

III- 628

合成セグメント用高強度継手の耐荷変形性能

住友金属工業(株) 正会員○阿部 幸夫 正会員 岩橋 正佳
(株)鴻池組 金好 昭彦 松村 誠

1. はじめに

近年のシールドトンネルはその形態が多様化してきており、これに伴いトンネル覆工材としてのセグメントに対して力学性能の高いものが要求される状況にある。例えばトンネルの大口径化、異形断面化などは従来に増して覆工に大きな曲げ力が作用し、また最近、施工が一部開始されている地下河川トンネルにおいては、内水圧の影響によりトンネル円周方向に引張力が発生する。著者等はこれらの荷重下においても適用できるセグメントとして、図1に示すようなコンクリート上下面に菱目突起付鋼板を配置したサンドイッチ構造の新型合成セグメントを試作し、単体曲げ試験およびジャッキ推力試験を実施した結果、セグメント本体が優れた耐荷性能を有していることを既に確認している¹⁾²⁾。

本研究では、地下河川など高内水圧が作用するシールドトンネルにおいては本体と共にピース間継手部にも高い耐荷性能が要求されることから、図2に示すような本体の地山側、内空側に位置する鋼板をボルトナットを用いて連結した後、形成された空洞部に無収縮モルタルを充填した継手構造(高強度継手と称す)を提案し、本構造の力学性能を載荷試験により調査したので報告する。

2. 試験概要

(1) ボルト部引張試験 試験体の種類は、表1に示すように各部鋼板厚、ボルトの本数およびボルトへの初期導入軸力をパラメータとする4体とした。形状は、本高強度継手の接合部付近の鋼殻部の一部をモデル化したものとし、その1例を基本構造としたA1試験体について図3に示す。

使用した鋼材は表2に示す通りであり、また、載荷方法は試験体軸方向に引張力を作用させ、破壊まで加力した。

(2) 継手部曲げ試験 試験体の種類は、表1に示すようにA1試験体の接合部構造を用いた1体とし、また、形状は本高強度継手を有するピース間継手部付近の接合部および本体をモデル化した構造(図2)とした。

使用した鋼材は表2に示す通りであり、また、本体部のコンクリートおよび接合部の無収縮モルタルの圧縮強度はそれぞれ508, 533kgf/cm²であった。載荷方法は、試験体軸方向(トンネル円周方向に相当)に圧縮力100, 250tf、引張力50tfを作用させたそれぞれの場合について、試験体中央部2点載荷(支点スパン3600mm、載荷スパン1200mm)による正曲げ力を部材許容応力度まで作用させた。その後、軸方向力を導入せずに正曲げ力のみを試験体に破壊が生じるまで加力した。

表1 試験体の種類

試験名	No.	ジョイントプレート厚 (mm)	補強リブ厚 (mm)	*1ボルト本数 (本)	*2ボルト初期導入軸応力(kgf/mm ²)	備考
ボルト部引張試験	A1	32	9	3	24.0	基本構造
	A2	32	9	2	36.0	*1ボルト初期導入軸力増 *2ボルト本数減
	A3	32	12	3	24.0	補強リブ増厚
	A4	25	9	3	24.0	ジョイントプレート減厚
継手部曲げ試験	B1	32	9	地山: 6 内空: 6(×2)	24.0	A1試験体接合部形状を採用

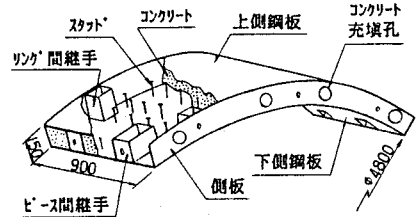


図1 合成セグメント

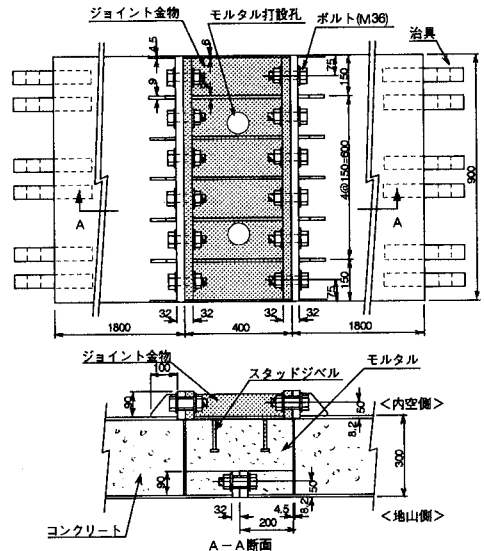


図2 高強度継手(継手部曲げ試験体B1)

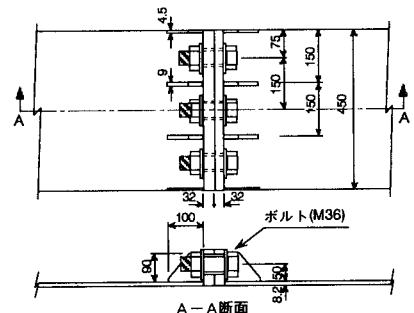


図3 ボルト部引張試験体A1

3. 試験結果

（1）ボルト部引張試験 軸方向荷重とボルト軸歪の関係を図4に示す。結果は、いずれの試験体もボルトの破断で破壊に至ったことから、最大耐力は3本のボルトを配置したA1,3,4試験体共に120tf強度の値を示した。なお、その最大耐力であるが本構造の場合、図5に示すようにテコ反力の影響によるボルトへの引張力の増加が考えられる。その影響は、ジョイントプレートを剛体とし、テコ反力が端部に集中すると考えた場合が最大である。本試験結果によるテコ反力の影響はこの試算結果に一致し、本体プレートに作用する引張荷重の2.25倍程度がボルトに作用していた。

次に、図示していないが本体プレート許容引張荷重時(70.1tf)の各試験体継手目開き量は、基本構造であるA1試験体に比べ今回用いた補強リブの増厚(A3)により20%抑えられ、逆にジョイントプレートの減厚(A4)により25%増大した。また、ボルトへの初期導入軸力を1.5倍(A2)にすることにより、ボルト本数がほかの試験体より少ないにもかかわらず(3→2本)、30tf程度まで最小の目開き量を示した。

（2）継手部曲げ試験 各軸方向荷重における鉛直荷重と継手部鉛直変位の関係を図6に示す。なお、図中の計算値とはセグメント本体のRC限界状態理論⁹⁾による変形特性である。結果は、軸方向圧縮時においては計算値と同程度の剛性を示していたが、引張時の場合は計算値に比べ若干の剛性低下が見られた。これは軸方向に引張力を作用させた場合、接合部に目開きが生じるなどの影響によるものと考えられる。しかし、その目開き量は従来の箱抜きボルト接合に比べて極めて小さく、本試験で軸方向引張力50tf、曲げモーメント20tf・m(鉛直荷重33.3tf)を載荷した状態でも、その目開き量は曲げ引張側で最大0.25mm程度であった。

次に、図示していないが正曲げ力による破壊試験結果は、下側ボルトの破断で破壊に至ったものの、テコ反力による影響は先のボルト部引張試験結果に比べて小さく、許容荷重レベルでのボルトへの引張力の増加は本体プレートに発生した引張力の1.4倍程度にとどまった。

表2 使用鋼材の寸法と強度

適用	寸法 (mm)	降伏強度 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)
継手ボルト	径:M36	94.1	112.7
本体プレート (兼目突起付鋼板)	重量換算板厚:8.2 突起高さ:2.5	38.9	52.9
ジョイントプレート	板厚:25	36.6	51.2
	板厚:32	38.3	53.1
補強リブ	板厚:9	40.0	54.9
	板厚:12	37.0	53.3

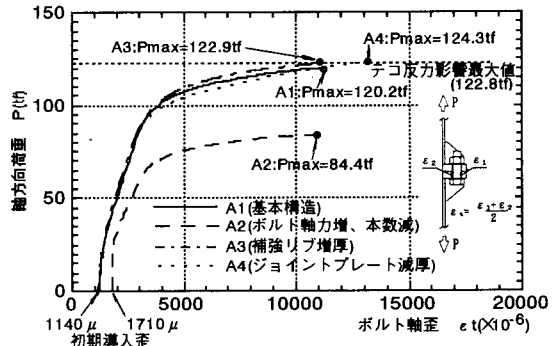


図4 軸方向荷重とボルト軸歪の関係

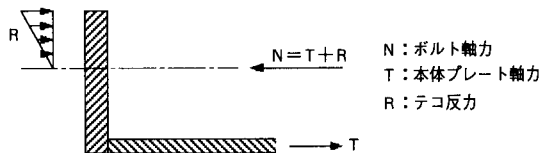


図5 テコ反力の影響

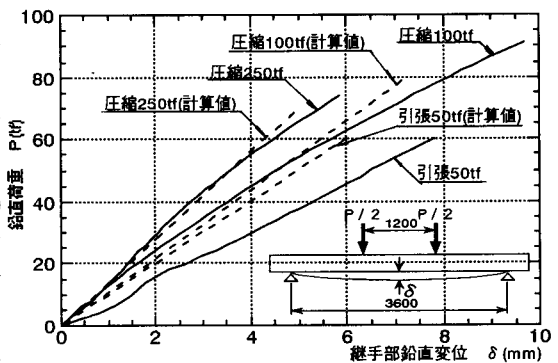


図6 鉛直荷重と継手部鉛直変位の関係

4. おわりに

今回の試験結果から、本高強度継手は従来の箱抜きボルト継手に比べ高い耐荷性能を示し、トンネル円周方向圧縮・引張両荷重状態においてセグメント本体に近い力学性能を有することが確認できた。

なお従来、セグメントのピース間継手に関しては、千鳥組による添接効果を期待して本体抵抗曲げモーメントの60～70%程度の性能のものが用いられる傾向⁹⁾にあるが、今後、地下河川トンネルなどピース間継手目開きによる漏水などが供用時の大きな問題となる場合には、本継手構造はその対策として有効な手段となろう。

最後に本試験に関しご指導いただいた、山本 稔 東京都立大学名誉教授に感謝の意を表します。

<<参考文献>>

- 1) 突起付鋼板を用いた合成セグメントの力学特性, 土木学会第46回年次学術講演会第3部, pp.114-115, 平成3年9月、
- 2) 突起付鋼板を用いた合成セグメントの曲げ耐荷性能について, 土木学会第47回年次学術講演会第3部, pp.48-49, 平成4年9月、
- 3) 土木学会, コンクリート標準示方書, 設計編, 1986.10、
- 4) 土木学会・日本下水道協会共編, シールド工用標準セグメント, 1992.9