

橋本道路垂井高架橋のモニタリングについて

日本高圧コンクリート(株) 正会員 ○堀 重伸
 日本高圧コンクリート(株) 正会員 鷹巣 恵一

Key words : モニタリング, 連続ラーメン橋

1. はじめに

国土交通省近畿地方整備局が和歌山県橋本市隅田町垂井に建設した垂井高架橋は、京都～奈良～和歌山を結ぶ京奈和自動車道の本線に架かる、橋長297mの7径間連続PRCラーメン箱桁橋である。側面図と断面図を図-1, 2に示す。

本橋の上部工は平成14年4月に竣工したが、その後、1年半経過した平成15年10月にコンクリートにひび割れが発見され、詳細な調査を行ったところ、上部工には多くのひび割れが発生しており、桁自体にも設計で想定していない変形が生じていた。

これらの損傷に対し、受注者が補修・補強および供用開始後10年間のモニタリングを行うかし修補により対策が施され、平成29年9月にはそのモニタリングも終了した。

本報告は、このモニタリングの内容を実務の側から紹介するものである。モニタリングの結果や詳細については、土木学会技術推進機構「垂井高架橋モニタリング評価委員会最終報告書」(以下、「最終報告書」)¹⁾を参照されたい。

2. 垂井高架橋に施された補修・補強の内容

補修・補強による本橋のかし修補工事は平成18年10月から平成19年6月に実施した。

工事に際しては、土木学会コンクリート委員会「垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会」に設計の検証と工事の品質・施工管理の指導を仰ぐとともに、供用開始前には載荷試験を行い対策効果の確認を受けた。

本橋に施された補修・補強の内容を表-1に示す。

外ケーブルは、上面増厚による死荷重増分に対応する緊張力を導入し、予備ケーブルも設置した。応力状態の変化を伴う外ケーブルと上面増厚の施工においては、ひび割れ調査とたわみやひずみの計測による施工時モニタリングを実施し、変状が無いことを確認しながら行った。

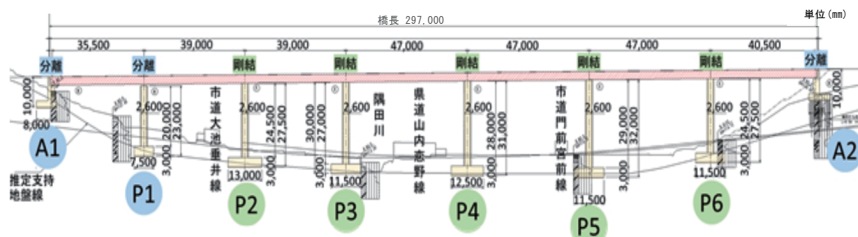


図-1 側面図

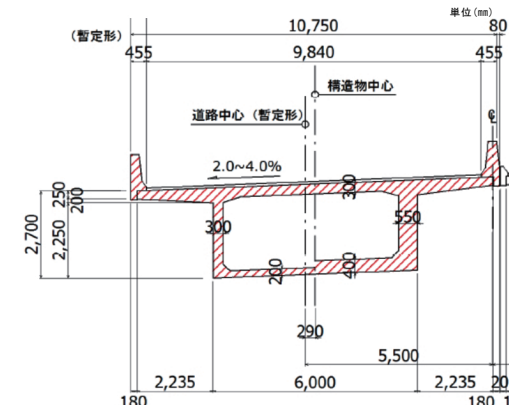


図-2 断面図

表-1 補修・補強の内容

項目	実施年度	実施内容	部位
上面増厚	平成19年	鋼繊維鉄筋コンクリート打設	上床版上面
外ケーブル補強	〃	外ケーブルの設置(上面増厚の死荷重増大への対応)	箱桁内
ひび割れ注入	〃	エポキシ樹脂注入	箱桁内外すべての面
ひび割れ再注入	平成24年	〃	箱桁内で上床版下面を除くすべての面
〃	平成28年	〃	箱桁内すべての面
表面保護工	平成19年	剥落防止シート貼付	箱桁側面・底面(表面含浸補修を兼ねる)
表面含浸工	平成28年	けい酸塩・シラン複合型含浸材塗布	箱桁内で上床版下面を除くすべての面

ひび割れ注入は、供用開始後5年経過時と10年目にも実施し、供用後の変化に対応した。

表面含浸は、桁の外面は供用開始前に実施し、桁の内面は供用後のモニタリング時のひび割れ点検の妨げとなることを懸念して10年目に実施した。

3. 供用開始後のモニタリングの内容

3. 1 モニタリング項目

供用開始後のモニタリングの目的、モニタリング項目、閾値などについても「垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会」の指導のもとに決定した。常時監視、定期点検、臨時点検に分類されたモニタリングの項目を表-2に示す。

モニタリングは平成19年8月の本橋を含む橋本東IC～橋本IC間の供用開始と同時に開始した。

常時監視と定期点検のモニタリングの経過は、土木学会技術推進機構が組織した「垂井高架橋モニタリング評価委員会」(以下、評価委員会)で、年1回(初年度のみ2回)定期的に審議され、資料と議事録は土木学会技術推進機構の専用サイトに公表された。

評価委員会による現地見学会も期間中3回実施され、モニタリング開始後5年目に「垂井高架橋モニタリング評価委員会中間報告書」²⁾が、10年目に「最終報告書」が公表された。

1時間ごとに記録し、インターネット回線を通じて取得した常時監視項目の計測値は、別に設けた専用サイトに期間中リアルタイムで公開した。

たわみの値には、閾値を超過すると関係者の携帯電話などに警報メールが発信されると同時に、桁下に設けた周辺住民向けの電光掲示板の表示の変化にも連動する様に設定したが、たわみの値が閾値を超える事象は発生しなかった。このシステムの構成図を図-3に、電光掲示板の全景を写真-1に示す。

表-2 モニタリング項目一覧

種類	測定部位	主な目的	方法	頻度
常時監視	桁たわみ	桁のたわみの変化により変位を確認	水管式沈下計 (7点)	常時 1時間毎 赤枠は当初から 閾値を設定し監視する項目
	橋脚付け根部ウェブ変形	P2橋脚ウェブ付近の斜めひびわれの動きを観察し、変形の有無を確認	光ファイバー (12点)	
	支承の変位	支承の変位量により状態を確認	変位計 (9点)	
	ひび割れ幅	新たなひびわれ発生の把握、既存ひびわれの進展を確認	亀裂変位計 ※1 (12点)	
	上下床版平均ひずみ	上下床版のひずみの動きを確認	光ファイバー ※1 (上下各2点)	
	外ケーブル張力	張力の変動を測定、予備ケーブル緊張の有無を判断	ロードセル (4点)	
	桁内外の温度	各種計測データへ温度影響をインプット	熱電対 (12点)	
定期点検	ひび割れ幅	新たなひびわれ発生の把握、既存ひびわれの進展を確認	目視	1回/年
	上床版下面の変位	上床版下面の変位から床版の状態を確認	目視 デジカメ	
	支承	支承本体・変位制限装置の状態確認	目視	
	剥落防止シートの状態	剥落防止シートの状態を確認	目視	
	鉄筋の腐食	上床版の鉄筋の腐食を計測する事により耐久性を確認	自然電位	
臨時点検 *震度4以上の地震時及び異常時	橋体の振動特性	橋の振動特性を計測する事により剛性低下の有無を確認	加速度計	2年に1回程度実施、また、臨時点検において異常があった場合にも実施
	上床版下面の変位	上床版下面の変位から床版の状態を確認	目視	
	支承	支承本体・変位制限装置の状態確認	目視	
	剥落防止シートの状態	剥落防止シートの状態を確認	目視	随時

※1) 供用開始後1年程度で計測を終了する予定であったが、参考として引き続き計測を継続した項目

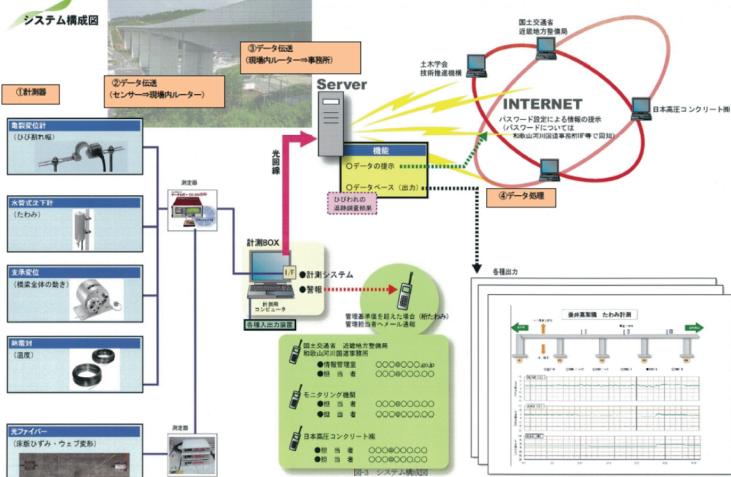


図-3 システム構成図



写真-1 電光掲示板

実施は無かったが、期間中二度発生した震度3の地震時には、臨時点検の内容に対し異常が生じていないことを自主的に確認した。

常時監視を10年間継続するにあたっては、落雷による停電や計測器の劣化故障、鳥獣による通信設備の損傷といったトラブルも発生した。これらに対する計測設備の改善内容やデータの検証内容も評価委員会で審議された。

3. 2 モニタリング方法の改善

ひび割れ点検方法や衝撃振動試験の計測方法は、評価委員会の指導に基づき適宜改善した。

ひび割れ点検は当初8月の供用開始以降毎年夏場に実施していたが、点検結果に変化が見られなかったこと、4. 3に後述のとおり冬場の亀裂変位計の計測結果（ひび割れ幅）が、コンクリートが収縮した際に最大化することなどを考慮し、点検時期を冬場に変更した。

点検方法も本橋特有の多数の微細なひび割れを、効率的かつ、全体の傾向が把握できる様点検範囲や頻度に改善を加えた。点検方法の具体的な内容は「最終報告書」¹⁾を参照されたい。

衝撃振動試験の計測方法は、モニタリング開始当初はもっともひび割れが多かったP2～P3径間のみを計測することとしていたが、将来この橋が耐用年数を重ねた際の参考値とするため、全径間での計測に変更した。また振動の計測方法も、交通量増加の状況も考慮して当初の通行車両による振動から箱桁内にて重錘を落下させた際の振動を計測する様に変更した。

4. モニタリングにより得られた本橋の特徴

4. 1 本橋特有のたわみの傾向

水管式沈下計による、各径間支間中央でのたわみの推移を図-4に示す。

たわみの値は年間の温度変化に伴って変動し、7径間のうち5径間が冬場に最大化し夏場に元に戻る動きを繰り返したが、P1～P2径間とP6～A2径間ではこの動きが逆転し、冬場に浮き上がり夏場に元に戻る動きとなっていた。

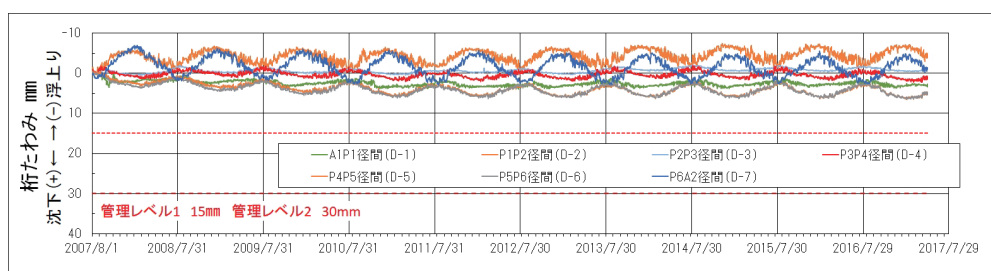


図-4 たわみ常時監視結果

この原因は、図-1

に示すとおり、本橋の支点構造がA1, P1, A2が支承、P2～P6がラーメンであることから、冬場に桁が収縮する際に図-5に示す様にP2～P6までの連続ラーメンの部分では橋脚がP4橋脚付近に向かう傾きが大きくなるためであることが解析により確認されている。

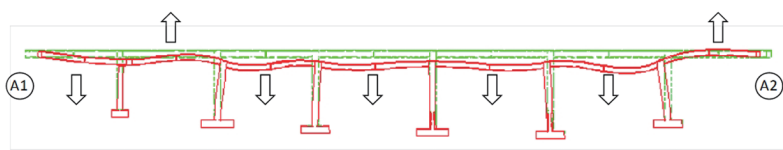


図-5 解析による桁変形イメージ

4. 2 桁の伸縮量の推移

変位計によるA1, A2両端支点の支承の橋軸方向の変位量の推移を表-3に示す。

変位計の値はたわみと同様に年間の温度変化に伴った桁の伸縮に応じて変化し、表中の最大値は夏場に、最小値は冬場に発生した。この2つの値を合計した両支点の年間の変動量から求まる橋全体の伸縮量は約112～123mm、その平均は117mmでこの伸縮量と橋長297mから求まるひずみは394 μ である。

一方、外気温の年変動（年間の最大温度差）約40℃に対するコンクリートの線膨張係数（10 μ /℃）に基づく温度によるひずみは400 μ となる。

このことから、本橋はコンクリート標準示方書（2012年制定版）に規定する値よりも収縮量が

大きなコンクリートを使用していたが、供用後の橋の伸縮量から求まるひずみとコンクリートの線膨張係数か

表-3 支承の橋軸方向変位の最大・最小値・合計値

計測データ		1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
A1橋台橋軸	最大値	40.40	37.75	37.05	37.75	36.95	35.35	36.10	32.40	35.35	32.00
	最小値	-21.90	-23.30	-24.15	-26.45	-28.90	-24.85	-25.85	-27.20	-28.85	-26.30
A2橋台橋軸	最大値	39.90	37.03	35.60	35.75	34.90	33.20	34.58	31.30	34.13	31.08
	最小値	-15.65	-17.15	-19.70	-21.48	-22.10	-19.60	-20.13	-21.15	-23.33	-21.93

単位 mm

変動量		1年	2年	3年	4年	5年	6年	7年	8年	9年	10年
A1橋台橋軸		62.30	61.05	61.20	64.20	65.85	60.20	61.95	59.60	64.20	58.30
A2橋台橋軸		55.55	54.18	55.30	57.23	57.00	52.80	54.70	52.45	57.45	53.00
A1A2合計		117.85	115.23	116.50	121.43	122.85	113.00	116.65	112.05	121.65	111.30
		平均 117.47									

ら求まる橋軸方向のひずみには大きな差は無かった。また、10年間の伸縮量の推移において桁長が年々短くなっていく状況は見られなかった。

4. 3 亀裂変位計による年変動の傾向

亀裂変位計はエポキシ樹脂注入補修済みのひび割れを跨いで設置した。その一例を図-6に示す。

亀裂変位計の値は、本橋に設置した12箇所すべて冬場に伸びる(亀裂変位計の標点間が広がる)方向に動き夏場に戻る動きとなっていた。

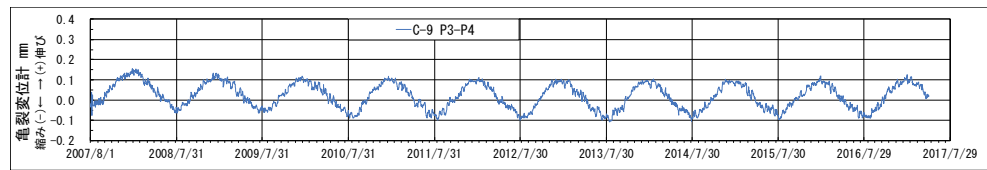


図-6 亀裂変位計の計測値

これは、コンクリートが冬場に収縮する際、ウェブや床版といった部材としては収縮するが、コンクリート表面においては、ひび割れで区切られた区間ごとに収縮するため、結果として亀裂変位計の標点間の間隔が広がり伸び方向の計測値となるものと考えられた。

なお、ひび割れ幅の夏冬の変化については、目視に比べ微細な変化が計測可能なひび割れ幅測定器(CRACK_VIEWER: 分解能0.01mm)を用いて計測したところ、およそ650本計測した結果では0.1~0mmの範囲で冬場に広がっていた。

5. おわりに

本報告では、このモニタリングで得られた構造物の温度に連動した動きに着目して報告した。このほかに構造物を長期間に渡ってモニタリングした実務の経験より得られ、「最終報告書」に提案した参考知見をこの報告の最後に記す。

- 1) 計測器の故障などの障害の発生を見込んだ多重の計測の必要性。
- 2) 他の方法による計測結果を初期値だけでも取得しておくことの必要性。
- 3) 水管式沈下計と光ファイバーセンサーを使用する際の留意点。

本報告が今後のコンクリート構造物の維持補修、モニタリングへの参考になれば幸いである。

謝辞

平成15年10月の本橋の損傷判明以来およそ15年の間、「垂井高架橋損傷対策特別委員会」、「垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会」、「垂井高架橋モニタリング評価委員会」にご尽力いただいた委員各位、自社の検討委員会などにご協力願った関係各位、発注者を含むすべての関係者に対し、この場を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会技術推進機構：垂井高架橋モニタリング評価委員会 最終報告書，2017.8
- 2) 土木学会技術推進機構：垂井高架橋モニタリング評価委員会 中間報告書，2012.5