

複合アーチ型シールドトンネルにおける隅部セグメントの開発（その3）
実大セグメントを用いた載荷実験

(株)大林組 正会員 ○佐藤 清 正会員 前田 知就
(株)大林組 正会員 武田 篤史 正会員 西森 昭博

1. はじめに

複合アーチ型シールドトンネルは、矩形断面に比べてセグメントの桁高を低減でき、円形断面に比べて掘削量を低減できるなどの特徴がある。トンネル隅部は頂底部や側部に比べて曲率が小さいため、正の曲げモーメント（トンネル内側引張）が作用する場合、腹圧力に対する配慮が必要となる¹⁾。そこで、非線形FEM解析によって腹圧力によるひび割れを抑制するための補強配筋を検討し²⁾、実大セグメントによる正負交番載荷実験および単調曲げ載荷実験によってその効果を確認した。本稿では、実大セグメントによる載荷実験の結果について報告する。

2. 実験方法

図-1 に検討対象としたトンネル断面、図-2 に実験供試体およびその配筋を示す。また、表-1 に実験供試体の主要な諸元を示す。実験対象としたのはトンネル断面の下隅部（130°）で、上隅部（134°）に比べて曲率が小さい。実験供試体はコンクリートの設計基準強度 42N/mm²、鋼繊維混入率 0.6vol%のSFRC（鋼繊維補強コンクリート）セグメントである。実験供試体の幅は 850mm で、使用した鉄筋の径および本数は表-1 および図-2 に示すとおりである。セグメントは隅部を中心に一方が底部（セグメント厚 500mm）、他方が側部（セグメント厚 400mm）となる。隅部の補強は内側主鉄筋をクロスさせ、外側主鉄筋位置で定着するとともに、帯鉄筋を3箇所配置し主鉄筋を拘束している。実験供試体端部には鋼製治具を取り付け、一方を固定点（ヒンジ支承）、他方を載荷点とした。

表-2 に実験ケースを示す。載荷方法は正負交番載荷および単調曲げ載荷とした。正負交番載荷では引張側主鉄筋の降伏ひずみ（材料試験値=2140μ）によって初降伏（1δy）を判

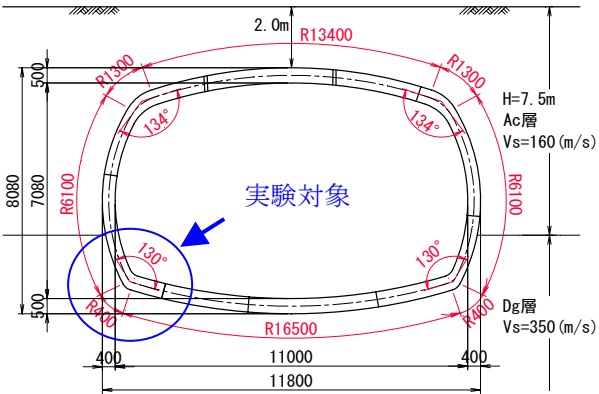


図-1 検討対象としたトンネル断面

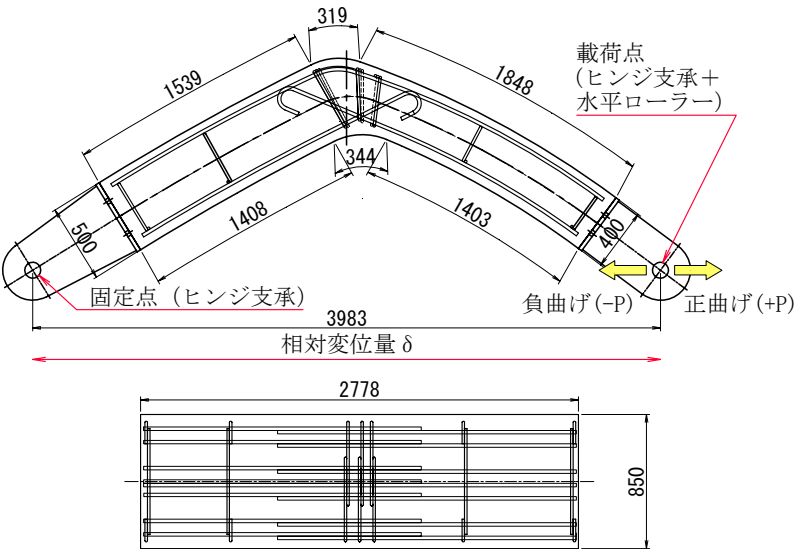


図-2 実験供試体および載荷治具

表-1 実験供試体の主な仕様

項目	仕様
コンクリート 設計基準強度	42 N/mm ²
鋼繊維混入率	0.6 vol%
使用鉄筋	SD345
外側主鉄筋	D22 (7本/0.85m)
内側主鉄筋	D22 (7本/0.85m)
帯鉄筋	D16 (6本/0.85m)

表-2 実験ケース

ケース	載荷方法
Case1	正負交番載荷
Case2	単調載荷（正曲げ）
Case3	単調載荷（負曲げ）

キーワード シールドトンネル, SFRC セグメント, 腹圧力, 隅部配筋, 正負交番載荷実験, 単調曲げ載荷実験
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組東京本社 生産技術本部都市土木技術部 TEL 03-5769-1305

定し、その後、 $2\delta y$ 、 $3\delta y$ 、 $4\delta y$ まで載荷した。各載荷ステップでの載荷繰返し回数は3回とした³⁾。

3. 実験結果

図-3 に実験より得られた荷重 P ～変位 δ 関係を示す。図には引張側主鉄筋の初降伏点および設計降伏荷重も示した。表-3 には降伏荷重および最大荷重を示す。降伏荷重および最大荷重の設計値は、セグメント厚 400mm での断面諸元（鉄筋量、被り、設計基準強度等）から算出した降伏曲げ耐力および終局曲げ耐力を、載荷荷重 P に換算した値である。これらの値は SFRC の効果を含んでいる。図-3 および表-3 に示すように、正負交番載荷、単調曲げ載荷ともに降伏荷重および最大荷重が設計値を上回っており、隅部を含むセグメントについても梁部材としての設計が成立することを示している。これは腹圧力の影響を受ける正曲げのほか、負曲げについても同様である。また、写真-1 に示すように、いずれの実験でも隅部に顕著なひび割れは発生せず、隅部を避けた位置（セグメント厚 400mm 側の曲率変化点）で曲げ破壊している。これらから隅部の補強配筋が十分であったことが確認できた。一方、正負交番載荷と単調曲げ載荷の結果を比較すると、降伏までの剛性は一致しているものの、降伏荷重や最大荷重については単調曲げ載荷の方が一様に上回っている。特に正曲げ載荷の場合にその傾向が顕著であり、写真-1 においても正負交番載荷と単調載荷（正曲げ）において、破壊モードがやや異なっていることがわかる。これらの差は載荷手法の違いが主要因であると推定されるが、詳細な検討による現象の解明は今後の課題である。

5. まとめ

複合アーチ型シールドトンネルの隅部を対象に、腹圧力を考慮した配筋による実大セグメントの正負交番載荷実験および単調曲げ載荷実験を行った。その結果、採用した補強配筋によって隅部の損傷を防ぎ、設計上の耐力を確保できることを確認した。今後は隅部の補強配筋の合理化を検討し、施工性や経済性に優れたセグメントを考案したい。

参考文献

1)前田，武田，佐藤，吉田，西森：複合アーチ型シールドトンネルにおける隅部セグメントの開発（その 1）設計的課題，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集（投稿中） 2)堤内，武田，佐藤，前田：複合アーチ型シールドトンネルにおける隅部セグメントの開発（その 2）配筋に関する解析的検討，土木学会第 65 回年次学術講演会概要集（投稿中） 3)独立行政法人土木研究所耐震研究グループ耐震チーム：橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン（案）（橋脚の正負交番載荷実験方法及び振動台実験方法），土木研究所資料第 4023 号，平成 18 年 8 月

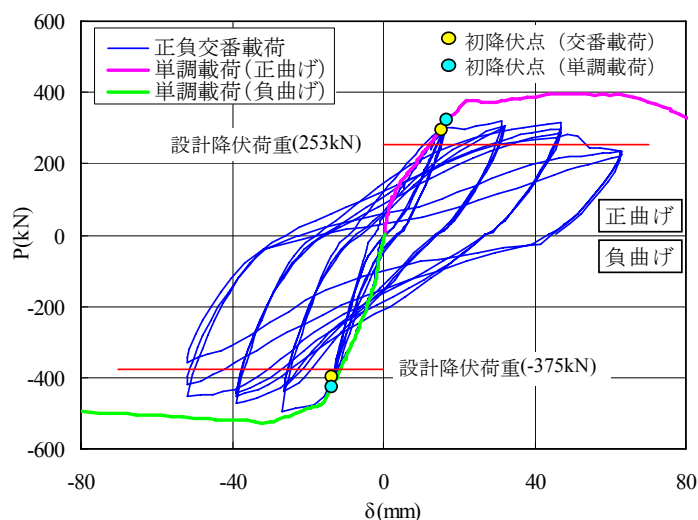


図-3 荷重 P ～変位 δ 関係

表-3 降伏荷重および最大荷重の比較

		降伏荷重※(kN)		最大荷重※※(kN)	
		正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
実験値	正負交番	290	-401	319	-495
	単調曲げ	307	-419	398	-529
設計値		253	-375	259	-401

※ 実験は鉄筋の初降伏荷重を示した。

※※ 設計値は終局荷重を示した。



写真-1 破壊状況