

接合ピースを用いた鋼製セグメントと RC 躯体の接合構造の要素試験

大成建設(株) 正会員 日高 直俊 岡嶋 和義 ○西岡 尊寿

1. はじめに

道路トンネルの分岐合流部は、鋼製セグメントで構築される本線シールドトンネルを切り開き、RC 躯体と接合する「切拡げ工法」で施工されることが多い。従来構造におけるセグメントと RC 躯体の接合部は、鋼製セグメントの主桁を RC 躯体に埋め込んで荷重伝達を図る構造である¹⁾。この接合構造の構築にあたって、シールドトンネル掘進工と RC 躯体構築工を平行して作業する場合、切拡げ作業の施工ヤードや工程の調整が必要となる。

これを解消するために、RC 躯体をシールドトンネル外部から接続可能とする構造として、セグメントに接合した鋼材（以下、接合ピースと称す）を RC 躯体に埋め込ませる新しい接合構造を開発した（図 1）。本稿では、本構造の荷重伝達機構および耐力確認のために行った要素試験について報告する。

2. 接合ピースによる接合構造

(1) 接合部構造概要

セグメント-RC 躯体接合部は、図 2 に示すように、孔あき鋼板ジベル（以下、PBL と称す）を取り付けた接合ピースを、現場溶接によりセグメント主桁に設置し、接合ピースを RC 躯体に埋め込ませる構造である。荷重伝達の機構については、図 3 に示すように、セグメントから接合ピースに力を伝達し、PBL を介して、RC 躯体へと応力を伝達する。

(2) 接合部の荷重伝達機構

鋼部-コンクリートの間での応力の伝達は、従来構造の支圧伝達の場合、コンクリートの支圧および押抜きせん断応力が大きくなり、コンクリート強度およびせん断補強鉄筋の鉄筋量が大きくなる傾向にある²⁾。一方で、本構造のようにずれ止めの PBL によるせん断伝達を期待することで、埋め込み始点側での応力集中を緩和することができ、コンクリート強度等の増加を抑制することが可能となる（表 1）。

接合部での曲げモーメントの伝達は、フランジ PBL が主たる伝達を担うと考えられる。しかし、ウェブ PBL も曲げモーメントの伝達に寄与する可能性が想定されるため（図 3、表 1）、危険側の設計とならないよう曲げモーメントに対するウェブ PBL の伝達割合を適切に評価する必要がある。

また、接合部は、接合ピースと RC 躯体の遷移区間であることから、合成構造（SRC）として評価せず、接合ピース・RC 躯体が各々単独で作用外力に抵抗する構造として評価する。

3. 接合ピース-RC 躯体接合部の要素試験

(1) 接合部要素試験概要

2. で示した荷重伝達の妥当性を確認するため、以下の項目を目的として、接合部の要素試験を行った。

キーワード 分岐合流部、切拡げ工法、混合構造、異種部材接合部 接合ピース、鋼製セグメント、孔あき鋼板ジベル
 連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設(株) 土木設計部都市土木設計室 TEL 03-5381-5417

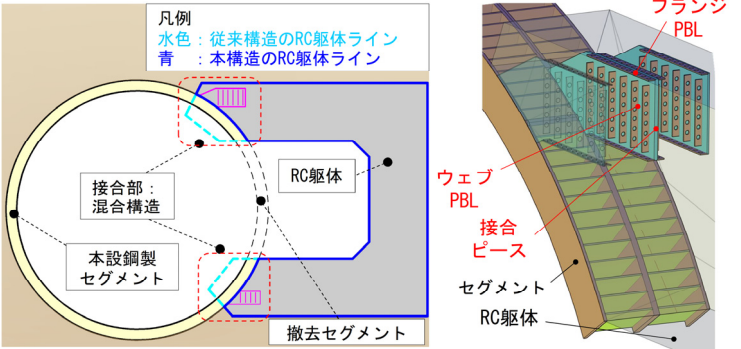


図 1 分岐合流部の断面図

図 2 接合部構造概要

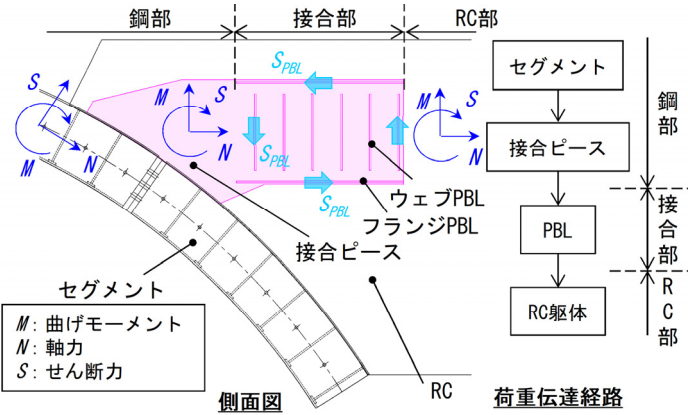


図 3 本構造の荷重伝達機構

表 1 接合部の荷重伝達機構イメージ

伝達機構	せん断伝達【本構造】		支圧伝達【従来構造】
発生する力	フランジ PBL-コンクリート間のせん断力	ウェブ PBL-コンクリート間のせん断力	鋼材-コンクリート間の圧縮力
伝達機構概要図			
コンクリート強度	小		大
せん断補強筋	小		大

① 耐力の確認：

接合部の想定耐力は、フランジ PBL の設計せん断耐力とする。設計せん断耐力は、フランジ PBL が曲げモーメントの偶力を全て伝達すると想定して設定した。

② PBL の発生せん断力と曲げモーメント伝達割合の確認：

PBL の発生せん断力を確認し、ウェブ PBL が曲げモーメントの伝達にどれぐらいの伝達割合で寄与しているかを確認する。

図 4 に、本実験で用いる要素試験概要図を示す。要素試験のモデル範囲は、接合ピースから RC までの範囲として、中央 2 点載荷を行い、接合部に対しての曲げ試験を実施した。表 2 に使用材料を示す。

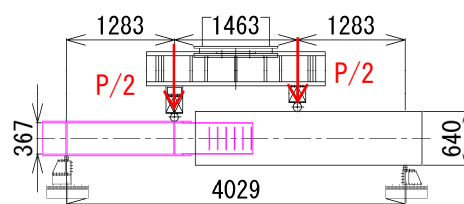


図 4 要素試験概要図

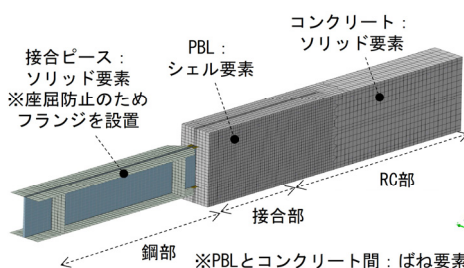


図 5 解析モデル図

表 2 使用材料と材料試験結果

材料	結果 (N/mm ²)
コンクリート (f _{ck} =30N/mm ²)	圧縮強度 51.1
鋼材 (SM570)	降伏強度 613
主鉄筋 (SD345)	393
せん断補強筋 (〃)	368

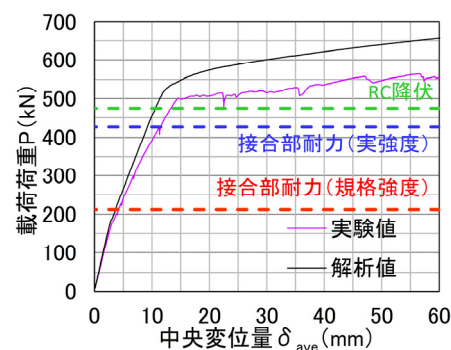


図 6 荷重-変位関係

表 3 PBL の発生せん断力

対象	せん断力 (kN)	
	解析	実験
フランジ PBL	227	258
ウェブ PBL (最大値)	112	52

(2) 予測解析

試験時の挙動予測を目的として、3次元 FEM 解析を実施した。鋼材とコンクリートは、シェル要素とソリッド要素で、鉄筋は、埋め込み鉄筋要素でモデル化した。PBL-コンクリート間の境界は、せん断力-ずれ変位関係³⁾に基づく非線形のばね要素でモデル化した (図 5)。

(3) 解析および試験結果

① 耐力の確認結果

スパン中央部での荷重-変位関係を図 6 に示す。接合部の想定耐力相当荷重 (P_u=212kN) を上回り、RC 降伏モーメント相当荷重 475kN 以上で、RC 部の主鉄筋が降伏して部材降伏に至った。これより、接合部は十分な耐荷性能を有することを確認した。

② PBL の発生せん断力および曲げモーメント伝達割合の確認結果

接合部想定耐力時における PBL のせん断力の解析値と実験値を表 3 に示す。解析と実験ともに、ウェブ PBL にせん断力が発生したため、曲げモーメントの伝達において、ウェブ PBL も寄与していることが示された。

解析および実験における接合部での曲げモーメントの伝達割合を図 7 に示す。フランジ PBL の伝達割合が 6~7 割を占めることより、フランジ PBL が曲げモーメントの主たる伝達を担うことが確認された。また、実験では、解析と比較して、フランジ PBL の伝達割合 (69%) が大きく、ウェブ PBL の伝達割合 (27%) が小さいことが確認された。これは、実験において、フランジ PBL に対して直圧縮応力が作用し、摩擦力の影響によってフランジ PBL のせん断耐力が相対的に増加したこと起因するものと推察される³⁾。これにより、実験では、解析と比較して、フランジ PBL のせん断力-ずれ変位関係が剛な条件となったため、曲げモーメントの伝達に対してのフランジ PBL の割合が大きくなったものと推察される。

4. 今後の展望

今後は、セグメントから RC 躯体を実験モデル範囲とした実形状での部材実験を実施し、本構造全体の挙動および耐力を確認した上で、解析と実験の結果を踏まえて、本構造の設計手法の確立を目指す。

(参考) 1)土橋他：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，2009.8

2)鈴木他：材端部 RC 造中央部鉄骨造で構成される複合構造梁のせん断耐力と変形性能，日本建築構造系論文集，2008.9

3)土木学会：複合構造標準示方書，pp.74-78，2015.5

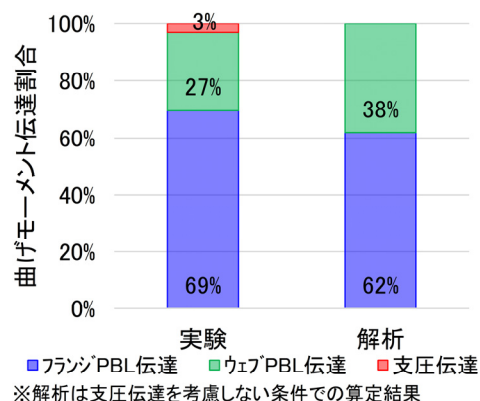


図 7 曲げモーメントの伝達割合