

True behavior and analysis by the temperature change of the existing small steel bridge

○高橋 明彦[†] 近藤 直輝^{**} 葛西 智文^{**} 大西 弘志^{***} 岩崎 正二^{****}
Akihiko Takahashi Naoki Kondo Tomofumi Kasai Onisi Hiroshi Shoji Iwasaki

Local municipalities are managing a lot of small and medium-sized bridge. On the other hand, lack of resources associated with the aging population and aging infrastructure is progressing rapidly in the local municipalities. And, in order to relief the existing bridge's maintenance cost, in addition to maintenance technique of digit end, there is a need for further engineering development. In this paper, data collection in the existing bridge is taken up and horizon and vertical displacement using the displacement meter and temperature distribution of superstructure using the Infrared camera are carried out. The purpose of this paper is make suggestions of new maintenance technique by comparing the analysis result obtained by three-dimension fem analysis with the observation result obtained from existing bridge.

Key Words: 維持管理, 小規模橋梁, 変位計測, 赤外線サーモグラフィー
maintenance, small bridges, displacement measurement, infrared thermography-image

1. はじめに

自治体等の道路管理者が維持管理する小規模橋梁では、従来の構造系を踏襲し、劣化部の事後保全対策・予防保全対策を行うのが通例となっている。例えば支承における従来の対応策では支承の機能回復が管理者の意図した水準に達せず、健全性に問題を残すことがある。

一方、新設の小規模橋梁には、門型ラーメン構造やインテグラルアバット構造等の橋台部ジョイントレス構造が道路橋示方書下部構造編に示され、直接基礎の同形式化も検討が報告⁴⁾されている。これらのことから、著者らは橋梁の設計概念を見直し既設橋梁の上下部工一体構造化による小規模橋梁の維持管理の合理化を検討している。

本研究では上下部一体構造化を考える際に問題となる、小規模鋼橋の温度変化による挙動を24時間の計測により確認し、FEMによる挙動再現を試みたものである。

2. 対象橋梁および試験方法

2. 1. 対象橋梁概要

対象橋梁の選定には市町村に多く架橋され、温度変化に伴う影響が大きく影響を受ける橋とした。

の中でも橋時スเปックが活荷重たわみで桁構造が決定し、支承機能低下が確認される事例の多い鋼製線支承が準化されている鋼単純H桁橋を対象とした。対象橋梁の諸元を表-1に全景写真を写真-1、2に示す。

本研究の対象橋梁は、アスファルト再舗装・地覆および高欄の更新・桁体および支承の塗装塗り替え工事が平成26年に実施されている。

しかし、支承とソールプレート部の塗装には移動の痕跡が確認されず、支承機能の回復対策が実施されていないことが現地踏査時に確認された。

表-1 対象橋梁諸元

諸 元	
上部工形式	鋼単純合成H桁
下部工形式	重力式橋台(直接基礎)
竣 工 年	昭和45年3月
補修更新年	平成26年
設 計 基 準	昭和39年鋼道路橋設計示方書
設計活荷重	TL-14
橋 長	26.050m (桁長 26,000m)
幅 員 構 成	0.500+5.500+0.500=6.500m
床 版 形 式	鉄筋コンクリート床版 t=19cm
舗 装 形 式	アスファルト舗装 t=8cm
主 桁 材 質	SM490Y
補 修 履 歴	舗装・地覆・高欄更新、主桁塗装、床版補強

[†]技術士(建設部門) 岩手大学大学院工学研究科博士後期課程(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) 非会員

^{**}岩手大学大学院工学研究科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) 非会員

^{**}岩手大学大学院工学研究科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) 非会員

^{***}工博 岩手大学理工学研究科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5) 第2種正会員

^{****}工博 (株)昭和土木設計(〒020-0891 岩手県紫波郡矢巾町流通センター南4-1-23) 第2種正会員



写真-1 正面



写真-2 側面

2. 2. 試験方法

本研究では、温度変化と時間の経過に伴う橋梁の挙動を把握することを目的に試験を行うものとして気温上昇が大きい平成27年8月上旬に現地での挙動を把握する試験を行った。

外気温の変化および直射日光の照射に伴う上部構造への入熱、上部工を構成する材料の物性値の相違により上部工の水平変位および垂直変位の発生状況や下部工の変位を確認できるように計測機器を設置し、24時間連続で計測を実施した。変位の計測には、変位計とレーザー距離計を使用し、上部工表面の温度測定には、赤外線サーモグラフィを使用した。外気温と局所的桁体正面温度確認用として熱電対を使用し、以下の①～④のデータを収集した。

- ① 床版および桁体の時刻歴温度変化
- ② 桁体伸縮挙動による橋台への影響の把握
- ③ 各支点の挙動の把握
- ④ 支間中央付近のたわみ挙動の把握

試験に使用した機器一覧は、表-2に示すとおりである。

表-2 使用機器一覧

	数量	備考 (使用機器規格等)
変位計 (水平)	6 組	SPD-50, CPD-10
変位計 (鉛直)	3 組	CDP-50
レーザー距離計	2 か所	
熱電対	5 か所	
赤外線カメラ	1 組	InfReC R300SR
データレコーダー	1 式	TDS-150, TDS-530
発電機	1 式	

対象とした橋梁の構造及び計測機器の設置位置は、図-1, 2, 3に示したとおりである。レーザー距

離計による橋台水平変位計測では、A1 橋座上に距離計, A2 橋座上にレーザーが当たるターゲットを設置した。距離計及びターゲット設置位置は上流側主桁 G1 と下流側主桁 G3 付近の橋座上に 1 個ずつ、計 2 個設置した。橋台間の水平変位計測用に、各主桁の両端に変位計を 1 個ずつ、計 6 個設置した。また、河川上に単管パイプの矢倉を組んで変位計を設置し、各主桁中央から単管パイプをぶらさげて変位計の先端に当たるようにして、上部工の鉛直変位計測を行った。鉛直変位計測では各主桁中央に変位計を 1 個ずつ、計 3 個設置した。写真-1~6 は各計測機器の設置状況である。

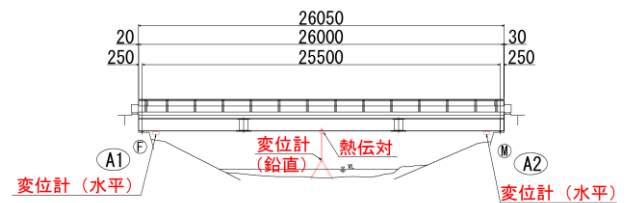


図-1 計測機配置図 (側面)

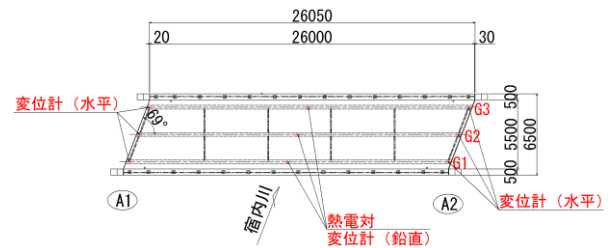


図-2 計測機配置図 (平面)

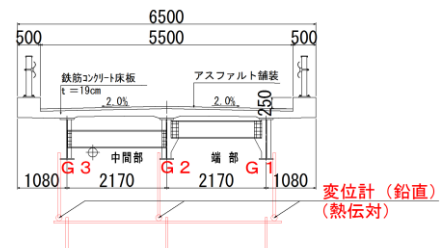


図-3 計測機配置図 (断面)



写真-1 レーザー距離計
設置状況



写真-2 ターゲット設置状況



写真-3, 4 変位計（水平）設置状況



写真-5, 6 変位計（鉛直）鉛直変位計

3. 試験結果と考察

3. 1. 計測時の環境

計測は、平成27年8月8日14:00～9日13:00にかけて行った。天候は8月8日が晴れで気温の上昇が確認されたが9日は曇りから小雨に変化した中で行った。

3. 2. 床版および桁体の時刻歴温度変化

図を省略するが時間経過による外気温の変化と日射の影響を受けて、橋梁部材の部材温度が変化することが確認された。また、橋梁形式が上路式単純桁であったことから、床版張り出しによって生じた桁上部の日影部と直射日光照射の影響を受ける桁下部との温度差が著しいことが確認された。

写真-7～写真-9に赤外線サーモグラフィーで撮影した上部工の温度分布画像を示す。温度レンジを一定としている。



写真-7 赤外線サーモグラフィー画像
(8月8日 14:00)



写真-8 赤外線サーモグラフィー画像
(8月8日 17:00)

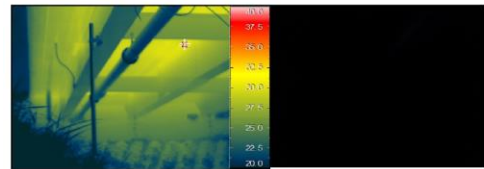


写真-9 赤外線サーモグラフィー画像
(8月8日 22:00)

舗装面及び床版、各主桁、外気穩の温度変化については、1時間毎に計測した。計測したそれぞれの温度変化結果を図-4に示す。この時の橋体及び床版の温度は、計測された。高温度をプロットしたものである。図-4から14時と17時を床版の下面温度を対比した場合、17時の床版下面温度が上昇していることが確認できる。24時の画像は、桁体温度が低下しても床版温度の低下が遅いことが確認できる。

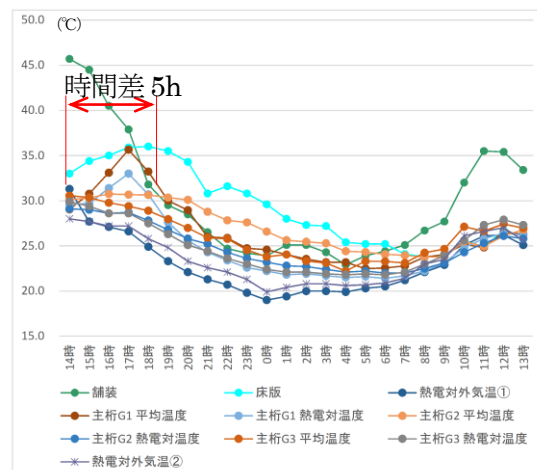


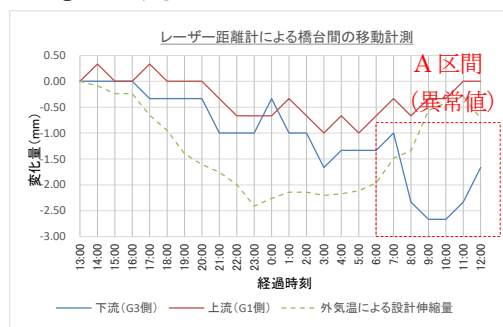
図-4 外気温度と橋体温度の時間的変化

図-4の特徴として、舗装面表面温度のピークを14時とした場合、床版の表面温度のピークが19時を示していることから、アスファルト舗装（ $t=8\text{cm}$ ）を介して、床版コンクリート（ $t=19\text{cm}$ ）下面への熱の伝導に5時間程度要することが確認された。

3. 3. 桁体伸縮挙動による橋台への影響の把握

橋台の上下流の2ヶ所に配置したレーザー距離計の計測結果は、鋼材の線膨張係数と異った伸縮挙動を示していた。下流（G3側）の計測値（A区間）は、計測過程で変位計ケーブルがレーザービームと干渉したため異常値とした。また、設計伸縮量に対し、1/6程度の伸縮量しか確認できなかった。図-5は橋台間を計測した値をグラフ化

したものである。

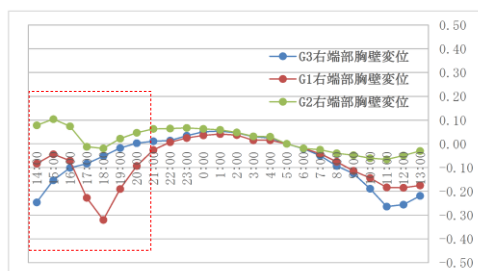


図－5 A1－A2 間距離の変動計測結果

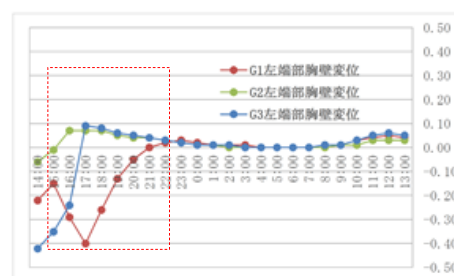
3. 4. 各支点の水平挙動の把握

図 - 6 及び図 - 7 は、両橋台に設置した水平変位計を計測した結果のグラフである。このグラフは、橋体全体の温度が一定に近づいた AM5 時を基準と補正したものである。

両グラフ共に 14 時から 21 時までの間変化が大きい結果を得ている。物体温度の上昇に対し伸縮が逆転していることから、 で囲った範囲の値は信頼性の低いデータと判断した。信頼性の低いデータとした理由は、水平変位計の針設置点が斜角を有しており、計測時に走行した大型トラックの影響で変位計の先端がずれた可能性と温度変化が急激な時間帯であることから、複雑な熱伝達も相まって、ばらつきの大きい結果となった可能性がある。これ以外の走行車両は、乗用車と軽トラックが数台であった。しかし、気温と構造物の温度が一定に近づくとつれて、全主桁挙動が一定になってきている。また、主桁取り付けのソールプレートと鋼製線支承の取り付け精度は 4mm 余裕やアンカーボルトと鋼製線支承アンカー設置孔の取り付け精度 5mm の余裕を標準図で持たせている。橋体の温度変化による伸縮挙動を調整する支承部機能としては、A2（可動）支承は、外気温の変化で相対変位が 0.5mm と線膨張係数から得られる設計値の 1/5 程度であった。A1（固定）支承は、信頼性の低い区間を除き、挙動がほとんど確認されず、固定支承として機能しているものと判断した。



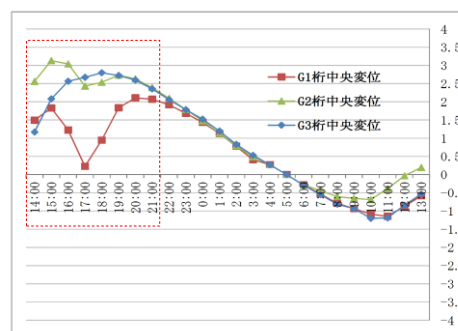
図－6 A2（可動）橋台間の水平挙動



図－7 A1（固定）橋台間の水平挙動

3. 5. 支間中央付近のたわみ挙動の把握

図－8 は、支間中央のたわみ計測値をグラフ化したものである。水平変位挙動の信頼性の低い区間と同様の範囲についてのばらつきの大きい結果が確認された。気温が一定に近づくとつれて、変直変位が一定になってきていることが確認される。直射日光が照射された順から、各主桁の挙動に変化が確認されている。

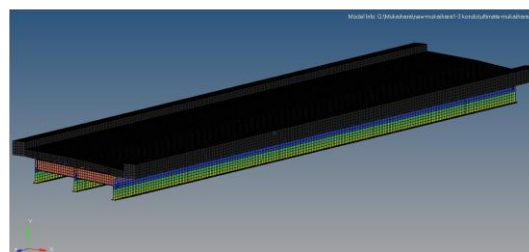


図－8 支間中央断面の鉛直挙動

4. 実橋解析

4. 1. 解析モデルの概要

解析モデルは、対象橋梁を計測し、得られた形状寸法について、SOLIDWORKS3 次元 CAD と HyperMesh を用いて、3 次元 FEM モデルを構築し、解析するものとした。図－9 に FEM 解析モデルの全体俯瞰図を示す。



図－9 解析モデル（全体鳥瞰図）

4. 2. 解析条件及び解析ケース

物性値については、道路橋示方書（H24）と架

橋当時の鋼道路橋設計示方書及び鋼単純 H 桁橋カ
タログを参考に入力した。

条件設定は、現地試験から入手したデータから、
解析モデルの条件設定を行った。

上部工モデルは、現地計測結果から、分割する
メッシュ数を勘案した3次元FEMモデルを作成し
た。温度度入力条件は、赤外線サーモグラフィ
画像から得た温度値を次のように入力した。

①舗装の温度は、計測された温度を舗装厚さ内一
定温度として入力し検証した。

②床版コンクリートの温度は、桁間の床版下面で
計測された温度を床版厚内一定温度として入力し
た。

③桁体温度の入力は、上フランジ・下フランジ・
ウェブで得られた温度を入力した。主桁ウェブは、
上下4分割し、計測時間毎に赤外線サーモグラフィ
で得られた表面温度を入力した。

主桁延長方向の温度については、橋梁周辺に植
生している樹木による影等により、バラツキが確
認されるが延長方向の温度分布は一定とした。

④支点条件は、架橋時の初期設定条件である「ピ
ン支点とピンローラー支点」(pin-roller)で構成さ
れる構造と43年間供用に伴う支承機能低下を勘
案し、「ピン支点とピン支点」(pin-pin)、「固定支
点と固定支点」(fix-fix)の3ケースの支点条件を
設定したモデルで解析を実施するものとした。

⑤解析実施時間帯は、鉛直変位が変化する時間帯
を設定し解析を実施した。

温度解析は、17:00・22:00・5:00・9:00・12:00
の各時間帯で支承条件3ケースについて解析を
実施した。このとき採用した解析モデルの接点数(表
ー3、4)に示す。

表ー3 解析モデルの要素数および接点数

要素数	鋼部材：シェル要素	81900
	床版：ソリッド要素	
接点数	104075	

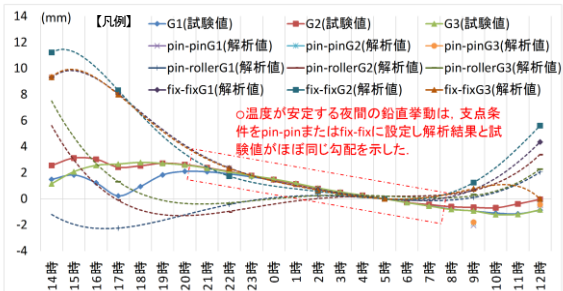
表ー4 使用した物性値

項目	部位	物性値
ポアソン数	床版	0.2
	主桁	0.3
ヤング係数	床版	26,000 N/mm ²

	主桁	200,000 N/mm ²
線膨張係数	床版	10×10 ⁻⁶
	主桁	12×10 ⁻⁶
設計基準強度等	床版	σ _{ck} =21 N/mm ²
	主桁材質	SM490Y

4. 3. 解析結果と試験結果の比較

図ー10は、鉛直変位の時刻歴曲線の試験値と解
析値の関係を示したものである。このグラフから
今回の橋梁規模を「ピン支点とローラー支点」
(pin-roller)から「ピン支点とピン支点」(pin-pin)
または「固定支点と固定支点」(fix-fix)へ支点条
件を変えた場合、温度が一定に近づく時間帯の挙
動は、ほぼ同じ値を確認することができた。図ー
10のグラフ内で例に12項目が示されているに係
らず、8項目の曲線しか示されていないのは、変
位線同士が重なりあったためである。また、解析
値は5つの時間帯において実施し、得られた点か
ら多項式を活用し曲線化した結果、試験値の温度
挙動が一定化する時間帯は、ほぼ同じ曲線勾配を
示すことが確認された。



図ー10 鉛直変位に関する試験値と解析値の比較

5. 考察

対象とした向原橋は、3主桁を有する鋼単純合
成 H 桁橋であるが、分配横桁を有しない構造と平
成 26 年度に補修工事を実施した既設橋梁である。
試験は、24 時間に渡り計測を行った。

実橋試験で得られたデータは、線膨張係数から
得られる伸縮量の鋼製線支承の補修工事を実施し
ても支承機能の改善には至っていないことが確認
された。そして、温度変化による上部工の挙動は、
支承機能低下に伴う支点拘束と部分的な入熱によ
り熱応力に起因した上下へのたわみの変化が発生
しているものと推察される。

以上より、維持補修の中で支承部のリフレッシュ

ュ化を実施する際にブラスト処理と外面塗装では機能改善を図ることが難しいと考えられる。

下部工の挙動については、施工年次が古い橋梁に関しては、設計図書が保管されておらず、支承回転機能が失われ、温度変化や活荷重の走行により、下部工への桁座付近へ曲げ応力が入っている可能性があり、埋設されている範囲について、上部工からの想定外応力の影響について、検討を進める必要があると考える。

今回は、上部工の試験値と支承条件を変えた解析値で一日当たりの温度変化に伴う挙動と支承機能低下に伴う挙動を検証した。

今後は、橋梁全体モデルを構築した検証を実施したいと考える。

5. 今後の展望

小規模橋梁の場合、伸縮装置部からの漏水に伴う支承の劣化に伴う移動拘束や遊間異常に伴う伸縮拘束の影響は小さく、移動拘束が生じた橋梁であっても、構造的に緊急を有する損傷として、早急な維持補修を行う必要性は小さいものとも考えられる。桁体の腐食に着目した場合には、支承機能の保持の観点よりも耐荷性能の低下を回避する目的から、伸縮装置の非排水化は重要であると考えられる。如いては非排水化の更新をライフサイクルコストとして評価し、残供用年の費用のウェイトは膨大となってくことを勘案し伸縮装置部の機能のあり方について、検討を進めていく必要があると考えられる。例えば高速道路の管理会社の取り組みとして、単純構造を有した既設中小規模コンクリート橋では、伸縮装置を廃止している施工事例も報告されている。

以上の結果を踏まえ、中小規模の鋼橋においては、伸縮装置の廃止やコンクリート橋では構造的観点から難しいと思われる構造系の改良（単純桁構造をラーメン構造化）の研究を進め、低コストでの大規模改良を進めることが必要と考える。大規模改良による構造系の変更は、伸縮装置の廃止による建設コスト縮減のみではなく、耐震性の向上・耐荷性能の向上の可能性もある。一方、既設橋梁を改良する場合、供用化での施工となることから、比較的交通量の少ない地方の市町村が管理する橋梁は、適性が高い可能性もあると考える。

謝辞

本研究は、金ヶ崎町役場建設課 菅原睦課長には、橋梁補修設計図および橋梁定期点検調書の提供、試験調査橋梁の提供、地域住民への周知など様々なご配慮をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1)日本道路協会，道路橋点検必携，平成 27 年版～橋梁点検に関する参考資料，2015 年 4 月
- 2)三木博史，萩原良二，河野広隆，福井次郎，山元 弘，柳沢雄二，二瓶正康他：社会資本ストックの健全度評価・補修技術に関する研究（土木研究所）
- 3)芦塚憲一郎，宮田弘和，坂手道明，木曾収一郎，栗田章光，直接基礎を有する鋼ポータルラーメン橋の設計と剛結部構造の合理化，構造工学論文集 Vol. 53A(2007 年 3 月)
- 4)今西直人，曾根 彰，増田 新，太田佳秀：赤外線映像装置で測定されたサーモグラフィーについての等温線表示による劣化部の鮮明化，構造工学論文集 Vol.51A（2005 年 3 月）
- 5)高木優任，横山功一，原田隆郎：鋼合成桁の温度分布に影響を及ぼす環境要因に関する実験的研究，構造工学論文集 Vol.50A(2004 年 3 月)