

## 光学的全視野ひずみ計測法を用いた応力解放法によるASRが生じた ポストテンションPC合成I桁橋の現有作用応力測定

長崎大学大学院生産科学研究科 正会員 工修 ○出水 享  
 佐賀大学大学院工学系研究科 博(工) 伊藤 幸広  
 長崎大学大学院工学研究科 正会員 工博 松田 浩  
 西日本高速道路(株) 出雲 真仁

Abstract : The method that measures the existing action stress of the PC bridge in high accuracy is requested now. Authors develop the existing action stress technique of the PC bridge to improve accuracy compared with a past technique by the stress release technique that uses full-field optical measurement method, and have confirmed the measurement precision. In the thesis, it introduces the technique. And, it explains application to Post-tension PC composite I girder bridge where alkali aggregate reaction (ASR) was caused.

Key words : PC bridge , Digital image correlation method , Stress release technique , Alkali aggregate reaction(ASR) , Presumption of pre-stress

### 1. はじめに

橋梁の変状は、一般的に目視点検において確認され変状の程度に応じて詳細調査や補修・補強などの措置が講じられている。各種橋梁の中でもPC橋梁の変状は、目視点検で確認できる段階においては、PC鋼材の破断等により有効プレストレスが減少し、耐荷力の低下により構造的なひび割れとして顕在化している状態にあることが多い。耐荷力が低下しているPC橋梁への措置は、大規模調査や解析などによる構造全体系での耐荷力照査、モニタリングによる常時監視、大規模な補修・補強などが必要となる。結果として、膨大な費用が発生するだけでなく、調査・工事のための交通規制により経済的損出の影響から、一般道はともかくとして、高速道路においてこのことは、避けるべき事項である。PC橋梁において現有作用応力を的確に確認できれば、予防保全的観点から適切な維持管理ができ、安全性能を持続的に維持することが可能となる。現在、PC橋梁の現有作用応力を測定する方法としては、ひずみゲージを貼付しコアの応力解放による推定法<sup>1)</sup>や、フランスで開発されたスロットストレス法<sup>2)</sup>などが用いられているが、精度よく測定できていないことから、現有作用応力を高精度に測定する技術が求められている。

筆者らは、従来の測定法に比べ精度を向上させるために、光学的全視野ひずみ計測法を用いた応力解放法によるPC橋梁の現有作用応力測定法の開発を行い、その測定精度の確認を行ってきた<sup>3)</sup>。ここでは、その測定法とアルカリ骨材反応が生じたポストテンションPC合成I桁橋の適用について説明する。

### 2. 現有作用応力測定法

開発した現有作用応力測定法(以下スリット応力解放法と呼ぶ)は、従来の手法に比べ精度を向上させるために、光学的計測法の高精度、非接触、全視野計測が可能というメリットに注目し、光学的全視野ひずみ計測法の一つであるデジタル画像相関法<sup>4)</sup>と現有作用応力測定法の一つである応力解放法を用いてPC橋梁の現有作用応力を測定する点に特徴がある。

スリット応力解放法は、応力作用方向に対して直角に深さ約20mm～30mmのスリットをコンクリートカッターで切削し、そのスリット周辺の応力解放ひずみをラインセンサタイプ全視野ひずみ測定装置<sup>5)</sup> (以下スキャナ装置と呼ぶ) で計測する方法である。スリット応力解放法は、スリットを中心とした2点間の長さ変化率 (対象点距離変化率) をスキャナ装置で計測するとともに対象部材をFEM解析による逆解析を行い、計測した解放ひずみ分布を元に部材に作用している応力を逆計算する。

手順は、以下のとおりである。

- (1) 鉄筋探査により計測位置とスリット切削深さを特定する。
- (2) ひずみ計測位置を洗浄液 (アセトン等) にて清掃する。
- (3) 測定表面にスプレーを用いてデジタル画像相関法の解析時に必要なランダムパターンを設ける。
- (4) スキャナ装置により、応力解放前のコンクリート表面の計測を行う (初期画像)。
- (5) 応力作用方向に対して直角方向にコンクリートカッターで深さ約 20mm～30mm のスリットを切削する。
- (6) スキャナ装置により応力解放後のコンクリート表面の計測を行う (変形画像)。
- (7) 初期画像と変形画像によりデジタル画像相関法で解析し、解放ひずみ分布を得る。
- (8) FEM解析により逆解析を行い現有作用応力を推定する。

### 3. ASRが生じたポストテンションPC合成I桁橋の現有作用応力測定

#### 3.1 概要

調査橋梁の平面図・断面図を図-1, 2に構造諸元を表-1にそれぞれ示す。調査橋梁は、九州自動車道の福岡県みやま市山川町に架かる橋梁 (写真-1) である。本橋梁は、昭和47年に建設され、構造形式は、ポストテンションPC単純合成I桁橋 (5主桁) である。この橋梁は、平成12年の点検で主桁に変状が確認されたことから、現在、定期的に追跡調査を実施している。変状の特徴としては、主桁下フランジ (写真-2) およびウェブにおいて橋軸方向にひびわれが確認されている。雨水の影響を受ける外桁にひび割れが顕著に確認され、ひび割れ幅や長さが大きいことからひび割れの発生原因は、アルカリ骨材反応 (以下ASRと呼ぶ) と推定される。つまり、主桁には、有効プレストレス量にASRによる膨張圧が作用していることになる。ここでは、ASRの膨張圧を受けた主桁の応力状態を把握するために、G4, G5主桁の橋軸方向および橋軸直角方向に作用している現有作用応力測定を行った。

測定箇所を図-3に示す。測定箇所は、スパン中央からA2方向に約2.3m 地点の下フランジにおいて、橋軸方向に作用する現有応力を測定した。また、その近傍でひび割れが存在しない位置において、橋軸直角方向に作用する現有応力を測定した。



写真-1 調査橋梁

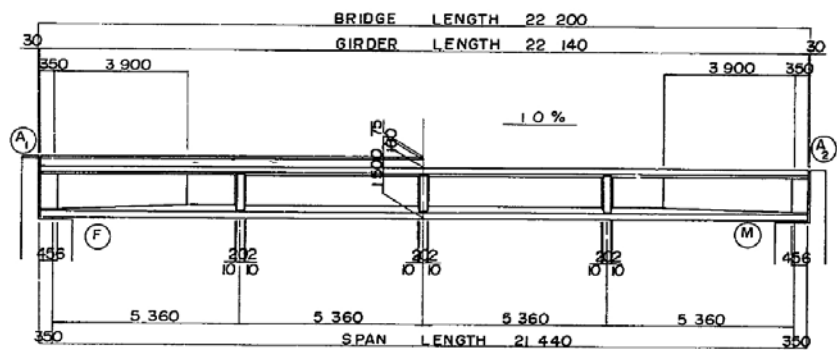


図-1 平面図

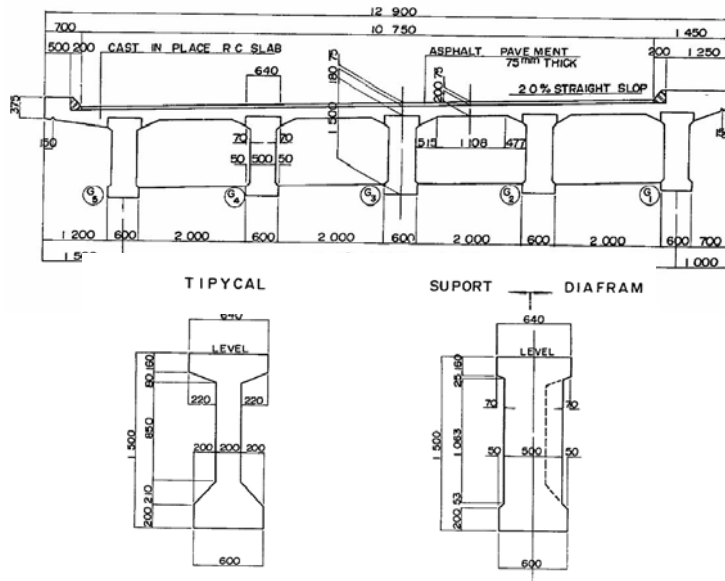


図-2 断面図

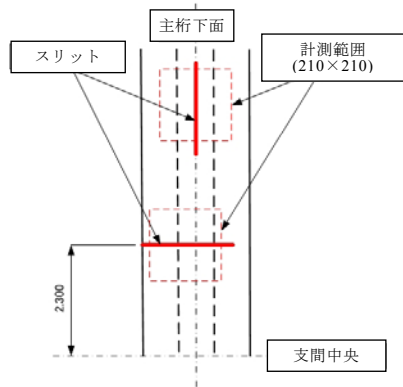


図-3 測定箇所 (G4, G5)

構造形式	ポストテンションPC単純合成I桁橋
橋台形式	控壁式橋台
適用示方書	昭和39年RC道路橋示方書昭和43年PC道路橋示方書
設計荷重	TL-20
橋長	22.200m
有効幅員	10.750m
斜角	81°20'12"~80°39'37"
設計基準強度	主桁 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 床版, 横桁 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
鋼材	PC鋼材 12- $\Phi 7$ 鉄筋 D295 $\sigma_{sa}=140\text{N/mm}^2$
その他	床版支間: 2600mm 舗装厚: 75mm, 床版厚: 200mm シーす: 7本/桁



写真-2 ひび割れ状況

### 3.2 現有作用応力測定

コンクリートカッターによるスリット切削状況とスキャナ装置による計測状況を写真-3と写真-4にそれぞれ示す。また、スキャナ装置で計測したスリット切削前後のコンクリート表面画像を図-4に示す。図の白黒の斑点は、計測前にスプレーで塗布したランダムパターンを表している。計測した対象点距離変化率分布を元に部材に作用している応力を逆計算するために、汎用解析ソフトDIANAを用いて2次元線形FEM解析を行った。現有作用応力を算出する際に使用した静弾性係数は、設計値 ( $32,000\text{N/mm}^2$ ) を用いた。また、参考としてコア値 ( $G4: 17,900\text{N/mm}^2$ ,  $G5: 9,790\text{N/mm}^2$ ) の現有作用応力も算出した。

FEM解析により逆解析して求めたG4主桁とG5主桁の橋軸方向および橋軸直角方向の対象点距離変化率分布 ( $E=32,000\text{N/mm}^2$ ) を図-5, 6に示す。また、スリット切削 (深さ20mm) 前後の画像からデジタル画像相関法によって解析した対象点距離変化率分布も合わせて示す。橋軸方向の現有作用応力推定結果 (図-5, 6(a)) において、スリットから4mm~8mm間で計測値が乱れ、8mm~100mm間では、解析値と計測値は一致している。今までの研究成果<sup>3),6)</sup>から、計測値と解析値は一致しており、スリット近傍で計測値の乱れは確認されていないことから、スリット近傍の計測値の乱れは、ASRの膨張力の影響を受けていると考えられる。橋軸直角方向の現有作用応力推定結果 (図-5, 6(b)) において、計測値と解析値は全体的に異なる推移を示していることから、橋軸方向と同様にASRの膨張力の影響を

受けていることが考えられる。計測値は、プレストレスによるひずみの開放とASR膨張ひずみの開放の両者を含んでいる。これらのひずみ量を分離できれば、ASRが生じたPC橋梁の維持管理に有用な情報になると考えるが、実験データ量が少ないため、これに関しては、今後の研究課題としたい。

表-2にG4, G5主桁の橋軸方向の現有作用応力推定結果と結果から算出した有効プレストレス量を示す。また、有効プレストレス量の設計値も合わせて示す。表より有効プレストレス量における推定値/設計値は、G4主桁：95.4%，G5主桁：104.4%となり、有効プレストレス量の大きな減少は確認されなかった。また、活荷重時の応力状態から耐荷力を十分保有していることが確認された。表-3にE(静弾性係数)=設計値とコア値により算出した橋軸方向および橋軸直角方向の現有作用応力推定結果を示す。表より橋軸直角方向には、圧縮応力が作用している結果を得た。また、G5主桁は、G4主桁に比べて大きい値を示している。これは、ASRの膨張力による影響であることを表し、G5主桁がASRによる変状が顕著であることから、その影響を多く受けていることが考えられる。



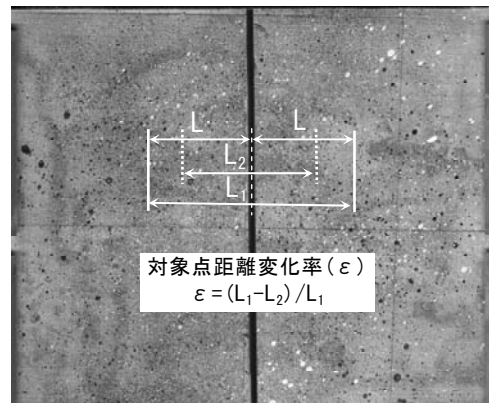
写真-3 スリット切削状況



写真-4 計測状況



(a) スリット切削



(b) スリット切削後

図-4 撮影画像

表-2 有効プレストレス量 (N/mm<sup>2</sup>)

	G4 桁	G5 桁
①現有応力推定値	3.49	4.71
②死荷重合計	-9.45	-9.45
③推定プレストレス (①-②)	12.94	14.16
④有効プレストレス設計値	13.56	13.56
⑤推定値/設計値⑤/④	95.4%	104.4%
⑥活荷重 (設計値)	-4.47	-4.47
⑦活荷重時(推定値) ①+⑥	-0.98	0.24

+圧縮応力, -引張応力

表-3 現有作用応力推定結果 (N/mm<sup>2</sup>)

桁	応力方向	静弾性係数	推定値
G4	橋軸	32,000(設計)	3.49
		17,900(コア)	1.95
	橋軸直角	32,000(設計)	0.26
		17,900(コア)	0.14
G5	橋軸	32,000(設計)	4.71
		9,790(コア)	1.44
	橋軸直角	32,000(設計)	5.14
		9,790(コア)	1.57

+圧縮応力, -引張応力



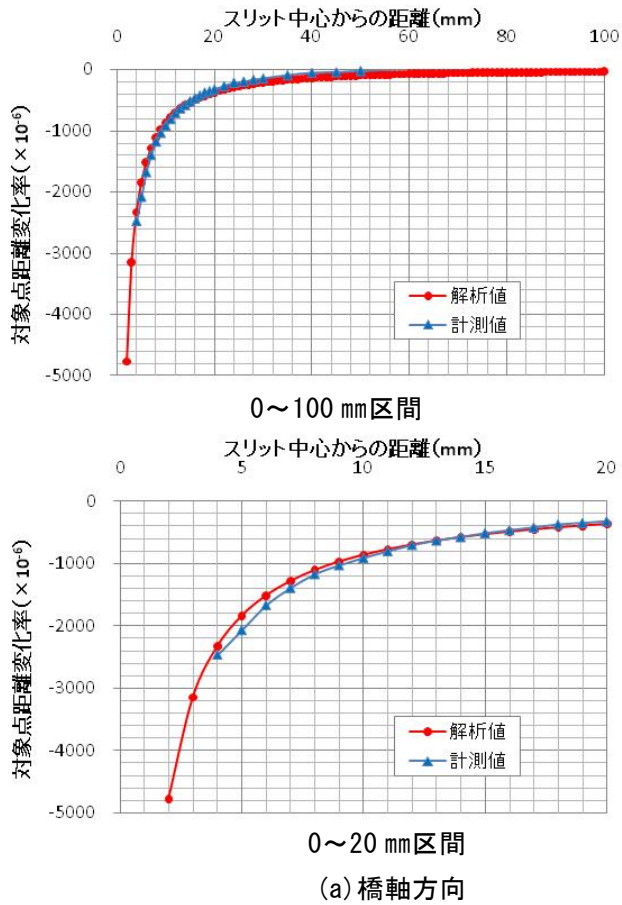


図-5 対象点距離変化率分布(G4)

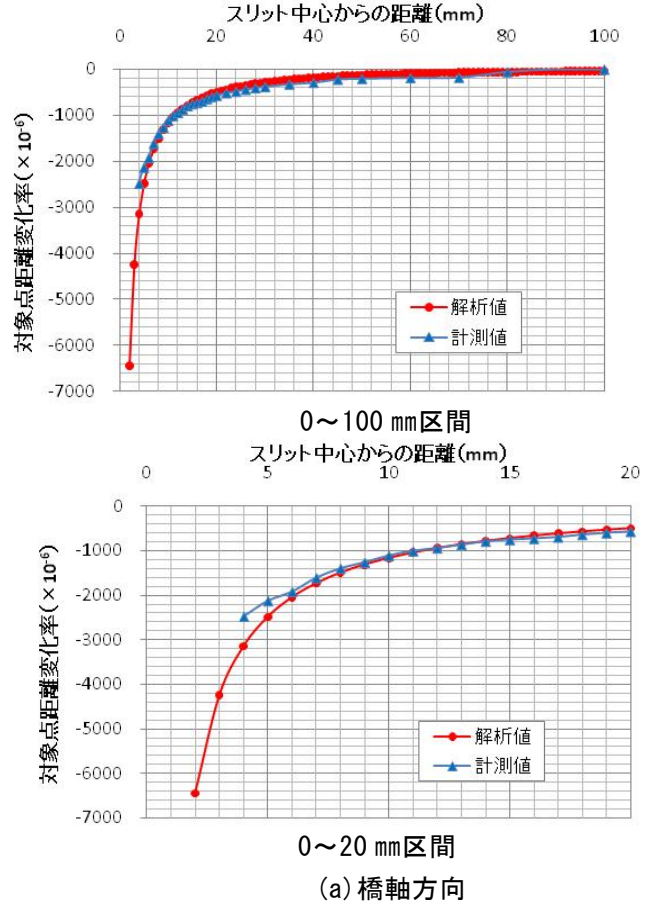
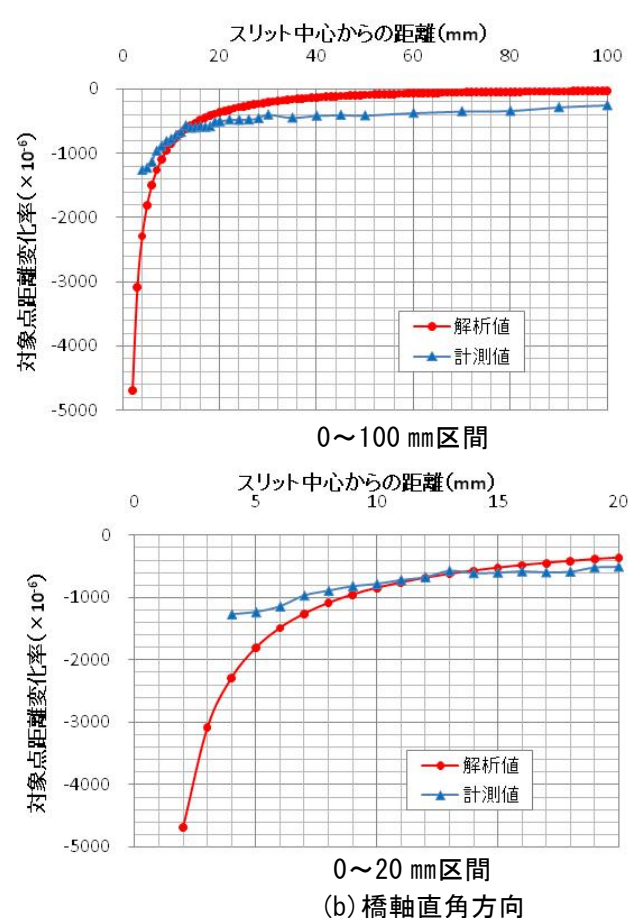
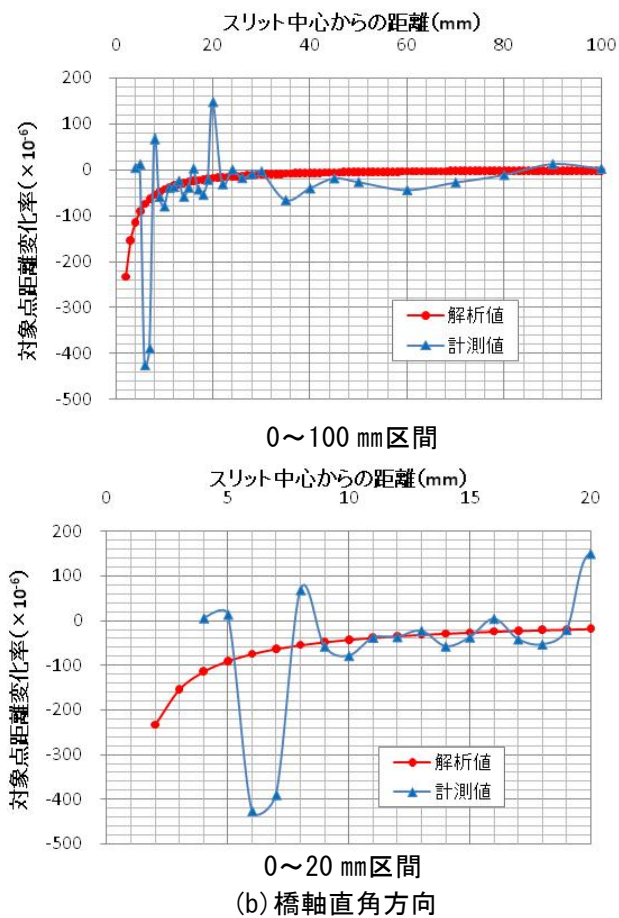


図-6 対象点距離変化率分布(G5)



#### 4. 結論

ASRが生じたポストテンションPC合成I桁橋の現有作用応力推定において以下のこと得た。

- ・有効プレストレス量の推定値/設計値は、G4主桁：95.4%、G5主桁：104.4%となり、有効プレストレス量の大きな減少は確認されなかった。よって、耐荷力を十分保有していることが確認された。
- ・橋軸方向および橋軸直角方向において、対象点距離変化率分布において計測値が乱れる結果となった。これは、ASRの膨張力により応力が乱れていることが考えられる。
- ・橋軸直角方向には、圧縮応力が作用している結果を得た。これは、ASRの膨張力による影響であると考えられる。また、G5主桁は、G4主桁に比べて大きい値を示している。これは、G5主桁がASRによる変状が顕著であることから、その影響を多く受けていることが考えられる。

#### 謝辞

本研究は、西日本高速道路エンジニアリング九州（株）藤岡靖様、（株）計測リサーチコンサルタント高橋洋一様、（株）K&T こんさるたんと肥田研一様にご協力して頂きました。ここに記して、深甚の謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 肥田研一, 神野人志, 永吉竜二, 高橋洋一, 出水享: 有ヒンジPC箱けた橋の応力解放法によるプレストレス推定と中央ヒンジ部の異常たわみ原因の推定, 土木構造・材料論文集 第21号(2005), pp.119-128
- 2) 浅井洋, 藤田学, Thomas Le Diouren, 宮本則幸: フラットジャッキを併用した応力解放法によるコンクリート部材の現有応力測定, コンクリート工学, Vol.42, No.4, pp.26-32, 2004
- 3) 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, 2010.10 pp241-246
- 4) 内野正和: デジタル画像相関法によるひずみ解析法の検討, 日本実験力学会講演論文集合同ワークショップ2006, No.6-1, pp.36-39, 2006
- 5) 本山慎一郎, 伊藤幸広, 深町卓也, 谷本健太, 松田浩, 出水享: ラインセンサスキャナタイプ全視野ひずみ計測装置を用いた表面ひずみ計測に関する基礎的研究, 日本実験力学会講演論文集, No.10 (2010) GS5-5, 278-279
- 6) 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, 日本実験力学会講演論文集, No.10 (2010) GS5-5, 281-286