

青森ヒバ材を用いた木橋「鶴の舞橋」の健全度調査

Health inspection of timber bridge “Tsurunomai-hash” made of Aomori-Hiba

○佐々木貴信* 黄元重** 平沢秀之*** 渡辺浩**** 佐藤一人*****
SASAKI Takanobu, HWANG Won-Joung, HIRASAWA Hideyuki, WATANABE Hiroshi
and SATOU Kazuto

- *博(工) 秋田県立大学木材高度加工研究所(〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)
- **博(農) 秋田県立大学木材高度加工研究所(〒016-0876 能代市海詠坂 11-1)
- ***博(工) 函館工業高等専門学校環境都市工学科(〒042-8501 北海道函館市戸倉町 14-1)
- ****博(工) 福岡大学工学部社会デザイン工学科(〒814-0180 福岡県福岡市城南区 8-19-1)
- ***** 鶴田町役場産業観光課(〒038-3595 青森県北津軽郡鶴田町鶴田字早瀬 200-1)

ABSTRACT The Tsurunomai-hash is one of the longest timber footway bridge length to 300m, width of 3m in Japan. Built in 1994, the Tsurunomai-hash was consisted with aomori hiba wood without any chemical treatments in all timber bridge members such as a pier, floorboard and girder etc. In fact, the aomori hiba is highly resistant grade wood species against to fungi and termite in durability section. In recent, however, the decayed members was detected in this timber bridge. Therefore, we observed the shape of the bridge by surveying and we also evaluated the deterioration diagnosis using the RESISTOGRAPH® on the timber bridge members and the sound wood of same wood species to the timber bridge members for the maintenance of a timber bridge in the future.

Keywords: 木橋、健全度調査、維持管理、木材腐朽、青森ヒバ
timber bridge, health inspection, maintenance, wood decay, Aomori-hiba

1. はじめに

青森県鶴田町に平成3年から3年間の工期で施工された「鶴の舞橋」は、青森ヒバ材を用いた橋長300m、幅員3mの木歩道橋であり、「日本一なが〜いきの橋」の愛称で岩木山の麓の町の観光資源となっている。本橋は、耐久性に優れた青森県産のヒバ材を用いることで40~50年の耐用年数が期待されているが、工事着手から古い部分で15年が経過し、太鼓落としの主桁など構造部材に木材腐朽が認められるようになった。現状の健全度を評価して、今後の維持・補修のための検討材料とすることを目的として、平成19年度に簡易な構造性能調査および穿孔抵抗測定による健全度調査を実施した。

2. 対象橋梁の概要

鶴の舞橋は、橋脚の間隔が5m、幅員3mの単純桁(図-1)が20橋連続して100mのアーチ状の太鼓橋を形成し、大小のステージを挟んで全体で橋長300mの3連太鼓橋を形成している。直径30~35cmの丸太で構成される橋脚の上に枕梁を置き、太鼓落としの台持木を介して高さ300mmの太鼓落としの外桁とB180×H300mmの製材の内桁がそれぞれボルトやラグスクリューで固定されている。これらの主要部材および床板、高欄などすべての部材は、青森ヒバが用いられており、総使用材積は700m³になる¹⁾。

3. 調査方法

鶴の舞橋の健全度調査は、橋梁の規模、調査期間、調査環境等の調査条件の制約から、管理者と協議の上、橋梁全体の形状測定および大ステージと小ステージ間の中央部の18径間(図2)の主桁の腐朽調査を行い、総合的な判定を行うこととした。痛みの激しい、床版および高欄については、平成18年度からの3年間で交換補強がなされているため、調査の対象から除いた。

(1) 形状測定調査

木橋の経年変化による部材のゆがみや、接合部劣化等による変形を定量的に捉えること、また局所的に大きな変形や沈下が生じていないかを確認することを目的にオートレベルやトランジット等を用いて橋梁の形状計測を行った（写真 1, 2）。更に水平方向の剛性が局所的に低下している箇所がないかを人力加振時の水平変位で確認した。

(2) 穿孔抵抗測定調査

主要構造部材である主桁の断面内の腐朽の程度を評価することを目的として、RESISTGRAPH®（レジストグラフ）によるドリル穿孔抵抗測定を行った。レジストグラフは最大径 3mm のドリルを一定速度で木材内に貫入させ、ドリルにかかる抵抗を連続測定する機器であり、木材内部の腐朽や空洞化、年輪の状態を波形グラフとして表示させることができる。測定結果はチャート紙に印字されリアルタイムで確認すると同時に内蔵メモリにも保存し、測定後に波形解析することで残存強度の評価を行った。

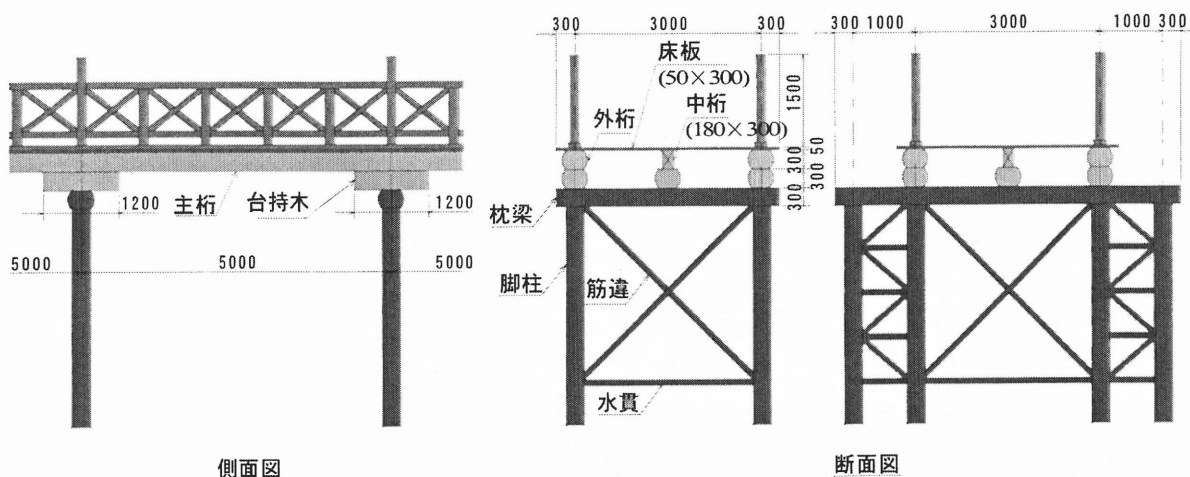


図1 「鶴の舞橋」一般図

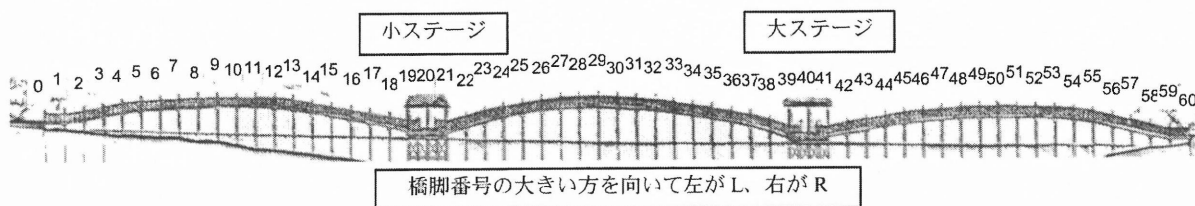


図2 橋脚番号図

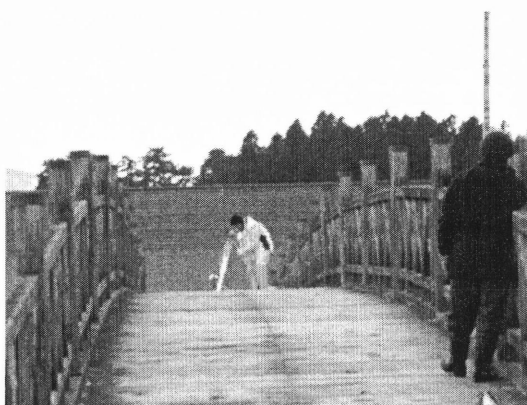


写真1 オートレベルによる形状測定

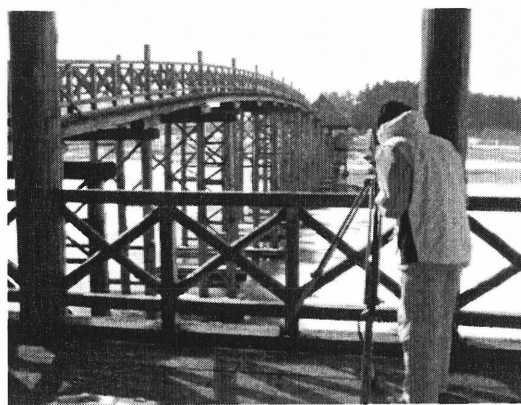


写真2 橋脚の水平変位測定

4. 調査結果

4.1 形状測定調査

(1) 橋脚の傾斜

鶴の舞橋の橋脚は丸太を架設時において垂直に設置されているが、時間の経過とともに木材の変形や、基礎の不等沈下等の影響により、橋脚が傾斜することが懸念された。したがって、本測定では図3に示すようにトランジットによる角測から、橋脚頂部の橋軸直角方向変位の測定を試みた。

測定は写真2に示すようにステージから斜め方向に視準しており、限られた範囲での測定であったが、第1径間（図2）の橋脚は、左側に傾斜している傾向が見られ、中央径間（大小ステージ間）においては右側に傾斜している傾向が見られた。しかしながら橋軸直角方向の変位量（2～6cm程度）は部材の固有の形状のばらつきを考慮すれば大きくなく、これが直接耐荷力の低下をもたらす可能性は低いと考えられた。

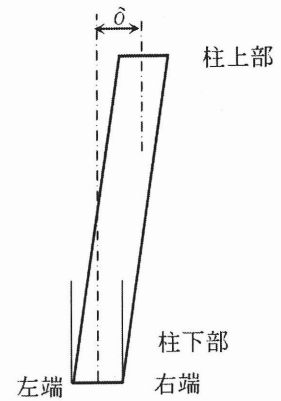


図3 橋脚の傾斜

(2) 加振試験

橋軸直角方向の剛性を評価する簡易な方法として、高欄に人力加振を行い、水平振動の振幅を捉える実験を行った。橋脚の剛性が低下しているときや接合部にゆるみがあると水平振動の振幅が増大する。各橋脚上で水平振動を発生させて振幅を測定すれば、その橋脚の健全性をある程度捉えることができる。

測定は、着目する橋脚上の床版に写真3に示すようにスタッフを水平に設置し、その目盛りをステージに設置したトランシットで読む方法で行った（写真2）。着目する橋脚上の高欄を人力で数回加振した後、自由振動を生じさせ、そのときのスタッフの目盛りの読みから最大振幅を測定した。橋の形状がアーチ状のため、ステージから比較的近い位置の橋脚のみの限られた測定であるが、22箇所 of 橋脚上で橋軸直角方向に人力加振し、その位置での振幅を測定した結果、振幅は0.0～0.3cmの範囲内にあり、極端に大きな振幅が現れる橋脚はないが、この中でも大きな振幅である0.3cmの橋脚については、プレーシング材（筋違い）の接合箇所の点検が必要と判断された。図1に示したように、橋脚に筋違いが配置されているが、実際には、これらの接合部に隙間や遊びが生じて、プレーシング材の機能を果たしていない箇所も多く認められるため、横荷重や地震荷重に対する照査が必要である。

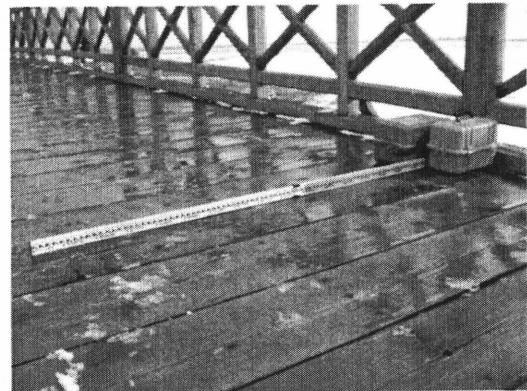


写真3 振幅測定用スタッフ

(3) レベル測量

橋脚の沈下が起こると、一般的に上部工の部材や接合部に過大な応力が生じる。設計時におけるアーチ曲線上のレベルは不明であったが、局所的に沈下が起きていれば、アーチ曲線が歪むため、確認することができる。

図4にオートレベルによる形状測定結果を各径間毎に図示する。支点付近は測定できなかったためアーチ部分のみ表示している。橋脚No.36において、左(L)と右(R)の高さの違いが見られるが、その差は、5.4cmであった。その他の箇所における左右の差は大きくても約1cm程度であった。また、各径間のアーチ形状は、アーチ頂部（橋脚No.10、30、50）を境にほぼ対照的となっていた。上部工はアーチ形状をなしているが、実際は単純桁であるため、橋脚の沈下が生じても過大な不静定力が生じることはなく、耐荷力が低下する可能性は低いと考えられた。

本橋の完成当時の形状計測資料が存在しないため、現状の形状についての定量的な評価はできないが、今後の維持管理を行う上で、定期的な形状計測を行った際は、本測定結果を基準値とすることで、経年的な形状の変化を確認することができるであろう。

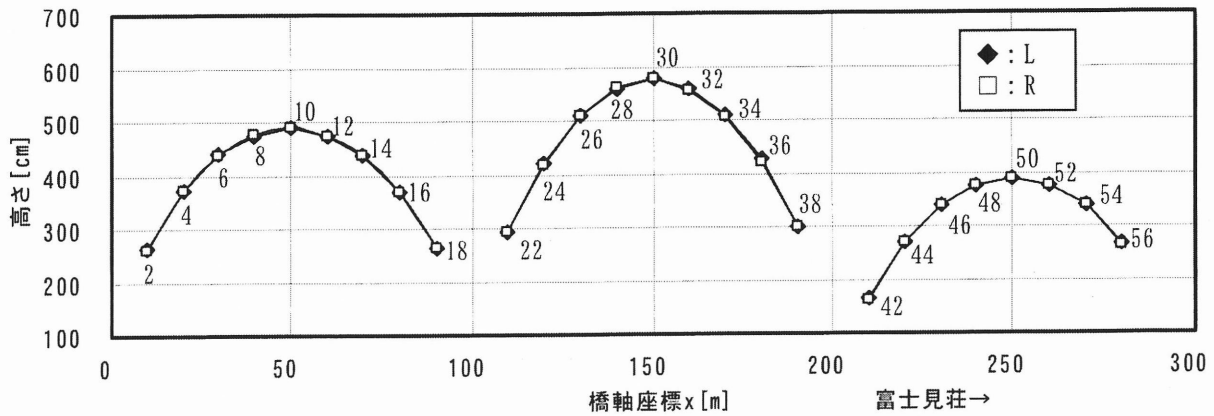


図4 形状計測結果

4.2 穿孔抵抗測定調査

(1) 測定方法

主桁の断面内の腐朽の程度を評価することを目的としてレジストグラフによる穿孔抵抗測定を行った。測定箇所は、3. 調査方法で述べたように調査条件の制約から、大小ステージ間の中央部径間（橋脚番号21～39）のみを対象に行った。測定は各径間の桁端部と支間中央部について行ったが、各径間は図5に示すように橋軸方向に勾配があるため、桁端部の測定は木材腐朽に影響を与える水の滞留が多いと予想される下り勾配側のみについて行った。

本調査の目的は、主桁の劣化程度を把握することであるが、調査時に主桁上の高欄や床板を撤去することが困難であったため、写真4、5に示すようにこれら（土台、床板）を介して測定を行った。なお、レジストグラフは外桁の測定にはRINNTECH社製RESISTOGRAPH®を、中桁の測定にはIML社製IML-RESI F300をそれぞれ用いた。

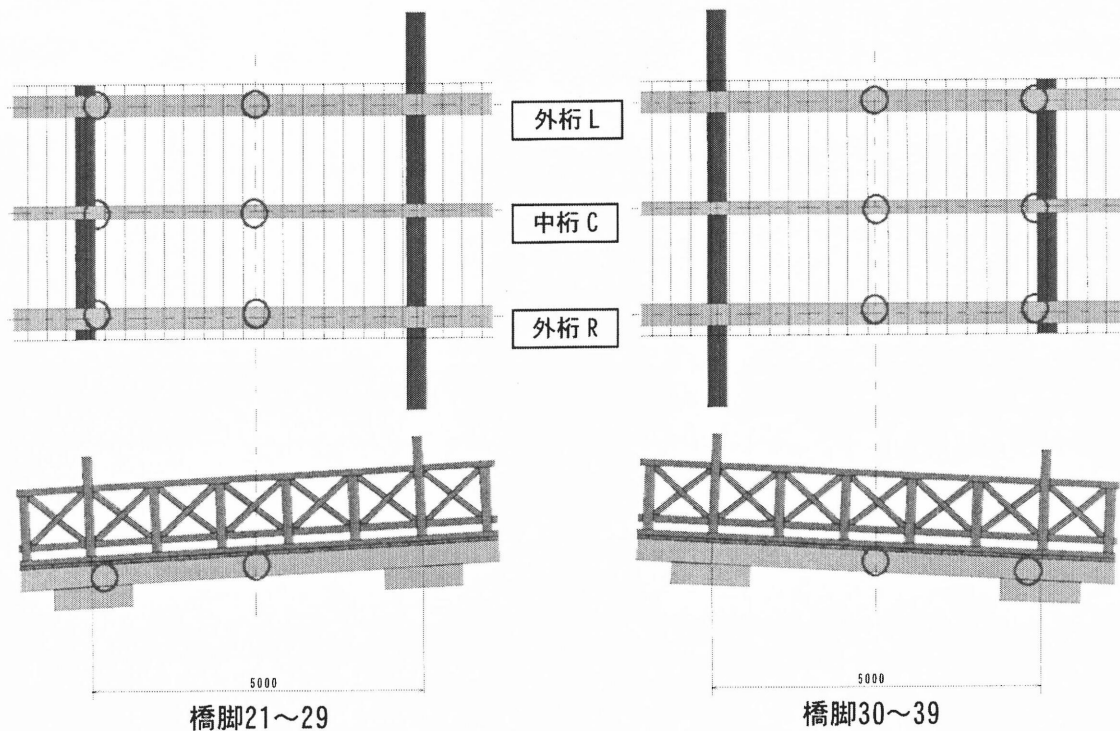


図5 穿孔抵抗測定箇所

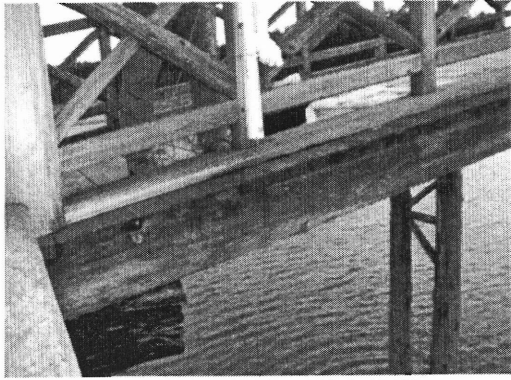


写真4 外桁の測定状況

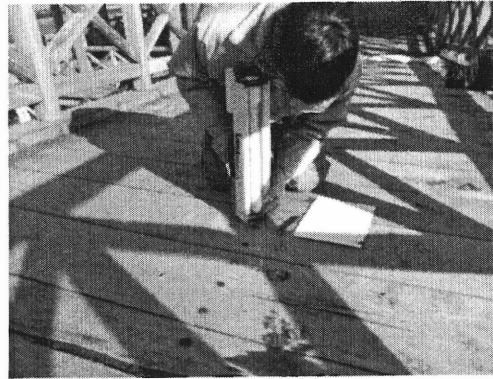


写真5 中桁の測定状況

(2) 評価方法

図6に測定データの一部として、No.21-22橋脚間の外桁（R側）端部の測定データの一部である。前述のように、外桁直上には、床板（50mm）、土台（80mm）が設置されており、これらを介して主桁（300mm）の穿孔抵抗値が図示されていることが分かる。これらの測定データから、主桁のみの穿孔抵抗値を抜き出して主桁の健全度評価に用いた。一例として、図7にNo.21-22橋脚間の外桁（R側）端部の測定データを示した。

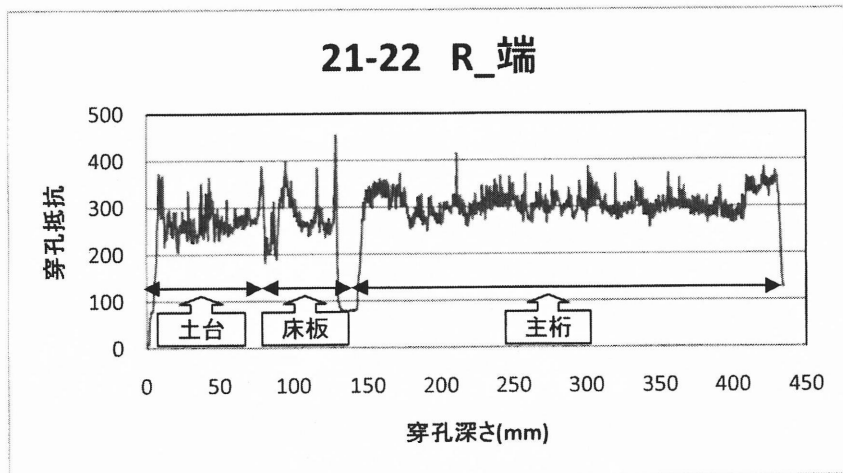


図6 21-22橋脚間の外桁（R側）端部の測定データ

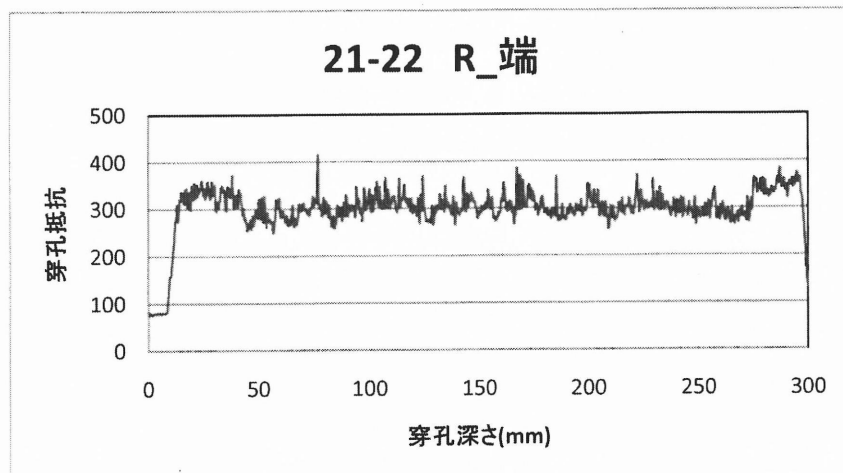


図7 21-22橋脚間の外桁（R側）端部の測定データ（主桁のみ）

図6、図7に示した測定データの縦軸（穿孔抵抗値）は、トルクなどを表す物理量ではないため、この値を用いて直接的に健全度を評価することはできない。したがって、図8に示すように、健全と見なせる閾値（ここでは300とした）を設定し、これを下回る面積の割合を健全度の指標にすることとした。ただし、鶴の舞橋のような桁橋の構造では、桁の支間中央部では曲げモーメントが作用し、桁の端部では支点反力やせん断力が作用するため、桁中央部の評価には、断面二次モーメント I の残存率、桁端部の評価には断面積 A の残存率をそれぞれ用いた。ここで、断面積 A の残存率は、単純に健全な場合の面積（ $300 \times 300 = 90,000$ ）に対する比で表されるが、断面二次モーメント I の残存率の場合は、桁断面の中心から桁の上下面までの距離に重みを付けた $300 \times 300^3 / 12 = 675,000,000$ に対する比で表されるため、桁の内部腐朽よりも、上下縁の腐朽の方が残存率が小さくなる。

図8に示す 21-22 橋脚間の外桁（R 側）端部の場合、断面積 A の残存率が約 95%、断面二次モーメント I の残存率が約 90%であった。同様にして各径間の桁端、桁中央の計 108 箇所について残存率の評価を行った結果では、健全部材の断面積および断面二次モーメントに対する残存率が少ないもので 67%であったが、想定される荷重に対して、安全性が確保できないほどの欠損はないと考えられた。これらの穿孔抵抗測定より得られた、主桁断面の残存率をもとに、断面の応力照査を別に行った結果、部材断面の残存率が 70%程度であれば、曲げ応力、たわみ、せん断応力ともに許容範囲にあると判断された。

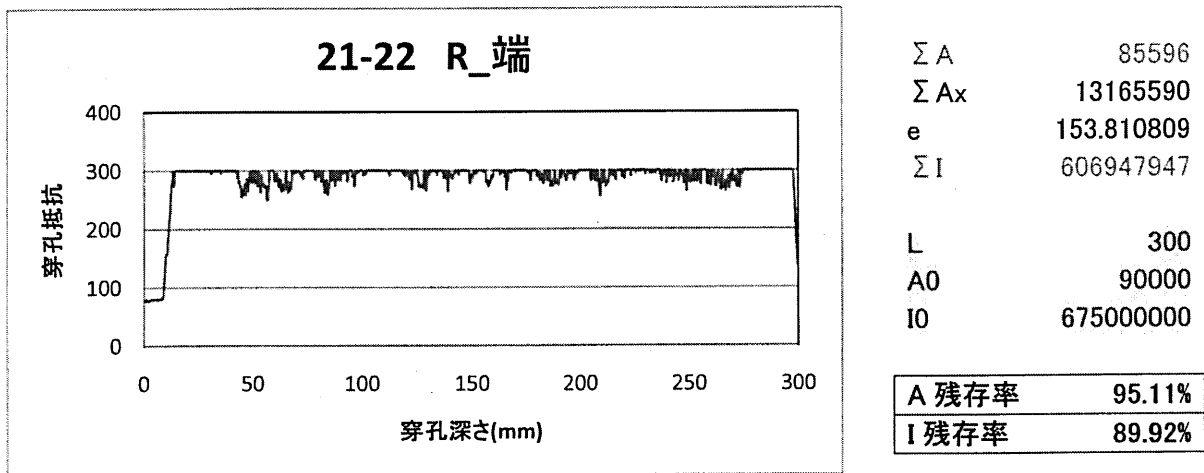


図8 主桁の健全度評価の方法

5. まとめ

本調査では、架設後約15年を経過した鶴の舞橋の改修工事の必要性の有無について判定を行うことを目的として、形状測定および穿孔抵抗測定を行った。その結果、何れの測定結果からも安全性が確保できないほどの不具合は主要構造部には認められなかった。

早急に対策を講じる必要がある高欄については、18年度、19年度において適切な改修が行われており、今後の改修工事の際には、主桁の防腐対策や、床板の交換を可能にする構造の検討、水仕舞いの必要性が示唆された。

また、今後の維持管理においては、本調査の測定結果を基準値として健全度の判断が行われることが期待される。

謝辞：本調査に際しご協力頂いた木村産業株式会社の皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1)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.