

並列ケーブルの空力振動応答特性と非定常空気力に関する研究

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 学生会員 有間 将司
 京都大学工学研究科 正会員 白土 博通

京都大学工学研究科 学生会員 小杉 翼
 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己

1.序論

斜張橋ケーブルやエクストラード橋の斜材等に見られる様な、複数の円柱が平行配置された構造では、ウェイクギャロッピング(以下 WG)やウェイクインデューストフラッター(以下 WIF)といった空力振動現象の発現が確認されている。しかし、WIF の発生メカニズムについては未だ全容は解明されていない。本研究では風洞実験によって下流側円柱の振動応答特性を明らかにし、また、WIF について着目し非定常空気力特性から空力振動現象の発現機構の解明を目的とした。

2.自由振動応答実験

2本の平行配置された円柱模型(上流側円柱:固定, 下流側円柱:ばねにより弾性支持)において、2円柱の配置を様々に変化させ、下流側円柱について2自由度自由振動応答実験を行い、各配置での振動応答特性を調べた。2円柱間の中心間の水平距離を W 、鉛直距離を S とし、円柱直径 $D=0.05[m]$ で除したものをパラメータとして用いた。水平方向、鉛直方向の固有振動数を $f_x=1.42[Hz]$ 、 $f_y=1.37[Hz]$ とした。Fig.1 に各配置における下流側円柱の振動応答特性を示す。($U/fD=117\sim 177$ 程度)

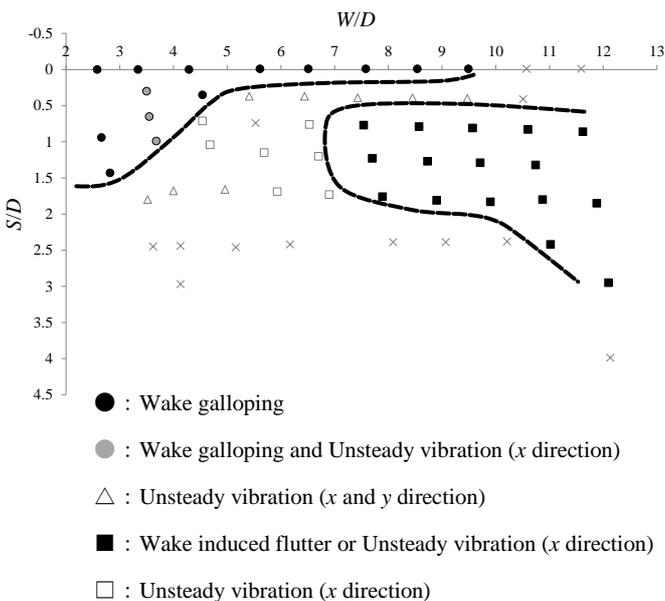


Fig.1 下流側円柱の振動応答特性(2自由度)

過去の研究¹⁾では $W/D=2.5\sim 6.0$ における比較的小さな S/D の範囲で WG が発現していたが、本実験ではそれに加えて、 $S/D=0$ の時には $W/D=2.5\sim 9.5$ といったより大きな範囲でも WG(図中●印)と見られる鉛直方向に卓越した振動が見られた。また、 $W/D=7.0$ 以上でかつ S/D が 0.5 以上のある範囲において WIF(図中■印)と見られる流下方向に卓越した楕円軌道を成す振動が確認された。Fig.2 に WG 発現時、Fig.3 に WIF 発現時の下流側円柱の応答軌跡の一例を示す。WG は別途行った鉛直 1 自由度実験においてもほぼ同様の応答結果が得られた。一方、WIF は鉛直 1 自由度・水平 1 自由度の実験では顕著な振動は見られなかったことから、鉛直・水平の 2 自由度の連成振動現象と考えられ、既往の研究²⁾と概ね一致する結果となった。以下本 WIF のケースについて発生機構を考察する。

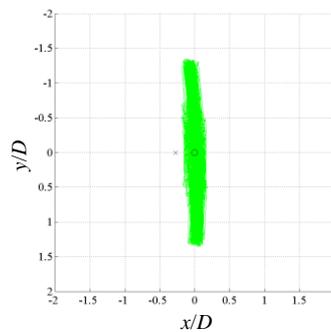


Fig.2 下流側円柱軌道

$W/D=4.27, S/D=0.00 U=8[m/s]$

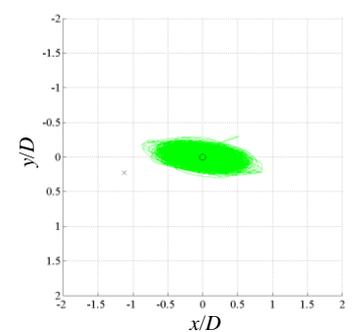


Fig.3 下流側円柱軌道

$W/D=11.88, S/D=1.85 U=12[m/s]$

3.非定常空気力測定実験

強制加振実験を行い、非定常空気力係数を算出し、振動の安定・不安定について検討した。鉛直たわみ、水平たわみ 2 自由度の振動系の場合、非定常空気力は以下のように表される。

$$Lift = \frac{1}{2} \rho D U^2 \left(k H_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k^2 H_4^* \frac{\eta}{D/2} + k H_5^* \frac{\dot{\xi}}{U} + k^2 H_6^* \frac{\xi}{D/2} \right) \quad (1)$$

$$Drag = \frac{1}{2} \rho D U^2 \left(k P_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + k^2 P_4^* \frac{\eta}{D/2} + k P_5^* \frac{\dot{\xi}}{U} + k^2 P_6^* \frac{\xi}{D/2} \right) \quad (2)$$

キーワード 非定常空気力

連絡先 京都市左京区北白川東平井町 25 ラフィネ北白川 105 TEL:080-1217-3214 mail:araki.shinya.84a@st.kyoo-u.ac.jp

$H_1^* \sim H_6^*$ と $P_1^* \sim P_6^*$ は非定常空気力係数で、 ξ は水平変位[m]、 η は鉛直変位[m]、 ρ は空気密度[kg/m³]、 U は風速[m/s]、 k は換算振動数(= $D\omega/2U$)、 ω は円振動数である。非連成項(H_1^* , H_4^* , P_5^* , P_6^*)は、自由振動応答実験からも算出することができ、強制加振実験から算出された係数とほぼ同等の傾向が得られることを確認している。

4.フラッター解析

WIF の空力不安定性を、フラッター解析により検討することを試みた。水平たわみ、鉛直たわみの 2 自由度運動方程式の固有値問題を解くことで、振動数、対数減衰率、複素振幅比が得られた。加振振幅は自由振動応答実験で得られた振幅比に合わせ、鉛直方向に $2\eta=10$ [mm]、水平方向に $2\xi=40$ [mm] とした際の非定常空気力係数を本解析に用いた。その結果、Fig.4 に示すように、対数減衰率は正となり、WIF は発現しない結果となった。この理由は依然検討中であるが、上流側円柱のウェイク中という強い乱流場での振動であり、非定常空気力の精度良い測定についてさらに議論が必要と考えられる。負減衰を得る状況を特定するために、鉛直加振時の非定常揚力・抗力と水平加振時の非定常抗力・揚力をそれぞれ個別に 5 倍して同様の解析を行った。その結果、連成空気力である鉛直加振時の抗力、水平加振時の揚力を 5 倍した際に、対数減衰率が負の値となることから、WIF の発現には連成空気力が寄与していると考えられる。次に、最も寄与の大きい非定常空気力項を検討するため、各々の非定常空気力係数を疑似的に 5 倍して解析を行った。このときの各々の対数減衰率も Fig.4 に同様に示す。鉛直加振時の抗力の剛性項の P_4^* と水平加振時の揚力の剛性項の H_6^* を 5 倍にした際、対数減衰率が負の値となっていることから、

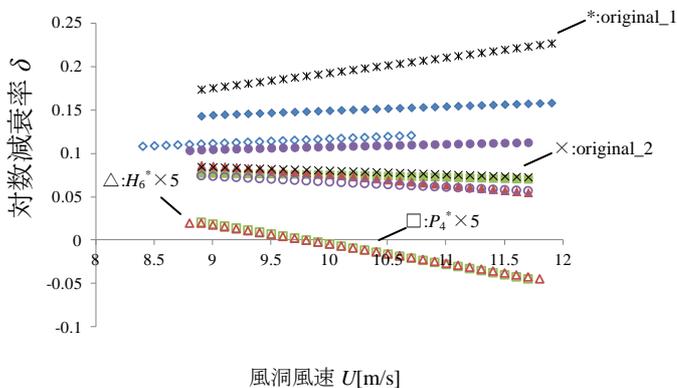


Fig.4 風速-対数減衰率曲線(WIF 発現ケース)

この 2 項が WIF の発現に寄与していると推測される。さらにその他の W/D , S/D のケースと比較した結果、 P_4^* が正、 H_6^* が負となる組み合わせが WIF を発現させていたと考えられる。鉛直加振時の抗力の剛性項である P_4^* は、別途計測を行った静的空気力から算出される値とほぼ同様の値を示したため、 P_4^* を疑似的に増加させることは物理的に意味がないと考えられる。従って、WIF の発現には、小さな値ながらも水平加振時の非定常揚力が重要であることが明らかとなった。Fig.5, Fig.6 にはそれぞれ非定常空気力測定実験で得られた鉛直加振時、水平加振時の非定常空気力のベクトル図の一例を示す。

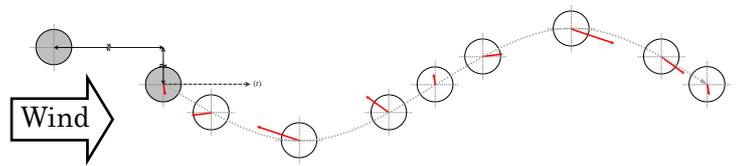


Fig.5 下流側円柱に作用する非定常空気力(鉛直加振時)

5.まとめ

- 1) 下流側円柱の自由振動応答実験より、WG は鉛直方向に卓越した振動、WIF は 2 自由度の連成振動であることが確認された。
- 2) 強制加振実験より、非定常空気力係数を算出し、フラッター解析を行った。WIF の発現には連成項の剛性項(H_6^* , P_4^*)が大きく影響し、 P_4^* が正、 H_6^* が負となる組み合わせが WIF の発現に寄与することが示された。鉛直加振時の非定常抗力の剛性項の P_4^* は、静的空気力とほぼ同様での傾向であるため、水平加振時の揚力の剛性項である H_6^* の正負が WIF の発現には大きく寄与していると考えられる。

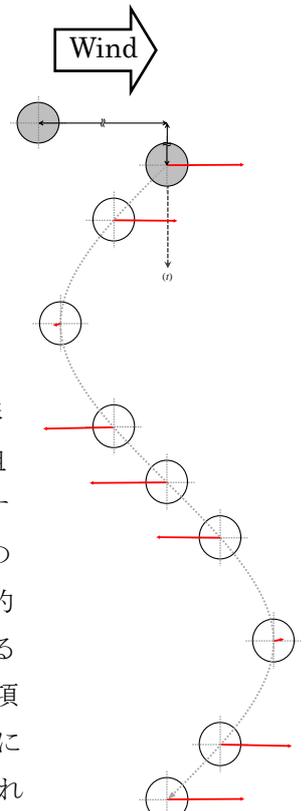


Fig.6 下流側円柱に作用する非定常空気力(水平加振時)

参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路橋耐風設計便覧 平成 19 年度改訂版、丸善出版、2008. 1.
- 2) 宮田利雄, 山田均, 勝地弘, 篠原健太郎, 並列ケーブルの振動に関する風洞実験, 第 16 回風工学シンポジウム, 2000 年, pp.489-494