

建設後46年経過した3径間連続PC箱桁橋のひび割れ詳細調査

(一財)首都高速道路技術センター ○青木 聡
 首都高速道路株 永田佳文
 (一財)首都高速道路技術センター 正会員 秋元泰輔
 (一財)首都高速道路技術センター 飯塚明彦

1. はじめに

建設されてから46年経過した供用中の3径間連続PC箱桁橋において、足場上からの接近点検を行ったところ、下床版に橋軸方向および橋軸直角方向のひび割れが確認された。ひび割れ幅0.2mm以上、最大0.6mmのひび割れに対して、箱桁内面のひび割れ部から着色水を流したところ、下床版下面からにじみ出たことから、貫通ひび割れであることが確認された。

これまでの点検結果ではこのような損傷が報告されていなかったことから、このPC橋のひび割れ発生原因を確認するために、現場詳細調査、復元設計およびFEM解析を実施したので報告する。

2. PC橋の概要

本PC橋の構造諸元を表-1に示す。また全体一般図を図-1に、橋梁断面図を図-2に示す。

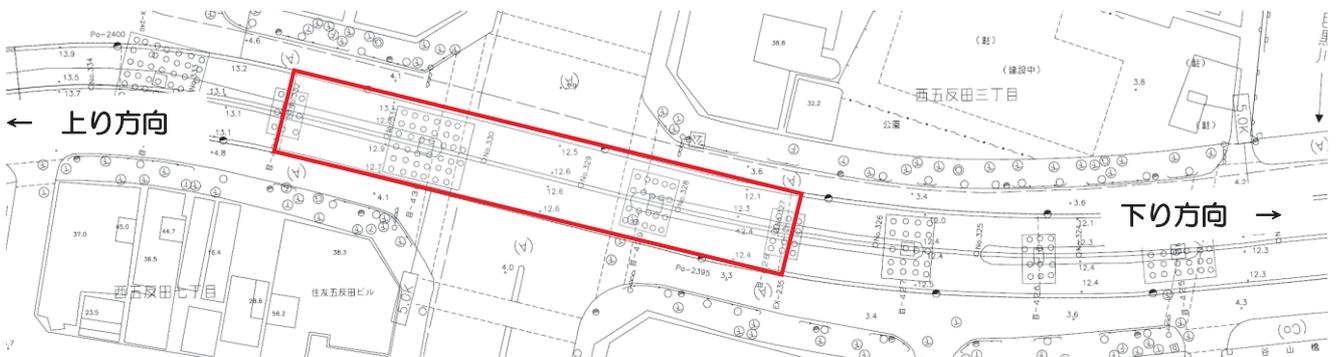
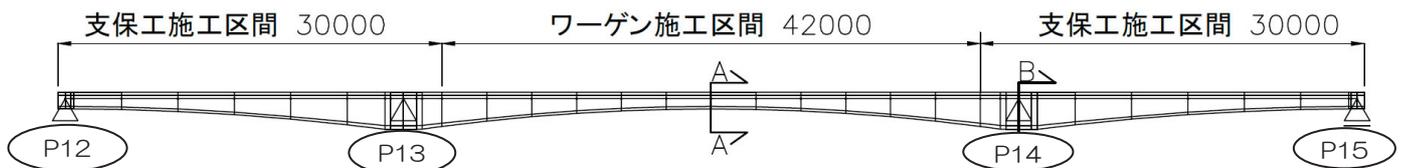


図-1 全体一般図

表-1 PC橋の構造諸元

橋梁形式	3径間連続PC箱桁橋
断面形状	箱桁断面
構造形式	PC構造(中央径間張り出し架設工法)
橋長	102m
支間長	30m+42m+30m
幅員	8.1m(上下分離構造)
桁高	1.3~3.1m
しゅん功年月	昭和42年6月
適用基準	昭和36年度 PC設計施工指針(土木学会)
コンクリート強度	40N/mm ²
ヤング係数	350,000kg/cm ² (3.4*10 ⁴ N/mm ²)
クリープ係数(φ)	2.0
乾燥収縮度	15*10 ⁻⁵
その他	隔壁は支点以外に設けられていない

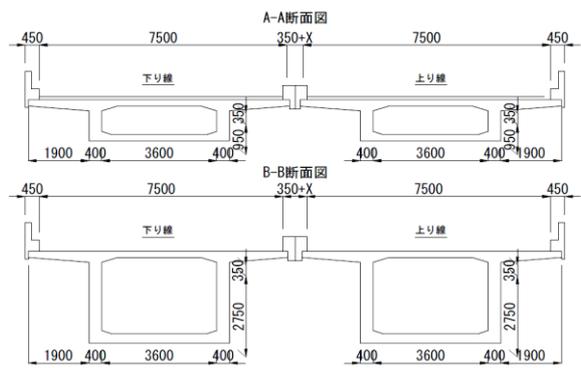


図-2 橋梁断面図

3. ひび割れ発生状況

箱桁下床版に発生したひび割れは、上下線とも3径間の中央径間に集中していた。その一例を図-3に示す。

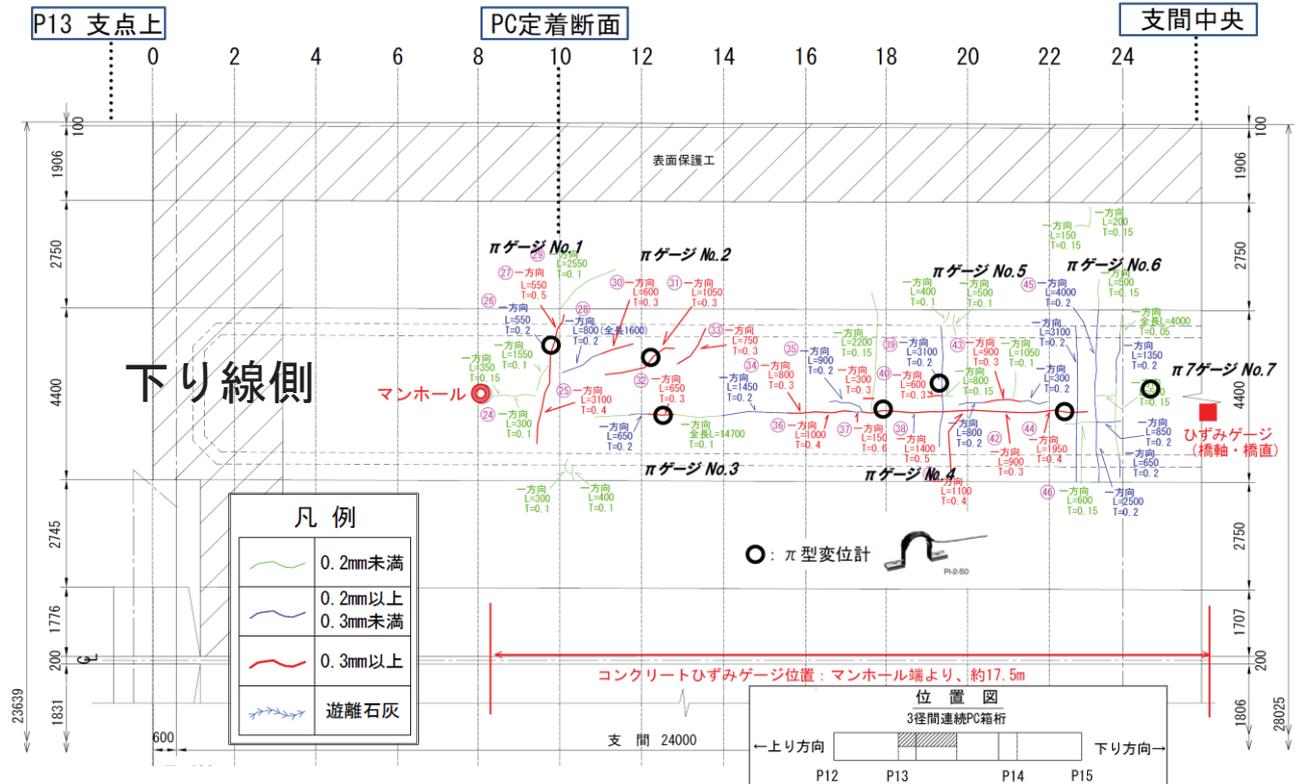


図-3 ひび割れ図と計測位置図(中央径間)

本橋梁の箱桁下床版には、PC定着部が集中的に配置され(図-4)、この定着部背面には橋軸直角方向のひび割れが発生していた(写真-1)。

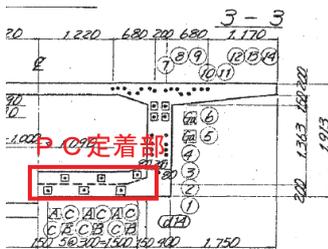


図-4 PC定着位置図

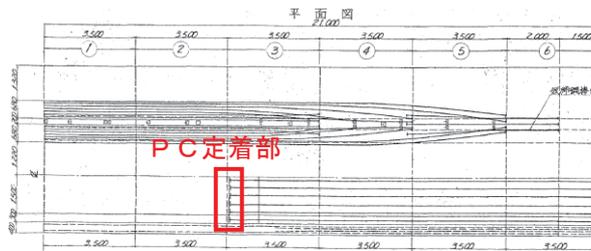


写真-1 PC定着部背面のひび割れ

4. PC橋の復元設計

ひび割れ原因を確認する目的で、当初設計条件による応力状態を確認することとしたが、当該工区的设计計算書が保存されていなかったことから、保存されていたしゅん功図をもとに、設計・施工の詳細状況を把握して復元設計を行った。復元設計に用いる設計荷重は、建設時と同じTL-20と、現道路橋示方書(平成24年3月)のB活荷重を用いた。

適用基準は、しゅん功年(昭和42年)から、昭和36年発刊「PC設計施工指針(土木学会)」を適用した。

復元設計は、2次元梁モデルで3径間施工の施工ステップを考慮し、STEP-1:側径間支保工施工、STEP-2:中央径間最大張出時、STEP-3:中央閉合時、STEP-4:構造系完成時(架設ケーブル解放)、STEP-5:橋面工完成時(全死荷重時+クリープ)、STEP-6:設計荷重時、の各STEPについて応力状態を照査した。

照査した結果、STEP-6:設計荷重時の状態ではTL-20, B活荷重とも現道路橋示方書で規定されている上床版とその他の部材の床版温度差5℃による不静定曲げモーメントを考慮すると、設計基準強度40N/mm²の場合、下縁側の許容引張応力度2.0N/mm²に対して発生応力が超過していることが確認できた(図-5)。この応力超過断面は、橋軸直角方向のひび割れ発生位置とほぼ同一断面であった。

なお、その他のSTEPの応力状態としては、許容引張応力度を超過する断面は見られなかった。また引張応力に対する引張鉄筋量を照査したところ、下縁側の鉄筋量は、支間中央付近の必要引張鉄筋量が約2割、満たしていないことが確認できた。

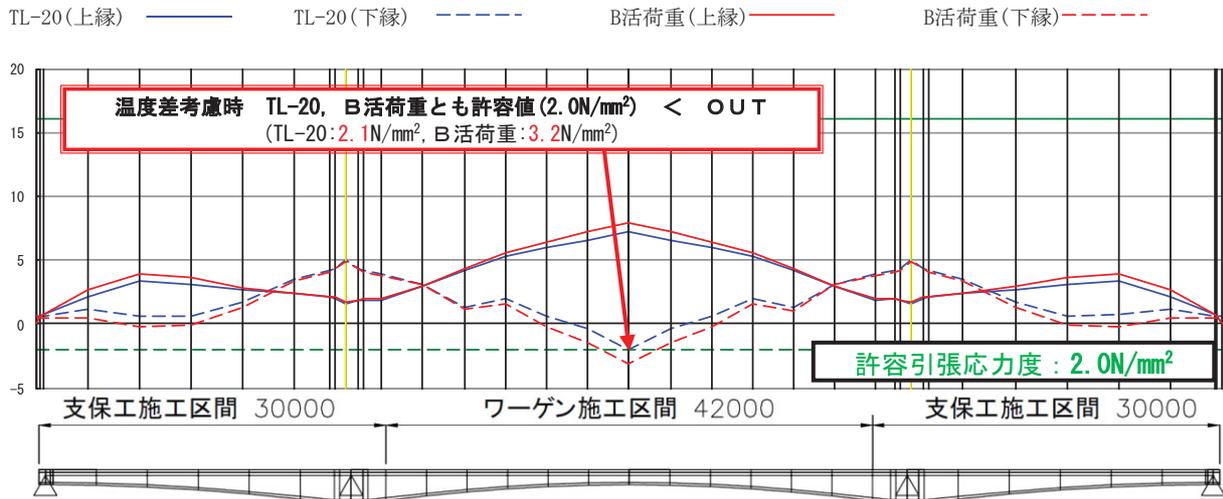


図-5 上床版とその他の部材の温度差5℃を考慮した合成曲げ応力度図【設計荷重時(max)】

5. FEM解析によるひび割れ原因分析

下床版のひび割れは、支間中央の橋軸直角方向のほか、橋軸方向や集中配置されていたPC定着部の背面にも橋軸直角方向に発生していたため、局部応力状態を確認する目的で橋梁全体をモデル化してPC鋼材緊張時に対するFEM解析を行った。

FEM解析の結果、PC定着部背面の橋軸直角方向のひび割れは、PC定着部の集中配置によって生じたPC鋼材緊張時の引張ひずみが影響しているものと考えられる(図-6)。

また橋軸方向のひび割れについては、ひずみのコンター図が青色から緑色へと約100μのひずみ差が生じていることが確認でき、プレストレス導入によって下床版に引張方向にひずみが生じた影響と思われる。

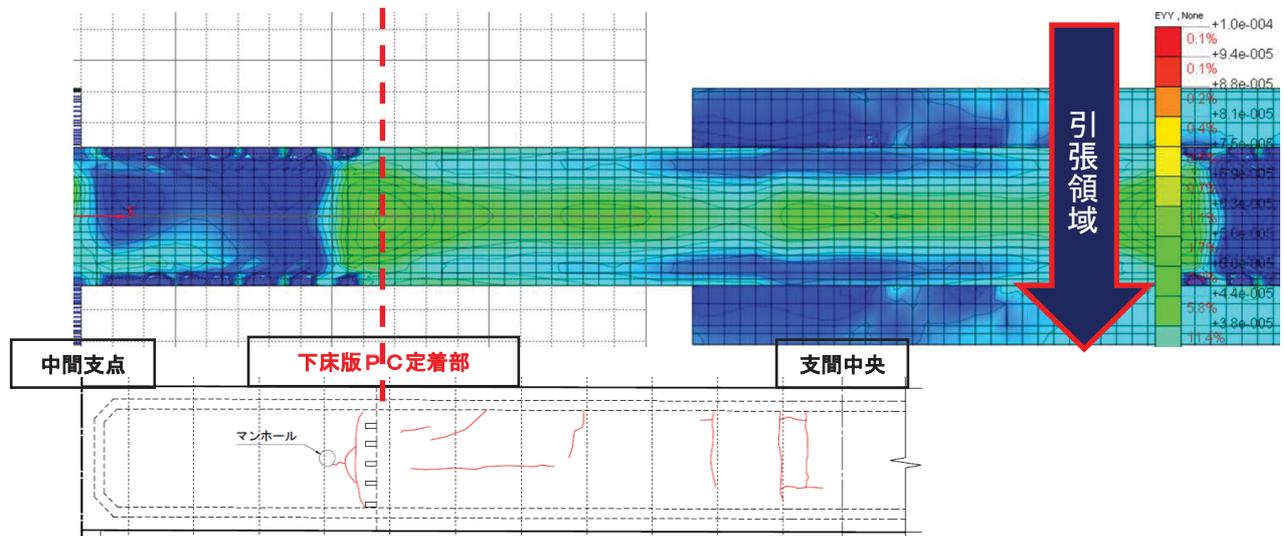


図-6 下床版ひずみコンター図

6. 現場調査と補修補強工

6.1 コンクリート圧縮強度推定

施工時のコンクリート品質状態がひび割れ発生に影響していないか、コンクリートの圧縮強度を確認することとした。ただし、供用中のPC構造物であるため、コア法による圧縮強度試験は行わず、反発度法による圧縮強度推定によって確認した。コンクリート表面状態は、空隙や豆板等はなく良好な状態で、反発度法による圧縮強度推定の結果、平均圧縮強度は54N/mm²とPC構造物の圧縮強度としては、十分な強度を有していることが確認できた。

6.2 計測工

下床版に発生しているひび割れについて、活荷重による耐荷性への影響を確認するため、ひび割れ幅の48時間動的計測(100Hz)を行った。計測はπ型変位計を用いて、計測位置はひび割れ箇所の中で大きい箇所7点を選定した(図-3)。計測の結果、橋軸直角方向のひび割れで最大0.04mmの開口が確認されたが、橋軸方向のひび割れの開閉は確認できなかった。

この計測結果を受け、ひび割れ箇所には、低圧注入によるエポキシ樹脂注入を施工したので、施工にあわせて注入前後の動きの違いについて比較検証することとした。エポキシ樹脂注入前のひび割れの動きを図-7に、注入後の動きを図-8に示す。

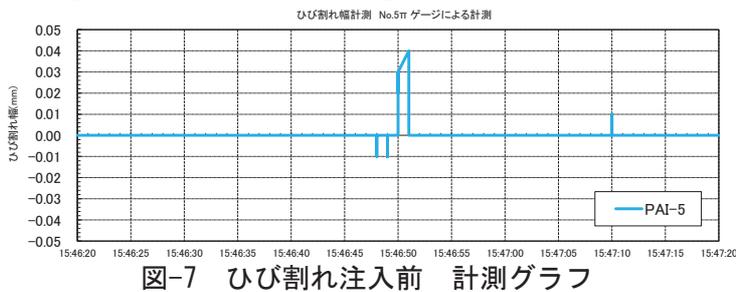


図-7 ひび割れ注入前 計測グラフ

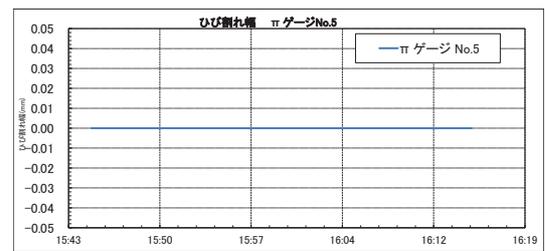


図-8 ひび割れ注入後 計測グラフ

エポキシ樹脂注入前(図-7)は、活荷重の影響によりひび割れ開口が確認できたが、エポキシ樹脂注入後(図-8)は、ひび割れの変動は見られず、活荷重による耐荷性への影響はないものと考えられる。

6.3 補修補強工

ひび割れの補修工としては、低圧によるエポキシ樹脂を注入し、最終的には復元設計の結果を受けて、床版温度差5℃の不静定曲げモーメントによる引張応力を超過する断面における鉄筋量不足に対して、高強度型炭素繊維シート(1層)による補強工が施工された(図-9、写真-2)。

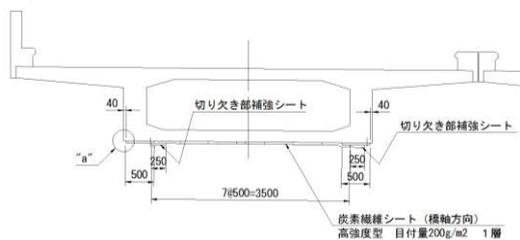


図-9 炭素繊維シート補強工 概要図

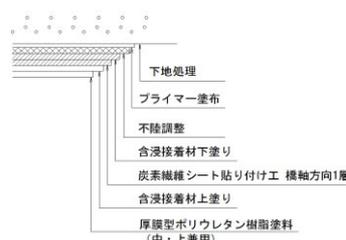


写真-2 施工状況写真

7. まとめ

3径間連続PC箱桁橋下床版で確認されたひび割れの発生原因を究明した考察を以下に示す。

- ・復元設計により応力状態を照査した結果、支間中央部の橋軸直角方向のひび割れは、上床版とその他の部材の温度差5℃による不静定曲げモーメントの影響と引張鉄筋量不足が要因と思われる。
- ・PC定着部背面および橋軸方向のひび割れは、施工時のPC鋼材緊張により生じたものと思われる。
- ・ひび割れ変動を計測したところ、ひび割れ注入後、活荷重による変動は見られなかった。