

## 施工中におけるPC箱桁橋（張出し架設・支保工分割架設）のひずみ計測

(国研) 土木研究所	正会員	○林 克弘
(国研) 土木研究所		工修 石田 雅博
(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員	中山 良直
三井住友建設(株) [元 国総研 交流研究員]	正会員	狩野 武

### 1. はじめに

国土交通省では、5年ごとの橋梁定期点検を実施してきているが、初回点検時点（供用後2年後）で新しいPC橋の一部において、ひび割れなどの変状の報告があり、設計施工に起因すると推察されるものも見受けられる。このため、土木研究所、国土技術政策総合研究所、プレストレスト・コンクリート建設業協会が共同で、張出し架設と支保工分割架設で施工中の2橋のPC箱桁橋を対象に、鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ、本体の温度を連続計測し、施工時の状況把握および設計値との対比を行い、その考察を行った。本稿では、計測内容および計測結果や再現解析から得られた結果について報告するものである。

### 2. 張出し架設の計測と再現解析

#### 2.1. 計測箇所

計測対象の橋梁諸元を、以下に示す。

構造形式：PC4径間連続ラーメン箱桁橋

支間割り：59.15m+2@87.50m+59.15m

施工方法：張出し架設

施工場所：長野県南佐久郡

張出し架設時期：平成26年9月～12月



図-1 計測箇所

張出し架設中の鉄筋やウェブ表面のひずみとブロック打継部の目地開きを、図-1に示すP1第2ブロック（本橋の中で曲げモーメントとせん断力が卓越する箇所）について計測した。

#### 2.2. 計測値と設計値の比較

##### (1) 主桁上下縁応力度

張出し架設中の主桁上下縁のコンクリート応力度を、図-2の鉄筋のひずみ計測値（第2ブロックの先端寄り(3BLに隣接する側)に2面貼ったゲージの平均）から、鉄筋とコンクリートのヤング係数比を $n=7$ （設計値相当の $E_s/E_c$ ）と仮定して推定した。

設計値（ $\sigma_U \cdot \sigma_L$ ）との比較結果は図-3に示すとおりで、実橋の応力状態はおおむね設計どおりだが、測点2B-LS-L3aは応力最大時（12月6日）に約1.5倍であった。2面のゲージひずみは、図-4の2B-US-L3aのようにほぼ同値となるはずが、2B-LS-L3aは第3ブロックの配筋時（9月27日）に±200 $\mu$ の曲げを受けており、それ

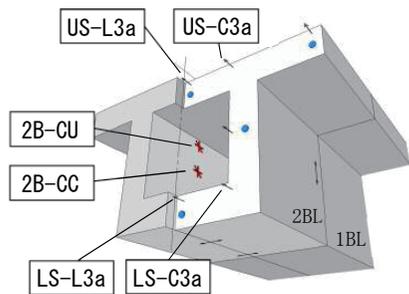


図-2 計測箇所



図-3 主桁上下縁のコンクリート応力度

が原因の可能性がある。また、主桁上縁は  $3\text{N}/\text{mm}^2$  程度の日変動が生じているが、これは直射日光で上床版が温められたことによるコンクリートの温度膨張によって圧縮応力度が発生したと考えられる。

### (2) 斜引張応力度

張出し架設中のウェブ内側の斜引張応力度を、図-2の2B-CUおよび2B-CCに示す3方向(水平・鉛直・ $45^\circ$ )のコンクリート表面ひずみから推定した。設計値( $\sigma I$ )との比較結果は図-5に示すとおりで、第3~第5ブロック施工時の応力度増加の割合が設計よりも大きい、その後の推移は設計値と同程度に落ち着いた。

測点2B-CUで初期の応力度が大きく増加した原因としては、箱桁横方向曲げの付加、ハンチ隅角部近傍で応力流れの乱れ、などが推察されるが、さらなる検証が必要である。

### (3) 打継目地開き

片持ち床版先端寄りに発生する橋軸方向引張の温度応力解析結果(発生応力度: $\sigma_x$ , 引張強度: $F_t$ , ひび割れ指数: $I_{cr}$ )を図-6に示す。パイ型変位計を図-7の箇所を設置して打継部の目地開きを計測したところ、図-8のように第6ブロックのコンクリートを打設した翌日(10月25日)の深夜に0.6mmの目地開きが検知された。温度応力解析でのひび割れ指数は $I_{cr}=2.4$ で、目地開きが起こる確率は小さい( $P=1.6\%$ )が、コンクリート荷重によって主桁上縁に引張応力度が発生し、また外気温が下がったタイミングで、このように幾つかの要因が複合して目地が開いたと考えられる。なお、この目地開きは張出し施工の進捗とともに閉塞した。

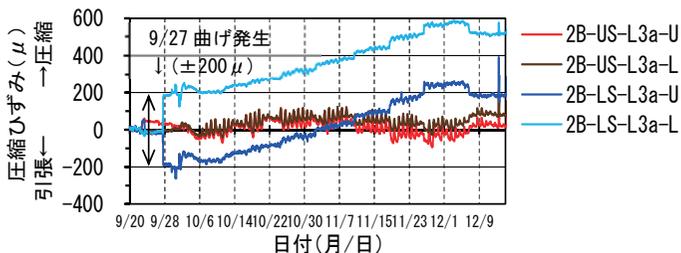


図-4 ゲージ毎の鉄筋ひずみ

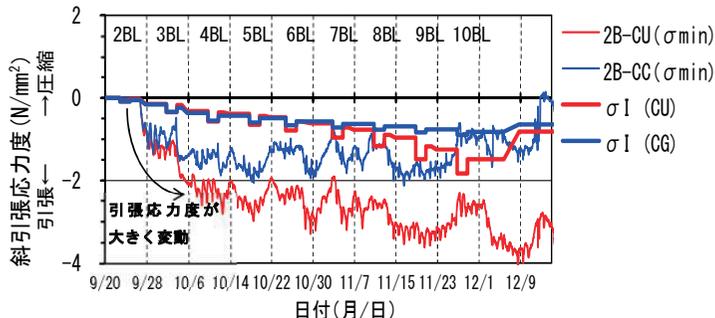


図-5 ウェブの斜引張応力度

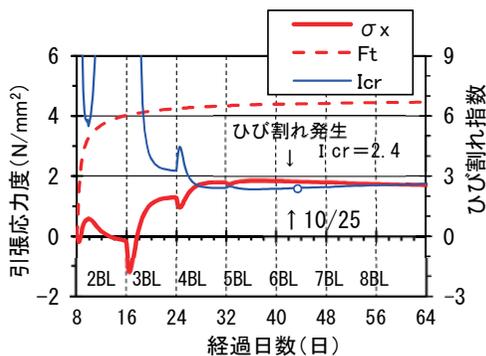


図-6 温度応力解析結果

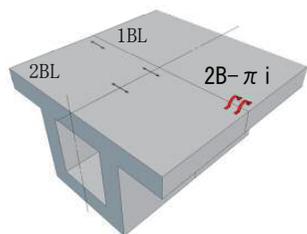


図-7 計測箇所(打継目地)

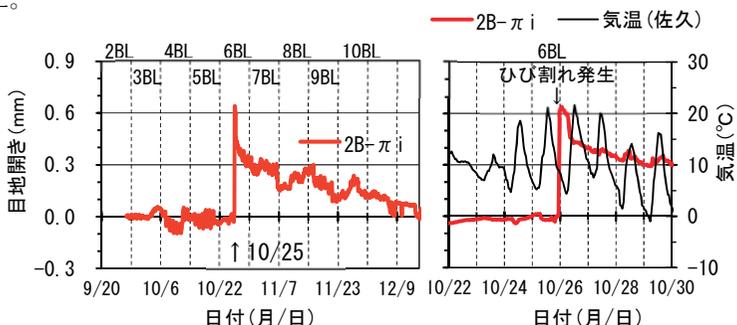


図-8 目地開き量

### 3. 支保工分割架設の計測と再現解析

#### 3.1. 計測箇所

計測対象の橋梁諸元を、以下に示す。

構造形式：P C 4 径間連続 2 室箱桁橋

支間割り：55.90m+2@56.00m+33.00m

(橋長：203.40m)

施工方法：支保工分割架設

施工場所：群馬県安中市

支保工分割架設中の鉄筋ひずみを、**図-9**に示す第3区間について計測した。

#### 3.2. 計測値と設計値の比較

##### (1) 主桁上下縁橋軸方向応力度

主方向P C 鋼材緊張による中ウェブの上下縁 (**図-10**) について、鉄筋ひずみから算出した鉄筋応力度と設計計算結果を比較した結果を**図-11**に示す。緊張後の鉄筋応力度の計測値は計算値よりもやや大きい値 (1.2~1.9 倍) であったが、傾向はとらえられていると判断できる。なお、上縁側の約 20N/mm<sup>2</sup> の応力の日変動は、気温や日射によるものと考えられ、温度変化量に換算すると 10℃であった。

##### (2) 片持ち床版先端応力度

P3 支点上の片持ち床版先端 (**図-12**) の橋軸方向鉄筋ひずみを計測したところ、**図-13**に示すとおりコンクリート打設の2日後に、床版上下縁鉄筋に 200N/mm<sup>2</sup> の軸引張応力度が発生し、その後の主方向P C 鋼材緊張で引張応力はほぼ解消された。これは横桁による拘束を受けたことにより、橋軸直角方向に軽微なひび割れが発生したためと考えられ、温度応力解析でも、打設後2日でひび割れが生じたと考えられる方向のひび割れ指数が極小となっている (**図-14**)。

ごく初期に発生した軽微なひび割れは、その後のプレストレス導入で閉塞したと思われるが、床版横締めP C 鋼材を配置した A1 断面部については、**図-15**に示すように5月16日以降は応力度の日変動が2倍になっており、このひび割れの影響と考えられる。本橋は 65° の斜角を有する橋梁で、温度応力解析では斜角をモデル化しているが、引張応力が卓越するのは橋軸方向であった。現場で観察したところ、耐荷性能や耐久性への影響は軽微であると考えられる微小なひび割れが、斜角方向に配置した横桁

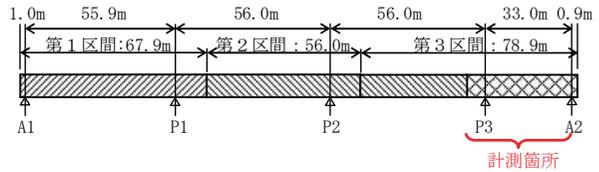


図-9 計測箇所

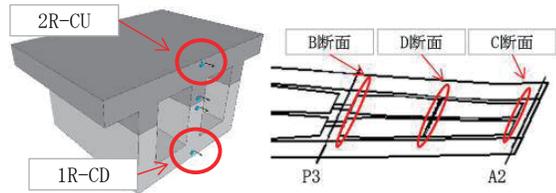


図-10 主桁上下縁の橋軸方向鉄筋計測位置

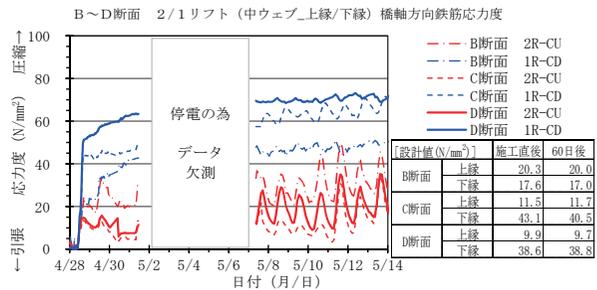


図-11 主桁上下縁の橋軸方向鉄筋応力度

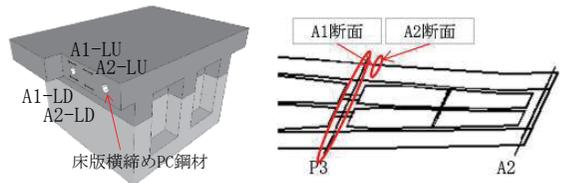


図-12 片持ち床版先端の橋軸方向鉄筋計測位置

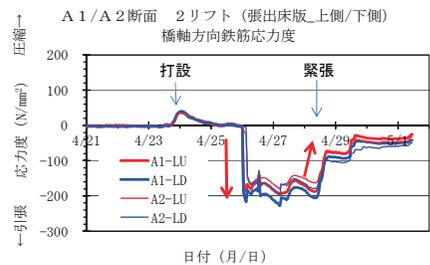


図-13 片持ち床版の応力度 (打設直後)

め鋼材に沿って発生しており，日変動と横締め鋼材による断面欠損が再発要因と考えられる。

### (3) 1 リフトによる 2 リフトの拘束

P3 支点近傍の箱桁断面における 2 リフトウェブの軸方向鉄筋 (図-16) のひずみ計測結果を図-17 に示す。コンクリート打設の約 4 日後に 2R-LU (外ウェブ上縁側) で約  $250\mu$  の引張ひずみが発生しており (図中①)，ひび割れが発生したおそれがある。上縁側コンクリート温度 (2R-CUT) が外気温と連動している様子がうかがえるため，1 リフトによる拘束に加え，温度変化による影響が累加されたことが要因の一つと考えられる。

2R-LUのその後の挙動に着目すると，外気温の低下 (約  $10^{\circ}\text{C}$ ) に伴いが約  $400\mu$  増加し (図中②)，主方向 P C 鋼材の緊張により，圧縮ひずみが導入された (図中③)。主方向 P C 鋼材緊張以降 (図中④) について，2R-CU と 2R-LU ひずみの変動量は，気温とともにほぼ同様に変動した。これは，B-2R-LU のひび割れ幅が開閉していないことを示しており，主方向 P C 鋼材の緊張により，ひび割れは閉じている状態と考えられる。

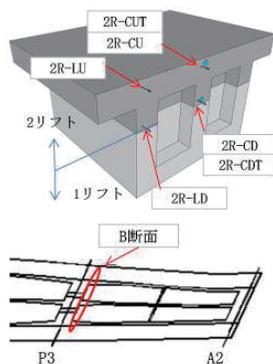


図-16 2 リフト上縁の橋軸方向鉄筋計測位置

### 4. おわりに

計測値は概ね設計値どおりの傾向であったが，一部では設計値を上回る計測値が確認された。また，同一断面内でも部位により発生応力度が異なること，日射による日変動や張出し架設にともなう応力変動など，施工初期段階での応力状態を確認できた。特に部材寸法が大きい場合には，コンクリートの硬化熱や乾燥収縮の影響が大きくなると考えられ，今後さらにデータを蓄積して設計段階で評価することが，初期変状を抑制することにつながると考えている。本検討の再現解析は，マスコンクリートの温度応力解析単独での検証としたが，今後は各施工段階で生じる応力解析を行い両者を組み合わせ (重ね合わせ) することで，より実際に近い挙動を再現したうえで，棒解析を基本としている設計段階における施工時の応力度制御 (たとえば，張出し架設中の斜引張応力度値) の提案を行う予定である。

最後に，実橋計測においてフィールドを提供していただきました国土交通省長野国道事務所と鉄建建設株式会社，ならびに国土交通省高崎河川国道事務所と株式会社日本ピーエスに謝意を表します。

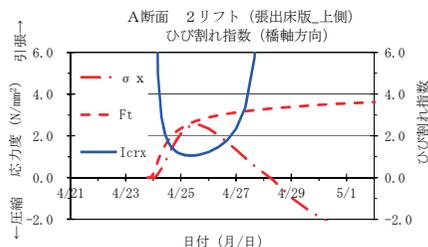


図-14 ひび割れ指数 (解析値)

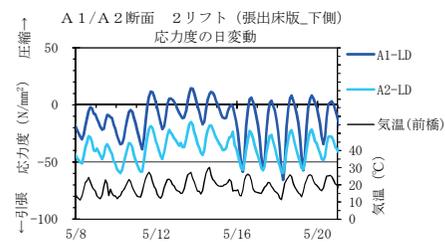


図-15 片持ち床版の応力度 (打設後 3 週間)

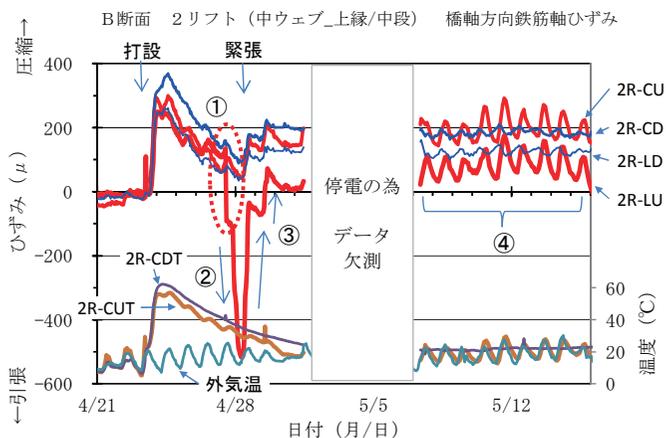


図-17 1 リフトの拘束による 2 リフトの鉄筋ひずみ