

合成セグメントの合理化に関する研究

西松建設株式会社 正会員 ○井筒 克美
 正会員 小林 正典
 正会員 大江 郁夫

1. はじめに

近年、大深度地下トンネルでは、高水圧下での切り上げなどで、大きな曲げモーメントが発生する箇所の高い耐力を有する合成セグメントの採用が増えている。しかし、合成セグメントは従来のセグメントに比べコストおよび製作工期が増大する傾向にある。このような背景の下、当社はスタッドジベルを使用した、製作性、経済性に優れた高剛性の合成セグメントの開発を進め、昨年度に実験を行った。本稿では、実験結果を検証する目的で行った解析結果について報告する。

2. 実験概要

実験は、支持スパン 4,000mm、荷重スパン 1,000mm の 2 点荷重による 2 本主桁の単体曲げ試験（正曲げ）、および 3 本主桁の単体曲げ試験（正曲げ・負曲げ）を行った¹⁾。3 本主桁の構造概念図を図-1 に示す。外主桁には鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)²⁾による必要量の 50% 程度のスタッドジベルを中立軸より内面側に設置した。中主桁には鉄筋の位置決め用として、量販されている最小径 $\phi 13\text{mm}$ のスタッドジベルを片側 3 本設置した。スキンプレートには 300mm 間隔で $\phi 13\text{mm}$ のスタッドジベルを設置した。実験では、トンネル縦断方向の拘束を考慮し、横拘束治具を設置した。実験の結果、十分な耐力を有することを確認した。

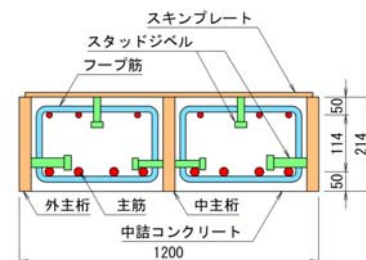


図-1 合成セグメント概念図

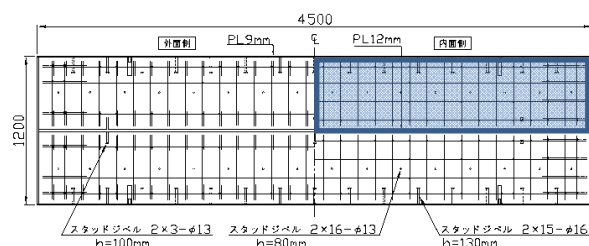


図-2 解析範囲

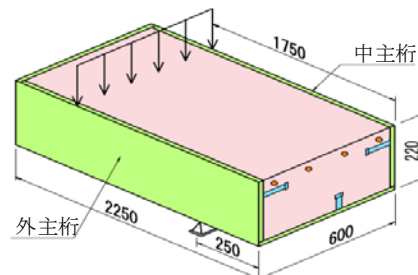


図-3 解析モデル模式図

3. 3次元FEMによる非線形解析

解析プログラムは、「ABAQUS 6.11-1」を用い、材料の非線形性を考慮した 3 次元解析を行った。解析は 3 回の実験結果の中から、スタッドジベルに大きなひずみが生じた 3 本主桁負曲げ試験の実験供試体を対象とした。

(1) 解析モデル

3 次元 FEM 解析のモデルは、供試体の構造と荷重の対称性を考慮し、スパン方向、幅方向にそれぞれ対称軸を考慮した 1/4 モデルとした (図-2, 3)。中詰めコンクリートはソリッド要素、鉄筋、スタッドジベルは断面積、断面二次モーメントを定義した梁要素、鋼板は厚みを定義したシェル要素を用いた。ジベル端部の境界条件は剛結合とした。鋼板とコンクリートの接触面は圧縮力に応じた摩擦力を考慮した。摩擦係数は $\mu=0.35$ とした。

(2) 材料の非線形性

コンクリートの構成則は、圧縮側を CEB-FIP1990³⁾、引張側を出雲・岡村モデル⁴⁾とした。物性値は圧縮強度試験結果

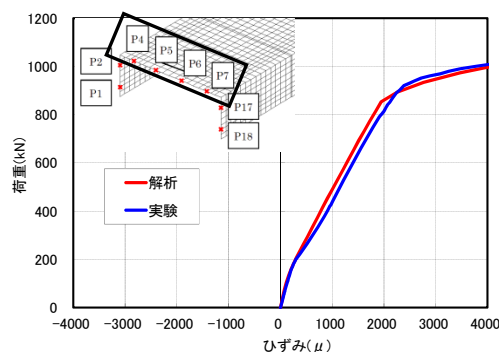


図-4 スキンプレート平均ひずみ

キーワード 大深度、合成セグメント、スタッドジベル、FEM解析

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 西松建設株式会社 TEL 03-3502-7560

から設定した (JIS1108)。

鋼材・鉄筋・スタッドジベルの強度はミルシートに示された降伏点より設定した。降伏基準は Von Mises の降伏基準とした。ポアソン比は $\nu=0.3$ とした。

4. 解析結果

主桁、スキンプレート、鉄筋、ジベルの実験結果と解析結果を図-4~8 に示す。スキンプレート、鉄筋、主桁（引張側）については、解析結果と実験値がほぼ一致する結果となった。主桁（圧縮側）および主桁スタッドジベルについては、解析値が実験値を若干上回る安全側の結果となった。主桁スタッドジベル（圧縮側）の解析値と実験値に乖離がみられること、主桁スタッドジベルのひずみが実験値に比べ早期に発生していることについては、解析では考慮していない鋼材とコンクリートの付着力、拘束治具の効果等が影響していると考えられる。

解析値と実験値に一部整合がとれない箇所もあるが、概ね FEM 解析で実験結果を再現することができた。

5. 結論

- ・鋼殻（主桁スキンプレート）によって閉じられた変形に対する拘束効果が高い合成構造について、FEM 解析によりほぼ実験時の挙動をほぼ再現できることがわかった。
- ・主桁スタッドジベルに着目すると、許容荷重時のひずみは、解析値： 860μ (180N/mm^2)、実験値： 650μ (137N/mm^2)である（図-8）。許容荷重作用時の実験値の応力は許容値 (160N/mm^2 , $\epsilon_a=760\mu$: SS400 相当)の 8 割強の値を示していること、また、解析値と実験値の差が大きいことから、単体曲げ試験 ($N=0$) の条件では、スタッドジベルの量は妥当であると思われる。

6. おわりに

スタッドジベル本数、配置の合理化、スタッドジベル配置の工夫による鋼殻内部への鉄筋かご挿入性の向上により、コスト削減、製作性の向上を図った。今後は、実用化に向けて更なる検討を行い、大深度地下トンネルの切掘り部や、避難路、横坑などの非円形または欠円断面など大きな曲げが発生する条件下において当該合成セグメントの採用を提案したい。

謝辞

解析にあたって、早稲田大学の小泉教授にご指導を賜った。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大江郁夫ら、合成セグメントの合理化に関する基礎的研究（その 1, 2）、第 68 回土木学会学術講演会、2013.9
- 2) 社団法人土木学会：コンクリートライブラリー73 鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）、平成 4 年 7 月
- 3) CEB-FIP MODEL CODE 1990
- 4) 出雲淳一、他：面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル、コンクリート工学論文、No.87.9-1, 1987.9

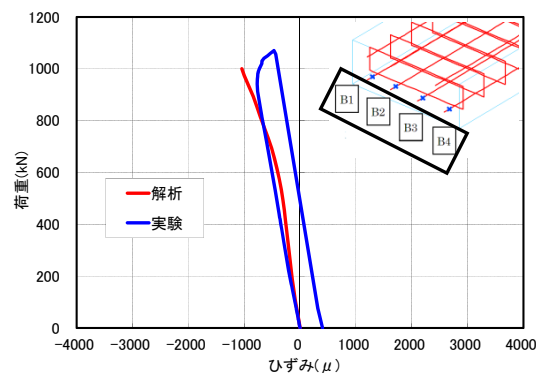


図-5 鉄筋平均ひずみ

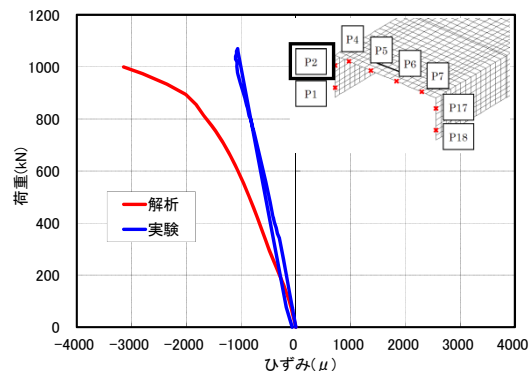


図-6 主桁圧縮側ひずみ

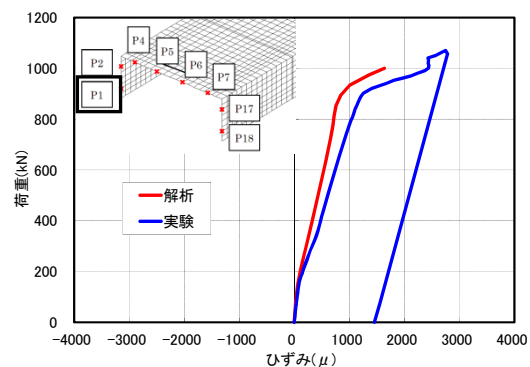


図-7 主桁引張側ひずみ

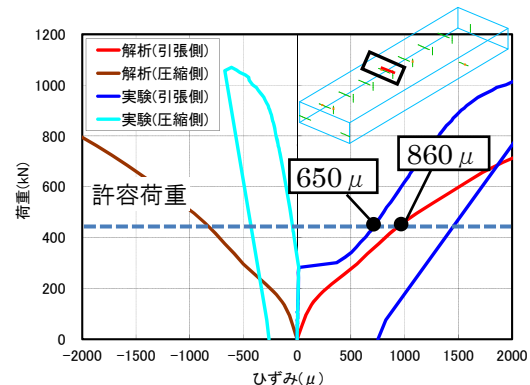


図-8 外主桁スタッドジベルひずみ