

III-48 大深度・大断面セグメントリングに及ぼす継手剛性の影響の検討

NKK 正会員 長山秀昭 上田 裕志  
 顧問組 正会員 岡田知己 竹之内康昭

1. はじめに

都市の高密度化に伴い地下インフラ施設建設の目的で地下深部に有効活用するために、シールドトンネルの大深度化,大断面化が検討されている。大深度・大断面シールドトンネルの合理的なセグメント構造を考える上で課題のひとつとして継手の問題がある。特に、継手構造を検討するにあたって継手剛性がセグメントリングの挙動に及ぼす影響を適確に評価することが重要となる。また、地下深部にトンネルを構築する場合、地山条件がよいことや裏込め施工を考慮し地山特性を積極的に利用して経済的なセグメント構造を検討することもひとつの課題である。

本報告は、土被り50m,直径20mの円形断面トンネルを洪積砂地盤に構築することを想定し、はり-バネ系モデルを用いて、継手剛性のセグメントリングに及ぼす影響のケーススタディを行うとともにその結果から、合理的なセグメント構造に関し考察を行うものである。

2. はり-バネ系モデルによるケーススタディ

2.1 計算モデル

計算に用いた検討条件,計算モデルをそれぞれ表-1,図-1に示す。周辺地山は、地盤反力係数  $k=5 \text{ kg/cm}^3$  としセグメントリングは16分割する。セグメントリングの組み方は千鳥組み(2リング1サイクル)とイモ継ぎの2ケースを考えた。

2.2 計算結果

(1) セグメント本体の曲げモーメント

継手部剛性とセグメント本体の曲げモーメントの関係を求めた結果を図-2に示す。継手部剛性については、ピース間継手の回転バネ定数  $K\theta$  は村上,小泉らにより提案されている無次元化した継手剛性  $K\theta^*$  で整理する。

$$K\theta^* = K\theta / (EI/Rc) \quad \dots(1)$$

ただし、 $K\theta$ :回転バネ定数,  $EI$ :セグメント本体の曲げ剛性,  $Rc$ :セグメントリングの図心半径である。セグメントリングは  $K\theta^*$  の値に応じ、以下のように類別される。<sup>1)</sup>

$K\theta^* > 10^2$ : 曲げ剛性一様リング

$10^1 < K\theta^* < 10$ : 現状のボルト継手を有するリング

$K\theta^* < 10^0$ : 多ヒンジ系リング

次にリング間継手のせん断バネ定数  $K_s$  は、千鳥組みによる添接効果が完全に発揮される場合 ( $K_s = \infty$ ),有限なせん断剛性をもつ場合 ( $K_s = 10^3 \sim 10^6 \text{ t/m}$ ),千鳥組み効果が全くない場合 ( $K_s = 0$ ) のケースを考えた。なお、千鳥組みモデルにおける  $K_s = 0$  の場合は、イモ継ぎの場合に相当する。図-2において、 $K\theta^* > 10^2$  程度の曲げ剛性一様リングと見なせる領域では、セグメント本体の曲げモーメントは  $M=194 \cdot t \cdot m$  となりリング間継手剛性 ( $K_s$ ) の影響はあまりない。一方、 $K\theta^* < 10^2$  の領域ではセグメント本体の曲げモーメントは、リング間継手剛性 ( $K_s$ ) の大きさにより大きく変化する。 $K\theta^* < 10^0$  の領域では、リング間継手が剛 ( $K_s = \infty$ ) になるとセグメント本体の曲げモーメントは剛性一様リングと比べて約1.7倍 ( $=330/194$ ) 程度になる。リング間継手剛性 ( $K_s$ ) とセグメント本体の曲

表-1 検討条件

セグメント外径 D	φ20.0 m	
土被り	50.0 m	
地下水位	45.0 m	
対象土層	砂質土 N値≧50	
土質定数	土の単位重量	$\gamma = 1.9 \text{ m t/m}^3$ ( $\gamma' = 0.9 \text{ t/m}^3$ )
	内部摩擦角	$\phi = 40^\circ$
	側方土圧係数	$\lambda = 0.4$
	地盤反力係数	$k = 5.0 \text{ kg/cm}^3$
土圧・水圧の考え方	土圧・水圧分離する	
鉛直荷重(ゆるみ荷重)	2D分の土圧を考慮	
分割数	16分割( $\theta A = \theta B = \theta K = 22^\circ 30'$ )	
セグメント本体	桁高	1 m
	幅	1.25 m
	弧長	3.927 m
	ピース重量	12.2 ton
継手	ピース間	回転バネ
	リング間	せん断バネ

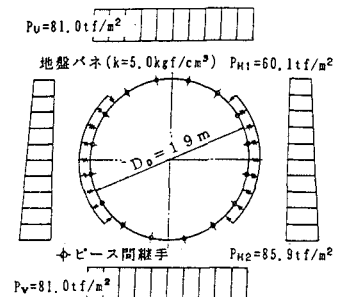


図-1 計算モデル

げモーメントとの関係を示すと図-3のとおりである。図-3より $K_s=10^4\sim 10^5$  t/m付近にて曲げモーメントが急激に変化し、 $K_s$ が大きくなるにつれて千鳥組みによる添接効果が発揮される。

(2) セグメント本体の軸力

ピース間継手剛性とセグメント本体の軸力との関係を図-4に示す。セグメントの軸力については、継手部剛性の影響は非常に少ない。

(3) セグメントの変形

(クラウン鉛直変位)

図-5にピース間継手剛性とセグメント変形との関係を示す。今回のような地山条件下

では変形に関してはセグメントリングが千鳥組み、イモ継ぎ( $K_s=0$ に相当)のいずれの場合でもピース間継手曲げ剛性 $K\theta^*$ が $K\theta^*>10^\circ$ であればリング間継手の剛性によらず変位はほぼ一定であり、 $K\theta^*<10^\circ$ の領域でも変位の増加の程度は少ない。

(4) セグメントの応力

セグメント本体部分の応力状態を示したのが図-6である。図-6より $K_s>10^4\sim 10^5$  t/mの領域ではセグメントは曲げの影響により圧縮・引張の状態になり、コンクリートは許容応力度( $\sigma_{ca}=150\text{kg/cm}^2$ )を超える場合がある。これに対して $K_s<10^4\sim 10^5$  t/mにおいては、セグメント本体は全断面圧縮応力状態になり、圧縮応力は $\sigma_c=100\text{kg/cm}^2$ 前後に低減される。

3. 結論

今回の条件における検討結果から、大深度・大断面のセグメント構造に関して下記のことが分かった。

- ① セグメントリングを千鳥に組み立てる場合は、ピース間継手剛性とリング間継手剛性の組み合わせにより、曲げが増大する傾向があるので、特に $K_s$ の設定については慎重な配慮が必要となる。
- ② セグメントリングをイモ継ぎとする場合、ピース間継手曲げ剛性を $K\theta^*=1$ 程度にすることにより変形は千鳥組みと同程度(図-5)でしかも応力的には千鳥組みの場合より小さくなる(図-6)傾向を示すなど経済的なセグメント構造といえる。

4. おわりに

今後、継手方法・継手剛性等についてより詳細な検討を加え合理的なセグメント構造を提案していきたい。本報告は、地下総プロ「大深度・大断面シールドトンネルの設計施工技术に関する研究」において建設省土木研究所、(財)先端建設技術センターとの共同研究として実施したものの一部である。

(参考文献)

- 1) 村上博智・小泉淳:「シールドセグメントリングの耐荷機構について」土木学会論文報告集第272号, 1978.4

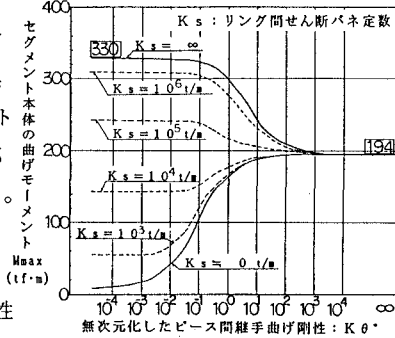


図-2 ピース間継手曲げ剛性と曲げモーメントとの関係

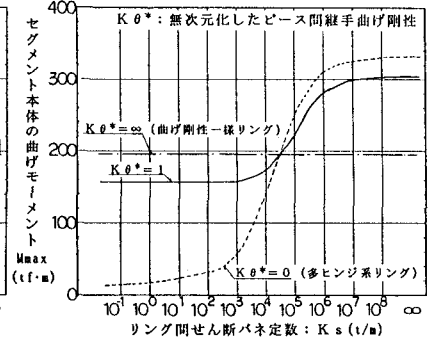


図-3 リング間せん断バネ定数と曲げモーメントとの関係

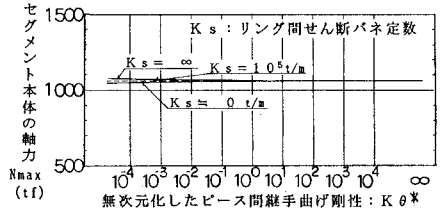


図-4 ピース間継手曲げ剛性と軸力との関係

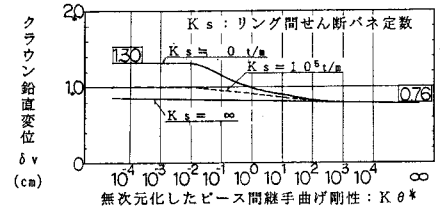


図-5 ピース間継手曲げ剛性と変位との関係

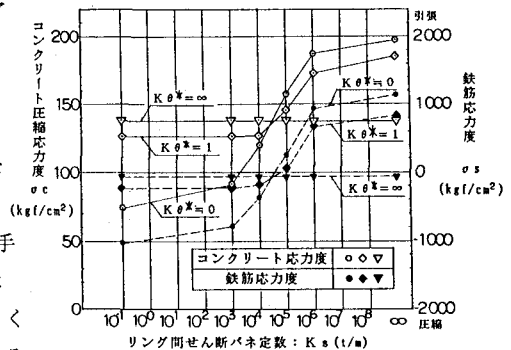


図-6 リング間せん断バネ定数とセグメント応力との関係