

SRC セグメントの単体曲げ試験結果とファイバー解析による一考察 — (13 号相直) 東横線渋谷～代官山間地下化工事報告 (その 3) —

東京急行電鉄 関 高 メトロ開発 福田 隆二 鹿島建設 正会員○盛岡 義郎
鹿島・西松・鉄建建設 JV 正会員 新原 亨 日本コンクリート工業 斉藤 彰宏

1. はじめに

(13 号相直) 東横線渋谷～代官山間地下化工事におけるシールド工事は、延長約 500m、外径 7.1m (高さ) × 10.3m (幅) の矩形 2 連 (図-1 参照) の鉄道トンネル築造工事である。本工事において使用する高流動コンクリートセグメントは、上載荷重強度に応じて 4 種類に区分し、最も荷重強度が大きい重荷重部では、SRC セグメントを適用する。SRC セグメントの主鋼材は、格子状突起鋼材を用いたもの等が報告されている⁽¹⁾が、本工事では、製作性への配慮から波形状突起鋼材を使用する。

本論文では、実ピースを用いた載荷試験 (単体曲げ試験) 結果およびファイバーモデルを用いた 2 次元非線形 FEM 解析による試験結果について報告する。

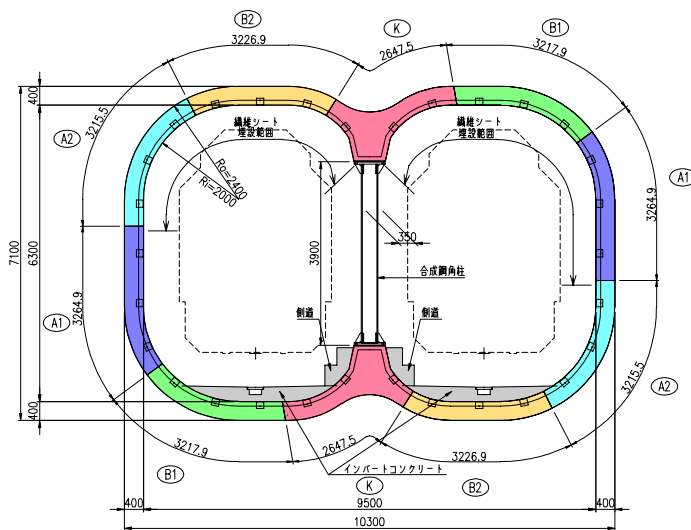


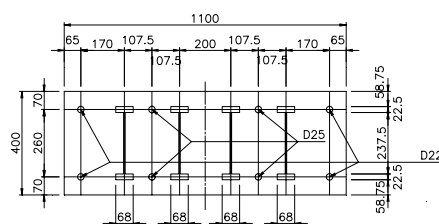
図-1 矩形セグメントリング断面

2. 単体曲げ試験の概要

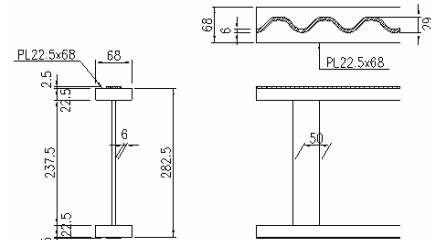
本試験は、SRC セグメントの断面性能およびひび割れ分散性の確認のために行った。供試体諸元を表-1、図-2 に示す。供試体ピースは、載荷試験時の左右バランスを考慮し、B2 とした。載荷位置および計測位置を図-3 に示す。また、鉄筋 (主鉄筋・配力筋)、鉄骨 (主鋼材・組立鋼材) にはひずみ計を設置した。単体曲げ試験状況を写真-1 に示す。

表-1 供試体断面諸元

供試体 ピース	桁高 (mm)	セグメント幅 (mm)	主鉄筋	主鋼材 (波形状突起付)	コンクリート強度 f'_{ck} (N/mm ²)
B2	400	1100	D22×4 本 (SD390) D25×4 本 (SD390)	PL22.5×68×4 枚 SM490	54

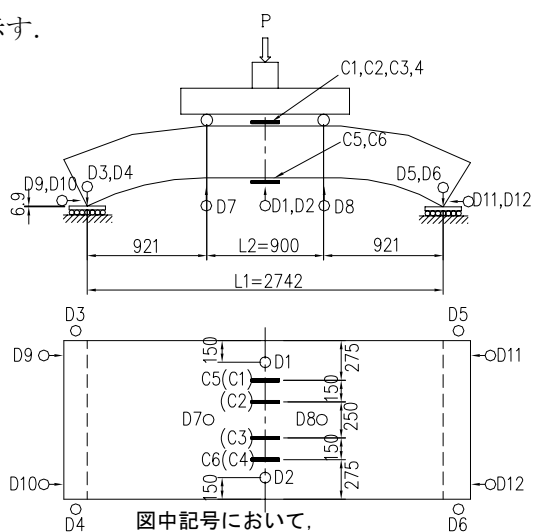


断面詳細図



波形状突起鋼材詳細図

図-2 試験供試体詳細図



図中記号において、
D : 変位計位置
C : コンクリートひずみ計位置
() 内は、外周面での位置を示す。

図-3 載荷位置および計測位置



写真-1 単体曲げ試験状況

キーワード：矩形シールド、SRC セグメント、単体曲げ試験、ファイバーモデル、2 次元非線形 FEM 解析

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL03-6229-6749

3. 単体曲げ試験結果の概要

220 kN 載荷時に初期ひび割れが確認され、その後荷重増加に伴い、ひび割れ幅・本数ともに増大し、1677 kN 載荷時に引張側主鋼材が降伏し、最終荷重に至った。この時の最終曲げモーメントは 791.1 kN・m で、設計曲げモーメント 425.5 kN・m に対する安全率は 1.86 であった。ひび割れの発生間隔は配筋筋ピッチ程度であり、ひび割れ分散性は良好であった。図-4 に荷重-鉄筋・主鋼材ひずみの関係、図-5 に荷重-鉛直変位の関係を示す。ここで、図-5 に示した理論値とは、ひび割れ発生前・発生後の剛性を模擬した 2 次元フレーム解析による計算結果である。

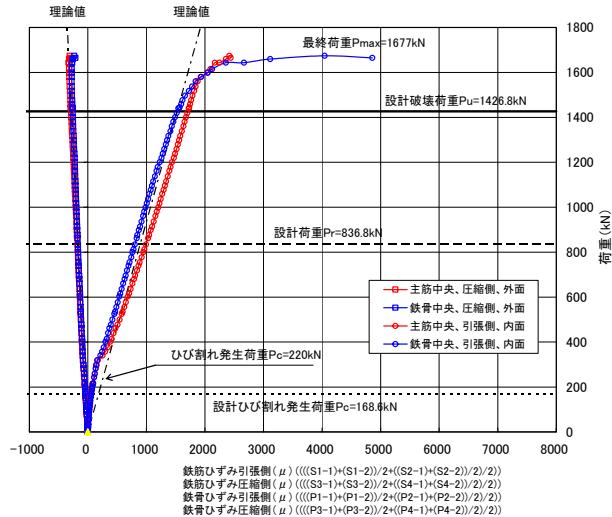


図-4 荷重-鉄筋・主鋼材ひずみの関係

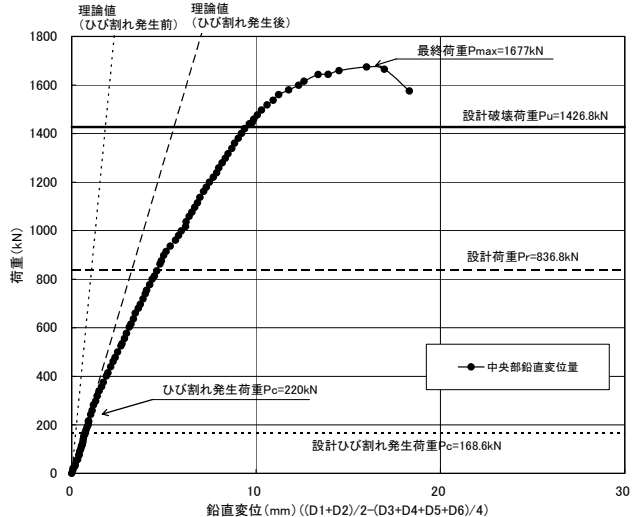


図-5 荷重-鉛直変位の関係

図-4 より、主鋼材の圧縮・引張ひずみは、主鉄筋の圧縮・引張ひずみとほぼ同様の傾向を示しており、鉄筋と主鋼材が同様の挙動を示したことが確認できる。また、図-5 より、ひび割れ発生以降は勾配が徐々に変化し、引張側主鋼材が降伏強度に達した後、変位が急激に増大し、最終荷重 1677kN を迎えた。ここで、鉛直変位が理論値に対し大きめの値を示した原因として、以下の二点が考えられる。

- ・ 図中の理論値は、全断面有効および許容抵抗モーメント発生時の断面中立軸による剛性により計算したものであり、荷重増加に伴う中立軸の移動や材料の非線形性が考慮されていないこと
- ・ 計測変位には曲げによる変位に加え、せん断による変位が含まれること

4. 2次元非線形 FEM 解析による考察

部材の非線形性を考慮するため、解析プログラム SLAP⁽²⁾を用いた 2 次元非線形 FEM (Beam-Fiber) 解析により単体曲げ試験のシミュレーションを実施した。解析では試験体と同材齢の管理用テストピースの試験から得られたヤング係数・コンクリート強度を使用した。また、断面はファイバー分割し、内・外側の鋼材位置中央に鋼材・鉄筋の断面積を合算した鋼材量を配置した (図-6 参照)。さらに、解析結果と試験結果の比較は、せん断による変位を取り除くため、曲げモーメント-曲率 (M-φ) 関係により行った。

M-φ 関係 (図-7 参照) において、試験値は、ひび割れ発生前は全断面有効の理論値や解析結果とほぼ同様の挙動を示し、ひび割れ発生後も解析結果とよく一致しており、今回の簡易なモデルによる比較的精度の高い評価が可能であったと考えられる。

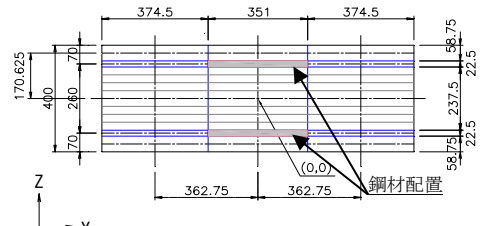
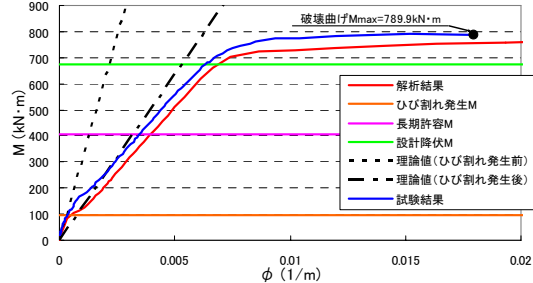


図-6 断面のファイバー分割図



注) 長期許容 M: コンクリートが許容応力度に達した時の曲げモーメント

図-7 M-φ 関係の試験・解析結果の比較

5. まとめ

今回、一つの試みとして行った簡易なファイバーモデルを用いた 2 次元非線形 FEM 解析により、単体曲げ試験の比較的精度の高い評価が可能であり、本工事に使用する SRC セグメントの耐荷性能が確認できた。

参考文献 1) 藤木他 格子状突起付鋼板を用いた SRC セグメントの開発, 土木学会 第 62 回年次学術講演会
2) 沖見・右近 複合非線形フレーム解析システムの開発, 土木学会誌「技術最前線」, pp. 14-17, 1995. 1