

(38) 富士川橋 (PRC 8径間連続桁橋) の設計

日本道路公団 東京建設局 建設第一部 構造技術課  
 同 上  
 ピーシー橋梁(株)・日本鋼弦コンクリート(株)共同企業体 正会員  
 同 上 正会員

野村 謙二  
 広瀬 剛  
 染谷 保司  
 正会員 ○品川 清和

1. はじめに

本文で紹介する中部横断自動車道の富士川橋は、双葉ジャンクション(仮称)と白根インターチェンジ(仮称)の間に位置し、山梨県の1級河川釜無川に架かる橋梁である(図-1)。本橋では、周囲を富士山、八ヶ岳、南アルプスに囲まれて、景観に配慮したスレンダーなPRC 8径間連続箱桁形式を採用した。最大支間長は120mであり、張出し架設にて現在施工中である。本橋の設計上の特徴として次の事項が挙げられる。

- ①構造系完成後にひび割れを許容するPRC構造とすることによる建設コストの縮減
- ②張出し架設時の架設鋼材に外ケーブルを用いることおよびプレグラウトPC鋼材を端横桁に採用することによるPC鋼材の適用性の拡大
- ③予備せん断変形型高減衰ゴム支承の採用による耐震性能の向上

本文は、詳細設計における上記検討結果について報告するものである。

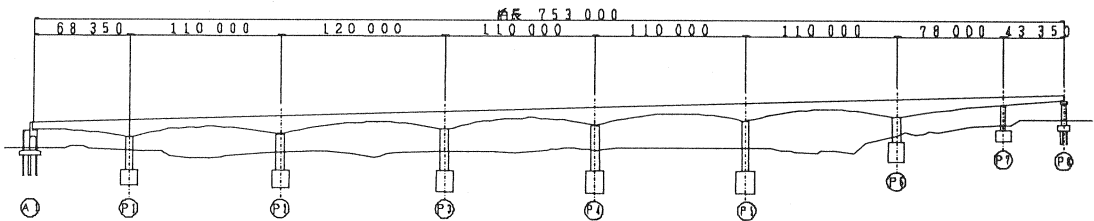


図-1 橋梁一般図(側面図)

表-1 橋梁諸元

工事名	中部横断自動車道 富士川橋 (PC上部工) 工事	
構造形式	PRC 8径間連続箱桁橋	
橋長	753.000m	
概算数量	コンクリート (m <sup>3</sup> )	8,090
	鉄筋 (t)	1,230
	PC鋼材 (t)	398

表-2 PC鋼材種別

	種別	摘要
主方向	SWPR7B 12S12.7	内ケーブル
	SWPR7B 19S15.2	外ケーブル
横方向	SWPR19 1S21.8	端横桁, 床版

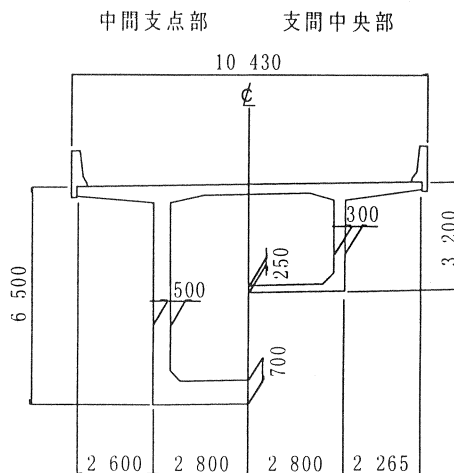


図-2 橋梁一般図(断面図)

2. PRC構造の採用

本橋は張出し施工のため、架設系と完成系で構造系が異なる。張出し架設時にひび割れを許容すると、ひび割れによる剛性の変化がたわみ計算を煩雑にし、現場でのたわみ管理を困難にする。これを避けるため、張出し架設時において、主桁に曲げおよびせん断ひび割れが生じないようにコンクリートの応力度を制限した。完成系において、設計荷重作用時にひび割れを許容するPRC構造とし、鉄筋の応力度と曲げひび割れ幅が表-3に示すそれぞれ制限値を満足するものとした。その結果、中間支点に引張応力を許容することにより、架設外ケーブルが6本減るなど、PRC構造とするメリットが顕著となった。

表-3 主桁の制限値

	張出し架設時	設計荷重作用時
曲げ	・コンクリートの曲げ引張応力度 $\sigma_{ca} = -15.0 \text{ kgf/cm}^2$	・ひび割れ幅 上縁: 0.0035C 下縁: 0.005C
		・鉄筋の引張応力度 $\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$
せん断	・コンクリートの斜引張応力度 $\sigma_{Ia} = -12.5 \text{ kgf/cm}^2$	・鉄筋の引張応力度 $\sigma_{sa} = 1800 \text{ kgf/cm}^2$

3. PC鋼材の適用性の拡大

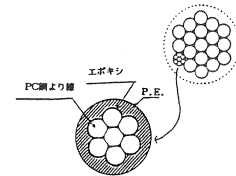
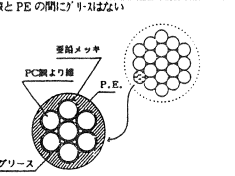
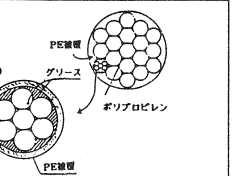
3.1 外ケーブルの配置要領

本橋の架設は、内ケーブルを基本とする張出し架設であり、プレストレスの不足分を外ケーブルで補うこととした。標準張出しブロック数14のうち、3ブロックに外ケーブルを定着した。これにより、内ケーブルのみを配置した場合に比較して、箱桁のウェブ厚を薄くすることができた。架設のための外ケーブルは全部で32本あり、そのうち6本の外ケーブルは構造系完成後に解放し撤去することとした。撤去する外ケーブルは、地覆軸方向鉄筋の代替として利用し、コスト低減を図った。外ケーブルは、摩擦によるプレストレスの損失が内ケーブルに比較して少ないことから、連続外ケーブルの定着を2径間毎とし、定着具の数量減と緊張回数減少によるコスト削減を目指した。その結果、連続外ケーブルの最大長は約230mとなった。

3.2 外ケーブルの保護構造の選択

表-4に示す外ケーブル保護構造のうち、本橋ではメリットが多く単位重量の軽いノングラウト(エポキシ+ポリエチレン二重被覆)タイプを採用した。架設後撤去する外ケーブルは、使用期間が最大1年程度と短期であることから裸線を使用することとし、防食対策としては防食スプレー等を現場で行うこととした。

表-4 外ケーブル保護構造比較表

分類番号	ノングラウトタイプ		
	①	②	③
防錆処理のタイプ	PC鋼より線+エポキシ+PE二重被覆	PC鋼より線+亜鉛+エポキシ+PE二重被覆	PC鋼より線(裸)+ポリス+PE二重被覆+引張被覆(軒下ボンドラップ)
定着体のタイプ	アグ-19AE15 外+アグ-19AF	アグ-19AZ15 外+アグ-19AF	アグ-19AM15 外+アグ-19AF
防錆処理の概念図			
長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・信頼性の高い二重防食。</li> <li>・定着部でもばね被覆は剥くことなく定着可能。</li> <li>・鋼内部のポリウレタンが防止容易。</li> <li>・鋼材の目視点検が容易。</li> <li>・防錆材注入は定着具と保護材の内側とすることも可。</li> <li>・定尺切断・巻取り加工による一括挿入やドラム品による一本巻の挿入など、多様な施工条件に対応可能。</li> <li>・長尺タイプ挿入にも対応しやすい分割挿入が可能。</li> <li>・一括挿入時もばねは束取り加工なので引き出しのためにアグのみで良い。</li> <li>・鋼材の目視点検が容易。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二重防食。</li> <li>・鋼内部のポリウレタンが防止容易。</li> <li>・定尺切断・巻取り加工による一括挿入やドラム品による一本巻の挿入など、多様な施工条件に対応可能。</li> <li>・長尺タイプ挿入にも対応しやすい分割挿入が可能。</li> <li>・一括挿入時もばねは束取り加工なので引き出しのためにアグのみで良い。</li> <li>・鋼材の目視点検が容易。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・二重防食。</li> <li>・鋼内部のポリウレタンが防止容易。</li> <li>・一括挿入容易。</li> </ul>
短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・専用くさびが必要</li> <li>・鋼内部に外側PE保護層のためのPE膏(シート)が必要。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定着防錆材としてポリウレタンは使用不可(亜鉛と反応→水素→鋼材の水素脆性破壊)。</li> <li>・温度変化によるポリウレタンの膨張に対する空隙代が必要。</li> <li>・定着部にポリウレタン等の防錆が必要。</li> <li>・定着部防錆材がより線の隙間から自由長部へ流出しやすい。</li> <li>・引張強度が約8%低下する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定着部はすべてのPE被覆を剥く必要がある。</li> <li>・温度変化によるポリウレタンの膨張に対する空隙代が必要。</li> <li>・定着部にポリウレタン等の防錆が必要。</li> <li>・鋼内部で内側のPE被覆が損傷しやすい。</li> <li>・荷重は鉄線と巻取りアグ-19AFが必要。</li> <li>・一括挿入しきれないで長尺タイプでは重量が過大となって重機。運送方法の詳細な検討が必要。</li> <li>・鋼材の目視点検に難。</li> </ul>
単位重量	23kg/m	25kg/m	24kg/m
最大鋼材径	19S15.2	19S15.2	19S15.2

3.3 外ケーブル定着部の応力照査

架設用外ケーブルは、導入力約320tfの大容量 tendon を箱桁内の隔壁に定着することとした。定着部および定着部付近の応力分布を把握し、適切な補強を行う目的で3次元の有限要素法解析を実施した。解析結果を図-3~5に、定着部近傍の引張応力発生部位を表-5に示す。プレストレスによって生じる隔壁面外方向曲げモーメントの影響で、隔壁背面に引張応力が発生した(図-3, 5)。また、定着部前面ウェブに最大-38kgf/cm<sup>2</sup>程度の引張応力度が発生しており(図-4, ④), 定着部と同様に鉄筋で補強を行った。補強に際し、設計荷重作用時(P=326tf)および終局荷重作用時(P=506tf)の鉄筋応力度を、それぞれ $\sigma_s=1800\text{kgf/cm}^2$ ,  $3000\text{kgf/cm}^2$ に制限した。

表-5 定着部近傍の引張応力発生部位

引張応力発生部位		記号	応力度(kgf/cm <sup>2</sup> )	
			隔壁無	隔壁有
橋軸直角方向	定着部背面上床版	①	-14.7	-9.8
	隔壁背面	②	-	-21.3
橋軸方向	定着部前面上床版	③	-33.9	-28.1
	定着部前面ウェブ	④	-34.3	-26.1
鉛直方向	定着部背面ウェブ	⑤	-14.5	-11.9
	隔壁背面	⑥	-	-19.2

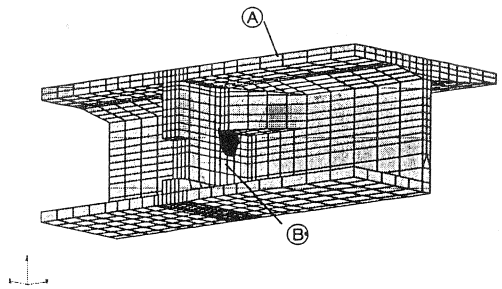


図-3 解析結果(橋軸直角方向)

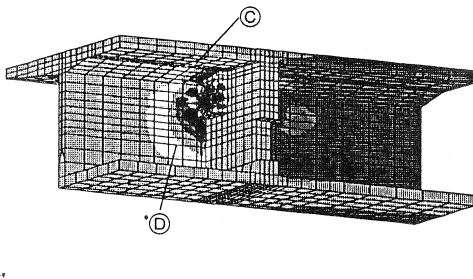


図-4 解析結果(橋軸方向)

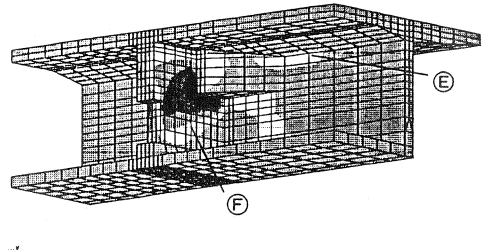


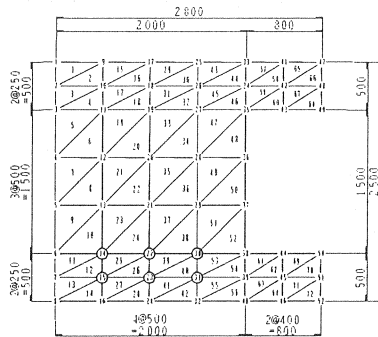
図-5 解析結果(鉛直方向)

3.4 端横桁の後付着型PC鋼材の適用性

本橋では、横締めにはプレグラウトPC鋼材を用いることとした。本橋の端横桁はプレグラウトPC鋼材を採用するにはマッシュプであり、コンクリートの水和熱でプレグラウト樹脂が早期に硬化することが懸念された。端横桁へのプレグラウトPC鋼材の摘要の可否を判断する目的で、有限要素法による温度解析を行った。表-6に検討条件、図-6に温度解析モデル、図-7に解析結果(温度履歴)を示す。その結果、PC鋼材位置での最高温度は73.3℃であったため、3年硬化型のプレグラウトPC鋼材を採用した。

表-6 検討条件

項目	内容
コンクリート種類	早強 <sup>ホ</sup> トラント <sup>ド</sup> セメント $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$
外気温	25℃
打設温度	25℃
単位セメント量	$C=420\text{kg/m}^3$
密度	$\rho=2350\text{kg/m}^3$
比熱	$C_c=0.28\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$
熱伝導率	$\lambda_c=2.3\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$
熱伝達率	$\eta_1=7\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ (合板) $\eta_2=12\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C}$ (散水)



○: 測定節点  
図-6 温度解析モデル

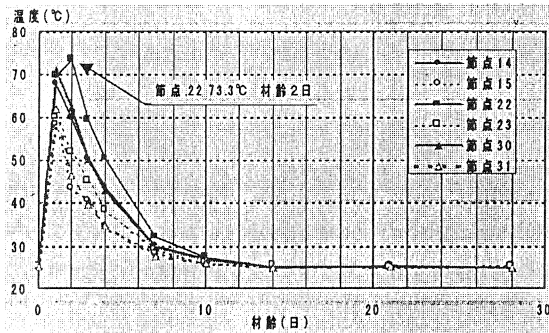


図-7 解析結果(温度履歴)

4. 予備せん断変形型高減衰ゴム支承の採用

本橋のP1橋脚～P7橋脚には、橋脚に使用する地震水平力を軽減するために予備せん断変形型高減衰ゴム支承(HDR)を使用した。支承に関する検討結果を表-7に示す。支承ゴムのせん断弾性係数G0を変化させ、最も経済的となるG0=10kgf/cm<sup>2</sup>を端部橋脚を除く橋脚に対して選定した。端部橋脚についてはG0=8kgf/cm<sup>2</sup>と低い値とし、可動に近い挙動となるようにした。なお、詳細設計時の支承の検討条件は次のとおりであった。

表-7 支承検討結果 \*検討時端部支承はG0=8kgf/cm<sup>2</sup>

形		G0=8kgf/cm <sup>2</sup>			G0=10kgf/cm <sup>2</sup>			G0=12kgf/cm <sup>2</sup>		
		橋軸	橋直	沓高	橋軸	橋直	沓高	橋軸	橋直	沓高
状	A1* (mm)	740	740	412	740	740	381	740	740	376
	P1-P6 (mm)	1800	1500	469	1800	1500	477	1800	1500	620
	P7 (mm)	1100	1100	408	1100	1100	423	1100	1100	517
	P8* (mm)	800	800	651	610	610	455	610	610	411
等価水平震度		0.19(橋軸)			0.22(橋軸)			0.23(橋軸)		
保耐II変位(mm)		260(橋軸)			243(橋軸)			244(橋軸)		
支承重量(kg)		162,966			140,314			141,671		
経済性		③			①			②		

- ①下部工に作用する上部工の地震慣性力は、基本設計における分担分を超えないこと
- ②タイプII地震時の支承移動量は、基本設計における支承移動量250mmを目安とすること
- ③支承高さは、基本設計における支承厚486mmを大きく上回らないこと

5. おわりに

本橋の詳細設計において種々の検討を行った結果、以下の事項が明らかとなった。

- ①張出し架設を行うPRC橋は、主桁たわみ管理が重要となるため、張出し架設時に主桁に曲げおよびせん断ひびわれを生じさせない方法を採用するのが妥当と思われる。
- ②外ケーブルの採用は、PC鋼材の防錆状況を目視で確認でき、箱桁のウェブを薄くできるメリットがある。
- ③外ケーブルの突起定着部近傍には、定着部前面だけでなく、背面のウェブや上床版にも引張応力が発生するため、十分な補強が必要である。
- ④横桁厚2m程度であれば、3年硬化型のプレグラウトPC鋼材の使用が可能であると思われる。
- ⑤ゴムのせん断弾性係数をパラメータとして支承形状を決定することは、免震支承の最適化を図る一つの手法となると思われる。

参考文献

1) 桑原 典和, 藤田 敏治, 山本 哲也, 浅井 宏隆: 場所打ち張出し架設工法によるPRC4径間連続7-1/2m箱桁橋(大谷池橋)の設計, 第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.715~720, 1998年10月