

I-41 新川橋（鋼・コンクリート複合上部工）の設計

JH 四国支社 正会員 望月 秀次
 JH 四国支社 正会員 ○安藤 博文
 川田工業㈱ 正会員 木本 輝幸

1. はじめに

近年、一連の橋梁の中で鋼とコンクリートを組み合わせることにより、力学特性や経済性の向上を図った混合構造の採用事例が増えつつある。本形式は斜材ケーブルを有する比較的ロングスパンの橋梁形式^{1) 2)}での採用が一般的であったが、一般の桁橋においても混合構造の有利性を十分に発揮できる場合が多いと考えられる。たとえば、高架橋連続区間で河川や広幅員の道路等を跨ぐことから隣接径間より長支間とならざるを得ない場合、中央径間を軽い鋼桁とし、側径間を重いコンクリート桁として両者を組み合わせれば、断面力のバランスが著しく改善される上、経済的にも有利となる。

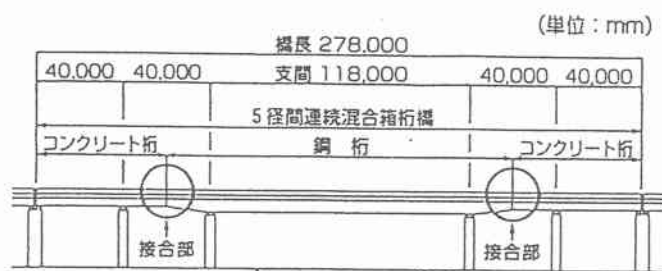


図-1 新川橋概略一般図

以上のような観点から、四国横断自動車道（高松西IC～高松東IC）において、河川交差部の連続高架橋に鋼・PRCの混合桁形式を採用しており、現在2橋（新川橋、吉田川橋）が建設中である。新川橋においては、側径間と中央径間の比が約1:3（中央支間118m）と非常に支間バランスが悪く、混合桁の有利性を強調できる構造といえる。

混合桁の接合部では、鋼桁とPRC桁間の力の伝達がスムーズに行われるように、構造上配慮する必要がある。新川橋及び吉田川橋の接合部では、断面の周縁とウェブ部分をマルチセル構造とし、鋼殻セル内に充填した中詰めコンクリートとマルチセルの後面プレートを介して応力を伝達する方式を採用した。この構造は中詰めコンクリート部とPRC桁部が一体化しているため力の伝達性に優れ、接合面でのコンクリートの応力集中が比較的小さい³⁾などの特徴を有するものである。また、本橋においては上記接合部鋼殻セル内に用いるずれ止め構造として、従来からのスタッドジベルに替わり「穴あき鋼板ジベル（以下PBLと記す）」⁴⁾を新たに採用している。このPBLは、波形鋼板ウェブPC橋や合成桁橋のずれ止め構造として一部採用実績があるものの、混合桁接合部への適用は初めての試みである。そこで、既往の研究事例を参考に、鋼殻セルの拘束効果を含んだPBL接合部の耐荷性能やPBL孔貫通鉄筋の補強効果などを具体的に検討し、設計法の妥当性を実橋レベルで確認する目的で、実物大相当の鋼殻セル試験体を用いた静的載荷試験を行っている。これらの結果をふまえて、接合部の合理的設計手法について提案する。

2. 接合部の合理的設計手法の提案

混合桁接合部の設計法の更なる合理化を検討する上で、鋼殻セルの拘束効果と孔貫通鉄筋の必要性についての議論が重要なポイントになると思われる。また、接合部の設計においては、ずれ止めと後面支圧板の荷重分担率の設定が必要であり、荷重分担率を簡易に求める手法があれば、初期検討や概略設計において有用であると思われる。今回実施した一連の実験結果をもとに、鋼殻セルの拘束効果とPBLの強度評価、後面支圧板との荷重分担率の簡易推定式について提案する。

（1）鋼殻セルの拘束効果とPBLの強度評価式

後面支圧板の無い鋼殻セル実物大試験体の押し抜き試験により、PBL孔1個当たりのずれ強度がレオンハルトらの式で算出した推定値とほぼ一致する特性が確認された。また、後面支圧板を有する試験体におけるひずみ性状から、PBLに対する作用力分布は台形分布に近く、実務設計上の三角形分布の仮定はやや安全側の評価を与えていると判断された。従って、新川橋と類似する接合構造（鋼殻セルと後面支圧板を有するPBL配置構造）を対象とする場合、レオ

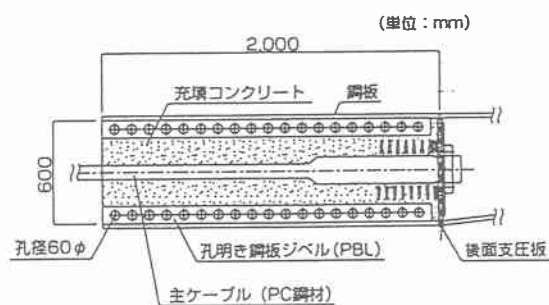
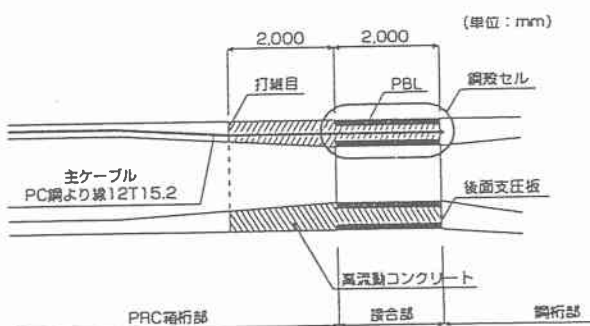
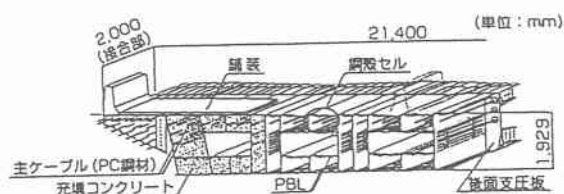


図-2 新川橋接合部の構造概要

ンハルト式（１）を応用した以下の提案式で実用上十分なずれ耐力を確保できるものと思われる。

$$P_u=1.4 \times d^2 \times \beta_w \times n \times 0.5 \times (1/2.1) \times (1/R) \dots\dots\dots (1)$$

d : PBLの孔直径 βw : コンクリート強度
n : PBLの孔数 R : PBLの荷重分担率

(2) PBLの荷重分担率

図—2に示したような、PBLを用いた接合部を、図—3のような簡単なバネモデルで表現し、それぞれのバネ剛性の比率からPBLの荷重分担率について推定した。図—3におけるKpはPBL、Ksは鋼殻セル、Kcは充填コンクリート、Kbは後面支圧板のバネ剛性であり、次式で与えるものとする。

$$K_p=k_p \times n \dots\dots\dots (2)$$

$$K_s=E_s \times A_s / (L/2) \dots\dots\dots (3)$$

$$K_c=E_c \times A_c / (l/2) \dots\dots\dots (4)$$

$$K_b=P/w \dots\dots\dots (5)$$

ここに、kpはPBL孔1個当たりのバネ定数、nは孔数、wは荷重P（等分布換算）に対する4辺単純支持板の最大たわみである。また、圧縮側鋼殻セルにおいては、後面支圧板の周縁部でほとんどの荷重伝達がなされると考え、上記式（5）で表す後面支圧板のバネ剛性を無視する設定とした。上記式（2）～（5）を用いることで、PBLの荷重分担率Rが以下のように表される。

$$R=K_{ps} / (K_{ps}+K_{cb}) \dots\dots\dots (6)$$

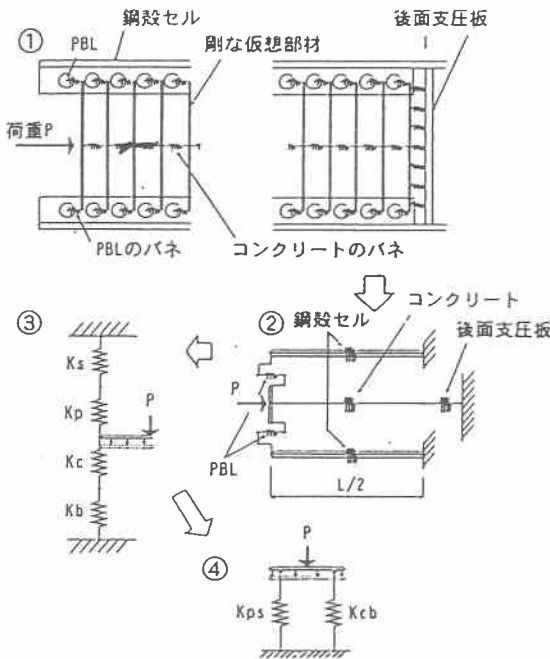
ここに、

$$K_{ps}=K_p \times K_s / (K_p+K_s) \dots\dots\dots (7)$$

$$K_{cb}=K_c \times K_b / (K_c+K_b) \text{ (引張側接合部)} \dots\dots\dots (8)$$

ただし、Kcb=Kc（圧縮側接合部）

引張側接合部と圧縮側接合部のそれぞれに対して、式（6）で推定したPBLの荷重分担率をFEM解析結果と比較した結果を表—1に示す。FEM解析の詳細については省略するが、鋼殻セル内面の付着、摩擦の影響及びPBLコバ面のコンクリートの支圧の影響は無視している。表—1における結果を見ると、引張側については提案式とFEM解析値はよく一致している。圧縮側については支圧板の曲げ剛性が極端に大きい場合にほぼ対応しており、前述のバネ剛性の設定や応力伝達の考え方に矛盾がないことがうかがえる。



図—3 接合部のバネモデル

表—1 荷重分担率の推定結果（FEM解析との比較）

	セル長 (m)	PBL孔数 (個)	後面支圧板 板厚(mm)	PBL荷重分担率(%)	
				FEM解析	推定値
引張側	1.0	9	22	94.7	98.2
			44	81.2	87.4
			66	65.4	68.6
	1.5	14	44	86.3	89.9
			2.0	19	22
	44	88.9			90.6
66	78.5	76.2			
圧縮側	1.0	9	22	22.2	14.4
			44	20.3	
			100	17.2	
			1000	11.8	
			10000	11.7	
	1.5	14	22	33.7	24.2
			1000	21.7	
	2.0	19	22	42.2	31.4
1000			30.2		

3. まとめ

ずれ止めにPBLを用いた混合桁接合部の静的力学特性を把握し、設計法の妥当性を実橋レベルで検証する目的で、実物大鋼殻セルモデルによる静的載荷実験及び解析検討を行い、以下の結果を得た。

①鋼殻セル内部にPBLを配置した接合部におけるPBLのずれ止め耐力は、既往のレオンハルトらの式を応用することで、鋼殻セルの拘束効果を考慮した耐力推定が可能である。

②新川橋における接合部は実荷重レベルにおいて十分な耐力を有していることが確認された。

③PBLと後面支圧板の荷重分担率を提案し、FEM解析等の煩雑な解析を行うことなく、接合部の耐力を実用上十分なレベルで推定することができる。

④PBL孔貫通鉄筋は、PBLと充填コンクリートの相対ずれに抵抗し、一体性をさらに高める効果がある。今後、設計法のさらなる合理化、PBL及び鋼殻セルの形状寸法の変化に対応した設計法（設計手法の標準化）、他形式・他構造への適用範囲拡大など、さらに検討を進めていく予定である。

【参考文献】

1) 山岸、西本、矢野：生口橋主桁接合部の設計・施工、本四技報 vol.15 No.58, pp.14-22, 1991.
2) 藤原、森山、川西：多々羅大橋上部工の実施設計、本四技報 vol.22 No.88, pp.12-27, 1998.
3) 森、帆足、木村：生口橋接合部実験報告、本四技報 vol.13 No.49, pp.48-52, 1989.
4) Fritz Lenhardt, Wolfhart Andra, Hans-Peter und Wolfgang Harre: Neues, Vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, BETON-UND STAHLBETONBAU, pp.325-331, 1987.