

高強度コンクリートを用いた PC 橋梁の長期耐久性向上のための対策

中谷 真也*¹・畠中 保*¹・大野 俊平*¹

概 要

淡輪高架橋は、設計基準強度 60N/mm²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、施工概要について報告する。

キーワード：高強度コンクリート・高流動コンクリート・伏せ枠

MEASURES FOR IMPROVING THE LONG-TERM DURABILITY
OF A PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE
USING HIGH-STRENGTH CONCRETE

Shinya NAKATANI *¹, Tamotsu HATAKENAKA *¹Shunpei OONO *¹

Abstract

The Tannowa viaduct is a three-span continuous prestressed concrete box girder bridge. For construction of this bridge with small girder height and long span, high-strength concrete of 60 N/mm² in design strength was used. High-strength concrete has a dense texture, inherently excellent in durability. However, as the specific cement content increases, the concrete is more prone to cracking due to shrinkage and larger hydration heat, and workability worsens because of higher viscosity. It was therefore necessary to address many problems to ensure satisfactory durability.

For this bridge project, a committee of technology experts was established to study problems and measures to be taken for making the bridge sufficiently durable, fully developing the inherent performance of high-strength concrete. This paper discusses the overview of the bridge, problems studied, measures taken and outline of the construction.

Keywords: high-strength concrete, self-compacting concrete, cover form

*1 Concrete and PC Group, Civil Engineering Technology Department, Engineering Division

高強度コンクリートを用いた PC 橋梁の長期耐久性向上のための対策

中谷 真也*1・畠中 保*1・大野 俊平*1

1. 橋梁概要

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ている。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。橋梁の概要を表-1、図-1に示すが、中央径間に対する側径間の長さの比が、標準的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/mm² の高強度コンクリートの使用することなどが特徴であった。

表-1 橋梁諸元

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=∞~A=300~R=700m
架設工法	張出し架設工法

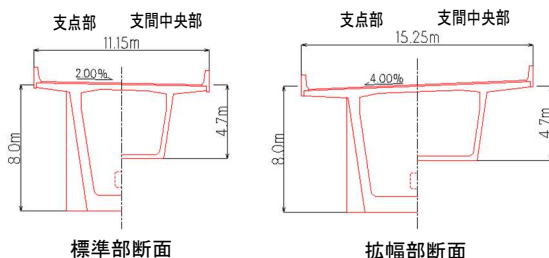


図-1 一般図

2. 高強度コンクリート使用にあたっての課題

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、耐久性上問題となるひび割れ発生可能性の増大など解決すべき課題は多かった。以下に本橋施工にあたっての課題を示す。

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。

当地域の PC 橋には異常収縮によるひび割れが発生する損傷事例が発生している。これを考慮して、乾燥収縮ひずみの小さい骨材の選定が重要であった。

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が求められた。

セメント量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充填性を確保した。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。

*1 エンジニアリング本部 土木技術部 コンクリート・PCグループ

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	スランブフロー	
	練上時 打設時	650 mm 600 mm
耐久性	アル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

スランブフロー：スランブコーンを引き上げた後の試料の直径

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)	単体量 (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 3270cm 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

3. 収縮ひずみの低減対策

3.1 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、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、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こととした。

3.2 収縮ひずみの低減対策

ひび割れの原因となる収縮ひずみは長期間にわたり進行する乾燥収縮ひずみと材齢初期に発生する自己収縮ひずみからなる。自己収縮ひずみはセメント量の多い高強度コンクリートで顕著となり、乾燥収縮ひずみは骨材の品質によることが多い。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。乾燥収縮ひずみ低減対策としては、現地産骨材は今までの実績より収縮ひずみが多いことが判明していたので、収縮ひずみの小さい他県産の骨材を使用した。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は、100×100×

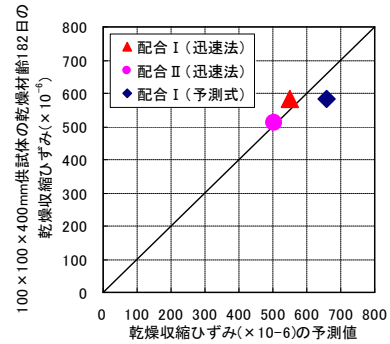


図-2 乾燥収縮ひずみ測定結果 (材齢 14 日の値から推測)

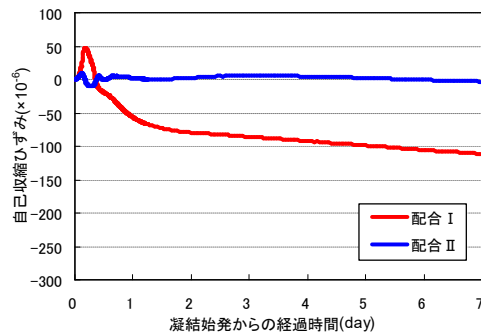


図-3 自己収縮ひずみ測定結果

400mm の角柱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。一つは、途中段階の材齢 28 日の測定値を用いて予測式により最終値を予測する方法である*1)。もう一つは乾燥速度を早めたφ50×100mmの小さな供試体を用いて実施する迅速法*2)であり、必要試験期間を 42 日まで短縮できる。この迅速法でも 2 週間程度の試験値から予測式により早期に最終値を予測することも可能である。図-2に測定結果を示すが、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。本配合では収縮低減型高性能 AE 減水剤を用いた結果、自己収縮ひずみは大幅に減少させることができた。図-3に自己収縮ひずみ測定結果を示す。本配合での乾燥収縮ひずみは 620 μ、自己収縮ひずみは 100 μ、試験期間以降に発生するひずみを考慮しても全ひずみは 800 μ 程度であり、要求性能を十分満足する配合であった。

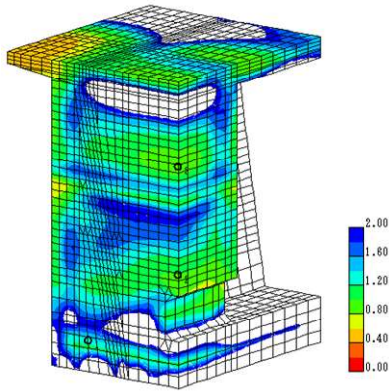


図-4 柱頭部 FEM 解析結果

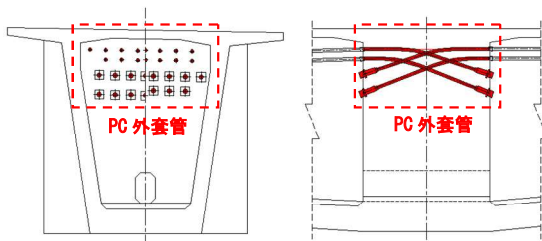


図-5 エアクーリングに使用した PC ケーブル用シース



写真-1 エアクーリング実施状況

4. 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。FEM 解析結果に基づき(図-4)、ひび割れ抑制鉄筋を配置し、また横桁に配置された PC 外ケーブルの外套管を利用したエアクーリングを実施した(図-5、写真-1)。この結果、柱頭部のひび割れは抑制できた。

5. コンクリート表面の緻密性確保と施工欠陥の排除

5.1 高流動コンクリートの使用

高強度のためには、水紛体比を低下させる必要がある。しかし水紛体比が低いと、粘性が増

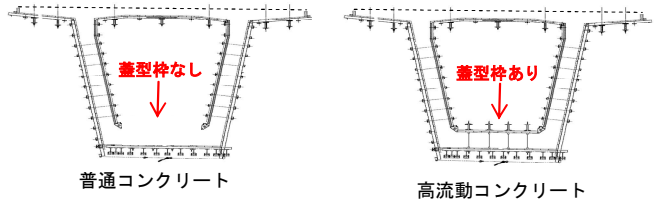


図-6 型枠構造の違い

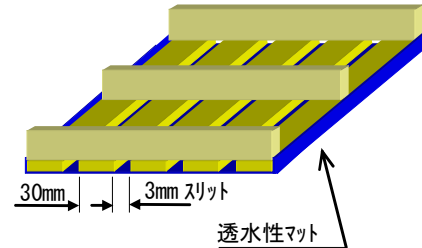


図-7 蓋型枠構造

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充填方法
- ④ コンクリートの現場施工管理
- ⑤ 養生方法

5.2 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、仕上がりを改善した(写真-2)。

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



写真-2 仕上り状況の改善

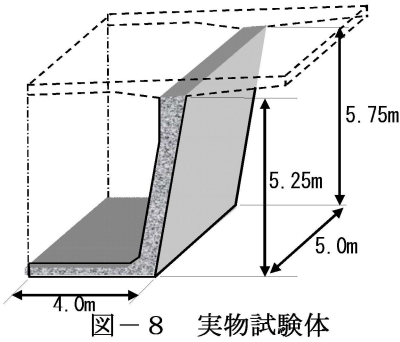


図-8 実物試験体

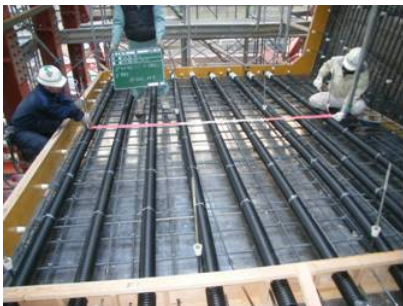


写真-3 実物試験体(底版)

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。

5.3 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、特に高温の場合には低下量が増加する。そこで、運搬車1台毎の運搬時間管理を実施し、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)。

5.4 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、それに伴いコンクリート表面の養生も終了する。養生はコン

写真-4 運搬時間管理状況

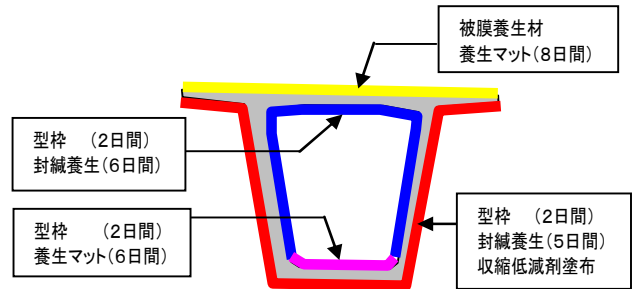


図-9 各部位の養生方法・期間

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。図-9に養生方法および養生期間を示す。

6. 施工概要

本橋は張出し施工により施工された。中央径間に対する側径間の長さ比が、標準的橋梁と比較して大きいため、中央の連結を先行させ、さらに中央径間にカウンターウェイトを設置しながら側径間の残りの張出し施工を行うことで、施工中のアンバランスモーメントを低減させた。カウンターウェイトには、完成系でのアンバランスを改善する目的で箱桁内にコンクリートを施工する充填カウンターウェイト(約3900kN)と、二次張出し施工時に橋面上に鋼板を設置することで架設時のアンバランスを改善し、桁完成

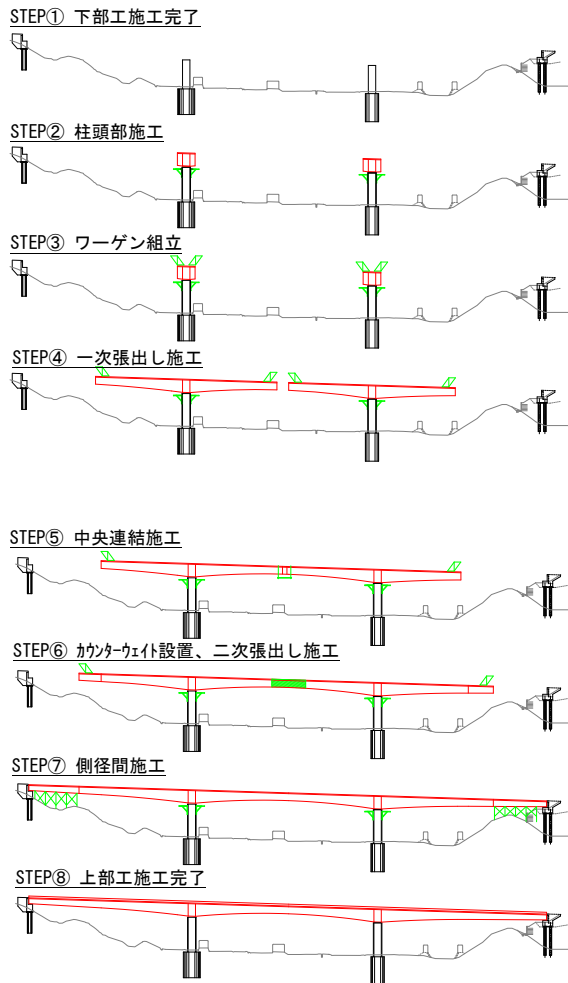


図-10 施工ステップ図

後は撤去する架設用カウンターウェイト（約8700kN）の2種類がある。図-10に施工ステップ図を示す。



写真-5 完成写真

7. おわりに

本橋は2010年11月から上部工の施工を開始し、2011年1月に主桁が完成し、3月より供用開始された（写真-5）。施工実績の少なく、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高耐久性を生かして高品質な橋梁を建設することができたことを感謝いたします。

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 巻，pp.755-756，2010