

被災したPC 桁の光学的全視野計測を用いた応力解放法による健全度調査

(株)千代田コンサルタント ○永吉 竜二
 (株)K&Tこんさると 正会員 肥田 研一
 (株)計測リサーチコンサルタント 高橋 洋一
 佐賀大学 大学院 正会員 伊藤 幸広

キーワード : 現有応力測定, 現有鉄筋ひずみ計測, 耐荷力判定, 健全度調査

1. はじめに

本稿は、平成27年6月24日に鹿児島県垂水市の深港川の上流で発生した土石流により被災した国道220号に架かる橋梁において、光学的全視野計測を用いた応力解放法による健全度調査を行った結果について報告するものである。土石流は通算3回にわたり発生したが、ここでは第2回目の土石流により被災したPC桁(写真-1 参照)の残存プレストレスを確認し、復旧の可能性を判定するための調査計画・計測・判定・設計について紹介する。残存プレストレスを推定する照査方法としては載荷試験によるひずみ測定や変形測定があるが、現地の状況や橋梁の構造から直接的に必要な部位の残存応力を測定できる光学的全視野計測を用いた応力解放法と鉄筋切断法とを併用した^{1~3)}。その結果、PC鋼線に損傷がないことが確認できたため補修設計を実施することとした。



写真-1 被災状況 (2015年6月24日)

2. 応力調査

2.1 応力調査の概要

橋梁一般図、橋梁諸元を図-1、表-1に示す。巨石の衝突により損傷した主桁の残存プレストレスを確認するためにコンクリートと鉄筋の応力調査を実施した。調査方法としては一般に、静的載荷試験、動的載荷試験、応力頻度測定などが用いられている。

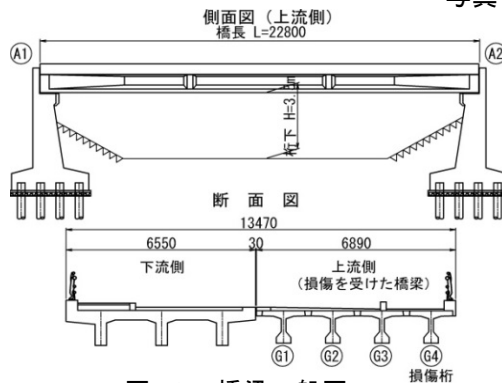


図-1 橋梁一般図

表-1 橋梁諸元

完成年	1971年 (昭和46年)
橋梁形式	PC単純ホーステン桁橋
橋長	22.800m
支間長	22.000m
幅員	6.890m
橋格	1等橋 (TL-20)
適用示方書	道路橋示方書 (昭和39年)
横断勾配	1.5%
斜角	90°

本橋では、現地の状況から橋面が使用できないこと。静的載荷試験から残存プレストレスを算定するには主桁剛性や断面性能などに推定値を用いて算定することとなることなどから以下の二つの計測を併用した。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応力計測と呼ぶ)、②鉄筋切断法による現有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応力計測および

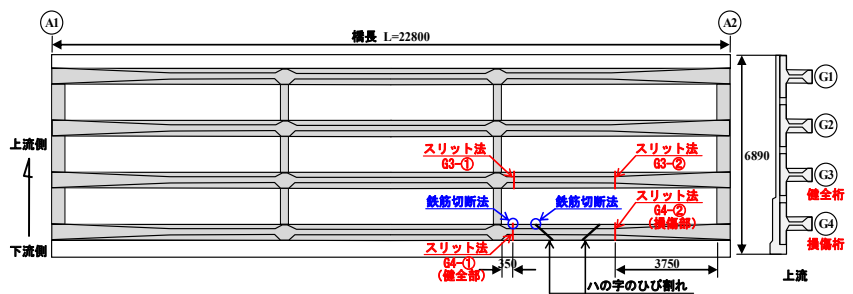


図-2 応力調査位置

現有鉄筋ひずみ計測は、図-2に示すように損傷桁であるG4桁と健全桁であるG3桁の下フランジ下面での2箇所、計4箇所を実施した。現有鉄筋ひずみ計測は、損傷桁であるG4桁の損傷個所と健全な個所の2カ所で行った。なお、スリット応力解放法による現有応力計測を実施した後、鉄筋切断法による現有鉄筋ひずみ計測を実施した。

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応力測定

(1) スリット応力解放法の原理

スリット応力解放法による現有応力計測は、一様に圧縮応力が生じているコンクリート部材にかぶり程度の深さで、長さ200mm以上のスリットを切削し解放ひずみを計測し現有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⁴⁾を用いる

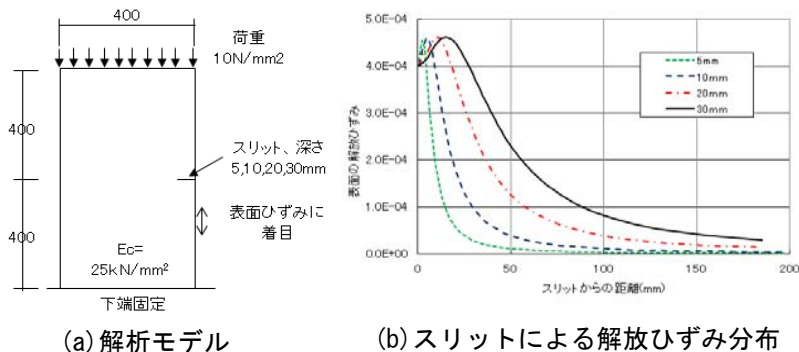


図-3 スリット応力解放法の解析モデルと解放ひずみ分布

ところに特徴がある。一様に圧縮応力が生じ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。光学的全視野計測法を用いることにより、この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。

(2) 計測結果

図-3に解析モデルと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示す。スリット応力解放法による現有応力計測は、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(図-5)を用いた対象点間距離変化率(図-6)より対象点間距離変化率分布(図-7)を求める。光学的全視野ひずみ計測法で計測された対象点間距離変化率を2次元FEM解析モデルにより解析を行い、計測結果の対象点間距離変化率分布と同一となる応力を逆解析にて求める。逆解析の結果、G3桁(健全桁)とG4(損傷桁)のコンクリート応力は、表-2に示すような圧縮応力が生じていると推定された。図-7に、G4(損傷桁)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、設計値の $E_c=35\text{kN/mm}^2$ とした。調査時の荷重状態を再現した格子計算の主桁下縁の設計値と計測値の応力分布を図-8に示す。支間中央に近い調査位置①の計測結果は、損傷桁の方が健全桁より大きな応力状態となっているが、損傷桁と健全桁のスリット応力解放法による現有応力調査結果は $4\sim 6\text{N/mm}^2$ と大きな差異はなく応力上の異常は認められなかった。この現有応力は調査時の荷重状態を再現した設計値(約 6N/mm^2)とは大きな差異はないものであった。このことより、損傷桁の現有応力には異常はないものと判断された。

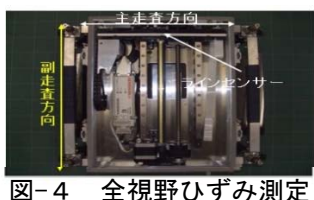


図-4 全視野ひずみ測定

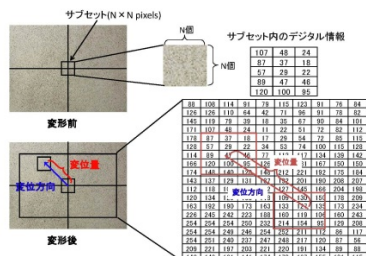


図-5 デジタル画像相関法

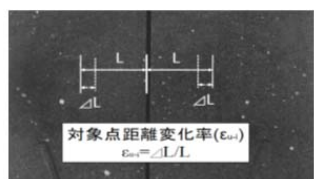


図-6 対象点間距離変化

表-2 現有応力計測結果

		現有応力 $\sigma_c \pm \Delta$	コンクリートひずみ ϵ_c
G3	①	$4.52 \pm 0.35 \text{ N/mm}^2$	129.1×10^{-6}
	②	$4.63 \pm 0.21 \text{ N/mm}^2$	132.3×10^{-6}
G4	①	$5.60 \pm 0.70 \text{ N/mm}^2$	160.0×10^{-6}
	②	$4.52 \pm 0.52 \text{ N/mm}^2$	129.1×10^{-6}

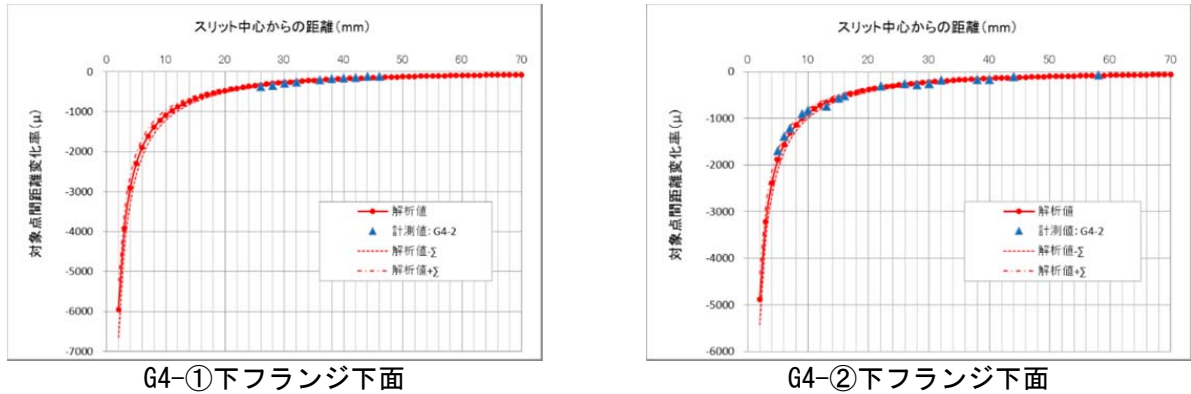


図-7 対称点間距離変化率分布

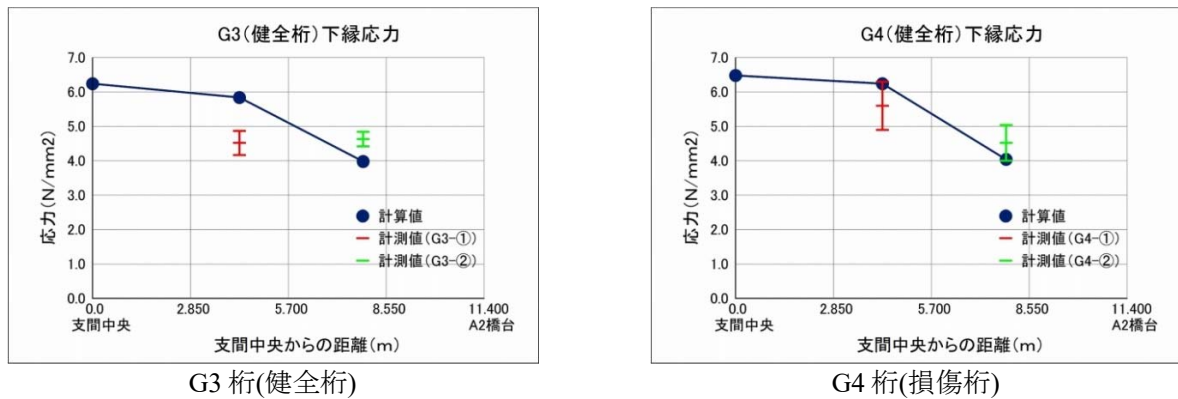


図-8 主桁下縁の応力分布(設計値・計測値)

2.3 鉄筋切断法による現有鉄筋ひずみ計測

PC 橋に配置されている鉄筋には、その位置での現有応力による弾性ひずみとクリープ・乾燥収縮ひずみおよび土石流の影響による残留ひずみが生じている。鉄筋切断法の調査結果である解放ひずみを表-3に示す。損傷部・健全部に解放ひずみは引張ひずみが計測されているため、圧縮応力が鉄筋に生じていた。ここに損傷部の解放ひずみは 1085μ 、健全部の解放ひずみは 771μ であった。損傷部と健全部の解放ひずみには大きな違いはなく土石流による損傷が鋼材等に与えた影響は少ないものと思われる。

しかし、健全部と損傷部との鉄筋ひずみ差 314μ は残留ひずみの可能性があるため、残留ひずみが耐荷性能に与える影響を検証する必要がある。

3. 降伏したPC鋼線を有するPCT桁の耐荷性能

3.1 降伏したPC鋼線の応力-ひずみ関係

2.3 鉄筋切断法による現有鉄筋ひずみ計測より鉄筋に 314μ の残留ひずみが生じていると考えられる。ここでは、同様にPC鋼線も降伏していると考えた場合の主桁の耐力について考察する。当該橋梁の主桁にはPC鋼線 $12\phi-7$ が8本配置されている(図-9参照)。この内、下フランジ外側に配置された2本のPC鋼線が降伏している可能性が最も高い。いま、PC鋼線1本に着目する。PC鋼線の応力-ひずみ曲線は2点の降伏点を有するトリリニアの骨格曲線で表せられる⁵⁾。破断していないが降伏点を越えたPC鋼線の除荷勾配を弾性域と同じく E_s と考えると、①死荷重状態、②土石流の衝突による荷重、③除荷、④供用荷重(活荷重)の応力-ひずみ履歴は図-10のとおりである。ここに、想定される残留ひずみ 314μ は第1降伏点ひずみ (6804μ)、第2降伏点ひずみ (15000μ) に比較して小さいもの

表-3 鉄筋切断法計測結果

損傷部	健全部
解放ひずみ 1085μ	解放ひずみ 771μ
	

である。

3.2 主桁断面の耐力

(1) 供用荷重時の耐力

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応力測定よりプレストレスは有効に導入されていると判断されるため、供用荷重時には残留ひずみが残ったままではあるがPC鋼線は弾性の挙動を示し、桁の耐力は従来どおり確保できていると考えられる。

(2) 終局荷重時の耐力

PC鋼線の応力-ひずみ曲線は第2降伏点を越えた後にひずみは $\epsilon = 20000 \mu$ まで水平に増加できる。一方、圧縮側のコンクリートの終局ひずみは $\epsilon_u = 3500 \mu$ であるためPC鋼線の破断より先にコンクリートが圧壊することとなる。したがって、降伏したPC鋼線を有する損傷部の終局荷重時はPC鋼線の降伏の影響に係わらずコンクリートの圧壊より決まるため、終局耐力には影響しないといえる。

3.3 橋梁全体の耐荷性能

損傷部は支間長 L の約 $1/4$ 点である。等分布荷重が作用した場合の支間中央の曲げモーメント $M_{1/2}$ は支間の $1/4$ 点の曲げモーメント $M_{1/4}$ の $4/3$ となる。これに対して損傷部 $1/4$ 点の曲げ耐力は、3.2 主桁断面の耐力より、損傷部の PC 鋼線が降伏の影響を受けていたとしても曲げ耐力を保有しており橋梁全体の耐荷性能には問題ない。

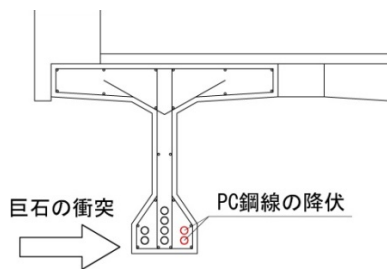


図-9 鋼材配置

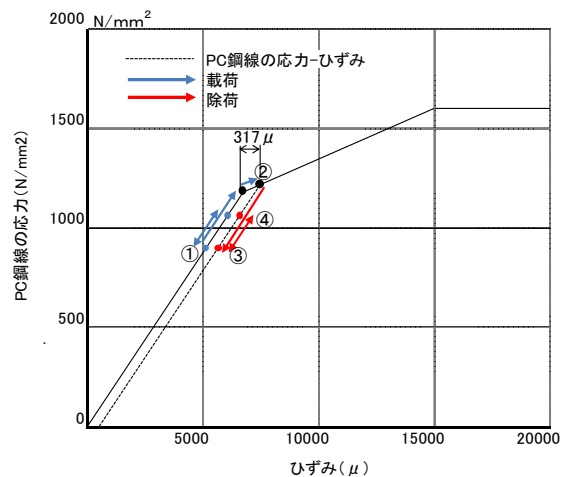


図-10 降伏したPC鋼材の応力-ひずみ関係

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応力計測と鉄筋切断法による現有鉄筋ひずみ計測を実施することにより被災したPC桁の健全性を確認することが出来た。この計測方法は被災橋梁の橋面を使用することなく、桁下面からの作業でコンクリートと鉄筋の直接的なひずみを計測して精度の良い主桁の応力状態を知ることにある。ただし、2015年7月28日に発生した3度目の土石流によりPC桁は破壊したため、現在は仮設橋による迂回処置により国道は供用されている。

【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, pp. 241-246, 2010. 10
- 2) 肥田研一, 伊藤幸広, 月原光昭, 小板橋晴之: 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, 第22回シンポジウム論文集, pp. 345-348, 2013. 10
- 3) 肥田研一, 中澤治郎, 芳賀堯, 米本雅紀: 塩害損傷を受けたプレテンションPCT桁の残存プレストレス調査と補強設計報告, 第24回シンポジウム論文集, pp. 441-444, 2015. 10
- 4) 松田浩: 光学的非接触全視野計測法によるコンクリート構造物のマルチスケール診断法の開発, 国土交通省建設技術研究開発費補助金総合研究報告書, pp. 63-74, 2010. 7
- 5) 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編, 平成24年3月日本道路協会, pp. 142-147