

副産物を大量に使用し収縮と発熱を抑制した 50MPa 級コンクリートの現地製造による PCa 下床版部への施工

Construction of Precast Box Girder Lower Deck Joints using Site-mixed,
Low-heat, Low-shrinkage, 50MPa Class Concrete with a High Volume of Industrial By-products

R&D センター	基 哲義	AKIYOSHI DAI
R&D センター	小宮 克仁	KATSUHITO KOMIYA
R&D センター	佐々木 亘	WATARU SASAKI
新東名山北皆瀬川作業所	細野 宏巳	HIROMI HOSONO

CO₂ 排出量削減に関する取り組みとして、産業副産物由来の混和材を大量に使用したコンクリートが提案されている中、筆者らは、混和材だけでなく細骨材にも産業副産物を使用した圧縮強度の特性値が 50MPa 程度の低収縮かつ低発熱コンクリートを開発し、初期の強度発現に与える温度の影響などを実験的に検討してきた¹⁾。本稿では開発した低収縮かつ低発熱コンクリートを橋梁上部工の PCa 下床版間詰部へ適用した事例について報告する。コンクリートの製造は、事前に水と化学混和剤を除くその他の材料をフレキシブルコンテナバッグに計量したブレパック材を製作し、現地に設置した移動式プラントにより行った。また、施工は一般的なコンクリートと同様にバイブレータによる締固めを行い、冬期施工時には 10℃程度に加温した水を練混ぜ水として使用し、コンクリートの練上がり温度を極端に低温とさせないような対策を行った。その結果、品質の安定した低収縮かつ低発熱コンクリートを製造し、施工することができた。

キーワード：混和材，低収縮，低発熱，現地製造

In efforts to reduce CO₂ emissions, concrete that includes large amounts of admixtures made with industrial by-products has been proposed. In this context, the authors have developed a low-shrinkage and low-heat concrete with a characteristic compressive strength of about 50MPa by using industrial by-products not only as admixtures but also as fine aggregates. The effects of temperature on early strength development of this concrete are already established. This paper reports its application to construct the lower deck joints of a concrete box girder bridge. The concrete raw materials, except for water and chemical admixtures, were pre-packed in flexible bags. The pre-packed materials were processed to make concrete using a mobile plant installed on-site. The construction was carried out similarly to standard concrete, with compaction done using vibrators. During winter construction, water was heated to approximately 10°C before mixing to keep concrete at an appropriate temperature. As a result, it was possible to manufacture good quality low-shrinkage, low-heat concrete on site and successfully finish the construction.

Key Words: Supplementary cementitious materials, Low shrinkage, Low heat, On-site production

1. はじめに

新東名高速道路皆瀬川橋（仮称）は、二級河川皆瀬川を跨ぐ急峻地形に計画された橋長 398m、最大支間 120m の PC6 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋である。本橋の一部において、波形鋼板を架設材としプレキャスト部材を活用した新たな構造^{2),3)}を採用しているが、場所打ちコ

ンクリート部の一部で温度および収縮によるひび割れの対策が課題となった。そこで当該部位に、PC 上部工で多く用いられる圧縮強度の特性値が 50MPa 程度のコンクリートと同程度の強度発現性を有しつつ、低収縮かつ低発熱なコンクリート（以下、STC50N）⁴⁾を適用した。STC50N は産業副産物由来の材料を大量に使用しており、材料由来の CO₂ 排出量を低減できるものでもある。本稿

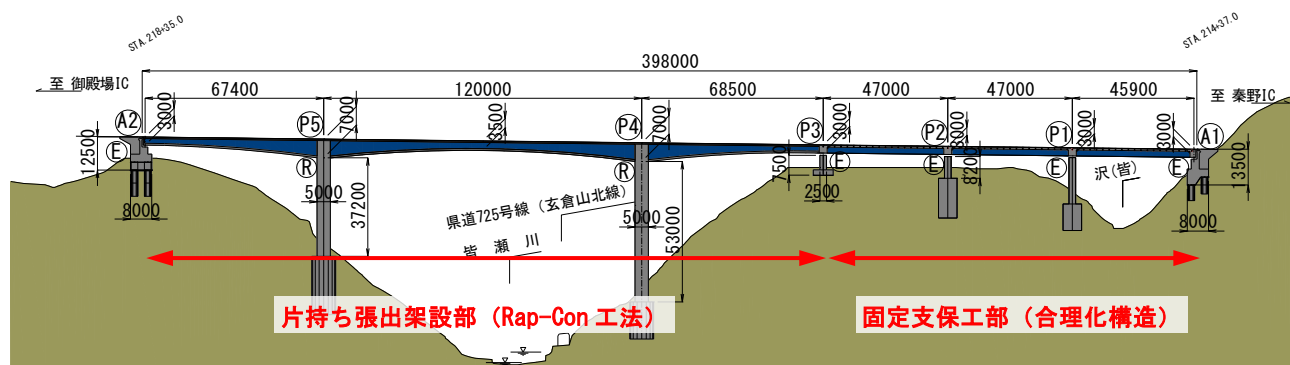


図-1 橋梁一般図（下り線）

単位：mm

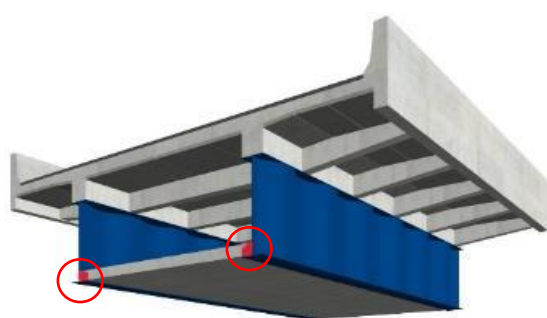


図-2 STC50N の施工場所（接合部）

では、STC50N の現地での移動式コンクリートプラント（以下、移動プラント）を用いた製造と施工および品質管理について報告する。

2. 概要

（1）適用部位

本橋では、図-1 に示すように片持ち張出架設部と固定支保工部がある。固定支保工部の地盤は急峻で軟弱であるため、大規模な地形改変を伴う大掛かりな支保工の基礎施工が困難であった。そこで、支保工の小規模化に加え、現場での生産性向上に寄与する構造を目指し、波形型鋼板を架設材としつつ、プレキャスト部材を活用した新たな構造^{2,3)}（以下、合理化構造）を採用した。この合理化構造は下床版にプレキャスト下床版を採用しているため、各径間における下床版閉合部（以下、閉合部）や図-2 に示すプレキャスト下床版と波形鋼板ウェブの接合部（以下、接合部）には現場でコンクリートを打設する必要があった。事前の解析において、図-3 および図-4 に示すような、通常のコンクリート（以下、HE50N）では温度降下に伴う収縮により、過大な引張応力の発生が予測される部位が確認された。そこで、全ての閉合部と温度応力が残留する支間中央付近の接合部に STC50N を採用することとした。

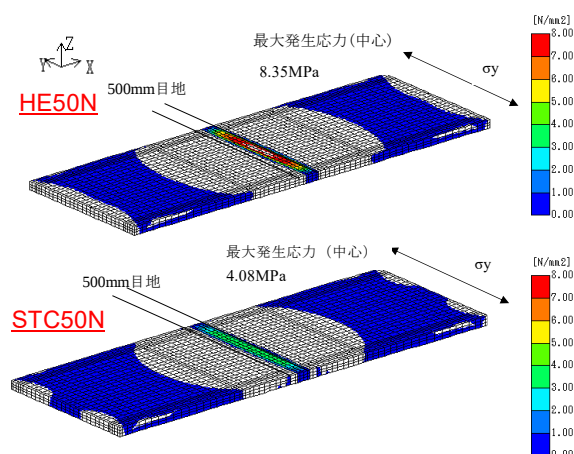


図-3 閉合部の温度解析結果

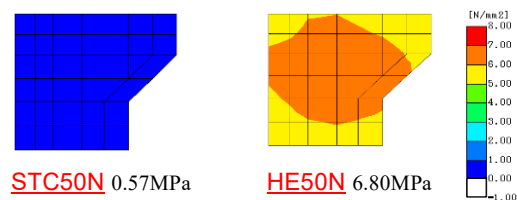


図-4 接合部の温度解析結果

（2）STC50N の概要

STC50N の配合条件は、水結合材比 0.30、単位水量 127 kg/m³、単位粗骨材絶対容積 0.350 m³/m³、結合材の構成と比率は早強ポルトランドセメント+膨張材：高炉スラグ微粉末：フライアッシュ：シリカフェーム = 25：30：30：15（質量比）で、膨張材の量は 20 kg/m³である。細骨材は自己収縮抑制効果の高いフェロニッケルスラグ⁵⁾を使用している。このフェロニッケルスラグ細骨材は気乾状態（含水率 0.5%以下）で使用し、配合計算上は絶乾として取り扱った。STC50N は結合材の 75%と細骨材に産業副産物を使用したコンクリートであり、単位水量と単位セメント量を大きく低減し、フェロニッケルスラグ細骨材を使用することで、HE50N と同程度の強度発現性



写真-1 プレパック材と移動式プラント

を確保しながら、収縮ひずみと水和熱を低減できるものである⁴⁾。また、多量の産業副産物を使用し、ポルトランドセメントの単位量を大きく低減しているため、HE50Nと比較して材料由来によるCO₂排出量を約55%削減していることも大きな特徴である。

a) 品質管理基準

STC50Nは水結合材比が小さく粘性が比較的大きいため、施工性を考慮してスランプは 18 ± 2.5 cmとした。また、一般的に、混和材を多量に用いると凍結融解抵抗性が低下することが知られているため、事前の促進試験により耐久性指数を確認したうえで、空気量は5.0~8.0%で管理することとした。なお、8.0%以下の空気量であれば強度に影響を与えないことも事前に確認している。

管理用供試体の材齢28日における圧縮強度の管理値は、実施工規模の製造実績はないため変動係数を8%と仮定し、これまでに得ている圧縮強度の平均値(68.1MPa)より、コンクリート施工管理要領⁶⁾に示される外側限界線の下側の値51.8MPaとした。

b) 製造方法

STC50Nの結合材は使用材料の種類が多く、特徴的な細骨材を使用しているため、一般的な生コンリート工場での製造は容易でない。そのため、結合材、細骨材および粗骨材を1バッチ分(0.9m³)に事前計量して、フレキシブルコンテナバッグにパッキングしたプレパック材を、傾胴二軸ミキサを搭載した移動式プラントを用いて現地で練り混ぜる方法とした。実際に使用したプレパック材と移動式プラント、それに付随する水および化学混和剤計量装置を写真-1に示す。

3. STC50Nの製造

施工に先立ち、現場製造に関する検討⁷⁾を、実際に使用する移動式コンクリートプラントを用いて実施した。練混ぜ時間、ミキサ内での品質のばらつき、化学混和剤の使用量と後添加した際のスランプや空気量の変動量および圧縮強度を確認し、現場で用いる製造計画に反映させた。

施工時期は下り線と上り線で大きく違い、下り線は12月から2月にかけての冬期、上り線は10月から11月の標準期であった。施工量と施工回数は下り線で8.3m³を4回に分けて行い、上り線は6.8m³を3回に分けて行った。

(1) 各材料の計量

プレパック材は、製造時の計量記録により各材料の計量値を確認するとともに、現場納入時にクレーンスケールを用いて全体質量を確認した。併せて目視により外観を検査した。練混ぜ水は、プラントに付属している自動計量装置を用いて1%以内の誤差で計量し、化学混和剤は計量誤差を小さくするために、秤を用いて人力で計量し、製造直前に練混ぜ水と混合した。

(2) 練混ぜ方法

練混ぜは、ミキサを回転させながら9割程度の水および化学混和剤を投入した後、プレパック材を投入し、残りの水および化学混和剤を投入する液体分割方式とした。これは、品質が安定するように事前の試験により確認して決めた投入手順である。



写真-2 STC50N の打設状況



写真-3 STC50N のコテ仕上げ状況



写真-4 冬期施工時の養生対策状況

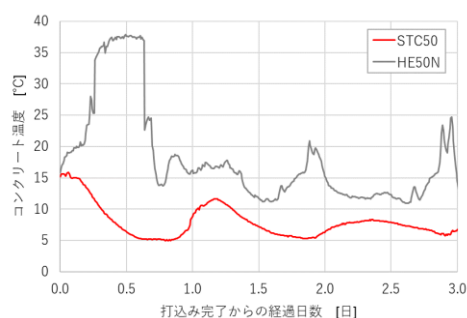


図-5 打ち込んだコンクリートの温度測定結果

すべての材料投入が完了した後より5分間練り混ぜて排出した。なお、均等に練り混ぜられことは、電流計の測定により電流値が安定していることでも確認した。

(3) 冬期施工時の対策

下り線の施工では、STC50Nの練上がり温度を5℃以下とさせないように、練混ぜ水の温度を液体加熱用ヒータにより10℃程度に調整した。さらに、プレパック材は使用直前まで2重のシートで覆い、材料の温度低下を抑制した。また、初回の製造開始前にはミキサに10℃程度の水を入れ、低温となったミキサ内の温度を上げる対策を実施した。

4. STC50Nの施工

(1) 打ち込みと仕上げ

移動式プラントにより製造したSTC50Nはバケットより直接または一輪車に受け替えて打ち込んだ。締固めは一般的なコンクリートと同様に棒型バイブレータにより行い、コテ仕上げ時には仕上げ補助剤を使用した。打設状況を写真-2、コテ仕上げ状況を写真-3に示す。

(2) 養生

養生は養生マットによる湿潤養生とした。湿潤養生期間は指針案⁸⁾を参考に設定した。すなわち、材齢28日の圧縮強度が標準水中養生供試体の80%を超えることを目安として湿潤養生期間を定めた。事前検討の結果から、湿潤養生期間はコンクリート標準示方書⁹⁾に記載されている普通ポルトランドセメントと同様の期間とした。また、下り線の施工時には打ち込んだSTC50Nが5℃を下回る恐れがあったため、以下の保温養生を行った。波形鋼板ウェブには写真-4に示す様にアルミ蒸着シートを巻き付け、プレキャスト下床版の上下面部にはシートで囲いを造り、ジェットヒーターを用いて温度低下を抑制した。

図-5に冬期施工時におけるSTC50Nの温度測定結果を示す。図中には同時期に近接する同寸法の接合部に打ち込んだHE50Nの測定結果も記載した。打込み時のコンクリート温度はどちらも16℃程度であったが、HE50Nは最大で37℃程度まで上昇しているのに対してSTC50Nはほとんど発熱せず、低発熱なコンクリートであることが分かる。

5. 品質管理試験結果

下り線施工時のスランプは 17.0～20.5 cm, 空気量は 5.5～6.1 %, 上り線施工時のスランプは 15.5～19.5 cm, 空気量は 5.0～7.2 %と管理値内で製造が出来た。また, 下り線施工時の練上がり温度は, 前述した種々の対策を施すことで 8～12 °Cと安定させることが出来た。上り線施工時は 14～25 °Cの範囲であり, 概ね製造時の雰囲気温度と同程度であった。

管理用供試体における材齢 28 日での圧縮強度は, 下り線で 67.8～74.9MPa, 上り線で 64.1～76.8 MPa であり, 製造した STC50N の品質に問題が無いことを確認した。

6. まとめ

低収縮・低発熱かつ材料由来による CO₂ 排出量を大幅に削減した STC50N を, プレパック材と移動式プラントにより現地で製造してプレキャスト下床版の閉合部および接合部に施工した。実際に使用する移動式プラントを用いた事前検討を行い, 施工時期に応じた対応を適切に行うことで, 品質の安定した STC50N を製造・施工することができた。また, 施工後 1 年以上が経過したが, ひび割れは無く, 温度および収縮によるひび割れが懸念された間詰部への STC50N の適用は適切であったと評価される。

参考文献

- 1) 基哲義, 小宮克人, 佐々木亘, 松田拓: 副産物を大量に使用し収縮と発熱を抑制した 50MPa 級コンクリー

トの強度発現に与える温度の影響, 三井住友建設技術研究開発報告, 第 21 号, pp. 21-24, 2023. 10

- 2) 小谷内祐弥, 若林大, 中積健一, 細野宏巳: プレキャスト部材を用いた波形鋼板ウェブ PC 橋の新たな構造, 第 31 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 445-448, 2022. 10
- 3) 秋道正吾, 小谷内祐弥, 原田拓也, 中積健一: 新東名高速道路 皆瀬川橋の設計・施工, 第 32 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 539-542, 2023. 10
- 4) 基哲義, 佐々木亘, 恩田陽介, 松田拓: 超低収縮・低発熱型設計基準強度 50MPa 級コンクリートの開発, 三井住友建設技術研究開発報告, 第 20 号, pp. 45-48, 2022. 10
- 5) 松田拓, 蓮尾孝一, 野口貴文: 細骨材の違いが超高強度コンクリートの性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 37, No. 1, pp. 1117-1122, 2015. 7
- 6) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: コンクリート施工管理要領令和 3 年 7 月版, 2021. 8
- 7) 基哲義, 小宮克仁, 佐々木亘: 副産物を大量に使用した圧縮強度 50 N/mm² 級コンクリートの現場での練混ぜに関する検討, 土木学会第 78 回年次学術講演会概要集, V-405, 2023. 9
- 8) 土木学会: 混和材を大量に使用したコンクリート構造物の設計・施工指針 (案), 2018. 9
- 9) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書 [施工編], 2018. 3