

III-42

縦楕円形シールドセグメントの設計と断面力特性

東京都下水道局 安齋 史郎 (財)土木研究所 正員 渡辺 直樹  
 (株)熊谷組 正員 ○宮下 芳高 飛鳥建設(株) 上原 正敏  
 (株)間組 正員 配野 均

1. まえがき

地下構造物が錯綜する都市部の地下空間の高度利用が進む中で狭小道路下に大容量の下水管渠を築造する要求が強まってきた。この条件下に最も合理的なシールド管路として選定した縦楕円形セグメントに関し、非円形シールドがゆへの設計の考え方、断面力特性について報告する。

2. 設計の考え方

楕円形セグメントを設計するに当たり、従来の円形セグメントの設計の延長では不明確であったり、留意すべき下記2点について、考え方を整理、統一した。

2.1 頂部鉛直土荷重と下限値の設定

土被りがトンネル寸法に比して大きい砂質土では、一般にTerzaghiのゆるみ土圧式を用いることができるが、楕円形の場合のゆるみ幅は(1)式で算定する。(図-1)

$$B_1 = R_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) + \left[ H_T - R_1 \left\{ 1 - \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \right\} \right] / \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

ここに、 $R_1$ : 小円部の覆工外半径  $H_T$ : 覆工の高さ  
 $\phi$ : 土の内部摩擦角  $B_1$ : ゆるみ幅の1/2

また、ゆるみ土圧をゆるみ高さに換算したときの下限値  $h$  として式(2)で与える。

$$h = B_T + H_T \quad (2)$$

ここに、 $B_T$ ,  $H_T$ : 楕円形セグメントの横径, 高さ

2.2 断面力の算定法と地盤との相互作用解析の考え方

楕円形セグメントの断面力の算定においては、円形セグメントと同様に、セグメント自重による断面力算定(自重解析)と外荷重による断面力算定(荷重解析)とに分け、両者の和をもって設計断面力とする。荷重解析では、セグメントの変形に伴う地盤反力(抵抗土圧)を期待するため、一般にセグメントと地山との相互作用解析となる。このとき、楕円形セグメントではその扁平率(縦横比)が大きくなると通常の円形セグメントとは逆に、縦長に変形する。したがって、トンネル頂下部付近に地盤反力が発生するような場合が多い。この場合に、トンネル頂部付近に地盤反力が期待できるか否かは、土被りの大きさ、土質、施工条件等総合的に判断して定める必要がある。なお地盤反力は、トンネルが地山側へ変位する領域のみ有効とし、トンネル法線方向の、トンネルと地山との相対変位に比例した抵抗土圧として取り扱うものとした。(図-2)

3. 楕円形セグメントの感度分析

縦楕円形セグメントでは、円形セグメントに比べ、曲げモーメント卓越型の大きな断面力が発生する。そこで扁平率  $f$  (縦寸法/横寸法) が 1.0 (円形) ~ 1.5 の範囲で発生断面力がどのように変化するかを試

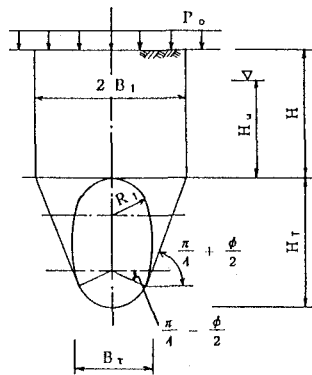


図-1 ゆるみ幅算定図

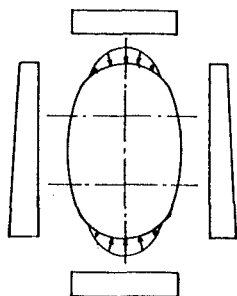


図-2 地盤反力分布図

表-1 土質条件表

諸量	記号	単位	砂質土	粘性土
土被り	H	m	2.0	
地下水位	H <sub>w</sub>	m	1.9 (GL-1.0m)	—
土質	—	—	トンネル上部、 通過部共 沖積砂質土 (N=1.5)	トンネル上部、 通過部共 沖積粘性土 (N=2)
土の単位重量	$\gamma$	t/m <sup>3</sup>	1.8	1.7
同 水中	$\gamma'$	t/m <sup>3</sup>	0.8	—
側圧係数	$\lambda$	—	0.5, 0.6	0.7
地盤反力係数	k	kgf/cm <sup>3</sup>	2.0	0.5
上載荷重	P <sub>0</sub>	t/m <sup>2</sup>	1.0	1.0
土水圧の 取り扱い	—	—	ゆるみ土圧の 下限値 土水分離	全土被り重量 土水一体

算し、感度分析を行った。

### 3. 1 検討条件

#### (1) セグメント厚さの設定

セグメント厚さ  $h$  は、扁平率  $f$  が大きくなるにしたがって、曲げモーメントの増加割合が大きくなることを想定して、 $f=1.0$  で  $h=150$  mm,  $f=1.5$  で  $h=225$  mm となるよう内挿補間して定めた。

#### (2) セグメント形状寸法の設定

各断面形状の内空断面が、扁平率  $f=1.5$  の縦楕円セグメントの内空断面にほぼ等しくなるように形状寸法を設定した。

#### (3) 土質条件(表-1)

### 3. 2 検討結果と考察

砂質土の場合の発生断面力と扁平率との関係を図-3に示す。これより発生断面力の傾向を次のように結論づけることができる。

(1) 正、負の最大曲げモーメントは、扁平率の増加とともに急増する。

(2) 曲げモーメント最大点の軸力は、正の曲げ最大点ではほぼ一定、負の曲げ最大点では扁平率の増加とともに漸増する。

### 4. セグメントの設計概要

#### 4. 1 セグメント種類および継手構造

本研究開発で、横径3 m、縦径4.5 mの縦楕円形セグメントを用いた実証実験を行うため、土被り4.5 mの条件で詳細設計を行った。セグメントの種類は、曲げモーメント卓越型の断面力に対応できる合成および鋼製セグメントとし、セグメント継手には、剛性が高くかつ継手部の抵抗モーメントが大きい高剛性継手を用いることとした。

図-4は、縦楕円形合成セグメントについて、力学特性、施工性、製作性等総合的に検討して決定した分割図である。

### 5. まとめ

縦楕円形セグメントでは、円形セグメントに比べ曲げ卓越型の大きな断面力が発生する。その傾向は扁平率に大きく依存する。そのため、セグメントは、この断面力特性を考慮して検討し、継手には高強度で高剛性の継手を採用することが望ましい。

なお、本研究は、「合理的断面シールド工法の開発に関する共同研究」において、東京都下水道局、(財)土木研究センターおよび民間18社\*の共同研究である。

\*大林組、奥村組、鹿島建設、熊谷組、鴻池組、神戸製鋼所、佐藤工業、清水建設、新日本製鐵、大成建設、飛鳥建設、西松建設、日特建設、日本ヒューム管、間組、フジタ、前田建設工業、三井建設

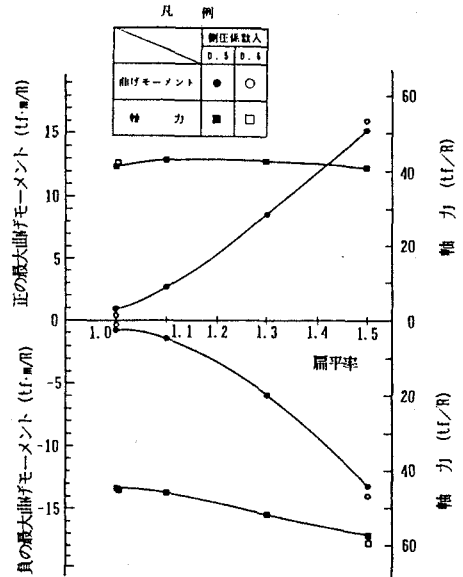


図-3 扁平率と断面力の関係

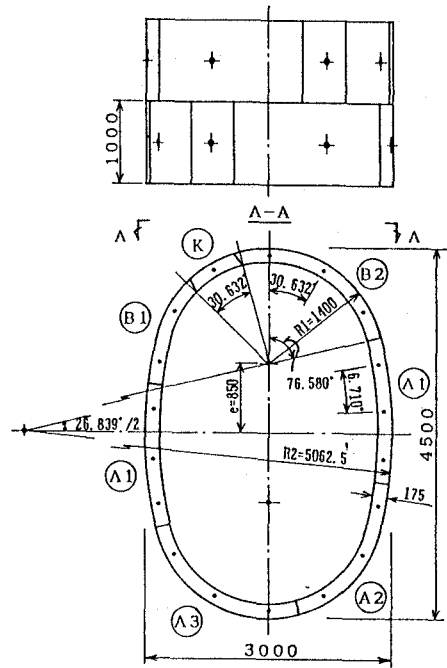


図-4 合成セグメント組立図