

モニタリングシステムを活用した木橋の維持管理

Maintenance of timber bridge utilizing monitoring system

○佐々木貴信* 植野芳彦** 薄木征三***

SASAKI Takanobu, UENO Yoshihiko and USUKI Seizo

*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）

**（株）長大 新事業開発室（〒103-0014 東京都中央区日本橋蛎殻町 1-20-4）

***工博 秋田大学工学資源学部土木環境工学科（〒010-8502 秋田市手形学園町 1-1）

ABSTRACT Wood is one of the most durable bridge materials, but it may be subject to deterioration from decay, insect attack, or mechanical damage under exterior condition. Timber bridges must be periodically maintained or rehabilitated in order to keep them in a condition that will give optimum performance and service life. Monitoring system is aimed at improving public safety, extending the service life of the structure, and reducing the frequency and cost of repairs. In this paper, an example of monitoring system for the long-term measurement of the stress losses under environmental changes of the stress-laminated timber deck in service was presented.

Keywords: 木橋、維持管理、モニタリングシステム、プレストレス木床版
timber bridge, maintenance, monitoring system, stress-laminated timber deck

1. はじめに

橋梁の維持管理の問題は木橋に限らず、永久橋と呼ばれる鋼橋やコンクリート橋においても共通の課題である。わが国の橋梁は1960年代から1970年代の高度経済成長期に最も多く建設されているため、2010年～2020年代になると、供用年数50年を超える橋梁数が急増し、多額の維持管理・更新費用が必要となることが予想されている。従って、限られた予算のなかで効率的かつ効果的な維持管理を行うための検討が緊急の課題とされている。木橋の場合には、木材特有の欠点とも言える生物劣化が橋の耐荷力に大きな影響を与えるために、鋼橋やコンクリート橋など他の橋梁に比べて維持管理の重要度が高いことは言うまでもないが、十分な点検・管理を行い、早期に橋梁の劣化の兆候を発見し、補修・補強の対策をとることによって、長期の耐用年数を期待することができる。

わが国の近代木橋の歴史は1980年代後半から15年足らずであるにも関わらず、大断面集成材の製造技術や大規模木質構造の施工技術の発達と共に、大規模な道路橋も含めて架橋事例が年々増加している。一方で、木橋の場合、未だ設計規準が確立されておらず、耐久性の評価に基づく耐用年数の設定も明確でないというのが現状である。これらの問題を解決するためにも、実橋を対象とした実験・計測によるデータ収集および点検・補修の維持管理データの蓄積が不可欠であるが、供用中におけるモニタリングシステムの導入は、これらの問題を解決するための有効な手段の一つになるものと期待される。ここでは、近代木橋に導入されているモニタリングシステムの事例を紹介すると共に、維持管理への活用について考察する。

2. 橋梁モニタリングの動向

2.1 モニタリング技術

国土交通省が管理する一般国道の橋梁は、橋梁点検要領（案）に基づき定期点検が実施され、これらの点検データは橋梁の構造データと共にデータベース化されている。さらに最近では、こ

のデータベースに基づき、橋梁の健全度評価と補修計画を合理的に行う、橋梁マネジメントシステム（BMS）¹⁾が検討されている。BMSでは、健全度をいかにして把握するか、いつどういう補修対策をするか、限られた予算をどう配分するか、また、得られたデータをどう管理し利用するかということが検討されるが、これらのうち健全度評価の手法として、異常の早期発見および維持管理の合理化を図る橋梁モニタリングシステムの果たす役割は大きいと考えられている。

このように、橋梁の維持管理を目的とした計測では、供用中において長期的または経常的なモニタリングが必要になるが、これを実現するためには、計測システムを遠隔地から操作し、データ収集図2.1に示すような遠隔計測システムの導入が不可欠になる。遠隔通信の方法としては、一般的のインターネット通信と同様に、専用回線を使用するもの、一般電話回線を使用するもの、あるいは、携帯電話やPHSのような公衆無線回線を使用するもの²⁾などに分けられる。測定の頻度や、測定対象の通信環境条件、通信費用などを考慮して、これらの中から通信方法を選択することになるが、最近の高速専用回線や無線LAN技術の普及により、橋梁振動のような動的現象のモニタリングへの適用も期待されている³⁾。

橋梁モニタリング計測に使用するセンサとしては、ひずみゲージ、変位計、加速度計、温度計などが挙げられるが、モニタリングの目的や測定精度に応じたセンサが選択される。例えば、最近の橋梁モニタリングの研究事例としては、ひずみゲージを利用して、車両の速度や車両重量等を推定する道路活荷重モニタリングシステム（Bridge Weigh-In-Motion System）⁴⁾や光ファイバセンサ（光学ストランド）を用いて、動的特性評価や損傷度評価を行うヘルスモニタリングシステム（OSMOS: Optical Strand Monitoring System）⁵⁾などがある。

2.2 木橋のモニタリング

前節で述べたように、供用中の橋梁モニタリングは、安全性の確保と、余寿命の予測が主な導入目的であるが、木橋においては、構造特性評価や設計仮定値の検証のためのデータ収集ということも大きな目的となる。わが国の近代木橋の歴史はいまだ15年足らずであり、木橋に携わる研究者も少なく、研究報告や調査事例も依然として少ないのが現状である。この様な状況の下で、より多くの測定データを効率よく収集するためには、遠隔モニタリングシステムの技術を活用することが効果的であり、わが国独自のデータに裏付けされた設計規準の整備を進める上でも有効な手段となろう。

表2.1にわが国で導入されている主な木橋のモニタリングシステムの概要を示す。表中の1、2の百名石橋および金峰2000年橋は、どちらもアーチ橋の床版として採用されているプレストレス木床版を対象としたプレストレス変動のモニタリングシステムが導入されており、写真2.3（上：百名石橋、下：金峰2000年橋）に示すように、PC鋼棒の締着部にロードセルを介して、緊張力

表2.1 主な木橋のモニタリングシステム

	システム名	橋名（架橋地）	センサ種別	データ転送	期間
1	プレストレス木床版の緊張力変動モニタリング	百名石橋 (秋田県協和町)	ロードセル 温湿度計	一般電話 回線	1999/2 ～
2	プレストレス木床版の緊張力変動モニタリングム	金峰2000年橋 (鹿児島県金峰町)	ロードセル 温湿度計	一般電話 回線	1999/12 ～
3	鋼・集成材ハイブリッド桁の温度・ひずみ変動モニタリング	坊中橋 (秋田県藤里町)	ひずみゲージ 熱伝対、温湿度計	一般電話 回線	2000/12 ～

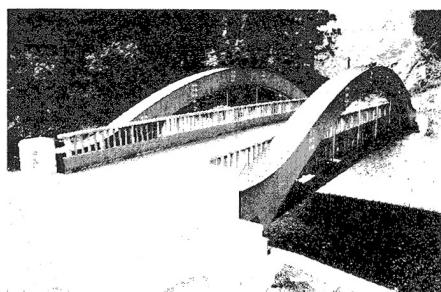


写真 2.1 百目石橋

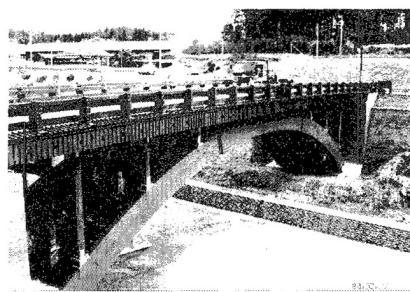


写真 2.2 金峰 2000 年橋

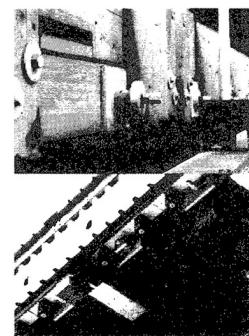


写真 2.3 ロードセル

の変動が毎時計測されている。表中 3 の坊中橋は、わが国で初めて架設された集成材と鋼床版を組み合わせたハイブリッド橋であるが、線膨張係数の異なる材料からなるハイブリッド桁に及ぼす環境温湿度の影響を評価することを目的とした温度・ひずみ変動モニタリングシステムが導入されている⁶⁾。これら 3 橋のシステムは現在も稼働中であり、毎時測定されたデータは一般電話回線によってそれぞれの観測地に転送されている。

3. モニタリング事例

ここでは、一例として表2.1に示した事例のうち、プレストレス木床版に関するモニタリングシステムである百目石橋の事例を紹介すると共に計測データに関する考察を加える。

3.1 プレストレス木床版構造

プレストレス木床版形式の木橋は北米やヨーロッパ、オーストラリアを中心に広く普及しており、わが国においても 1993 年に秋田県内の国有林道に「揚げの沢橋」が初めて架設されて以来、架設事例が増加しており、低コストな木橋として今後の発展が期待されている。プレストレス床版の構造は図 3.1 に示すように、幅員方向に並べたラミナ（製材、集成材、LVL 等）を複数本の PC 鋼棒で緊張しラミナ全体を一体化することで版構造として機能させるものである。したがって、幅員方向のプレストレス損失は床版の剛性に影響を与えることになる。このプレストレス損失は、鋼棒の応力緩和、木材のクリープ、乾燥収縮等の要因によって生じるために、初期緊張作業後に数回の再緊張作業が必要となる。図 3.2 に示したのは、緊張回数とプレストレス損失の一例⁷⁾であり、1 回だけの緊張では、初期導入プレストレスの約 80%が損失してしまう場合もある。必要プレストレスの計算は、(a)幅員方向の曲げモーメントによって床版下面に引張応力が生じないこと、(b)せん断力によって隣接するラミナが滑らないとの 2 条件を基本に誘導されるが、AASHTO⁸⁾では、上述のプレストレス損失を考慮して、必要プレストレスの 2.5 倍（有効プレストレス:40%）を導入することとしている。

3.2 プレストレス変動モニタリング

(1) システム概要

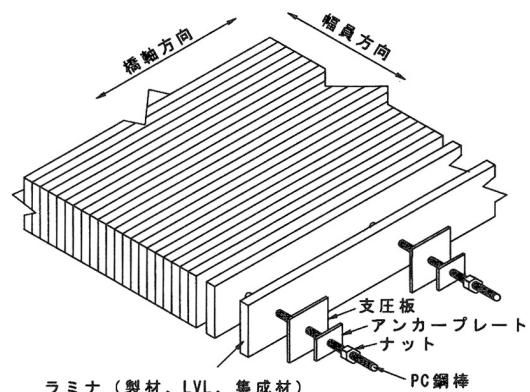


図3.1 プレストレス木床版構造の概念図

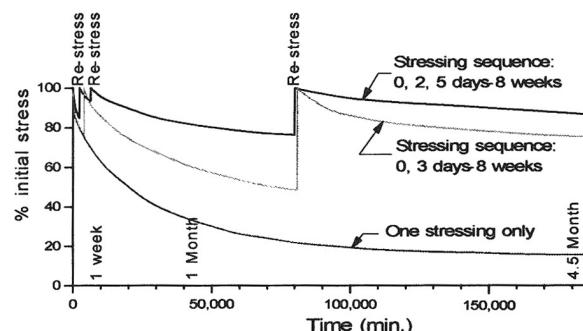


図3.2 緊張回数とプレストレス損失の関係

(Ritter, *Timber Bridge*, 1990 より⁷⁾)

実橋の供用環境下におけるプレストレス変動挙動を確認するために、百目石橋の床版施工時に写真 2.3 に示したようにロードセルを設置し、鋼棒の緊張力を観測するシステムを導入した。21 本中 6 本の鋼棒に設置したロードセルと橋梁周辺の温度、湿度の合計 8ch の測定データは、架設地からおよそ 100km 離れた研究室まで電話回線によって毎時転送されている。

(2) 測定結果と考察

図3.3に示したのは初期緊張作業後1200日間のプレストレス鋼棒の緊張力（各鋼棒の日平均を平均化した）および温度・相対湿度の経時変動（日平均）である。本橋では初期緊張後2回の再緊張作業を実施しているが、1年経過時で設計緊張力のおよそ50%が損失している。その後は、環境温湿度の変動に伴って、夏場の高温多湿期にプレストレスが増加し、冬場の低温乾燥期にプレストレスが損失するという挙動を示し、初期値の40%～50%の間で変動を繰り返している。また、プレストレス変動は、温湿度の日変動にも敏感に対応しており、温度が上昇し相対湿度が低下する日中にプレストレスが減少し、温度が低下して相対湿度が上昇する夜間にプレストレスが上昇する挙動が認められている。これらの変動挙動は環境湿度の変動に伴って木材中の含水率が変動することに起因するものであり、木質材料特有の現象である。

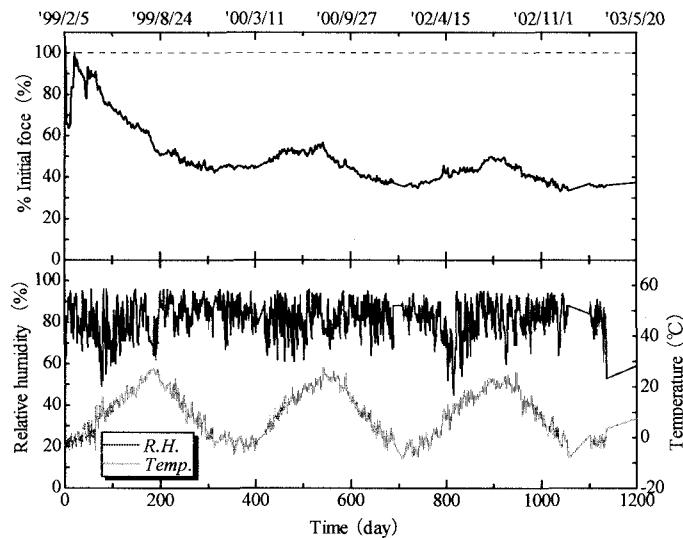


図 3.3 緊張力変動（上）と温湿度の経時変動（下）

4. おわりに

プレストレス木床版をはじめとして、国内に施工されている木橋の多くは、諸外国の設計手法や実験データを参考に設計されているが、使用する部材の材料特性、防腐処理薬剤の種類、環境条件など国内で建設する場合の仕様の違いについては殆ど考慮されていない。したがって、将来的に国内仕様に適した独自の設計基準や維持管理マニュアルを整備していくためには、実橋を対象とした実験・計測データの蓄積が不可欠になる。橋梁モニタリングシステムは、異常の早期発見および維持管理の合理化を図ることが本来の導入目的であるが、同時に、より多くの実測データを効率的に収集するという点でも有効な手段と考えることができる。近年、ハイブリッド木橋など新形式の木橋も増加していることからも、こうした実測データに基づく評価が一層重要になると予想される。秋田県では、木橋の維持管理に関して、モニタリングシステムを活用しているが、上述の測定結果を参考にして、現在、百目石橋の再プレストレス導入の時期を検討している。

参考文献

- 1) 佐藤弘史：橋梁マネージメントシステム、土木学会誌、Vol.85, pp.44-45, 2000. 2.
- 2) 寺尾圭史、松本好生：橋梁モニタリングシステムの開発、横河ブリッジ技報、No.27, 1998. 1.
- 3) 構造工学シリーズ10、橋梁振動モニタリングのガイドライン、土木学会、2001.
- 4) 小塩達也、山田健太郎、小林直人：プレートガーター橋の縦桁を用いたBridge-Weigh-In-Motionシステムの開発、土木学会年次学術講演会概要集、I-A170, 2000. 9.
- 5) 光学ストランドを用いた構造物のモニタリングシステムに関する基礎的研究、V-329, 2000. 9.
- 6) 佐々木貴信、薄木征三、後藤文彦、飯島泰男：集成材・鋼床版ハイブリッド木橋の温度・ひずみ測定に関する考察、構造工学論文集、Vol.49A, pp. 895-901, 2003
- 7) Ritter, M. A.: Timber bridge—Design, Construction, Inspection, and Maintenance, USDA, 1990.
- 8) AASHTO: Guide Specifications for the Design of Stress-Laminated Wood Bridges, 1991.