

第9回垂井高架橋モニタリング評価委員会 議事録

場 所：土木学会・講堂

日 時：平成27年9月24日（木） 12：15～15：30

出席者：委員：鎌田委員長

石橋委員、大島委員、田辺委員、二羽委員、宮川委員

国土交通省：松田（道路保全企画官）、榎本（道路構造保全官）、藤本（善）（道路工事課長）、藤本（正）（道路工事課長補佐）、黒田（道路工事課構造係長）、寺沢（和歌山河川国道事務所所長）、今西（和歌山河川国道事務所工事品質管理官）

日本高圧コンクリート（株）：鷹巣、清水、堀

（株）計測リサーチコンサルタント：花倉、梅本、宮地

事務局：日比谷、田中、岡田

[資料確認]

資料 9-0 平成27年度垂井高架橋モニタリング評価委員会 議事次第

資料 9-1-1 垂井高架橋モニタリング評価委員会 委員構成

資料 9-1-2 垂井高架橋に関する経緯

資料 9-2 第8回垂井高架橋モニタリング評価委員会議事録(案)

資料 9-3-1 ①垂井高架橋供用後のモニタリングの概要

②計測値の検証

③最終補修の方法について

④委員会報告書について

資料 9-3-2 垂井高架橋モニタリング 委員会資料

（平成19年8月1日～平成27年5月31日）

資料 9-4 モニタリング全体工程表(案)

資料 9-5 最終報告書（目次案）

[議事]

1. 委員長挨拶

このモニタリングは、平成19年8月に開始され、その10年後の平成29年8月まで継続して行われる予定となっており、現在8年目である。本日は、昨年度の委員会以降の桁のたわみ、コンクリートのひび割れ幅、あるいは衝撃振動試験の結果について報告する。一部内容の精査が必要と思われる部分も含まれてはいるが、各計測結果とも基本的には問題は生じておらず、橋梁の全体の状態としては順調に推移していると思われる。

垂井高架橋の10年間のモニタリングの主たる目的は、適用された補修・補強工法の効果

の確認、供用後における想定外の事象に対する備え、そして周辺住民の方々への安全情報の提供ということで進めている。この土木学会の委員会の役割としては、こういう貴重な研究の場を通して、これからのコンクリート橋梁のモニタリング手法の発展、あるいはもっと広くコンクリート構造物の維持管理手法の進展につながる有益な知見を集積して、さらに情報発信していくことだと考えている。

2. 前回議事録（案）の確認

事務局より、資料 9-2(前回委員会議事録(案))の説明があった。

この中で、一連のモニタリングを通して基準タンクの位置などは同じ条件で測定すべきであること、また、亀裂変位計のデータばらつきが何年目から出始めたかの知見、さらに、複数の異なる原理のもので測ることもモニタリングにおいて重要であること等、議事録には、計測についてのノウハウについて報告書に残しておくべき貴重な内容が含まれていることから、最終報告書作成の際には議事録の内容を参考にすることが極めて重要であるとの意見がでた。

以上、基本的にこれで承認とする。

3. 前回以降のモニタリング調査について

鷹巣氏より資料 9-3-1 ①および資料 9-3-2 をもとに、モニタリング調査結果の説明があった。

計測結果について、これまでの傾向と比較して、大きな変化はなかった。

関西電力の電気工事に伴い一時的に停電したが、データに影響はなく、また橋本市ではこの一年間に大きな地震は観測されていない。

ただ少し気になる以下の計測値について重点的に検討した。

- ・桁のたわみ
- ・橋脚付け根部のウェブ変形
- ・ひび割れ幅

(1) 計測管理結果

(a) 桁たわみ

- ・5 径間目と 6 径間目について、ほかの径間と違う傾向が見られたことから沈下計を追加した。これについては後ほど別途説明する。
- ・ほかの径間では桁のたわみと温度との変動の幅が年々小さくなり、相関としては良くなっている傾向がみられる。

(b) 橋脚付け根部のウェブ変形

- ・S-4 のデータについて少し変動がみられたことから、オプトボックスへの配線の変更を試みた結果について、後ほど説明する。

(c) 支承の変位

- ・ほぼ例年どおりの（温度変化と対応した）動きを繰り返している。

(d) ひび割れ幅

- ・亀裂変位計は、補修・補強の時点で注入を終わったひび割れ部に付けている。
- ・全体としての変動の幅に変化が生じているような状況が見られたので、少し検討を行った。これについても後ほど説明する。

(e) 上下床版平均ひずみ

- ・上下床版部に橋軸方向に設置している光ファイバーについても、例年どおり（温度変化に対応した）の変動を示している状況である。

(f) 外ケーブル張力

- ・8年間ほとんど変動せず、安定した値を示している。

(g) 温度

- ・外気温の変化は、年間 40℃程度である。桁内の温度変化は 35℃程度で、例年どおりの動きをしている。

(2) 定期点検結果

(a) ひび割れ

- ・最終年度を除くと今年が全径間を見る最後の年となるので、ひび割れについて詳細に検討した。昨年度までは、途中で幅 0.1 mm未満の区間が若干あるものを全体として1本のひび割れという形で計測していたが、今回はきちんとそのあたりも分けるという形で複数のひび割れとしてカウントした。
- ・1本のひび割れを分けたので、ひび割れ本数は昨年度より 119 本ほど多い結果となった。増えた部位は、ウェブおよび上床版下面である。
- ・長さは、逆に前回より 39mほど小さい結果となった。
- ・ひび割れ幅は、クラックビューワという計器で測定すると分解能の関係から目視より大きめの値が出てくる。このため特に 0.1 mmや 0.2 mmの境界付近について、クラックビューワで見直しを行った。その結果、ひび割れ本数が前回より 493 本増え、長さについても 89.4m増えた。
- ・ひび割れを分割したり、幅 0.1 mm以下だったものが若干ランクアップしてきて本数が増えたものの、新たに発生したひび割れはない。

(b) 上床版下面の変状

- ・上床版下面に、一部、白色の汚れが確認された箇所について継続的に観察しているが、今年の調査でもその部位に新たなエフロレッセンスのようなもの、あるいは漏水の跡のようなものは見られない。

(c) 杓座および外面状況

- ・杓座、外面とも、特に異常は認められなかった。

(d) 振動測定

- ・一次固有振動数は、前回平成 25 年 2 月に行ったものと同じ値となっている。
- ・第 3 径間については、前回 4.96Hz で今回が 4.94Hz であることから、全径間ともほとんど変化は認められない。

(3) 計測値の検証

堀氏より資料 9-3-1 ②をもとに、計測値の検証結果の説明があった。

(a) 桁たわみ

第 5 径間目と第 6 径間目においては、冬場に向けてたわみが大きくなるが夏場に向けてたわみが戻りきらず、また沈下が始まるという動きを繰り返している。これが累積して、たわみが年々増える結果となっている。

- ・上記径間測定用の基準タンクは、他の測点については橋脚支点横桁に設置されているのに対し、当該橋脚では設置環境上の理由からウェブ側面に横向きに設置している。
- ・第 6 径間で現状の P5 橋脚に付けた基準タンクからつながる沈下計 D-6 と P6 橋脚に付けた基準タンクからつながる沈下計 D-8 を追加し、この径間のたわみを昨年 11 月から二重に測定した。
- ・P5 橋脚の脚高は 32m、一方、P6 橋脚の脚高は 27.5m であり、それぞれの値に年間の温度変化量 29℃と線膨張係数を掛けることにより橋脚の動きを比較すると、その違いは 1.3mm ほどの値となる。D-8 についてはこの点の補正を加えている。
- ・これによれば、D-8 の値は夏場の戻り量が大きい結果となった。毎年残留たわみが蓄積している傾向を示す D-6 の結果とは異なる挙動である。夏冬の値の差である年間のたわみ量に変化がないことや、床版ひずみなど他の計測器の結果に変化がないことから、D-6 の計測結果は、実際の桁の挙動とは異なると考えられる。
- ・現地測量も行ってたわみの値と比較してみたが、測量結果にバラつきが見られた。測量の際には、活荷重の影響を受けたり、計測に 1 日程度を要するために日中の温度変化による影響も考えられ、水準測量自体の精度を考慮すると、本データを検証に利用するのは難しいと考えられる。
- ・D-5, D-6 の計測値が他の径間の傾向と異なる原因としては、基準タンクの取付位置が他の径間と異なり桁のたわみや構造物の傾斜の影響を受けること、沈下計内の水に汚れ（沈殿物）がありそれが少なからず影響していることが考えられる。
- ・このまま計測しても供用後 10 年間で閾値を超過することはないと思われるので、計測はこのまま継続するのがよいと思われる。

(b) 橋脚付け根部のウェブ変形

- ・P2 橋脚の支点上のウェブに対面・対角でほぼ同じような位置に 2 条ずつ 4 箇所計 8

本の光ファイバセンサを取り付けている。ほかの計測値については前年の値をほぼ追従する形になっているが、S-4 の値だけがずれていっている。

- ・ 昨年の委員会で S-3 と S-4 のオプトボックスにつながっている線を入れ替えてみるようにとのアドバイスをいただき、それを実施した。
- ・ オプトボックスのチャンネル交換を行ったが、状況に変化は見られなかった。このことから、オプトボックス以降の計測システムの影響はないことが確認できた。残る原因としては、センサ本体の物性や電源本体の不安定などをメーカーから指摘されており、そういうものによって起こっていると思われる。

(c) ひび割れ幅

- ・ ひび割れ幅の変動の計測は、供用開始前に選択した注入補修済みのひび割れに亀裂変位計を取り付けることにより行っており、C-1 から C-12 までである。
- ・ 計測値には変動量 0.2 mm という参考値を設けていたが、供用後 1 年目から参考値を上回るものが見られた。これについては委員会で一時的に参考値を超過しても 1 年たって夏場に前年の値に戻っていれば問題なしということで参考値を変更していない。
- ・ 平成 25 年 1 月にひび割れ注入を行ったが、その年以降いくつかの計器で前年の夏場の値に戻らないものが見受けられるようになってきた。そのうち C-2 において、伸び方向の変位が最も顕著にみられる。
- ・ 測定値は、伸びる傾向に推移するもの、逆に縮む傾向に推移するもの、一時的に変化しその後安定傾向となるもの、常に安定傾向のもの、の 4 種類の動きとなっている。
- ・ 計器の取り付け部位、計器の取り付け方向とひび割れの方向の関係、周辺のひび割れの有無、径間内におけるひび割れ補修をした部分の割合などによる条件に対し、ひび割れ幅の日変動の大きさ、あるいは年変動の大きさなどについて状況を整理した。
- ・ ひび割れ注入を行った年あたりからひび割れ状況の違いが出てきていることから、ひび割れ注入による影響、それ以外の原因による標点間変位量の変化、また亀裂変位計そのものやデータログの劣化、電源の不安定による不具合などが考えられており、ご意見をいただきたい。

(4) 質疑応答

(a) 桁たわみ

- ・ D-5、D-6 の計測値における異常現象が、実際の桁の挙動と対応したものではないことがわかったが、別系統の沈下計での計測も継続して行ってほしい。
- ・ 沈殿物の影響について、他の測点の状況写真等確認したい。沈殿物があることがなぜ異常値の原因となるのかメカニズムが分からない。

- ・基準タンクの取り付け位置が異なっても、本来は毎年元に戻るのではないか。計器そのものがおかしいのではないか？この計器がおかしかったというのは理屈として良いが、取り付け位置が違っていただけという理屈にはしない方が良い。
 - ・取り付け方法や取り付け位置が原因となると、その他の何らかの部位の変形や現行の計器では把握できていない部分の変形という解釈も成り立ってしまう。
 - ・原因は幾つか複合している可能性もある。それらをもう一度整理して次への検証の知見とし、可能な範囲でメカニズム的な点を明らかにしてほしい。
- (b) 橋脚付け根部のウェブ変形
- ・剪断角が回転しないことを確認するため、ここには二重ゲージを貼っていると思われる、その剪断角の変化が生じているのか、むしろ逆の方向なのか、それをきちんと確認していただくほうが、測定値が伸びる・伸びないという話よりもよほど重要である。
 - ・C-4 や C-5 などウェブ変形を測っている径間での亀裂変位計の動きや、全体の動きなど、ウェブ変形が何と関連が強いかにについても含めて見てみるとよい。
- (c) ひび割れ幅
- ・年間の変動量としては、大きく変化していないため、基本的には大きな問題は生じていないと思われるが、値が徐々にシフトしている原因について究明するのがよい。
 - ・ひび割れ幅の計測と言っているが、実際は、ひび割れ自体は補修済みであり、エポキシ樹脂が埋まっている箇所の体積変化を測定している。正確に言えば、ひび割れ幅を測定しているのではなく、標点間約 10 cmの変位量を測定していることとなる。
 - ・最大値と最小値の差があまり変わっていないのであれば、例えば同一温度での比較を行えば、絶対値もあまり変わらないという結果が出るかもしれない。
 - ・イメージ的にはドリフトしているけれども、短期のものについては計測できているように感じる。
 - ・今できる検証方法として、すぐ近隣にもうひとつ別系統の亀裂変位計をつけて 1 年間程度測って確認するという方法や、ある仮定に基づく計算値と比較することにより確認する方法がある。

4. 最終補修方法について

堀氏より資料 9-3-1 ③をもとに、最終補修方法について説明があった。

(1) 最終補修方法について

- ・近畿地方整備局との当初の申し合わせの内容としては、幅 0.2 mm以上のひび割れに対するひび割れ注入、表面含浸材塗布、計測器設置位置の取り外し後の補修の三つである。
- ・ひび割れ注入については、供用開始前、それから平成 25 年度の再注入ではウェブ側

面、ハンチ部と下床版上面の3面についてのみ行っている。上床版下面については、ひび割れの推移を見るために補修しないほうがよいということで未実施である。

- ・最終補修では、上床版下面、ウェブ側面、ハンチ部および下床版上面の4面すべてについて幅0.2mm以上は注入することとする。モニタリング終了は平成29年8月2日であるが、補修時期としては、ひび割れ幅が一番開く時期である1月、2月を目指したい。もしモニタリング期間終了後に計測器等があり注入できない箇所があれば、取り外し後に行う。
- ・幅0.2mm以下のひび割れに対しては、表面含浸を内面に対して行うこととなっていた。橋の外面については、表面保護工という形でビニロンメッシュシートを貼っている。ひび割れ注入も行っているが、微細なひび割れについては、ビニロンメッシュシートを貼るときのプライマーが表面含浸を兼ねるという事で、外面については含浸済みである。箱桁内面については、ひび割れ注入が終わり次第、表面含浸を行う。
- ・表面含浸材は、ひび割れのある箇所、ない箇所に限らず、すべて塗布するという事になっているが、上床版の下面については、将来的に床版の上のほうから劣化が生じた場合、上面から浸透してくる水の水みちを塞いではいけないという観点から、ここは残す。
- ・計測器の設置箇所に塗り漏れが生じる可能性があるため、それについてはモニタリング終了後に行う。
- ・エポキシ樹脂系の表面含浸を行うにあたり、下地処理として表面をウォータージェットで水洗いした状態で含浸材を塗布するというのが標準的施工である。このとき下地処理を行った時点でひび割れ部のマーキングが消えてしまうと思われる。

(2) 質疑応答

- ・この補修の実施内容は、材料・工法も含め当初補修・補強分科会で承認いただいたものである。
- ・2005年土木学会で「表面保護工 設計・施工指針(案)」を出しているが、当初は、これを参考にされたものと思われる。その後「けい酸塩系表面含浸工法の設計・施工指針(案)」が2012年に出ている。表面含浸工法もずいぶんいろいろと変わっているので、新しい材料・工法を含めて再検討したほうがよい。

5. その他（委員会報告について）

堀氏より資料9-3-1 ④、資料9-4、資料9-5をもとに、委員会報告書について説明があった。

(1) 委員会報告書について

- ・委員会報告書の構成は、「第一編 モニタリングの目的や概要それから実際のデータ

について」、「第二編 今まで検討を行ってきたものの解説編的なもの」、「第三編 実際のデータなどの資料編」での構成を考えている。

- ・第一編は、5年目の段階で中間報告書を出しているが、委員会報告書も中間報告書と同じような構成を考えた。「はじめに」では垂井高架橋の経緯を同じように載せたいと考えている。
- ・モニタリング概要は、モニタリングの目的や計測器、システム構成、閾値の決め方などを載せた上で、モニタリングの目的がどのように達成されたかをまとめる。
- ・目的のうち「対策効果の持続性の確認」は、10年間の常時計測データの推移、ひび割れ計測の推移、定期的に行っている振動計測などの推移を示す。
- ・「供用後における想定外の事象に対する備え」という目的については、想定外の事象の有無という観点から示したい。
- ・また「周辺住民に対する安全情報の提供」という目的については、委員会を開催したり、HP等でその内容を公開したこと、また近畿地方整備局で地元に向けてご説明された部分も紹介したい。
- ・10年間検討したことでモニタリングの目的が達成できたかどうかという観点で、目的の達成状況を踏まえた「まとめ」という形で第一編を締める。
- ・第二編では、これまでのモニタリングデータの中で、懸案となった、たわみやウェブ変形について、解説という形で仕上げたい。またこれまで検討した「橋の伸縮」、「その他の常時計測項目」としての亀裂変位やひび割れの推移についても解説という形で載せられればと思っている。
- ・またこれまでの委員会での今後の維持管理に向けての参考知見や反省点なども整理する。
- ・垂井高架橋を通常の橋梁点検につなげていく際の注意事項など、ご意見をいただき提案していく内容も示したいと考えている。また計測器の耐久性について、故障履歴を含め言及できるものは言及する。
- ・近畿地方整備局との申し合わせ事項の一つに、モニタリング期間が終了する前の措置として、平成29年8月2日までの期間が終了する前に、十分な期間を取って委員会を実施することが盛り込まれている。整備局には、その期間について具体的にお示しいただきたい。
- ・常時計測は、平成29年8月までで、ひび割れ注入と含浸は、平成29年1月から約3ヶ月間を見込み、最終の定期点検を実施する。そして計測終了後、計測器を取り外した部分の補修を11月に行えればと思っている。このことから平成29年の委員会では、6月および10月くらいに行われればと考えている。

(2) 質疑応答

- ・モニタリングの結果として、想定した範囲内の挙動であれば想定内と判断できるが、

最終的な提言としては例えば対策をまったくやらなかった場合どうなるかという視点を入れてもいいのではないか。

- この10年間のモニタリングでは、計測器でのデータ取得など、非常に丁寧対応を行っているが、この橋梁もいずれ5年に1回の近接目視点検になる。例えば外面上のひび割れの有無とか、剥離・剥落がないとか、健全な状態を保っている、といったことについてはモニタリングをしなくても外観を見ればわかる。近接目視点検など定期点検のレベルでそこが確認できれば、当初の補修・補強の効果がありちゃんと機能していることが把握可能であるということも書いておいたほうがよい。
- 委員会として、10年間のモニタリングの結果を見て設計時に目標とした性能がきちんと満たされているかどうかに対する判断を書かなければいけない。先ほどからのたわみやウェブ変形の変位が進行しつつあるのかどうかという判断に関しても、あと2年半くらい間にきちんと書けるのか、書けない場合には今後のモニタリングをどうするのか、ということを書く必要がある。
- 耐荷力的には、ほとんど問題ないことをしっかり書く必要がある。
- 変形やひび割れが問題となっているが、もともと変形やひび割れは設計段階では、その予測精度はあまり良いとは言えない。変形などが重要ということであれば、材料特性のばらつきがあることを考えて扱っていく方法を考える必要がある。P R C橋でひび割れを重要視するのであれば、ひび割れ幅の制御に関して安全側に設計するなどの配慮がなければ、材料が変わった場合に同じような問題が発生し得る。鉄道橋では、例えば基本的に上下縁辺の応力度を大体そろえることでたわみが生じないようにするなど、たわみとひび割れを対応させることは難しいものだという前提が頭にあって設計をやっている。
- 鉄道橋の知見は今後の汎用的な話であり、これから建設する橋梁の設計・施工、維持管理での注意点としても非常に重要なポイントになってくるので、この委員会の成果として、一般化した知見を報告書に含めるとよい。
- 補修後10年間モニタリングをした結果、大丈夫だという、ある程度の確証がなければおそらく通常の定期点検にもなかなか移行していけない。プラスアルファがあるのかもしれないがその当りを報告書に記して、管理面で不安が残らないよう、審議いただきたい。
- 報告書のまとめにむけて、かなり重要なポイントが種々示された。よりよい委員会報告書の完成を目指すべく、今後、情報交換の機会を増やすことができればと思う。

以上