

(3) PRC 桁と RC 桁の連続化について(総社高架橋 PC 上部工の設計・計測)

日本道路公団 中国支社 建設部構造技術課 持田 淳一  
 日本道路公団 中国支社 岡山工事事務所 山田 芳嗣  
 三井建設(株) 土木本部 田村 多佳志  
 三井建設(株) 技術研究所 ○篠崎 裕生

1. はじめに

中国横断自動車道 総社高架橋(PC 上部工 A, B)は、当初、路下交差条件から支間長が大きくなる2ヶ所に配した PC 単純中空床版と連続RC 中空床版とを組み合わせた形式で計画されていた。しかし、近年、走行性の向上や維持管理の改善のために橋梁のジョイントレス化が重要な課題となっていることから、PC 桁と RC 桁とを連結してジョイントレスとする異種連結構造を採用して施工を行った。すなわち、A 橋では PC 中空床版をその両側に隣接する RC 連続中空床版と連続化させた(PC+RC)11 径間連続構造とし、さらに、B 橋では PC 中空床版を PRC 設計とし、導入プレストレスの低減を図った上でその両側に隣接する RC 連続中空床版と連続化させた(PRC+RC)11 径間連続構造とした。B 橋において PRC 構造とした理由は、このような異種構造を連結した複合構造形式において PC 部のプレストレスによるクリープ変形の影響で隣接 RC 部に発生する引張応力の低減を図ったものである。PRC 構造の採用とあわせて、B 橋においては A 橋に比べて接合部の構造も簡素化している。本橋の全体構造一般図を図-1に、構造概要を表-1に示す。

本報告では、PC 中空床版と RC 中空床版とを連続化した A 橋および PRC 中空床版と RC 中空床版との連続化を行った B 橋のそれぞれの接合部について設計の概要を述べる。さらに、両橋の接合部に設置した応力計・ひずみ計による計測結果から、本橋のような連続化構造における PRC 化の意義について考察を加える。

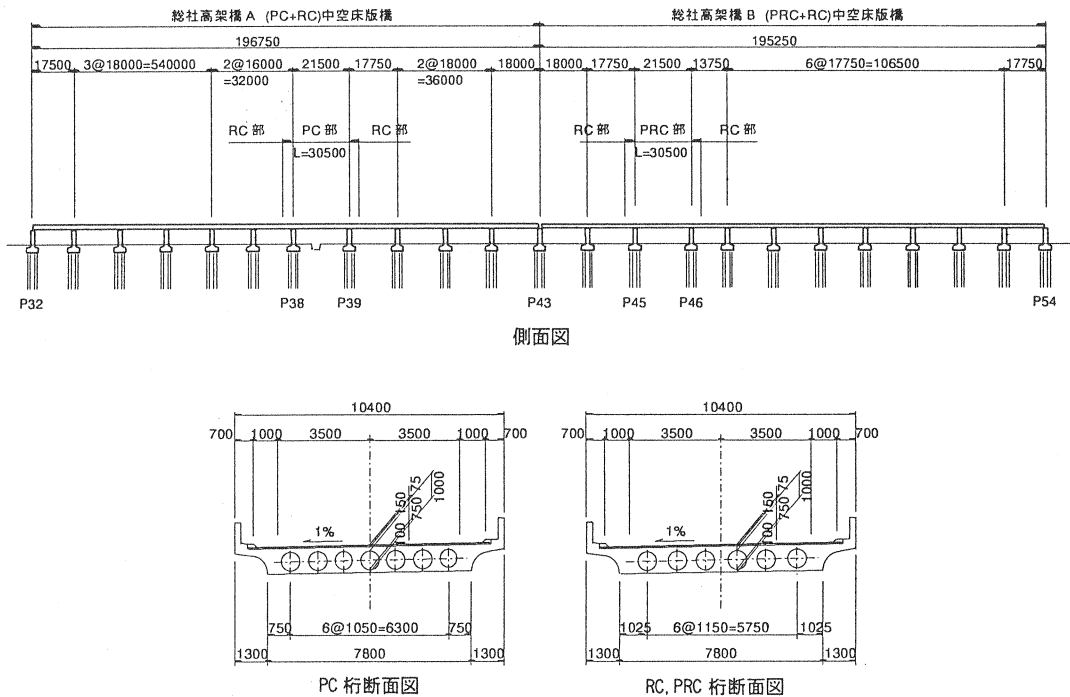


図-1 総社高架橋 A,B 全体構造

2. 連続化構造の設計概要

表-1 総社高架橋構造概要

橋名	A橋	B橋
上部工形式	PC+RC 11 径間連続中空床版	PRC+RC 11 径間連続中空床版
橋長	198.55m	195.11m
最大支間	PC部 21.50m	PRC部 21.50m
有効幅員	9.00m	9.00m
橋脚基礎	柱式RC橋脚 場所打杭	
支承	メナーゼヒンジ (端部のみゴム支承)	

2.1 PC+RC 連続化構造(A橋)の設計概要

A橋ではPC中空床版とRC中空床版との連続化を図った既往の事例<sup>1)</sup>を参考にして接合部の構造を決定した。なお、PC部の中空円筒数(7個)をRC部(6個)より増やしてPC部の軽量化を図っている。

(1)接合部付近の構造

本橋のPC/RC接合部の構造は、図-2に示すように以下の特徴を持つ。

- ①接合位置はモーメントの小さいインフレクションポイント付近とし、PC鋼材および鉄筋を定着するために接合部付近は中実断面としている。
- ②PC部主ケーブルの定着位置をデッドアンカーを用いて分散させることにより、接合断面でのプレストレス量の変化量を低減している。なお、接合面から中間支点にかけてのPC部の断面設計においては、定着位置から伝達長分離れた位置からプレストレスが有効となるものとみなしている。
- ③RC部の主鉄筋は、接合部PC側に配置した連結鉄筋に圧接し、PC側に十分な定着長を取って桁内部に折曲げ定着させている。鉄筋の定着位置は、支点におけるメナーゼヒンジ鉄筋およびPC部主ケーブルとの錯綜を避けるため中間支点手前までに分散させて配置した。
- ④接合部には、プレストレスクリープにより生じる引張軸力の一部を打ち消すために連結PCケーブルを配置してプレストレスを与えている。連結PCケーブルはRC側をデッドアンカーとして、PC側床版上面から片引きで緊張した。また、連結PCケーブルの緊張時にデッドアンカー前面に発生する引張力が中実断面から中空断面に変化する隣接RC部支間中央において悪影響を及ぼさないように、デッドアンカーは、接合面に十分にプレストレスが導入できる範囲で支間中央から離れた位置に分散させて配置している。

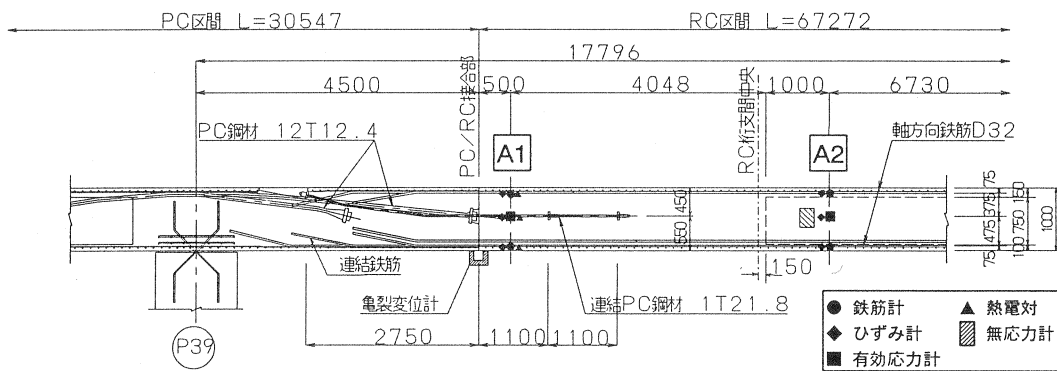


図-2 PC/RC接合部の構造

(2)接合部の設計

本橋では、PC部とRC部を連続化するために構造系が変化するので、施工順序によるコンクリートのクリープの影響を考慮した平面フレーム解析を行い、設計断面力を算定した。このとき、各中間支点では下部構造とメナーゼヒンジで結合されているため、基礎と橋脚を水平バネに置き換えて支点条件としている。

接合部および隣接RC部支間中央の設計結果を表-2に示す。接合部は、打ち継ぎとなるために構造上の弱点となりやすく、またプレストレス力が大きく変化するのでクリープひずみが不連続となり、ひびわれが発生しやすい。したがって、同様の構造となる連続合げた橋の1次床版と2次床版の打継ぎ目に配置する

表-2 設計計算結果

橋名		A 橋				B 橋			
断面		RC 支間中央		PC/RC 接合部		RC 支間中央		PRC/RC 接合部	
断面力	項目	M(tf・m)	N(tf)	M(tf・m)	N(tf)	M(tf・m)	N(tf)	M(tf・m)	N(tf)
	桁自重	315.0	0.0	200.0	0.0	272.0	0.0	175.5	0.0
	橋面工	34.0	0.0	-8.0	0.0	23.7	0.0	-14.9	0.0
	活荷重 max	282.0	0.0	204.0	0.0	276.9	0.0	204.4	0.0
	クリープ・乾燥収縮	0.0	-94.0	-17.0	-94.0	-28.9	-40.7	-71.5	-40.7
	打継目 Prestress クリープ	0.0	0.0	0.0	-213.2	0.0	0.0	0.0	-159.0
	連結 Prestress	0.0	0.0	0.0	280.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	合計	631.0	-94.0	379.0	-27.2	543.7	-40.7	293.5	-199.7
配置鉄筋量		58-D32 (460.6cm <sup>2</sup> )		33-D32 (262.1cm <sup>2</sup> )		49-D32 (389.1cm <sup>2</sup> )		14-D32+29-D29 (297.5cm <sup>2</sup> )	
応力度	σc(kgf/cm <sup>2</sup> )	52		37		47		24	
	σs(kgf/cm <sup>2</sup> )	1795		1748		1723		1459	
許容 応力度	σc(kgf/cm <sup>2</sup> )	80		80		80		80	
	σs(kgf/cm <sup>2</sup> )	1800		1800		1800		1800	

連結用心鉄筋量の算定<sup>2)</sup>に準じ、打継ぎ目に定着されるプレストレス量の1/4が引張軸力として作用するものとしている。A橋においては、接合部に発生する引張応力を打ち消すために連結PCケーブルを配置しており、接合断面のRC断面計算にはこのプレストレスを外力として考慮している。

## 2.2 PRC中空床版とRC中空床版との連続化構造 (B橋)

B橋では、PC部主ケーブルの導入プレストレスを低減することによって隣接RC部のプレストレスクリープによる引張応力の低減を図ることを目的にPC部をひびわれを許容するPRC構造とし、11径間連続 (PRC+RC)中空床版橋とした。本橋においては、PRC構造の採用により、RC部の鉄筋をPRC部の鉄筋と完全に連続させたこと、およびA橋で採用した連結PCケーブルをなくしたことにより接合部構造が簡素になり、施工性の向上が図れた。また、PC設計とRC設計の広い中間領域をカバーするPRC設計の採用により接合部付近の設計思想が明確化され、さらにPC鋼材量の減少による経済性の向上効果も得られた。

### (1)主桁PRC設計の概要

A橋と同様に、橋梁全体モデルにより、PRC部とRC部とを連続化するための構造系の変化を考慮した平面フレーム解析を行い、コンクリートのクリープの影響を考慮して設計断面力を算定した。PRCの断面設計は、参考文献<sup>3),4)</sup>を参考にして鉄筋の拘束力を考慮して行った。PRC設計における曲げに対する許容条件は曲げひびわれ幅を許容値以内とすることとし、許容曲げひびわれ幅は中間支点上縁で $0.0035 \times c$ 、その他の断面で $0.005 \times c$  ( $c$ :最外縁鉄筋のかぶり)とした。

PRC部の主鉄筋は、RC部の鉄筋と連結することとし、ボイド間および端部の上下に配置した。したがって、PRC部のボイド配置をRC部と同じとしたため、A橋PC部とはボイド数

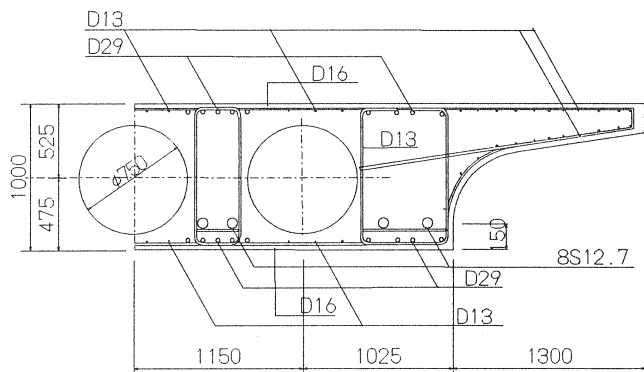


図-3 PRC部の鋼材配置

が異なる結果となった。RC部主鉄筋(D32)と圧接する条件から主鉄筋の径を決め、中間支点上断面における許容曲げひびわれ幅とPRC/RC接合部における許容鉄筋応力度の両条件から主鉄筋量を決定した。PRC部の鋼材配置断面図を図-3に示す。なお、ボイド上下には用心鉄筋を配置している。

PRC設計の結果、中間支点上断面におけるプレストレス導入度は54%となり、PC鋼材量は57%減、鉄筋は55%増となった。

(2)接合部の設計

接合部および隣接RC部支間中央の設計はA橋と同様の考え方で行った。設計結果を表-2に示す。PRC部主桁のプレストレス導入量の低減を図ったこと、RC部主鉄筋をPRC部まで連続化させたため接合部断面で有効となる鉄筋量が増加したことから、打継ぎ目に定着されるプレストレス量の1/4を引張軸力として考慮しても連結PCケーブルによるプレストレスが不要となった。

(3)接合部付近の構造

B橋におけるPRC/RC接合部の構造を図-4に示す。A橋のPC/RC接合部と比較して以下の特徴を持つ。

- ① RC部の主鉄筋はPRC部主鉄筋と圧接により連結した。一部の鉄筋を除き接合部PRC側における鉄筋の途中定着がなくなり、接合部構造の簡素化が図られた。
- ② PRC部主桁のプレストレス導入量の低減を図ったこと、およびRC部主鉄筋をPRC部まで連続化させたため接合部断面で有効となる鉄筋量が増加したことから、A橋で採用した連結PCケーブルが不要となった。これにより、接合部の構造が簡素化されるとともに、施工性が向上した。

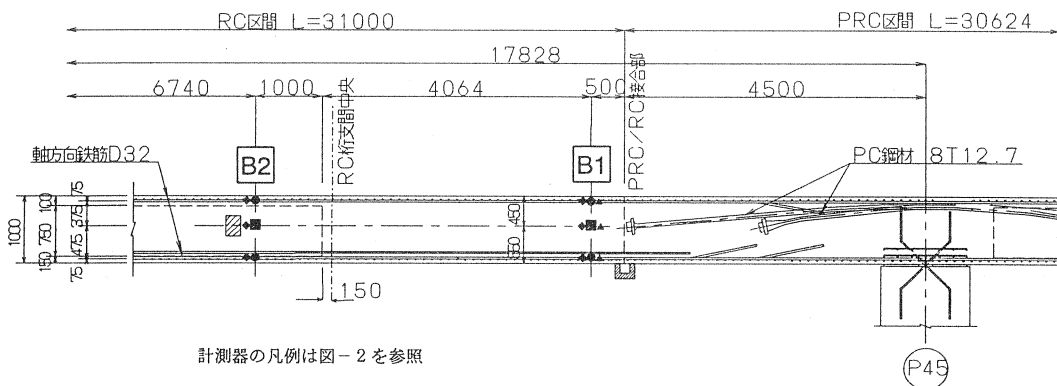


図-4 PRC/RC接合部の構造

なお、A,B両橋において、(PC+RC)連続化構造と(PRC+RC)連続化構造との挙動の違いの把握と接合部の安全性の確認のために計測を行っている。計測の概要と結果の一部について次節で述べる。

3. 計測

3.1 概要

PC桁およびPRC桁に隣接するRC桁に計測器を設置し、応力・ひずみ等の計測を行った。計測位置および計測器の種類を図-2、図-4に示す。計測断面はA,B橋で中実部および中空部のそれぞれ2断面とし、上・下端鉄筋位置に鉄筋計とひずみ計を、PC定着位置高さにひずみ計および有効応力計を設置した。躯体の応力・ひずみ計測のほか、無応力計によりコンクリートの線膨張係数を、亀裂変位計により接合部目地の開きを測定した。なお、計測データは3時間毎に採取することとし、各施工段階においては適宜採取した。

計測結果との比較を行うため、実際の施工工程を考慮した解析ステップで、コンクリートのクリープの影

響を考慮した平面フレーム解析による断面力の再計算を行った。解析ステップを表-3に示す。

3.2 計測結果

(1)各施工段階における応力変化

表-4に、連結PC鋼材緊張時にA1断面に生じる応力を計算値とともに示す。計算値は全断面有効を仮定したコンクリートの応力を示し、実測値は各計測器の値をコンクリート応力に換算して示した。なお、ひずみ計については無応力計により測定されたコンクリートの線膨張係数で温度の補正を行っている。接合部の応力は、連結PCケーブルがRC側をデッドアンカーとして、PC側床版上面から片引きで緊張するため断面上縁へ行くほど圧縮応力が大きくなる。実測値はこの傾向をとらえ概ね計算値と一致した。

次に、RC部の型枠支保工撤去時の鉄筋応力の変化を表-5に示す。計算値は全断面有効を仮定した弾性計算およびコンクリートの引張強度を無視したRC計算の2ケースを示した。

実測値では、支保工撤去前後の温度変化などの影響によりある程度のばらつきを含んでいると考えられるが、ほぼ弾性計算に近い結果が得られた。

(2)長期の応力変化

PCおよびPRC桁に隣接するRC桁の支間中央における鉄筋応力の変化を計算値と比較したものを図-5、図-6に示す。点線で示した計算値は、フレーム解析で得られたクリープ・乾燥収縮による応力変化に、有効応力計の値から得られた、躯体温度の変化(膨張・収縮)により生じるコンクリート応力の変化を鉄筋応力に換算したものを加えて算出した。

計算値は構造系完成時を起点として示したが、実測値とほぼ同様の動きを示した。

表-3 解析ステップ

STEP	内容	経過日数(日付)	
		A橋	B橋
	PC・PRC部コンクリート打設	(4/20)	(7/11)
1	PC・PRC部緊張	4	7
2	PC・PRC部高欄荷重載荷	20	14
	RC部①コンクリート打設 (A:P32~P38, B:P43~P45)	61	57
	RC部②コンクリート打設 (A:P39~P43, B:P46~P54)	83	93
3	RC部①自重・高欄荷重載荷 PC部連結PC緊張	95	76
4	RC部②自重・高欄荷重載荷 PC部連結PC緊張	103	114
5	計測1	134	143
6	計測2	195	205
7	計測3	287	

表-4 連結PC緊張時の応力(kgf/cm<sup>2</sup>)

位置	計測値	実測値		
		R	S	C
上側鉄筋	4.1	7.1	6.3	-
図心	3.8	-	4.0	4.2
下側鉄筋	3.4	3.6	3.3	-

R:鉄筋計、S:ひずみ計、C:有効応力計

表-5 接合部自重作用時の鉄筋応力(kgf/cm<sup>2</sup>)

断面	計算値				計測値(鉄筋計)	
	弾性計算		RC計算		上側鉄筋	下側鉄筋
	上側鉄筋	下側鉄筋	上側鉄筋	下側鉄筋		
A1	-97	112	-112	564	-80	92
A2	-134	167	-148	933	-155	103
B1	-72	100	-103	595	-101	153
B2	-116	151	-130	1015	-102	69

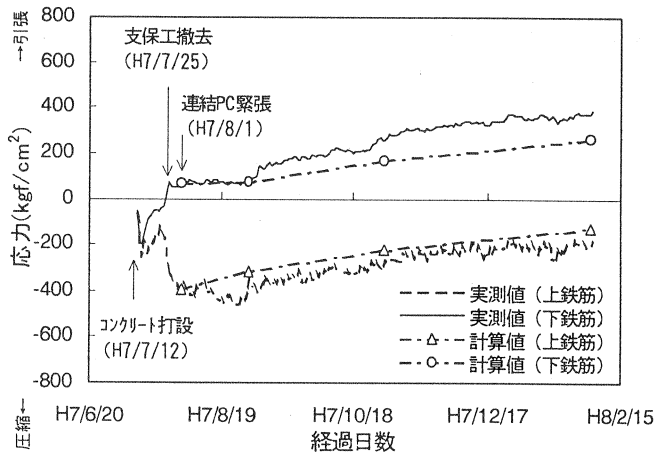


図-5 鉄筋応力の経時変化(A2断面)

(3)桁のたわみ

PC、PRC 桁およびそれぞれに隣接する RC 桁について、桁中央たわみを測定した結果を計算値とともに表-6 に示す。A 橋では構造系完成後の STEP4 を、B 橋では PRC 桁の高欄施工終了後の STEP2 を起点として各ステップ毎に測定を行った。

プレストレスクリープの進行により PC・PRC 桁では上向きなたわみが増加しているが、実測値でもその傾向が見られた。また、そのたわみ量もほぼ計算値に近い結果が得られた。

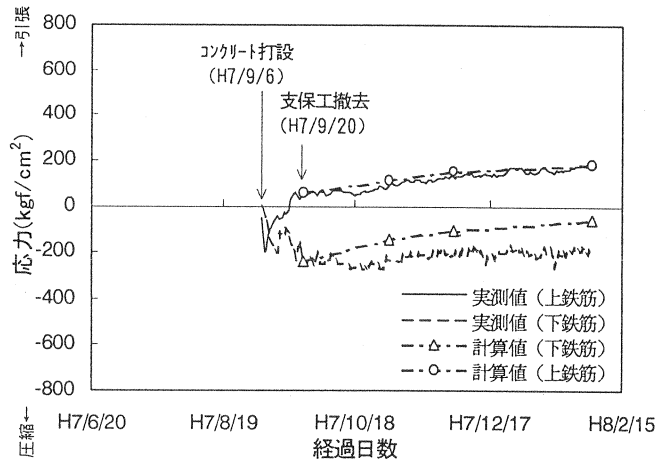


図-6 鉄筋応力の経時変化 (B2 断面)

4. まとめ

PRC 桁を RC 連続中空床版で挟み込み形で連続化した複合構造の設計・計測を行った結果、設計では A 橋のように PC 構造で、接合部に連結ケーブルを採用した場合と比較して隣接 RC 部のプレストレスクリープによる引張応力の低減が図られ、また、連結 PC ケーブルが不要になったことなどにより接合部の構造が簡素化された。計測においては、隣接 RC 桁に設置した鉄筋計などにより、各施工段階における断面応力の変動や長期にわたる応力変化がほぼ計算値通りであることが明らかとなった、また、過大な応力やたわみの発生、あるいは有害なひびわれ、接合部継ぎ目の開きなどが生じていないことを計測値および目視等により確認した。

当計測は平成8年7月現在継続中であり、今後得られる長期計測データをもとにクリープや乾燥収縮の影響についてもさらに検討を進めていく予定である。

表-6 桁のたわみ (A 橋、上向き+, mm)

STEP	PC 桁中央		RC 桁中央 (P39~P40)	
	計算値	実測値	計算値	実測値
5	1.55	3	-1.75	-2
6	3.09	5	-2.81	-2
7	4.53	5	-3.67	-3

表-7 桁のたわみ (B 橋、上向き+, mm)

STEP	PRC 桁中央		RC 桁中央 (P44~P45)	
	計算値	実測値	計算値	実測値
2	-9.08	-10	-	-
3	-11.03	-11	0	0
4	-10.00	-6	-1.23	-4
5	-9.69	-6	-1.58	-4
6	-9.46	-5	-2.02	-3

参考文献

- 1) 明石行雄ほか: 徳島自動車道東中富高架橋の設計 (PC・RC11 径間連続複合中空床版橋)、橋梁、pp.20-28、1993.8
- 2) 日本道路公団: 設計要領第2集、p.7-144、1990.7
- 3) (財) 高速道路技術センター、平成4年度北海道横断自動車道 (清水~池田) PRC 道路橋の実用的設計法に関する調査検討 (その3) 報告書、1983.3
- 4) 西澤紀昭ほか: PRC 道路橋の設計、技報堂出版、1993.6