

審査の結果の要旨

氏名 土橋 浩

本論文の題目は「分合流部を有するシールドトンネル拡幅構造接合部の応力伝達機構の実験的検証および数値解析による評価」であり、近年、建設された大口径シールドトンネルを対象として、本線と地上出口の分合流部において設置された拡幅構造部接合部での、軸力・せん断・曲げに起因する応力の伝達機構の耐力や特性を、模型実験、実大実験、数値解析によって評価したものである。

本論文の構成に沿って審査を行った。最初に、拡幅構造接合部の軸力の伝達機構に関して模型実験を使った検討を行った。接合部ではシアコネクタを介して軸力が鋼製セグメント主桁から鉄筋コンクリート躯体にせん断力として伝達される。拡幅構造接合部を模擬した大型2面せん断実験の結果から、経験式から算出される耐力を使うことでせん断耐力を安全側に評価できることを確認している。拡幅構造接合部では鋼製セグメント主桁が鉄筋コンクリート躯体に埋め込まれているため、シアコネクタの数が軸力の伝達耐力に支配的な要因となる。1/2縮尺の供試体を用いた押し抜き破壊実験の結果から、シアコネクタが10個以上あれば、拡幅構造接合部のせん断伝達耐力算出にあたって、経験式を良好に利用できることが判明した。また、シアコネクタの個数を考慮した新たな算定式も提案した。軸力が大きい場合、シアコネクタのみでは鉄筋コンクリート躯体のせん断伝達耐力が不足する可能性がある。シアコネクタにスタッドを組み合わせて押し抜き破壊実験を行い、スタッドによるせん断伝達耐力について確認した。軸力が増加しシアコネクタの伝達力が耐力に近づくとスタッドもせん断力を伝達するようになることを実験で確認した。短辺側と長辺側に設置されたスタッドに対し、既往の算定式を基にこのせん断伝達耐力を算定した。

次に、押し抜き破壊実験の結果を使って、非線形有限要素法の解析精度を検証した。この検証を踏まえ、主桁の短辺側の面に発生するせん断応力の大きさを調べた。主桁近傍の鉛直面に発生するせん断応力に比べ、この船団応力は約2倍程度の大きさになることが計算された。この結果から、せん断応力は、主桁周辺で均等に分布するのではなく、シアコネクタ短辺側で大きくなることが推測された。すなわち、3次元的な荷重伝達効果が確認された。

非線形有限要素法に代わり、シアコネクタのせん断伝達耐力を算出する簡便な方法として応力伝達モデルを構築した。せん断伝達耐力を支配する載荷端の近くに設置されたシアコネクタについては、構築された応力伝達モデルによる解析値は実験値とよく一致している。特にシアコネクタの設置間隔が狭い場合、最大荷重時の伝達力に対する応力

伝達モデルの解析値は、概ね実験値と一致する。さらに、短辺スタッドと長辺スタッドのせん断伝達力の評価も応力伝達モデルに組み込んだ。この結果、応力伝達モデルによるシアコネクタ、短辺スタッドおよび長辺スタッドのせん断伝達耐力の解析値は実験値とよく一致することとなった。

次に、曲げモーメントとせん断力の伝達機構に対し、1/2縮尺の供試体を用いた水平押し抜き実験を行なった。水平押し抜き破壊が観察され、支圧応力は設計荷重レベルでは発生しないものの破壊時に発生し、供試体上面に局所的な支圧破壊を起こすことが確認された。この支圧破壊に対し、主桁フランジを拡幅することで補強は可能であり、補強効果はフランジ幅の拡幅比率以上であることが明らかになった。

模型実験と数値解析で解明された拡幅接合部の伝達機構に基づいて、施工履歴を考慮した逐次解析および完成系での単独解析に加え、躯体の有効剛性を考慮した鋼殻の設計法を提案した。合わせて、軸力に対するせん断伝達耐力の算定式、曲げモーメントおよびせん断力が作用する場合の支圧応力度、割裂および水平押し抜きに対する断面照査方法も提案した。シアコネクタと短辺・長辺スタッドのせん断伝達耐力算定式、支圧破壊・割裂破壊・水平押し抜き破壊に対する鉄筋による補強の照査方法も提案した。

最後に、提案した構造照査方法に基づき、1/2縮尺の供試体を使った性能確認実験を行った。荷重レベル全てのケースに対して、発生応力が短期許容応力度あるいは降伏応力以下であることを確認した。特に押し抜き耐力については、提案式から算出されるせん断伝達耐力に対して十分な安全率が確保されていることを確認した。この結果、提案した拡幅構造接合部に対する設計手法の妥当性が検証された。

審査では、上記の論文内容を審議するとともに、文合流部を有するシールドトンネル拡幅構造部の応力伝達機構に対し、模型実験・数値解析・実証実験を用いた包括的な検討の妥当性を議論した。十分妥当であることは確認され、さらに、本論文で構築された応力伝達モデルや、各種照査方法の実用性は高いと判断した。このような知見と成果は、過密都市でのシールド工法の適用範囲を拡大するとともに、シールドトンネルの分合流部のより合理的な設計手法・施工方法の開発に貢献すると考えられる。また、学位申請者が学位に値する専門的な学識を有していることも了解された。この結果、学位にふさわしい論文であると判断された。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。