

木橋「鶴の舞橋」の形状測定と 経年変化

古舘 匠¹・佐々木 貴信²・平沢 秀之³
渡辺 浩⁴・豊田 淳⁵・加藤 真吾⁶

¹ 非会員 北海道大学 大学院農学院 (〒060-8589 北海道札幌市北区北 9 条西 9 丁目)
E-mail: tfurudate@for.agr.hokudai.ac.jp

² 正会員 北海道大学教授 大学院農学研究院 (〒060-0808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目)
E-mail: tak-sas@for.agr.hokudai.ac.jp

³ 正会員 函館高専教授 社会基盤工学科 (〒042-8501 北海道函館市戸倉町 14 番 1 号)
E-mail: hide@hakodate-ct.ac.jp

⁴ 正会員 福岡大学教授 工学部社会デザイン工学科 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)
E-mail: mag@fukuoka-u.ac.jp

⁵ 正会員 株式会社新日本コンサルタント 社会基盤部 (〒930-0142 富山県富山市吉 910-1)
E-mail: atsushi.toyoda@shinnihon-cst.co.jp

⁶ 正会員 株式会社日本インシーク 東日本橋梁部 (〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町 9-19)
E-mail: katou408@insiek.co.jp

「鶴の舞橋」は青森県鶴田町に平成 6 年に建設された全長 300m の木製歩道橋である。橋脚を含めた全ての部材で耐久性に優れた青森県産のヒバ材を用いており、40～50 年の耐用年数が期待されているが、経年劣化により太鼓落としの主桁等の構造部材に腐朽や欠損が認められるようになった。本研究では、橋の維持管理を目的として毎年実施している健全度調査の結果を用いて、本橋梁の長期的な形状変化の解析を行った。その結果、一部の区間で床板上面の標高が低下する傾向が認められた。また、全長に亘り床板上面の左右の傾斜が増加する傾向が認められたが、基礎の不同沈下は 1 箇所を除き確認されず、構造部材の腐朽が進行していることが示唆された。

Key Words: timber bridge, shape measurement, aged deterioration, maintenance, health inspection

1. はじめに

「鶴の舞橋」は青森県鶴田町に平成 6 年に建設された、橋長 300m、幅員 3m の木製歩道橋である。遠くに岩木山を望み、周辺には富士見湖パークや丹頂鶴自然公園がある観光地となっている。近年、観光客が増加し「鶴の舞橋」は鶴田町にとって重要な観光資源となっている。

経年劣化により部材の腐朽や欠損が認められるようになったため、現状の健全度を評価し、橋の維持管理のための検討材料とすることを目的として、竣工から 13 年を経た平成 19 年に健全度調査が行われ、橋梁全体の形状測定並びに主桁の腐朽度合いが評価された¹⁾。その後、平成 25 年度からは毎年 1 回 10 月にアーチ形状、橋脚の水平変位、橋脚基礎の傾斜の測定を行っており²⁾、令和元年 10 月には第 7 回目の定期調査を実施した。

現在まで、本橋梁の健全度は前年度調査からの形状変化を解析することにより評価されており、長期的な形状変化の解析は行われていなかった。そこで、第 7 回目の定期調査の実施に際し、平成 25 年度から現在までの長期的な形状変化の解析を行った。

2. 橋梁の概要

鶴の舞橋は幅員 3m、橋脚の間隔 5m の単純桁橋 (図-1) が 20 橋連続した 100m のアーチ状の太鼓橋が、大小のステージを挟んで 3 つ連なり橋長 300m となる木造橋である。

主桁は桁高 300mm の太鼓落としの外桁と幅 180×桁高 300mm の角材の内桁が台持木を介してボルトで固定

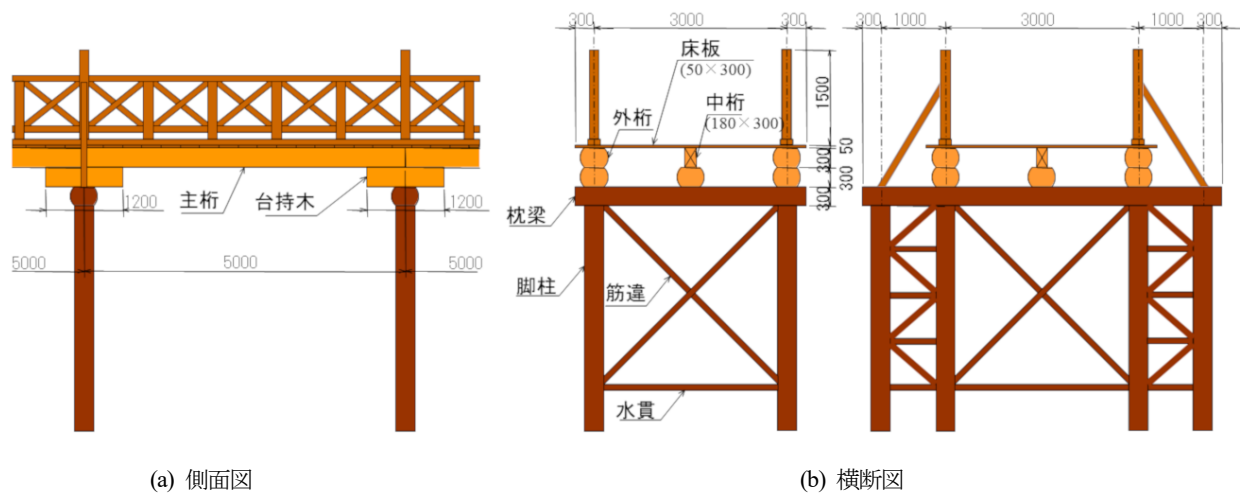


図-1 一般図

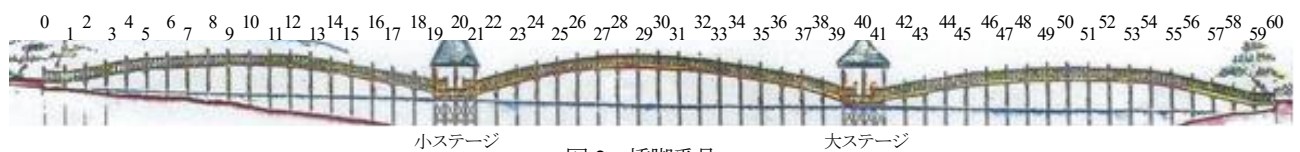


図-2 橋脚番号

橋脚の左右は0番から60番を向いたときの方向を示す

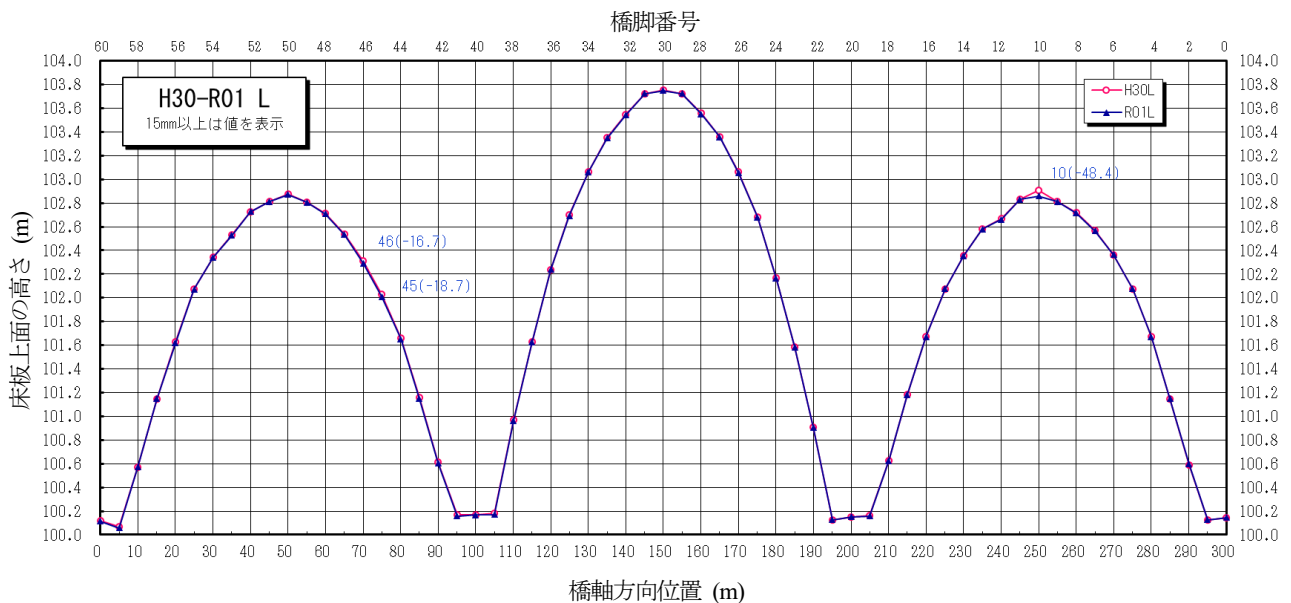


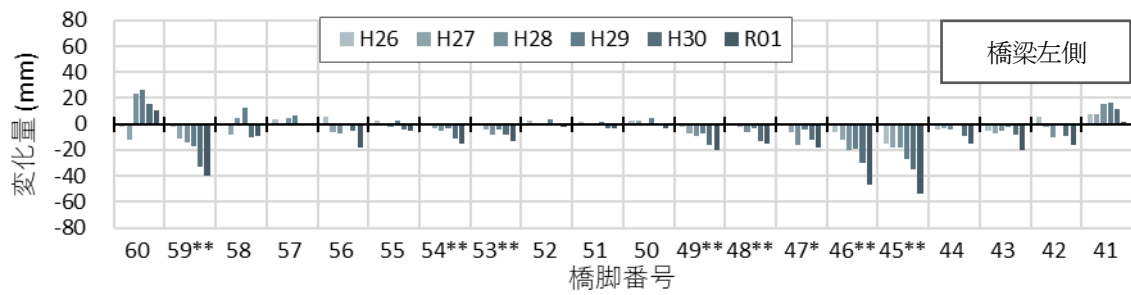
図-3 床板上面の水準測量結果 (橋梁左側)

されている。橋脚には直径 30～35cm の丸太が使用されている。橋脚を含めたすべての部材に青森県産のヒバ材が用いられており、総使用材積は 700m³ になる。橋の中間 2 箇所には 210m² と 81m² の大小 2 つの多目的ステージが設けられている。橋の基準標高は異常洪水水位で水没しないよう設計されたが、ステージ標高は満水時に可能な限り水に親しめる高さに設定された³⁾⁴⁾。

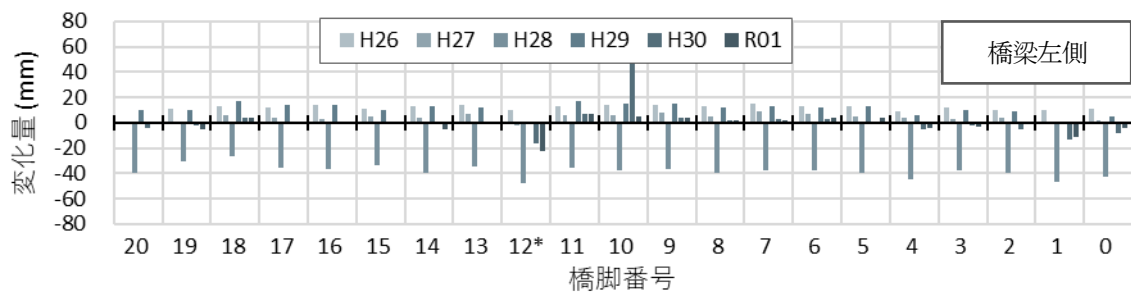
3. アーチ形状

(1) 測定方法

図-2 に橋脚と橋脚番号の対応を示す。No.0～60 の左右の橋脚上の床板上面における標高を水準測量により測定した。観測地付近の陸上に設置されたコンクリート柱を基準点とし、この高さが不明なため 100m と仮定して測定を行った。各測定位置では、写真-1 に示すように高欄支柱の側面に沿ってスタッフを立てて測定を行った。各測定位置に測量鉾等は打っていないため、測量結果には毎年僅かに異なる点の標高を測定することによる誤差が含まれる。床板上は高低差が大きいため、適切な位置で



(a) 橋脚番号 60～41



(b) 橋脚番号 20～0

図4 平成 25 年度を基準とした各年度の床板上面の標高の変化量 (橋梁左側)

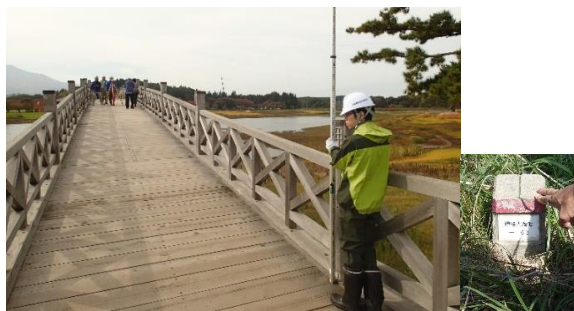
*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ 

写真-1 床板上面の水準測量と基準点

もりかえを行う。測定にはデジタルレベルを使用し、0～60 点間の床板高を得た (平成 25 年度調査, 平成 26 年度調査では No.20, 40 の測定を行っていない)。なお、ここで左右とは、橋脚番号 0 番から 60 番に向かって見たときの方向を示している。

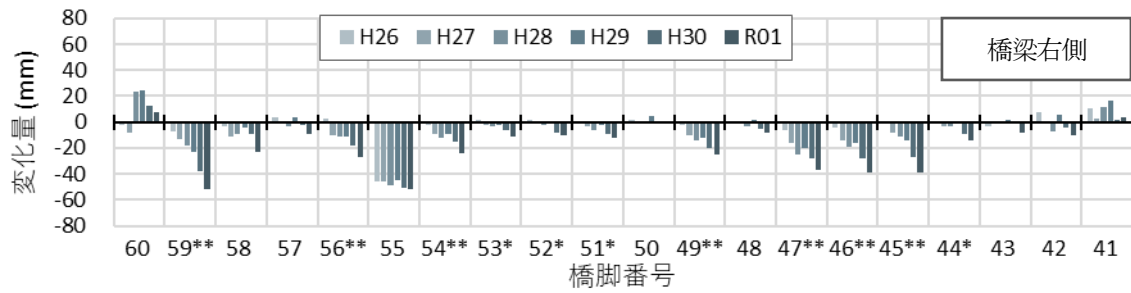
(2) 測定結果

図-3 に平成 30 年度調査と令和元年度調査の水準測量により得られた橋梁左側の標高を示す。

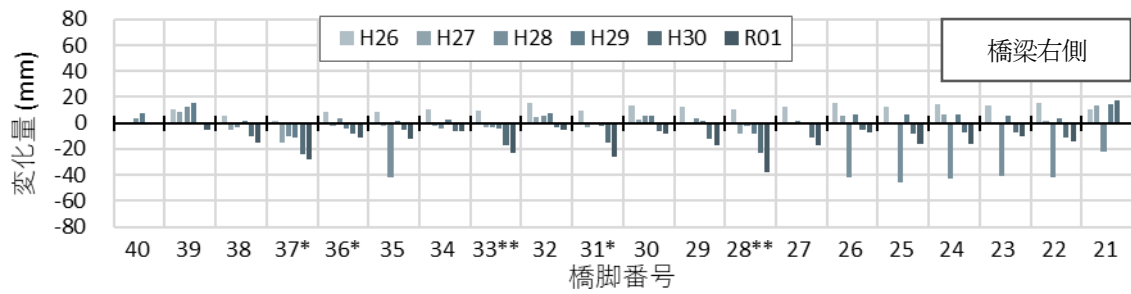
図-4, 図-5 に平成 25 年度の床板上面の標高を基準とした各年度の左右の床板上面の標高の変化量を示す。平成 25 年度と比較して床板上面の標高が低下したとき、変化量は負の値をとる。各橋脚番号の測定結果に対して、スピアマンの順位相関係数を用いて相関分析を行った。なお、図-4(b), 図-5(b), (c)中に認められる平成 28 年度の測定誤差と考えられる値については分析から除外した。その結果、橋梁左側では図中に*または**で示す No.12, 45, 46,

47, 48, 49, 53, 54, 59 の 9 箇所では有意水準 5% ($p < 0.05$) で強い負の相関が認められた。そのうち**で示す 7 箇所では有意水準 1% ($p < 0.01$) でかなり強い負の相関が認められた。同様に、橋梁右側では図中に*または**で示す No.13, 14, 28, 31, 33, 36, 37, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 52, 53, 54, 56, 59 の 18 箇所では有意水準 5%で強い負の相関が認められた。そのうち**で示す 9 箇所では有意水準 1%でかなり強い負の相関が認められた。従って、これらの負の相関が認められた箇所では標高が年々低下する傾向にあると考えられる。また、橋梁右側でより大きく低下する傾向にあると考えられる。

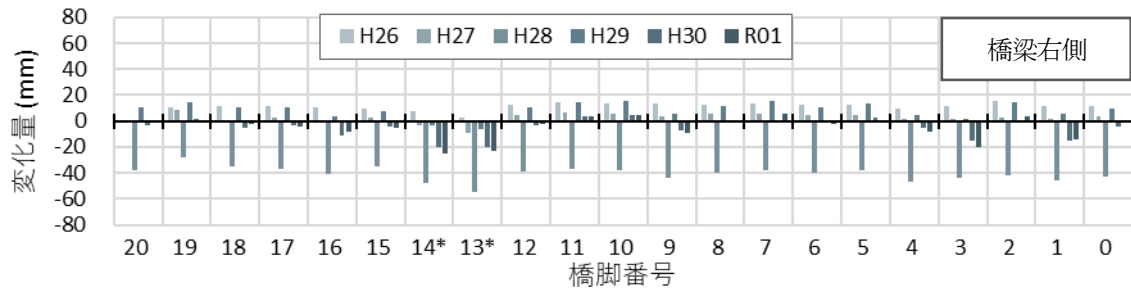
図-6 に床板上面の左右の高低差の変化を示す。同図中に示すように右側が左側より低くなっているとき、高低差は正の値をとる。床板上面の標高と同様に、各橋脚番号の測定結果に対して、スピアマンの順位相関係数を用いて相関分析を行った。その結果、橋梁全体に亘り 26 箇所では高低差が増加、3 箇所では減少する傾向が認められた。また、No.20～40 のアーチ径間では平成 25 年度の調査開始時点で大きな高低差が生じている箇所が複数あり、調査開始以前から高低差が増加する傾向にあったと予想された。床板の左右で高低差が生じる原因としては、部材の腐朽、基礎の不同沈下、橋脚の圧縮、腐朽に因らない部材のめり込みが考えられる。目視で観察した部材の状況から、部材の腐朽やめり込みによって床板の左右の高低差が生じたと考えられる。



(a) 橋脚番号 60～41



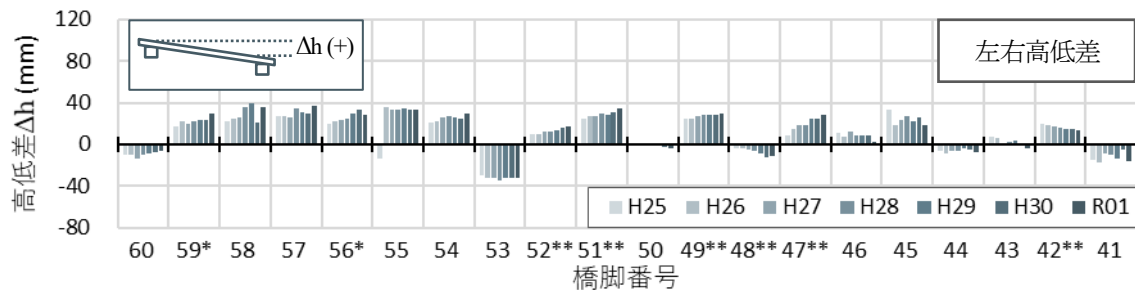
(b) 橋脚番号 40～21



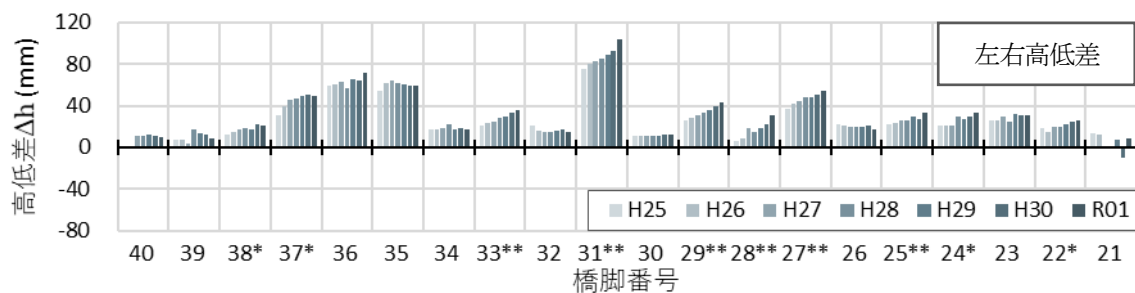
(c) 橋脚番号 20～0

図-5 平成25年度を基準とした各年度の床板上面の標高の変化量（橋梁右側）

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

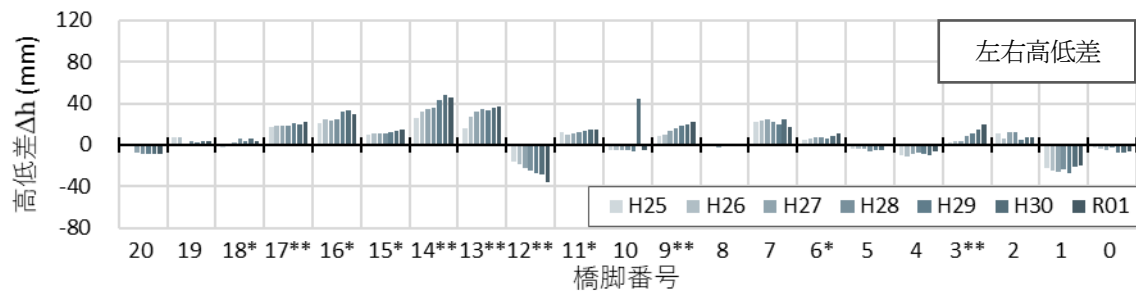


(a) 橋脚番号 60～41



(b) 橋脚番号 40～21

図-6 床板上面の左右の高低差



(c) 橋脚番号 20～0

図-6 (続き) 床版上面の左右の高低差

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ 

写真-2 橋脚ターゲット



写真-3 橋脚の水平角測量

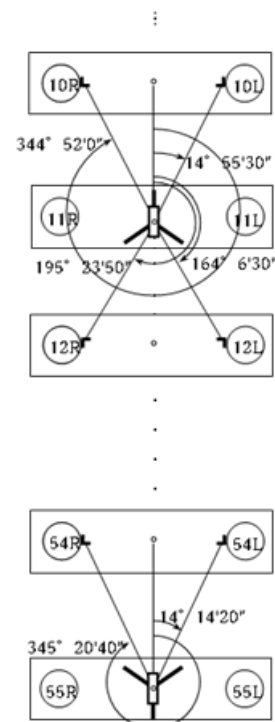


図-7 橋脚水平変位の測定方法

4. 橋脚の水平変位

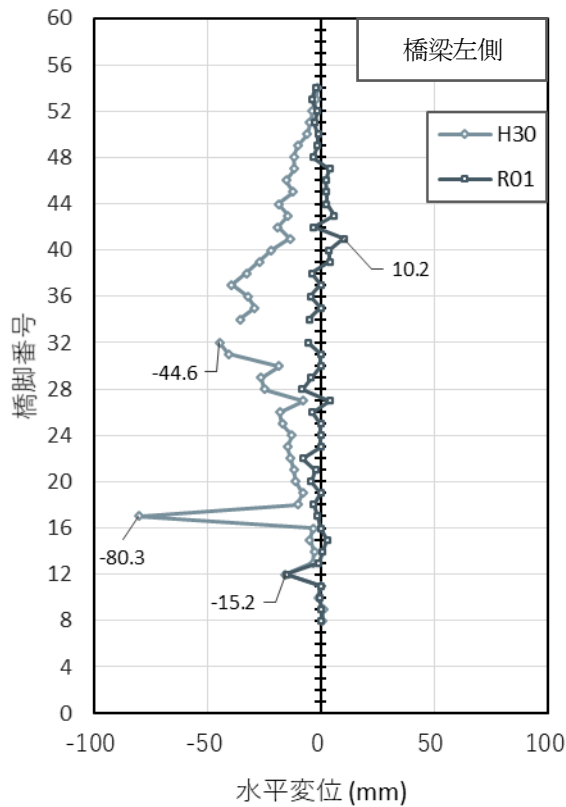
(1) 測定方法

トータルステーションを用いて橋脚の橋軸直角方向水平変位を測定した。平成 28 年度以前は橋脚基部と橋脚頂部の測角により、橋脚基部の中心点に対する橋脚頂部の中心点の水平変位を求めていたが、この方法では経年変化を調べるのが困難であったため、平成 29 年度より橋脚側面に L 字金物を設置し、これをターゲットとして視準する測定方法に変更した。図-7 はこの測定法を図示したものである。写真-2 にターゲットの設置状況を示す。橋脚番号 54～31 の橋脚を測定するときは、トータルステーションを No.55 のコンクリート基礎中央部に設置した測量鉾の直上に据え付ける。No.54 のコンクリート

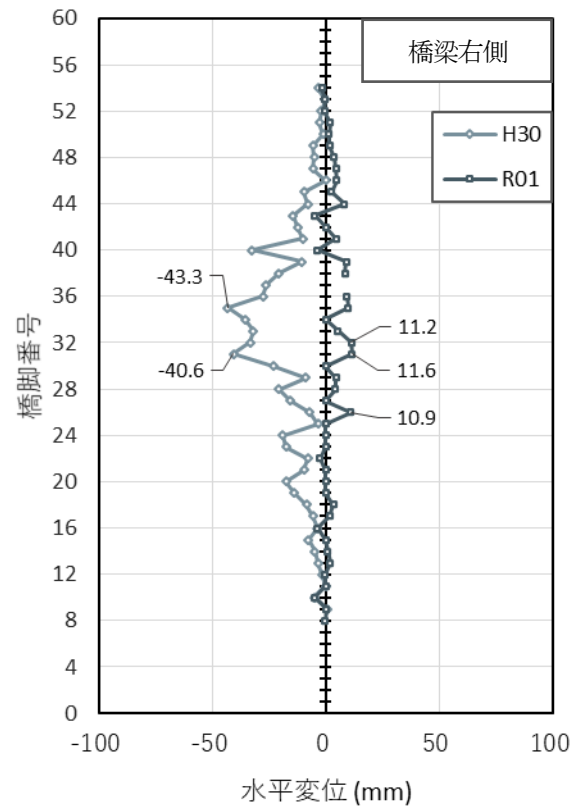
基礎にも測量鉾が設置してあり、これを基準点とする。次に各橋脚の側面に取り付けたターゲットを視準し、角度を測定する。橋脚番号 30～8 の橋脚を測定するときは、トータルステーションを No.11 のコンクリート基礎上に据え付ける。写真-3 は No.11 の基礎上にトータルステーションを据え付け、No.10 を測定している状況を示している。なお、本論文では測定方法変更後の平成 29 年度以降の結果について報告する。

(2) 測定結果

図-8 に各橋脚におけるターゲット設置位置の橋軸直角方向水平変位を示す。平成 29 年度における各橋脚ターゲットの水平位置を基準とし、右側に変位したとき正の値をとる。平成 30 年度調査では左側橋脚、右側橋脚とも



(a) 左側橋脚



(b) 右側橋脚

図-8 橋脚水平変位



写真-4 橋脚基礎の測量

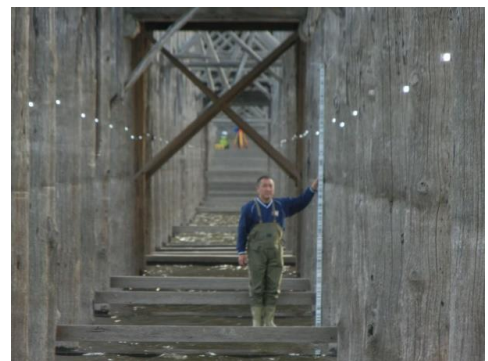


写真-5 橋脚基礎の測量

に左側に大きな変位が確認されたが、令和元年度調査では右側に大きな変位が確認され、ターゲットは平成29年度と近い水平位置を示した。本項目は長期的な挙動の観察に足る十分なデータが蓄積されておらず、今後も継続的な調査が必要である。

5. 橋脚基礎の傾斜

(1) 測定方法

橋脚の基部はコンクリート基礎に固定されている。本橋梁は軟弱地盤上に建設されていることから、コンクリート基礎の不同沈下の状況を把握することを目的として、

橋脚の根元位置での基礎の傾きを測定した。写真-4、写真-5に測量の様子を示す。コンクリート基礎の多くは水面下にあるため、ボートで橋脚付近まで接近し、左右の橋脚の側面にスタッフを立てて水準測量を行った。本測定では基準点を設けておらず、左右で読み取った値の差から高低差のみを算出している。そのため、基礎上面の標高は測定しておらず、基礎の沈下・隆起の状況は不明である。

(2) 測定結果

図-9にコンクリート基礎上面の左右の高低差の変化を示す。同図中に示すように、右側が左側より低くなっているとき、高低差は正の値をとる。なお、時間の都合上、

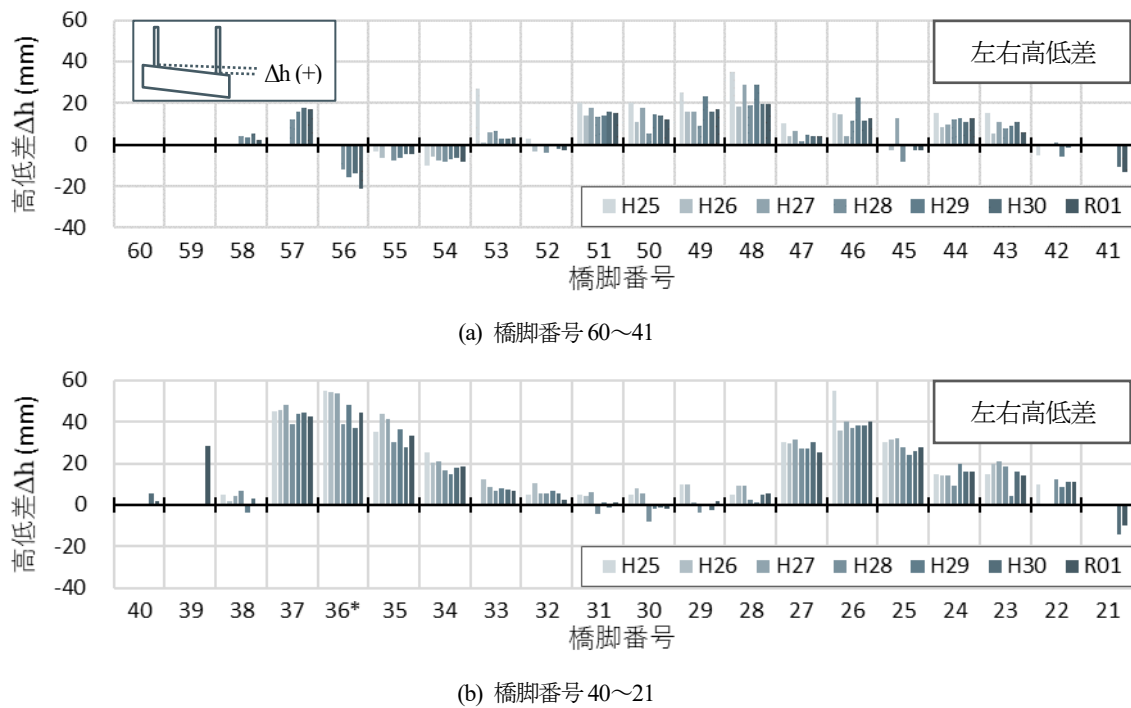


図-9 コンクリート基礎上面の左右の高低差

*: $p < 0.05$

測定点を一部に限定している年がある。各橋脚番号の測定結果に対して、スピアマンの順位相関係数を用いて相関分析を行った。その結果、No.36 でのみかなり強い負の相関が認められた。これは、基礎の左側が沈下、あるいは右側が隆起することにより、調査開始以前に何らかの原因で生じた高低差が減少していることを意味する。また、複数の基礎で大きな高低差が認められるが、平成25年度調査から現在まで大きな変化は確認されていないため、過去に高低差が生じたものの、現時点では不同沈下は進行していないと考えられる。

基礎上面の左右の高低差の変化と床板上面の左右の高低差の変化が一致していないことから、主桁や台持木といった主要構造部材の腐朽が進行している可能性がある。

6. まとめ

本研究では、「鶴の舞橋」の維持管理のために毎年1回実施している形状測定の結果を用いて、本橋梁の長期的な形状変化を解析した。表-1 に各測定項目の平成25年度調査と令和元年度調査の比較（橋脚水平変位のみ平成30年度と令和元年度の比較）を示す。結果を以下にまとめる。

- (1) No.40～60 のアーチ径間にて、床板上面の標高が低下する傾向が認められ、橋梁右側でその傾向が強かった。また、全長に亘って床板上面の左右の高低差が増加する傾向が認められた。

表-1 平成25年度調査と令和元年度調査の比較

		平成25年度	令和元年度	変化量
床板	左側	No.45	No.45	
	※1	102.0644m	102.0107m	-53.7mm
	右側	No.59	No.59	
橋脚	※1	100.0812m	100.0293m	-51.9mm
	高低差	No.31	No.31	
	※2	74.9mm	103.3mm	28.4mm
基礎	左側	No.17 (H30)	No.17	
	※3	-80.3mm	-1.6mm	78.7mm
	右側	No.35 (H30)	No.35	
基礎	※3	-43.3mm	9.7mm	53.0mm
	高低差	No.36	No.36	
	※2	55.0mm	44.6mm	-10.4mm

※1 平成25年度調査から令和元年度調査までの標高の変化量が最大だった箇所の各調査年度の値を示す。

※2 平成25年度調査において最大値を示した箇所の各調査年度の値を示す。

※3 平成30年度調査において平成29年度調査時点の水平位置からの変位が最大だった箇所の各調査年度での値を示す。

- (2) 橋脚の橋軸直角方向への変位について、現時点では大きさや方向に規則性は認められなかった。

- (3) No.36の基礎では基礎上面の左右の高低差に負の相関が認められ、不同沈下の進行が予想された。一方、その他の基礎では大きな左右の高低差を示す箇所が

複数あるが、現時点で不同沈下は進行していないと考えられた。

- (4) 基礎上面の左右の高低差の変化と床板上面の左右の高低差の変化は一致しておらず、主桁や台持木といった主要構造部材の腐朽が進行していると予想された。

- 2) 平沢秀之, 長尾賢汰, 佐々木貴信, 渡辺浩, 佐藤一人, 佐々木明彦: 木橋「鶴の舞橋」の上下部工 3 次元計測について, 木材利用研究論文報告集 13, pp.60-65, 2014.
- 3) 長谷部薫: 青森県鶴田町・鶴の舞橋のデザイン, 土木学会誌, 1994 年 12 月号, pp.2-5, 1994.
- 4) 船越和幸, 山本義弘, 赤城敦: ため池の水辺空間を活用した「鶴の舞橋」の計画と施工, 農業土木学会誌, Vol.370, No.3, pp.237-240, 2002.

参考文献

- 1) 佐々木貴信, 黄元重, 平沢秀之, 渡辺浩, 佐藤一人: 青森ヒバを用いた木橋「鶴の舞橋」の健全度調査, 第 7 回木橋技術に関するシンポジウム論文報告集, pp.95-100, 2008.

(Received October 16, 2020)

(Accepted January 31, 2021)

SHAPE MEASUREMENT AND AGED DETERIORATION OF THE TIMBER BRIDGE “TSURUNOMAI-HASHI”

Takumi FURUDATE, Takanobu SASAKI, Hideyuki HIRASAWA,
Hiroshi WATANABE, Atsushi TOYODA, and Shingo KATOU

The Tsurunomai-hashi is a timber pedestrian bridge with 300 m length built in Tsuruta town, Aomori prefecture in 1994. All structural members of the bridge including piers consist of Aomori-Hiba that is highly resistant to decay and are expected to be used for 40 to 50 years. However, 26 years have passed since the construction, and aging deterioration has been observed in structural members such as main girders. We have been conducting surveys for many years for the purpose of maintaining the bridge. Using this result, we analyzed the long-term shape change of the bridge. As a result, it was confirmed that the elevation on the floor deck tends to decrease year by year in part of the bridge. Furthermore, the floor deck inclination in the transverse direction tended to increase along the entire bridge length. Because settlement of the abutments was not recognized, it was suggested that the members of superstructure are deteriorated.