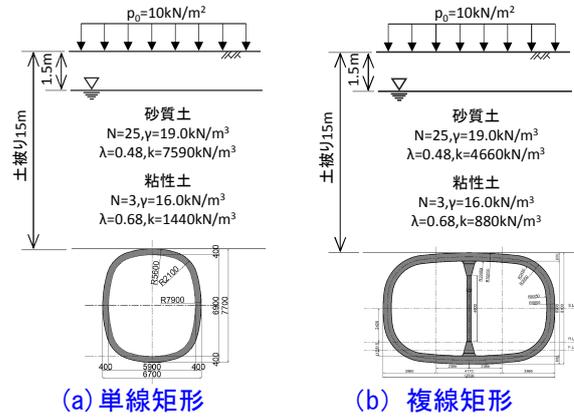
検討対象は単線および複線相当の矩形シールドトンネルを対象とした。図1に示す通り、単線矩形については、トンネル幅6,700mm、トンネル高さは7,700mmとした。また、複線矩形については、トンネル幅は12,500mm、トンネル高さは8,100mmとし、中央には中柱を設定した。検討条件は図2に示す通り、土被りが15m、地下水位はGL-1.5mとし、上載荷重 $P_0=10\text{kN/m}^2$ を作用させた。地盤条件について、砂質土 (N値25) と粘性土 (N値3) を設定した。トンネル諸元を表1に示す。セグメント種類はRC平板型セグメントとし、継手形式はボルト継手とした。

解析に用いた材料物性値を表2に示す。応答値の算定は、鉄道構造物等設計標準¹⁾に従い、はりばねモデルを用いた。はりばねモデルに用いる継手ばねとして、セグメント継手は軸力を考慮したバイリニアモデルの回転ばね特性を図3のように設定し、リング継手は半径方向および接線方向のせん断ばね特性を設定した。設計作用として、土圧、水圧および自重を考慮した。砂質土のケースでは、鉛直土圧をTerzaghiの緩み土圧式を用いて算出し、粘性土のケースでは全土被り圧とした。側方土圧は頂部およびSL位置における土圧から、その分布を算出した。土水の扱いを土水分離とする場合、水圧はトンネルの法線方向に作用するものとした。

また、本検討で対象とした単線矩形は縦長の形状であり、複線矩形は横長の形状である。荷重バランスや設計作用の影響を確認するため、側方土圧に関する作用係数 γ_f を1.0, 0.9, 0.8とした3パターンを設定し、検討した。



(a) 単線矩形 (b) 複線矩形
図1 検討断面



(a) 単線矩形 (b) 複線矩形
図2 検討条件

表1 トンネルの諸元

地盤条件	単線矩形シールド		複線矩形シールド
	砂質土	粘性土	砂質土・粘性土
セグメント種類	RC平板型		
トンネル幅 B [mm]	6,700		12,500
トンネル高さ H [m]	7,700		8,100
セグメント高さ(厚さ) h [mm]	400		
セグメント幅 B [mm]	1,500		1,200
鉛直方向のすり付け半径 R1 [mm]	5,600		30,550
水平方向のすり付け半径 R2 [mm]	7,900		8,850
隅角部のすり付け半径 R3 [mm]	2,100		3,050
配筋	D16@12 D16@12	D22@12 D22@12	D29@9 D29@9
継手ボルト	M30(8.8), 2段		
継手板厚さ t [mm]	22(SS400)		22(SS400)

表2 材料物性値

コンクリート	
設計基準強度 f_{ck}	48.0 N/mm ²
ヤング係数 E_c	39.0 N/mm ²
鉄筋 (SD345)	
引張降伏強度 f_{yk}	345 N/mm ²
ヤング係数 E_s	200 kN/mm ²
セグメント継手の引張ばね定数	
単線矩形 正曲げ	+ k_1 198,600 kN/m
単線矩形 負曲げ	- k_1 296,800 kN/m
複線矩形 正曲げ	+ k_1 247,300 kN/m
複線矩形 負曲げ	- k_1 271,500 kN/m

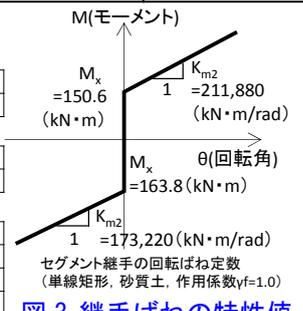


図3 継手ばねの特性値

キーワード : シールドトンネル, 構造解析, 矩形断面
連絡先 : 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

(公財)鉄道総合技術研究所 TEL : (042)573-7266

3. 解析結果

3. 1 曲げモーメント図

設計曲げモーメント図について、砂質土の場合を図4、粘性土の場合を図5に示す。図より、単線矩形では、上下と側方の正曲げが出ており、隅角部の負曲げが確認できる。また、砂質土では側方の正曲げが大きくなっているが、粘性土では上下の正曲げが大きいこと確認した。負曲げについては、ともに隅角部で大きい結果とあった。一方、複線矩形では、中柱上下の負曲げが大きくなっていることが確認できる。なお、地盤条件によるモードの違いはほとんど見られなかった。

3. 2 設計断面力の比較

セグメント本体の設計断面力について、単線矩形シールドにおける結果を表3、複線矩形シールドにおける結果を表4に示す。また、最大曲げモーメントと最大せん断力について、単線矩形シールドの結果を図6、複線矩形シールドの結果を図7のように整理した。

単線矩形シールドについては、砂質土では側方土圧に関する作用係数を小さくすると、最大曲げモーメントおよび最大せん断力の値が小さくなった。一方、粘性土では、側方土圧に関する作用係数を小さくするにつれ、最大曲げモーメントおよび最大せん断力が大きくなる傾向を示した。複線矩形シールドについては、砂質土、粘性土ともに作用係数を小さくするにつれ、最大曲げモーメントおよび最大せん断力が大きくなる傾向であった。

円形シールドトンネルでは、側方土圧に関する作用係数を小さくすると、上下と左右の荷重のバランスが崩れることから、最大曲げモーメントが大きくなる傾向が見られる。一方、矩形シールドトンネルでは、断面形状によっては作用係数を小さくしても、最大曲げモーメントが大きくなる場合も見られた。これより、構造設計では、側方土圧に関する作用係数や設計作用の組み合わせを適切に設定することが望ましいと考えられる。

4. まとめ

本研究では、単線および複線を想定した矩形シールドトンネルを対象に、はりばねモデルを用いた構造解析を実施した。その結果から、断面形状の違いによる影響や側方土圧の作用係数の影響について確認した。今後は、断面形状に応じた地盤反力係数の設定方法や、中柱の結合部のモデル化の影響について検討することを考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（シールドトンネル），1997。

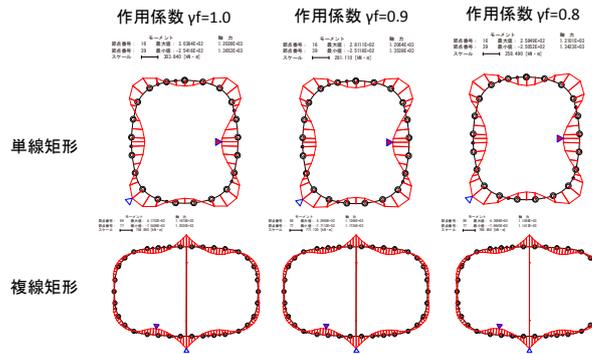


図4 設計曲げモーメント図（砂質土）

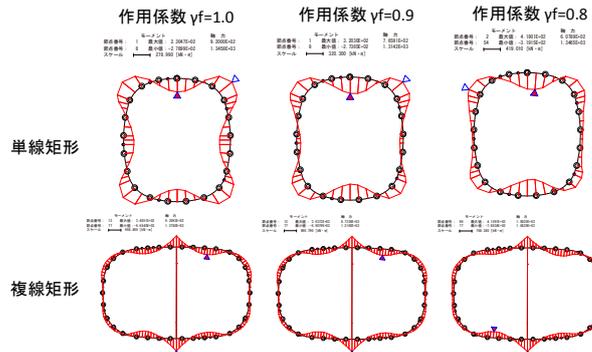


図5 設計曲げモーメント図（粘性土）

表3 設計断面力算出結果（単線矩形）

設計断面力	作用係数 $\gamma_f=1.0$		作用係数 $\gamma_f=0.9$		作用係数 $\gamma_f=0.8$	
	正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
砂質土 最大モーメント M (kN·m)	303.8	254.2	281.1	251.2	258.5	250.5
軸力 N (kN)	1202.8	1365.3	1206.4	1353.9	1210.1	1342.3
最大せん断力 Q (kN)	353.6		342.7		333.2	
粘性土 最大モーメント M (kN·m)	230.5	279.0	320.3	273.7	419.0	319.2
軸力 N (kN)	920.0	1345.8	765.9	1314.2	607.9	1346.5
最大せん断力 Q (kN)	392.0		454.5		525.7	

表4 設計断面力算出結果（複線矩形）

設計断面力	作用係数 $\gamma_f=1.0$		作用係数 $\gamma_f=0.9$		作用係数 $\gamma_f=0.8$	
	正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
砂質土 モーメント M (kN·m)	417.5	754.9	429.0	771.1	436.9	786.5
軸力 N (kN)	1167.8	1203.5	1136.6	1172.4	1105.6	1141.2
せん断力 Q (kN)	878.1		888.0		897.8	
粘性土 モーメント M (kN·m)	348.5	664.4	363.7	690.8	410.9	768.3
軸力 N (kN)	920.9	1274.0	872.4	1216.0	1002.5	1042.9
せん断力 Q (kN)	761.7		778.7		829.1	

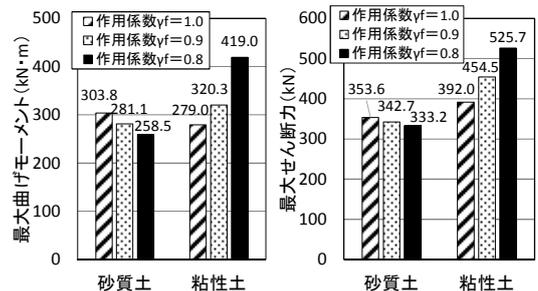


図6 設計断面力比較（単線矩形）

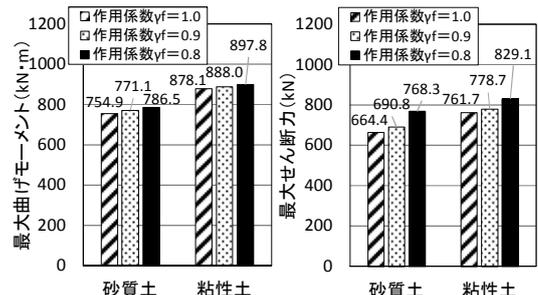


図7 設計断面力比較（複線矩形）