

# 鉄道シールドトンネルの設計におけるトンネル径と土被りに関する検討

(公財)鉄道総合技術研究所  
中央復建コンサルタンツ(株)

正会員 ○鎌田 和孝 津野 究 三倉 寛明  
坂田 智基 室谷 耕輔

## 1. 目的

トンネル標準仕方書[シールド工法編]<sup>1)</sup>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、現行の鉄道標準<sup>2)</sup>は許容応力度設計法となっている。また、設計荷重の考え方等、互いに異なる点もあり<sup>3)</sup>、鉄道シールドトンネルの限界状態設計体系への移行に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限界状態設計法の考え方を取り入れた試算を行い、現行設計法の課題を整理した。

## 2. トンネル径および土質による影響

### (1) 検討概要

鉄道シールドトンネルの設計における課題整理のため、土質、トンネル径および土被りをパラメータとして、応答値の基本的な傾向の把握を行った。応答値の算定は、はりばねモデルを用いた。地盤条件は、N=25の砂質土および N=3の粘性土の2ケースとし、地下水位は、GL-1.5mとした。トンネル径は、単線、複線、および大断面の鉄道シールドトンネルを想定し、 $D_i=6.2\text{m}$ 、 $D_i=9.2\text{m}$ 、 $D_i=12.6\text{m}$ の3ケースとした。土被りは、浅深度から大深度までの応答値の傾向を把握するため、5m~50mまで試算した。図1に検討条件、表1に解析ケースを示す。

試算では、限界状態設計法の考え方を取り入れることとし、コンクリートのヤング係数に実ヤング係数を用いた。表2に材料物性値を示す。はりばねモデルに用いる継手ばねは、鉄道標準<sup>2)</sup>を参考に、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および接線方向のせん断ばねとして弾性ばねを用いた(図2)。荷重は、砂質土は土水分離、粘性土は土水一体として算出した。砂質土の鉛直土圧には Terzaghi の緩み土圧式を用い、緩み高さが  $1D_c$  以下の場合は  $1D_c$  の最小土圧を考慮することとした。ここで、緩み土圧式に用いる粘着力および内部摩擦角は、鉄道標準を参考に、N 値に基づいて設定した。粘性土の鉛直土圧は、全土被り圧を用いた。側方土圧は、頂部およびスプリングライン位置における緩み土圧からその分布を算出した。水圧は、半

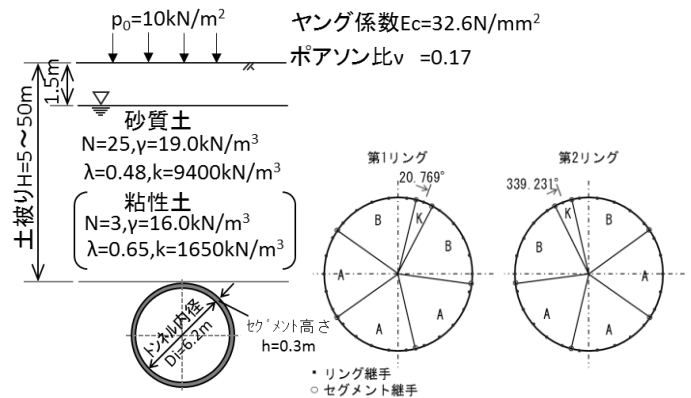


図1 検討条件(単線断面  $D_i=6.2\text{m}$ )

表1 解析ケース

|             | 単線 $D_i=6.2\text{m}$<br>( $h=300\text{mm}$ , $B=1200\text{mm}$ ) | 複線 $D_i=9.2\text{m}$<br>( $h=400\text{mm}$ , $B=1000\text{mm}$ ) | 大断面 $D_i=12.6\text{m}$<br>( $h=500\text{mm}$ , $B=1000\text{mm}$ ) |
|-------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 砂質土<br>N=25 | 土被り(m)*8ケース<br>5,15,25,30,35,40,45,50                            | 土被り(m)*9ケース<br>10,15,20,25,30,35,40,45,50                        | 土被り(m)*8ケース<br>15,20,25,30,35,40,45,50                             |
| 粘性土<br>N=3  | 土被り(m)*4ケース<br>5,15,25,40                                        | 土被り(m)*9ケース<br>10,15,20,25,30,35,40,45,50                        | 土被り(m)*8ケース<br>15,20,25,30,35,40,45,50                             |

表2 材料物性値等(単線断面  $D_i=6.2\text{m}$ )

| コンクリート    |                                                              |
|-----------|--------------------------------------------------------------|
| 設計基準強度    | $f'_{ck}=48\text{N/mm}^2$                                    |
| ヤング係数     | $E_c=32.6\text{N/mm}^2$                                      |
| 鉄筋(SD345) |                                                              |
| 引張降伏強度    | $f'_{syk}=345\text{N/mm}^2$                                  |
| ヤング係数     | $E_s=200\text{kN/mm}^2$                                      |
| 継手        |                                                              |
| 継手の引張ばね定数 | 正曲げ $k_j=2537933\text{kN/m}$<br>負曲げ $k_j=6777823\text{kN/m}$ |

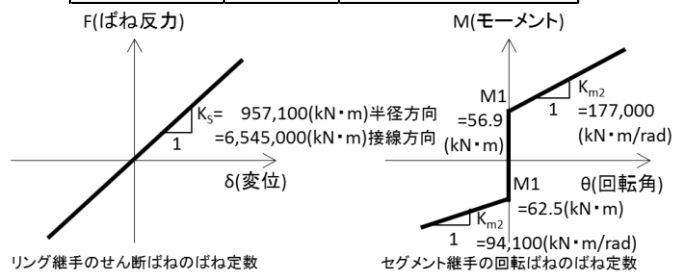


図2 ばねの特性値(砂質土, N 値 25, 土被り 15m)

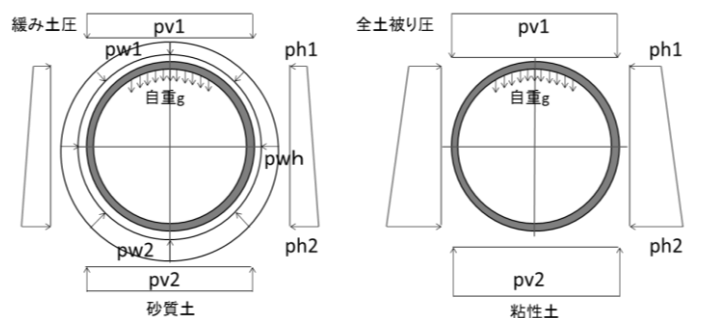


図3 荷重設定の考え方

キーワード : シールドトンネル, 設計, 土被り, トンネル径, 限界状態

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

径方向に作用するものとした。図 3 に、土質ごとの荷重モデルを示す。

## (2) 検討結果

図 4 に土被り比 ( $H/D_i$ ) と最大曲げモーメントの関係を示す。砂質土の場合、土被り比の増加に伴い、土被り比 2.0 で最大曲げモーメントは最小となり、以降は単調増加している。これは、土被りの小さい範囲 (図中の□) では、緩み土圧が小さく、鉛直土圧が最小土圧 ( $1D_c$ ) で決定されるためである。粘性土の場合は、全土被り圧を採用するため、土被り比の増加に伴い最大曲げモーメントが単調増加している。いずれの土質の場合も、トンネル径が大きいほど増加傾向が顕著である。

図 5 に、土被り比と荷重縦横比 ( $P_v/P_h$ ) の関係を示す。ここで、 $P_h$  は側方荷重の平均値を示す。なお、砂質土については、荷重を土圧と水圧に分けた結果を併記している。砂質土の場合は、 $P_v/P_h$  は土圧単独では側方土圧係数の逆数と同程度の 2.0 程度となり、水圧単独では、 $p_{w1}/p_{wh}=0.7\sim0.9$  で土被り比の増加とともに 1.0 に漸近している。土圧+水圧では、縦横比は水圧の寄与が大きいため、土被り比によらず概ね 1.0 となった。そのため、土被り比が増えても荷重のバランスが維持され、曲げモーメントの増加は小さく、軸力のみが増加する結果となった。粘性土の場合は、側方荷重は土水一体として土圧+水圧に側方土圧係数を乗じて算定するため、荷重の縦横のバランスが悪く、土被り比の増加による曲げモーメントの増加が砂質土と比べて大きくなった。

## 3. 曲げモーメントと軸力の関係

図 6 に算出した最大曲げモーメントと同位置における軸力の関係をトンネル径ごとに示す。砂質土の場合、軸力の増加に対して曲げモーメントの増加量は小さいが、トンネル径が大きいほど増加率は大きくなった。粘性土の場合、軸力の増加に伴い曲げモーメントが増加し、砂質土の場合と比べて増加率は大きくなったが、トンネル径による増加率の差は小さくなった。

## 4. おわりに

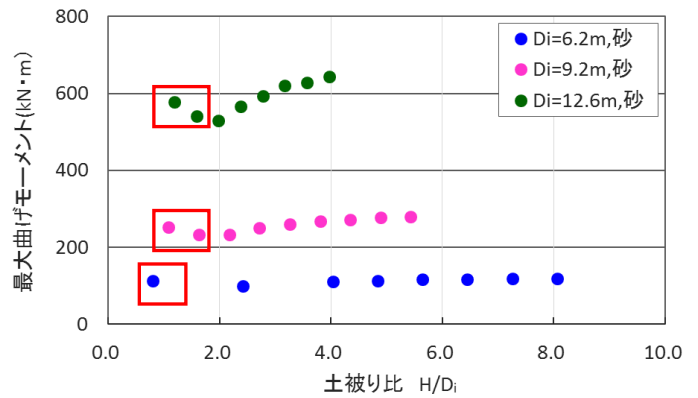
前述の検討に加え、鉄道シールドトンネルの限界状態設計法への移行にあたり、以下の課題が考えられる。

- ・ 荷重の設定方法およびこれに対応した作用係数の設定
- ・ ひび割れ幅の算定
- ・ 照査の前提となる応力度の制限

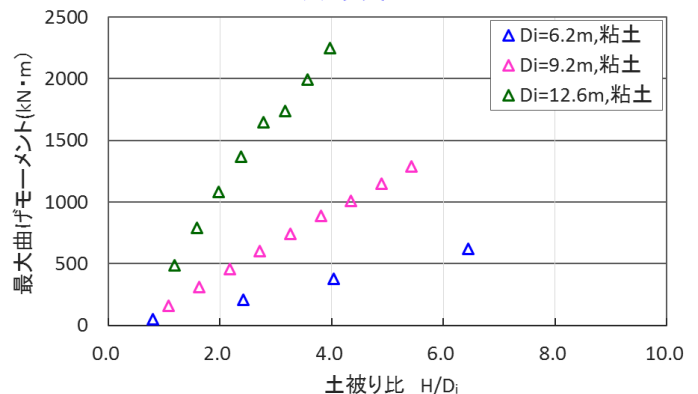
《参考文献》 1) 土木学会：トンネル標準仕方書「シールド」工法・同解説、2006

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

3) 鎌田、津野、三倉、坂田、室谷：鉄道シールドトンネルの設計における土被りおよび作用土圧に関する検討、第 51 回地盤工学研究発表会、2016



(a) 砂質土



(b) 粘性土

図 4 土被り比と最大曲げモーメントの関係 (粘性土)

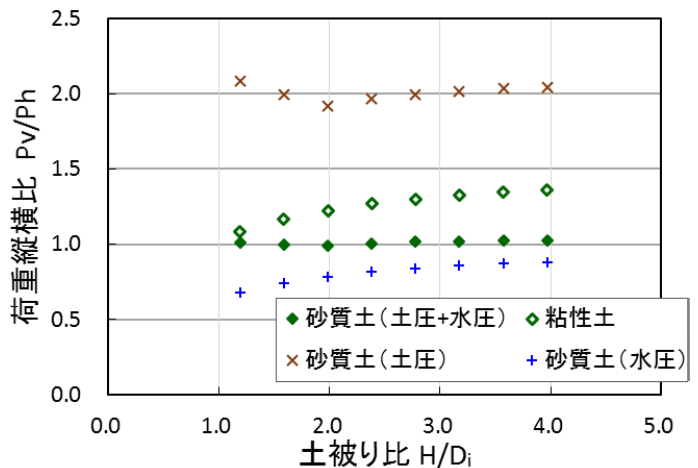


図 5 土被り比と荷重縦横比の関係  $D_i=12.6\text{m}$

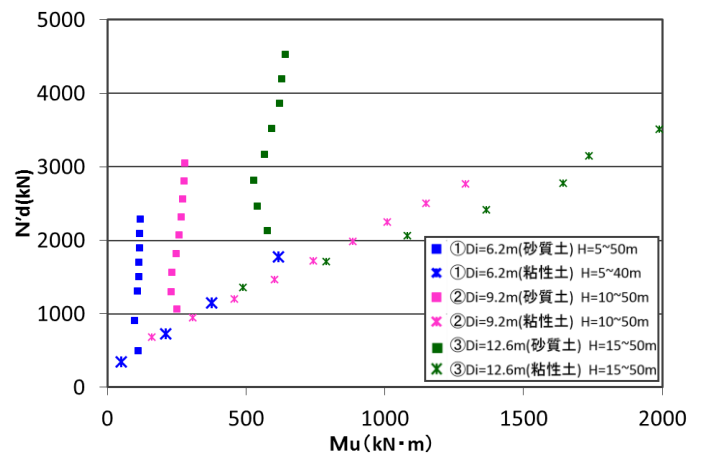


図 6  $Mu-N'$  d 関係