

(82) 来馬川橋(PRC張出し工法)の設計施工について

日本道路公団 北海道支社 正会員 高橋 昭一
 同上 北海道支社 八幡 一夫
 オリエンタル建設(株) 東京支店 正会員 横山 俊夫
 同上 東京支店 正会員○中島 豊茂

1. はじめに

北海道縦貫自動車道は、北海道の最北端の稚内と函館を結ぶ、全長698kmにおよぶ高速道路であり、北海道の大動脈として産業・経済・社会の発展の基盤として大きな効果が期待されている。

来馬川橋は、この北海道縦貫自動車道の長万部I.C～豊浦I.C間に暫定2車線で施工された、橋長187.0m 幅員11.4mの張出し架設によるPRC3径間連続箱桁ラーメン橋である。本橋は平成7年4月に着工、平成8年8月に竣工した。本橋の完成写真を写真-1に示す。

PRC橋は、PC鋼材によるプレストレスと鉄筋により補強されたコンクリート橋であり、従来のPC橋とRC橋の特徴を生かすことにより、合理的かつ経済的な設計が可能になるとされている。本橋は、主桁の設計、上床版の設計、横桁の設計について、このPRC構造を採用した。又、床版横締鋼材はグラウト作業が不要となるアフターボンドPC鋼材(1S19.3mm)を使用し、柱頭部横桁横締鋼材および主桁せん断鋼棒は、既存のシステムとは異なる新しいプレストレス導入システムである「NAPP工法」を採用するなどの特徴も有している。

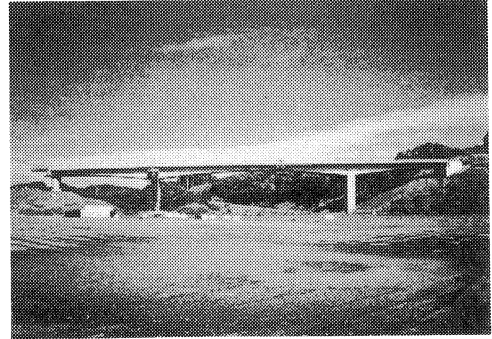


写真-1 完成写真

以下に、本橋の設計施工における概要を報告する。

2. 工事概要

本橋の全体側面図を図-1に、横断面図を図-2に示す。また、工事概要は以下のとおりである。

工事名：北海道縦貫自動車道
 来馬川橋他3橋(PC上部工)工事

構造形式：PRC3径間連続箱桁ラーメン橋

表-1 主要材料表

架設工法：張出し架設工法

道路規格：第1種第3級B規格

項目	仕様	単位	数量
コンクリート	$\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	m^3	1,775
型枠		m^2	5,484
鉄筋	SD345	t	272
PC鋼より線	12S12.7	kgf	44,397
	1S19.3(77ターボント)	"	7,165
中空PC鋼棒	$\phi 32 \times 5.0$	"	1,697

橋長：187.000m

桁長：186.880m

支間：48.300m+91.000m+46.300m

荷重：B活荷重

幅員：11.400m(全幅員)

平面線形：A=600m

縦断線形： 3.0%

主要材料：表-1に示す。

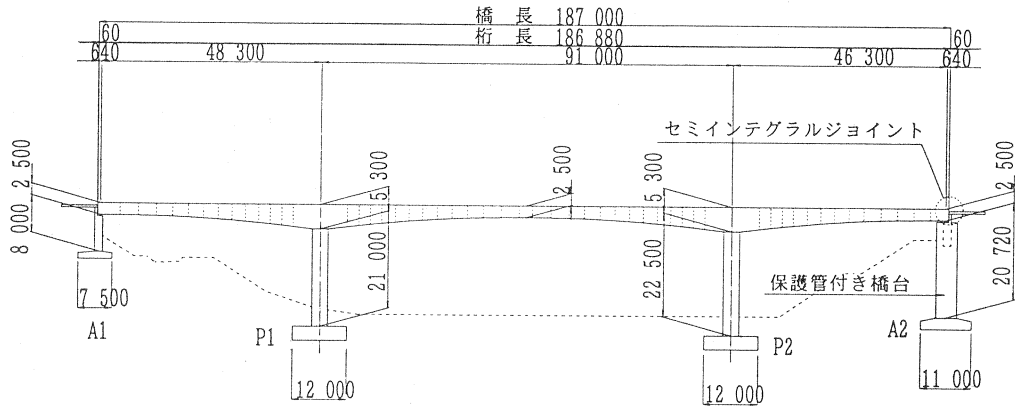


図-1 全体側面図

3. 設計

本橋の設計は、「北海道横断自動車道（清水～池田）P R C道路橋の実用的設計法に関する調査検討（その4）」を基本とした。

3.1 主方向の設計

(1) 概要

断面力の算出は、平面骨組構造解析により行い、構造系変化に伴うクリープ、乾燥収縮の影響を考慮した。

主ケーブルは、12S12.7mmを使用した。又、中央閉合ケーブルは主桁上縁定着を行わず、すべて下床版突起定着とし、すべて箱内で緊張作業を行うこととした。これは、北海道の高速道路の冬期における多量の塩化カルシウムの散布による塩害の安全性を高めるため、上床定着切り欠きを避け、下床版突起定着とした。

橋軸方向の主鉄筋は、柱頭部上床版でD16を100mmピッチで2段配置、中央閉合部でD22を100mmピッチで2段配置、側径間閉合部でD19を100mmピッチで2段配置とした。

断面形状の特徴としては、施工性の改善および省力化を目指し、下床版とウェブの付け根のハンチおよびハンチ筋をさらに中間隔壁も削除した。また、橋台部においては、従来の楕形ジョイントを用いず、橋台裏込め土上で踏掛版を動かすセミンテグラルジョイントとしている。これによりノージョイントが可能となっている。柱頭部上床版部および中央閉合下床版部の鋼材配置図を、P C設計（基本設計）とP R C設計（詳細設計）で比較したものを、図-3に示す。

(2) 設計結果

(a) 張出し架設時のコンクリートの応力度は、最終ブロック打設時において、施工中のP C鋼材応力度の

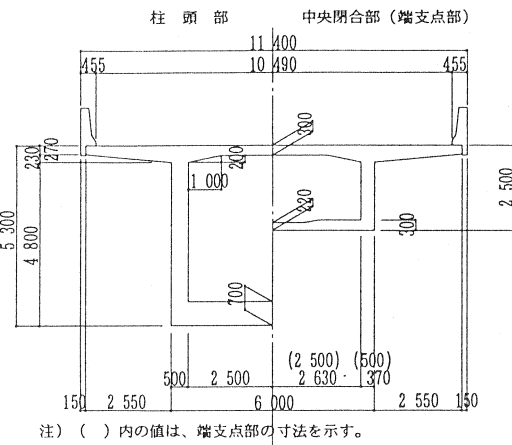


図-2 横断面図

減少を考慮した状態で、柱頭部上縁の引張応力度が $-12.3\text{kg}/\text{cm}^2$ となった。これは施工上の上げ越し管理の健全性を考慮したためであり、これにより張出しケーブル量は決定している。

(b) P C鋼材量は、12S12.7mmを側径間部で2ケーブル、張出し部で40ケーブル、中央閉合部で20ケーブルとなった。これは、従来のP C部材の設計と比較すると、約70%のP C鋼材量である。

(c) 部材断面におけるP C鋼材と主鉄筋の主鋼材量は、張出し部は曲げ破壊耐力の照査により決定しており、側径間部および中央閉合部は曲げひびわれの照査により決定している。曲げ破壊安全度は、張出し部で1.149となり、曲げひびわれ幅は、許容値 $w_a=0.26\text{mm}$ に対し、側径間部および中央閉合部共に $w=0.22\text{mm}$ となった。

(d) セン断ひびわれの照査における鉄筋の引張応力度が許容値を満足しない断面には、せん断補強鋼材として、中空P C鋼棒を配置した。

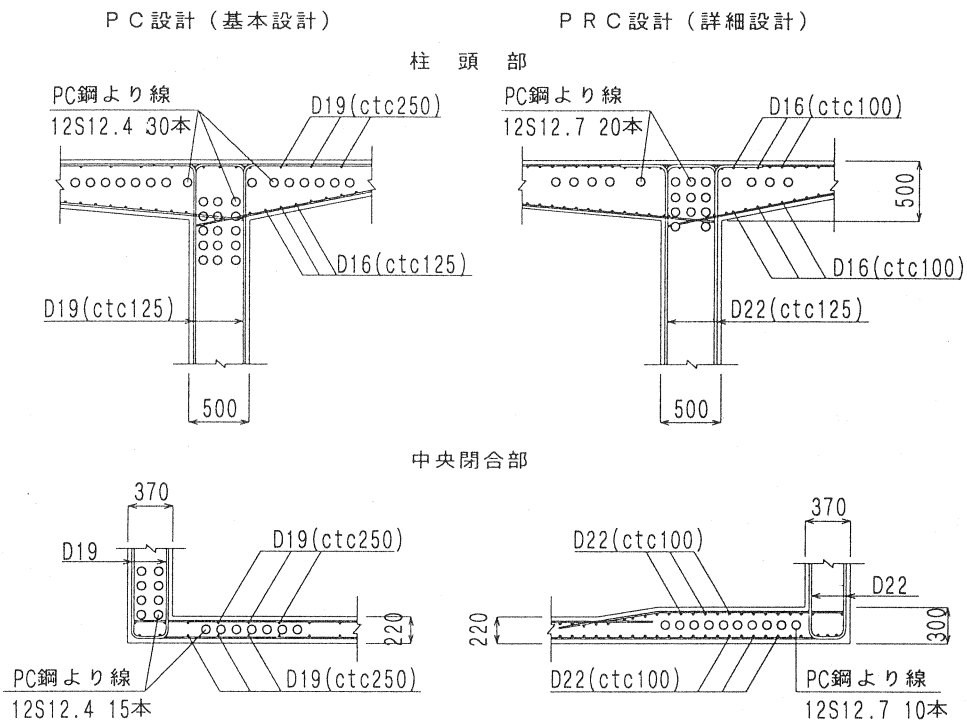


図-3 鋼材配置図

3.2 上床版の設計

(1) 概要

本橋の上床版の設計は、経済性の追求、省力化、耐久性の向上を目指し以下に示す配慮を行った。

(a) 鉄筋を細かく配置して、ひびわれを許さない程度でのP R C構造設計とする。鉄筋の配置は、施工性が確保でき省力化に反しない範囲とすることから、D13を125mmピッチとした。さらに、床版におけるコンクリートの許容引張応力度は「コンクリート標準示方書 平成3年版」より部材高さによる影響を考慮した次式により制限した。

$$f_{tk}' = k_1 \times f_{tk}$$

ここに、 f_{tk}' : コンクリートの引張応力度の制限値
 k_1 : 部材高さによる係数 $k_1 = 0.6 / (h^{1/3})$
 f_{tk} : 設計引張強度 $f_{tk} = 0.5 \times f'_{ck}{}^{2/3}$
 f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度

- (b) 鉄筋およびP C鋼材の変動応力度は、疲労に対して十分な安全性を確保する。
- (c) P C鋼材は、グラウト作業が不要なアフターボンドP C鋼材(シングルストランド)を使用する。これは、施工性の向上を図ると共に、冬期施工によるグラウトの養生作業等の省力化を図るためである。

(2) 設計結果

- (a) P C鋼材量は、アフターボンドP C鋼材(1T19.3mm)が650mmピッチとなった。これは、従来のフルプレストレス床版の設計と比較すると、約1/2の鋼材量である。
- (b) 設計荷重作用時のコンクリートの引張応力度は、支点部上縁で $\sigma_c = -17.8 \text{ kg/cm}^2 \leq f_{tk}' = -20 \text{ kg/cm}^2$ 、床版支間中央下縁で $\sigma_c = -23.5 \text{ kg/cm}^2 \leq f_{tk}' = -24 \text{ kg/cm}^2$ となり、コンクリートの引張応力度の制限値 f_{tk}' を満足している。
- (c) ひびわれ幅は、支点部で $w = 0.07 \text{ mm}$ 、支間中央で $w = 0.06 \text{ mm}$ となり、極めて小さいひびわれ幅とした。
- (d) 疲労荷重時の鉄筋およびP C鋼材の変動応力度は、等価繰り返し回数 $N = 10^9$ 回においても許容疲労応力度を満足している。

4. 施工

4.1 上げ越し管理

主方向をP R C設計としたとき施工上の課題として、上げ越し管理が考えられた。そこで設計上は、張出し架設時に、主桁上縁の曲げ引張応力度を 10 kgf/cm^2 程度とした。本橋は張出し長が44mであり、通常50m以下程度のP C橋では、張出し架設中は、主桁自重とプレストレス力が打ち消しあってクリープによって生じるたわみ量は少なく、また、乾燥収縮によって生じる桁のたわみ量も少ないためクリープたわみを無視することができ、クリープたわみは、構造系完成後を考慮すればよいとされている。

しかしプレストレス力が従来のP C橋より小さいP R C設計では適切な施工管理を行えない量となることが予想された。そこで、張出し架設中のクリープ、乾燥収縮を随時考慮して上げ越し管理を行い、十分な出来形を得ることができた。上げ越し曲線を図-4に示す。

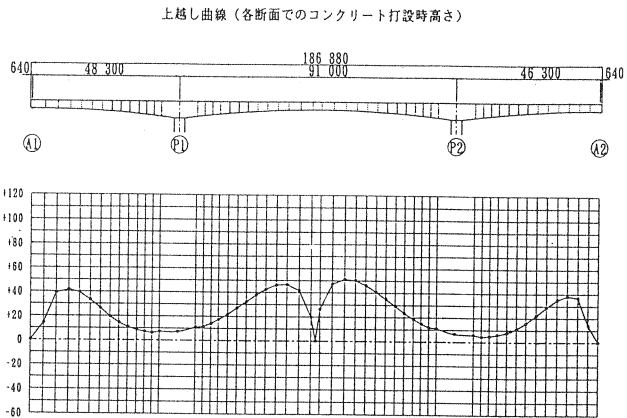


図-4 上げ越し曲線

4.2 上床版の施工

上床版には、冬期施工に伴いグラウト作業が不要となり、配置および緊張作業が容易となるシングルストランドのアフターボンドP C鋼材(1T19.3mm)を使用した。これにより、現場での省力化が進んだ。

アフターボンドPC鋼材に用いるエポキシ樹脂は、温度履歴によりその硬化の状態が異なる。さらに、コンクリートの硬化温度が高くなった場合、エポキシ樹脂の硬化が急速に進む傾向がみられることから、図-6に示すように柱頭部にてコンクリートの硬化温度を実測して、その検証を行った。

又、定着部付近の防食性が、懸念されたため、図-5に示すようにポリエチレンシースを支圧板内まで伸ばし、支圧板とグリップの間やグリップ端部などにおいて樹脂による防錆処理を行った。

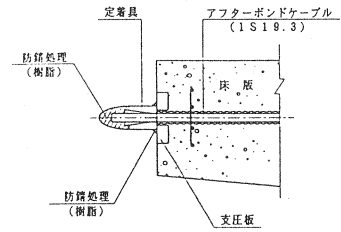


図-5 定着部付近詳細図

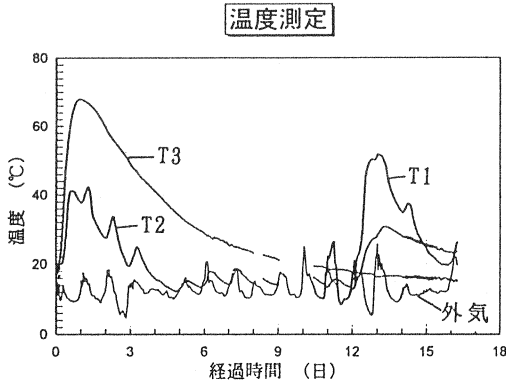
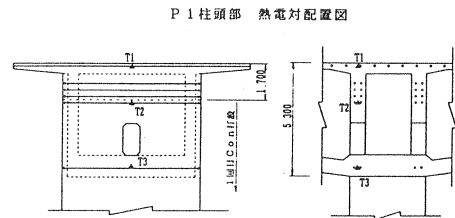


図-6 コンクリートの硬化温度



5. NAPP工法

5.1 NAPP工法の適用

グラウトを必要としない工法に、アフターボンドとNAPP工法が実用化されているが、本橋では、上床版横筋めにアフターボンドを、柱頭部横筋横筋めとせん断鋼棒にNAPP工法を用いた。図-7に本橋の柱頭部横筋横筋めの中空PC鋼棒の配置図を示す。

このNAPP工法は、中空PC鋼棒内に反力PC鋼棒を押し込み、そのままの状態を端部をホルダーで固定したもので、反力PC鋼棒が元に戻ろうとする力で中空PC鋼棒を引張られた状態にしている「プレストレス入りPC鋼棒」のことで、これを鉄筋と同じようにコンクリート打設前に配置しておき、硬化

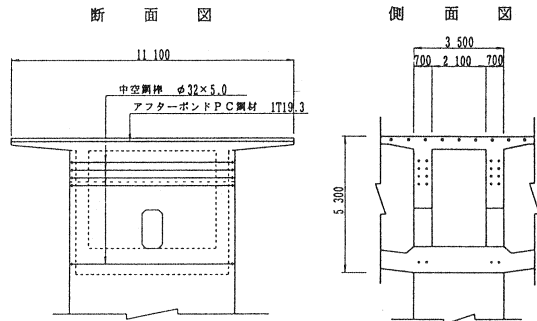


図-7 中空PC鋼棒の配置図

後に端部のホルダーを解放すると、コンクリート部材にプレストレスが導入される工法である。しかし、プレストレスが予め入っているため、外側の中空PC鋼棒が万が一の破断が生じると、中に押し込まれている反力PC鋼棒が一気に飛び出すという危険性がある。これを防止するため、図-8に示すとおり、反力PC鋼棒と中空PC鋼棒を高減衰ゴムを挟み込んだボルトで連結し、飛び出しエネルギーを吸収する安全装置

を取り付けて施工を行った。

5.2 NAPPの施工

NAPPの緊張は、現場ヤード内にて行った。中空PC鋼棒内に配置された反力PC鋼棒に反力をとり、外側の中空PC鋼棒を引っ張ることによりプレストレスが導入される。つまり、プレストレスは、中空PC鋼棒の伸び量と、反力PC鋼棒の縮み量の合計と荷重計示度によって管理することができる。

本橋におけるプレストレスの管理は、中空PC鋼棒の伸び量を主とし、荷重計の示度を従として行った。また、確認のために、中空PC鋼棒のひずみを計測した。伸び縮み量の合計は、ノギスで1/10mmまで測定し、その結果、伸び縮み量の合計量の平均値は緊張計算による設計値に対して約1%程度の差であった。このことから、NAPPの緊張管理は、従来の横締鋼材と同様の伸び管理を行うことで十分であることが確認できた。

コンクリート部材へのプレストレス導入は、コンクリートが所定の強度に達したことを確認し、端部の解放を行う。解放作業は、電動トルクレンチによって行ったが、これは通常のPC鋼棒緊張時に使用するジャッキやポンプなどの重量のある装置は必要とせず、手軽に持てるトルクレンチにて、コンクリート部材にプレストレスを導入することができ、施工性の向上を図ることができた。

6. おわりに

張出し工法にPRC設計を採用する場合、上げ越し管理が大きな課題となった。本橋は、架設時のコンクリートの引張応力度を $-10\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度におさえ、所定の出来形を得ることができたが、最適な張出しケーブル量については、今後も検討する必要があると思われる。

主桁や床版のPRC設計、又施工性を考慮して、ハンチや中間隔壁を無くしたこと、さらに新材料や新工法として、アフターボンド仕様鋼材を床版に用いたり、NAPP工法の採用等、本橋は、経済性、省力化、施工性等の改善を目指し、設計施工において、さまざまなチャレンジを試みた。今後は、本実績を踏まえ、技術的課題の確認、実施工における省力化、施工性を確認し、今後の設計施工に生かしてまいりたい。

最後に、本橋の設計施工にあたりご指導、ご尽力を戴いた関係各位に紙上をお借りして厚くお礼申し上げますとともに、本報告が今後の設計施工の一助となれば幸いです。

参考文献

- 1)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4)
財団法人 高速道路技術センター 平成6年3月
- 2)コンクリート標準示方書〔設計編〕 土木学会 平成3年版

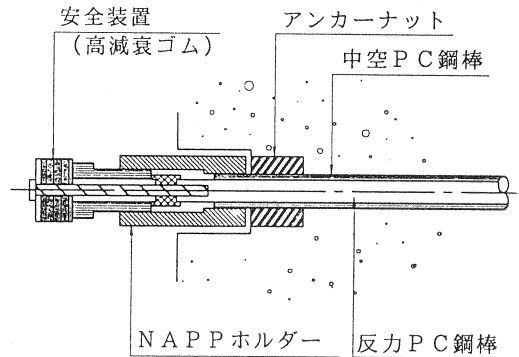


図-8 NAPPの詳細図