

III-44

楕円形断面シールドトンネルの解析法に関する研究

早稲田大学 村上和也・村上博智  
 東洋大学 小泉 淳  
 北海道開発庁 東出成記

1 はじめに

従来のシールドトンネルは、その安全性と施工性の有利さから円形断面が主流であった。近時、トンネルの掘削断面の有効性を高める見地から、異形断面シールドトンネルが注目され、鉄道用トンネルとしては複円形断面シールドトンネルが実施工されているのが現状である。

道路用トンネルでは、車両の形態から車線数を多くしようとすればトンネル断面は扁平となる。構造的には合理的とは言い難いが、トンネルの有効断面を主に考えれば扁平シールドトンネルの開発も検討の必要があると思われる。

本研究は、扁平なトンネルとして楕円形トンネルを取り上げこれを正確にモデル化する解析法を開発することを目的としている。

2 解析モデル

2-1 一次覆工モデル

楕円形トンネルの解析にあたっては円形トンネルに対する村上-小泉法<sup>1)</sup>を準用し、図-1に示すような2リング1サイクルの千鳥組のシールドトンネルに対して楕円形をその形のままでモデル化した。

- ① セグメントリングはトンネル断面内において曲げ剛性様なセグメントが、曲げモーメントに対する回転ばねによって継がれて構成されているものとする。
- ② セグメントはその両端に回転ばねを持つ楕円はり部材で評価する。
- ③ リング継手はリング間のせん断のみを伝えるものとし、リング継手をせん断ばねに置き換える。
- ④ セグメントリングに作用する荷重は主働的・受働的なものに分け、主働的な荷重については図-2に示すごく慣用的な荷重系を用いる。受働的な荷重はセグメントリングの変形にもなって生じるトンネル周辺の地山の抵抗土圧であるが、これはトンネル横断面の法線方向及び接線方向に対して、法線方向変位が地山に向かう区間のみWinklerの仮定が成り立つものと考えて、地盤反力ばねとして構造系に組み入れる。このばねのばね定数は法線方向と接線方向で等しいものとする。計算は全てのばねをつけた状態から始めてばねに引張力が生ずる場合にそのばねは取り外し、ばねの位置が収束するまで繰り返し計算を行う。

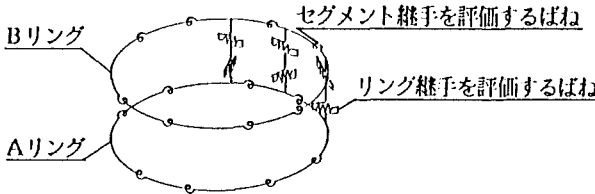


図-1 一次覆工解析モデル

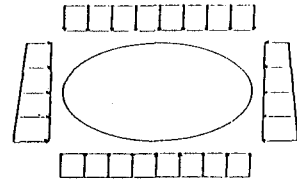


図-2 土圧荷重

2-2 二次覆工モデル

二次覆工のコンクリートリングを構造体に考えるときの二次覆工の力学的扱いは以下のごとくである。

2-1で述べたセグメントリングとそれに作用する荷重及びリングの変形に伴って生じる抵抗土圧の各モデル化に加えて、つぎにモデル化を行う。

① 千鳥組した一次覆工リングと二次覆工リングとの間にジベルを用いなく仮定し、両覆工間の相互作用は重ね構造として挙動するものとする。その構造モデルを図-3に示す。

② AおよびBリングは一次覆工であり、その内側に示すリングが二次覆工リングを評価した剛性様なリングである。これらの両リングは図に示すように法線方向 $k_v$ および接線方向ばね $k_u$ とで連結されていると考える。両リングが離間している範囲では、両リングの力の伝達はないから $k_u = k_v = 0$ とする。両リングが接する範囲では両リングの変位は等しいと考えるから、これらのばね定数 $k_u$ 、 $k_v$ は数値計算上、ともに無限大に近い値を用いる。計算は全てのばねをつけた状態から始めてばねに引張力が生ずる場合にそのばねは取り外し、ばねの位置が収束するまで繰り返し計算を行う。

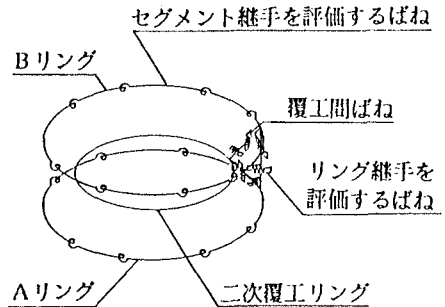


図-3 二次覆工解析モデル

### 3 解析条件

研究の対象とした楕円形トンネルの形状は、2車線および3車線道路の建築限界をもとにした値を、表-1に示す。また、地盤条件、土被りなどは表-2のように仮定した。砂質土地盤においては、土被りを50mとしたので、ゆるみ高さはテルツァギーの式より計算した結果をもととして30mとした。

また、二次覆工が強度を発揮できるようになった後の増加荷重分に対する覆工の応力分担に対する検討にあたっては、建物などによる荷重増加 $20\text{t/m}^2$ 、偏平率0.7の3車線トンネルで地盤条件CASE1を用いた。

表-1 セグメントの形状

一次覆工厚さ (cm)	60	
二次覆工厚さ (cm)	40	
セグメント幅 (cm)	150	
セグメント継手の回転ばね定数 (tF·m/rad)	正	$1.0 \times 10^5$
	負	$0.5 \times 10^5$
リング継手のせん断ばね定数 (tF/m)	$\infty$	

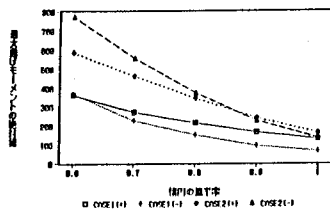
表-2 地盤条件

CASE	CASE1	CASE2
地盤の種類	砂質土	シルト混じり砂
地盤反力ばね定数 $k$ (tF/m <sup>3</sup> )	5000	1000
側方土圧係数 $\lambda$	0.4	0.6
トンネル頂部位置の土被り (m)	50	30

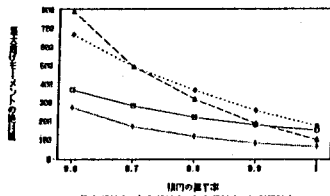
### 4 解析結果およびその考察

図-4(a)および(b)はそれぞれ2車線トンネル、3車線トンネルの偏平率と正負の最大曲げモーメントとの関係を示したものである。偏平率が小さくなるに従い、また地盤が悪くなるに従い、曲げモーメントの絶対値は大きくなる。特に、側方部の負の曲げモーメントは偏平率が小さくなるに従い、負の曲げモーメントのそれに比してその傾向が顕著である。

また、二次覆工挙動については、地盤条件CASE1における3車線トンネルの偏平率0.7の場合について解析を行ってみた。図-5は増加荷重前の一次覆工の曲げモーメントとであり、図-6および図-7はそれぞれ増加荷重後の一次覆工および二次覆工の曲げモーメントを示している。一次覆工のセグメント継手位置で二次覆工が曲げモーメントを負担しているのがよく表現されている。



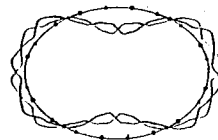
(a) 2車線トンネルの場合



(b) 3車線トンネルの場合

図-4 偏平率と最大曲げモーメント

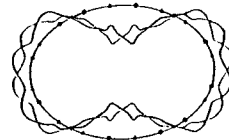
荷重増加前



— Aリング  
 — Bリング  
 ○ Aリングの継手位置  
 △ Bリングの継手位置  
 scale  
 0 200(tF·m)

図-5 曲げモーメント(一次覆工)

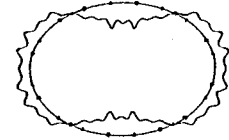
荷重増加後



— Aリング  
 — Bリング  
 ○ Aリングの継手位置  
 △ Bリングの継手位置  
 scale  
 0 200(tF·m)

図-6 曲げモーメント(一次覆工)

荷重増加後



— Aリング  
 — Bリング  
 ○ Aリングの継手位置  
 △ Bリングの継手位置  
 scale  
 0 30(tF·m)

図-7 曲げモーメント(二次覆工)

### 5 結論

本研究は、楕円形セグメントリングの断面力等立法を提示したものである。研究結果として特筆すべき楕円形セグメントリングの断面力のうち軸力の最大値は偏平率および与えられた地盤条件でほとんど変化はないが、曲げモーメントの最大値は偏平率および地盤条件に大なる影響を受けることが明らかとなった。

#### 《参考文献》

- 1) 村上博智・小泉 淳：『セグメントリングの耐荷機構について』土木学会論文報告集 第272号 1978