

技術紹介

呉羽丘陵フットパス連絡橋の振動特性評価

～無線振動計測システムの活用～

Evaluation of Vibration for Kureha Hills Footpath Suspension Bridge with Wireless Vibration Measurement Systems

伊藤 剛 ^{*1}
ITOH Takeshi

岩田 龍也 ^{*2}
IWATA Ryoya

島中 真一 ^{*3}
HATAKENAKA Shinichi

1. はじめに

呉羽丘陵フットパス連絡橋¹⁾は、支間長 124m の柔軟な吊橋であり、複雑な風環境が懸念される切通しに架設されることから、計画当初より詳細な耐風検討が行われ、図 1 に示すようなフラップ等の耐風対策を採用している。完成後、耐風検討時に仮定した振動特性を検証するために振動測定²⁾を行い固有振動数と減衰特性を直接測定した。測定には新たに開発した無線振動計測システムを用い、その有効性を確認した。

2. 無線振動計測システム

独自に開発した無線振動計測システムは、加速度センサと計測用 PC 間の信号線を無線化することで、計測時のケーブル敷設作業が不要となるとともに、デジタル通信によりノイズが大幅に低減される。システムの主な仕様を図 2 に示す。

8 基の 3 軸加速度センサを無線ネットワークで結び、サンプリング周波数最大 200Hz の同期データを収録しつつ、フィルタ処理や周波数分析結果をリアルタイムにモニタリングできる。また、各振動成分の位相差判定や減衰率の評価を現地で行えることから、結果を見ながら効率的に測定を進めることができる。

3. 試験概要

各種の振動モードが分析できるよう支間長の 8 分点の中から図 3 の①～⑧の位置に 8 基の加速度センサを配置した。このうち、2/8・4/8・6/8 の各点には、幅員両サイドの高欄基部に 1 基ずつセンサを配置し、鉛直加速度の差分からねじり振動成分を検出している。測定にあたっては、常時微動と通常歩行時の振動観測および写真 1 に示すような最大 13 名での人力加振を行い、応答振幅を記録した。フィルタ処理により特定の振動数成分を抽出し減衰特性を求めるとともに、複数点の振動波形の相関分析からモードを同定した。

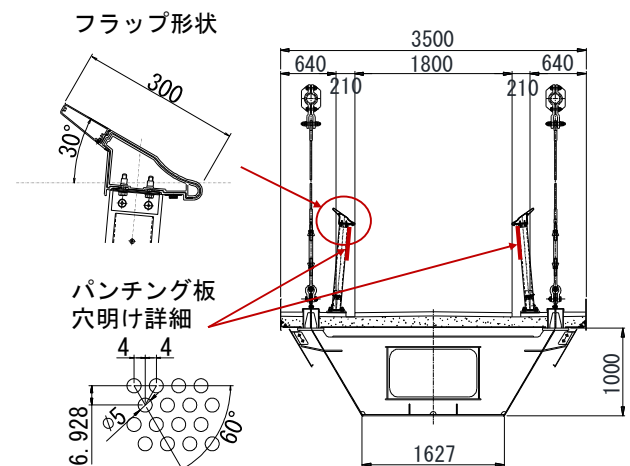


図 1 断面図と主な耐風対策

項目	仕様・特徴	無線アンテナ 1ch 1/8点 高欄側 加速度センサ モジュール
測定チャンネル数	8ch×XYZ 3 軸同時計測	
モジュールサイズ	W250mm×D150mm×H100mm	
信号線・電源線	不要	
設置作業時間	1 名 × 1 時間 防水対応含む	
ノイズ	デジタルセンサ採用により 高 S/N 比 ケーブルノイズなし	
測定対象	400m までの橋梁を想定 延長可能	
データ同期精度	30 μ 秒以下 : GPS 利用	
物量	キャリアケース 2 個分	
連続計測時間	バッテリーにより 8 時間以上	

図 2 無線振動計測システムの諸元

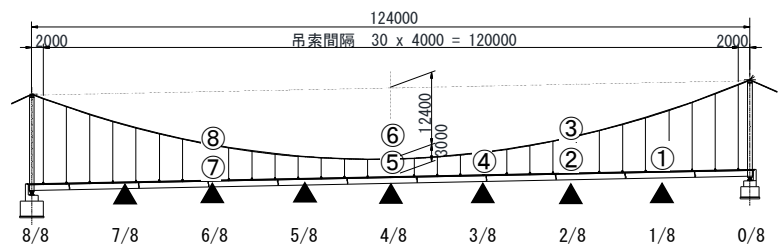


図 3 加速度センサ設置位置

*1 川田工業株式会社橋梁事業部開発部 主幹

*2 川田工業株式会社橋梁事業部技術統括部東京技術部富山技術課

*3 川田工業株式会社橋梁事業部開発部 部長

4. 測定結果と考察

(1) 耐風検討の妥当性について

図4にたわみ1次の加速度応答例を示す。また、設計段階の風洞試験において想定した振動数および減衰特性と、今回の振動試験において認められた振動特性を表1に示す。たわみ1次モードの振動数 $f=0.65\text{Hz}$ は、耐風検討時の振動数 $f=0.608\text{Hz}$ より約7%高い振動数が確認された。同モードの対数減衰率： $\delta=0.03$ についても風洞試験時の設定値を上回る結果となった。

ねじり1次モードについては表1に示した振動数 $f=1.765\text{Hz}$ の他に、耐風検討後に高欄の剛性を考慮した再解析の結果から振動数 $f=4.1\text{Hz}$ 程度となる結果が示されたため、 $0\sim 5\text{Hz}$ の振動数域に特に着目して加振と分析を行ったが、振動数を検出するには至らなかった。ねじり1次モードの振動数は 5Hz より高いか、減衰が非常に大きい構造であることが推察される。以上の結果から、本橋の耐風性能はたわみ・ねじりのいずれも耐風検討時の設定値を上回っているものと判断でき、現地で発現しうる強風に対して十分な耐風性を有していると判断される。

(2) 歩行時の安定性について

歩行者の歩調と干渉する 2.0Hz に最も近い振動数は、たわみ2次振動 $f=1.5\text{Hz}$ であった。体感的には橋面を走る人が近づくと多少の揺れを感じる程度であった。13人での強制加振で生じた加速度は最大で 50gal 程度、片振幅約 30mm であり、イベントなどで多くの歩行者が通行する場合でも、大きな揺れや恐怖感を感じることなく利用できるものと推察される。

(3) 無線振動計測システムについて

本システムを使用したことで、電源線や信号線の敷設が不要となるため、同規模の橋梁では、これまで半日かかった設置・撤去時間が1時間程度と大幅に削減できた。

測定システムの機能として、図5に示すように振動数や位相差の確認など、振動モードをリアルタイムで判定できるため、耐風検討時の結果と照らし合わせながら一連の計測を手戻りなく実施できた。

5. おわりに

振動測定により、本橋の基本的な振動特性を把握することができた。耐風検討時に想定した固有振動数および減衰率の仮定も、安全性を評価する上で適切であったことが確認できた。

また、新しく開発した無線振動計測システムの有効性を確認できた。振動計測は、構造物の経年劣化をモニタリングできる非破壊検査の一手法として需要が増加しており、信号線が不要となる本システムの特徴を活かして、共用下の道路橋の振動計測などにも活用していきたい。



写真1 人力による強制加振状況

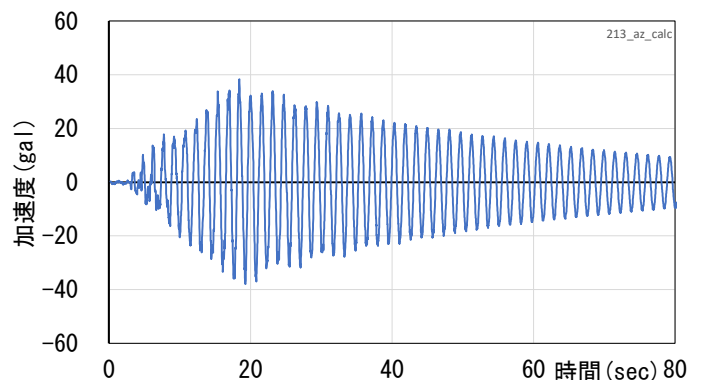


図4 たわみ1次の加速度応答

表1 設計時の耐風検討と振動測定結果の比較

モード	耐風検討時		振動測定結果	
	振動数 f	対数減衰率 δ	振動数 f	対数減衰率 δ
たわみ1次	0.608Hz	0.02	0.65Hz	0.03
ねじり1次	1.765Hz (4.1Hz)*	0.02	--	--
面外1次	--	--	0.53Hz	0.15~0.17

※高欄の剛性を考慮した再解析の結果



図5 無線振動計測システムの計測画面の例

参考文献

- 1) 岩田, 大野, 杉本, 杉田, 鴛田, 山田: 呉羽丘陵フットパス連絡橋の建設, 川田技報, Vol.43, 2023.
- 2) 岩田, 伊藤, 帯刀: 呉羽丘陵フットパス連絡橋の実橋振動試験, 2024年度土木学会全国大会 第79回年次学術講演会, 2024.