

曲がりボルト締結に関する試験報告

EXPERIMENT ABOUT BEHAVIOR OF CURVED BOLT ON FASTENED CONDITION

園田徹士^{*)}, 名倉 浩^{*)}, 萩原 勉^{*)}

Tetushi SONODA, Hiroshi NAGURA, Tsutomu HAGIWARA

The behavior on fastend condition of curved bolt ,used for joint of segment for shield driven tunnel, were grasped by experiments and frame analyses. Because of the curved bolt has characteristic tendency to straight line form on fastened up condition, the bolts are not able to function satisfactory torque ,only going on displacement. Consequently ,these conclusions were gotten ;In order to arrange the inside distance of bolt and bolt hole as narrow position as possible, the displacement of bolt is restincted early stage, satistactory torque is functioned.

Keywords:shield driven tunnel, segment joint, curbed bolt, fastening up experiemt

1. はじめに

シールドトンネル工法で覆工に用いられているRCセグメントについて、組立の高度化への対応やコスト縮減のための継手構造の簡便化や、品質向上による二次覆工の省略などへの取り組みが近年急速に高まっている。

著者らはより高品質で低コストの覆工構造のセグメントの開発において、継手部に緩衝キーを設けたセグメントの開発を行ってきた^{*)1)}。本セグメントは継手部に曲率を持った突起(緩衝キー)を設けることにより従来のボルト継手構造の利点をそのまま活かし、その欠点となるボルトなどの緊締部周囲のコンクリートへの応力集中を継手面全体に分散・低減させたシールド覆工用セグメントである。このセグメントの開発によりリング間ボルトの簡略化が可能となり、そのボルト構造として曲がりボルトに注目し、セグメント継手部の断面欠損の低減効果および継手金物の簡略化によるコストダウン効果を図った。

本稿は締め付けによる曲がりボルトの挙動を、ボルト締結試験と解析により確認し、実際の施工に反映させたので、その報告をするものである。

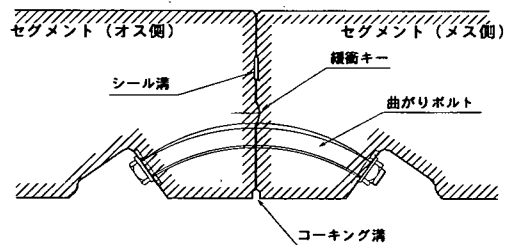


図-1 継手部概念図



写真-1 曲がりボルト

*) 正会員 株式会社 間組 土木本部 都市土木統括部

2. 基本概念

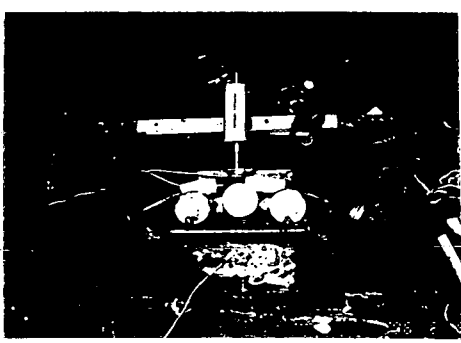
曲がりボルトは締め付けを行うと早い段階でボルト中央部から変形が生じ、その変形は締結力の増加に伴い大きくなる。この際に、ボルトの変形がセグメントのボルト孔によって拘束されていない状態では、締結力（導入トルク）が上がらずにボルトの形状だけが直線状に変形し、締め付けに伴いモーメントが大きく発生するといった現象が生じる。そこで、継手部に生じるモーメントを最小限に抑え、十分な締結力を確保するためにはボルトとボルト孔のクリアランスを出来る限り小さくし、早い段階でボルトをボルト孔に接触させ、その変形を拘束することが曲がりボルトの締め付けによりセグメントの継手部に生じる影響を最小限に抑え、高品質のトンネル覆工が構築できると考えた。

3. 試験概要

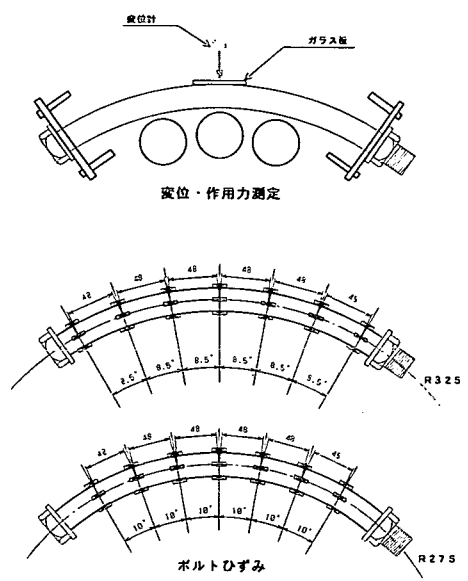
ボルト締結試験は曲率半径および硬さの異なる曲がりボルトを用い、それぞれについて発生断面力および中央部変形を測定した。試験には曲がりボルトの挙動把握のため、セグメント内部に閉ざされたボルト孔を模擬して製作した開放型の鋼製治具を用いた。この装置は締め付けを行う際に曲がりボルトが変形してボルト孔下部に当たることを想定して、中央部およびその周辺にボルト孔の線形に沿って変形拘束用の丸鋼を設置している。ボルトとボルト孔の中央部内側のクリアランスは3mmに設定し、トルクレンチにより締め付けを行った。試験に使用したボルトを表－1に、試験装置を図－3に示す。

表－1 使用ボルト

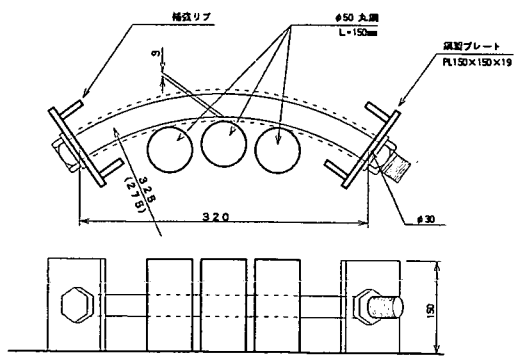
ボルト径	種 類	許容応力度 (kgf/cm ²)	曲率半径 (mm)
M24	4・6	1200	325
			275
	6・8	2100	325
			275
	8・8	2900	325
			275



写真－2 試験状況



図－2 計測位置



図－3 試験装置概要図

4. 解析方法

試験を行うに際し、ボルトの挙動を把握するためフレームモデルによる解析を行った。基本とする解析モデルを図-4に、その解析手順を図-5に示す。手順図に示す通り、ボルト孔や実験治具等の変形拘束装置は、引張力(=締結力)が加わった際のボルトの変形量が装置位置まで達した時点から分布バネとして働くようにし、変形ステップ毎にそのモデルを分けて行った。

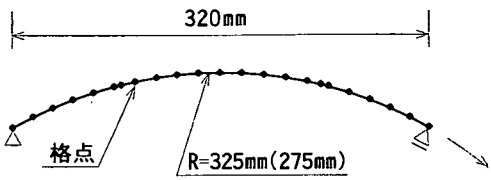


図-4 解析モデル

表-2 解析諸定数

格 点 数	2 3
部 材 断 面 積	4.524cm ²
部材断面二次モーメント	1.629cm ⁴
分 布 バ ネ	1.4×104kgf/cm ²

5. 試験結果

本試験に先駆け、変形拘束治具(丸鋼)のない試験治具を用いた曲がりボルトの締結試験を行ったところ、ボルトの断面力は締め付けに伴い増加するにも関わらず、締め付けトルクが確保できないといった結果を得ている。変形拘束治具を設けた今回の試験ではトルクレンチでトルク管理を行うことができ、ボルトの変形を抑えることでトルク管理が可能となることを確認した。代表的な試験結果としてボルト各計測断面に生じる曲げモーメントの計測結果を解析結果と併せて図-6に示す。計測結果は解析結果に良く似た傾向を示しており、解析がほぼ妥当であることが確認できる。また曲率半径がR=275mmのボルトに比べてR=325mmのボルトの方が解析値に良く合い、断面力の発生のバランスも良いことから、曲率半径の大きな曲がりボルトの方が施工管理が容易であると考えられる。この結果からも分かるように、一旦変形が拘束されると、新たに生じる曲げモーメントの発生は抑えられている。なお解析結果ではR=275mmのボルトで560トルク、R=325mmのボルトで800トルクの導入時点で、ボルトの中央部が3mm変形し、拘束治具により拘束される。

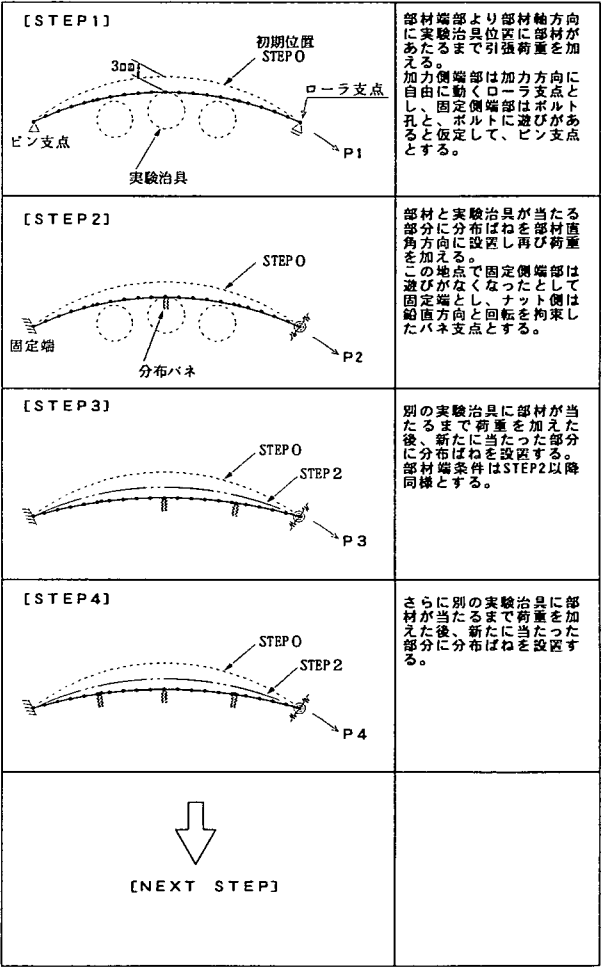


図-5 解析手順図

6. まとめ

本試験によりボルトの変形拘束により発生する曲げモーメントが抑えられ、トルクが上がる効果があることを確認した。今回の試験ではボルト下面とボルト孔のクリアランスを3mmに設定し、発生する実際の締結レベルでの発生モーメントを0.1tf・m程度と低いレベルに抑えることができ、この大きさは継手部の有する抵抗モーメントと比較して十分小さい値であると考えられ、曲がりボルト締め付けによる発生モーメントの影響はセグメントの継手部に大きな影響を与えないものと考えられる。これらのことから曲がりボルトは早期にその変形を拘束する（ボルトクリアランスを抑える）ことで、ボルト締め付けにより生じる継手部の曲げを最小限に抑えることが重要であるとする。一方で、ボルトが当たる継手顎部には直接せん断力が作用することから、補強筋を配置する等十分な対策を施す必要がある。なお本試験の結果を元に製作されたセグメントを実施工に適用したところ、ボルト締め付けや曲げによる顎部の破壊などは見られなかったことを最後に付け加える。

7. 参考文献

- *1) 園田, 藤本, 田中, 萩原, 内田: 継手部に緩衝キーを設けたセグメントの開発, トンネル工学研究論文・報告集 第6巻
- *2) 村上, 小泉, 当麻, 菊田: セグメント継手の合理的な設計法に関する研究(Ⅱ), 早稲田大学理工学研究所報告第88輯

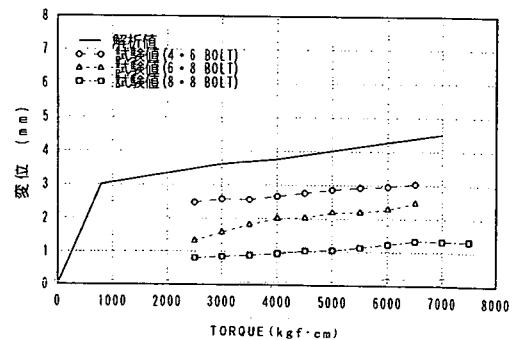
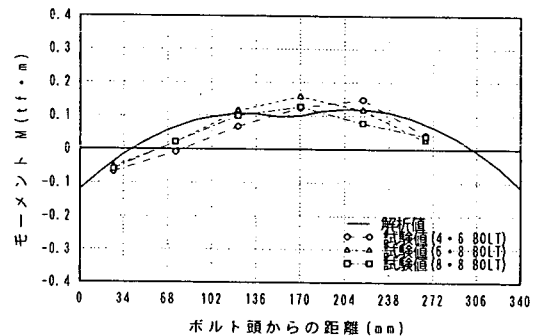
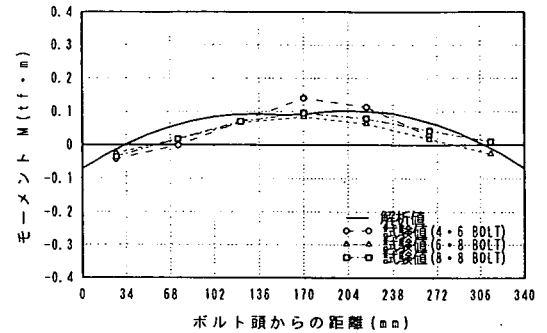
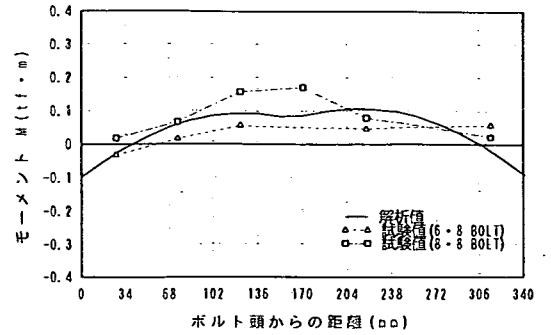


図-6 計測結果