

鉄道橋の直列混合桁における接合部の断面力分布

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員○笹田航平、正会員 小林裕介
(独) 鉄道建設・運輸施設整備機構 正会員 曾我大介、正会員 横山秀喜、正会員 筒井康平

1. はじめに

混合桁は、PC桁と合成桁を直列に接合した連続桁形式の橋梁であり、一般に上部工が連続PC桁より軽量でかつ連続合成桁より安価であるなどの長所がある¹⁾。しかし、PC桁と合成桁の接合部は、混合桁の構造において重要となるものの、合成桁とPC桁の構成要素が重なり合って複雑な構造となる。このような接合部における断面力等を理解することが、混合桁を鉄道橋に適用するうえで不可欠である。そこで本稿では、鉄道橋に用いる混合桁を対象とし、3次元有限要素解析（以下、FEM解析）により、接合部における断面力や変形を確認する。

2. 対象構造の設定

対象とした混合桁は、実際に整備新幹線に用いられた3径間連続合成桁をもとに、その側径間の一部をPC桁に置き換えた桁である（図1）。その接合位置は、側径間で曲が正負交番しない負曲げ区間のうち、負曲げモーメントが最大の50%程度となる位置とした。接合部の構造は、断面を鋼殻で区切った多室構造とした（図2）。その各室は、合成桁側の端面に支圧板と孔あき鋼板ジベル（以下、PBL）を設け、中詰めコンクリートを充填した構造とした。桁全体の詳細は、鉄道構造物等設計標準・同解説^{2),3)}などにより設計した。このとき、荷重は、死荷重、列車荷重（整備新幹線の標準列車荷重P-16）、プレストレス（以下、Ps）などを考慮した。接合部の設計では、合成桁からPC桁までの断面力の伝達経路として「合成桁→PBL→中詰めコンクリート→PC桁」と「合成桁→支圧板→中詰めコンクリート→PC桁」を考慮し、PBL、支圧板などの構造の詳細を決定した。

3. 検討概要

接合部の断面力や変形の分布を明らかにするため、前記の混合桁を対象としたFEM解析により、接合部の断面内における断面力分布を得た。解析モデルは、図3のように、着目する接合部を中心に立体要素としてモデル化した。接合部は、図4のように、鋼板をシェル要素、コンクリートをソリッド要素、PBLをばね要素、PCケーブルを梁要素でモデル化した。PBLのばね要素は、PBLの孔ごとに一つのばね要素を設定し、その剛性は、複合構造標準示方書⁴⁾のせん断力-ずれ変位の関係とした。接合部の鋼殻のシェル要素と、中詰めコンクリートのソリッド要素の境界には、接触を考慮するための接触要素を用いた。荷重条件は設計と同様とし、拘束条件は水平方向に拘束が生じず、鉛直支持されるように設定した。材料特性は、PC桁や合成桁の標準的な値とした（表1）。

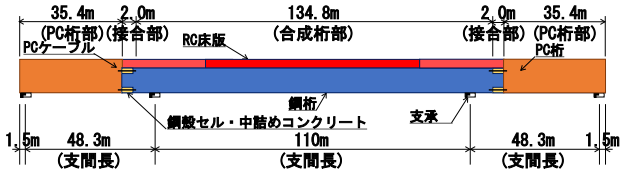


図1 対象とした混合桁の縦断面図

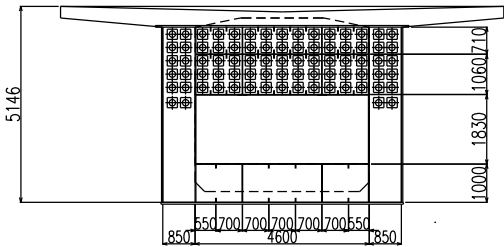


図2 対象とした混合桁の接合部の断面図(単位：mm)

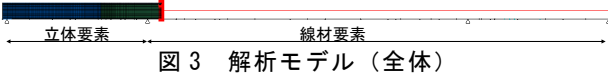


図3 解析モデル（全体）

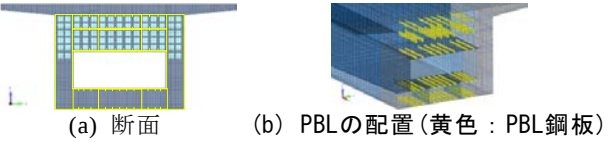


図4 解析モデル（接合部）

表1 材料特性

材料	材料特性
コンクリート	圧縮強度：40N/mm ² 、ヤング係数：31kN/mm ² 、ポアソン比：0.2
鋼材	ヤング係数：200kN/mm ² 、ポアソン比：0.3
PBLばね剛性（非線形）	複合示方書 ⁴⁾ にせん断力-ずれ変位関係

キーワード 鉄道橋、混合構造、混合桁、接合部、接合要素、3次元有限要素解析

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 （公財）鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7280

4. 接合部の断面力および変形の分布

(1) 接合部における断面力の分布

PBLを介した伝達力として、PBLのせん断力分布を図5に示す。PBLのせん断力分布は、図5(a)より、上下方向については、上フランジ側のPBLを除き、概ね同様の値となった。図5(b)より、左右方向については、いずれも概ね同様の値となった。なお、PBLのせん断力は、上フランジ側のPBLのみ大きな値を示しているが、これは鋼殻セルよりも上フランジの鋼板が厚く剛性が高く、PBL鋼板が拘束され、PBLのせん断力が増加したものと考えられる。

支圧板を介した伝達力として、支圧板と接する中詰めコンクリートの支圧応力分布を図6に示す。図6(a)により上下方向の分布を確認すると、1、2段目の支圧応力は同程度であった。図6(b)、(c)より、2、3列目の支圧応力が同程度となっており、左右方向に一樣であった。つまり、支圧応力は、上側あるいは下側の鋼殻セル断面のそれぞれの内部で、概ね均一となることが分かった。

以上より、PBLや支圧板を介した伝達力は、断面内で一樣となることが分かった。

(2) 橋軸方向での変形の分布

図7の橋軸方向ひずみ変形およびコンター図において、橋軸方向での変形の分布を確認する。図7のように接合部に隣接した桁（以下、隣接桁）には、ハンチや縦リブを設けているものの、隣接桁と比べて、接合部における曲げ変形が小さかった。これは、隣接桁と比べて接合部の剛性が高いことによると考えられる。前記のように断面内の伝達力の分布が概ね一樣となったことから、上側（引張側）と下側（圧縮側）の鋼殻セルでひずみ値は異なるものの、それぞれの断面内での曲げひずみ勾配は小さいと考えられる。つまり、接合部での断面力は、図7中の青矢印のように上側の鋼殻セル断面が引張軸力を、下側の鋼殻セル断面が圧縮軸力を伝達し、接合部全体として曲げモーメントを伝達していると考えられる。

5. まとめ

本稿では、鉄道橋に用いる混合桁を対象とし、FEM解析により、接合部における断面力や変形の状況を確認した。その結果、混合桁の接合部は、隣接桁と比べて剛性が高く、PBLや支圧板を介した伝達力が断面内で一樣となることが分かった。くわえて、接合部における断面力は、上側の鋼殻セル断面が引張力を、下側の鋼殻セル断面が圧縮力を伝達し、接合部全体として曲げモーメントを伝達していると考えられる。

参考文献：1) プレストレストコンクリート技術協会：複合橋設計施工規準（PC技術規準シリーズ），2005。 2) 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（複合構造物），2016。 3) 国土交通省監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（鋼・合成構造物），2009。 4) 土木学会複合構造委員会：複合構造標準示方書〔設計編〕，2014。

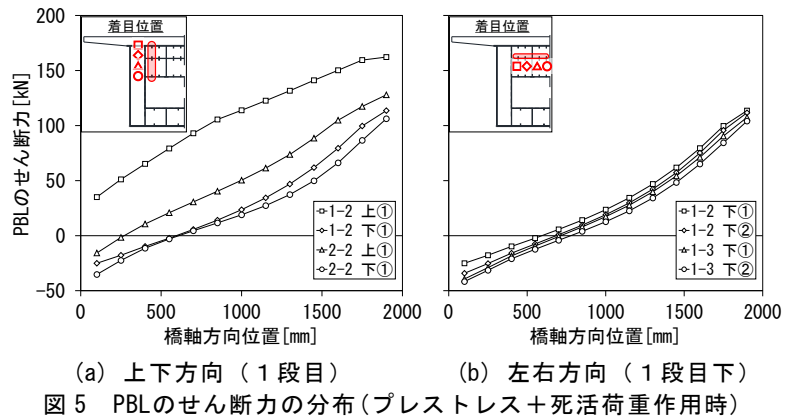


図5 PBLのせん断力の分布（プレストレス+死荷重作用時）

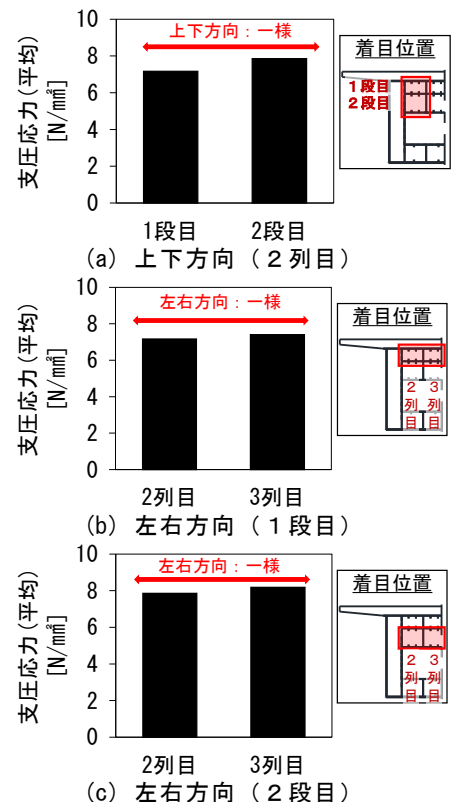


図6 支圧応力の分布（プレストレス+死荷重+活荷重作用時）

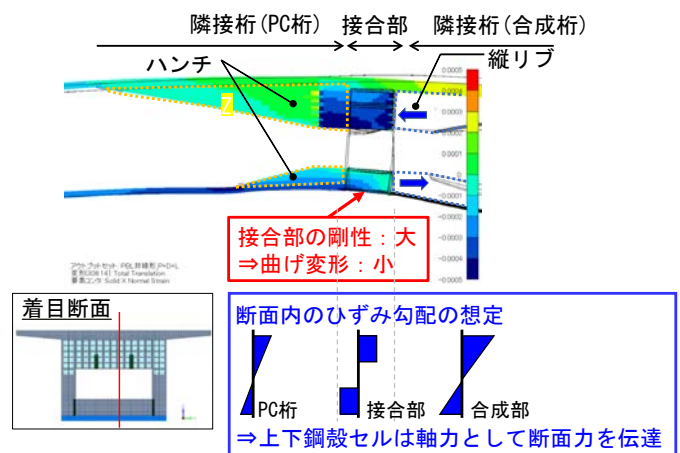


図7 橋軸方向ひずみ変形およびコンター