

高炉スラグ細骨材を用いた拡幅 PC 桁の実橋計測

—新名神高速道路 つめた谷橋(下り線)—

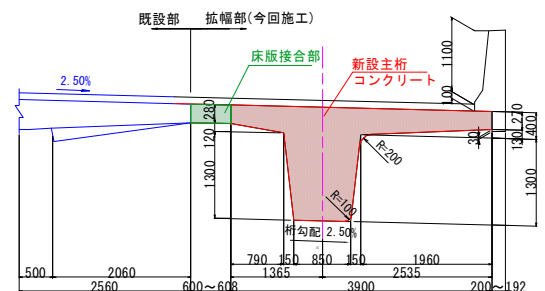
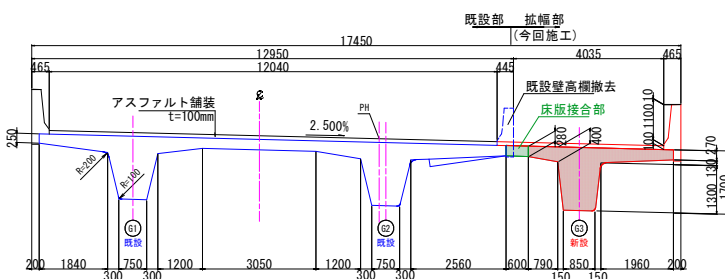
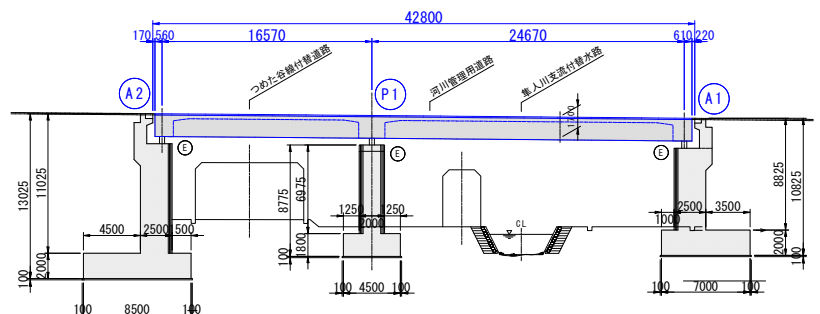
大阪支店 土木技術部 橋野哲郎
 大阪支店 土木技術部 河中涼一
 大阪支店 土木技術部 田邊睦
 大阪支店 土木工部部 西濱智博

概要: 新名神高速道路 つめた谷橋(下り線)の拡幅工事は、新設 PC 桁と既設橋を接合することで拡幅するものであった。既設橋に新設の PC 桁を接合する場合、新設桁のクリープ・乾燥収縮が既設桁に拘束されて不静定力が生じるため、新設桁には長期の養生期間が求められる。しかし、本工事は工程短縮が望まれたため、新設桁をプレキャストセグメント化し、さらにクリープ・乾燥収縮度低減のため高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートを適用した。その効果を検証するために実橋計測を行い、詳細設計で想定したとおりの効果が得られていることを確認した。

Key Words: 高炉スラグ細骨材, クリープ・乾燥収縮, 実橋計測, 全ひずみ

1. はじめに

新名神高速道路 亀山西 JCT-大津 JCT(仮称)間では、6 車線化工事が事業認可され、建設後約 15 年が経過した構造物の拡幅工事が行われている。上記区間に架橋された PRC2 径間連続 2 主版桁橋のつめた谷橋(下り線) (図-1)は、主桁を 1 本増設して 3 主版桁橋に拡幅された。



<断面図>

<新設桁照査断面図>

図-1 橋梁一般図



橋野哲郎



河中涼一



田邊睦



西濱智博

既設橋と新設桁は床版の接合によって一体化されるが、既設橋に新設の PC 桁を接合する場合、新設桁のクリープ・乾燥収縮が既設桁に拘束されて不静定力が生じるため、新設桁のプレストレス導入完了から接合までに長期の養生期間を設ける必要がある。しかし、供用中の車線を規制しながら実施する本橋の拡幅工事は、安全性確保の観点からも工程短縮が望まれた。そこで、新設桁をプレキャストセグメント化し、さらにクリープ・乾燥収縮度低減のため主桁コンクリートに高炉スラグ細骨材(以下、BFS と呼ぶ)を用いることで、新設桁の養生期間を大幅に短縮した。写真-1 は、セグメント化した主桁部材を架設している状況である。



写真-1 セグメント架設状況

2. 主桁セグメントの製作と計測器設置

2.1 計測の目的

主ケーブルの緊張完了後、PC 桁はクリープと乾燥収縮によってひずみ変動する。前述のとおり、本橋の新設主桁にはクリープ・乾燥収縮低減のために高炉スラグ細骨材を用いたコンクリート(BFS コンクリート)を採用することで、新設主桁の養生期間を大幅に短縮した。詳細設計では BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を 30%と設定した三次元 FEM モデルを用いた逐次解析(応力履歴理論法)などにより、その効果を考慮した設計を行った²⁾。しかし、高速道路橋梁の主桁コンクリートに高炉スラグ細骨材を天然砂と全量置換して用いるのは初の試みであったため、BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を確認するために、主桁のひずみを計測した。

2.2 計測器の設置

新設桁の構築に用いるセグメント桁はプレキャスト製品の製造工場で作成し、所定の養生期間を経たのち現場に運搬して架設する計画であった。本橋は二径間連続構造で、二つの施工区間に分けて構築される。そこで、計測器は、P1～A2 径間と A1～P1 径間の両径間に設置することとした。計測器の埋設位置を図-2 に示す。各径間における計測器の橋軸方向の設置位置は、温度変化や施工荷重による変位を最小とするために、主桁の上下縁の応力が正負に交番するインフレクションポイント近傍とした。また、断面内の高さ方向についても、図心付近とすることで曲げ作用の影響を最小限に留める配慮を施した。写真-2 および写真-3 は、主桁セグメントのコンクリート打設状況およびセグメント型枠内に配置された計測器の状況である。



写真-2 主桁セグメント打設状況

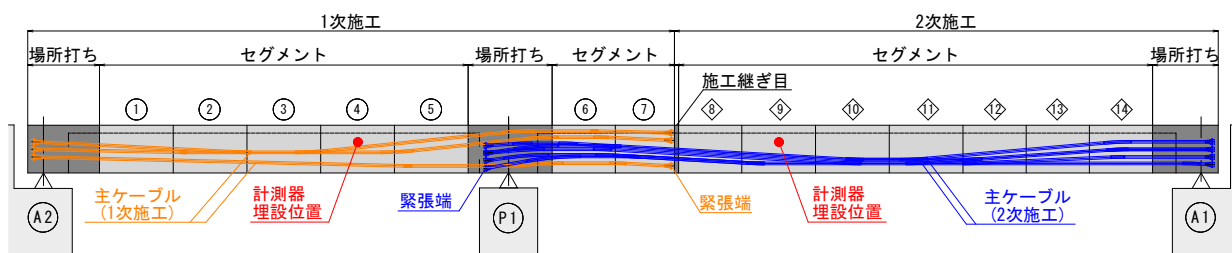


図-2 計測器埋設位置図



写真-3 計測機器の設置状況

2.3 計測器の選定

本橋の計測に用いた計測器の一覧を表-1に示す。鉄筋応力計および有効応力計で得られた応力値は、それぞれ鉄筋およびコンクリートの静弾性係数を用いてひずみに換算した。無応力計は、無応力容器の中に埋込ひずみ計を格納したもので、セグメント桁製作時に容器内にコンクリートを充填した。なお、埋込ひずみ計と鉄筋応力計には測温機能が内蔵されており、ひずみ計測位置の温度が同時に記録できる機能を備えている。

3. 緊張時の計測による妥当性の検証

本橋の計測で得られるひずみの妥当性を検証するために、緊張により主桁に生じるひずみの実測値と理論値の比較を行った。本橋の新設桁の緊張は、一次施工と二次施工に分割して行われ、主桁に導入される緊張力の計測は主ケーブル1本緊張毎に行った。主ケーブルの本数は、一次施工区間が8本、二次施工区間が11本である。図-3および図-4は、それぞれ一次施工および二次施工の主ケーブル緊張時に得られたセグメントNo.4およびNo.9のひずみ変化を表している。図中の実線は埋込ひずみ計の計測値、破線が鉄筋計で計測した応力を鉄筋の静弾性係数で除してひずみに換算した値を示している。これらの図から、埋込ひずみ計と鉄筋計の計算値は概ね一致していることが分かる。また、図中の二点鎖線は、主ケーブル緊張後にひずみ計を設置した位置で生じるひずみ増加量の理論値である。ひずみ増加量の理論値は、本橋の設計で用いたFRAME計算結果から引用した。なお、本計測結果はいずれも数時間内に行われた短期計測であり、温度補正は行っていない。これらの図から、緊張完了時に計測されたひずみの増加量は、理論値と概ね一致していることが分かる。以上のことから、計測値は橋梁に生じるひずみを概ね正確に捉えており、また全ひずみを計測することを目的に設置された埋込ひずみ計および鉄筋計はいずれも精度よくひずみを計測できていることが確認できた。写真-4に計測状況を示す。

表-1 埋設した計測器一覧

計測器	機能	備考
埋込ひずみ計	コンクリートの全ひずみを計測	・コンクリートに直接埋設 ・測温機能付き
鉄筋応力計	鉄筋の応力変化を計測	・コンクリートに直接埋設 ・測温機能付き ・鉄筋の静弾性係数を用いてひずみに換算
有効応力計	荷重変化による応力変化を計測	・コンクリートの静弾性係数を用いてひずみに換算
無応力計	コンクリートの収縮を計測	・無応力容器内に埋込ひずみ計を格納 ・周囲の応力変化を遮断してひずみを計測 ・測温機能付き
熱電対	外気温を計測	・データロガー格納ボックス ・近傍の日陰温度を計測

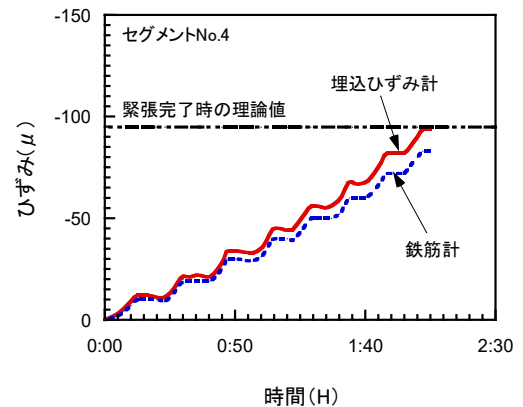


図-3 一次施工主ケーブル緊張時のひずみ変化

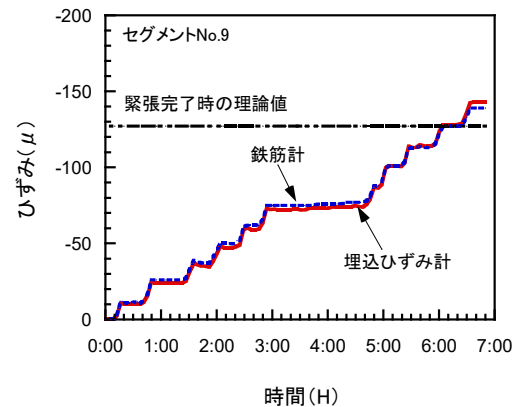


図-4 二次施工主ケーブル緊張時のひずみ変化



写真-4 実橋における計測状況

4. 主桁のひずみ計測と考察

図-5 および図-6 は、それぞれ一次施工および二次施工の主ケーブル緊張後に得られたセグメント No.4 および No.9 のひずみ変化の計測値と FEM 解析の結果を比較したものである。図中の■は BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を考慮した FEM 解析から得たひずみの値である。一方、ひずみの計測値は、埋込ひずみ計から得られたクリープ・乾燥収縮など全てを含む全ひずみ ε_{cd} で、1時間毎に計測した値を24時間毎に平均した値である。ただし、全ひずみ ε_{cd} は、式(1)を用いてひずみ計とコンクリートの線膨張係数の差に関する補正を行った値である。

$$\varepsilon_{cd} = C_\varepsilon \times \varepsilon_i + \Delta t \times (C_\beta - \gamma) \quad \text{式(1)}$$

ここに、 ε_{cd} :全ひずみの補正值、 C_ε :校正係数($\times 10^{-6}/1 \times 10^{-6}$)、 ε_i :初期値からの計測値の変化量($\times 10^{-6}$)、 Δt :初期値からの温度の変化量($^{\circ}\text{C}$)、 C_β :補正係数で $10.7(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ 、 γ :コンクリートの線膨張係数で $10.0(\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C})$ である。

これらの図より、全ひずみの計測値は、温度の影響などにより日々変動しているものの、その中央値は BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮の低減効果を考慮した FEM 解析結果と概ね一致していることが分かる。よって、本橋に採用した BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮の低減効果を確認できたと判断する。

5. まとめ

近年では、BFS コンクリートの高い耐久性への関心と、環境問題や持続可能な開発への取り組みが相まって、その採用事例も増えている。本報告では、BFS コンクリートのクリープ・乾燥収縮低減効果を期待して PC 橋に採用した事例とその検証結果の一部について述べた。写真-5 は主桁の拡幅が完了した橋梁の全景である。今後も数年間は計測を続行し、データを蓄積して継続的に検証を行う。最後に、BFS コンクリートを高速道路の PC 橋に初採用した本橋の取組みをご理解・ご指導下さった西日本高速道路株式会社および関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤井隆史, 綾野克紀: 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの強度, 収縮, クリープおよびアルカリシリカ反応抑制効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, pp.99-104, 2018.7
- 2) 橋野哲郎, 河中涼一, 丹野篤, 福田雅人: 高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの PC 橋拡幅工事への適用, 第30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.605-610, 2021.10

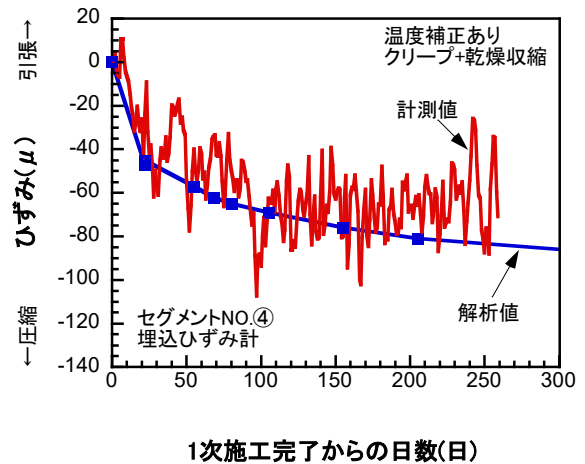


図-5 セグメント No.4 のひずみ変化と解析結果

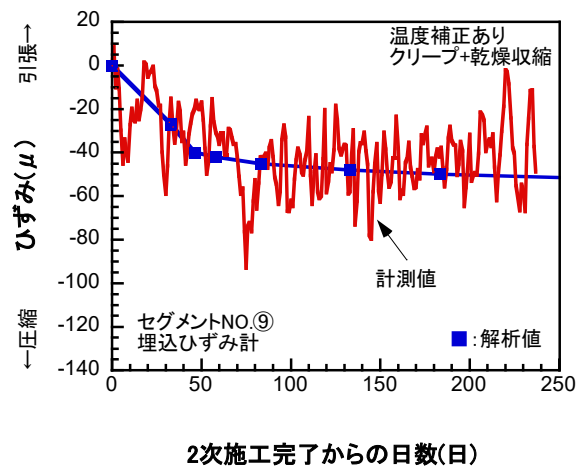


図-6 セグメント No.9 のひずみ変化と解析結果



写真-5 主桁拡幅完了状況