

六面鋼殻セグメントの単体曲げ試験結果と2次元非線形FEM解析による一考察 — 新日比谷地下通路工事報告 (その2) —

東京地下鉄(株) 正会員 橋口 弘明 メトロ開発(株) 正会員 水上 博之
 鹿島建設(株) 正会員 ○盛岡 義郎 正会員 上木 泰裕
 (株)横河住金ブリッジ 松村 卓 正会員 岡本 翔太

1. はじめに

地下鉄千代田線と日比谷線が交わる日比谷駅周辺において、基盤整備事業が進められており、事業の一部として推進工法(R-Swing工法)により、外径4.275m(高さ)×7.25m(幅)の大断面を一度に構築する地下通路工事(延長42m)が計画されている¹⁾²⁾。本工事において使用するセグメントは、掘削断面の低減を目的として、鋼製セグメントに比較して桁高の低減が可能な六面鋼殻合成セグメントを適用する。

本報文では、セグメントの実大性能試験(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の検証について報告する。

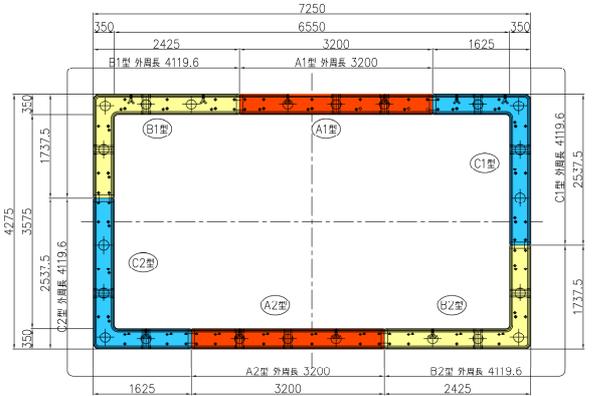


図-1 矩形セグメントリング断面

2. 単体曲げ試験の概要

本試験の目的は、セグメント本体の耐荷性能を確認することである。試験体は本工事に適用する図-1に示す矩形セグメント断面のうち、甲組A1型とし、2点荷重条件において、設計上の長期許容曲げモーメント(600.2kN・m)に相当する荷重(1188.6kN)を荷重した。セグメント諸元を表-1、図-2に示す。荷重位置および計測位置、ひずみ計の設置位置を図-3に示す。単体曲げ試験状況を写真-1に示す。測定した鋼殻のひずみから、セグメント試験体に発生した応力度が長期許容応力度以内であることを確認した。

表-1 供試体断面諸元 (A1型, SM490)

桁高 (mm)	セグメント幅 (mm)	長さ (mm)	鋼板厚 (mm)	側板厚 (mm)	継手板厚 (mm)	コンクリート強度 f'_{ck} (N/mm ²)
350	1000	3200	地山側 10 内空側 9	19	52	42



写真-1 単体曲げ試験状況

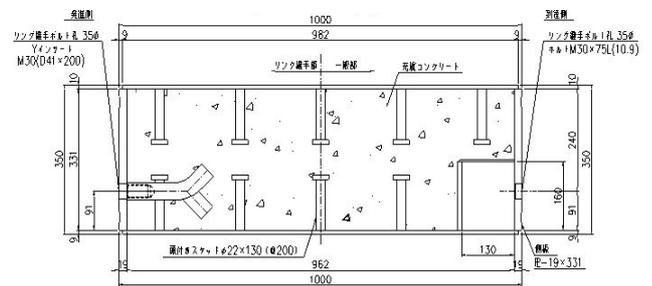


図-2 本体断面図

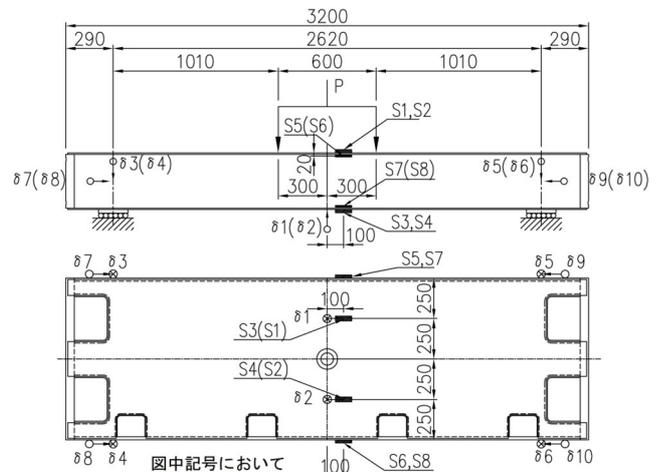


図-3 試験体詳細図 (A1型ピース)

3. 2次元非線形FEM解析による考察

(1) 解析概要

本検討では、解析プログラムSLAP³⁾を用いた2次元非線形FEM(Beam-Fiber)解析(ファイバー解析)により単体曲げ試験のシミュレーションを実施した。

キーワード：矩形、六面鋼殻合成セグメント、単体曲げ試験、ファイバー解析、2次元非線形FEM解析、耐荷性能
 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 TEL03-6229-6641

表-2 材料特性

鋼材	ヤング係数 E_s	2.10×10^8 kN/m ²	
	降伏応力度 σ_y	3.25×10^5 kN/m ²	
	二次勾配低減係数 B	0.01 ---	
コンクリート	コンクリート強度 f_{ck}	4.20×10^5 kN/m ²	
	圧縮強度 ($=0.85 f_{ck}$) σ'_c	35,700 kN/m ²	
	圧縮ひずみ ϵ'_c	0.002 ---	
	終局圧縮ひずみ ϵ'_{cu}	0.0035 ---	
	引張強度 f_{tk}	0.0 kN/m ²	

本試験後に、試験体を工事に利用するため、試験荷重は弾性範囲内としているが、部材における降伏以降の非線形挙動を推定する目的で非線形解析を行い、長期許容曲げモーメントに対する降伏曲げモーメントの安全率を確認した。解析に用いた材料特性を表-2に示す。

解析では、断面をファイバー分割し、外側に鋼殻を構成する鋼材を、内側に充填コンクリートをモデル化した。側板は、側板分の鋼材を断面として考慮する「側板あり」と考慮しない「側板なし」の場合に分けた(図-4参照)。解析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)関係で整理した(表-4参照)。

(2) 解析ケース

解析ケースは表-3の2ケースとした。Case-1は本工事の設計条件である。Case-2では、コンクリートについて試験体と同材齢の管理用テストピースにおける圧縮試験で得られた実ヤング係数を基に設定し、鋼材のヤング係数は道路橋示方書・同解説を参考に200kN/mm²とした。

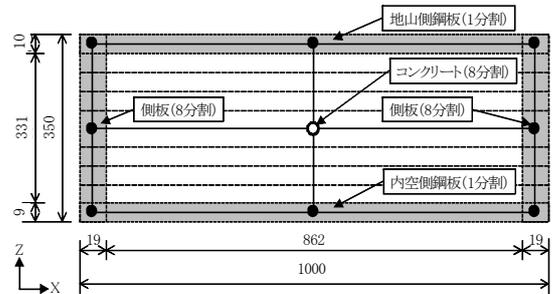


図-4 断面のファイバー要素(側板あり)

(3) 考察

- Case-1, 2ともに試験結果は、解析モデル「側板あり」と「側板なし」の間となり、Case-1の長期許容曲げモーメント時は、「側板あり」の解析結果に近い値となった。
- Case-1, 2の解析結果は、大差なく、長期許容曲げモーメント付近において、Case-2の「側板あり」は試験結果に最も近い値となった。
- Case-2「側板あり」の解析結果から推測される降伏曲げモーメントは、長期許容曲げモーメントに対して約2.01(=1207.1/600.2)の安全率となり、本セグメントが十分な耐荷性能を有していると推定できる。
- Case-2「側板あり」の解析において、試験結果が解析結果よりも若干下回った原因としては、セグメント内側のボルトボックスによる断面欠損を解析で考慮していない等が考えられる。

4. まとめ

単体曲げ試験の安全性を確認するとともに、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、部材の降伏以降の非線形挙動を推定した。その結果、六面鋼殻セグメントの十分な耐荷性能が確認できた。今後、レベル2耐震設計を含めた限界状態設計法による設計法への移行を念頭に、非線形挙動までの実験結果と解析結果の検証を実施する予定である。

参考文献

- 一寸木他 六面鋼殻合成セグメントによる大断面矩形推進トンネルの設計, 土木学会 第70回年次学術講演会
- 工藤他 ビットの切削実験による「R-SWING工法」摺動型掘削機への対応(その1), 土木学会 第71回年次学術講演会
- 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

表-3 解析ケース(ヤング係数)(kN/mm²)

	コンクリート	鋼材
Case-1	33	210
Case-2	45	200

表-4 M-φ関係の試験・解析結果の比較

