

既設トンネル補強用セグメントの開発（その3：FEM解析）

日之出水道機器(株) 正会員 ○山下 良, 日高 哲郎, 藤本 宏義
 日本シビックコンサルタント(株) フェロー会員 藤木 育雄, 齊藤 正幸
 東京地下鉄(株) 正会員 岩本 佑太

1. 背景および目的

著者らは、既設トンネル内部から覆工を支持する球状黒鉛鋳鉄製セグメント「THE-HD (Triple Hexagon Element -High Ductile) セグメント」(以後HDセグメントと呼ぶ(図1参照))を開発し、その構造的特徴について検討してきた¹⁾²⁾。その結果、本セグメントは、リング継手のみで構造として成立し、FEM解析との整合性も良好であることを把握した。よって本稿では、FEM解析により、実用時に近い連結状態での構造性能を確認する。

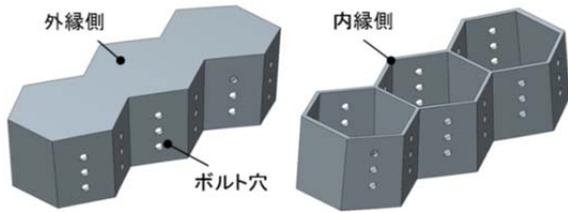


図-1 HDセグメント

2. 解析モデル

材料モデルは図2に示すバイリニア型とし、弾塑性解析を行った。

単純支持による4点曲げ載荷の解析モデルを図3,4に示す。CASE1(図3)は実際の構造を想定し、トンネル進行方向(部材幅方向)端部は後の実験で再現可能な範囲で変位のみ拘束した。部材幅は $w=698\text{mm}$ 、幅方向3連結の1/2モデルとした。CASE2(図4)は連結状態の構造性能をより正確に把握するため、トンネル進行方向両端に対称拘束を設け、連続体の一部を再現した。

部材同士の連結はCASE1,2ともにリング継手のみボルト締結したモデルを再現した。ここで、連結ボルトはCASE1のみビーム要素でモデル化し、初期導入軸力を 30kN とした。CASE2はボルト座面の有効面積を結合条件で連結した。部材同士の接触面はリング継手、セグメント継手ともに摩擦係数 0.3 の接触条件とした。

解析ソフトは汎用構造解析プログラムNXを用い、四面体2次要素にてモデル化した。

キーワード 鋳鉄, セグメント, トンネル補強, FEM解析

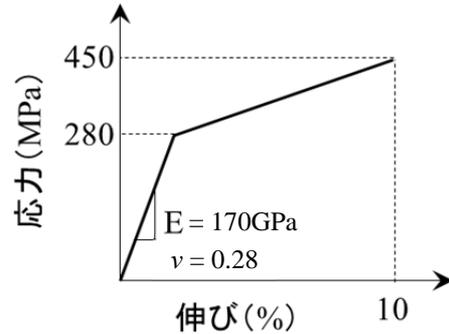


図-2 材料モデル

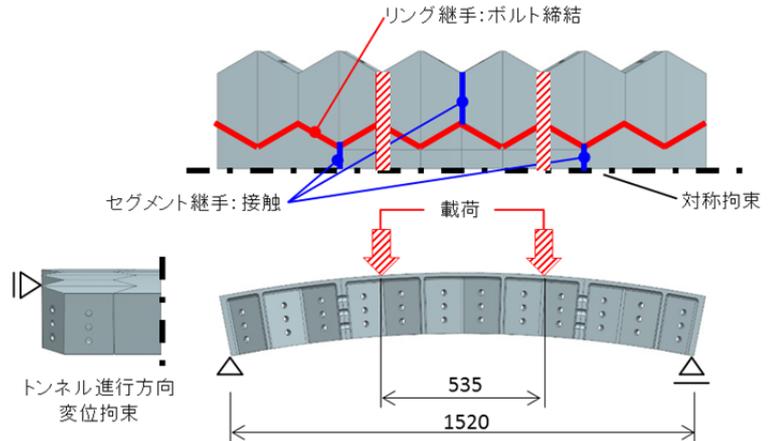


図-3 解析モデル(CASE1)

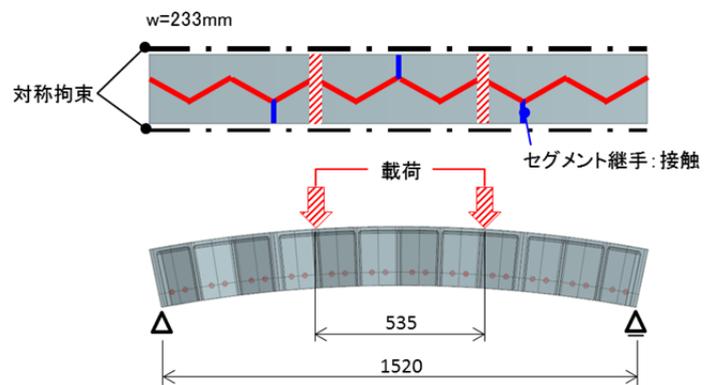


図-4 解析モデル(CASE2)

連絡先 〒849-0101 佐賀県三養基郡みやき町大字原古賀字岩崎 R&D 総合センター TEL(0942)94-5600 FAX(0942)81-8021

3. 解析結果および考察

荷重-変位関係を図 5,6 に示す. 変位は支持スパン中央の鉛直方向変位である. また, 同図の弾性限界における荷重と変位, 梁のたわみ式から求めた曲げ剛性を表 1 に示す. 同表には比較のため, 部材単体の曲げ剛性も示している. CASE2 の部材幅 1m 当たりの曲げ剛性 EI は, CASE1 の約 3.3 倍となった (表 1 参照). これは, CASE1 と CASE2 を比較すると, CASE1 のトンネル進行方向端部の変位拘束力が小さいためと想定される. また, 単体と比較すると CASE1,2 の EI が大きい. これは連結することで部材同士が変形を抑制するため, 単体よりも曲げ剛性が向上したと考えられる.

図 7,8 に構造弾性限界(図 5,6 参照)における最大主応力分布を示す. これより, HD セグメントは先の研究同様六角頂点付近の応力が大きく, 材料の耐力(280MPa)を超えている箇所が散見された.

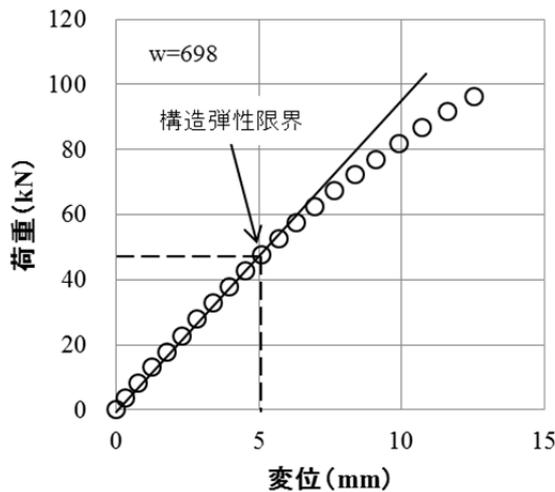


図-5 荷重-変位関係(CASE1)

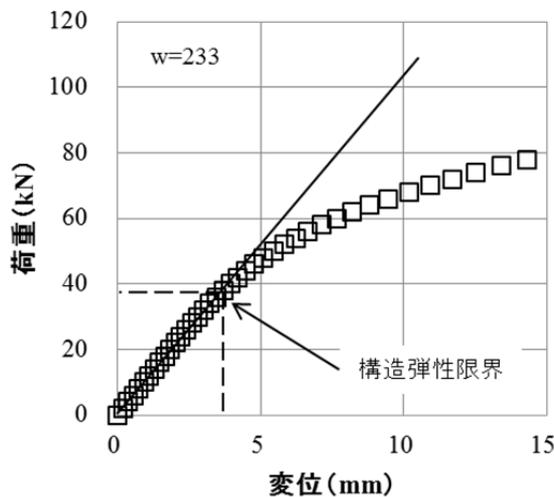


図-6 荷重-変位関係(CASE2)

表-1 曲げ剛性

部材幅 w_1 (m)	荷重 P (kN)	変位 δ (m)	曲げ剛性 ($w=1m$) EI (kNm ²)	比率
0.698 (CASE1)	48	0.00509	840	1.0
0.233 (CASE2)	38	0.00369	2750	3.3
0.233 (部材単体)	-	-	730	0.87

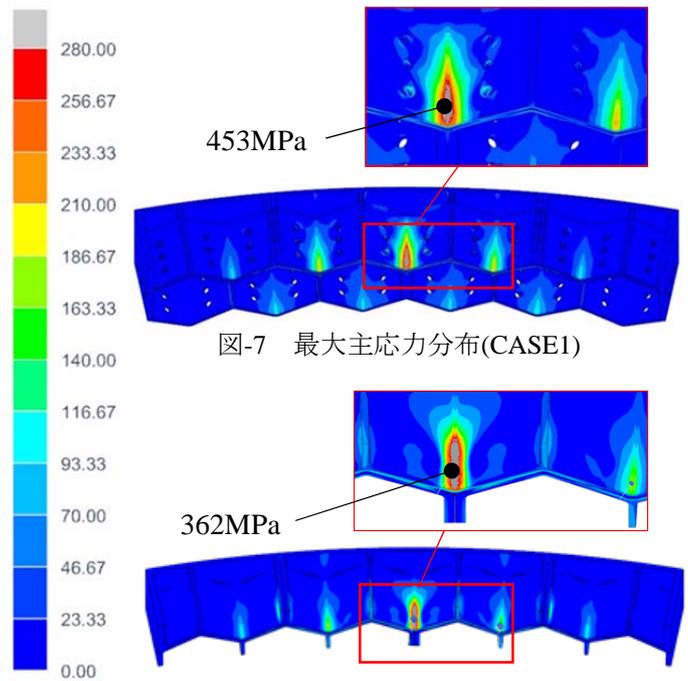


図-7 最大主応力分布(CASE1)

図-8 最大主応力分布(CASE2)

4. 結論

(1)HD セグメントは隣接する部材同士かみ合い, 互いの変形を抑制するため, 端部拘束条件下で耐力, 剛性が大きく向上する.

(2)応力集中箇所は六角頂点であり, 同部を補強することで更なる耐力向上に期待できる.

5. 今後の展開

次報では, 今回実施した解析結果の整合性について実験的に検証した結果を報告する. 今後は, 実装に向けた形状最適化や施工方法について検討して行く.

謝辞

本開発にあたり, 構造コンセプト検討や FEM 解析の妥当性について早稲田大学小泉淳教授にご指導を頂きました. ここに感謝の意を表します.

参考文献

- 1) 土木学会第 73 回年次学術講演会, VI-363
- 2) 土木学会第 73 回年次学術講演会, VI-364