

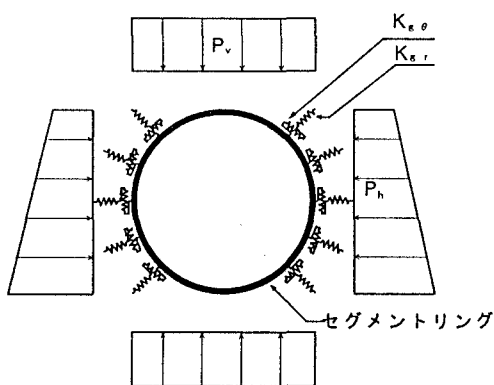
(Ⅲ - 47) シールドトンネルのセグメント設計に用いる地盤定数に関する一考察

早稲田大学 学生員 山下 雄一
 早稲田大学 学生員 舟橋 秀磨
 佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

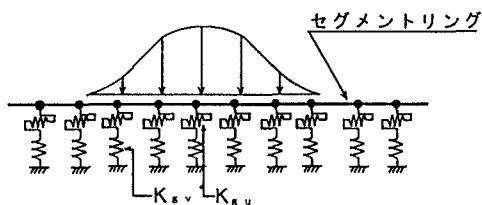
1. はじめに

シールドトンネル覆工の耐荷機構を明らかにすることを目的として、一次覆工や二次覆工の構造を合理的に評価する方法は、これまでに幾つか提案され、すでに実用されている。一方、トンネルに作用する土圧は、その施工時から完成後までの長期にわたる経時的な変動が不確定であり、また、裏込め注入等の施工方法の影響も大きく受けることなどから、トンネルとその周辺地盤の相互の挙動を明確にし、これをトンネル覆工設計に反映させることが不可欠であるにもかかわらず、ここ30年来、これに関する顕著な進展は見られていない。しかしながら、最近の計測結果によると、トンネルには設計で想定したほどの土圧は作用せず、覆工に生じる応力度は相当に小さいと報告されている¹⁾。覆工設計の合理化を図るためには、覆工構造の合理的なモデル化も重要であるが、トンネルに作用する土圧の推定精度を高めたり、トンネル周辺地盤の力学的特性を適切に評価することも必要と思われる。筆者らはこれらのことを念頭において、基礎的研究を行ってきた^{2), 3)}。本報告は、トンネルと周辺地盤との相互挙動をトンネルの変形に伴う土圧変化としてとらえ、これを現行の覆工設計で用いられている“はりばねモデルによる計算法”中の地盤ばねとしてモデル化する場合の考え方について考察したものである。

2. セグメント設計における地盤ばねの基本的な考え方



(a) 横断方向モデル



(b) 縦断方向モデル

セグメントの断面力算定に用いられている計算法には、慣用計算法、修正慣用計算法、はりばねモデルによる計算法⁴⁾等がある。これらの計算法においては、トンネルとその周辺地盤の相互作用は、トンネルの半径方向の変形に従属して定まる抵抗土圧、すなわち、地盤反力として取り扱われている。これらの計算法の中で、覆工構造をより合理的に評価できるとみなされているはりばねモデルでは、この地盤反力を図1(a)に示すような地盤ばねにモデル化している。

このモデルでは、トンネル横断面内の半径方向と接線方向の地盤ばねを考慮している。これらの地盤ばねは、いわゆるWinklerの仮定に基づくもので、覆工の地山側に変形する場合に働くものとしている。一方、トンネル縦断方向については、図1(b)に示すようなはりばね系構造モデルが一般に合理的なモデルとして用いられている。このモデルでは、地盤はトンネル縦断方向(接線方向)とそれに直角方向(法線方向)の地盤ばねに仮定している。本報告は、これらの地盤ばねの考え方について考察するものである。

3. 地盤ばね定数に関する考察

トンネル覆工の設計において、地盤ばね定数は、地盤のN値や裏込め注入など施工時の影響、さらに設計

図1 はりばねモデルにおける地盤ばねの概念

の安全側を考慮した上で、側方土圧係数との関連において定められている。これらの値は覆工の構造特性や計算の対象となる方向（横断方向、縦断方向）にかかわらずすべて同じ値が用いられているのが実状である。一方、式(1)～(3)に示す地盤ばね定数は、トンネルの横断方向や縦断方向の幾何学的条件などを考慮して定められる。式(1)はトンネル横断方向の計算に用いる地盤ばね定数を定義したものである。式(2)はトンネル縦断方向の計算に用いるものであり、ブーシネスク(Boussinesq)の考え方を基本としたものである。式(3)は式(2)と同様に、トンネル縦断方向の計算に用いるものであり、トンネル覆工の縦断方向の剛性を考慮したものである。

$$K_1 = \frac{6 \cdot E_s}{B(1 + \nu)(5 - 6\nu)} \quad \text{----- (1)}$$

$$K_2 = \frac{E_s}{(1 - \nu^2) \cdot B \cdot I_p} \quad \text{----- (2)}$$

$$K_3 = 0.65 \cdot \sqrt{\frac{E_s \cdot B^4}{E \cdot I}} \cdot \frac{E_s}{(1 - \nu^2) \cdot B} \quad \text{----- (3)}$$

ここに、
 E_s : 地盤の変形係数(kgf/cm²)
 ν : 地盤のポアソン比
 E : セグメントのヤング係数(kgf/cm²)
 I : セグメントリングの断面 2 次モーメント(cm⁴)
 B : セグメントリングの外径(cm)
 I_p : 形状係数

表 1 セグメントリングの諸元

セグメントの種類	平板形セグメント
セグメントリングの外径	8.1 (m)
セグメントの幅	30 (cm)
ヤング係数	3.6×10^5 (kgf/cm ²)
セグメントリングの断面 2 次モーメント	2.96×10^8 (cm ⁴)
形状係数	0.88

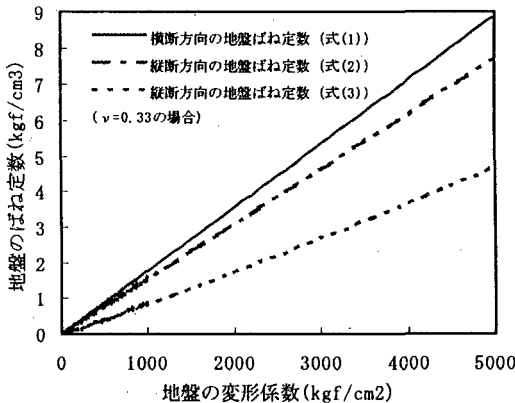


図 2 地盤の変形係数と地盤ばね定数との関係

式(1)～(3)によって得られる地盤ばね定数の特性を把握するために、地盤の変形係数をパラメータとして、その値が5～5000kgf/cm²の範囲で変化したときの地盤ばね定数の感度を分析した。これに用いたセグメントリングの諸元を表 1 に示す。図 2 はその結果を示したものである。図 2 を見ると、地盤ばね定数は地盤の変形係数と線形関係にあり、また、それぞれの式による計算結果は異なっていることがわかる。このように、地盤ばね定数は土中を伝播する応力や土圧はもとより、トンネル覆工の剛性との関連においても大きく変化するものである。地盤ばね定数は、これらの諸条件との関連において定められるべきであり、今後、各種の実験や解析を行い、その合理的な設定方法を詳細に検討する予定である。

【参考文献】

1)新堀, 清水: 施工 10 年後のセグメント応力測定結果, トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol. p. 79~82, 1992. 10.
2)木村, 五十嵐, 小泉: トンネル覆工に作用する土圧と覆工変形の相互作用に関する模型実験, トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol. 4, p. p. 47~54, 1994. 11.
3)木村, 舟橋, 山下, 小泉: 併設シールドトンネルの影響評価に関する模型実験, トンネル工学研究論文・報告集, Vol. 5, p. p. 79~82, 1995. 11.
4)村上, 小泉: シールドセグメントリングの耐荷機構について, 土木学会論文集, No. 272, 1978. 4.