

大断面八ニカムセグメントの軸力を導入した継手性能確認試験

首都高速道路公団 正会員 角田 浩* 首都高速道路公団 正会員 遠道康裕*
 奥村・銭高・大本JV 正会員 高橋 忠** 奥 村 組 正会員 荒川賢治***

1. まえがき

首都高速中央環状新宿線の中落合シールドトンネル（内回り）工事において、RC セグメントは外径 11.8m 内径 10.9m 厚さ 45cm 幅 1.5m の二次覆工省略型で、**図-1** に示す全ピース同一形状（六角形状）の八ニカムセグメントを採用している。本セグメントは、継手が長ボルト連結のため、セグメント内面が平滑で、ボルト孔の閉塞処理が不要となる特徴を有している。これまでの適用実績は外径 6m 以下であるため、今回の大断面シールドトンネルへの採用に際しては、本工事で想定される設計荷重を継手に導入した継手曲げ試験を行い、大断面トンネルにおける継手の回転ばね定数の設定等^{1),2)}に関する設計手法の妥当性を確認した。本文では、軸力導入した実大の継手性能確認試験の結果を報告する。



図-1 八ニカムセグメント組立概念

2. 軸力を導入した継手性能確認試験の概要

試験では、実工事の設計断面力に相当する軸力 N_j と曲げモーメント M_j を継手に導入し、実地盤相当荷重における安全性を確認した。また、継手の回転ばね定数 $k\theta$ の実測値と外径 6m 以下の実大載荷試験³⁾から得られている八ニカムセグメントの $k\theta$ 算定式（継手に作用する軸力 N_j と曲げモーメント M_j をパラメータとして誘導。以下、「八ニカム経験式」と呼ぶ）との比較を行った。さらに継手ボルト軸力の実測値と、八ニカムセグメントの設計モデルから誘導される設計値との比較を行い、大断面における八ニカムセグメントの設計手法の妥当性を検証した。

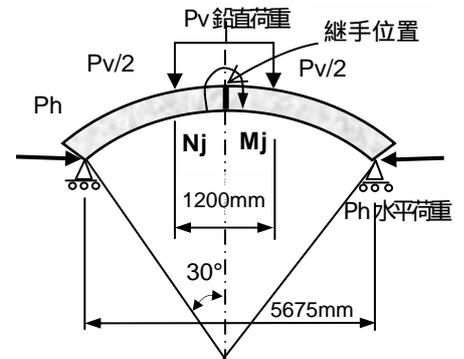


図-2 試験装置概要

継手への荷重導入は、**図-2** に示すように支承部の左右からの水平荷重 Ph と、2点載荷で導入する鉛直荷重 Pv とをバランスさせながら導入し、継手に所定の曲げモーメントと軸力を入力した。

3. 曲げモーメントの導入水準

本工事における、RC セグメント（八ニカムセグメント）の継手に作用する設計断面力は、軸力 N_j が 1500 ~ 3000kN/ring と高軸力領域であり、継手ボルトには引張力が作用せず圧縮状態で目開き量は微小となる。軸力 N_j の高軸力領域では曲げモーメントを設計断面力まで導入し、主に継手各部の異常のないことを確認することを主眼とした。また、試験により継手の回転ばね定数を確認するため、本工事で想定される軸力 N_j の領域ではないものの、継手ボルトに引張力が作用し、より継手の目開き量が大きくなる軸力 $N_j = 1000\text{kN/ring}$ 以下の低軸力領域において、許容曲げモーメント M_{ja} まで荷重を導入し、八ニカム経験式と比較する。

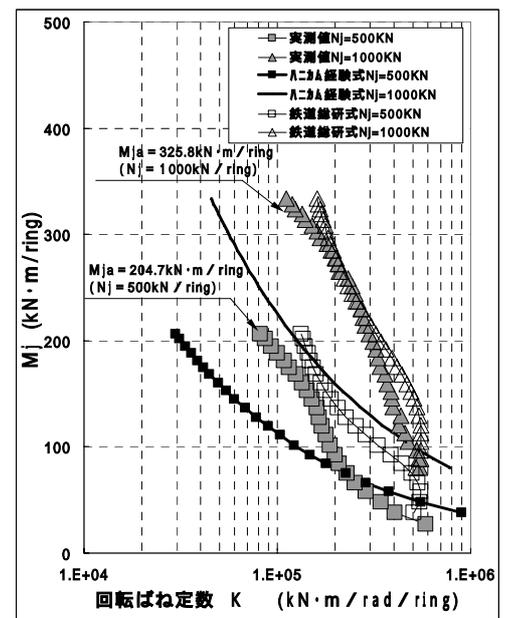


図-3 回転ばね定数 $k\theta$ 計測結果 正曲げ； $N_j = 1000\text{kN/ring}$ 以下

大断面トンネル	RC セグメント	二次覆工省略	継手剛性
* 首都高速道路公団	東京建設局建設第一部	〒160-0023	東京都新宿区西新宿 6-6-2 TEL.03-5320-1665 FAX.03-5320-1658
** 奥村・銭高・大本 JV	要町シールド工事所	〒171-0044	東京都豊島区千早 1-15-20 TEL.03-5917-9105 FAX.03-3554-5187
*** 奥 村 組	技術本部技術開発部	〒108-8381	東京都港区芝 5-6-1 TEL.03-5427-8470 FAX.03-5427-8104

4. 試験の結果

(1) 継手の回転ばね定数 $k\theta$ の実測値

図-3~4 に、継手の軸力 $N_j = 1000\text{kN/ring}$ 以下の低軸力領域、および $1500 \sim 3000\text{kN/ring}$ の高軸力領域に整理して、正曲げの継手試験で得られた回転ばね定数 $k\theta$ の実測値を、八ニカム経験式、および参考文献⁴⁾に示された提案式(以下、「鉄道総研提案式」と呼ぶ)と比較して示す。低軸力領域では、回転ばね定数の実測値は継手ボルトに引張力が作用する荷重段階で八ニカム経験式に比較して約3~4倍となる結果が得られた。既往の外径6.0mまでの八ニカムセグメントの各種実大試験結果に対し、今回のトンネル外径を考えれば、概ね外径比のほぼ2乗に比例する結果となる。また、鉄道総研提案式よりやや小さめの値となっている。一方、継手が圧縮状態となる高軸力領域では、実測値が八ニカム経験式および鉄道総研提案式をいずれも上回っている。なお、高軸力状態では、回転ばね定数が非常に大きいため、回転ばね定数を1オーダー以上変化させて試算しても、計算によって得られる断面力の差異はほとんどないことを事後の検討から確認している。

(2) 継手ボルト軸力の計測結果

図-5 に継手ボルト軸力の実測値を示す。同図では、ボルトの初期締付力(226 kN/本)を計測上の原点(=0)として表示している。軸力 $N_j = 1000\text{kN/ring}$ 以下の領域では、導入した荷重が許容曲げモーメント M_{ja} に近づくに従い、継手ボルトに初期締付力以上の引張力が作用し、徐々にボルト軸力が増加している。また図-5では、八ニカムセグメントの設計マニュアルに従い誘導した導入荷重ごとの継手ボルト引張応力度計算値を実線で示している($n=15$ と、コンクリートの実ヤング係数 $E_c=3.9 \times 10^5$ を用いた $n=5.4$ の場合)。継手ボルト軸力の実測値は計算値と比較的一致している。なお、軸力 $N_j = 1500\text{kN/ring}$ では継手ボルト軸力は検出されておらず、継手の回転ばね定数が非常に大きく得られたことと整合している。

これらの結果から、参考文献^{1), 2)}に示された八ニカムセグメントの継手の設計上の扱いは、セグメント桁厚の大きい大断面トンネルでも適用可能と考えられる。

5. まとめ

継手に軸力を導入し、設計断面力以上の曲げモーメントを作用させた試験から、継手の目開きや目違いは軽微であり、実施工においても問題のない数値に留まることを確認した。また、試験で得られた継手の回転ばね定数 $k\theta$ は、過去に外径6.0m以下の実大載荷試験で検証された八ニカム経験式より大きく、外径比の2乗にほぼ相当する結果が得られた。ボルト軸力の計測から、これまでの八ニカムセグメントの設計モデルが大断面においても適用できることを検証した。なお、本工事は平成15年12月にシールドマシン発進予定である。

【参考文献】

- 1) 八ニカムセグメントの技術審査証明報告書：(財)先端建設技術センター、平成9年3月。
- 2) 荒川賢治他：八ニカムセグメント 連載講座セグメントの新技术トンネルと地下、vol. 29, No.12, 1998.12 pp91-94。
- 3) 高橋忠他：八ニカムセグメントの実大載荷試験、土木学会第49回年次学術講演会、-672, 673, 1994.9。
- 4) 鉄道構造物等設計標準・解説 シールドトンネル；鉄道総合技術研究所の参考資料 No.16。

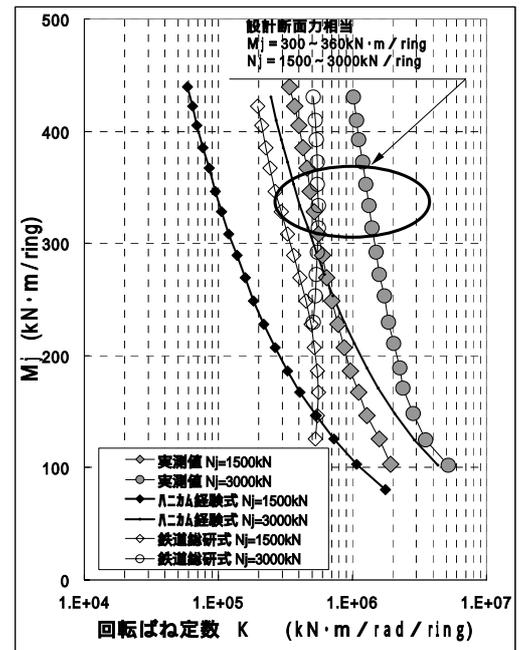


図-4 回転ばね定数 $k\theta$ 計測結果
正曲げ；軸力 $N_j=1500, 3000\text{kN/ring}$

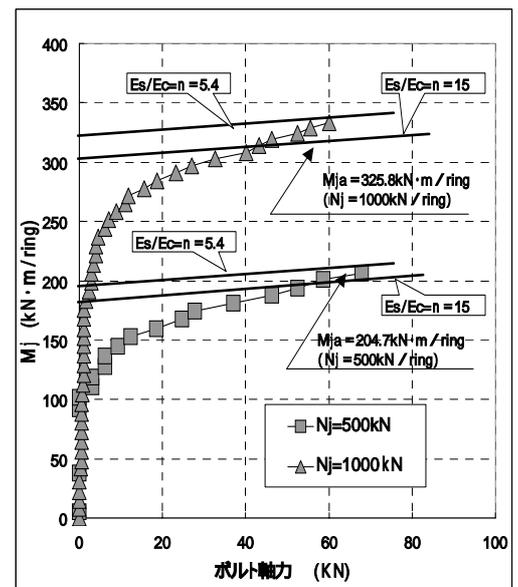


図-5 ボルト軸力計測結果
正曲げ；軸力 $N_j=500, 1000\text{kN/ring}$