

あじさい橋における変状の原因推定と検証

三井住友建設(株)	正会員	○中村 健一
三井住友建設(株)		廣谷 泉
京都府		高田 亮平
(一財)京都技術サポートセンター	工修	春田 健作

キーワード：曲線橋，腹圧力，ねじりモーメント，乾燥収縮

1. はじめに

あじさい橋は，平成10年に完成したPC3径間連続箱桁橋で，橋長113m，平面線形R=70~80mを有する曲線橋である(写真-1)。平成20年の定期点検において，箱桁内のウェブに漏水を伴うエフロレッセンスが発見され，平成25年の点検でその変状の進行が認められたことから，その他の変状への対処などを含めた橋梁全体の補修工事が発注された。本工事には，維持管理の効率化と維持管理コストの低減を目的として，通常の補修工事に加え，工事着手前に点検・診断を行う損傷原因調査業務が含まれていた。本稿は，京都府による定期点検と工事着手前の外観調査により確認された主な変状について，その原因推定とFEM解析による検証結果を報告するものである。



写真-1 あじさい橋

2. 橋梁概要および工事概要

本橋の一般図を図-1に，補修工事の概要を表-1に示す。新設時の架設工法は固定支保工で，主桁断面は，下床版・ウェブを第1ロット，上床版を第2ロットとし，2回に分けて構築されている。

表-1 工事概要

工事名	管内一円(伏見柳谷高槻線(あじさい橋)) 橋りょう維持修繕工事ほか
発注者	京都府乙訓土木事務所
工期	平成27年8月27日~平成28年3月31日
工事内容	補修工(ひび割れ注入工，断面修復工)， 橋面防水工，舗装工，縁石改修工， 伸縮装置取替工，剥落防止工

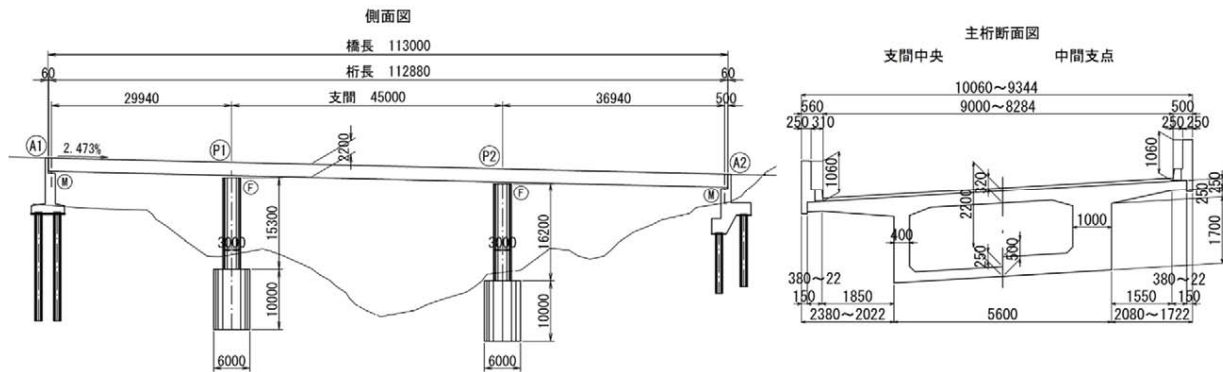




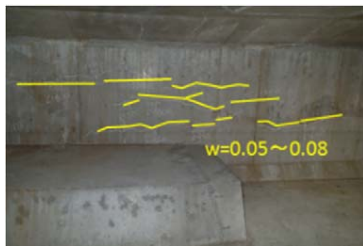
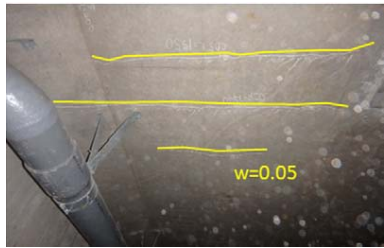
図-1 一般図

3. 変状概要

本橋で確認された主な変状を表-2に示す。変状a~dは定期点検で確認されたもの，変状e，fは本工事で行った外観調査により新たに発見されたものである。変状dは，現地状況や環境から，地覆と縁石の境界面に侵入した水が凍結と融解を繰り返すことにより，隙間が徐々に拡大したものである。d以外の変状は，新設時の設計図書や施工状況などから，経年劣化によるものではなく，施工中や材齢

初期に発生したひび割れと推察される。なお、変状aについては、変状dに溜まった水が張出し床版のひび割れ(変状b)から浸透し、ウェブと上床版の打継目やウェブの水平ひび割れ(変状e)からエフロレッセンスをとめない滲出したものと考えられる。

表-2 あじさい橋の主な変状

a. ウェブのエフロレッセンス	b. 張出し床版の水染み(ひび割れ)	c. 横桁のひび割れ
 <p>P1~P2 径間の左ウェブに漏水を伴うエフロレッセンスが発生。</p>	 <p>張出し床版下面に直角方向ひび割れを伴う水染みが発生。</p>	 <p>支点および中間横桁にマンホール隅角部を起点とするひび割れが発生。</p>
d. 地覆と縁石の隙間	e. ウェブの水平ひび割れ	f. 上床版下面の直角方向ひび割れ
 <p>左側の縁石と地覆コンクリートの間に最大 50mm 程度の隙間が発生。</p>	 <p>桁内のウェブ側面に微細な水平ひび割れが発生(右ウェブが顕著)。 w=0.05~0.08</p>	 <p>上床版下面に橋軸直角方向の微細なひび割れが発生。 w=0.05</p>

4. FEM解析による検証

d以外の変状はすべてひび割れもしくはひび割れに関連していることから、その主要因となる応力を特定するために3次元FEM解析を実施した。解析は、荷重や曲線の影響などを検証するための応力解析と、コンクリートの水和熱や乾燥収縮の影響を検証するための温度応力解析の2種類である。

4. 1 FEM応力解析

FEM応力解析のモデルは、平面線形(R=70m)を有する1.5径間の対称モデルとした(図-2)。主ケーブルは埋込み鉄筋要素を用いて配置形状を忠実に再現した。壁高欄は一般的に支点上に目地、支間部に誘発目地が設けられるが、本橋では、支間部においても支点上と同様に鉄筋が連続していない目地が10m程度の間隔で配置されていた。そこで、この影響を考慮するため、壁高欄をモデル化するとともに、目地部で接点を分離した。また、活荷重として10t車1台相当の荷重を、側径間および中央径間の支間中央に載荷した。

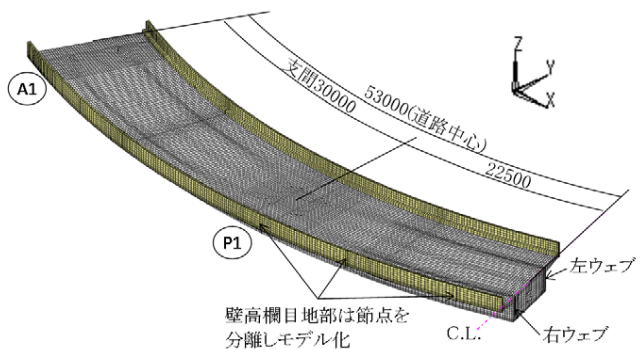


図-2 解析モデル

(1) プレストレスによる腹圧力の影響

平面線形やウェブ厚変化(折れ点)の影響で、ウェブにはプレストレスによる腹圧力が作用する。解析の結果、箱桁内の右ウェブ表面部において、鉛直方向に最大3.6N/mm²の引張応力が確認された(図-3)。箱桁内の左ウェブにおいても、ウェブの折れ点付近で引張応力の発生が確認された。点検で確認されたひび割れは、腹圧力による引張応力が大きい箇所主ケーブルに沿って発生しており、解析結果と整合している。よって、ウェブの水平ひび割れ(変状e)の主要因は腹圧力であると判断できる。

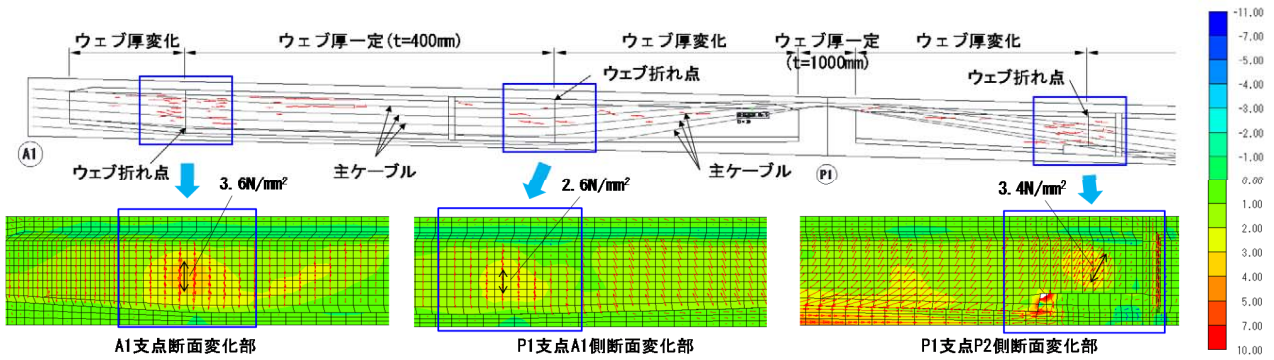


図-3 ウェブ損傷図と直後プレストレスによる主応力図 (箱桁内右ウェブ)

(2) 壁高欄目地の影響

壁高欄完成後は、壁高欄が主桁の剛性に寄与するが、壁高欄目地部は主桁の剛性のみで抵抗するため、発生する応力に影響をおよぼすことが考えられる。解析の結果、活荷重によって中間支点上およびその隣の高欄目地部直下で張出し床版に応力集中が確認された(図-4)。発生応力度は 0.4N/mm^2 と低いため、活荷重が張出し床版のひび割れ(変状 b)の主要因とは言えないが、要因の一つと考えることができる。

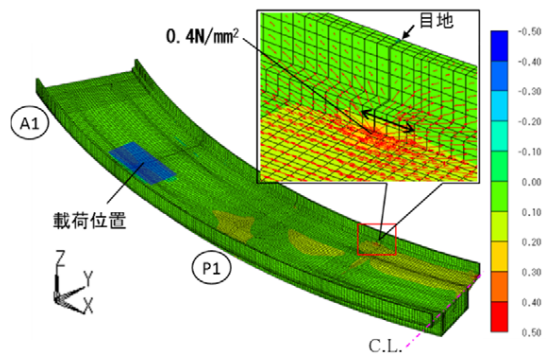
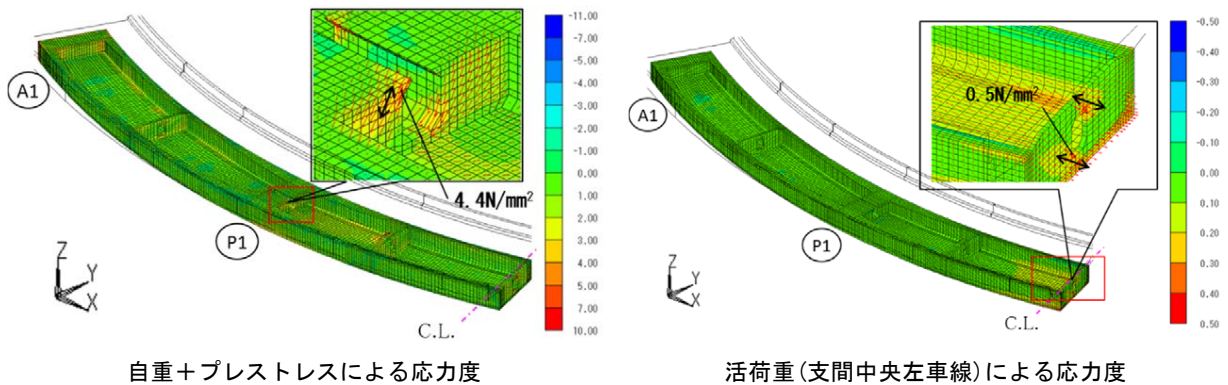


図-4 高欄目地部直下の応力集中

(3) ねじりモーメントの影響

本橋のような曲線橋においては、自重、プレストレス、活荷重によるねじりモーメントの影響が考えられる。解析の結果、横桁マンホール隅角部において、ねじりの影響と思われる応力集中が確認された(図-5)。自重+プレストレスによる応力度は 4.4N/mm^2 、活荷重(10t 車1台相当)による応力度は 0.5N/mm^2 であり、横桁のひび割れ(変状 c)の要因と考えられる。



自重+プレストレスによる応力度 活荷重(支間中央左車線)による応力度

図-5 横桁マンホール隅角部の応力集中

4. 2 FEM温度応力解析

FEM 温度応力解析では、施工時の記録に基づき、コンクリートの配合や打設時期、養生方法、養生期間などの条件を設定した。床版のひび割れに主眼を置いた case-1 では、FEM 応力解析と同様に 1.5 径間対称モデルを用い、乾燥収縮を考慮した。また、横桁表面のひび割れに主眼を置いた case-2 では、中間支点を中心に前後 12m 程度を切り出し、コンクリート表層部のメッシュをより詳細に分割したモデルを用い、部材内の湿気移動を考慮した解析を試みた。

(1) 床版ひび割れに主眼を置いた解析結果 (case-1)

支点横桁や支点付近のウェブは部材が厚く水和熱の影響が懸念される部位であったが、部材表面部における顕著なひび割れ指数の低下は見られなかった。壁高欄目地部では、局部的に張出し床版のひび割れ指数低下が確認された(図-6)。これは、目地部直下の張出し床版が壁高欄の乾燥収縮により、目地が開く方向(橋軸方向)に引張力を受けたためと考えられる。また、上床版は、全体的にウェブの拘束を受けて橋軸方向に引張力を受け、ひび割れ指数が低下している。以上のことから、張出し床版のひび割れ(変状 b)および上床版の直角方向ひび割れ(変状 f)は、乾燥収縮の影響と判断できる。

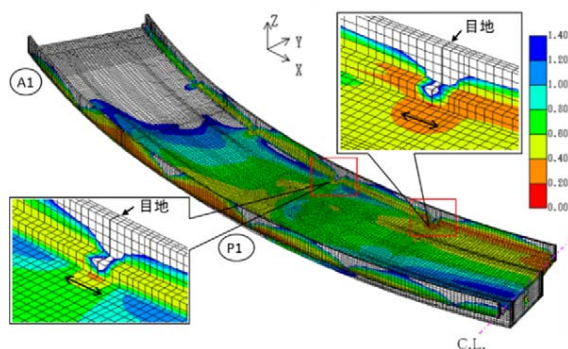


図-6 ひび割れ指数 (case-1)

(2) 横桁表面のひび割れに主眼を置いた解析結果 (case-2)

case-2 のひび割れ指数を図-7に示す。箱桁内部の中間支点横桁表面およびマンホール周辺において、ひび割れ指数が顕著に低下しているのが確認できる。支点横桁のベクトル図を図-8に、P2 支点横桁表面の損傷図を図-9に示す。解析結果と発生しているひび割れの整合性が高いことが確認できる。よって、中間支点横桁のひび割れ(変状 c)は、乾燥収縮の内部拘束による影響が一因であると考えられる。

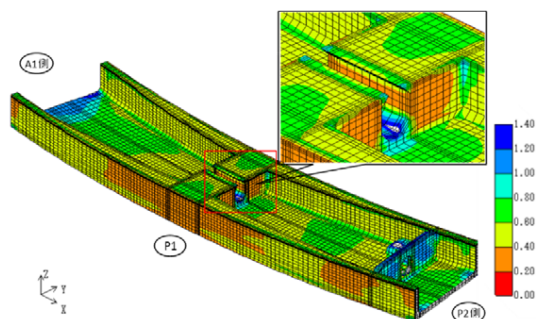


図-7 ひび割れ指数 (case-2)

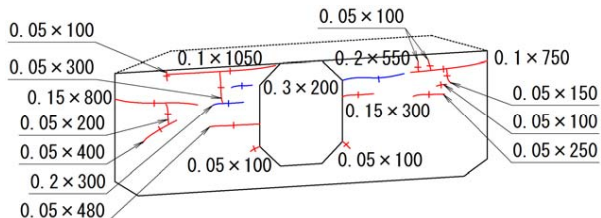


図-9 P2 支点横桁の損傷図

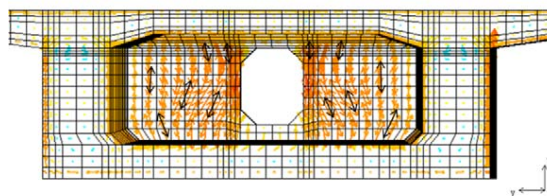


図-8 中間支点横桁のベクトル図

4. 3 まとめ

FEM 解析による検証結果を表-3に示す。当初の推定どおり、本橋で確認されたひび割れは、施工段階や完成後数年内に発生したものであることが分る。縁石と橋面防水工の改修により変状aの漏水が止まったため、水の侵入経路は当初の推察どおりと考えられる。しかし、これまでに橋面から塩分を含む水が内部に浸透した可能性が高いため、今後の点検や経過観察など、継続的な維持管理が重要となる。

表-3 FEM解析による検証結果

変状の種別	原因	検証方法
a. ウェブのエフロレッセンス	b, eのひび割れ	-
b. 張出し床版の水染み(ひび割れ)	目地の影響 乾燥収縮(外部拘束)	応力解析 温度応力解析
c. 横桁のひび割れ	ねじり 乾燥収縮(内部拘束)	応力解析 温度応力解析
e. ウェブの水平ひび割れ	プレストレスの腹圧力	応力解析
f. 上床版下面の直角方向ひび割れ	乾燥収縮(外部拘束)	温度応力解析

5. おわりに

本工事では、補修工事と点検・診断を一括発注するという試みがなされた。工事着手前に定期点検より詳細な調査・診断を行うことで、補修設計の妥当性検証と適切な補修が可能となり、維持管理コストの低減や今後の維持管理の効率化に十分な効果が得られた。本報告が今後の同種工事の一助となれば幸いである。