

Ⅲ-630

リングシールド工法の開発（その8）

～ セグメント継手の曲げ実験について ～

住友金属工業(株) 正会員○阿部 幸夫 不動建設(株) 正会員 奥 利明
五洋建設(株) 濱田 和人 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

リングシールド工法¹⁾²⁾において、リング部のトンネル覆工は今のところ、中空ボックスタイプ鋼コンクリート合成構造のセグメントを、リング継手をガイドとして送り込み、ナット埋め込みタイプ直ボルト方式のセグメント継手によって連結することにより構築することを考えている。

本研究では、このような他に類を見ないセグメントおよび継手手に関して、その構造ならびに設計法の確立を目的として一連の載荷実験を行い、その耐荷変形性能を調査した。本報告は其中で特に、セグメント継手の曲げ実験結果について報告するものである。

2. 実験概要

供試体には、3車線道路トンネルを対象とした実物大のセグメント単体をセグメント継手面で6ピース連結したセグメント群を用いた。セグメント継手は、単体の地山側および内空側にそれぞれ3箇所ずつ配置しており、いずれも施工の合理化を目的として、ナット側は埋め込みナット（補強リブにより本体鋼殻部に固定）としている。締結された状態のセグメント継手部の断面を図1に示す。なお、今回の実験対象は供試体中央のセグメント継手面のみとし、これ以外の継手面は溶接により接合して本体と同等の強度特性を有するようにした。

供試体の種類は、表1に示すように、継手部のボルトに導入した初期締め付け力の異なる2体とした。

継手部に使用した主な材料は、継手ボックス部ジョイントプレート($t=32\text{mm}$)および本体端板($t=8\text{mm}$)がSM490、埋め込みナットがSS400である。また、締結時に用いるボルト(M36)の材質は10.9とした。

載荷方法は、図2に示すように鉛直方向に設置した油圧ジャッキによる2点載荷で、継手部抵抗曲げモーメント($65.0\text{tf}\cdot\text{m}$)の1.3倍の曲げモーメント($84.6\text{tf}\cdot\text{m}$)が継手部に作用するまで加力した。

3. 実験結果および考察

(1) 荷重と中央変位との関係

鉛直方向荷重と継手位置である供試体中央変位との関係を図3に示す。この図から、載荷荷重15tf程度まではいずれの実験結果も、図中の本体計算結果（本体全鋼殻部を鉄筋とみなしたRC弾性理論によるセグメント本体の変形特性）に近い剛性を示していたが、それ以降は継手部に目開きが生じたと思われ、継手部ジョイントプレートの変形およびボルトの伸び等により、荷重の増加とともに剛性が低下した。しかしながらその変形特性は、後述する継手目開き前の回転ばね定数 $K\theta 1$ と目開き後の回転ばね定数 $K\theta 2$ の計算結果の範囲内で推移しており、継手部の性能としては、特に問題のない結果であった。

また、ボルトの初期締め付け力を増加させることにより、継手部の剛性が向上した。

(2) 曲げモーメントと継手ボルトの軸応力との関係

継手部に作用させた曲げモーメントと曲げ引張側であるトンネル内空側ボルトの軸応力との関係を図4に示す。この図から、どちらの供試体も中央のボルトより両端のボルトの方が曲げモーメントの増加に伴い大きな軸応力の値を示していることがわかる。これは、セグメント本体が中空ボックス構造のため、本体側部から応力が伝達されることによる影響と

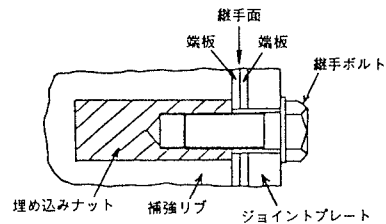


図1 セグメント継手部の構造

表1 供試体の種類

供試体No.	ボルトの初期締め付け応力
B-1	2400 kgf/cm ²
B-2	4500 kgf/cm ²

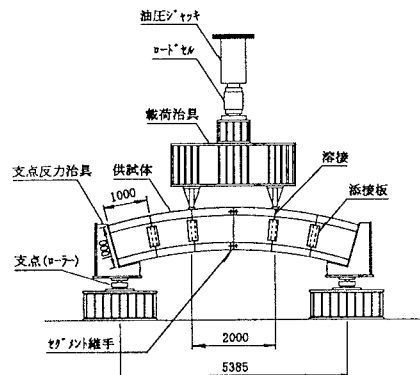


図2 載荷方法

思われる。

また、ボルトの初期締め付け応力を 4500kgf/cm^2 としたB-2供試体は、 2400kgf/cm^2 としたB-1供試体に比べ、締め付け応力の影響により、曲げモーメントの増加に対してボルト軸応力の増加が小さかった。

なお、今回の実験では安全上の制約により継手部抵抗曲げモーメント $65\text{tf}\cdot\text{m}$ の1.3倍までしか載荷していないことから、継手部の最終耐力に関しては判断できないものの、曲げモーメントの増加に伴い最終的にはどちらの供試体も、計算値として示したボルトを引張鉄筋とするRC断面（ボルトの初期締め付け力は考慮せず）で評価できるものと考えられる。

（3）曲げモーメントと継手回転角との関係

継手部に作用させた曲げモーメントと継手回転角との関係を図5に示す。なお、図中の実験結果として、継手部に設置した開口変位計により求めた継手回転角のほかに、セグメント本体の曲げ実験結果との変位差から得られた継手回転角（B-2供試体のみ●印で表示）も併せて示した。また、図中の計算結果は、継手部をRC断面とみなしてボルトに生じる引張力を求め、村上-小泉の方法³⁾をもとに、継手部の埋め込みナット側を剛体とし他方をボルトとジョイントプレートとの並列ばねとしてモデル化し算出した継手部目開き前の回転ばね定数 $K\theta_1$ と目開き後の回転ばね定数 $K\theta_2$ である。

B-2供試体について、二つの方法による実験結果を比較すると、開口変位計から求めた継手回転角の方は、継手部に目開きが生じる前の回転ばね定数 $K\theta_1$ が明瞭に現れなかった。これは、開口変位計が真の継手回転角のほかに本体そのものの変形の影響も計測してしまうことにより、ボルトへの初期締め付け力の効果がデータ上現れない結果となったことが考えられ、実際には、セグメント本体の曲げ実験結果との変位差から算出した●印で示す値のように、載荷初期の段階では継手部に目開きが生じない $K\theta_1$ の領域が存在するものと考えられる。なお、このことは、先に示した図3の供試体の変形特性からも裏付けできる。しかしながら、この $K\theta_1$ の領域については、今回の実験結果からだけでは明確にすることはできず、今後の検討が必要である。これに対し、両実験値とも目開き後の回転ばね定数 $K\theta_2$ についてはほぼ計算値と一致しており、今回用いた解析モデルにより推定できることが明かとなった。

4. おわりに

今回の実験結果から、本セグメント継手部は、変形特性上、特に問題となるような挙動は見られず十分実用に供しうる構造であることがわかった。また、継手部の最終耐力は、ボルトを引張鉄筋としたRC断面で評価できるものと考えられる。さらに、はり-ばねモデルによる設計の際に必要な継手部回転ばね定数を推定する計算モデルも得られた。

なお、本研究は、リングシールド工法研究会〔五洋建設(株)、住友建設(株)、(株)錢高組、東急建設(株)、日本国土開発(株)、不動建設(株)、三菱重工業(株)、住友金属工業(株)〕の共同研究として実施したものである。

【参考文献】

- 1) 毎田, 鶴岡, 金子ほか: リングシールド工法の開発(その1~3), 土木学会第48回年次学術講演会概要集第6部, pp.216-221, 1993.9
- 2) 鳥海, 岩橋, 浅上ほか: リングシールド工法の開発(その4~6), 土木学会第49回年次学術講演会概要集第6部, pp.418-423, 1994.9
- 3) 村上, 小泉: シールド工事用セグメントのセグメント継手の挙動について, 土木学会論文報告集 296号, 1980.4

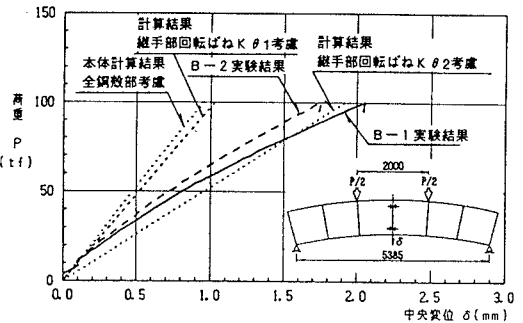


図3 鉛直荷重と中央変位との関係

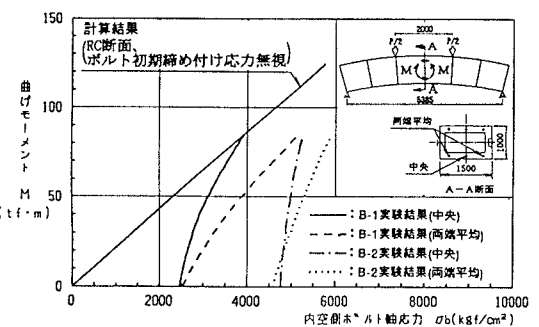


図4 曲げモーメントと内空側ボルト軸応力との関係

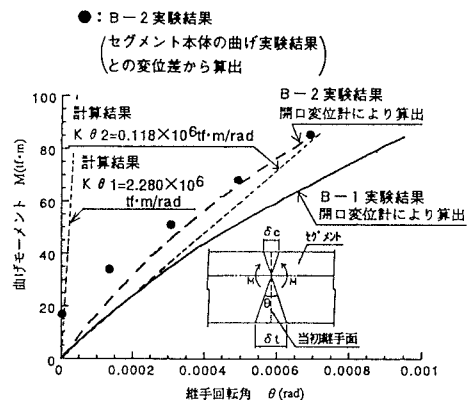


図5 曲げモーメントと継手回転角との関係