

プロジェクト紹介 (寄稿) 首都高速山手トンネル切開き工法の 接合部の設計法に関する研究

大竹省吾 OTAKE Shogo 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 国土整備事業部門構造部

はじめに

首都高速中央環状新宿線では、 図1に示すように鋼製セグメント(以 下、鋼殻)で構築される本線シール ドトンネルの一部を切開き、RC躯 体と接合して本線と出入口の分 岐・合流部を構築する「切開き工 法 |を採用している。この接合部 は、 鋼殻の 主桁 (以下、 主桁)に 取 り付けられた縦リブの主桁近傍 100mmを残して切断し、RC躯体 内に埋め込むことにより荷重伝達 を図る複合構造である。同様な 構造としては地下鉄の駅舎等があ るが、高速道路の分岐・合流部で は、接合部に柱を設けられない区 間があることから伝達する荷重が 大きい。このため、この接合部の 設計に対して、構造形式および荷 重レベルの両面の特殊性より、接 合部の確実な応力伝達に着目し た検討を実施した。本稿は、その 検討の成果を、筆者らが取りまと めた論文1)の抜粋により紹介する。

軸力に対する設計 設計方針

接合部に作用する荷重のうち、 軸力に対しては、縦リブにシアコ ネクタとしての機能をもたせること

シールドトンネル 接合部 出入口躯体 シアコネクタ (セグメント縦リブ) 長辺方向への 応力伝達 図1 切開き部の接合構造の概要

で対処することとした(図1)。軸力 に対する設計手法としては、『鋼コ ンクリートサンドイッチ構造設計指 針(案)」²⁾(以下、指針案)がある。 ただし、指針案が想定するせん断 力は、曲げモーメントの変化に基 づいて発生する鋼材軸力の変動 分であり、切開き部で伝達する軸 力に比べ小さい。また、指針案の シアコネクタは連続した構造であ るが、切開き部は、主桁が1.2m程 度の間隔で点在するため、3次元 的な力の伝達(図2)を考慮する必 要がある。このため、実験検討等 を加え耐力式の算定を行った。

● 実験検討

実構造物に即した1/2縮尺の供 試体(図3)を用いて実験を行い、 耐力と破壊形態を把握した。供試 体は、シアコネクタの枚数の違い (P1、P2)に加え、主桁の短辺と長



図2 3次元的な力の伝達



辺にスタッドジベルを追加するケ ース(P3、P4)を実施した。この結 果、最大伝達力に達したシアコネ クタから順次進行性のずれせん断 破壊を呈することと、シアコネクタ の配置間隔と高さの比が小さくな ると、配置区間長が同じでも耐力 が低下することが確認された(図 4、写真1)。また、スタッドジベル は長辺よりも短辺に配置した方が 効果が大きいことが確認された。 このため、指針案の配置間隔と高 さの比に係わる係数k3に補正を 加えるものの、シアコネクタ間隔は シールドトンネルの設計から決定 される標準間隔とし、配置区間長 により必要な伝達力を確保するも のとした。さらに、耐力が不足す る場合は、スタッドジベルにより補 うこととした。

曲げモーメントとせん断力に

対する設計

設計方針



P1 供試体

写真1 実験後の内部破壊状況

算定式がないため、実験検討を行 った。

● 実験検討 ・供試体

曲げモーメントとせん断力に起 因する破壊形態としては、支圧破 試体(図7)を用いた。支圧補強の 壊、割裂破壊、水平押し抜き破壊 効果と軸力の作用の影響を把握 (図5)が考えられる。これらに対 するため、供試体は、基本構造の して、支圧板および補強鉄筋によ B1供試体に対して支圧版の幅を り応力伝達(図6)を図るものとし た。ただし、本構造のこれらの破 の3体とした。 壊形態にそのまま適用できる耐力

図4 荷重-載荷点変位の関係



破壊形態

実構造物に即した1/2縮尺の供 大きくしたB2と、シアコネクタを配 置し軸力を同時に作用させるB3

破壊状況を写真2に、実験終了 後のひび割れ状況を図8に、荷重 変位関係を図9に示す。写真2と 図8より、いずれの供試体も、主桁 が躯体の下端を支点として押し出 される水平押し抜き破壊を起こ すことが確認された。図9より、い ずれも急激な荷重低下を示さな いことから脆性的な破壊には至ら ないことが確認された。また図8 より、B3供試体には、軸力の作用



により主桁背面側のRC躯体部と シアコネクタの周辺にひび割れが 発生するが、耐力はB1と同等であ り、曲げせん断耐力において軸力 の影響は見られないことが確認さ れた。

・支圧に対する設計

支圧に対する設計式には、『鉄 道構造物設計標準」3)に示される 鋼角ストッパーの算定式等がある。 しかしこれらは、鋼材を剛体と仮 定しているため、主桁の曲げ変形 が無視できない本構造には、同式 をそのまま適用出来ない。そこ で、3次元FEM解析により推定式 を検討し、模型実験結果との比較 によりその妥当性を確認した(図 $10)_{0}$

・割裂に対する設計

割裂に対する設計では、割裂の 進展状況を実験により確認し、断 面力の推定式を考案した。実験 の結果、前面の配力鉄筋に作用 する応力度のピークは、荷重の増 加に伴い下方へ移行することと、 割裂は本接合構造の支配的な破 壊形態とはならないことが確認さ れた。このため、割裂に対する設 計は常時荷重レベルに着目し、主 桁フランジ前面側の断面を、図11 に示す仮想はりとしてモデル化す ることにより、必要な割裂防止鉄 筋量を算定することとした。

・水平押し抜きに対する設計 水平押し抜きに対する設計は、

支圧と同様、『鉄道構造 物設計標準」に示される 鋼角ストッパーの算定式 等の適用を考えた。しか しこれらは、鋼材の埋め 込み長が短いことから、 せん断力のみに抵抗する 評価式となっている。切 開き接合部では、曲げモ ーメントの影響も無視できず、破壊 形態が異なることが予想されたた め、模型実験により破壊形態を確 認すると共に、試算を加え、U字



図7 曲げモーメントとせん断力の載荷実験供試体

補強鉄筋を引張部材、主桁のフラ ンジ幅(b')のコンクリートを圧縮部 材とした図12に示すRC断面で設 計するものとした。



写真2 破壊時のひび割れ発生状況(B3供試体)



図8 供試体内部のひび割れ状況図





図10 支圧応力度分布の比較(B3供試体)

実証実験

最後に、上記検討結果を踏まえ て作成した実形状の供試体を用 い、施工時および完成時の荷重を 作用させた実証実験を行い、耐力 の照査方法の妥当性を検証した。

案した。



図11 割裂の照査に用いる仮想はりモデル



1) シアコネクタのせん断伝達耐 力として、指針案のせん断伝 達耐力式の係数を新たに提

- 2) 支圧に対しては、支圧板の拡 幅が有効であり、支圧力は FEM解析から設定した算定 式で評価できる。
- 3) 割裂破壊に対しては、補強鉄 筋の位置を支点とする仮想 はりモデルで補強設計がで きる。
- 4) 水平押し抜きに対しては、 RC断面計算により設計で きる。

おわりに

地中構造物の設計施工技術は、 近年目覚ましい進歩を遂げてい る。受注業務をとおして本研究に 携わり高度な技術者と交わる機会 が得られ、技術の向上が図れたも のと考える。

<参考資料>

- 1) 土橋浩、寺島善宏、川田成彦、大竹省吾、山田武正。 堀宗朗、今田徹:鋼製セグメントとRC躯体との接合 部の設計方法に関する実験的研究、土木学会論文 集A、Vol.65、No.3、pp.718-737、2009.9
- 2) 土木学会:鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針 (案)、コンクリートライブラリー73、pp.1-21、1992
- 3) 国土交通省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編:鉄 道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物、 pp.420-425、2004

図12 水平押し抜き破壊に着目したRC断面計算モデル