

(株) フジタ 正会員○藤本直昭 正会員 大井隆資 正会員 片岡希誉司
正会員 岸下崇裕 正会員 青景平昌 本間俊雄

1. はじめに

近年、内水圧対応型のシールドトンネル用セグメントの需要が増えつつある。著者等は、このセグメントに新規な力の伝達機構であるセグメントピースどうしのかん合による構造形態を考案した。構造形態を決定するに当たり、隣接するセグメントリング間のかん合部に関する形状解析と系全体の荷重耐荷メカニズムの確認を有限要素法により行ってきた。本報告では、これらの近似解析結果から得られた知見を述べると共に構造形態の有効性と妥当性を示す。

2. 構造形態

図-1に考案したセグメント形状を示す。本体はRCもしくはSRC構造で、リング間継手面に半径方向および円周方向のほぞを設置し、相対するほぞのかん合により各方向の外力をリング間のせん断力に変換させる力の伝達機構である。円周方向のほぞは、内水圧に対応する目的で新たに設置した構造であり、セグメント組立時の施工性を考慮して、設定したクリアランスに樹脂注入することでかん合部の一体化を図る形態となっている。

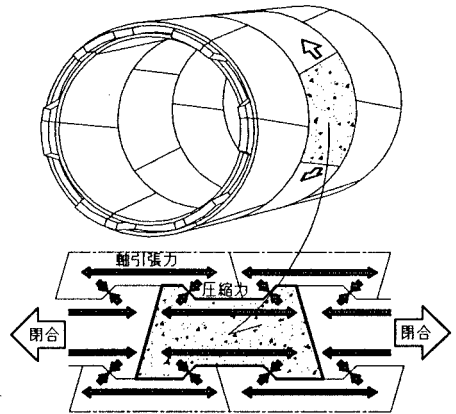


図-1 セグメント形状図

3. 有限要素法による形態解析

円周方向のほぞによる力の伝達機構に注目し、ほぞの形状解析と系全体の応力解析に分け、近似解析を行った。

3-1 かん合部形状解析 ほぞの形状とほぞ周辺に発生する応力の関係を調べ、最適なほぞ形状を検討した。解析モデルは二次平面(用いた要素は平面ひずみ要素)とし、相対するほぞの面を対称面とする問題と考え、図-2のハッチング部のみで計算した。外力条件と境界条件及び分割図を図-3に示す。解析ケースとして、ほぞの角度 $\theta=30, 40, 45, 50, 60$ 度を設定した。荷重は図に示すように圧縮荷重のみを与えた。解析手法は表-1の材料特性を用いた弾塑性解析である。

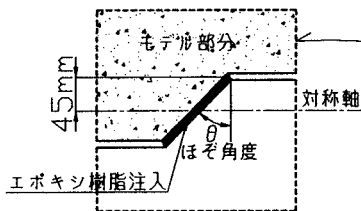


図-2 円周方向ほぞ形状図

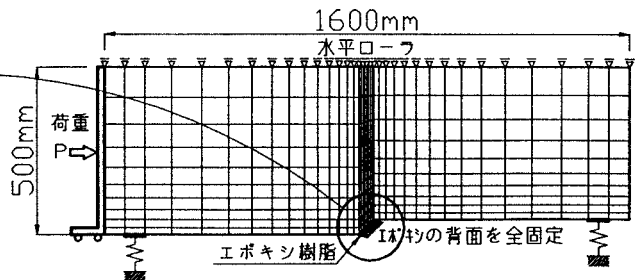


図-3 解析モデル

3-2 系全体の応力解析 ほぞのかん合のみで構成された覆工リングに内圧を作用させ、覆工体内部の応力分布状態から荷重耐荷機構の成立を確認した。解析モデルは、図-4に示すようにトンネル軸方向に $1/2 + 1 + 1/2$ 幅の3リングセグメント(用いた要素は厚肉シェル要素)を結合し、各セグメントの継手部をばね要素で連結した接触問題とした。ばね値は3-1の解析結果から設定した。境界条件はトンネル軸方向に連続条件と外周全面にバネ支床を与えた。内圧荷重はほぞ部の耐力照査の最大値を用いた。材料特性は3-1と同じである。

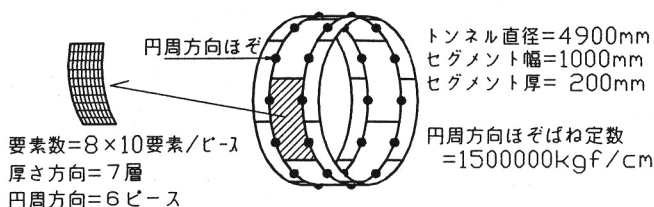


図-4 シェル解析モデル

4. 解析結果と考察

4-1 かん合部形状解析 ほぞ周辺部の応力分布の一例を図-5 に示す。圧縮応力分布の範囲は、各解析ケース共ほぼ同程度であった。円周方向ほぞからセグメント本体への力の伝達効率率はほぼ同等と考えられる。ほぞ受圧面のごく近傍に発生する圧縮応力の最大値は、ほぞ角度により大きく変化した。ほぞ部の耐力照査をほぞ投影面の許容圧縮応力度($=180 \times 1.5 \text{ kgf/cm}^2$)で行う場合、グラフから類推するとほぞ角度を 15 度以上とすれば局所的な最大応力値でもコンクリートの弾性範囲内で設計できると判断した(図-6)。

4-2 系全体の応力解析 セグメントリング内部の応力分布状態を図-7 に示す。軸引張力は、円周方向ほぞを介して円滑に伝達され閉合されていることが確認できた。隣接リングの継手位置におけるセグメント幅方向の応力分布を図-8 に示す。リング継手付近の引張応力は中央部と比較して 140%程度であり、最大応力値は約 30 kgf/cm^2 であった。端部に鋼材を配置することでひび割れ制御できると判断した。

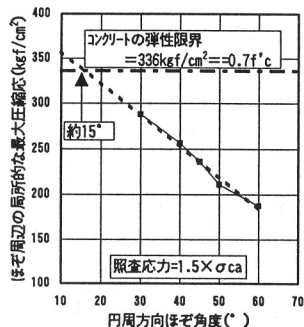


図-6 ほぞ角度と局所最大応力

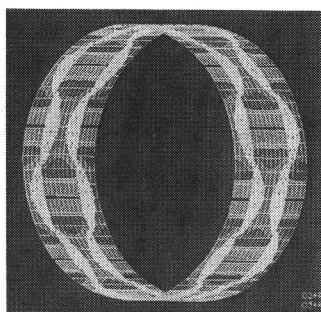


図-7 応力分布状態(軸引張力)

圧縮応力値(kgf/cm²)
①=200 ②=150 ③=100
④= 50 ⑤= 0

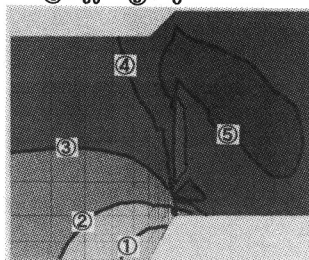


図-5 ほぞ周辺応力分布
(ほぞ角度=30 度の場合)

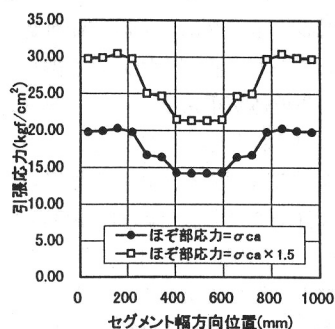


図-8 幅方向の応力分布
(継手位置)

5. おわりに

以上の解析結果と考察から以下の結論を得た。そして、本構造形態の有効性と妥当性を確認した。

- ①円周方向ほぞとセグメント本体の力の伝達効率率は、ほぞ角度が 30～60 度の範囲ではほぼ同等と考えられる。
- ②円周方向ほぞの角度を 15 度以上とすれば、許容圧縮応力による照査方法で安全に設計できる。
- ③円周方向ほぞによる軸引張力の伝達で、想定荷重に対しセグメントリングとしての耐荷機構は成立する。
- ④セグメント幅方向の応力分布の不均一性は、鋼材による補強で対応可能である。

今後は、円周方向ほぞ周辺部のひび割れ発生に伴う影響の解析、さらにリング供試体を用いた載荷実験結果との対比などを行い本構造の実用化を図って行く予定である。

参考文献

- 1) 田中・村上: R C 平板型切ノットの切ノット幅に関する研究, 土木学会第 40 回年次学術講演会 Ⅲ-331～332, 1985
- 2) 有限要素法ハブ・ア・カ, I. 基礎編, 培風館, 1981
- 3) 有限要素法ハブ・ア・カ, II. 応用編, 培風館, 1983

有限要素法には、汎用コード MARC を用いた