

広幅員一面吊り長大エクストラードボード橋における並列ケーブルの空力振動特性と制振に関する検討

○京都大学工学研究科 学生会員 荒木伸哉
京都大学工学研究科 正会員 八木知己
大成建設・ピーエス三菱 JV 正会員 大熊 光

京都大学工学研究科 正会員 白土博通
大成建設株式会社 正会員 細谷 学
京都大学工学研究科 学生会員 有間将司
京都大学工学研究科 Mohd raizamzamani Md ZAIN

1. はじめに

新名神高速道路生野大橋は、兵庫県北区道場町生野に建設が予定されている PC7 径間連続エクストラードボード橋である。本エクストラードボード橋では、並列配置のケーブルの使用が予定されている。並列配置されるケーブルに生じる振動現象として、ウェイクギャロッピング(以下 WG)とウェイクインデューストフラッター(以下 WIF)が報告されている¹⁾。本検討では、風洞実験により生野大橋で採用される並列ケーブルの空気力学的な動的挙動を把握し、制振に必要な付加構造減衰を調査した。

2. 風洞実験概要

検討対象ケーブルは、暫定 4 車線時の固有振動数が最小のケーブルとした。ケーブル径は、 $D=160\text{mm}$ に対して、主桁側ではケーブル間隔 $W=730\text{mm}$ ($W/D=4.56$)、主塔側では $W=1182\text{mm}$ ($W/D=7.39$) となり、揖斐川橋梁と同様に非平行配置となっている²⁾。風洞実験においては $W/D=4.56\sim 7.39$ まで含む様に計測した。本風洞実験で用いた 2 本の 2 次元ケーブル断面模型は、アルミニウム製で上流側円柱を固定し下流側円柱を 8 本のばね

表 1 実橋ケーブルならびに風洞実験用ケーブル模型諸元

諸元	実橋値	実験値
ケーブル径	$D_p = 0.160\text{m}$	$D_m = 0.050\text{m}$
ケーブル長	$L_p = 85.55\text{m}$	$L_m = 0.900\text{m}$
単位長さ当たり質量 (等価質量)	$m_p = 47.1\text{kg/m}$	水平: $m_m = 4.76\text{kg/m}$ 鉛直: $m_m = 4.55\text{kg/m}$
固有振動数	$f_p = 1.89\text{Hz}$	水平: $f_m = 1.17\text{Hz}$ 鉛直: $f_m = 1.15\text{Hz}$
対数減衰率	$\delta_p = 0.005$	水平 $\delta_m = 0.0029\sim 0.0070$ 鉛直 $\delta_m = 0.0038\sim 0.0070$
スクルートン数	$Sc_p = 15$	水平: $Sc_m = 9.6\sim 22.9$ 鉛直: $Sc_m = 11.7\sim 21.7$

で平行に弾性支持し、2 円柱の配置を様々に変化させ下流側円柱の動的挙動を調査した。風洞風速で $U_m=0.5\text{m/s}\sim 15.0\text{m/s}$ まで変化させており、実橋風速で $U_p=2.63\text{m/s}\sim 78.9\text{m/s}$ に対応するが、これは亜臨界レイノルズ数での検討となっている。図 1 に示すように、無風時の水平・鉛直方向間隔を X, Y と定義し、風による静的なつり合い位置をそれぞれ W, S で定義した。表 1 に、本研究で使用した風洞実験用ケーブル模型と実橋ケーブル諸元を示す。スクルートン数は以下のように定義される。

$$S_c = 2m\delta / \rho D^2$$

ただし、 m :ケーブル質量 [kg], δ :対数減衰率,
 ρ :空気密度[kg/m^3], D :ケーブル直径[m]とする。

3. 並列ケーブルの耐風性

3. 1 無対策ケーブルの振動応答特性について

図 2 には、各配置における無対策ケーブルの応答結果を示す。水平間隔 $W/D=3.0$ 付近のケースでは、高風速域で鉛直方向に激しく振動しており、典型的な WG

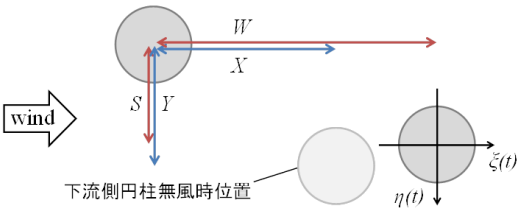


図 1 ケーブルの模型配置ならびに応答変位の定義

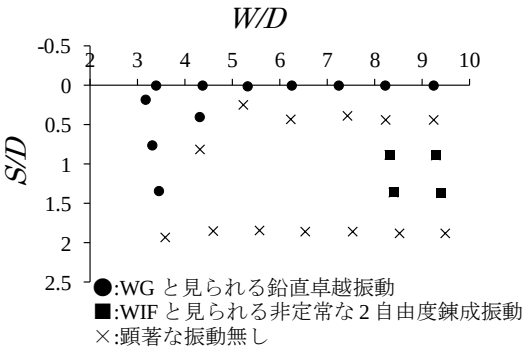


図 2 無対策ケーブル振動応答

($U_m=10.0\text{m/s}\sim 15.0\text{m/s}$, $U_p=2.63\text{m/s}\sim 78.9\text{m/s}$, $U/D=173.9\sim 260.9$)

である。水平間隔 $W/D=4.0$ 以上の $S/D=0$ 付近のケースでも高風速域では鉛直方向に卓越した WG が観測されたが、 $W/D=3.0$ 付近のケースと比べ、振動応答は安定化していた。 $W/D=8.0, 9.0$ で $S/D=1.0, 1.5$ の場合に、非定常な応答ながら、水平方向に卓越した WIF の可能性がある 2 自由度連成振動が確認された。

3. 2 減衰を付加した際の振動応答特性について

次に簡易オイルダンパーによって構造減衰を付加した場合の空力応答特性を調査した。構造減衰は、低振幅域において対数減衰率で約 0.03、スクルートン数で約 90 程度になるように減衰を付加した。特に、無対策時のケーブルで不安定な振動が発現した領域について検討した (図 3 参照)。 $W/D=3.0$ 付近のケースでは、多少の安定化が見られたが、激しい鉛直 1 自由度振動が発現した。無対策時には WG が発現した $W/D=4.0 \sim 8.0$ の $S/D=0$ のケースでは空力不安定振動が消滅した。一方 WIF の可能性が示唆された $W/D=8.0, S/D=1.5$ のケース、 $W/D=9.0, S/D=1.0$ のケースでは、無対策時と比較しても応答振幅に差異が見られず、付加減衰の効果は小さいと言える。生野大橋のケーブル間隔は $W/D=4.56 \sim 7.39$ であり、 S_c を約 90 程度になるように構造減衰を付加する事によって、並列ケーブルは空力的に安定化させる事が出来る。ただし、最大間隔 7.39D 付近では WIF と見られる振動が残る可能性が示唆されるが、ケーブルが平行で無いため、ケーブル全体が振動する恐れはないと考えられる。

3. 3 空力減衰の評価

本節では、WG が発現する時刻歴応答波形から空力減衰を算出し、制振に必要な付加減衰の評価を試みた。 $W/D=4.0 \sim 8.0$ で発現する WG の励振力はそれほど大きいものではなく、振幅依存性はあるが、構造減衰率は、概ね -0.03 ~ -0.01 であった。図 4 に自由振動実験で得られた時刻歴応答波形と空力減衰の 1 例を示す。これは前節で構造減衰を 0.03 まで上げた場合に WG が安定化したことに対応している。従って構造減衰 0.03 程度、即ち S_c 数で 90 程度に設定すると、ほぼ WG は制振出来ると考えられる。ただし、道路橋耐風設計便覧³⁾によると、レインバイブレーションの制振には S_c 数で 140 ~ 200 程度必要である。生野大橋の場合は単位長さ当たりのケーブル質量が小さく、構造減衰率は約 0.047 ~

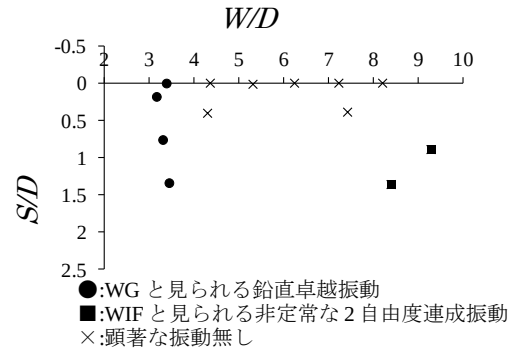


図 3 減衰付加後の下流側円柱の振動応答

($U_m=10.0\text{m/s} \sim 15.0\text{m/s}$, $U_p=2.63\text{m/s} \sim 78.9\text{m/s}$, $U/D=173.9 \sim 260.9$)

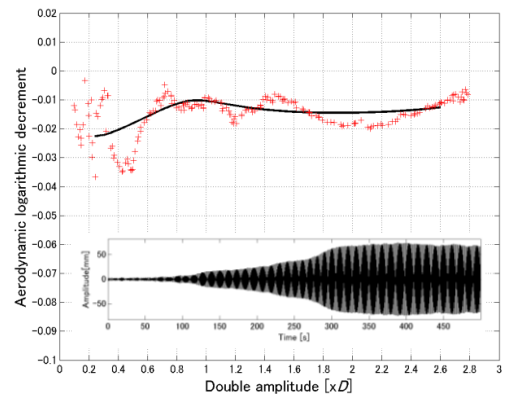


図 4 時刻歴応答図ならびに空力減衰の一例

($W/D=4.17, S/D=0.01, U_m=10\text{m/s}, U_p=52.6\text{m/s}, U/D=173.9$)

0.067 必要となる。つまり、生野大橋の場合、レインバイブレーション対策を施せば、WG 発現の心配はないと考えられる。

4. 結論

以下に本研究で得られた結論を述べる。

生野大橋の場合、ケーブル間隔が $W/D=4.56 \sim 7.39$ のため、低振幅域での対数減衰率が 0.03、スクルートン数は約 90 程度になるよう付加減衰を与える事で、空力不安定現象を抑制する事が明らかとなった。一方、一般的にレインバイブレーション対策として S_c 数で 140 ~ 200 程度必要であり、生野大橋の場合、構造減衰は約 0.047 ~ 0.067 必要となるため、結果としてレインバイブレーション対策を施せば、WG の心配はないと言える。

参考文献

- [1] 荒木伸哉, 八木知己, 小杉翼, 有間将司, Mohd Raizamzamani Md ZAIN, 白土博通: フラッター解析に基づいた並列円柱の空力振動現象に関する研究, 第 23 回風工学シンポジウム論文集, pp.205-210, 2014
- [2] 水口和之, 中須誠, 春日昭夫, 所伸介: 三次元弾性体ケーブル模型を用いたウェークギャロッピングに関する検討, 構造工学論文集, pp.1037-1042
- [3] 社団法人日本道路協会: 道路橋耐風設計便覧 (平成 19 年度改定版), 2007