

既設トンネル補強用セグメントの開発（その1：FEM 解析）

日之出水道機器(株) 正会員 ○日高 哲郎, 甲斐 信博, 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 大塚 努

1. 背景および目的

現在, シールドトンネルの土砂地山における本格的な採用から既に 50 年が経過している. この間, 地下鉄をはじめとして上下水道, 電力洞道や通信用とう道, 道路などの地下インフラ施設の建設が急速に進んだ. 一方で, 経年劣化, 漏水, 地下水変動や近接施工の影響などによるトンネルの変状が報告されている. 今後, トンネルの補修, 補強の必要性が増大すると考えられることから, 筆者らは, 既設トンネル内部から覆工を支持する「THE-HD (Triple Hexagon Element -Hight Ductile) セグメント」(以後 HD セグメントと呼ぶ)を開発した. HD セグメントは, 小型軽量セグメントでありながら十分な強度を有しており, 地下鉄など内空余裕が小さい, 作業時間の制約が厳しい箇所でも効率的な施工が可能である. 以下にその概要について述べる.

2. HD セグメントの概要

HD セグメントを図 1 に示す. 材料は鋳造により複雑形状一体成形が可能で, 鋼に匹敵する強度/靱性を有し, 過去にセグメント本体に使用された実績がある球状黒鉛鋳鉄とした.

HD セグメントの連結状態を図 2 に示す. HD セグメントは側面同士が嵌合しセグメント継手に発生する曲げ引張力を隣接するハニカム構造の面圧縮で受け持つ構造となっており, 従来のリング単位の構造とは異なる面的アーチ効果や補強部材の軽量化, 継手構造の簡素化を可能とする構造と考えられる. よって本論ではまず HD セグメントの構造的特徴を確認するため, FEM 解析により載荷時の挙動について検討を行うこととした.

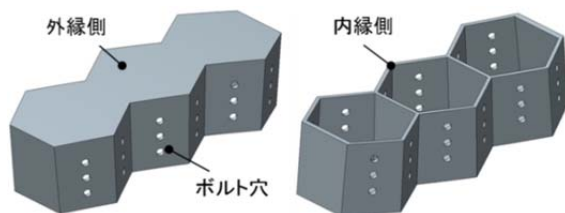


図-1 HD セグメント

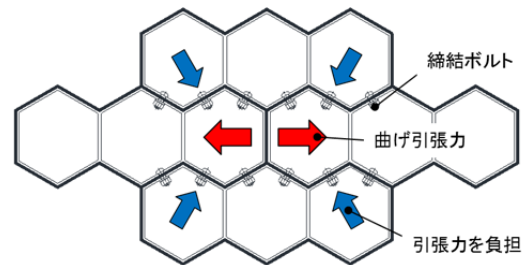


図-2 HD セグメントの連結状態

3. 解析モデル

材料モデルは図 3 に示すバイリニア型とし, 弾塑性解析を行った. 解析モデルを図 4, 5 に示す. 部材単体と連結時の挙動を把握するため, 解析モデルは単体と連結モデルの 2CASE とした. 載荷位置は部材フランジ面とし, 単体モデルは単純支持, 連結モデルは実用時を鑑み, 両端固定支持に加え, トンネル進行方向の変位を拘束した. また, 連結モデルのセグメント継手は, 製造誤差を吸収するためのクリアランスを 5mm 設け, 摩擦係数 0.3 の接触条件とし, リング継手面は結合と接触_摩擦係数 0.3 の 2 パターンとした. 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.

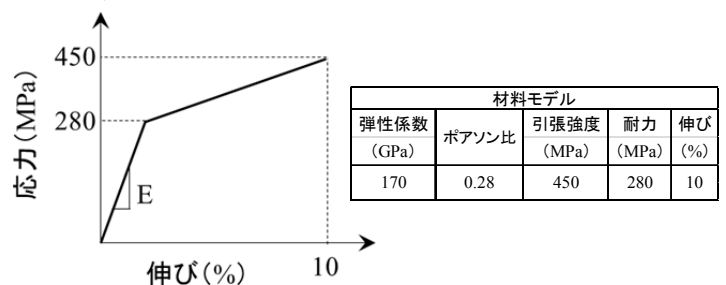


図-3 材料モデル

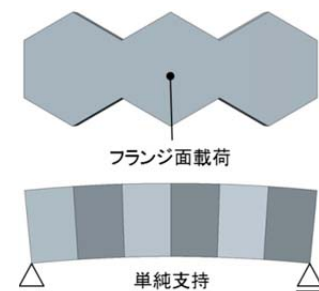


図-4 解析モデル（単体）

キーワード 鋳鉄, セグメント, トンネル補強, FEM 解析

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

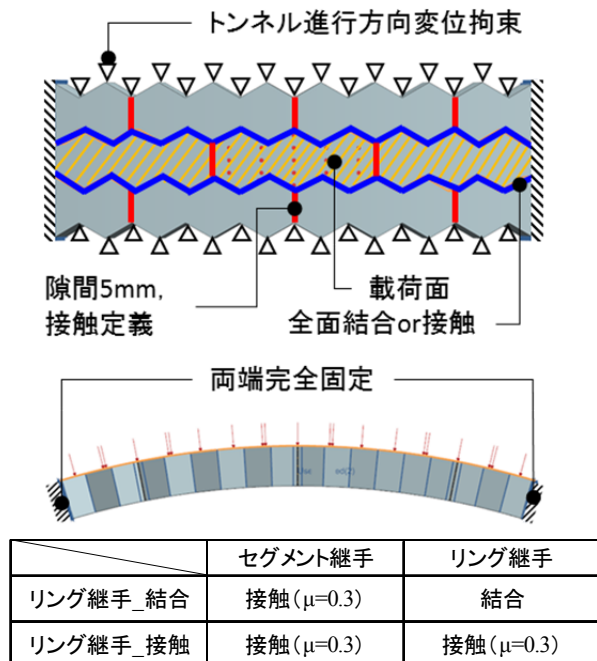


図-5 解析モデル (連結)

4. 解析結果および考察

単体および連結モデルの荷重-変位関係を図 6 に、それから算出した弾性限界までの曲げ剛性を表 1 に示す。これより単体に比べて連結モデルの耐荷力、曲げ剛性ともに大きく向上している。また、リング継手が接触条件であっても一定の耐荷力や曲げ剛性を有している。以上のことから HD セグメントはセグメント継手やリング継手のボルト締結がなくても周囲を固定することで側面の嵌合効果が発揮され、構造部材として十分に成立すると考えられる。

図 7 に単体/連結モデルの弾性限界における最大主応力分布を示す。これより、HD セグメントは六角頂点付近の応力が大きく、その他フランジ面や内部のリブに発生している応力は比較的小さい。よって剛性向上にはこの六角頂点近傍の補強が有効と考えられる。

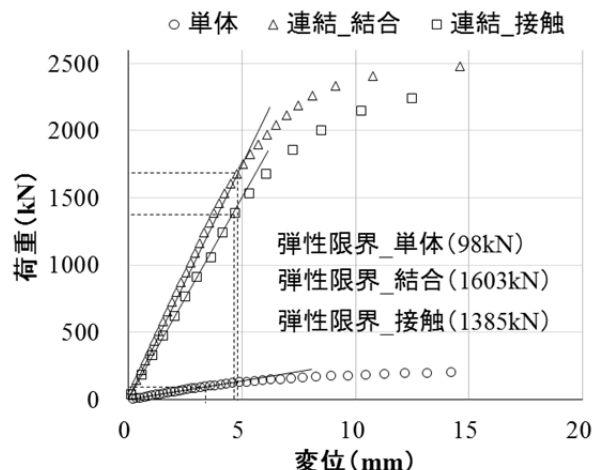


図-6 荷重-変位関係 (単体モデル)

表-1 曲げ剛性算出結果

	単体	連結_結合	連結_接触
曲げ剛性EI (Nm ²)	168,915	10,604,279	8,830,047

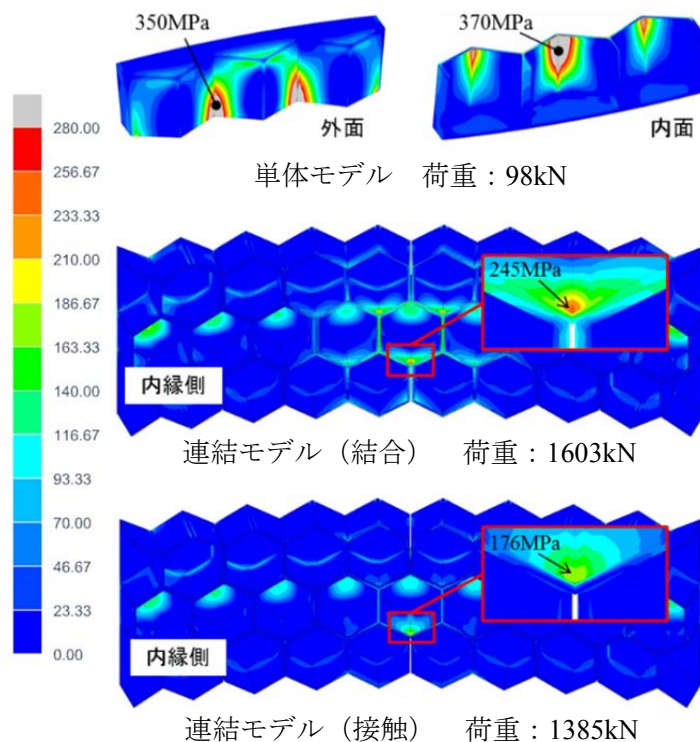


図-7 最大主応力分布

5. 結論

HD セグメントの単体と連結モデルの弾塑性解析を行った結果以下の結論を得た。

- (1) 周囲を拘束された HD セグメントは側面の嵌合効果によりセグメント継手やリング継手のボルト締結がなくても構造体として成立する可能性がある。
- (2) HD セグメントは六角頂点近傍の補強を行うことにより、剛性向上が図れる。

6. 今後の展開

HD セグメントは複雑形状の連結構造あるため、解析との整合性や製造時の製造誤差等を含めた構造性能を把握する必要がある。よって次報では実際に製造した HD セグメント部材にて载荷試験を行った結果について報告する。

7. 謝辞

本開発にあたり、構造コンセプトや FEM 解析で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。