

現地レポート

淡輪高架橋高強度コンクリートの耐久性確保の取組

河田真一* 神田隆司**

1. はじめに

淡輪高架橋は、設計基準強度 60N/mm^2 の高強度コンクリートを使用して低い桁高で長スパン化を図った3径間連続PC箱桁橋である。高強度コンクリートは組織が緻密となり、本来、耐久性に優れるが、セメント量増加に伴い収縮ひずみと水和熱の増加によるひび割れ発生の可能性が大きくなり、また、コンクリートの粘性が高く施工性が低下するなど耐久性確保のために解決すべき課題が多かった。本橋建設にあたっては、学識経験者による委員会を設置し、高強度コンクリートに係る課題、対策工の検討を行い、高強度コンクリート本来の性能を活かした長期耐久性のある橋梁建設を目指した。

本稿では橋梁概要、検討課題、実施した対策工について報告する。

表-1 橋梁諸元

路線名	一般国道26号 第二阪和国道
道路規格	第1種第3級 (設計速度80km/h)
設計荷重	B活荷重
構造形式	3径間連続PC箱桁橋
橋長	352.0m
支間長	109.5+126.0+113.5m
有効幅員	10.50~14.15m
縦断勾配	2.8%
横断勾配	2.0~4.0%
平面線形	$R=\infty \sim A=300 \sim R=700\text{m}$
架設工法	張出し架設工法

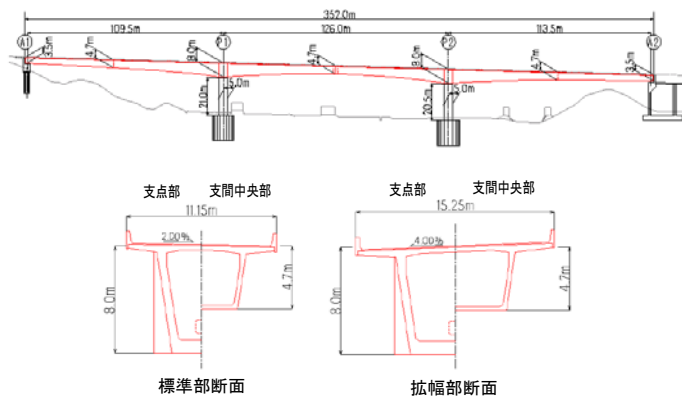


図-1 全体一般図

2. 橋梁概要

橋梁の概要を表-1、図-1に示す。

淡輪高架橋は大阪府南部に位置し、住宅地を横断して建設された。このため、景観への影響を少しでも軽減するために、橋脚数が少なく、桁高の低い高架橋とすることが求められた。選定された橋梁構造は、高強度コンクリートを使用した3径間連続PC箱桁橋である。

本橋は、中央径間に対する側径間の長さの比が標準的な橋梁と比較して大きいこと、幅員が変化すること、低桁高、設計基準強度 60N/mm^2 の高強度コンクリートを使用することなどが特徴であった。

3. 高強度コンクリート使用に際しての課題

高強度コンクリートは硬化後の組織が緻密であり、本来、長期耐久性のある材料である。しかし、セメント量の増加に伴い、施工性の低下、耐久性上の問題となるひび割れ発生確立の増大など解決すべき課題が多かった。以下に本橋施工にあつての課題を示す。

①収縮ひずみの低減

コンクリートの高強度化に伴い増加する自己収縮ひずみと骨材の品質に起因する乾燥収縮ひずみを低減する必要がある。当地域では異常収縮によりPC橋にひび割れが発生する損傷事例が発生しており、乾燥収縮ひずみの小さい骨材の選定が求められた。

②マスコン対策

セメント量の多い高強度コンクリートでは水和熱が大きくなり、特にマスコンとなる柱頭部での温度ひび割れを抑制する必要がある。

③コンクリート表面の緻密性の確保と施工欠陥の排除

セメント量の増加に伴いフレッシュコンクリートの粘性が増加するため、高流動コンクリートとして施工性を確保する。高流動コンクリートのPC橋への適用事例は少なく、緻

密で施工欠陥のないコンクリートを施工するための型枠構造、打設順序、打設方法を確立する必要がある。

表-2に配合選定するためのコンクリートの要求性能を示す。

表-2 コンクリートの要求性能

項目	細目	要求性能
強度	3日	29N/mm ²
	28日	60N/mm ²
流動性	スランプフロー	650mm
	練上時 打設時	600mm
7カカリ骨材反応抑制対策 無害判定骨材使用		
乾燥収縮ひずみ(ε _{ds})	ε _{ds} ≤ 800 μ : 無対策	
	800 μ < ε _{ds} ≤ 1000 μ : 設計上の対策	
	1000 μ < ε _{ds} : 骨材再選定	

スランプフロー:スランプコーンを引き上げた後の試料の直径

4. 収縮ひずみの低減対策

4.1 コンクリートの配合選定

要求性能に基づき配合の選定を行った。表-3、表-4に選定した配合および材料一覧を示す。配合Ⅰは標準部に使用する。配合Ⅱは膨張材を使用した配合であり、分割施工により拘束ひび割れの発生が懸念される柱頭部、側径間部に使用する。

表-3 コンクリートの配合

配合No.	セメントの種類	水粉体比 W/B(%)	細骨材率 s/a(%)	粗骨材絶対容積 (m ³ /m ³)	単用量(kg/ m ³)						
					W	C(N)	EX	S1	S2	G	SP1
I	N	32.8	51.0	0.31	175	533	573	245	804	10.66	
II	N+EX	32.8	51.0	0.31	175	513	20	573	245	804	10.66

注: 混和剤の添加量はC×2.5%とし、施工時の気象条件等を考慮し調整する。

表-4 材料一覧

材料	記号	種類	物性他
セメント	N	普通ポルトランド	密度3.16g/cm ³ 、比表面積3,270cm ² /g
混和材	EX	膨張材	密度3.05g/cm ³
細骨材	S1	海砂	表乾密度2.56g/cm ³ 、粗粒率2.70
	S2	砕砂	表乾密度2.56g/cm ³ 、粗粒率2.90
粗骨材	G	碎石	表乾密度2.62g/cm ³ 、実積率58.0%
混和剤	SP1	収縮低減型 高性能AE減水剤	ポリカルボン酸系 密度1.09g/cm ³

4.2 収縮ひずみの低減対策

乾燥収縮ひずみ低減対策としては、収縮ひずみの小さい骨材を使用した。自己収縮ひずみ低減対策として収縮低減型高性能AE減水剤を使用した。

収縮ひずみの確認は試験練り時に測定試験を実施し、材料、配合の適否を判定した。標準の乾燥収縮ひずみ試験□100×100×400mmの供試体を用いて乾燥収縮による長さ変化を測定する。試験期間は26週間の長期にわたるため、2つの早期判定方法も実施した。早期判定法のアイデアとしては、①若材齢の測定値を用いて、材齢26週の最終値を予測する予測式法¹⁾(□100×100×400mm供試体)(方法1)、②乾燥速度を速めるため小型供試体(φ50×100mm)を用いて実施す

る迅速法²⁾(方法2)がある。ここでは、できるだけ早期に結果を得るため、①の方法として28日材齢の測定値を用いて予測式により算定する方法、②の方法として、小型供試体を用いかつ14日材齢の測定値を用いて最終値を予測する方法を試みた。図-2にこれらの試験の対比結果を示すが、標準の試験と同程度の精度で最終値を予測することが可能であることが確認された。

自己収縮ひずみ試験は乾燥収縮ひずみ試験と同形状の供試体を用い、密封状態で7日間の長さ変化を測定する。表-3に示すとおり水粉体比は32.8%とかなり小さいため自己収縮ひずみは大きくなることが予想される。たとえば、2007年制定土木学会コンクリート標準示方書【設計編】に示されている自己収縮ひずみの予測式に従うと、水粉体比32.8%の場合では材齢7日で215μとなる。これに対して、今回使用するコンクリート配合では、収縮低減型の高性能AE減水剤を導入することにより、自己収縮ひずみの低減を目指した。図-3に自己収縮ひずみの測定結果を示す。図-3に示すように、膨張材を併用する配合IIではゼロ、膨張材を併用しない配合Iでも100μ程度を実現してきた。

図-2 乾燥収縮ひずみ測定結果

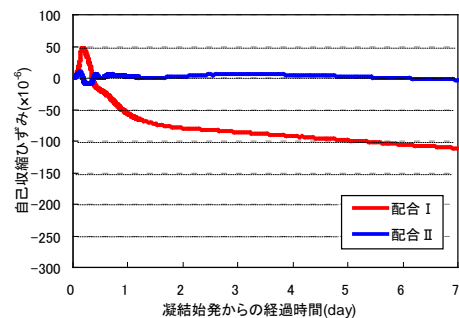


図-3 自己収縮ひずみ測定結果

5. マスコン対策

柱頭部横桁は厚さ5mのマスコンである。水和

熱の高い高強度コンクリートを使用するため、温度ひび割れ対策を行った。対策は比較的簡易な方法としてエアクーリングの検討を行ったが、施工場所が閑静な住宅近接地域であり長期間に渡りコンプレッサーの騒音を発生させることは困難であるため、FEM解析結果に基づき（図-4）、ひび割れ抑制鉄筋を配置してひび割れ幅を0.2mm以下とする対策を講じた。なお、送風機程度であれば騒音は小さいので、横桁に配置されたPC外ケーブルの外套管を利用して補助的にエアクーリングを実施し確実性を向上させた（図-5、写真-1）。

この結果、柱頭部のひび割れは抑制できた。



	最大ひび割れ幅 (mm)	ひび割れ抑制鉄筋 配置後の最大ひび 割れ幅(mm)
1 口ト	0.41	0.14
2 口ト	0.33	0.11
3 口ト	0.42	0.14

図-4 柱頭部FEM解析結果

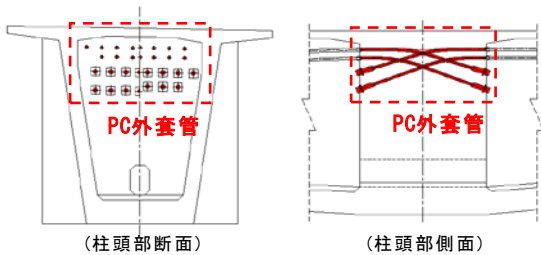


図-5 エアクーリングに使用したPCケーブル用シース



写真-1 エアクーリング実施状況

6. コンクリート表面の緻密性確保と施工欠陥の排除

6.1 高流動コンクリートの使用

コンクリートを高強度化するためには、水粉体比を小さくする必要があります。しかし水粉体比が小さいと、粘性が増加し施工性が大幅に低下するので、本橋では高流動コンクリートを使用した。張出し施工における普通コンクリートと高流動コンクリートの場合の型枠構造を図-6に示すが、高流動コンクリートでは下床版からの吹上りを防止す

るため蓋型枠が必要となる。

高流動コンクリートの使用にあたっての主な課題は以下である。

- ①コンクリートの側圧対策
- ②底版上面の蓋型枠の構造と蓋型枠上面の空気アバタ対策
- ③鉄筋、PC鋼材が錯綜する下床版の充填方法
- ④コンクリートの現場施工管理
- ⑤養生方法



図-6 型枠構造の違い

6.2 施工確認実験

高流動コンクリートの課題を解決するために実物大実験を含め各種施工確認実験を実施した。高流動コンクリートは粘性が高いため巻き込んだ空気が蓋型枠の表面に残り、大きな空気アバタが発生する。そこで小モデルを用いて実験を繰り返し、空気アバタが除去できる型枠構造を選定した。図-7に採用した型枠構造を示すが、型枠表面に透水性マットを貼付け、更に背面の型枠に細かいスリットを入れて空気が抜けやすい構造とした（写真-2）。

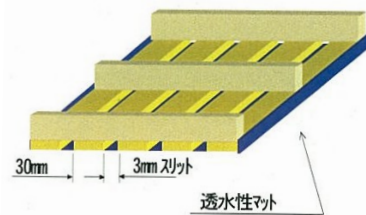


図-7 蓋型枠構造



(改善前)

(改善後)

写真-2 仕上がり状況の改善

実物大の部分モデルにより型枠に作用するコンクリートの側圧を測定し、また充填状況の確認を行った。型枠作用力はコンクリートを液体と考え

た場合と同様の圧力であった。図-8、写真-3に実物大モデルを示す。

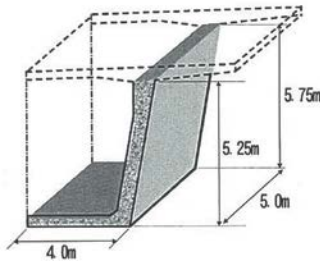


図-8 実物試験体



写真-3 実物試験体(底版)

6.3 コンクリートの現場施工管理

施工場所の気温は夏季に30℃を超える。プラントから施工場所までの運搬距離は長く、朝夕は交通渋滞があり運搬時間が長くなる。高流動コンクリートは時間経過とともに流動性が低下し、高温時にはより顕著になることが既往の実験でも報告されている。そこで、専任の運搬時間管理人を配置して全台数練り上がりから打設までの許容時間管理を実施し、待機時間を極力少なくするための配車の調整やプラントでのコンクリート温度測定など生コンプラントと連携を取りながらコンクリートの流動性を確保した(写真-4)。特に施工場所までは2車線の幹線道路が1本しかなく、レジャー交通による渋滞も多い。早朝からの生コンの出荷により渋滞を回避し、円滑な施工による工程短縮を可能にした。



写真-4 運搬時間管理状況

6.4 養生

サイクル施工となる張出し施工では、打設後2日程度でPC鋼材の緊張を行い、コンクリート打設用作業車を前方に移動する。このため、型枠は材齢2日程度で脱枠されるが、コンクリート標準示方書では普通ポルトランドセメントの場合、5℃以上で9日を湿潤養生期間としている。養生はコンクリート表面の緻密化を促進し、コンクリートの長期耐久性向上のために重要である。本橋

ではコンクリート打設後8日間全てのコンクリート面の養生を行った。コンクリート打設面は養生マットにより、型枠面は脱枠直後にストレッチフィルムを貼付け封緘養生を行った。1週間経過後、養生マット、ストレッチフィルムを撤去し、特に外気の影響を受ける外周面には収縮低減剤を塗布して水分の蒸発を抑えた。そのため、水和反応の確保と乾燥収縮抑制効果があったと考えられる。図-9に養生方法および養生期間を示す。

図-9 各部位の養生方法・期間

7. おわりに

本橋は2011年1月に主桁が完成し、3月より供用開始された。施工実績が少なく、解決すべき課題が多い高強度、高流動コンクリートを適用したが、宮川豊章教授(京都大学)、河野広隆教授(京都大学)、綾野克紀教授(岡山大学)、渡辺博志博士(PWRI)等の委員会メンバーのご指導により、高強度コンクリート本来の耐久性を生かした橋梁を建設することができたことを感謝します。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編、pp.44～49、2007
- 2) 藤井隆史、谷口高志、渡辺純一、綾野克紀：コア供試体を用いた乾燥収縮ひずみの早期判定試験に関する研究、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.65、pp.755～756、2010

河田真一*



国土交通省近畿地方整備局
浪速国道事務所 建設監督官
Shinichi KAWATA

神田隆司**



鉄建建設株式会社本社
土木本部土木部 課長
Takashi KANDA