

鉄道シールドトンネルの試設計における一考察 ～許容応力度設計法と限界状態設計法の試計算結果比較～

中央復建コンサルタンツ(株)
(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○中里 大樹 坂田 智基 室谷 耕輔
正会員 津野 究 鎌田 和孝

1. はじめに

2016 年制定土木学会トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説¹⁾では、許容応力度設計法と限界状態設計法が併記されているが、現行の鉄道シールドトンネルの設計基準²⁾では、許容応力度設計法のみ記載となっている。その中で、設計荷重の考え方等、互いに異なる点もあり、鉄道シールドトンネルの限界状態設計法への移行に際しては課題が残されている。

そこで本研究では、鉄道シールドトンネルを対象として許容応力度設計法と限界状態設計法の考え方を取り入れた試計算を実施して、その結果を比較する。

2. 鉄道シールドトンネルモデル

図-1 にシールドトンネルモデル(単線:内径 $\phi 6.0\text{m}$)を示す。検討モデルは、単線を想定した内径 $\phi 6.0\text{m}$ と複線を想定した内径 8.8m の2ケースとする。これらについて、表-1 に示す $N=25$ の砂質土と $N=3$ の粘性土(地下水位 G.L.-1.5m)について検討する。なお、セグメント諸元は、シールド径に対する比率や過去の実績等を参考にして設定する。

3. 検討手法及び条件

応答値の算定は、はりばねモデルを用いて行う。

図-2 に継手ばねの概念図を示す。継手ばねは、鉄道設計基準²⁾を参考にして、セグメント継手には軸力を考慮したバイリニアモデル、リング継手には半径方向及び接線方向の弾性せん断ばねを用いる。表-2 に使用材料の物性値を示す。本検討では、限界状態設計法については、鉄道コンクリート構造物設計基準³⁾に則り、ヤング係数を設定する。また、図-3 に荷重設定の考え方を示す。砂質土では土水分離、粘性土では土水一体として荷重設定する。このとき、鉛直土圧について、砂質土では鉄道シールド設計基準²⁾を参考にして算定される Terzaghi の緩み土圧を用い、粘性土では全土被り圧を用いる。側方土圧については、トンネル頂部及びスプリングライン位置の緩み土圧からその分布を算定し、水压については半径方向に作用することとする。

キーワード: シールドトンネル, 試設計, 限界状態設計法, 緩み土圧

連絡先: 〒102-0083 東京都千代田区麹町 2-10-13 中央復建コンサルタンツ(株) TEL: 03-3511-2006

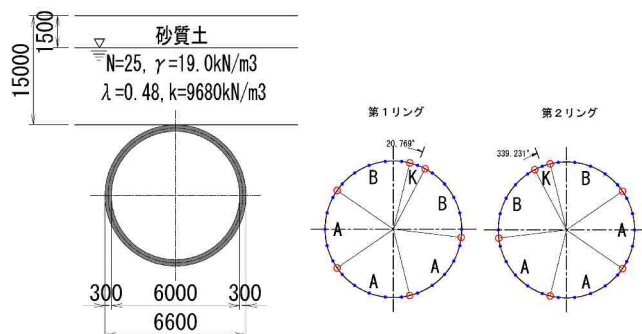


図-1 シールドトンネルモデル(単線:内径 $\phi 6.0\text{m}$ 、砂質土)

表-1 検討ケース

トンネル構造	セグメント諸元	地盤条件	土被り	地下水位
単線 シールドトンネル (内径 $\phi 6.0\text{m}$)	$h=300$ D16-10(内側・外側)	$N=25$ の砂質土 $\gamma=19\text{kN/m}^3$	15m	G.L.-1.5m
	$h=350$ D22-10(内側)・D19-12(外側)	$N=3$ の粘性土 $\gamma=16\text{kN/m}^3$		
複線 シールドトンネル (内径 $\phi 8.8\text{m}$)	$h=400$ D22-8(内側・外側)	$N=25$ の砂質土 $\gamma=19\text{kN/m}^3$	15m	G.L.-1.5m
	$h=450$ D25-13(内側・外側)	$N=3$ の粘性土 $\gamma=16\text{kN/m}^3$		

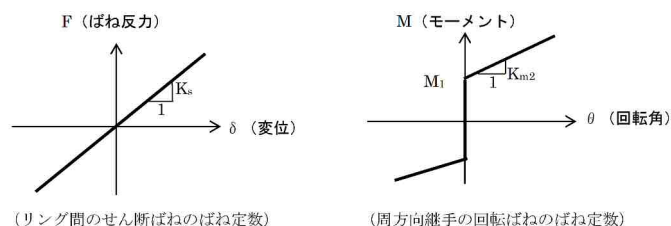


図-2 継手ばねの概念図

表-2 材料物性値(単線断面 $D_i=6.0\text{m}$)

コンクリート	設計基準強度 f_{ck}	許容応力度設計法	限界状態設計法
		48N/mm ²	
鉄筋	ヤング係数 E_c	39kN/mm ²	32.6kN/mm ²
	材質	SD345	
セグメント継手の 回転ばね定数	ヤング係数 E_s	200kN/mm ²	
	正曲げ	126,600kN・m/rad	113,220kN・m/rad
	負曲げ	68,190kN・m/rad	59,660kN・m/rad

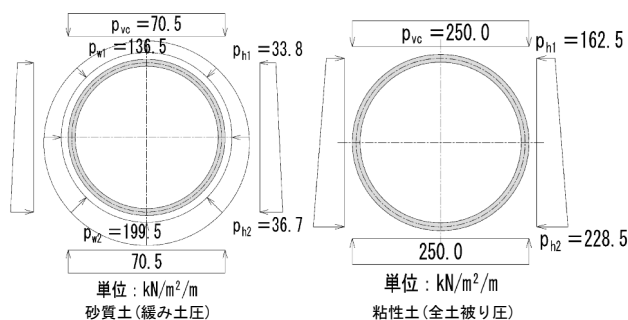


図-3 荷重設定の考え方(単線:内径 $\phi 6.0\text{m}$)

4. 部材照査項目

表-3 に示す項目について照査を行う。許容応力度設計法では鉄筋応力度とコンクリート圧縮応力度、限界状態設計法では、鉄道コンクリート構造物設計基準³⁾を参考にして設定した項目について検討する。

5. 試算結果の比較

(1)断面力の比較: 図-4 に各ケースの曲げモーメント図を示す。断面力の発生モードについては、トンネルモデルや地盤モデルによる大きな差はない。

しかし、砂質土よりも粘性土のほうが曲げモーメントが大きくなっており、約 2～2.5 倍の値となっている。これは、砂質土では緩み土圧としているのに対し、粘性土では全土被り圧としているためである。また、設計法による曲げモーメントの大きな違いはないが、僅かながら限界状態設計法のほうが小さくなる結果となる。

(2)部材照査結果の比較: 図-5 に各トンネルモデルにおける照査結果の比較図を示す。セグメント諸元は異なるものの、粘性土よりも砂質土の安全率のほうが小さい傾向は両トンネルモデルにおいて同様である。これは、(1)で述べたとおり、砂質土よりも粘性土のほうが断面力

が大きいことによるものである。コンクリートの圧縮応力度に着目すると、セグメント本体・継手ともに安全率は許容応力度設計法よりも限界状態設計法のほうが大きくなる傾向にある。これは、許容応力度設計法では部材照査時のヤング係数比を $n=15$ とするのに対し、限界状態設計法では $n=6.13$ ($E_s/E_c=200/32.6$)とすることでコンクリートの応力負担が増加するためと考える。

6. まとめ

本研究では、鉄道シールドトンネルを対象として許容応力度設計法と限界状態設計法の考え方を取り入れた試算を実施して、結果を比較した。

今後、様々なトンネル条件での試設計を実施して、検討の深度化を図っていく予定である。

参考文献:

- 1)土木学会：トンネル標準示方書〔シールド工法〕・同解説，2016.8.
- 2)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル，1997.12.
- 3)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物，2003.4.

表-3 部材照査項目

照査部材	照査項目	
	限界状態設計法	許容応力度設計法
セグメント本体	・安全性(破壊)(曲げ) ・安全性(破壊)(せん断) ・照査の前提(応力度の制限)	・鉄筋応力度 ・コンクリート圧縮応力度
セグメント継手	・安全性(破壊)(コンクリート圧縮応力度) ・照査の前提(コンクリート圧縮応力度)	・コンクリート圧縮応力度

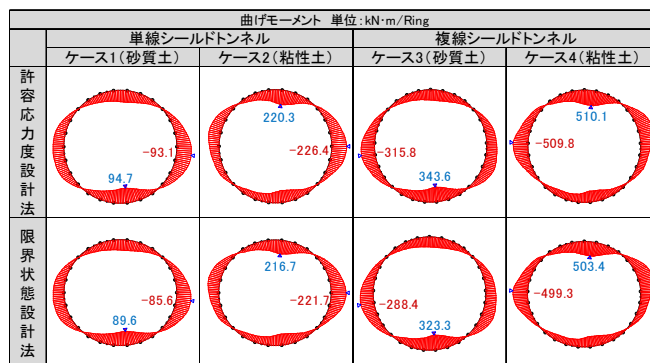
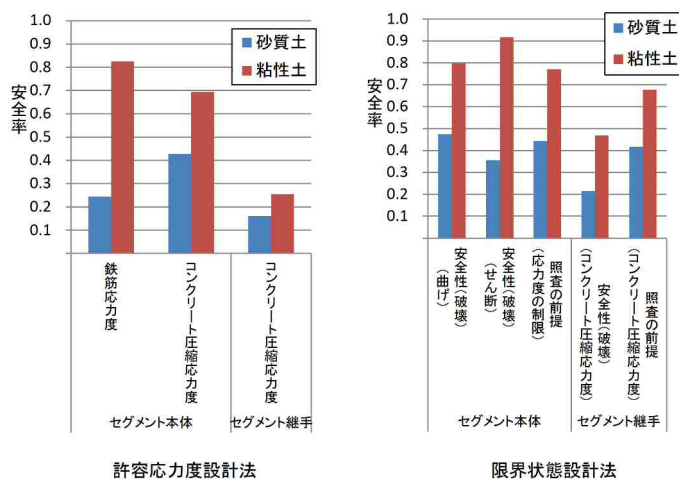
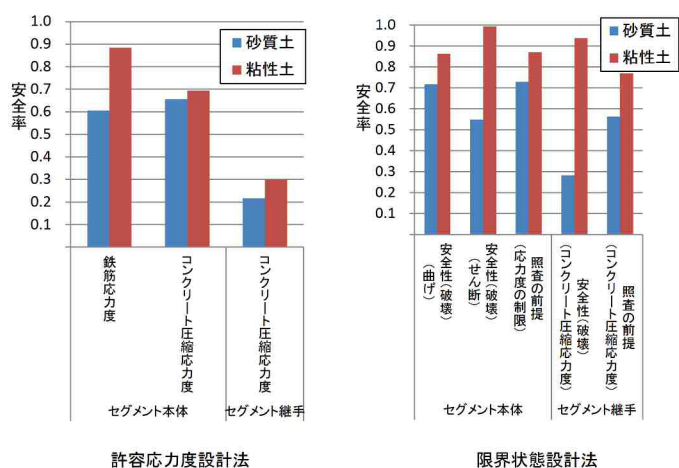


図-4 曲げモーメント図



a) 単線シールドトンネル(内径φ6.0m)



b) 複線シールドトンネル(内径φ8.8m)

図-5 各トンネルモデルにおける照査結果の比較図