

強風環境下における橋梁高欄トップレールの振動特性に関する研究

構造設計工学研究室 正岡 亮

1. はじめに

橋梁の高欄トップレール（以下、高欄）は、橋梁利用者の安全を確保する上で重要な構造物の一つである。近年、海上橋にて高欄の支間や接合部に複数のき裂の発生が報告されている（図-1）。その原因はまだ解明されていないが、橋梁が設置されている環境から、強風による振動であると推測されている。このき裂が進展すると、高欄が破断し、橋梁利用者に被害をもたらす可能性があると考えられる。それゆえ、この高欄の損傷要因を明らかにすると共に、き裂発生防止策を検討する必要がある。

そこで本研究では、風に伴う振動に焦点を置き、強風による高欄の振動を明らかにすると共に振動の抑制手法の検討を目的とする。検討にあたっては実高欄の現地計測を行い、振動の大きさやその周波数特性の検討を行った。また、それと同時に振動抑制手法の検証も行った。

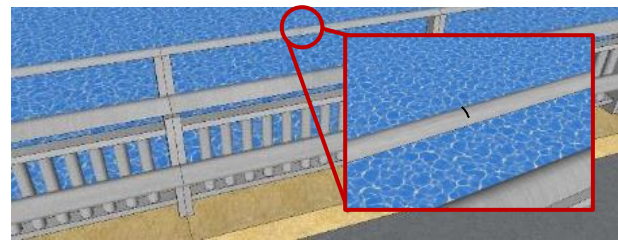


図-1 高欄におけるき裂（イメージ）

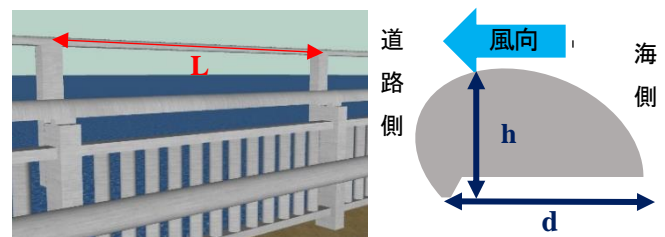


図-2 高欄の寸法【(左) 支間間隔 (右) 断面】及び風向

2. 対象高欄の特徴及び計測環境

計測を行った高欄の特徴及び計測環境を図-2 に示す。この高欄は支柱間隔(L)1907mm、断面積 5.32 cm² (h:50mm d:80mm) の半楕円型、板厚 2.5mm のアルミニウム合金製 (A6063S-T5) である。

計測当日の天気は晴れ時々雨、風向風速は東北東（計測対象高欄から見て海側から道路側）9～13m/s であった。

3. 高欄トップレールの振動特性

(1) 計測方法

高欄の振動特性を明らかにするため、無線加速度センサを用いた計測を行った。図-3 に示すように、高欄の端から 1/2L の位置（高欄支間中央）に無線加速度センサを設置し、高欄の加速度を計測した。なお、橋軸直角方向、橋軸方向、鉛直方向の三軸の加速度を計測し、無線加速度センサのサンプリングレートを 512Hz とした。また、無線加速度センサの質量は 130g であった。

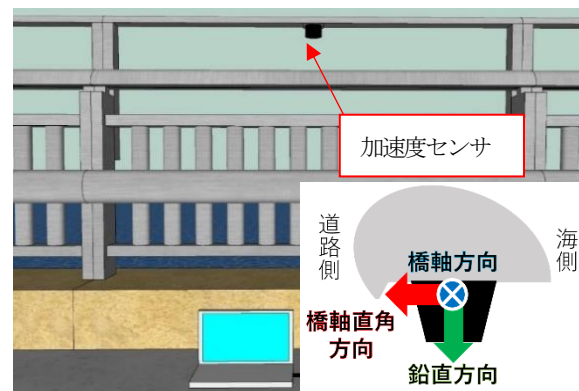


図-3 加速度センサ設置位置及び計測軸

(2) 計測結果

計測結果を図-4 に示す（縦軸：加速度(G)、横軸：計測時間(sec)）。加速度の最大レンジは橋軸方向（青）、橋軸直角方向（赤）、鉛直方向（緑）それぞれ 0.21G、1.6G、0.61G であった。

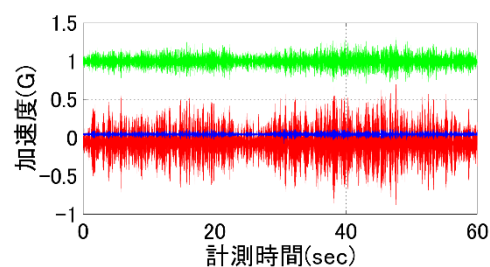


図-4 現状構造 加速度応答

卓越振動数を明らかにするために、加速度応答を高速フーリエ変換(FFT)によってスペクトル解析を行った結果を図-5 に示す（縦軸：振幅PI(f)、横軸：振動 f(Hz)）。橋軸直角方向・鉛直方向の加速度は約 29Hz が卓越していた。

加速度応答より変位挙動を推定するために、周波数成分で 2 回積分した後、フーリエ逆変換により変位の算出を行った¹⁾²⁾³⁾。図-6 に算出した合成変位を示す（縦軸：鉛直方向変位(mm)、横軸：橋軸直角方向変位(mm)）。最大変位は橋軸直角方向、鉛直方向それぞれ 0.22mm、0.068mm であり、今回の風況環境下では変位は極小であると推定

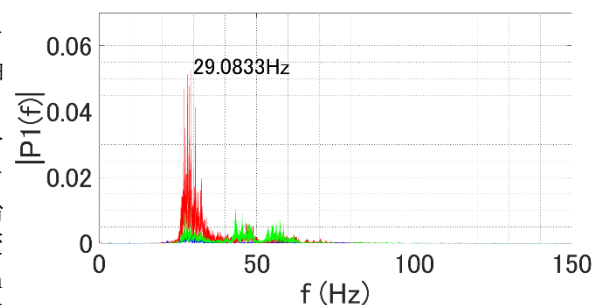


図-5 現状構造 加速度フーリエスペクトル

される。

以上の結果から、今回の風況環境下では、高欄は橋軸直角方向の振動が支配的であることが確認できる。

4. 振動抑制案の検討

高欄の振動を引き起こす外乱の一つとして渦励振が考えられる。その振動抑制法として、2つの方法を検討した。1つ目は、高欄の支間中央を荷締めベルト（ポリエステル製、幅25mm、厚さ1.2mm）で他の高欄と固定することで、高欄のスパンを縮小し、構造体の固有振動数を変える案（以下、支間縮小案）である（図-7(a)）。なお、無線加速度センサの設置位置を $1/4L$ とした。

2つ目は高欄にロープ（クレモナ製、外径12mm）で巻き付け、高欄表面に凹凸を設けて、カルマン渦の発生を抑制する案（以下、渦抑制案）である（図-8）。ロープは接合部から約300mmの位置から巻き始め、13周巻き付け、ピッチは約100mmとした。

支間縮小案の加速度応答を図-9に示す。加速度の最大レンジは橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向それぞれ0.075G、1.1G、0.27Gであった。図-4と比較すると、鉛直方向の振動を抑えられたものの、橋軸直角方向の振動抑制には効果がなかったことが確認できる。これは図-7(b)に示すように、荷締めベルトが主に鉛直方向を固定しており、橋軸直角方向の振動を抑制できなかったと考えられる。

渦抑制案の加速度応答を図-10に示す。加速度の最大レンジは橋軸方向、橋軸直角方向、鉛直方向それぞれ0.042G、0.38G、0.19Gであった。図-4と比較すると橋軸直角・鉛直方向共に振動を抑制していることが確認できる。ロープを巻き付けるすなわち高欄の形状を変え、渦励振が生じにくい形状となったことで、橋軸直角・鉛直方向共に振動を抑制することができたと考えられる。

よって、今回の風況環境下において振動を抑制するには渦抑制案が効果的であった。

5. まとめ

本研究では、橋梁の高欄を対象とし、強風による振動特性を確認し、それを抑制するために2つの抑制案を挙げ検証した。以下に本研究のまとめを示す。

- 1) 今回の計測条件下では、高欄は橋軸直角方向に大きく振動した。
- 2) 変位も橋軸直角方向が支配的であるが、今回の風況環境下では極小であると推定される。
- 3) 支間縮小案では鉛直方向の振動を抑制できるが、橋軸直角方向の振動の抑制効果は期待できない。すなわち、一軸方向のみ固定しても、全軸の抑制に期待できない。
- 4) 表面に凹凸を設けることで、高欄の振動を抑制できる可能性がある。

参考文献

- 1) 田井 政行, 澤田 知幸, 下里 哲弘, 日和 裕介: 無線加速度センサを用いた照明柱の疲労損傷度推定法の提案, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 75, No. 1, 13-20, 2019
- 2) 大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 鹿島出版会, P151-P161, 1997年10月

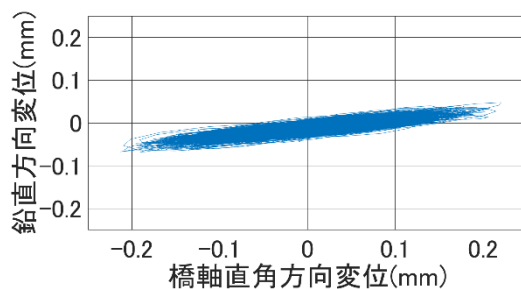


図-6 現状構造 合成変位

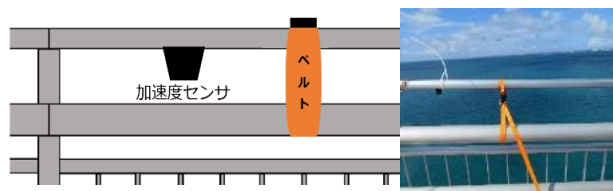


図-7(a) 支間縮小案概要

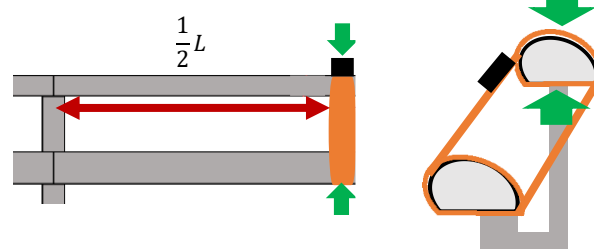


図-7(b) 支間縮小案仕組み

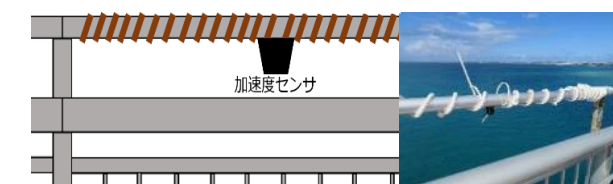


図-8 渦抑制案概要

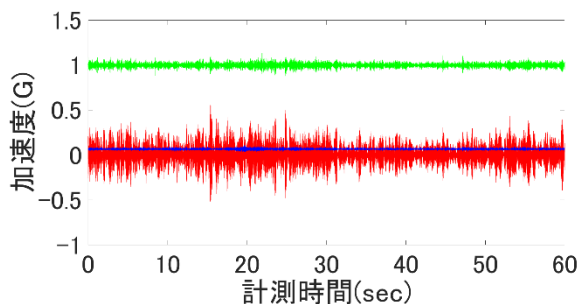


図-9 支間縮小案 加速度応答

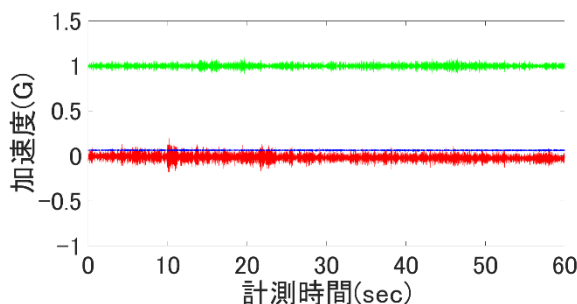


図-10 渦抑制案加速度応答

- 3) 関屋英彦, 横関耕一, 木村健太郎, 小西拓洋, 三木千壽: 橋梁の加速度記録を用いた変位応答算出法の提案, 土木学会論文集 A1 Vol. 72, No. 1, 61-74, 2016