

吊橋ケーブルバンドボルトの ワイレス軸力計測装置の開発

鈴木 優平^{*1}
Suzuki Yuhei

長大橋の吊橋のケーブルバンド締付ボルト軸力計測において、従来のシステムを新しいシステムへ置き換えられるかどうかを検証した。実用上十分な精度を求めることは必須であるが、新技術（ワイレス方式）を導入し、運用方法を改善できるような装置を開発した。

キーワード：長大橋、吊橋、ケーブルバンド、M5Stack、軸力

1. はじめに

現在、長大橋の吊橋の主ケーブルバンドの締付ボルト（図 1 (a)）の軸力管理は図 1 (b) に示す締付ボルトの長さ変化を計測することにより実施している。ここで、ケーブルバンドとは、主ケーブルと補剛桁をつなぐ重要な部材である。このケーブルバンドを締め付けているボルトの軸力に変化がなければ、ゆるみが生じていないことがわかる。

この計測システム一式は橋梁建設時に製作され、その橋梁のボルトに対応した専用機（図 1 (c)）

である。そのため、老朽化により故障が発生しても、メーカーサポートが対応しておらず、再製作も難しい。このような状況では、今後、長期にわたる定期点検に対応することができないため、新しい装置へ置き換えていく必要がある。

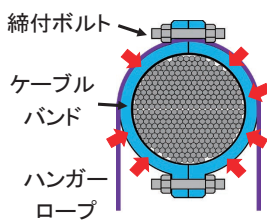
2. 課題・対策

現状の軸力計測に対し、新しい装置は以下の条件を満たす必要がある。

- (1) 過去のデータと一貫性を持つ
システム置き換えのための締付ボルトの取り



(a) ケーブルバンド外観



(b) ケーブルバンド断面



(c) 従来の軸力計測システム

図 1 ケーブルバンド締付ボルトと軸力計測システム

*1：研究開発センター 研究開発グループ 博士(工学)

換えなどの大規模改修を必要としない。

(2) 締付ボルトの塗装を除去する必要がない

(3) 変位式計測である

計測位置に金属球が埋め込まれている特殊なボルトであるため、超音波式の採用は難しい。

(4) 小型かつ軽量

重量物である演算ユニット、測長器、基準棒の落下の危険から、計測場所まで運搬する際に橋を通行止めになっているが、その必要をなくす。

(5) ワイヤレス式

作業場所が高所かつ狭いため、作業者の墜落制止用器具と干渉するような装置の通信ケーブルをなくす。

以上から、新規開発は変位式で演算ユニットおよび変位計を小型軽量・ワイヤレス式とすることにした。

3. 軸力計測システム開発

橋梁の長期の保守点検を今後も継続するために、新規装置の部品は汎用品を使用する必要がある。近年では、さまざまな開発モジュールが販売

されており、自由に計測システムを構築できる時代になっている。そこで、本開発案件では、M5Stack (M5Stack 社) を利用した計測システムを採用した。そのシステムを利用すれば社内で機器の開発、組み立て、計測サービス、保守点検を完結できる。

4. 実施項目

開発は、「軸力計測システム開発」⇒「精度検証」⇒「現場検証」と段階を追って進めた。それぞれの実施内容を説明する。

4.1 軸力計測システム開発

開発モジュールである M5Stack を活用し、測長器からの電圧信号を計測し、内部 CPU にて変位に変換し、Wi-Fi 経由でタブレットに記録されるシステムとした。

図 2 は従来のシステムと新しいシステム (以下新旧システム) の比較である。従来の装置の演算ユニットがタブレットへ置き換わり無線化された。また、置き換えのできない測長器を除く部分

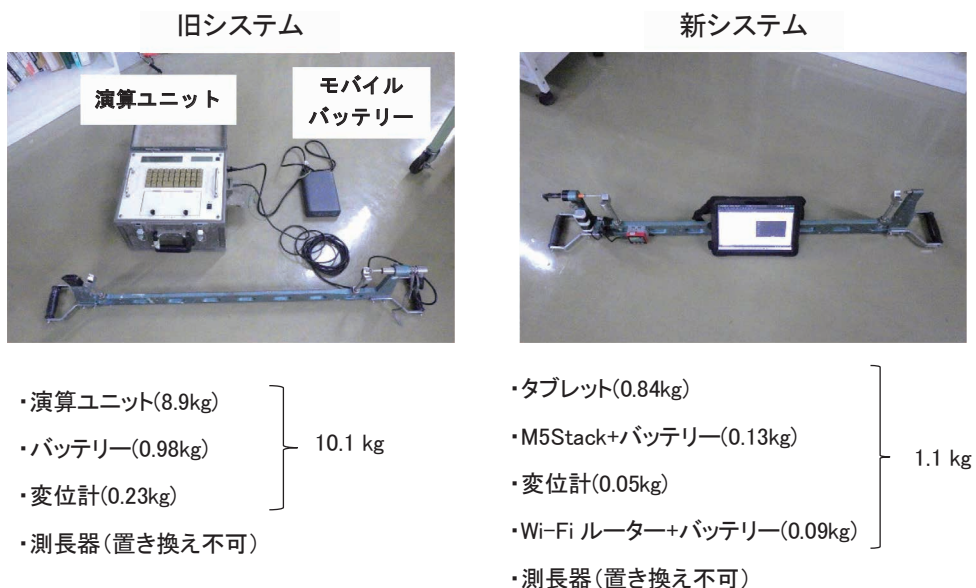


図 2 新旧システム比較

の重量は 10.1kg、から 1.1kg となり、1/10 に軽量化することができた。

4.2 精度検証

新システムについて、まずは実験室レベルでの精度を確認した。

検証には精度が保証されているブロックゲージを用いた。図 3 に検証結果を示す。従来のシステムの分解能は 0.01mm であるため、まず 1.00mm、1.01mm のブロックゲージを用い、厚さ 1.00mm を基準として、1.01mm (+0.01mm) の計測値を求めた。次に、実用上の最大変位量が 2mm 程度のため、1.00mm と 2.00mm のブロックゲージを用い、厚さ 1.00mm を基準として、2.00mm(+1.00mm) の計測値を求めた。

計測は 3 回行い、平均値をとっている。また比較のため、従来のシステムでも検証した。

図 3 に示す通り、新システムでは厚さ 1.01mm のブロックゲージを計測したときの誤差は 0.000mm、厚さ 2.00mm のブロックゲージを計測した場合は、誤差 0.003mm であった。いずれも誤差は 0.01mm 以下であり、従来のシステムと同等の精度を有することがわかった。

また、従来のシステムについても誤差は 0.01mm 以内であることが確認された。

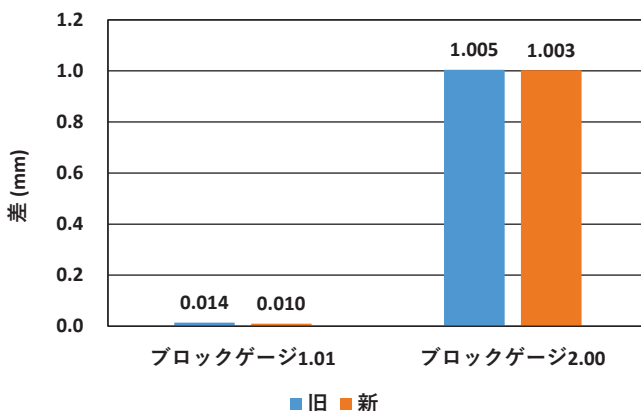


図 3 ブロックゲージを用いた精度検証結果

4.3 現場検証

実際の橋梁では、図 4 に示すように、作業者はケーブルの上に乗って計測する。そこで常に振動している現場のケーブル上で新旧システムを比較した。

計測では、従来の方法と同様、基準棒をゼロとして被計測ボルトの長さを「基準棒長さとの差」として求めた。結果を図 5 に示す。

それぞれ 3 回ずつの平均値をとったが、新旧システムの差は 0.018mm であった。すなわち、従来手法による計測に対して、目標精度の 0.01mm を超えた誤差が生じることを示す。変位量で 0.018mm の差は軸力値換算で 0.9t の差である。これは、低



図 4 現場検証
(作業者はケーブルに乗って計測している)

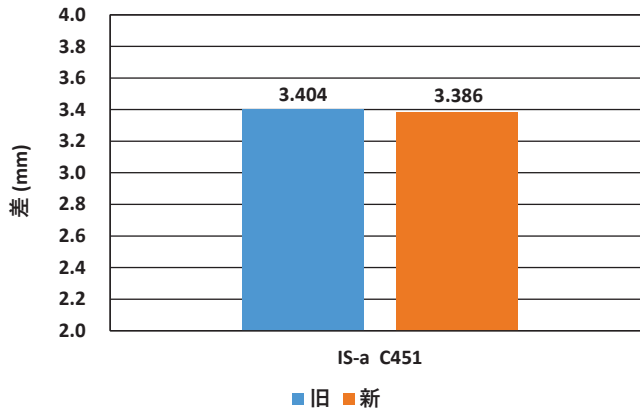


図5 現場検証結果

軸力において装置の差が無視できないこと（例えば20tであれば誤差5%程度）を意味している。

誤差の原因は現地ケーブルが常に振動していることや、測長器をボルトに設置する際に装置を傾斜させる必要があり、設置状況が社内検証と異なったことが考えられる。

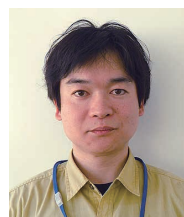
5. まとめ

- (1) 演算ユニットはタブレットへ置き換わり、無線化（Wi-Fi）できた。また、重量は1.1kgとなり、1/10に軽量化できた。
- (2) 精度保証されたブロックゲージを使用して、新システムの精度検証を実施し、目標値0.01mm以内を満した。
- (3) 実際のケーブル上での計測では新旧システムは変位量で0.018mm（軸力値換算0.9t）の差が生じた。

6. 結論

長大橋の吊橋のケーブルバンド締付ボルト軸力計測のための新システムの検証を実施した結果、実用上は十分な精度であり、新システムへ置き換えられると判断した。また、ボルト軸力の経年変化を見ていくためであれば、さらに問題は生じないと考えている。現場計測では新旧システムに差が生じたが、これは装置の精度の差ではなく、計測状況や設置状況の影響によるものと考えられるため、作業基準を明確に定めるなど装置の運用方法で解決できると考えられる。

今後は、他ボルトにおいて新旧システムの同時運用を経て、新システムの有用性を実証していきたい。



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