

III-610

六角形セグメントの形状と継手曲げ剛性に関する一考察

竹中技術研究所 正会員 ○吉 澤 敦
 竹 中 土 木 正会員 脇 田 一
 竹 中 土 木 正会員 藤 井 義 文

1. はじめに

六角形セグメントは、同一形状でリングを構成できるため、製作、管理、組立における省力化、自動化に対し非常に有効である。しかし、図-1のような組立方法を行うため、従来形セグメントと比較すれば千鳥組の効果が小さく、リング間の添接効果が期待できない。したがって、セグメント継手には変形に対し、十分な曲げ剛性を持つことが要求される。

また、六角形セグメントでは、継手がトンネル軸方向に傾斜しているため、継手の剛性は図-2に示すようにせん断剛性に支配されると考えられる。

本報告では継手のせん断剛性に着目し、セグメント形状と曲げ剛性との関係を求め、最適セグメント形状(セグメント先端傾斜角)について考察したものである。

2. 解析モデル及び手法

解析には、汎用構造解析プログラムNASTRANを使用し、三次元シェル架構解析手法¹⁾により検討を行った。

セグメントは図-1に示すように1リング当たり6分割とし、1ピースを図-3に示す要素に分割した。セグメント継手においてはせん断剛性の効果を確認するため、半径方向、トンネル軸方向にせん断バネを配置し、回転バネは考慮していない。リング間継手においては半径方向、軸方向にせん断バネを配置した。

解析に用いた諸定数を表-1に示す。作用荷重は、簡単なため図-4に示すように左右対称な等分布荷重とした。

なお、せん断バネ定数は継手の離間後を想定し、セグメント先端傾斜角に関わらず一定値とした。

3. 解析内容

図-3に示すセグメント先端傾斜角 θ をパラメータとし、

- ① $\theta = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ の6ケースとし、変形量を比較した。
- ② 従来型セグメント($\theta = 0^\circ$)の継手回転バネ定数を $1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^1$ (tf・m/rad)として計算を行い、従来形セグメントの曲げ剛性との比較を行った。

4. 解析結果

図-5に $\theta = 10^\circ \sim 40^\circ$ についての変形図を示す。

図-6に θ と最大変位量との関係を実線で、従来形セグメントの各回転バネ定数 k (tf・m/rad)における最大変位量を破線で示す。図-6より、 θ の増加に伴い変形量が小さくなり、その

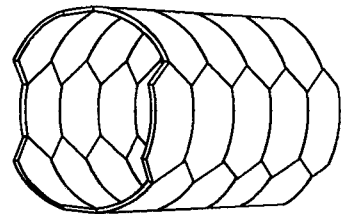


図-1 六角形セグメント

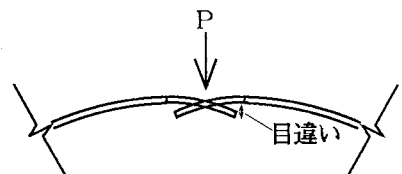


図-2 継手の曲げ変形(六角セグメント)

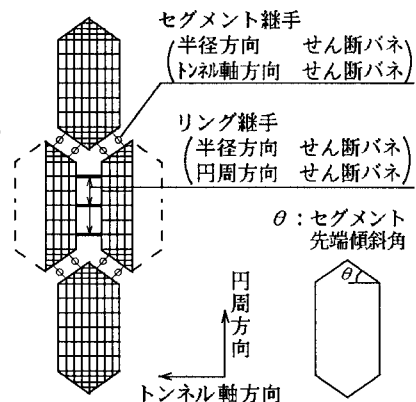


図-3 三次元シェル架構モデル

傾向は $\theta = 20^\circ$ までは顕著であるが、 $\theta = 30^\circ$ 以上ではあまり変化しなかった。このことより、変形量からみた最適セグメント形状としては $\theta = 30 \sim 45^\circ$ が適当であると考えられる。また従来形セグメントの変形量と比較すると、せん断バネ定数を $1.0 \times 10^5 \text{ tf/m}$ とした場合、 $\theta = 45^\circ$ 以上で回転バネ定数 $k = 1.0 \times 10^3 \text{ tf} \cdot \text{m/rad}$ の継手を有する従来形リングにおける変形量に相当することがわかった。今回、六角形セグメントの計算においては回転バネを無視していることを考慮すれば $k = 1.0 \times 10^3 \sim 10^4$ 相当の変位量になると推定される。これにより六角形セグメントは継手部に適当なせん断剛性を持たせれば従来形セグメントと同等の性能を確保することが可能であると思われる。

図-7に θ とせん断バネに発生する半径方向のせん断力との関係を示す。 θ の増加とともに発生せん断力は減少しているのがわかる。変形量のような明らかな変曲点は見られないが、 $\theta = 40^\circ$ 以上になると変化量は小さくなっている。

5. おわりに

今回のように、継手を一定のせん断バネ定数のみで評価できると仮定すると、次のようなことが明らかになった。

- ① θ を大きくすれば曲げ剛性が大きくなり、変形量が小さくなる。また、 $\theta = 30^\circ$ 以上の範囲では θ による変化は小さくなり、セグメント先端傾斜角は $\theta = 30 \sim 45^\circ$ が適切である。
- ② 継手に適切なせん断剛性を与えることにより従来形セグメントと同等の変形に対する性能が得られる。

今後の検討課題を以下に挙げる。

- ① 軸力一定でも、 θ が変化すると継手面に垂直に作用する力が変わる。これによるせん断バネへの影響や回転バネを考慮した継手の剛性の評価。
- ② 要求されるせん断剛性を有する継手構造。

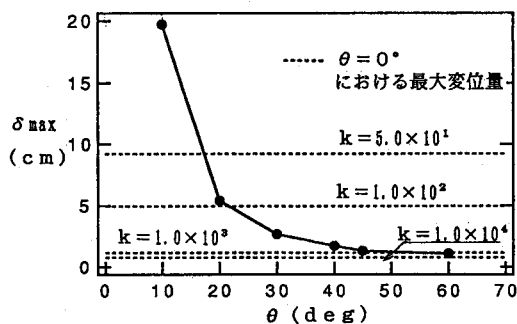


図-6 セグメント形状と最大変位量の関係

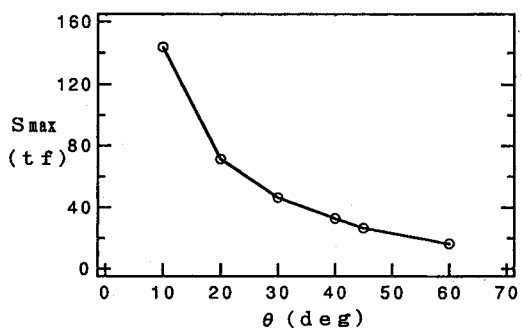


図-7 セグメント形状と継手に発生するせん断力の関係

表-1 解析に用いた定数

断面2次モーメント	$1.3 \times 10^{-3} \text{ m}^4$
ヤング係数	$3.5 \times 10^5 \text{ tf/m}^2$
ポアソン比	0.167
せん断バネ定数	$1.0 \times 10^5 \text{ tf/m}$
回転バネ定数 ($\theta = 0$)	$1.0 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4 \text{ tf} \cdot \text{m/rad}$

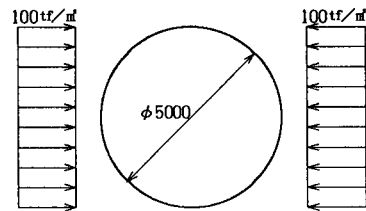


図-4 作用荷重

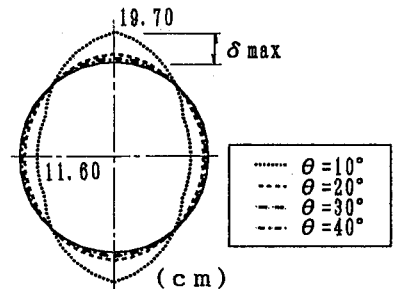


図-5 変形図