

場所打ちライニング工法に用いる鋼繊維補強コンクリートの軸圧縮曲げ特性

清水建設技術研究所 正会員 長澤保紀 栗田守朗
清水建設土木本部 正会員 川口博行 阿曾利光 渡辺真帆

1. はじめに

ECL 工法は、セグメントの代わりにシールド掘削機のテール部でフレッシュコンクリートを加圧充てんして覆工体を構築するシールド工法である。ECL 工法の覆工コンクリートに鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を用いた事例はわが国で1件であり¹⁾、セグメント工法に比較して実験データ等が少ないのが現状である。そこで、大断面トンネルにおける SFRC 覆工体の耐力確認を目的として、軸圧縮曲げ載荷実験を行った。使用した SFRC は、ECL 工法の特徴から、流動性、流動性の経時保持性、材料分離抵抗性、自己充てん性および早期強度発現性が要求されるため、高流動コンクリート(高流動 SFRC)としているところに特徴がある。

2. 実験方法

高流動 SFRC を用いた ECL トンネルの覆工の軸圧縮曲げ特性について、実大厚さの平板試験体(3200 mm × 1000 mm × 400 mm)を作製し、軸圧縮応力を作用させた状態で曲げモーメントを載荷することにより、実験的に検討した。軸圧縮応力は3水準(1 N/mm²、5 N/mm²、9 N/mm²)に設定し、それぞれ1体ずつ試験体を製作した。なお、軸圧縮応力 9 N/mm² は、超大断面トンネル(覆工外径φ12.7m、覆工厚 400 mm)に適用した場合を想定して設定した。高流動 SFRC の配合は、実施工に供した配合を参考にし、鋼繊維の混入率は 1.0%(容積比)とした。製造に

は強制二軸練りミキサを用い、運搬にトラックアジテータを用いた。打込みは、トラックアジテータから直接排出し、試験体の中央部一ヶ所から連続して行う方法とした。打込み後に上面をコテ仕上げし、湿布散水養生を行った。材齢 2 日で型枠を脱型し、脱型後は現場気中養生とした。各試験体の載荷実験時材齢は軸圧縮応力の小さい順に 29 日、38 日、43 日とした。載荷実験は図-1 に示す載荷装置で実施した。すなわち、軸圧縮応力は試験体外側に対称配置した 4 本の PC 鋼棒φ40mm (SBPR1080 / 1230) にセンターホール型ジャッキによって与えた。曲げモーメント載荷は 3 等分点載荷でせん断スパン比 2.0 で作用させた。載荷手順としては、各試験体の軸圧縮応力水準までは軸圧縮力と曲げモーメントを比例増分させ、その後、軸圧縮力を保持したまま、曲げモーメントを単調載荷させ、最大耐力を越えて、試験体中央の変位で約 30mm まで載荷させた。

3. 実験結果

載荷実験時の高流動 SFRC 供試体の強度試験結果によれば、圧縮強度 64 ~ 65 N/mm²、曲げ強度 6.4 N/mm² であった。軸圧縮曲げ載荷実験で得られた、曲げモーメントと中央変位の関係を図-2

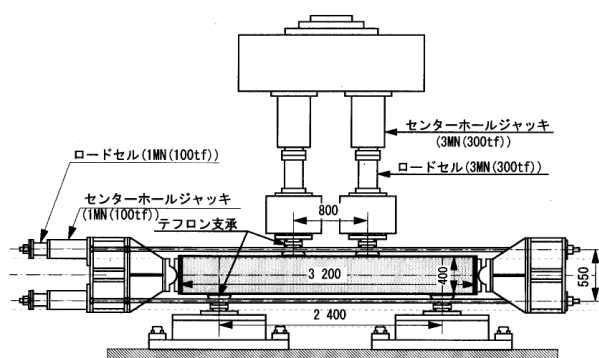


図-1 軸圧縮曲げ載荷装置

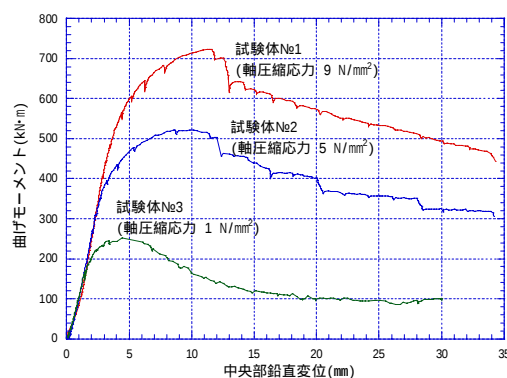


図-2 曲げモーメント - 中央変位関係

キーワード：ECL 工法，鋼繊維補強コンクリート，高流動コンクリート，軸圧縮応力，曲げ耐力，ひびわれ

連絡先：〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL:03-3820-5543 FAX:03-3643-7260

に、曲げモーメントと等曲げ区間での最大ひびわれ幅の関係を図-3に示す。軸圧縮応力が増えるに従って最大曲げモーメントは大きく

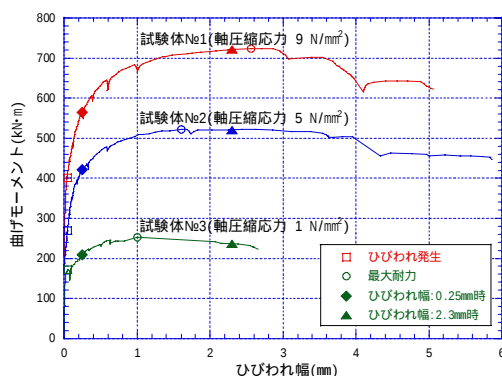


図-3 曲げモーメント - ひびわれ幅関係

なり、最大耐力以降では、なだらかな勾配で荷重低下を示し、脆性的な破壊とはならなかった。

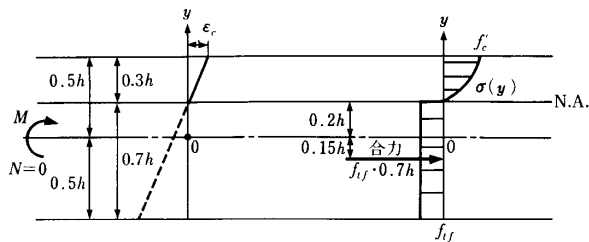
また、載荷材齢時の高流動 SFRC 供試体の強度試験結果を用いて、図-4に示す応力分布から耐力算定する方法²⁾により求めたM-N関係結果を図-5に示す。同図には、あわせて実験結果も図示した。いずれの試験体も、実験結果が計算値とともに上回る結果を示した。ひびわれ図を図-6に示す。軸圧縮応力が 1 N/mm² から 9 N/mm² が増えるに従って、ひびわれ本数が 3 本から 7 本に増える傾向がみられ、ひびわれの分散性が認められた。既往の実験では等モーメント区間を断面高さとする場合が多く、軸圧縮応力が作用しない状態で、ひびわれ本数が 1 本程度との報告が多くみられるが、今回の試験体では、実大寸法で、断面高さの 2 倍に等モーメント区間を広げ、軸圧縮応力を作用させた結果であり、より実際の状態に近い実験結果を得たものといえる。最大曲げ耐力に達した以降のひびわれでは、他のひびわれの拡幅が抑えられ、主たる 1 本のひびわれに集中して拡幅する挙動を示し、やがて、圧縮縁の SFRC がじわじわと圧壊して徐々に荷重が低下していく傾向を示した。

4. おわりに

軸圧縮曲げ載荷実験の結果から、今回の鋼繊維混入率 1.0% の高流動 SFRC を用いた覆工部材では、無筋コンクリートのように 1 本のひびわれの発生で脆性的な曲げ破壊を起こすのではなく、最大曲げモーメント以降では徐々に荷重が低下する粘りのある変形状を示すことを得た。また、発生するひびわれは、鉄筋コンクリートのようにひびわれの分散性を示し、実験範囲内では、軸圧縮応力が高くなるとさらにひびわれの分散性が改善されるという知見が得られた。また、提案されている耐力算定方法²⁾にもとづけば、安全側に覆工部材の設計ができることが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 原田俊作, 渋江都男: ECL 工法入門 (施工実績), トンネルと地下, 1996.12
- 2) 鋼材倶楽部, SFRC 構造設計施工研究会: 鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル (トンネル編), 1995.3



f'_c : 圧縮強度, ϵ_c : 圧縮側の限界ひずみ

f_{tj} : 引張強度

$\sigma(y)$: コンクリート標準示方書のコンクリートの応力ひずみ関係

h : 部材断面高さ

図-4 断面内ひずみ分布と応力分布

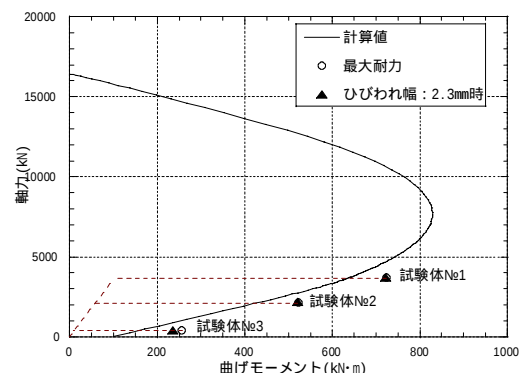
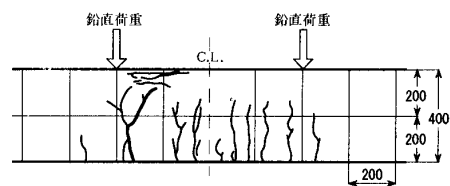
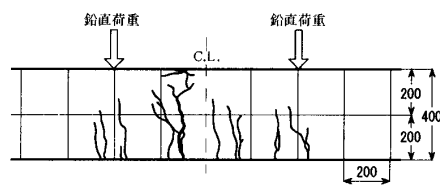


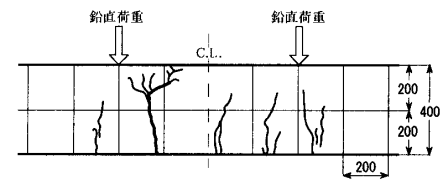
図-5 M-N 関係と実験結果



a) 試験体No1(軸圧縮応力 9 N/mm²)



b) 試験体No2(軸圧縮応力 5 N/mm²)



c) 試験体No3(軸圧縮応力 1 N/mm²)

図-6 試験体ひびわれ図