

Ⅲ-646

矩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
 西松建設㈱ 正会員 小林 正典
 鹿島建設㈱ 藤田 晋
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

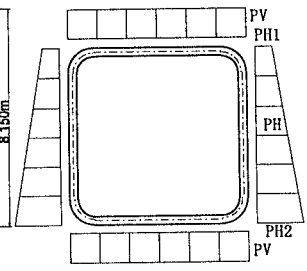
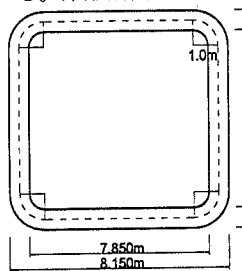
従来、シールドトンネルの断面形状は主として円形が用いられてきた。これは、未固結の滞水土砂地山においては、円形が力学的に優位であることや機械掘削に適していることなどによる。

しかし、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。矩形断面シールドトンネルもその一つである。

本報告は矩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力学的に合理的な縦横比との関係を数値実験より定めようとしたものである。

2. 計算条件および検討方法

計算の対象とした矩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、断面は一様断面(ηEI)と仮定した。矩形トンネルの高さは8.0mと一定とし、矩形トンネルの横幅は縦に
 図1 トンネル断面図



に対する比率である縦横比0.5から1.5までの7ケースを定め、その各々について隅角部に半径0.1、1、2mの3ケースの円弧部分をつけて検討を行った。図1はそのうち縦横比1.0、円弧部の半径1mのときのトンネル断面を示したものである。

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(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。

計算方法は「村上一小泉の方法」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、セグメントは直線ばりおよび曲がりばり部材に、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は荷重条件図である。

数値実験は矩形断面の縦横比7ケース、隅角部の曲率半径3ケースと地盤条件3ケースをパラメータにして行い、正と負の最大曲げモーメントを指標として検討した。

3. 計算結果と考察

上述の7ケースの縦横比について計算を行ったが、縦横比の違いにより大きく分けて2つの異なる結果が得られたので、主として縦横比0.8と1.0のケースを中心に、以下に述べることとする。

1) 土かぶりと最大曲げモーメントとの関係

図3から、いずれの場合も土かぶりHと最大曲げモーメントの値との間には1次の関係があることがわかる。

2) 地盤反力係数と最大曲げモーメントとの関係

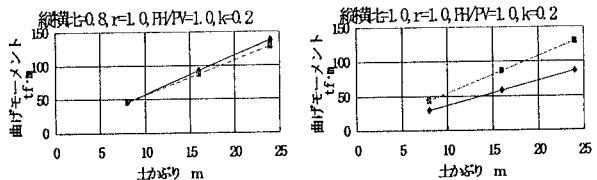


図3 土かぶり-最大曲げモーメント図

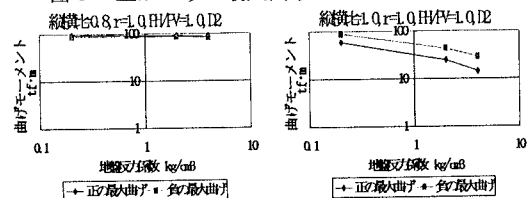


図4 地盤反力係数-最大曲げモーメント図

図4から、縦横比が0.8を越える場合、地盤が良くなるに従って最大曲げモーメントの値も小さくなるのに対して、0.8以下の場合、地盤の良し悪しによらないことがわかる。これは、前者の場合はトンネル隅角部の一部に地盤反力が発生するのに対し、後者の場合はほとんどの節点がトンネル内側に変形し、地盤反力があまり発生しないことに起因していると思われる。

3) PH/PV比と最大曲げモーメントの関係

図5から以下のことがわかる。

①負の最大曲げモーメントは、途中で傾きが若干変化するが、ほぼ直線状のグラフになる。

②正の最大曲げモーメントは、

a) 軟弱地盤である $k=0.2\text{kgf/cm}^3$ の場合には最適値をとる。

縦横比 ≤ 1.0 の場合、最適値は $(\text{PH/PV比}) = (\text{縦横比})^2$ の時であり、
縦横比 > 1.0 の場合、最適値は $(\text{PH/PV比}) = (\text{縦横比})$ の時である。

b) 比較的良好な地盤である $k=2.0, 4.0\text{kgf/cm}^3$ の場合、

縦横比 ≤ 0.8 の場合、最適値は、 $(\text{PH/PV比}) = (\text{縦横比})^2$ の時であり、
縦横比 > 0.8 の場合、最適値をとらない。

4) 縦横比と最大曲げモーメントとの関係

図6から、地盤が良好になるに従って、縦横比0.8と0.9の間にグラフの傾向を変える不連続点が存在することが確認される。これは前述したとおり地盤反力が発生するか否かによるものと考えられる。また、地盤が良好である場合、最大曲げモーメントの値は縦横比0.8を越えると、縦横比の値によらずほぼ一定の値をとることがわかる。

5) 円弧部半径と最大曲げモーメントとの関係

図7から、負の最大曲げモーメントは半径が大きくなると、ほぼ一様に減少する。これは、トンネルの隅角部に発生する大きな負の曲げモーメントが円弧部を設けることによって緩和されるためと考えられる。一方、正の最大曲げモーメントは、地盤が良い場合、半径が大きくなると最大曲げモーメントが若干増加する場合もある。これは、隅角部の曲率により地盤反力の発生位置が変化することによるものであると考えられる。

4. おわりに

今回は矩形断面シールドトンネルの断面について解析を行い、①縦横比0.8を境に傾向が異なる②縦横比0.8以下の場合、地盤の良し悪しの影響を受けない③軟弱地盤の場合、正の最大曲げモーメントを最も小さくする最適なPH/PV比が存在する④地盤が良好な場合、縦横比0.8を越えると最大

曲げモーメントの値はほぼ一定である⑤隅角部に曲率をつけることで、負の最大曲げモーメントを大きく低減できる、という結果を得た。今回はトンネル剛性一様(ηEI)ばりと仮定した計算を行ったが、今後は継手を回転ばねで評価した場合の検討を行うとともに、これらの数値実験の結果を踏まえた上で、実際に模型実験等を行い、より詳細な検討を加えていく予定である。なお、本研究は西松建設㈱との共同研究である。

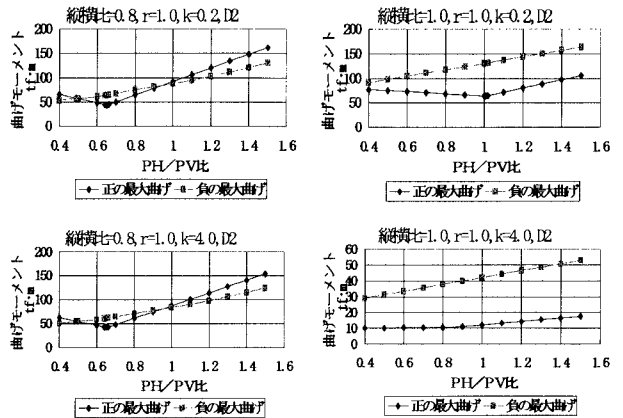


図5 PH/PV比—最大曲げモーメント図

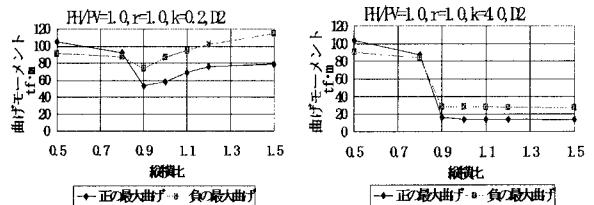


図6 縦横比—最大曲げモーメント図

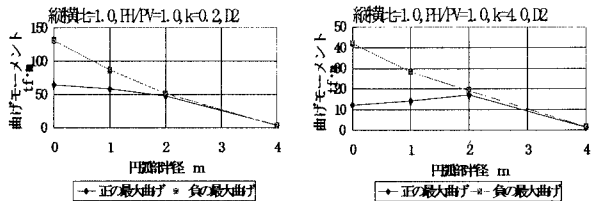


図7 円弧部半径—最大曲げモーメント図