

## 約30年経過した異常変形が生じた中央ヒンジ橋の調査報告

(株)K&Tこんさるたん 正会員 ○肥田 研一  
 佐賀大学 大学院 工学系研究科 正会員 伊藤 幸広  
 NPO法人橋梁メンテナンス技術研究所 月原 光昭  
 長野県 小坂橋 晴之

## 1. はじめに

既存の有ヒンジPC橋の一部には、数十年経過すると中央ヒンジ部に大きなたわみの発生に加え、中央ヒンジ部の支承であるゲレンク沓の磨耗による段差および衝撃音や振動が発生するなどの現象が見受けられる。

本調査の対象橋梁は、1989年(平成元年)に建設された山間部に位置する3径間有ヒンジPC箱けたラーメン橋であり、中央ヒンジ部に異常なたわみが生じている。本橋梁の橋梁諸元を表-1に示す。本橋梁では、建設時より追跡調査が行われており、図-1に示すように中央ヒンジ部のたわみは、竣工後7年経過した1996年に125mm程度になり車両の通行に支障を来す状況となった。1998、1999年に歩道重量軽減策と舗装摺りつけ等の補修工事が実施されたが、異常変形は進行し、2012年の測量では、140mm程度のたわみ量となった。

中央ヒンジ部の異常変形が生じる要因として、①柱頭部のプレストレス不足、②クリープ変形の異常、③橋脚基礎の変形等が考えられる。このため、1次調査として①柱頭部のプレストレス不足と②クリープ変形に着目して、異常変形の原因を検討するため、中央ヒンジ橋の応力(ひずみ)に関する調査を実施した。

本報告は、応力解放法による現有作用応力計測と鉄筋応力計測を併用した応力調査を実施し、コンクリート作用応力(プレストレス)およびクリープ係数等の推定を行い、中央ヒンジ部の異常たわみ現象の原因を検討したものである。

表-1 橋梁諸元

|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| 設計年  | 1985年(昭和60年)                                 |
| 完成年  | 1989年(平成元年)                                  |
| 橋梁形式 | 橋梁形式:ディビダーク方式ポストテンション<br>変断面箱桁3径間連続有ヒンジラーメン橋 |
| 橋長   | 180.0m                                       |
| 支間長  | 49.25m+80.00m+49.25m                         |
| 幅員   | 車道6.75m 歩道1.50m                              |
| 橋格   | 1等橋(TL-20)                                   |
| 横断勾配 | 車道 両側2.0% 歩道1.0%                             |
| 縦断勾配 | 3.00%                                        |
| 斜角   | 90°                                          |

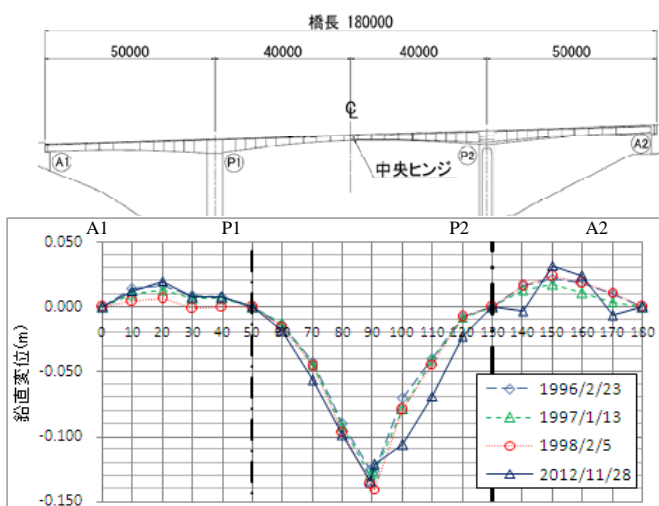


図-1 たわみの推移

## 2. 応力調査

## 2.1 応力調査の概要

応力調査は、① 光学的全視野ひずみ計測装置を用いたスリット応力解放法による現有作用コンクリート応力計測(以下、スリット応力解放法による現有作用応力計測と呼ぶ)、② 鉄筋切断法による現有作用鉄筋ひずみ計測を実施した。

スリット応力解放法による現有作用応力計測及び鉄筋ひずみ計測は、図- 2に示すようにP1, P2柱頭部の2断面と上床版と下床版の2箇所で実施した。なお、スリット応力解放法による現有作用応力計測と鉄筋切断法は、同一箇所でも実施し、スリット応力解放法による現有作用応力計測を実施した後、鉄筋切断法を実施した。

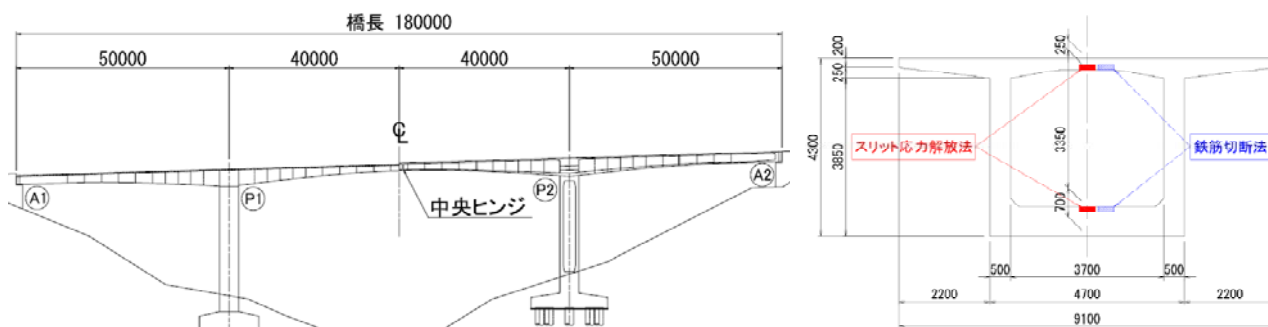


図- 2 応力調査位置

## 2.2 光学的全視野ひずみ計測装置を用いたスリット応力解放法による現有作用応力測定

今回開発したスリット応力解放法による現有作用応力計測は、一様に圧縮応力が作用しているコンクリート部材にかぶり程度の深さで、幅200mm以上のスリットを入れ解放ひずみを計測し現有作用応力を推定するものである。

既存の計測手法に比べ精度の向上を図るため、光学的全視野計測法を用いるところに特徴がある。光学的全視野計測法を用いることによりスリット近傍の微小領域まで高精度に解放ひずみ分布を計測することができる。

一様に圧縮応力が作用しているコンクリート部材に応力方向に対して直角にスリットを切削すると、スリット周辺に解放ひずみが発生する。解析モデルにスリット切削深さを5, 10, 20, 30mmとした場合の解放ひずみとスリット中心からの距離との関係の解析結果を図- 3に示す。

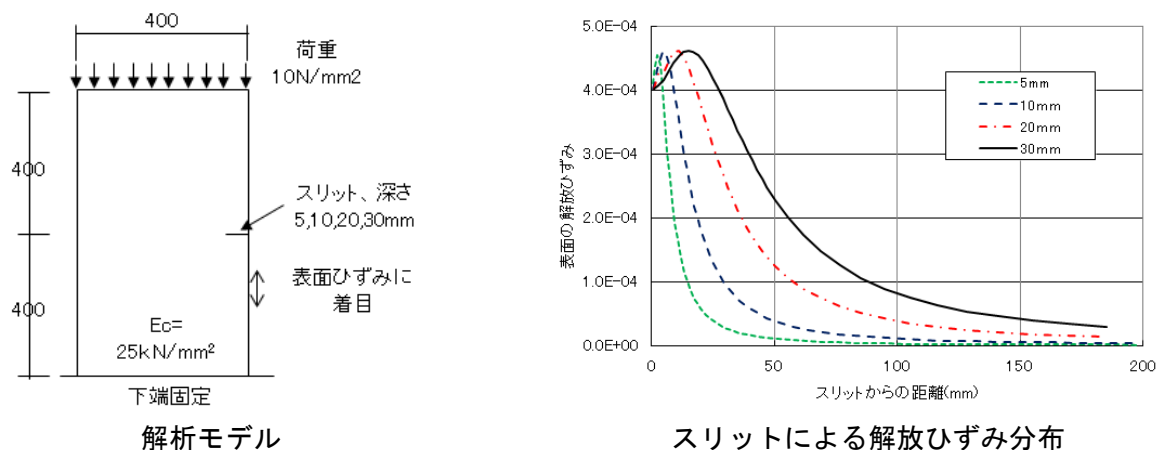
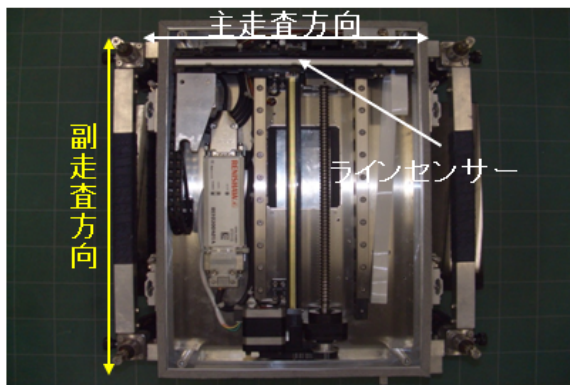


図- 3 スリット応力解放法の解放ひずみ分布

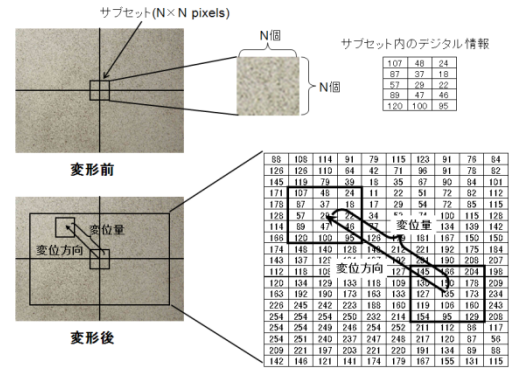
スリット応力解放法による現有作用応力計測は、スリットを切削する前後のスリット周辺部を図- 4に示す全視野ひずみ測定装置で計測し、計測した画像からデジタル画像相関法により対称点間距離変化率分布(図- 5)を求める。光学的全視野ひずみ計測法で計測された対称点間距離変化率を2次元FEM解析モデルにより解析を行い、計測結果の対称点間距離変化率分布と同一となる作用応力を逆解析にて求めた。

逆解析の結果、P1, P2柱頭部のコンクリート応力は、表- 2に示すように作用していると推定された。

図- 6に、P1柱頭部の上床版、下床版の解析値と計測値の対象点間距離変化率分布を示す。なお、コンクリートの弾性係数は、採取コア試験結果より $E_c=22\text{kN/mm}^2$ とした。



① 全視野ひずみ測定装置



② デジタル画像相関法

図- 4 全視野ひずみ測定装置及びデジタル画像相関法

表- 2 現有作用応力計測結果

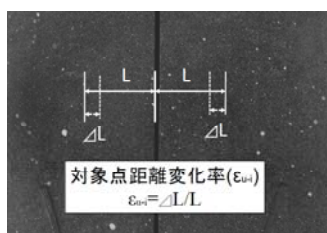
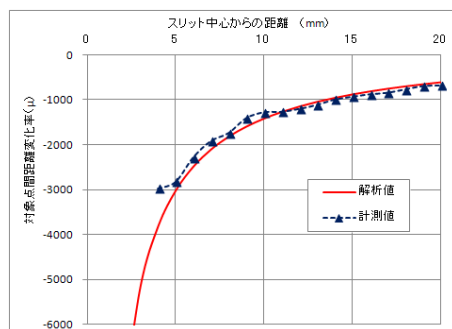
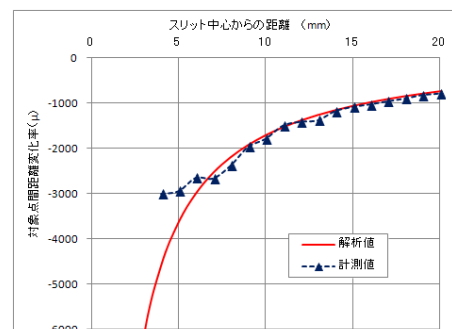


図- 5 対象点間距離変化率

|       |     | 現有作用応力 $\sigma_c$              | コンクリートひずみ $\varepsilon_c$ |
|-------|-----|--------------------------------|---------------------------|
| P1柱頭部 | 上床版 | $3.89 \pm 0.38 \text{ N/mm}^2$ | $177 \times 10^{-6}$      |
|       | 下床版 | $5.10 \pm 0.59 \text{ N/mm}^2$ | $232 \times 10^{-6}$      |
| P2柱頭部 | 上床版 | $1.73 \pm 0.44 \text{ N/mm}^2$ | $79 \times 10^{-6}$       |
|       | 下床版 | $6.33 \pm 0.63 \text{ N/mm}^2$ | $288 \times 10^{-6}$      |



P1柱頭部上床版



P1柱頭部下床版

図- 6 対象点間距離変化率分布

### 2.3 鉄筋切断法による鉄筋作用ひずみ測定

PC 橋に配置されている鉄筋は、その位置での現有作用応力である弾性ひずみとクリープ・乾燥収縮ひずみが生じている。つまり、鉄筋切断法により計測される解放ひずみには、弾性ひずみとクリープ・乾燥収縮ひずみが含まれている。

そこで、コンクリートの現有作用応力が計測されれば、式(1)により、鉄筋切断法による解放ひずみからクリープ・乾燥収縮ひずみが分離できる。

$$\varepsilon_r = \varepsilon_l + \varepsilon_{\phi_s} = \sigma_c / E_c + \varepsilon_{\phi_s} \quad (1)$$

ここに、 $\varepsilon_r$  : 鉄筋ひずみ

$\varepsilon_l$  : 鉄筋の弾性ひずみ  $\varepsilon_l = \sigma_c / E_c$

$\varepsilon_{\phi_s}$  : コンクリートのクリープ・乾燥収縮ひずみ

$\sigma_c$  : コンクリート応力 (N/mm<sup>2</sup>)

$E_c$  : コンクリートの弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>)

表- 3 鉄筋切断法計測結果

|        |     | 鉄筋ひずみ $\varepsilon_r$ |
|--------|-----|-----------------------|
| P1 柱頭部 | 上床版 | $1334 \times 10^{-6}$ |
|        | 下床版 | $1378 \times 10^{-6}$ |
| P2 柱頭部 | 上床版 | $916 \times 10^{-6}$  |
|        | 下床版 | $1328 \times 10^{-6}$ |

### 3. 中央ヒンジ部異常たわみ現象の原因推定

現有作用応力計測から得られたコンクリートひずみ( $\varepsilon_c$ )と鉄筋切断法から得られた鉄筋ひずみ( $\varepsilon_r$ )のP1柱頭部のひずみ分布図を図-7に示す。弾性ひずみであるコンクリートひずみ( $\varepsilon_c$ )とクリープ・乾燥収縮ひずみを含む鉄筋ひずみ( $\varepsilon_r$ )は、ほぼ同一の勾配を示している。

乾燥収縮ひずみ( $\varepsilon_{sh}$ )とクリープひずみ( $\varepsilon_{\phi}$ )は、設計乾燥収縮度と設計クリープ係数に比例すると仮定すれば、P1, P2柱頭部の乾燥収縮度とクリープ係数が式(2)より得られる。

$$\varepsilon_{\phi s} = \varepsilon_{sh} + \varepsilon_{\phi} = n \cdot (\varepsilon_{sh0} + \varepsilon_c \cdot \phi_0) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{sh} = n \cdot \varepsilon_{sh0} \quad \varepsilon_{\phi} = n \cdot \varepsilon_c \cdot \phi_0 \quad \phi = n \cdot \phi_0$$

ここに  $\varepsilon_{sh}$  : 乾燥収縮ひずみ

$\varepsilon_{\phi}$  : クリープひずみ

$\phi$  : 推定クリープ係数

$\varepsilon_{sh0}$  : 設計乾燥収縮度  $\varepsilon_{sh0} = 200 \times 10^{-6}$

$\phi_0$  : 設計クリープ係数  $\phi_0 = 1.7$

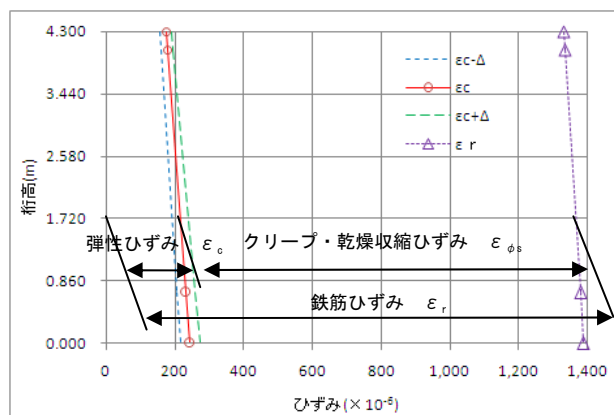


図-7 P1 柱頭部ひずみ分布(計測値)

現有作用応力計測と鉄筋ひずみの計測結果を用いて式(2)より得られる、P1, P2柱頭部の推定クリープ係数、乾燥収縮度を表-4に示す。P1, P2柱頭部の推定クリープ係数、乾燥収縮度は、ほぼ同一の値を示しており、本橋のクリープ係数、乾燥収縮度を表していると考えられる。

図-8に、推定クリープ係数( $\phi = 3.52$ )を用いたたわみ計算値と縦断測量結果を示す。推定クリープ係数を用いたたわみの計算値は、縦断測量結果とほぼ一致しており、本橋に発生している異常たわみの主因はクリープ変形の異常であると考えられる。

表-4 推定クリープ係数と乾燥収縮度

| 桁高(m) | $\varepsilon_r \times 10^{-6}$ | $\varepsilon_c \times 10^{-6}$ | $\varepsilon_{\phi s} \times 10^{-6}$ | n   | $\varepsilon_{sh} \times 10^{-6}$ | $\phi$ |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----------------------------------|--------|
| 4.300 | 1330.7                         | 172.7                          | 1158.0                                | 2.3 | 469.2                             | 3.99   |
| 4.050 | 1334.0                         | 176.8                          | 1157.2                                | 2.3 | 462.3                             | 3.93   |
| 0.700 | 1378.0                         | 231.8                          | 1146.2                                | 1.9 | 385.9                             | 3.28   |
| 0.000 | 1387.2                         | 243.3                          | 1143.9                                | 1.9 | 372.8                             | 3.17   |
|       |                                |                                |                                       | 平均値 | 422.6                             | 3.59   |

P1柱頭部

| 桁高(m) | $\varepsilon_r \times 10^{-6}$ | $\varepsilon_c \times 10^{-6}$ | $\varepsilon_{\phi s} \times 10^{-6}$ | n   | $\varepsilon_{sh} \times 10^{-6}$ | $\phi$ |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----|-----------------------------------|--------|
| 4.300 | 885.3                          | 63.0                           | 822.2                                 | 2.7 | 535.4                             | 4.55   |
| 4.050 | 916.0                          | 78.6                           | 837.4                                 | 2.5 | 501.9                             | 4.27   |
| 0.700 | 1328.0                         | 287.7                          | 1040.3                                | 1.5 | 301.9                             | 2.57   |
| 0.000 | 1414.1                         | 331.4                          | 1082.7                                | 1.4 | 283.6                             | 2.41   |
|       |                                |                                |                                       | 平均値 | 405.7                             | 3.45   |

P2柱頭部

P1, P2平均推定クリープ係数  $\phi = 3.52$

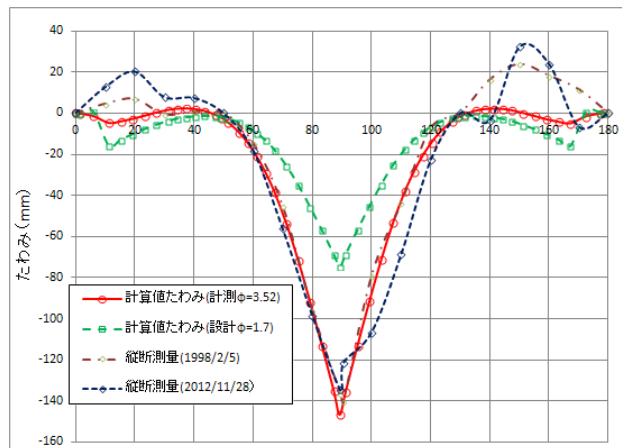


図-8 推定クリープ係数によるたわみ分布

### 4. まとめ

光学的全視野ひずみ計測装置を用いたスリット応力解放法による現有作用応力計測と鉄筋切断法による鉄筋作用ひずみ計測を併用することにより、弾性応力であるコンクリート応力(ひずみ)からクリープ・乾燥収縮ひずみの分離でき、既存構造物のクリープ係数の推定が可能である。

#### 【参考文献】

- 1) 出水享, 肥田研一, 伊藤幸広, 松田浩: 応力解放法によるPC構造物の現有作用応力の推定方法の開発, プレストレストコンクリート技術協会, 第19回シンポジウム論文集, pp241-246, 2010. 10
- 2) 出水 享, 肥田 研一, 伊藤 幸広, 内野 正和, 岡本 卓慈, 松田 浩: 光学的手法と応力解放法によるプレテンション桁の現有応力測定, 日本実験力学学会講演論文集, No. 10 GS5-5, pp281-286, 2010