

# シールドトンネルの分合流部におけるセグメントと躯体の接合方法に関する実験的研究 —その2：実験結果—

大成建設（株）土木技術研究所 正会員 ○村田 裕志  
大成建設（株）土木設計部 正会員 服部 佳文  
大成建設（株）土木技術開発部 正会員 高倉 克彦

## 1. はじめに

都市部におけるトンネル構造においては分合流部の合理的な建設が必要であり、これに対し、2つのシールドトンネルを鋼とコンクリートの合成構造で接続する構造形式を考案した。本構造は、鋼製セグメントからボルト接合を介して連続する接合ピースをRC接合躯体に埋め込み、コンクリートを介してRC接合躯体の鉄筋に力を伝達させる構造である。本稿では、この構造形式が設計上想定する耐力を確保できることを確認するために行った要素実験および縮小模型実験と解析検討について報告する。

## 2. 重ね継手実験

図1に荷重状況を示す。荷重方法は、設計荷重レベルの軸応力  $\sigma_n=2.3\text{N/mm}^2$  相当の軸力を保持した状態で、接合ピースとRC接合躯体の重ね部を等曲げ区間として漸次増加荷重を与えた。荷重のコントロールは荷重初期では荷重制御とし、途中から変位制御に切り替えた。図中に鋼材の降伏強度、試験時のコンクリート強度を示す。

荷重-中央部たわみ関係を図2に、重ね部に沿った鉄筋と接合ピースのひずみを図3に示す。荷重開始後、 $P=70\text{kN}$ で等曲げ区間の引張縁に曲げひび割れが発生し、 $P=240\text{kN}$ で接合ピース引張縁が降伏した。その後、 $P=265\text{kN}$ で主鉄筋が降伏して部材降伏に至り、荷重をほぼ保持しながらたわみが増加して行った。変位約45mmまで荷重した時点で耐荷性状を十分に確認できたと判断し荷重を終了した。

設計荷重レベルは $P=110\text{kN}$ であり、1)最大荷重280kNに対して約2.5倍の安全率を有すること、2)その時点では等曲げ区間に一様な曲げひび割れが生じていること、3)重ね区間での鉄筋ひずみ・接合ピースひずみより荷重を通じて接合ピースから鉄筋に滑らかに力の伝達が行われていること、4)部材降伏後も荷重は安定しており急激な破壊には至っていないことより、本構造は十分な耐荷性能を有すると考えられる。

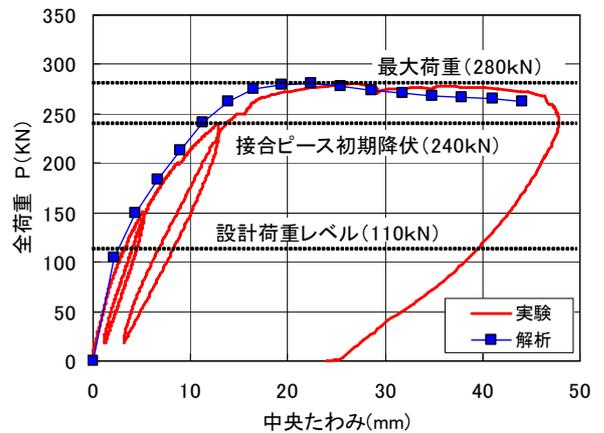


図2 荷重-中央たわみ関係

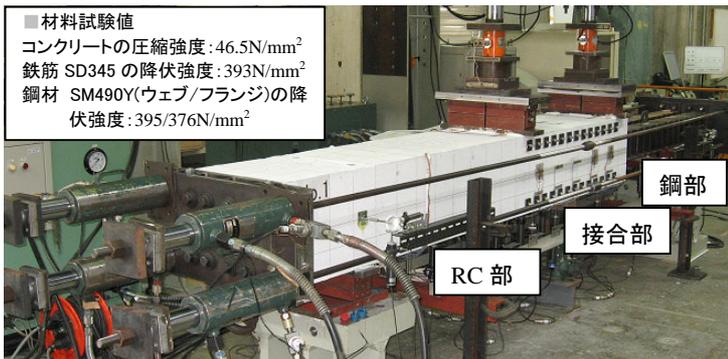


図1 荷重状況

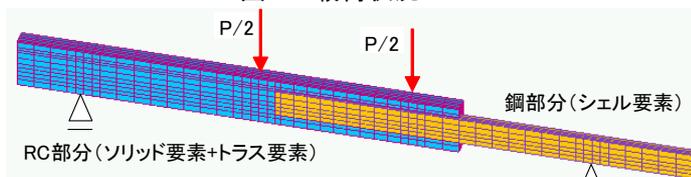


図4 解析モデル要素分割

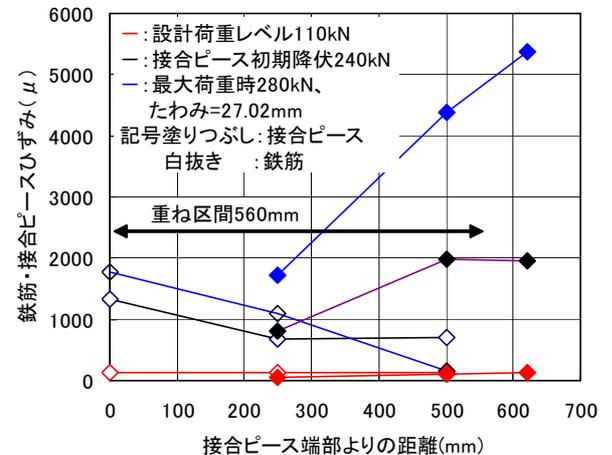


図3 接合部のひずみ分布

キーワード 道路トンネル, シールド工法, 分岐合流, 接合部, 実証実験, 非線形有限要素解析  
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 新宿センタービル 大成建設(株)土木本部土木設計部 TEL 03-5381-5417

実験の挙動を検証するために、3次元非線形有限要素解析によりシュミレーションを行った。解析モデルの要素分割を図4に示す。プログラムは汎用有限要素解析プログラムABAQUS ver6.5を用いた。材料定数は図1中に示す材料試験結果を用い、コンクリートのひび割れ、鉄筋降伏、鋼材降伏等の非線形性を考慮した解析を行った。接合ピースとコンクリート間の付着面のすべりのモデル化については不明確な点も多い

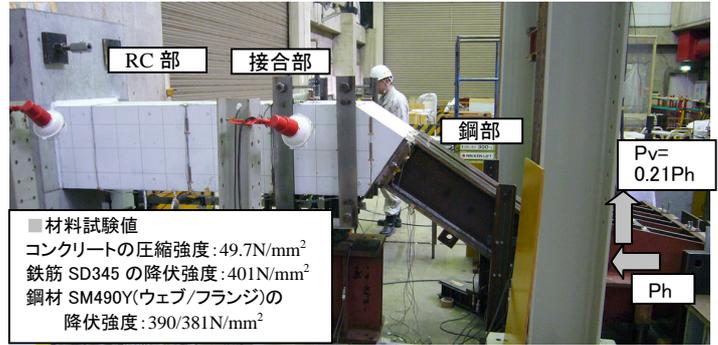


図5 荷重状況

が、本解析では、すべりバネ剛性は大きな値として  $10^7 \text{N/mm/mm}^2$  を用い、付着応力の上限值を  $0.7 \text{N/mm}^2$  として付着応力とすべりの関係をバイリニアでモデル化した。解析結果の荷重-変位関係を図2に併記した。これより解析結果は実験を良好に再現できていると考える。

3. 縮小模型実験

図5に荷重状況を示す。荷重方法は、接合ピース端部に鉛直力と水平力を、設計荷重状態での荷重比率 0.21 を保ちながら漸次増加荷重を与えた。荷重のコントロールは重ね継手実験と同様である。図中に鋼材の降伏強度、試験時のコンクリート強度を示す。

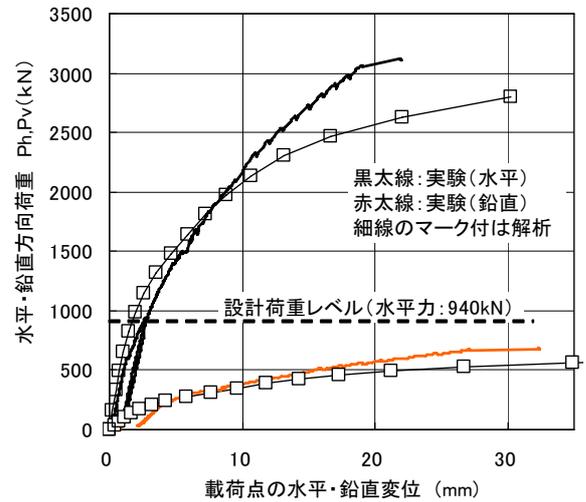


図6 荷重-荷重点変位関係

荷重-たわみ関係を図6に、重ね部に沿った鉄筋と接合ピースおよびコンクリート表面のひずみを図7に示す。設計荷重レベル  $Ph=940 \text{kN}$  において、コンクリート表面のひずみゲージは約  $500 \mu$  を示すものの、明瞭な曲げひび割れは観察されなかった。また、接合ピース及び鉄筋のひずみも小さなレベルにあった。荷重変位関係においても荷重初期の剛性より大きな変化は認められなかった。

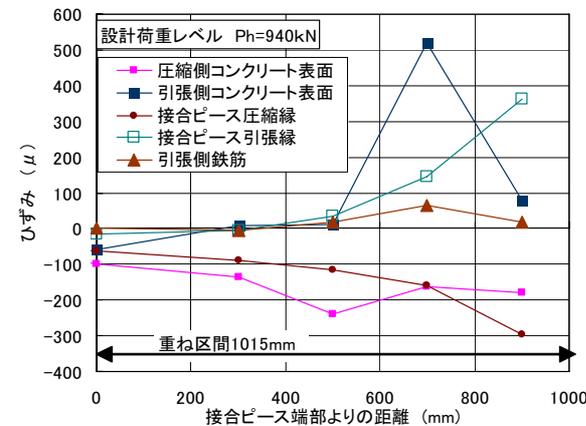


図7 接合部のひずみ分布

荷重を進めるに従い、荷重変位関係における剛性は小さくなっていったが、これは、接合ピースと鋼製セグメントをボルト連結している接合版間に目開きが生じており、たわみに占める目開きの割合が大きくなっていったことによる。水平変位  $20 \text{mm}$  を越えたあたりから鉛直水平荷重比率を保持した変位制御荷重が不安定になり変位に乱れが生じたため、図中には水平変位  $22 \text{mm}$  までを図化している。最終的には、ボルト破断により荷重が低下したので実験を終了した。

水平変位  $22 \text{mm}$  における水平荷重  $3115 \text{kN}$  は設計荷重  $940 \text{kN}$  に対して約 3.3 倍であり、十分な耐荷性能を有していると考えられる。また、実験の挙動を検証するために、重ね継手実験と同様に3次元非線形有限要素解析によるシュミレーションを行った。解析モデルの要素分割を図8に示す。解析仕様は重ね継手実験と同様である。解析結果の荷重-変位関係を図6に併記した。解析は実験の剛性については高めに、耐力については小さめに評価しているが、概ね荷重-変形関係を再現できていると考える。

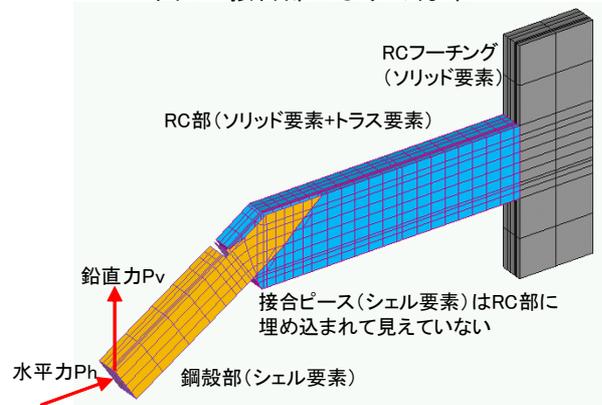


図8 解析モデル要素分割

4. まとめ

都市部のトンネル構造における分合流部の合理化を目的として考案した接合構造に対し、重ね継手実験、縮小模型実験を実施し、接合ピースとRC接合躯体の重ね長を  $35d$  とすることで設計上想定する耐力を十分に確保できることを確認した。