

鋼ポータルラーメン橋の設計と施工

DESIGN AND CONSTRUCTION OF PORTAL RAMEN BRIDGE WITH STEEL GIRDERS EMBEDDED IN RC ABUTMENT

佐古 周一¹⁾
Shuichi Sako

木曾 収一郎²⁾
Shuichirou Kiso

1. まえがき

近年、建設費と維持管理費の低減、および耐震性の向上を目的として、鋼桁をRC橋脚または橋台に埋め込んだ鋼・コンクリート複合ラーメン橋の採用が増加しつつある^{1)~4)}。今回、西日本高速道路株式会社より、鋼桁と橋台を一体化する鋼ポータルラーメン橋（下谷池橋）を受注し、詳細設計と剛結部の耐荷性能実験を行ったので、以下に報告する（図-1）。

平面線形：R=3000m

縦断勾配：1.954%~1.723%

工期：平成17年6月~平成19年1月

施主：西日本高速道路株式会社 関西支社

3. ポータルラーメン橋の特徴

3.1 経済性

ポータルラーメン橋は、支承、伸縮装置、落橋防止構造などの付属物を省略することでLCCの低減を図ることができるだけでなく、走行性、振動や騒音低減などの環境面に対する改善も可能となる。そこで本橋の条件にてポータルラーメン橋と従来の単純桁橋にした場合の経済比較の結果を図-2に示す。上部工は鋼材の削減および付属物の省略によりコスト減となり、下部工は剛結部のコンクリートおよび鉄筋の増加によりコスト増となるが、全体として20%程度のコスト削減となる。

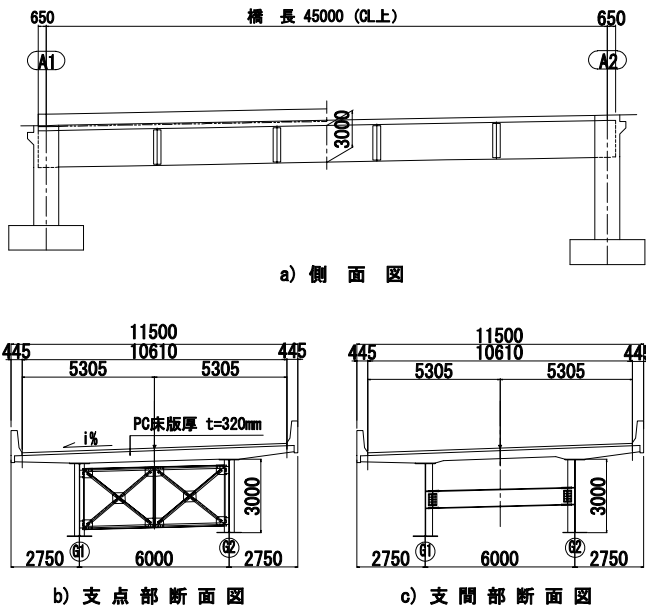


図-1 構造一般図

2. 工事概要

工事名：阪和自動車道 芳養川橋（鋼上部工）工事
 工事箇所：和歌山県日高郡南部町熊岡～和歌山県田辺市芳養町
 構造形式：鋼ポータルラーメン橋
 橋長：45.0m
 架設工法：トラッククレーンベント工法
 主桁間隔：6.0m
 鋼材重量：107.6t（他の2橋含め工事全体488.8t）
 荷重：B活荷重

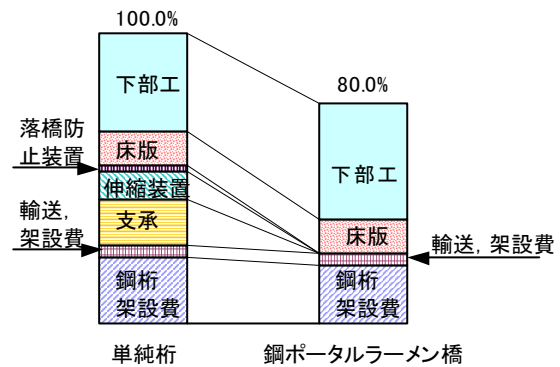


図-2 単純桁との経済比較

3.2 構造

橋台と直接剛結される構造は、一般に橋軸方向に1列の杭基礎を有するものが多く、別名インテグラルアバット橋とも呼ばれる。しかし本橋は、直接基礎を有する橋台と鋼桁の剛結構造であり、フーチング下面に地盤バネを考慮した設計としている⁵⁾。つまり橋台基部の回転により、温度変化によるラーメン橋特有の過大な断面力の発生を軽減することが可能であり、これによりPC床版

1) 技術グループ 設計部 和歌山チーム
 2) 技術グループ 設計部 大阪チーム

を採用し、合成桁として設計することが可能となっている。なお、耐震設計上は背面の土の拘束を考慮すれば、橋台に作用する慣性力が小さくなるため、レベル1のみの照査としている。

3.3 剛結部

鋼ポータルラーメン橋の剛結部の構造事例としては、鋼製の隅角部構造をコンクリート中に埋込み、頭付きスタッドを用いて一体化させた例（図-3）と、鋼桁のフランジに孔あき鋼板ジベルを設置して一体化させた例（図-4）などがある。しかし、本橋では剛結部の経済性、および施工性のより一層の合理化を図ることを目的として、図-5に示すように鋼桁に直接孔を設け、ずれ止めとして機能させることにより一体化した（特願 2006-53590にて特許出願中、出願人西日本高速道路株、(株)ドユー大地）。なお、本構造は実橋としての施工事例が無いことから、4. で述べる耐荷性能実験を行って安全性を確認している。

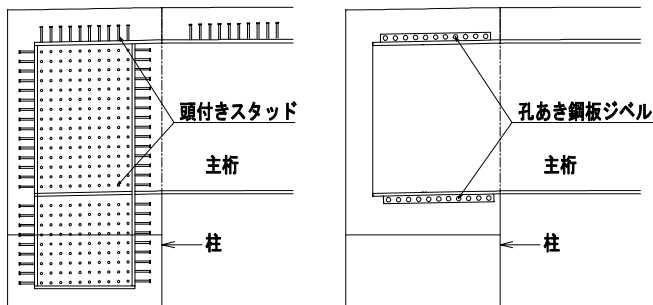


図-3 頭付きスタッド 図-4 孔あき鋼板ジベル

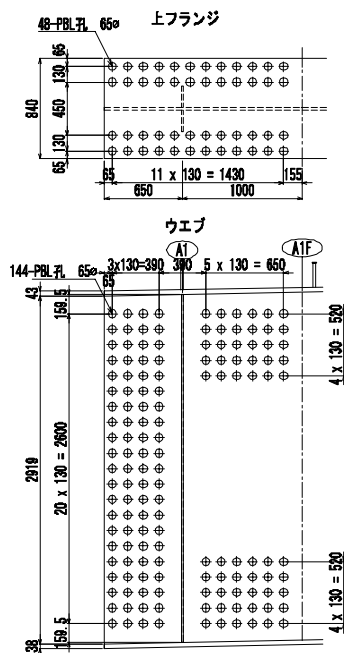


図-5 剛結部主桁構造概要

4. 剛結部の耐荷性能実験概要

4.1 供試体

供試体の一般形状を図-6に示す。鋼桁の桁高（100cm）および埋め込み長さ（50cm）は実橋の1/3の縮尺としたが、橋台の床版厚に相当する部分の厚さ（42cm）、鋼桁端から背面側のかぶり厚（35cm）と配筋（D32・SD345）は実構造と同等とした。なお、孔あき鋼板ジベルのせん断強度を忠実に評価するため、床版部分は省略した。

表-1に供試体一覧を示す。孔あき鋼板ジベルの数・配置の違い、および貫通鉄筋の有無による効果を調べるため、19体の供試体を作製した。全ての供試体において、孔あき鋼板ジベルの孔径（65mm）、コンクリートの設計基準強度（ $\sigma_{ck}=36N/mm^2$ ）は実橋に合わせた。

ここに、TYPE0供試体は孔あき鋼板ジベルを有しない供試体であり、鋼桁フランジの支圧による曲げ耐力を計測する目的で作製した。

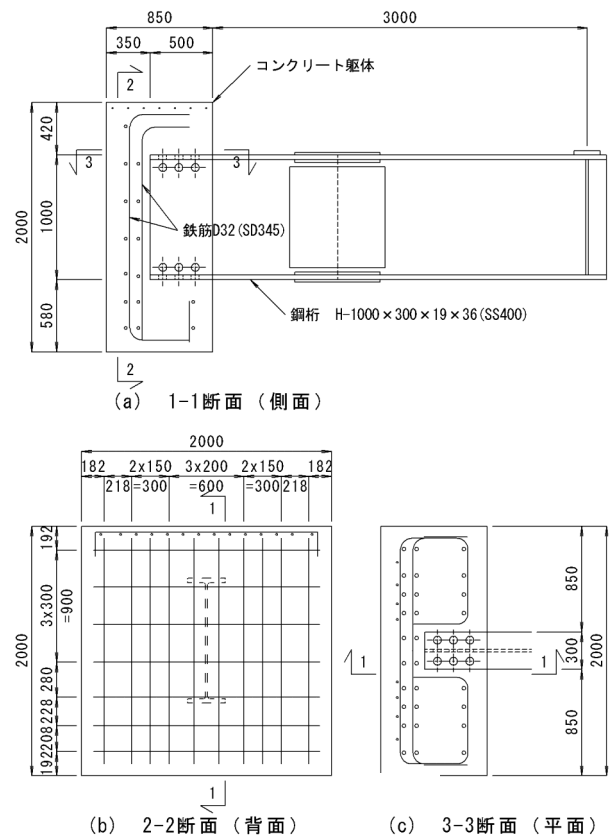


図-6 供試体一般形状

表-1 実験供試体

供試体名称と製作数	孔あき鋼板ジベル配置
TYPE0 (3体)	孔無し (支圧による耐力計測用)
TYPE1-1-1 (2体)	
TYPE1-1-2 (2体)	
TYPE1-2 (2体)	
TYPE2-1 (2体)	
TYPE2-2 (2体)	
TYPE2-3 (2体)	上下フランジに各6個および腹板に6個設置(TYPE2-1+TYPE2-2)
TYPE3-1 (2体)	TYPE2-1と同じ。孔内に貫通鉄筋(D13)を配置
TYPE3-2 (2体)	TYPE2-2と同じ。孔内に貫通鉄筋(D13)を配置

4.2 載荷方法

載荷要領図を図-7に示す。荷重は鋼桁の先端部分に載荷するものとし、剛結部分の変形を拘束しないよう50cm×60cm角の支圧面で上下を支持する構造とした。荷重は5,000kN油圧ジャッキにて行い、50kN刻みの漸増載荷とした。計測項目は、コンクリート、鉄筋、鋼桁のひずみおよび変位とした。

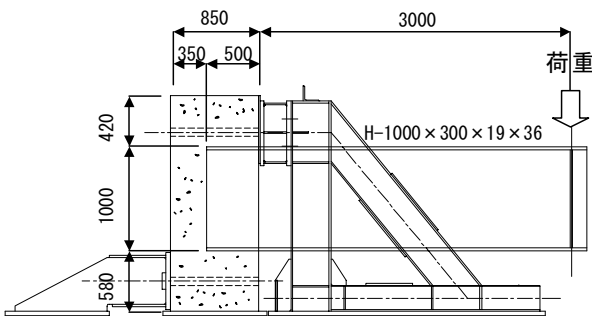


図-7 載荷要領図

4.3 実験結果

詳細な実験結果およびそれらについての考察は、別途報告している⁶⁾ので、ここでは省略し、実験から得られた知見のみを以下に示す。

- ① フランジに設けられた孔あき鋼板ジベルと腹板に設けられた孔あき鋼板ジベルは、剛結部に作用する曲げモーメントに対して共同して抵抗する。
- ② フランジに設けられた孔あき鋼板ジベルは、埋込み深さの違いによりせん断強度が異なる。
- ③ 腹板に設けられた孔あき鋼板ジベルは、フランジに設けられた孔あき鋼板ジベルと同じせん断強度を有する。
- ④ 本橋の孔あき鋼板ジベルの最大せん断力を、既往の算定式⁷⁾で推定するのは困難である。
- ⑤ 本橋の孔あき鋼板ジベルは、従来の孔あき鋼板ジベルと同様に、最大せん断力を示した以降の耐荷能力の低下が少なく大きな変形性能が期待できる。

詳細設計においては、表-2に示すように、最大せん断力(実験値)を安全率3.0で除した値を許容せん断力とした。また、各部位に設置された孔あき鋼板ジベルに均等にせん断力が作用しているとして、設置数を決定した。

表-2 孔あき鋼板ジベル1個あたりの最大せん断力と許容せん断力(安全率:3)

	貫通鉄筋有り	貫通鉄筋無し
Qu(支圧を除いたジベルだけの最大せん断力)(kN)	242	168
Qa=Qu/3(設計で使用したジベルの許容せん断力)(kN)	80.7	56.0

5. 設計手法

5.1 設計方針

本橋は架設、コンクリートの施工性、経済性を考慮し、鋼桁部分は活荷重合成桁として設計を行った。

図-8に施工ステップ図を示す。背面の土圧は後死荷重として考慮した。これまでの施工事例では剛結部のコンクリートの施工を先行し、後に鋼桁を落とし込むことによりラーメン構造を成立させるものが多い。本橋では仮支点を設けて、床版打設を先行することにより、剛結部および橋台基部に作用する断面力の低減を図った。

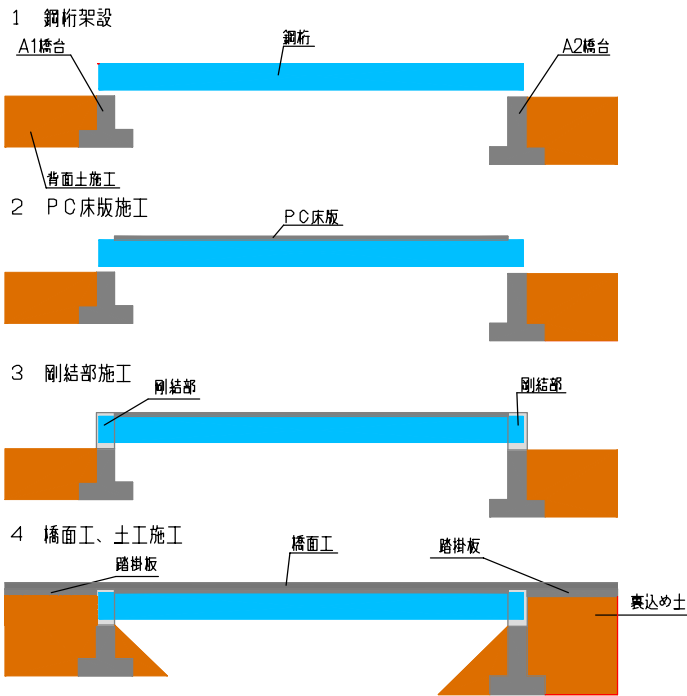


図-8 施工ステップ図

5.2 主桁断面計算における床版コンクリートの取扱い

後死荷重として背面土圧を考慮すると、主桁には全長にわたって負の曲げモーメントが作用する。さらに活荷重によっても、負の曲げモーメントが加算される場合があり、床版に発生する引張応力度の程度により有効断面の取り扱いを変える必要が生じた。そこで、各荷重の組み合わせ時において、引張応力が作用する場合の床版コンクリート有効断面の取り扱い方と照査方法について、表-3 に示す方針とした。

表-3 負曲げモーメントに対する床版コンクリートの有効断面の取り扱い方法

照査ケース		① 架設時	② 主荷重	③ 主荷重 (活荷重を除く)	④ 温度変化	⑤ 温度変化 (活荷重を除く)	⑥ 地震時
考慮する荷重ケース	前死荷重	○	○	○	○	○	○
	後死荷重		○	○	○	○	○
	活荷重		○		○		
	温度変化				○	○	
	地震時						○
	クリープ		○	○	○	○	○
	乾燥収縮		○	○	○	○	○
温度差		○	○	○	○		
床版コンクリートの許容値 *1	支間部		ωa	wa	$1.15 \times \omega a$	$1.15 \times wa$	$1.50 \times \omega a$
	橋台付近			ωa	$1.15 \times wa$	$1.15 \times \omega a$	$1.50 \times wa$
主桁照査断面	支間部	鋼桁	ωa 以下合成断面	コンクリートに引張が生じたら鋼断面	$1.15\omega a$ 以下合成断面	コンクリートに引張が生じたら鋼断面	$1.50\omega a$ 以下合成断面
	橋台付近	鋼桁	コンクリートに引張が生じたら鋼断面	ωa 以下合成断面	コンクリートに引張が生じたら鋼断面	$1.15\omega a$ 以下合成断面	コンクリートに引張が生じたら鋼断面

*1 ωa はコンクリートの引張応力度を許容引張応力度以下とする (ωa 以上は許さない)

wa はコンクリートのひび割れ幅を、許容ひび割れ幅以下とする

5.3 地盤バネの影響

橋台は直接基礎であるが、フーチング底面の地盤バネ（鉛直、水平、回転）を考慮することにより、温度による断面力の低減を図った。具体的には、セルフポーリング型原位置せん断摩擦試験（SBIFT）を用いて各橋台位置で個別にバネ値を求めた。設計で使用した変形係数およびバネ値を表-4 に示す。

剛結部、橋台堅壁基部は、バネ値により断面力が変動する。基本設計の検討結果によると、バネ値が 0.5 倍となった場合の断面力はそれぞれ 5~6% 増となる。

表-4 変形係数と地盤バネ値

変形係数 E_0 (kN/m ²) の測定方法			A1 橋台			A2 橋台			
			E_0	ζE_0		E_0	ζE_0		
			常時	地震時	常時	地震時	地震時		
1	平板載荷試験	測定値	24477	24477	48954	27908	27908	55816	
		最小	119817	119817	239634	166469	166469	332938	
2	孔内水平載荷試験	測定値	11100	44400	88800	11100	44400	88800	
		参考値	*0.5	5550	22200	44400	5550	22200	44400
			*2.0	22200	88800	177600	22200	88800	177600
3	SBIFT	測定値	32130	64260	128521	49120	98241	196482	
4	地盤バネ定数	K_z (kN/m)		1224465	2448931		1871949	3743898	
		K_y (kN/m)		408155	816310		623983	1247966	
		K_{yx} (kN・m)		3673396	7346792		5615847	11231694	

※変形係数から地盤バネ定数を算出する方法については、道路橋示方書 V 参考資料 IV (平成2年2月) を参照。

6. その他構造上の特徴

6.1 端対傾構造

端支点の横繋ぎ材には、形鋼で構成される対傾構造を採用した。これは、橋台の鉄筋が密に配筋されることから、架設作業性とコンクリートの充填性を考慮したことによる。図-9に構造図を示す。

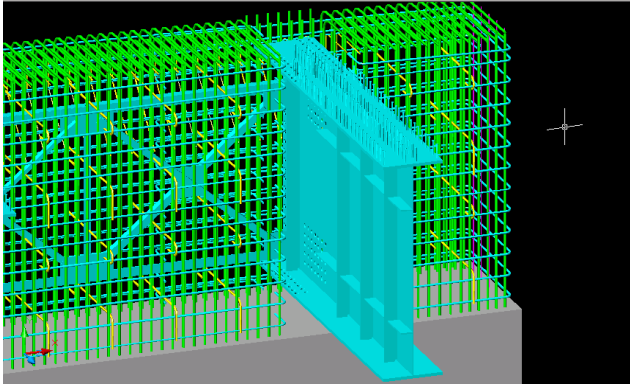


図-9 端対傾構造図

6.2 仮支点構造

剛結部のコンクリート施工以前に床版施工を行うため、桁の温度変化と、床版コンクリートなどの死荷重たわみによる桁端部の回転から生じる水平移動量を吸収できる鋼製の仮支点を設置した(写真-1)。ただし、床版施工後の橋台コンクリート打設時には、水平移動に対して固定することとした。

また、架設時における風や地震時の水平力に対して橋台との接続部(アンカーボルト)を設計した。



写真-1 仮支点構造

7. あとがき

コンクリート打設ステップやマスコンクリートの温度応力対策等については施工後に報告を行う予定である。

また、完成後、実橋載荷計測、経時挙動計測により、仮定値(地盤バネ値)の評価および剛結部の安全性の確

認を行う予定になっている。

本構造では、路面の舗装が連続するが、橋梁の温度変形に応じた収縮目地、もしくは弾性舗装材などの必要性の検討を行うことも大切であると考えている。

また、鋼複合ポータルラーメン橋と PC ポータルラーメン橋との橋梁形式の使い分けについても、今後線引きを明らかにしていきたい。

最後に、本工事における剛結部載荷実験、設計手法の検討に際し、多大のご指導、ご協力を賜った大阪工業大学の栗田章光教授、西日本高速道路株式会社、株式会社ドーユー大地の関係各位に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 道下, 本間, 平田, 櫻井, 渡部, 藤川: インテグラル複合ラーメン橋(西浜陸橋)の設計と施工, 橋梁と基礎, 2001.2.
- 2) David, I.H., Don, W.K., Gordon, W.R.: INTEGRAL ABUTMENT BRIDGES-DESIGN AND CONSTRUCTIBILITY, Developments in Short and Medium Span Bridge Engineering, 2002.
- 3) 塩永, 河野, 川辺, 上田: 鋼ポータルラーメン橋「色太第三橋」の実験と施工, 石川島播磨技報 vol.44 No.2, 2004.3.
- 4) 野村, 土橋, 長田, 中嶋: 鋼コンクリート複合ポータルラーメン橋の設計・施工-北関東自動車道江川橋-, 土木学会第6回複合構造の活用に関するシンポジウム, 2005.11.
- 5) 和田, 細木, 坂手: 鋼桁に開孔してジベル効果を期待した鋼ポータルラーメン橋の隅角部の設計, 第61回土木学会年次学術講演会論文集 CS02-38, 2006.9.
- 6) 和田, 芦塚, 堀井, 佐古: 鋼ポータルラーメン橋剛結部への孔あき鋼板ジベルの適用, 第61回土木学会年次学術講演会論文集 CS02-39, 2006.9.
- 7) Leonhardt Fritz, et. al.: Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton-und Stahlbetonbau, 1987.12.

下谷池橋 製作・施工状況写真



写真-2 桁端部構造（仮組時）



写真-5 剛結部を残してPC床版を施工



写真-3 架設完了時



写真-6 フランジのジベル部の貫通鉄筋



写真-4 剛結部（架設完了時）



写真-7 剛結部配筋状況