

(82) 内外ケーブル併用方式による立川橋の設計と施工

日本道路公団 四国支社 大洲工事事務所	井置 聡
ドービー建設工業(株) 大阪支店 工事部	正会員 田中 修
ドービー建設工業(株) 大阪支店 設計部	正会員 小林 義信
ドービー建設工業(株) 大阪支店 設計部	正会員 ○白谷 智之

1. はじめに

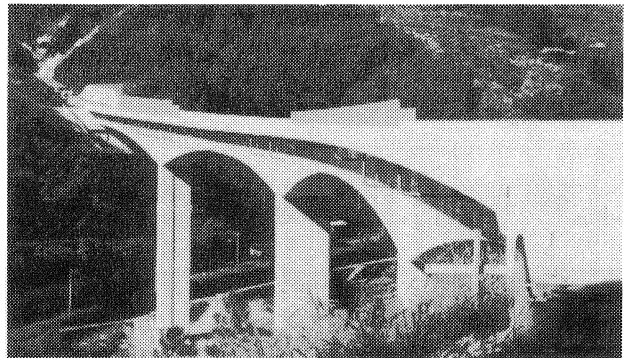
立川橋は、松山自動車道（四国縦貫道）の伊予 I.C～大洲 I.C 間に位置し、国道56号線、JR予讃本線を跨ぐ橋長417mのP R C 4径間連続ラーメン箱桁橋である。架設方法は、移動作業車（以下、ワーゲン）による張出し架設であり、側径間・中央閉合部の場所打ち部は吊り支保工にて行った。（写真－1）

本橋では、主方向は内外ケーブルの併用方式で、架設時ケーブルに内ケーブル、完成時の連続ケーブルに外ケーブルを使用し、また構造形式をP C構造からP R C構造へ変更することでコスト縮減を図った。床版横締め鋼材には、現場でのグラウト作業が不要で、施工の省力化・品質の向上が図れるプレグラウト鋼材を採用している。

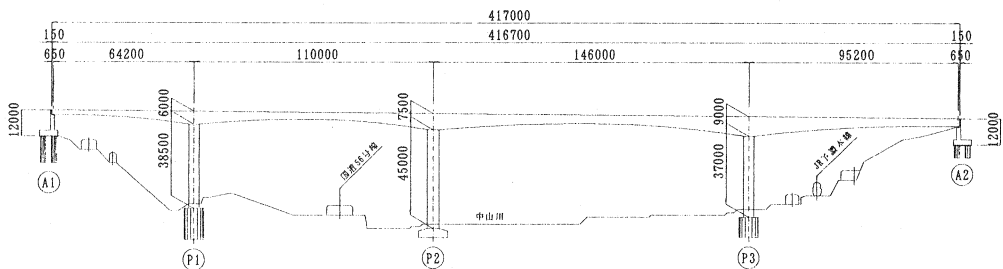
本稿では張出し架設工法によるP R C構造と内外ケーブル併用方式により施工された立川橋の設計施工の概要を報告するものである。（図－1）に全体側面図を示す。

2. 工事概要

工 事 名 : 松山自動車道
立川橋（P C上部工）工事
工事場所 : 愛媛県喜多郡内子町
道路規格 : 第1種第3級 (V=80Km/h)
構造形式 : P R C 4径間連続ラーメン橋
橋 長 : 417 m
支 間 : 64.2+110.0+146.0+95.2 m
幅 員 : 全幅 10.400m 有効 9.000m
平面線形 : R=1300m ~ A=450
勾 配 : 縦断 2.100% , 横断 3.500%
工 期 : 平成 9 年 12 月～平成 11 年 9 月



写真－1 完成全景



図－1 全体側面図

主要工事数量を(表-1)に、主桁断面図を(図-2)に示す。

表-1 主要工事数量

		仕 様	単 位	数 量
コンクリート		$\sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$ (主桁)	m ³	4431
		$\sigma_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$ (地覆・高欄)	m ³	290
鉄 筋		SD345	t	699
P C 鋼 材	内ケーブル	SWPR7B 12S12.7mm	kg	163581
	外ケーブル	SWPR7B 19S15.2mm	kg	39544
	横締めケーブル	SWPR19 1S21.8mm	kg	26119

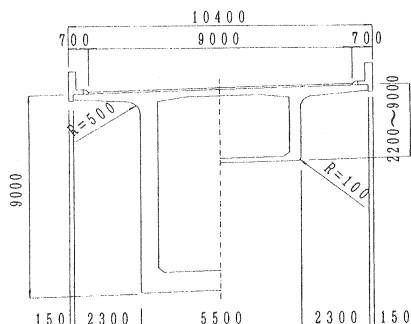


図-2 主桁断面図

3. 設計概要

3-1. 設計方針

本橋の設計方針は以下のとおりである。

- ① 張出し架設時は、ひびわれを発生させないようにP C構造とし、応力度を制限した。
- ② 死荷重時主桁上縁は耐久性を考え、フルプレストレスとした。
- ③ 設計荷重時は主桁上下縁ともに許容ひびわれ幅を設定し、橋軸方向鉄筋の最大配置はD25ctc125とした。
- ④ せん断力に対してもひびわれを許容するものとし、死荷重時および活荷重作用時時について斜引張鉄筋の応力度の制限値を設定した。
- ⑤ 外ケーブルのプレストレス力の算定は、内ケーブルと同様の換算内力載荷法を用いた。曲げおよびせん断の設計で用いた各制限値を(表-2)に示す。

表-2 主桁の設計における制限値

	張出し架設時	死荷重時	設計荷重時
設計方法	P C	P R C	
曲げに対する設計	コンクリートの引張応力度 $\sigma_c < 1.0\text{N/mm}^2$ (目標値)	上縁 フルプレストレス	上縁 ひびわれ幅制御
		下縁 ひびわれ幅制御 $WC < 0.0050 \cdot C \text{ cm}$ C ; かぶり	下縁 ひびわれ幅制御 $WC < 0.0050 \cdot C \text{ cm}$
		鉄筋引張応力度 $\sigma_s < 180\text{N/mm}^2$	
せん断に対する設計	コンクリートの斜引張応力度 $\sigma_I < 1.25\text{N/mm}^2$ (目標値)	斜引張鉄筋応力度 支点部 $\sigma_s < 80\text{N/mm}^2$ 径間部 $\sigma_s < 120\text{N/mm}^2$	斜引張鉄筋応力度 設計時 $\sigma_s < 180\text{N/mm}^2$ 終局時 $\sigma_s < 350\text{N/mm}^2$
P C鋼材配置	内ケーブルのみ	内・外ケーブル併用	

3-2. 曲げに対する設計

① 張出し架設時の設計

上床版は輪荷重が載荷され、他の部位に比べ耐久性が損なわれやすい。また、コンクリートのクリープ・乾燥収縮および温度変化の影響により、主桁には拘束力が作用する。よって、耐久性確保のために、ひびわれを発生させないようP C構造として引張応力度の制限値を 1.0N/mm^2 と設定した。

② 完成系の設計

(1) 設計荷重作用時の検討

死荷重時においては、主桁上縁をフルプレストレスとした。設計荷重作用時の検討は、曲げひびわれが発生する引張応力度を 1.6N/mm^2 とし、これを超える場合に曲げひびわれ幅、鉄筋応力度の照査を行い、引張応度が制限値以内の場合は、PC構造と同様に引張鉄筋の配置を行った。

(2) 疲労荷重作用時の検討

疲労荷重時の鋼材変動応力度を算出する際の変動荷重は、TT-43(1 輛)荷重を使用し、許容疲労応力度は 30N/mm^2 以下とした。

(3) 終局荷重作用時の検討

終局荷重時の荷重の組合せは、道示Ⅲに示される3ケースを用い、曲げ破壊安全度の照査を行った。地震の影響に関しては、別途非線形動的解析により照査を行った。

3-3. 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、せん断ひびわれを発生させないよう許容斜引張応力度を 1.25N/mm^2 程度と設定した。

② 完成系の設計

PC構造としての斜引張鉄筋量の算出以外に、せん断ひびわれの発生を許容した場合として以下のケースの照査を行い、この中で最も大きくなる鉄筋量を配置した。

- (1) 死荷重時においては、鉄筋の腐食の環境条件により、支点部 (80N/mm^2) と径間部 (120N/mm^2) で許容引張応力度を使い分け、通常の許容値よりも低く抑えた。
- (2) 設計荷重時については、斜引張応力度が許容値を超える箇所について照査した。
- (3) 上記照査に対して、コンクリートが負担するせん断力 S_c は $1/2$ として算出した。

3-4. PC鋼材の配置

PC鋼材の配置は、以下の手順で最適内外ケーブル本数を決定した。

- ① 架設時の上縁引張応力度を 1.0N/mm^2 以内とし、これにより中間支点部の内ケーブル最小本数を決定する。
- ② 死荷重時の上縁応力度をフルプレストレスにするために必要な(不足分)外ケーブル最小本数を決定する。
- ③ 連続内ケーブルは1ウェブ当たり最小2本配置とし、最小配置本数を決める。
- ④ 設計荷重時はPRC構造により、曲げひびわれ幅制御とし、これによりPRCとしての必要鉄筋量を決定する。

以上より、内ケーブルが最小で外ケーブルが最大の比率が決まり、これを踏まえて内ケーブルを増加させ、外ケーブルを減少させたケースを検討し、その経済性より最終決定した。

代表として、(図-3) にP3柱頭部とP2-P3径間部のPC鋼材配置図を示す。

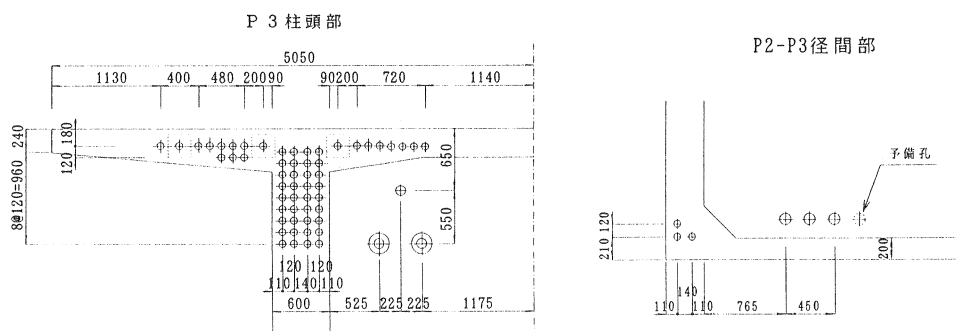


図-3 PC鋼材配置図

4. PC構造との比較

本橋は当初設計のPC構造から、詳細設計でPRC構造へ変更しており、内・外ケーブルのPC鋼材量が減少し、鉄筋に関しては、曲げに対する軸方向筋およびせん断に対するスターラップ筋が増加した。

ここで両構造形式のPC鋼材と鉄筋の数量比較を(表-3)に示す。

表-3 PC鋼材と鉄筋の数量比較

架設ケーブル本数(12S12.7B)

箇所	PC構造	PRC構造	比率
P1	60	52	87%
P2	76	64	84%
P3	108	110	102%

連続ケーブル本数(内 12S12.7B, 外 19S15.2B)

箇所	内ケーブル			外ケーブル		
	PC構造	PRC構造	比率	PC構造	PRC構造	比率
A1-P1	6	4	67%	4	2	50%
P1-P2	8	4	50%	8	6	75%
P2-P3	18	6	33%	8	6	75%
P3-A2	8	4	50%	4	2	50%

配筋筋状態

	PC構造	PRC構造
スターラップ最大配置	D19ctc125	D22ctc125
軸方向筋最大配置	上床版 D16ctc125	D22ctc125
	下床版 D16ctc125	D22ctc125

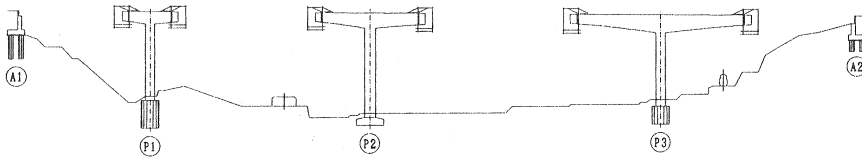
主要材料

	PC構造	PRC構造	比率
鉄筋(t)	SD345 461.0	608.1	132%
PC鋼材(t)	12S12.7B 177.6	163.6	92%
	19S15.2B 57.2	39.6	69%

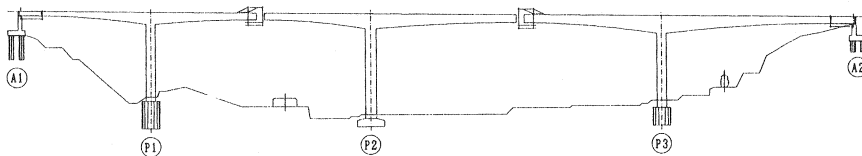
5. 施工概要

橋体工の施工は、ワーゲンをを用いて張出し施工を行い、各閉合部は吊り支保工で施工した。また架橋下には国道およびJRが往来しているため、飛来・落下物がないよう堅固な養生を施し、作業を行った。外ケーブルは橋体完成後に、全数を桁内に配置し、順次緊張を行った。(図-4)に施工順序を示す。

① 各橋脚からワーゲンをを用い、2.5~4.0mごとに各ブロックの張出し施工



② 張出し施工終了後、橋台側場所打ち部の吊り支保工施工



③ 中央閉合部を吊り支保工施工し、橋体完成の後、外ケーブルの緊張

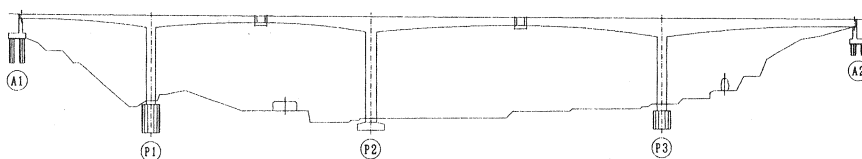


図-4 施工順序

5-1. 外ケーブル防錆方法の検討

外ケーブル防錆方法は、当時最も実績が多かったグラウト充填式に加え、単線被覆およびテンドン被覆を施した各防錆仕様について、施工方法も含め比較検討を行った。1本のケーブル長が200m以上になるものがあったことからテンドン式は、製造および運搬に不可能であった。施工の省力化、また挿入などによる管理が容易なエポキシ樹脂被覆+ポリエチレン被覆を施した2重防錆仕様のケーブルを採用した。

5-2. 外ケーブルの施工

外ケーブルの現地搬入状況から挿入および緊張までの概要を示す。(図-5、写真-2~8)

① 外ケーブル断面図 (図-5)

19S15.2B エポキシ樹脂+ポリエチレンの二重被覆の採用。従来のグラウト作業が不要。

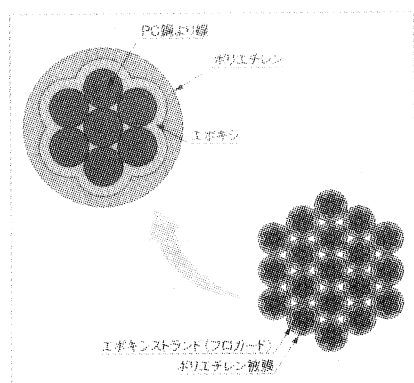


図-5 外ケーブルの仕様断面図 (19S15.2B)

② PC鋼材の搬入 (写真-2)

PC鋼材は、所定の長さで切断したケーブルをドラムに巻いて搬入。19本全ての重量は5.5tとなるため吊能力を考慮して、3~4ドラムに分割して搬入。

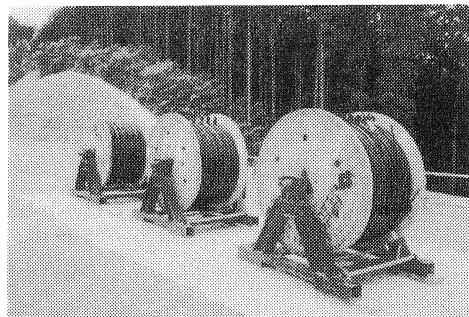


写真-2 ドラムによる分割搬入

③ PC鋼材の挿入

PC鋼材挿入時には、被覆部分を損傷させないことと、ケーブルの捩れを発生させないことに留意し、以下の対策を行った。

- (1) 挿入はウインチで行い、PC鋼材の先端部はスィベルを装着して、捩れの防止を行い、偏向部の保護をしっかりと行った。(写真-3、4)



写真-3 挿入状況

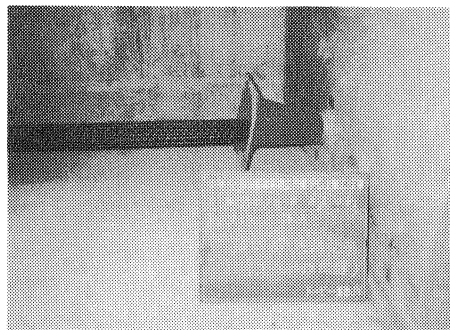


写真-4 偏向部保護状況

(2) 引き込み先端部に目通し板を設置し、ケーブル番号管理を行い、5 m間隔で引込みウインチを止め、ガラス繊維入りのテープで緊結し、ケーブルのばらつきを防止した。(写真-5) また、引き込み時の摩擦による損傷を防止するために、桁内足場パイプおよび偏向管通過部にはPE管を設置した。(写真-6)

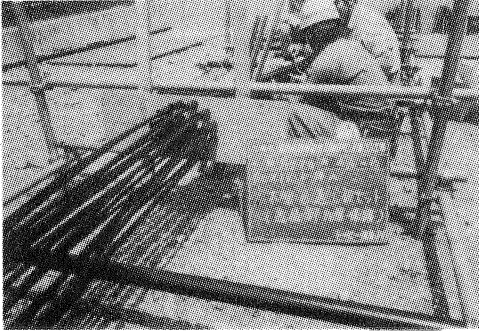


写真-5 目通し板セット

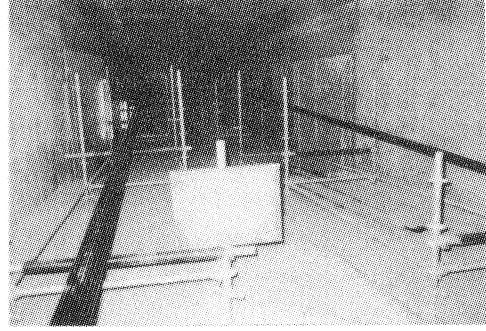


写真-6 桁内挿入状況

③ 定着具のセット・緊張・後処理訂正

アンカーヘッドには挿入時の目通し板と同じケーブル番号を記入し、番号通りに挿入することでケーブルの交差を防止した。(写真-7) 緊張作業はジャッキをセットし、番号順に両側のジャッキの同じ孔に通し、緊張した。(写真-8) 緊張完了後、止水ジグ部に発砲スチロールを充填し、余長部分に保護キャップを取り付け、その中にグラウトを注入し、防錆処理を行った。

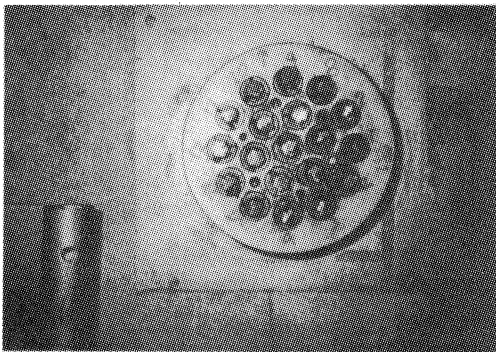


写真-7 アンカーヘッドの番号整理

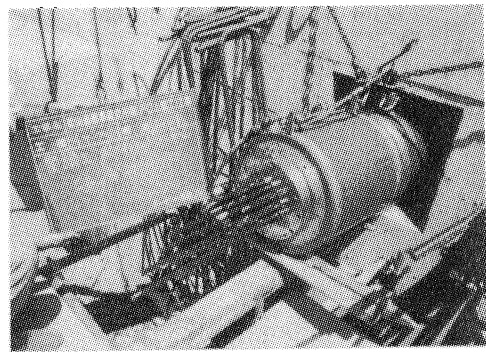


写真-8 緊張状況

6. おわりに

立川橋は主桁構造形式をPCからPRC構造へ変更することにより、鋼材量を内ケーブルで8%、外ケーブルで31%減少させることが可能となり、これにより約2.4%の工費縮減効果が得られた。また、2重被覆タイプの外ケーブル採用は、従来のグラウト作業を省略することが可能で管理面でも取り扱い易く、今後もその採用が期待される。

参考文献

- 1) (財)高速道路技術センター：外ケーブルを用いたPC橋梁の設計マニュアル、1996.8