

III-683

楕円形シールドトンネルの
断面形状に関する研究

早稲田大学	○ 学生員	花房 幸司
日本道路公団	正員	井口 均
西松建設	正員	小林 正典
早稲田大学	正員	小泉 淳

1. はじめに

従来、シールドトンネルの断面形状は、主として円形が用いられてきた。これは、未固結の滞水土砂地山においては、円形断面が力学的に優位であることや、機械掘削に適していることなどによる。

しかしながら、トンネルの断面形状を考えると、その本来の使用目的に適したものが望ましいことは言うまでもない。特に過密化した都市地域では、既に多数の地下構造物が存在し、そのため占有できる地下空間はますます狭くなり、占有面積の問題に加えて掘削により出る残土の処理の問題など、地下空間のより有効な利用に対する要求が高まってきている。このような事情から、トンネルの用途に応じて不要な断面を減らし、掘削断面積を小さくすることのできるトンネルの開発が進められている。楕円形断面シールドトンネルもその一つである。

本報告は楕円形断面シールドトンネルを対象に、それに作用する荷重と楕円の最適な偏平率との関係を数値実験的に定めようとしたものである。

2. 計算条件および検討方法

計算の対象とした楕円形断面トンネルのセグメントは厚さ300mm、幅1000mmのRC平板型セグメントとし、断面は一樣断面(ηEI)と仮定した。楕円形トンネルの内径(長径)は8.0mと一定とし、楕円形トンネルの短径は偏平率0.7から

1.2まで6ケースを定め検討を行なった。図1はそのうち偏平率 $e=0.8$ のときのトンネル断面を示したものである。

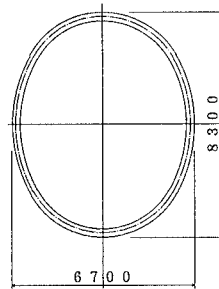


図1 楕円形断面トンネル

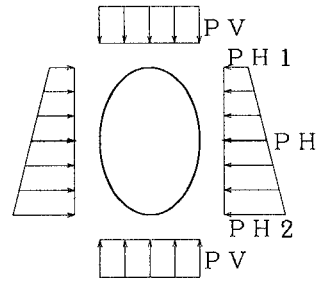


図2 荷重条件

地盤条件はトンネルに作用する鉛直荷重 PV と側方荷重の平均値 PH の比率 (PH/PV 比と呼ぶ)、土かぶり H 、地盤反力係数 k の3つのパラメータを用いて評価した。

なお、計算方法は「村上-小泉の方法」に基づくはり-ばねモデル(回転ばね定数は無限大)を用いている。すなわち、セグメントは曲がりばね部材に、またトンネルの変形に伴って生じる抵抗土圧は、Winkler形の地盤ばね(トンネル接線方向および半径方向)にそれぞれ評価している。図2は荷重条件の図である。

数値実験は楕円形断面の偏平率と地盤条件の計4つをパラメータにして行い、最大曲げモーメント M を算出し、その最小値を検討した。

3. 計算結果と考察

上述の6ケースの偏平率について計算を行ったが、いずれのケースについても結果としてほぼ同様の傾向がみられたので、その一例として偏平率 $e=0.8$ のケースについて、発生した曲げモーメントを図3に示す。

図4は最大曲げモーメントと土かぶりの関

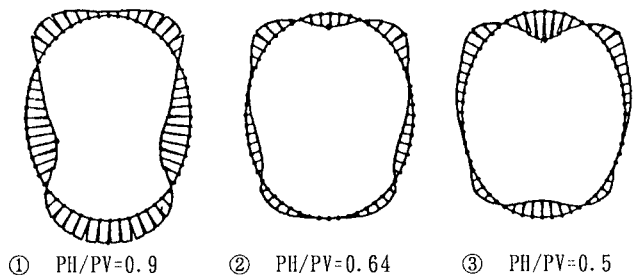


図3 曲げモーメントの変化

係を、図5は最大曲げモーメントと地盤反力係数の関係を、また図6は最大曲げモーメントと PH/PV 比の関係を、図7は偏平率と曲げモーメントの関係をそれぞれ示したものである。

(1) 土かぶりが曲げモーメントに与える影響について

図4をみると、土かぶりと最大曲げモーメントの間には、 $M = aH + b$ (a, b は定数) が成り立つ。実際にはこの定数 b は $1\text{ t}\cdot\text{m}$ 程度であるので、曲げモーメントは土かぶりと比例して増加すると考えてよい。

(2) 地盤反力係数が曲げモーメントに与える影響について

図5より、地盤反力係数 k と最大曲げモーメントとの間には、 $M = ck^d$ (c, d は定数) が成り立つ。

地盤反力係数が大きい場合には、トンネルは周辺地盤で支持されているので、大きな変形が起りにくく発生する曲げモーメントが小さくなる。一方、地盤反力係数が小さい場合には、周辺地盤の支持が期待できないため変形が大きくなる。はりばねモデルでは地盤の良し悪しは主に地盤反力係数に反映されている。

(3) 荷重条件に対する最適偏平率

図6より、最大曲げモーメントを最小にする最適な PH/PV 比と偏平率との間には、 $PH/PV = e^2$ が成立する。

逆に、図7より PH/PV 比一定の条件のもとで最大曲げモーメントを最小にする偏平率と PH/PV 比との間にも、この関係が成り立っている。また、これは土かぶりや地盤反力係数の大小にかかわらず成り立つ関係である。

これらのことから、円形断面トンネルが必ずしも構造的に有利なわけではなく、荷重条件により最大曲げモーメントを最小にする断面が決定できることがわかる。すなわち、楕円形断面トンネルの最適偏平率は、 $PH/PV = e^2$ により決定できる。

(4) 荷重感度

荷重に対する最適楕円形断面が決定されても、実際にトンネル断面に作用する土圧を正確に評価することは難しく、また施工後の荷重変化も考えられる。そこで PH/PV 比の変化に対する最大曲げモーメントの変化の割合を示す荷重感度を検討してみた。

表1はその結果で、偏平率が増加するのに従い、荷重感度は減少している。このことから偏平率が高い場合、つまり横楕円トンネルのほうが荷重条件に対して曲げモーメントの変化が小さいことがわかり、設計上の安全率が高いと思われる。

4. おわりに

今回は楕円形断面シールドトンネルの断面が曲げ剛性一様であると仮定して数値実験を行ったが、今後は回転ばねを持つ断面と考えると継手を評価した場合や、矩形等のその他の断面形状の場合についても、数値実験を行い、検討を加えていく予定である。

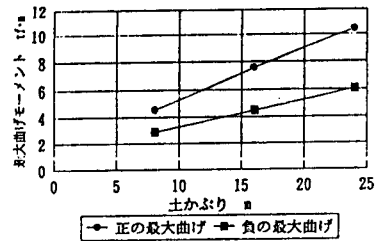


図4 M-H図($e=0.8, PH/PV=0.6, k=0.2\text{ kg/cm}^3$)

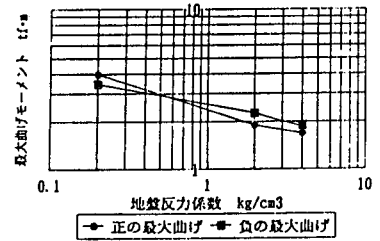


図5 M-k図($e=0.8, PH/PV=0.6, H=8.0\text{ m}$)

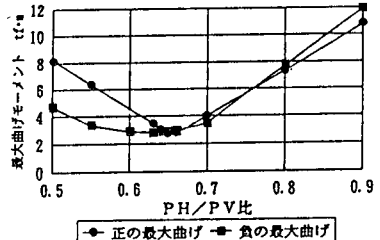


図6 M-PH/PV比図($e=0.8, H=8.0\text{ m}, k=0.2\text{ kg/cm}^3$)

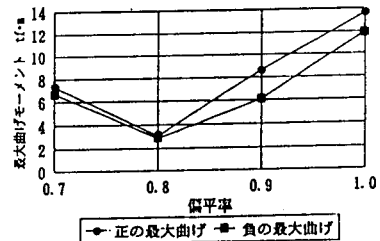


図7 M-e図($PH/PV=0.64, H=8.0\text{ m}, k=0.2\text{ kg/cm}^3$)

表1 土圧感度

偏平率	$k = 0.2$		$k = 4.0$	
	正の土圧感度	負の土圧感度	正の土圧感度	負の土圧感度
0.7	42.750	43.560	5.953	5.075
0.8	36.650	37.710	4.850	4.457
0.9	33.530	38.630	4.075	3.678
1.0	30.030	35.120	3.228	4.060
1.1	17.000	31.280	0.534	3.147
1.2	17.940	25.780	0.132	0.242