

(139) 場所打ち張出し架設工法によるPRC4径間連続ラーメン箱桁橋(大谷池橋)の設計

JH四国支社松山工事事務所工事長 桑原 典和
 JH四国支社構造技術課 藤田 敏治
 住友建設(株) P C 設計部 正会員 山本 哲也
 住友建設(株) P C 設計部 正会員 ○ 浅井 宏隆

1. はじめに

大谷池橋は、松山自動車道の四車線化工事に伴い、供用線に隣接して場所打ち張出し架設される橋長260.5mのPRC4径間連続ラーメン箱桁橋(表-1)である。(図-1)に橋梁一般図を示す。張出し架設工法によるPRC箱桁橋は、JH北海道の来馬川橋¹⁾に続いて2橋目であり、今後このような形式の橋梁が増加すると十分に予想されることから、本橋の設計は、そのパイロット的な位置付けですすめられた。

張出し架設工法においては、張り出し架設中のコンクリートにひび割れが発生すると予期せぬ変形量が生じることが考えられる。これを避けるためにPC構造として設計する必要があることから、本橋のような場合は、PC橋とPRC橋の中間的なものであると言える。

本文では、大谷池橋における張出し架設工法によるPRC橋の設計手法を紹介するとともに、設計結果から荷重に対するプレストレスの導入度や経済性をPC橋(基本設計)と比較した結果について報告するものである。

2. 主桁の設計

2-1. 設計方針

本橋の設計方針は以下とした。

- ①張出し架設時は、ひび割れを発生させないように、通常のPC橋と同様にコンクリート応力度を制限した。

表-1. 橋梁概要

工事名	松山自動車道(四車線化) 大谷池橋(PC上部工)工事		
位置	愛媛県周桑郡小松町大字南川地内		
道路規格	第1種3級A規格 (V=80km/h)		
構造型式	PRC4径間連続ラーメン箱桁橋		
橋長	260.500m	有効幅員	9.000m
支間	54.050m+76.000m+76.000m+53.050m		
荷重	B活荷重	斜角	90.000°
横断勾配	2.000%	縦断勾配	0.647%
平面線形	R=7,000m	地盤	I種地盤

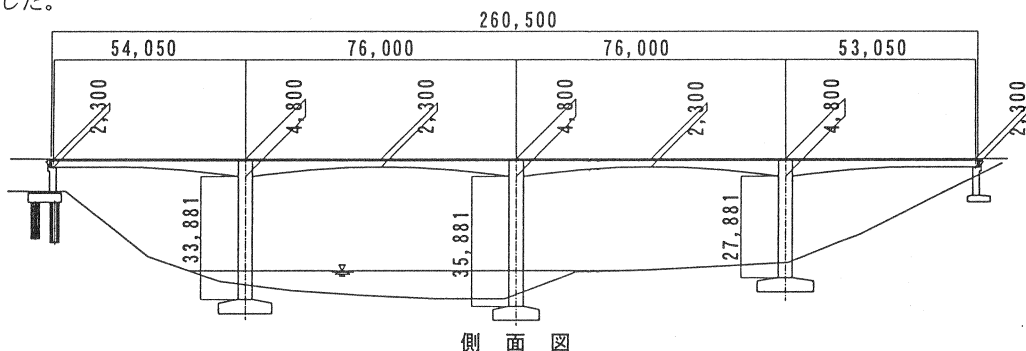
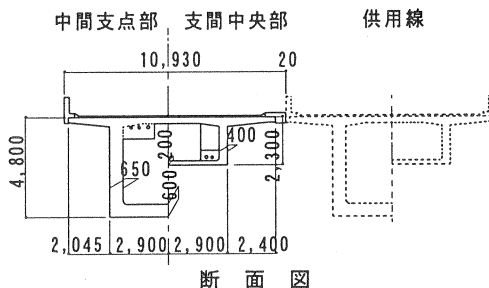


図-1 橋梁一般図

②上床版上縁は、耐久性確保の観点から死荷重時フルプレストレスとした。

③設計荷重作用時は、断面上縁、下縁においてそれぞれ許容曲げひび割れ幅を設定した。

④せん断ひび割れについても許容するものとし、死荷重時の断面上縁側、下縁側(曲げモーメントの正負で区別した)、活荷重時について斜引張鉄筋の引張応力度の制限値を設けた。

③、④において、断面の上縁については、より一層の耐久性確保を目的として、鋼材の腐食に対する環境条件を特に厳しい環境として設計を行った。(表-2)に、今回の設計で採用した設計条件について述べる。

表-2. 主桁の設計における主な制限値

	張出し架設時	死荷重時	活荷重時
曲げ	・コンクリートの引張応力度の目標値 (-10.0 kgf/cm ²)	・上縁 フルプレストレス ・下縁 ひび割れ幅cm 0.0050・C ※2 ・鉄筋の引張応力度 1800kgf/cm ²	・ひび割れ幅 cm 上縁 0.0035・C ※1 下縁 0.0050・C ※2 ・鉄筋の引張応力度 1800kgf/cm ²
	せん断 ・コンクリートの斜引張応力度 -12.5 kgf/cm ²	・鉄筋の引張応力度 M<0 800kgf/cm ² ※1 M>0 1200kgf/cm ² ※2	・鉄筋の引張応力度 1800kgf/cm ²

C: 最外縁主鉄筋の純かぶり(cm)

※1 鋼材の腐食性環境: 特に厳しい環境

※2 鋼材の腐食性環境: 一般の環境

2-2. 曲げに対する設計

(1) 張出し架設時の設計

張出し架設時は、主桁剛性の低下を招く、曲げひび割れを発生させないようにPC構造として引張応力度の制限値を設けている。

(2) 完成系の設計

完成系における曲げに対する設計フローチャートを(図-2)に示す。

1) 設計荷重作用時の検討

死荷重時においては、上床版上縁をフルプレストレスとした。

また、活荷重時の曲げひび割れの検討は、コンクリートの曲げひび割れが発生する判定基準をコンクリート標準示方書の設計引張強度に安全率をみて-16kgf/cm²として場合分けを行った。曲げひび割れ幅の照査は、これを超える場合についてのみ行い、同時に鉄筋応力度の照査を行った。これを超えない場合は、PCの場合と同様に引張鉄筋の計算を行い、フルプレストレスの場合は最小鉄筋量を配置した。

2) 疲労荷重作用時の検討

疲労荷重作用時の鋼材の変動応力度を算出する際の変動荷重は、TT-43荷重を使用し、等価繰返し回数を50,000,000回²⁾として許容疲労応力度を算出した。

3) 終局荷重作用時の検討

終局荷重作用時の荷重組合せは、道示の3ケースとし、地震の影響に関しては別途非線形動

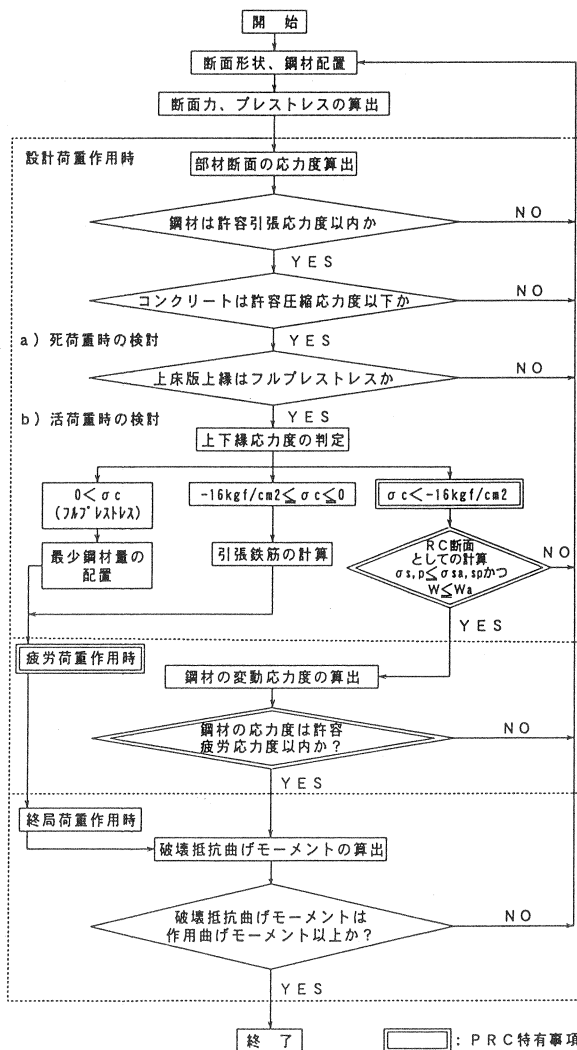


図-2 完成系の曲げに対する設計フローチャート

的解析による照査を行った。曲げ終局モーメント計算時の外ケーブルの張力増加分は、一律10 kgf/cm² としている。

2-3. せん断に対する設計

(1) 張出し架設時の設計

張出し架設時は、主桁剛性の低下を招く、せん断ひび割れを発生させないようPC構造として許容斜引張応力度を設けている。

(2) 完成系の設計

完成系におけるせん断に対する設計フローチャートを(図-3)に示す。本橋では、通常のPC橋の場合に照査するフロー図中の①、②、⑤による斜引張鉄筋の算出以外に、せん断ひび割れの発生を許容した場合の③、④の照査を行い、この中で最も大きくなる鉄筋量を配置した。③の死荷重時の検討は、すべての断面が対象となり、鉄筋の腐食を考慮して、鉄筋応力度を通常の許容値に比べて低いレベルで抑えることとした。④の活荷重時については、斜引張応力度が許容値を超える場合に行った。せん断ひび割れの検討③、④の鉄筋量算出の際は、コンクリートが負担するせん断力Scを1/2として算出した。

2-4. 鋼材配置の決定

(1) 中間支点のPC鋼材配置

張出し架設時は通常のPC橋と同様の設計を行うため、上床版に配置する内ケーブル(12S12.7)の本数は、張出し架設時に必要な本数より決定した。死荷重時に上床版上縁フルプレストレスを満足するために不足するPC鋼材は、経済比較を行った結果、大容量の外ケーブル(19S15.2)を2本使用することとした。

(2) 支間中央の鋼材配置の決定

支間中央では、設計荷重最大時のPRC構造としての鉄筋応力度と曲げひび割れ幅の検討より、PC鋼材、鉄筋配置を決定した。(表-3)に下床版の内ケーブル(12S12.7)の本数と鉄筋径D25、D22に対して、鉄筋拘束力の影響を考慮して、支間中央下縁の鉄筋応力度と曲げひび割れ幅を比較した。鉄筋の許容応力度の制限により、下床版内ケーブル10本+外ケーブル2本、D22×125mmの鉄筋配置とした。

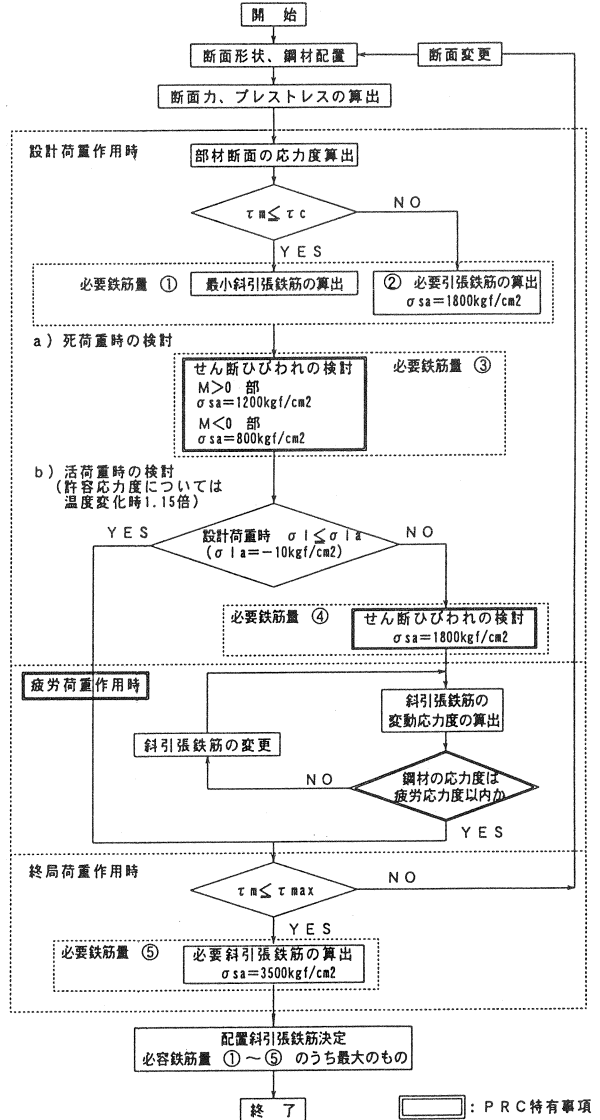
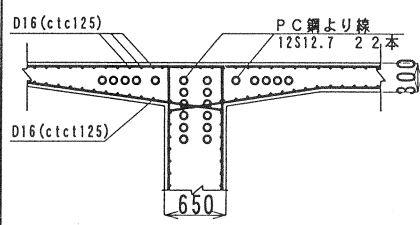
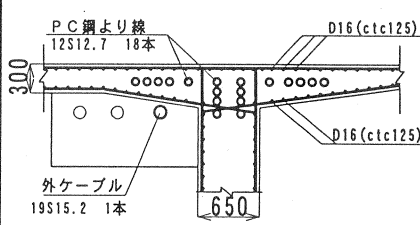
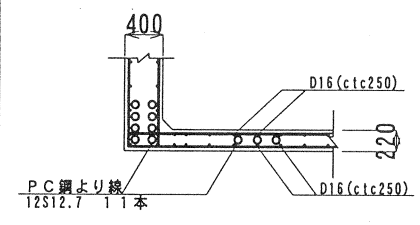
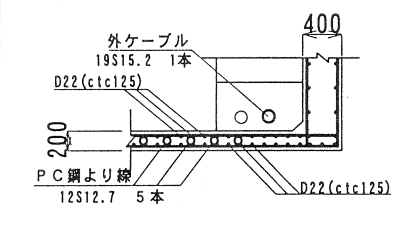


図-3. 完成系のせん断に対する設計フローチャート

表-3. 支間中央での鋼材配置の検討結果

下床版PC 鋼材本数	照査項目	下床版鉄筋径	
		D22	D25
12本	鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1206.8	1171.8
	ひびわれ幅 (cm)	0.0156	0.0148
10本	鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1580.7	1480.3
	ひびわれ幅 (cm)	0.0205	0.0188
8本	鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1955.4	1809.8
	ひびわれ幅 (cm)	0.0253	0.0229
許容値	鉄筋応力度 (kgf/cm ²)	1800	
	ひびわれ幅 (cm)	0.0250	0.0245

表-4. PC橋(基本設計)とPRC橋(詳細設計)の主要断面での鋼材配置の比較

主 要 断 面 の 鋼 材 配 置	P C 橋 (基本設計)		P R C 橋 (詳細設計)	
	中間支点			
	内ケーブル	12S12.7 44本	内ケーブル	12S12.7 36本
	—	—	外ケーブル	19S15.2 2本
	鉄筋配置	D16 ctc 125	鉄筋配置	D16 ctc 125
支間中央				
	内ケーブル	12S12.7 22本	内ケーブル	12S12.7 10本
	—	—	外ケーブル	19S15.2 2本
	鉄筋配置	D16 ctc 250	鉄筋配置	D22 ctc 125

3. PC橋とPRC橋の設計結果の比較

(1) 鋼材配置の比較

(表-4)にPC橋(基本設計)とPRC橋(詳細設計)の主要断面での鋼材配置の比較を示す。中間支点では、上床版上縁を張出し架設時にPC橋と同様の応力制限を行ったこと、死荷重時にフルプレストレスとしたことにより、鉄筋量、PC鋼材量ともにほぼ差は見られなかった。しかし、支間中央では、PRC橋としたことによりPC鋼材量は約半減した。

(2) PC鋼材の有効係数と鉄筋の拘束効果

(表-5)にPC鋼材の有効係数を比較した。PRC構造の採用により、乾燥収縮・クリープによってコンクリートの歪みを鉄筋が拘束し、PC鋼材の緊張力の損失が小さくなるため、有効係数は約5%程度上昇した。しかし、鉄筋の拘束効果による断面力は、プレストレスを打ち消す方向に作用する。そこで、プレストレスによる応力度は有効プレストレス力と鉄筋拘束力の和であると考えた場合のプレストレスの実質の導入効率を算出した。プレストレスの実質の導入効率は、PC橋の有効係数と比べて、鉄筋量と同じ中間支点では差がなく、鉄筋量が増加した支間中央では、低下する結果となった。

表-5. PC鋼材の有効係数

		中間支点	支間中央	
PC橋(基本設計)の有効係数		0.845 (1.00)	0.849 (1.00)	
P R C (詳細設計)	有効係数	内ケーブル	0.895	0.885
		外ケーブル	0.910	0.888
		平均	0.896 (1.06)	0.886 (1.04)
	有効プレによる応力度 ① (kgf/cm ²)	内ケーブル	87.8	68.0
		外ケーブル	9.6	27.2
		平均	97.4	95.2
	導入プレによる応力度 ② (kgf/cm ²)	内ケーブル	98.1	76.8
		外ケーブル	10.5	30.6
		平均	108.7	107.4
	鉄筋拘束力による 応力度 ③ (kgf/cm ²)		-4.2	-16.2
有効プレ+鉄筋拘束力 ④=①+③ (kgf/cm ²)		93.2	79.0	
プレストレスの 実質の導入効率 ④/②		0.857 (1.01)	0.735 (0.87)	

(3)荷重に対するプレストレス導入度の比較

(表-6)に両者の死荷重時、設計荷重最大時の曲げモーメントと有効プレストレスに対するデコンプレッション・モーメントの比を示す。有効プレストレスに対するデコンプレッション・モーメントとは、コンクリートの引張縁で有効プレストレスによる応力度を 0 kgf/cm^2 にするモーメントである。

このデコンプレッション・モーメントの死荷重時、設計荷重最大時の曲げモーメントに対する比、 $M_o/Md1$ 、 $M_o/Md2$ は、0の時にRC、1以上でフルプレストレスとなり、プレストレスの導入度を表している。

中間支点では、PC橋は設計荷重時において上縁フルプレストレスとして設計するため、この場合でも導入度が1.14と余裕のある設計となっている。これに対し、PRC橋は、死荷重時に上縁フルプレストレスとしたため、1.04であり(このときのコンクリート上縁応力度は 2.3 kgf/cm^2 であった。)、設計荷重時には曲げひび割れを許容したため、プレストレス導入度は低くなり、0.86であった。

支間中央では、フルプレストレスであるPC橋の死荷重時以外は1.00以下であり、設計荷重時に許容引張応力度で制限するPC橋では0.93、曲げひび割れ幅で制限するPRC橋では、死荷重時に0.96とPC橋の設計荷重時と同程度であり、設計荷重時にはさらに低く0.69である。

以上のように、張出し架設工法を用いたPRC橋である本橋において、張出し架設時および死荷重時にコンクリートの応力制限を設けたためにPC構造に近い中間支点の断面を含め、PRC構造としての特性が認められた。

(4)斜引張鉄筋の配置

せん断に対して、主方向PC鋼材の減少に伴い、曲げ引張応力度が増加し、また、せん断方向分力Speが減少したため、コンクリートの斜引張応力度は増大した。しかし、PRC橋の設計では、せん断ひび割れを許容しており、せん断ひび割れが発生した場合にはコンクリートが負担するせん断力Scを1/2とし、Speも減少しているため、鉄筋の負担するせん断力Ssが増加した。したがって、斜引張鉄筋の最大配置は、PC橋(基本設計)のD16ctc125から、PRC橋においてはD22ctc125へランクアップした。なお、このときのコンクリート全断面有効と見なした場合の設計荷重最大時の仮想斜引張応力度は、 13.0 kgf/cm^2 程度であった。

(5)経済性

(表-7)にPC橋(基本設計)とPRC橋(詳細設計)の全体数量を比較する。

コンクリートには大きな変更はなく、鉄筋が約1割程度増加してはいるもののPC鋼材は15%程度減少している。

したがって、張出し架設工法によるPRC橋は、PC橋の場合に対して、経済的に大きな優位性があると結論づけられる。

表-6. 荷重に対するプレストレス導入度の比較

モーメント(tf·m)	P C橋(基本設計)		PRC橋(詳細設計)		
	中間支点	支間中央	中間支点	支間中央	
全死荷重時 Md1	-11943	3427	-15773	2874	
設計荷重時 Md2	-14861	4579	-18979	3988	
有効プレ デコンプレッション	(内)	-16912	4237	-14785	1964
	(外)	—	—	-1617	786
モーメント Mo (内+外)	-16912	4237	-16402	2750	
Mo/Md1	(1.42)	(1.24)	(1.04)	(0.96)	
Mo/Md2	(1.14)	(0.93)	(0.86)	(0.69)	

表-7. 全体数量の比較

	単位	P C橋 (基本設計)	PRC橋 (詳細設計)
コンクリート 40N/mm	m3	2348 (1.00)	2311 (0.98)
鉄筋 SD345	t	257 (1.00)	280 (1.09)
PC鋼材 (内+外)	t	81 (1.00)	69 (0.85)

4. 外ケーブルの再緊張について

P R C 橋においては、ひび割れの発生を許容しているため、主桁の剛性が低下すること、死荷重時に断面内に引張領域がある場合のクリープ、乾燥収縮の挙動や鉄筋の拘束効果等、不明確な要因がある。そのため、長期的に見た場合、過度な変形やひび割れ幅の増大が起こる可能性も否定できない。それらに対しては、外ケーブルを再緊張して、プレストレスを増加することで対処する計画とした。そのため、外ケーブルの交換を視野に入れ、外ケーブル定着具を交換可能型としており、防錆はケーブル交換の作業性を考慮して、グラウトを定着横桁部分、フレッチング疲労対策のための偏向部分と柱頭部通過部分に限定し、ケーブルにはエポキシ被覆ストランドを使用することで防蝕性を確保した。

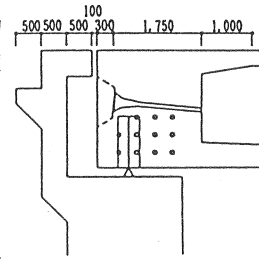


図-4 テンドンギャラリー

交換の際には、端支点のグラウトされた定着具を交換する必要があり、そのためのスペースとして、A 1, A 2 橋台にテンドンギャラリー(図-4)を、また、端支点横桁の定着具部分に切欠きを設置している。交換時には、一時的に既設ケーブルのプレストレスを盛り替えるため、予め設置されている予備外ケーブル定着具と予備孔を利用し、既設ケーブルの交換を行う。

5. おわりに

本工事は、供用中の高速道路に隣接する工事であり、また、P 1, P 2 橋脚が灌漑用の大谷池の中に位置するため、渇水期に池の水を抜いて施工するなどの工期的な面での制約条件もあるなか平成10年11月の竣工を目指して現在施工中である。

本文で紹介した大谷池橋の設計手法は、張出し架設中はP C 構造とし、完成系における設計荷重に対しては、P R C 構造としてのひび割れ制御を行い、上床版上縁は死荷重時にフルプレストレスとするなど、耐久性を十分に考慮した設計となっている。

その設計結果より、P C 橋との比較をすると次のようなことがわかった。

- ①鉄筋の拘束効果を考慮した場合のプレストレスの実質の導入効率は低下した。
- ②荷重に対するプレストレス導入度の比較より、張出し架設時および死荷重時にコンクリートの応力制限を設けたためにP C 構造に近い中間支点の断面を含めて、P R C 構造としての特性が確認された。
- ③全体数量の比較より、鉄筋量は増加したものの、それを上回るP C 鋼材量の減少により、経済的に大きな優位性を有している

P R C 橋の今後の課題として、ひび割れ発生後のクリープへの影響や鉄筋の拘束効果の長期的な性状の把握等が挙げられる。本橋においては、これらの要因による影響を把握する目的で、長期的なたわみ性状の計測を行う予定である。

参考文献

- 1) 高橋、高畑、中島、横山；来馬川橋（P R C 片持ち張出し工法）の設計と施工、プレストレストコンクリートVol138, No. 5, 1996. 9
- 2) (財) 高速道路調査会；プレストレストコンクリート部材の設計法に関する調査研究報告書（その2）（日本道路公団委託）、1986. 2