

III-1

矩形断面シールドトンネルの 合理的セグメント形状に関する研究

西松建設（株） 正員 小林 正典

早稲田大学 正員 小泉 淳

○ 学生員 井口 均

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、さらに掘削により出る廃土の処理や占有面積の問題により、地下空間の有効利用の必要性が高まっている。このような事情から、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。矩形断面はその形状からわかるように、隅角部と部材中央部に大きな曲げモーメントが発生する。このため、部材厚が相当に大きくならざるを得ない。この曲げモーメントの低減を図るには、用いるべきセグメントに若干のふくらみを持たせることが有効と思われる。

本研究は、矩形断面シールドトンネルを対象に数値実験に基づき、経済的で合理的なセグメント形状を検討したものである。

2、解析条件および解析方法

図1は、解析の基本となる矩形断面トンネルを示したものである。セグメントは厚さ350mm、幅1000mmのコンクリート平板型セグメントとし、これを2リング千鳥組することを想定した。

地盤は良好な場合、軟弱な場合、およびそれらの中間的な場合の3つの条件で検討を行っている。表1は、それぞれの荷重条件の設定に必要な数値を表したものであり、図2は荷重条件の例である。

解析は、各地盤条件に対して、図1に示した矩形断面トンネルのように隅角部が直角である場合と軸力の伝達がスムーズになるように、隅角部を丸めた場合、さらにトンネルの上下面および側面部にアーチ状の曲率を徐々に付けていった場合について行った。

なお、解析方法は「村上-小泉の方法」に基づくはり-ばねモデルを用いている。すなわち、セグメントははり部材に、セグメント継手は回転ばねに、リング継手はトンネル接線方向および半径方向のせん断ばね（ばね定数は無限大とした）に、またトンネルの変形に伴って生じる抵抗土圧は、Winkler形の地盤ばねにそれぞれ置換し、評価している。

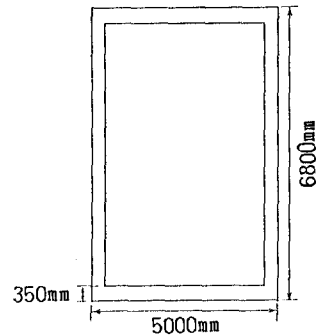


図-1 矩形断面トンネル

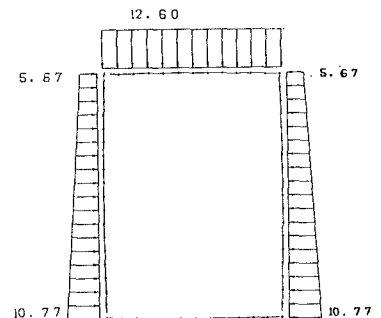


図-2 荷重条件

	表-1 地盤条件		
	Case-1	Case-2	Case-3
地盤条件	良好	中間	軟弱
土被り	7.0	7.0	7.0
土の単位体積重量 (t/m^3)	1.8	1.8	1.8
側方土圧係数 λ	0.45	0.5	0.75
地盤反力係数 k	4.0	2.0	0.2

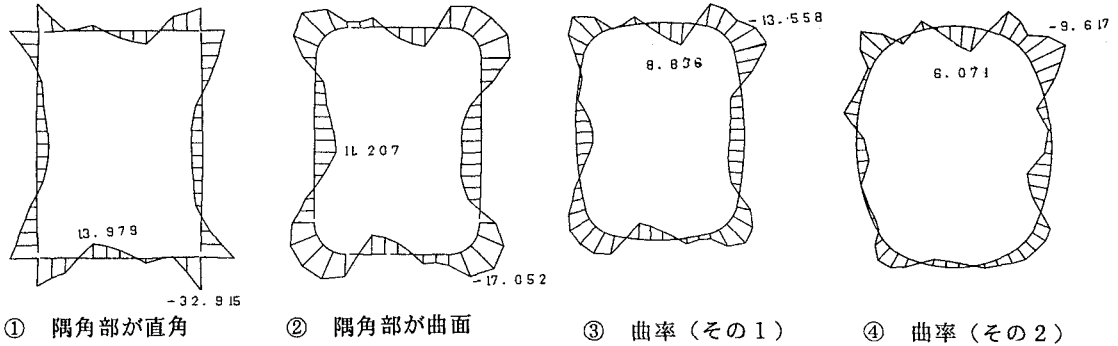


図-3 曲げモーメント図

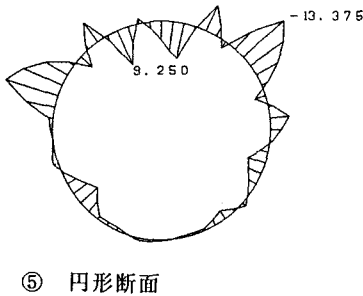


表-2 各地盤条件での負の最大曲げモーメント

	Case-1 (良好)	Case-2 (中間)	Case-3 (軟弱)
隅角部直角①	32.815	34.908	45.713
隅角部丸②	17.052	18.164	35.797
曲率（その1）③	13.558	11.718	32.873
曲率（その2）④	9.617	6.855	34.510
円形⑤	13.375	16.743	13.195

3、解析結果と考察

解析結果の一例として、良好な地盤の場合の曲げモーメント図を示したものが、図3の①から⑤である。また表2は、発生する最大曲げモーメントと地盤の良悪との関係を示したものである。これらの図および表から、以下のことがわかる。

- 隅角部を丸くする影響： ①と②を比較すると、隅角部を丸くするだけで負の最大曲げモーメントの値は約半分に低減している。このことは、隅角部を丸くすると力がスムーズに伝達されるため、曲げモーメントが減少する一方で軸力が増加することを意味する。これはセグメントに対して有利な傾向であると思われる。
- 部材に曲率をつけることの影響： ②③④と曲率を増加させていくことによって、負の最大曲げモーメントおよび部材中央部に発生する曲げモーメントが徐々に低減していき、④のたまご型断面においては、②の約半分之一になっている。しかも、完全な円形断面である⑤と比較しても、負の最大曲げモーメントが約3分の2となっており、地盤や荷重の分布形状によっては、完全な円形よりやや楕円形状となる方が構造的に有利となる場合があることを示している。
- 地盤の影響： 表2を見ると軟弱な地盤の場合、曲率をつけても最大曲げモーメントはあまり変化せず、円型と比較して、かなり大きな値になっている。このことから、地盤条件が良い場合は、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の値が小さくなる一方、軟弱な地盤の場合には、曲率をつけても周辺地盤の支持が期待できないため変形が大きくなり、曲げモーメントの低減は効果的でないことがわかる。

4、終わりに

矩形断面シールドトンネルの合理的な設計を行うために、どれだけ曲率をつけたら曲げモーメントが有効に低減できるかを、地盤条件を変えて検討を行った。良好な地盤については、曲率をつけることが非常に有効な手段であることがわかったが、今後は軟弱地盤の場合の対処法などについてもより詳細な検討を行う予定である。