

超大断面扁平シールドの設計方法

JH関西支社 建設第一部 正会員 牧浦 信一
 地域 地盤 環境 研究所 正会員 橋本 正
 (株)大林組 東京土木事業部 正会員 ○金井 誠
 西松建設(株) 技術研究所 正会員 野本 寿

1. はじめに

近年、道路トンネルにシールド工法が適用される事例が増えている。しかしながら、円形トンネルでは、所要建築限界に対して不要空間が増えるため、経済性が低下する。本報では、超大断面扁平併設シールドトンネルについて、RCセグメントを例として実施した適用可能な構造解析法、扁平覆工構造成立の可否、適用可能な継手構造・剛性など、設計検討について報告する。

2. 検討条件

検討断面を図-1に、主な検討条件を表-1に示す。

なお、無次元化した曲げ剛性(以下 K_θ^*)は、文献²⁾を参考に、下記により計算した。

$$K_\theta^* = K_\theta \cdot r / EI$$

ここで、 K_θ : 回転ばね定数 (kN・m/rad)

r : リング図心半径 (m)

EI : セグメント曲げ剛性 (kN・m²)

また、扁平断面のリング図心半径は、表-2の欄外に示すように、円弧長に対する重み付き平均半径を用いた。

3. 構造解析モデル

円形断面と扁平断面の変形・断面力について、セグメントリングを平均剛性一様リングにモデル化した修正慣用計算法(以下、修正慣用計算法)およびはり-ばねにモデル化した計算法(以下、はり-ばねモデル)で試算した。図-2に、断面力パターンを示す。また、図-3に、形状と構造解析法の違いが、変位および正・負の最大曲げモーメントに与える影響を示す。図-2および図-3から、円形断面と扁平断面について以下の違いがわかる。

- ①円形断面では、曲げモーメントは軸力に比べて小さく、コンプレッションリングの仮定が成立している。
- ②扁平断面では、軸力に対して曲げモーメントが大きく、その影響を無視できないため、コンプレッションリングの仮定が成立しない。
- ③扁平断面では、曲げモーメントの影響が無視できないほど大きいため、変形量は円形断面に比べ大きく、本試算では約3倍となっている。

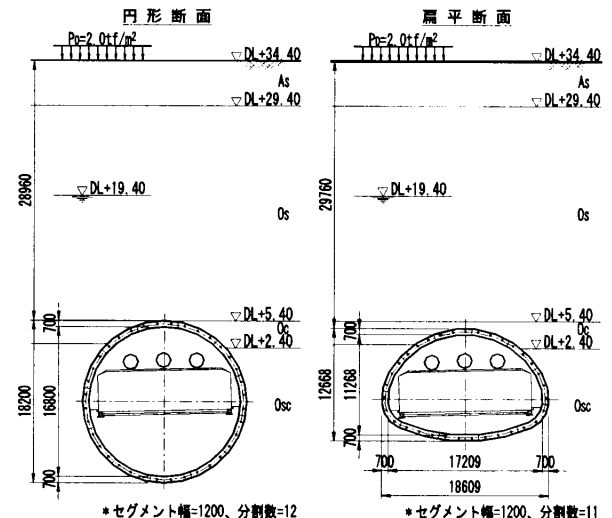


図-1 検討断面

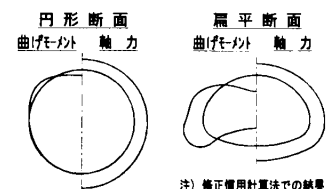
表-1 主な検討条件

セグメント	・RCセグメント→桁高700mm×幅1200mm ・セグメント分割→11または12の等分割
継手	・負曲げ対応型継手および従来型継手(ボルト)(表-2)
荷重条件	・砂質土→土水分離、粘性土→土水一体 ・鉛直土圧: ゆるみ土圧(土水分離)を考慮 ・側方土圧: 側方土圧係数 $\lambda = 0.45$ ・併設の影響: 文献 ¹⁾ より、鉛直土圧のみ5割増しで考慮(側方土圧は割増ししない)
地盤条件	・文献 ¹⁾ より、地盤反力係数 $k = 30 \text{ MN/m}^3$
計算方法	・修正慣用計算法: $\eta = 0.8, \zeta = 0.2$ ・はり-ばねモデル: 無次元化した曲げ剛性 K_θ^* による

表-2 継手の回転およびせん断ばね定数

			負曲げ対応 (正・負)	従来型継手(ボルト)		
				正曲げ	負曲げ	
回転 ばね	勾配	第一 $K_{\theta 1}$ (kN・m/rad)	516000	417000	109000	
		第二 $K_{\theta 2}$ (kN・m/rad)	262000	147000	—	
	変曲点 M_F (kN・m)		640	680	—	
	K_{θ}^*	曲げ剛性 EI (kN・m ²)		1337700 ($\sigma_{ck}=48\text{N/mm}^2$)		
		円	$r = 8.75\text{m}$	3.4	2.7	0.7
			$r_{\text{max}} = 18.15\text{m}$	7.0	5.7	1.5
		扁平	$r_{\text{min}} = 2.85\text{m}$	1.1	0.9	0.2
		$\bar{r} = 10.77\text{m}$	4.2	3.4	0.9	
せん断ばね K_S (kN/m)			103000			

*1 ばね定数は、桁高=600mmの実験結果より推定
 *2 扁平断面の平均半径 $\bar{r} = \sum L_i \cdot r_i / \sum L_i$
 ここに、 r_i : i 番目の半径、 L_i : 半径 r_i の円弧長



注) 修正慣用計算法での結果

図-2 断面力パターン

キーワード: シールドトンネル, 超大断面, 扁平, はり-ばねモデル, 負曲げ対応型継手

連絡先: 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1259 FAX 03-5769-1964

また、図-3から、構造解析法・継手構造について以下の違いがわかる。

- ①円形断面では、変形・断面力・継手構造ともに、構造解析法の影響が少ない。
- ②修正慣用計算法では正曲げと負曲げで剛性評価の使い分けができないため、扁平断面では変形を過小評価している。
- ③修正慣用計算法では正曲げと負曲げで剛性評価の使い分けができないため、扁平断面では曲げモーメント分布を適切に表現できず、結果的に断面力を過大評価している。
- ④継手を負曲げ対応型とすることで、桁高を厚くせずに変形および継手目開き(次項参照)を抑制でき、経済的な設計が可能となる。

4. 継手剛性に関する検討

負曲げ対応型継手を有するセグメントの継手剛性要求性能を把握するため、円形・扁平断面について、継手剛性をパラメータとして変形・断面力・継手目開きを試算した。図-4に示す結果より、以下のことがわかる。

- ①変位・曲げモーメントとも、 K_{θ}^* が5~10以上で、円形断面・扁平断面ともほぼ一定となる。
- ②東京湾横断道路仕様の止水シールで対応可能な目開き3mmを指標とすると、 K_{θ}^* は、円形断面で3程度、扁平断面で6程度となる。

5. まとめ

超大断面扁平シールドトンネル覆工構造設計では、円形断面に見られるコンプレッションリングの仮定は成立せず、曲げモーメントの影響を無視することができないが、継手の正・負曲げ剛性を評価できるはりばねモデルによる構造解析を適用することで、変形および断面力を精度良く算定でき、経済的な設計も可能となる。また、大きな変形量はセグメント組立性や建築限界に影響することから、低い継手剛性として地盤反力を活用する経済設計手法を適用することはできない。さらに、扁平断面では負曲げの影響が大きく、従来のボルト締結型継手では覆工厚を大きくせざるを得ず経済性が低下する。このため、負曲げ対応型継手を有するセグメント適用が経済性・構造的ともに有利となる。この場合にも、覆工構造の止水性・耐久性を向上させるため適切な剛性の設定が重要で、目開きや縁端部で応力集中を考慮しなければならない。

6. おわりに

超大断面扁平シールドトンネルは非開削による大断面トンネル施工法として極めて有望であり、本研究により構造的にも成立するとの結論に至った。しかしながら、従来の円形断面で適用されてきた構造解析手法や継手構造は、設計・構造の合理性や経済性の面で問題があり、適用可能な構造解析モデル、設計手法、継手構造などの設計上の留意点があきらかになった。今後は、耐震性や耐火性についてさらに深度化した検討を行う予定である。

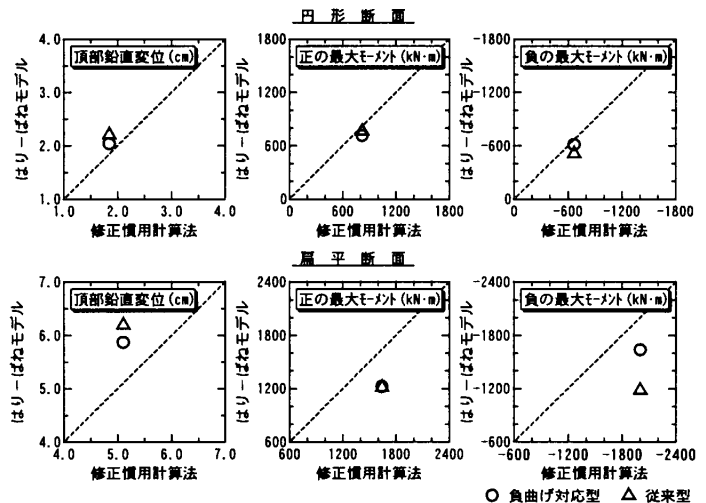


図-3 計算手法の違いによる比較結果

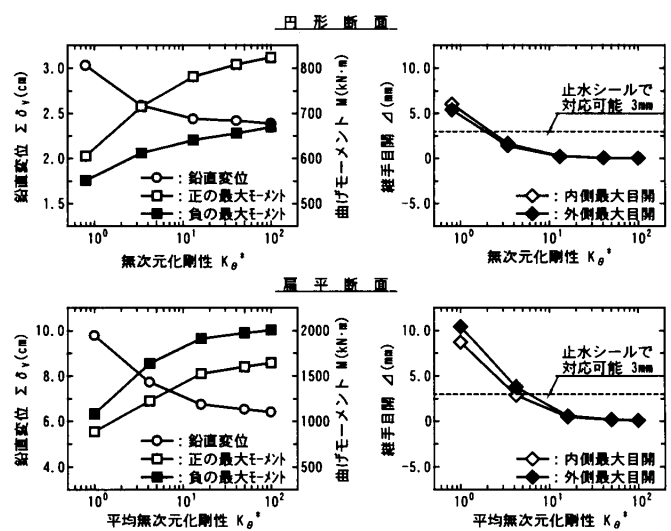


図-4 継手剛性の影響検討結果

文献1) 鈴木他：超大断面扁平シールドの施工過程を考慮した数値解析，土木学会第57回年次学術講演会（投稿中）

文献2) 早稲田大学理工学部土木工学科 村上研究室：セグメントの設計法に関する研究，昭和54年2月