

シールドトンネルの設計

長岡技術科学大学 ○中田善人 正会員 杉本光隆

1. はじめに

本報告では、シールドトンネル覆工の設計例について述べる。具体的には、シールドトンネルに作用する荷重を設定し、セグメントに発生する断面力を求め、セグメントの形状、分割数を決定した。また、複数の荷重条件に対し、最も断面力が発生する条件を検討した。

2. 設計概要

セグメントの構造計算は「鉄道構造物設計標準・同解説 シールドトンネル」¹⁾を参考にした。

2.1 セグメント形状

セグメントの形状寸法や分割数は、類似工事の施工実績や、製作・運搬・施工性を考慮して決定した。

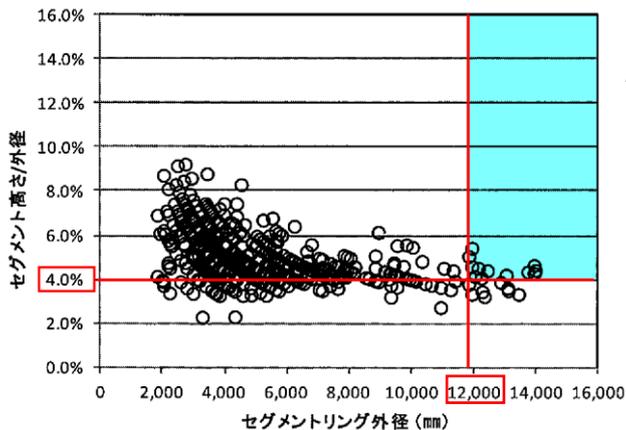


図1 RCセグメントのセグメント高さの実績²⁾

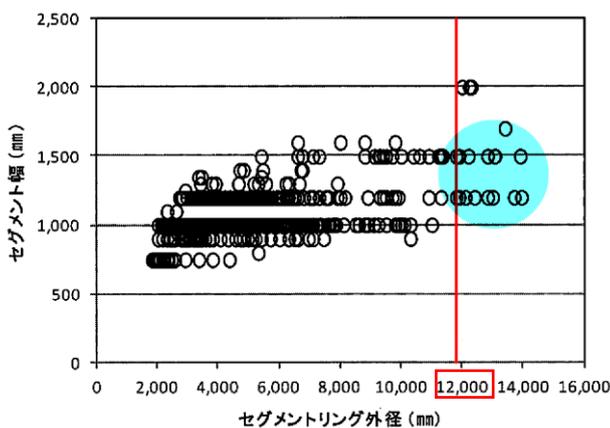


図2 RCセグメントのセグメント幅の実績²⁾

2.1.1 セグメント高さ

セグメント高さは、大口径シールドトンネルの実績を勘案して定めた。

図1は、セグメント高さの実績²⁾で、外径10.0mを超えるトンネルでは、外径比4%程度の高さを確保していることが多く、近年では特にその傾向が顕著である。そのため、本シールドトンネルにおいても外径比4%以上を確保することとし、セグメント高さを500mmとした。

2.1.2 セグメント幅

図2に示す施工実績²⁾によると、外径12m以上のシールドトンネルでは、セグメント幅1,200mmまたは1,500mmの実績が最も多い。そのため、セグメント幅を1,500mmとした。

2.1.3 分割数

分割数は、図3に示す外径12m以上のトンネルの実績より、8分割～11分割を想定した。

ここで、各分割数における、KセグメントおよびA、Bセグメントの弧長と、各分割数におけるリング間継手のピッチを表1に示す。弧長が4.5mを超えると工場での製作性が悪くなることと、リング間継手のピッチは1.0m以下となることが望ましいことから、分割数は10分割とした。表1より設定したセグメント構造条件を表2に示す。

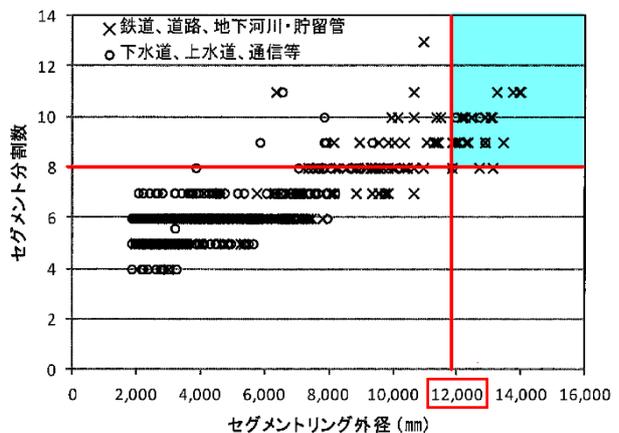


図3 セグメント分割数の実績

表 1 セグメントの弧長とリング間継手のピッチ

| | | セグメントの分割数 | | | |
|---------------|-----|-----------|-------|-------|-------|
| | | 8 | 9 | 10 | 11 |
| セグメントの弧長(m) | K | 1.300 | 1.100 | 1.000 | 0.900 |
| | A,B | 5.100 | 4.500 | 4.000 | 3.600 |
| リング間継手のピッチ(m) | | 1.230 | 1.081 | 0.964 | 0.870 |

表 2 セグメント構造条件

| セグメントの種類 | 平板型鉄筋コンクリートセグメント |
|----------|------------------|
| セグメント外径 | 12.000m |
| 図心半径 | 11.400m |
| セグメント厚 | 0.500m |
| セグメント幅 | 1.500m |
| セグメント分割数 | 10 |
| 周方向継手 | 10 |
| 軸方向継手 | 37 |

表 3 物性値

| コンクリート | | 地盤 | |
|-----------|------------------------|--------|------------------------|
| 設計基準強度 | 60.0N/mm ² | 側方土圧係数 | 0.45 |
| ヤング係数 | 48.0kN/mm ² | 地盤反力係数 | 8000kN/m ³ |
| 許容曲げ圧縮応力度 | 22.0N/mm ² | 鉛直土圧 | 180.0kN/m |
| 許容せん断応力度 | 0.54N/mm ² | 側方土圧 | 81.0kN/m |
| 鉄筋 | | 水圧 | 400.0kN/m |
| | | | 580.0kN/m |
| 種別 | | セグメント | |
| | | 単位体積重量 | 26.0kN/mm ² |

2.2 入力物性値

入力物性値を表 3 に示す。地盤反力係数は裏込め注入の変形特性を考慮した地盤反力係数を用いた。なお、地盤ばねはセグメント法線方向のみを考慮することとし、接線方向は考慮しないこととした。また、地盤ばねはノンテンションとした。

2.3 荷重条件

トンネルは N=50 の礫質土層にあるため、上載圧は緩み土圧とし、土水の扱いは土水分離とした。また、地下水位は GL-3m とした。トンネル上部に杭構造物があると想定して杭荷重を設定した。既往の例を参考にして、想定した荷重条件を表 4 に、荷重状態を図 4 に示す。

3.解析結果

解析結果を表 5 に示す。case1 は今回解析を行ったケースの中で最も断面力が小さくなった。また、上下に杭荷重をかけた case2 は最も断面力が大きくなった。これは杭荷重が上下のみに作用しているため、トンネルの形状が円形から楕円形に変形し、それに伴って、曲げモーメントが発生したためと考えられる。また、case3 は、トンネル側部にも杭荷重が作用し、軸力は case1 より大きくなり、曲げモーメントは case2 に比べ小さくなった。これは、鉛直土圧と水平

表 4 荷重条件

| case | 杭荷重 | |
|------|------|------|
| | 鉛直方向 | 水平方向 |
| 1 | なし | なし |
| 2 | 上下 | なし |
| 3 | 上下 | 水平 |

| 杭荷重 | 上部 | 50.0kN/m |
|-----|----|----------|
| | 下部 | 50.0kN/m |
| | 側部 | 23.7kN/m |

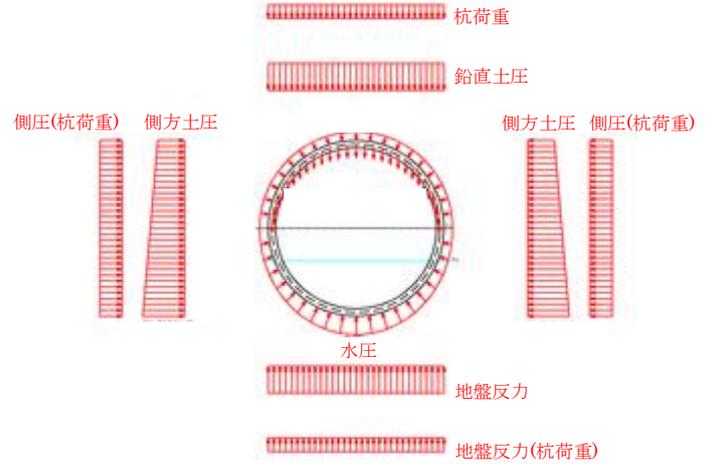


図 4 荷重状態図

表 5 解析結果一覧

| 検討ケース | | case1 | case2 | case3 | |
|-------|--------|-------------------------|-------------------------|--------|--------|
| 主桁断面力 | 回転ばね定数 | kN・m/rad | 340000 | 540000 | 550000 |
| | | 正曲げ | M _{max} (kN・m) | 830.0 | 1000.0 |
| | N(kN) | | 3600.0 | 3600.0 | 3900.0 |
| | 負曲げ | M _{min} (kN・m) | -790.0 | -940.0 | -860.0 |
| | | N(kN) | 4200.0 | 4400.0 | 4400.0 |

土圧の差が小さくなったためと考えられる。

4.まとめ

本報告では、トンネル直上に杭構造物を想定し、試設計を行った。本解析条件では、杭荷重を上下のみに設定した場合より、上下側部に設定した方が、軸力は約 8%増加するが、最大曲げモーメントは、約 8%低減することがわかった。今後、荷重の設定法の妥当性を含め、更なる検討を行いたい。

謝辞

長岡技術科学大学の実務訓練でお世話になったパシフィックコンサルタンツ株式会社の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 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, 丸籐, 2002.
- 2) 土木学会, トンネル標準示方書 シールド工法編, 土木学会, 2016.