

穿孔法による死荷重計測を用いたトラス橋の耐力評価 およびFBGセンサによる疲労き裂進展無線モニタリング

福本伸太郎^{*1} 鈴木 優平^{*2} 寺岡 毅^{*3}
Fukumoto Shintaro Suzuki Yuhei Teraoka Takeshi
 横山 勇気^{*4} 塩谷 智基^{*5}
Yokoyama Yuki Shiotani Tomoki

建設から50年以上経過した橋梁の増加に伴い、検査に関する技術者不足と維持管理コスト増大が懸念されており、効率的な維持管理手法のニーズが高まっている。維持管理の効率化を図るため、国立大学法人京都大学インフラ先端技術産学共同講座では、各種モニタリング技術の確立に向け、産官学が連携し、実橋梁を用いた検討を行うなど精力的に活動している。当社も本講座に参画しており、本稿ではその活動の一部を報告する。

キーワード：トラス橋、穿孔法、死荷重、FBGセンサ、無線計測モニタリング

1. はじめに

今回の対象橋梁は、表1に示す橋長87.6mの3連の鋼溶接リベット単純トラス橋である。目視点検および詳細調査の結果、各径間の横桁にき裂の発生が確認されており、通行できる車両の重量制限が設けられている。著者らは、本橋梁の交通

表1 橋梁の概要

建設年(供用年)	1956年(供用65年)
上部工形式	3径間鋼溶接リベット単純トラス橋
下部工形式	重力式橋台(杭基礎、直接基礎) ラーメン橋脚(直接基礎)
橋長	87.6 m
全幅員	5.18 m
支承構造	固定:ピン支承 可動:ピンローラー支承
床版厚	150 mm
交通量	919台/12h (大型車:34台/12h)

可能な車両重量の確認、およびき裂発生原因の究明を目的とした各種計測を実施した。

2. 計測の概要

2.1 活荷重時および死荷重時の応力計測

一般に、橋梁耐力は活荷重と死荷重により発生する応力により評価される。活荷重は車両などにより時間とともに変化する荷重、死荷重とは構造物の自重のように時間経過により変化しない荷重とされている。活荷重時の応力はトラックによる載荷試験時に、ひずみゲージによる計測で直接的に求めることが可能である。一方、死荷重時の応力は通常、設計値やFEM(有限要素法)解析などから求めた値を用いているため現状の値が不明瞭である。そこで現状の死荷重時の応力を穿孔法⁽¹⁾に

*1：研究開発センター 研究開発グループ

*2：研究開発センター 研究開発グループ 博士(工学)

*3：京都府 山城北土木事務所 道路計画課 第二係 主査

*4：国立大学法人京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座 博士(工学)

*5：国立大学法人京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座 博士(工学) 特定教授

より計測した。穿孔法は、ドリルで穿孔したことにより発生する解放ひずみをひずみゲージで計測し、応力を求める方法である。穿孔は深さ方向に段階的に実施するため、深さ方向の応力分布を得ることができる。部材中に既に発生している応力を求める方法は複数存在するが、穿孔法は今回のような橋梁部材の表層の内在応力計測に対して最

も適した方法の一つである。本試験では深さ1mmまで計測し、そのデータの表面付近の応力値をその位置における死荷重時の応力として取り扱っている。

穿孔法による計測箇所は、第一径間の中央部および端部のトラス下弦材下面(図1の青丸)の2か所である。図2に穿孔装置、図3に穿孔法で用いた

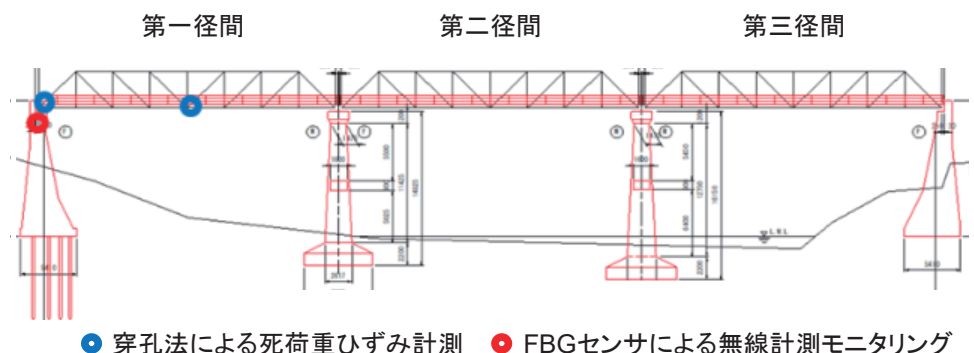


図1 計測箇所

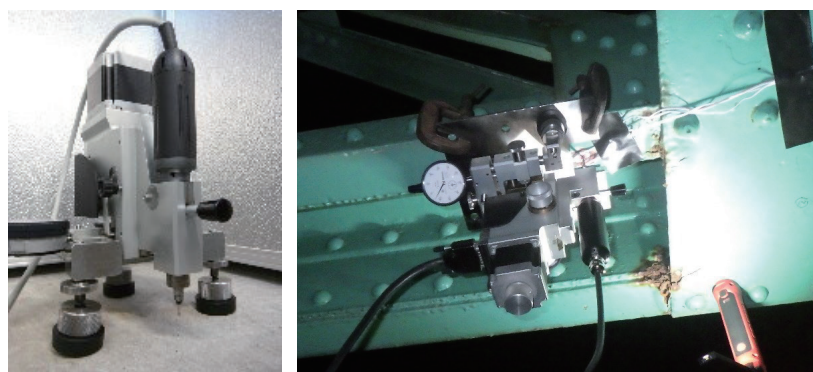


図2 穿孔装置 (左: 装置単体、右: 現地設置状況)

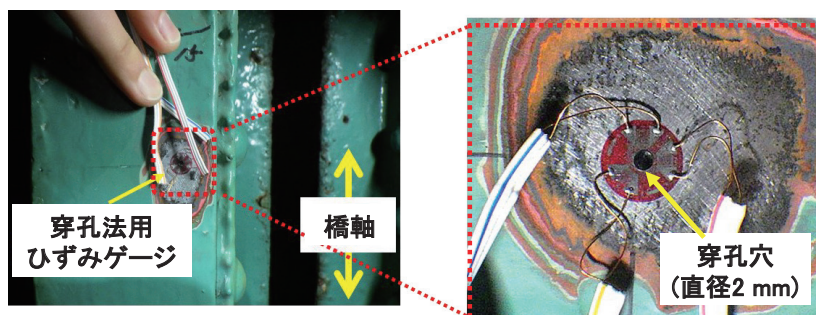


図3 穿孔法で使用する3軸ひずみゲージ

3軸ひずみゲージを示す。なお、このひずみゲージを流用することにより、ほぼ同じ位置において活荷重時の応力と死荷重時の応力を計測している。

2.2 FBG センサによる無線計測モニタリング

図1に示す支承位置(赤丸)の横桁に疲労き裂が発生し、き裂の進展を防ぐためにストップホール(き裂の先端部分を除去するために設けられる円孔)を設けている。さらにき裂の進展を監視するため、き裂が進展した際には、ストップホール周辺でひずみ変化が起こると想定し、FBG (Fiber Bragg Grating) センサを図4のようにストップホール近傍に貼り付けた。温度用FBG センサとひずみ用FBG センサ①は道路の路面に対して垂直方向に、ひずみ用FBG センサ②は水平方向に設置した。また長期間の計測であるため、センサの劣化

がないFBG センサを使用し、電源不要で遠隔地から無線計測できるモニタリングシステム(図5)を使用した。なお、図6に示すように本システムは橋台内側に、太陽光パネルは橋脚に設置した。

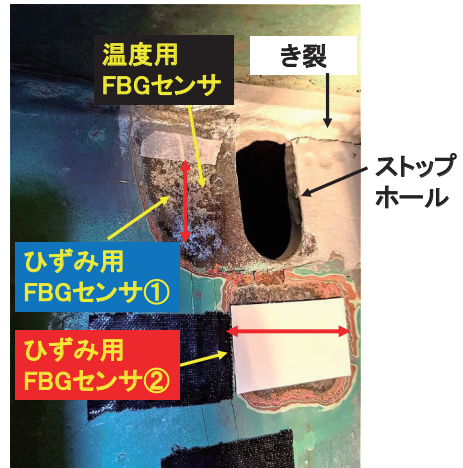


図4 FBG センサ設置状況

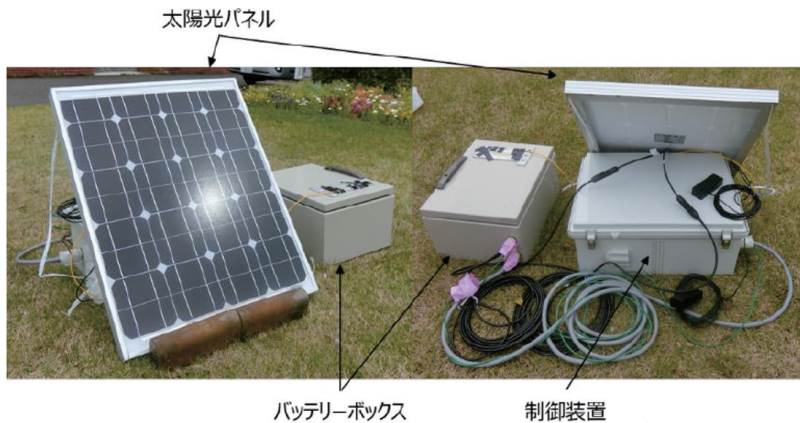


図5 無線計測モニタリングシステム



図6 システム設置状況

3. 計測結果と考察

(1) 活荷重時および死荷重時の応力計測

穿孔法によって計測される応力には、死荷重応力の他に、溶接による残留応力、製作時の加工応力などが含まれている。そこで本評価では、①曲げモーメントが最大となる径間中央、②曲げモーメントがほぼ0となる径間端部付近で計測した。橋梁部材が同様な方法で製作され、溶接部から十分に離れていれば、①から②を引いた値が死荷重による発生応力として取り扱うことが可能であると考えられる。図7に死荷重と活荷重による発生応力を示す。その結果、径間中央部の死荷重による発生応力は、109MPaとなった。なお、解析で

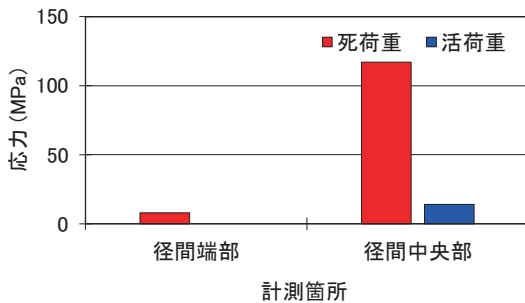


図7 死荷重と活荷重による発生応力

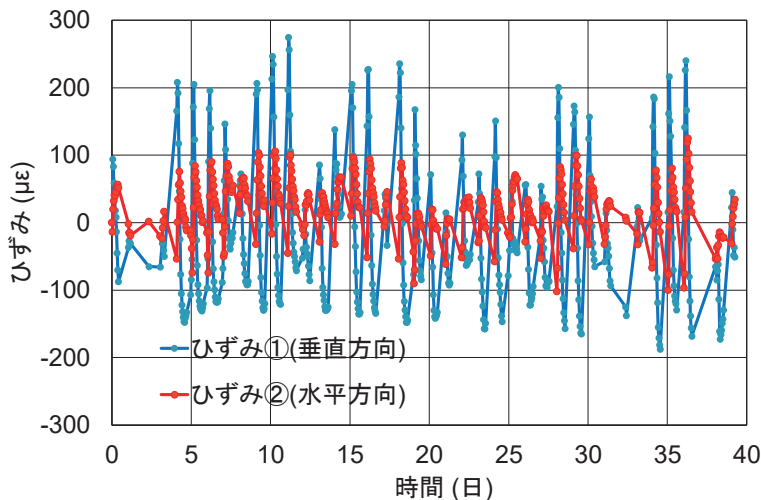


図8 40日間のひずみ計測結果

は72MPaであったが、この差異の原因は、解析モデルが単純梁であることなどの理由が考えられるが、今後より詳細な検討を実施する。活荷重による発生応力に関しては、径間中央部で14MPaの引張応力であり、端部はほぼ0となった。径間中央部において死荷重による発生応力(109MPa)を加えると、123MPaとなり、使用鋼材(SS400)の許容応力(240MPa)内に収まり、耐力上問題ないといえる。なお許容応力は、引張強さの6割(144MPa)とした。

(2) FBG センサによる疲労き裂進展無線モニタリング

図8に40日間(2021/12/5 9:00～2022/1/13 15:00)のひずみ計測結果を示す。なお、計測間隔は1時間に1回である。き裂が進展するとひずみの変化も生じ、ひずみ $0\mu\epsilon$ から上または下に変化していくと考えられる。図8の結果では、温度の変化によってひずみ変化が確認できるが、24時間を1周期として、ひずみの平均値はほぼ $0\mu\epsilon$ から変化しておらず、き裂はストップホールから進展していないと判断した。

4. まとめ

橋梁耐力を活荷重と死荷重応力から評価した結果、20tトラック1台載荷時では、主構および横桁は許容範囲内であり、当該部材は耐力上問題ないことが確認された。また、死荷重による応力計測を穿孔法で行い、実荷重を反映した橋梁の耐力を評価することができた。

橋梁は、山間部など、電源施設のない箇所が多くあるが、太陽光発電を備え、Wi-Fiによる無線通信を用いれば、国内橋梁を対象とした無線システムによるひずみ測定は可能であり、効率的な維持管理手法となる。

謝辞

本計測を実施するにあたり、京都府および京都大学インフラ先端技術産学共同講座の関係者各位にご協力いただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

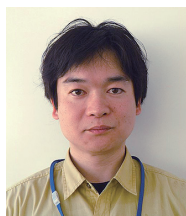
- (1) 三上隆男：穿孔法による残留応力測定について(その1)、IIC REVIEW、No.48、2012/10、pp.53-65



研究開発センター
研究開発グループ

福本伸太郎

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



研究開発センター
研究開発グループ

博士(工学)

鈴木 優平

TEL. 045-791-3522
FAX. 045-791-3547



京都府 山城北土木事務所
道路計画課 第二係
主査

寺岡 毅

TEL. 0774-62-0699
FAX. 0774-65-2649



国立大学法人京都大学大学院
工学研究科 社会基盤工学専攻
インフラ先端技術産学共同講座
博士(工学)

横山 勇気

TEL. 075-383-3495
FAX. 075-383-3495



国立大学法人京都大学大学院
工学研究科 社会基盤工学専攻
インフラ先端技術産学共同講座
博士(工学) 特定教授

塩谷 智基

TEL. 075-383-3495
FAX. 075-383-3495