

表面形状を考慮した並列円柱のウェイク振動発生機構に関する研究

京都大学大学院工学研究科
日本工営株式会社
京都大学大学院工学研究科

学生員 ○下田 拓也
正会員 袁 移山*)
正会員 野口 恭平

京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
神鋼鋼線工業株式会社 正会員 榊 一平
*) 研究当時京都大学大学院生

1. はじめに

斜張橋のケーブルのように、複数の円柱が並列に配置された構造物ではウェイク振動が発生する。ウェイク振動は発生機構によって、1自由度鉛直フラッターと2自由度連成フラッターに分類される。ウェイク振動の発生機構についての研究は数多く為されてきたが、未解明な点も数多く残されている。そのため本研究では、制振効果が期待される、スパイラル突起付き円柱¹⁾を並列円柱に用いた際の、振動の安定化や不安定化に寄与する因子を下流側模型に作用する非定常空気力及び並列円柱間の流れ場から調べ、並列2円柱におけるウェイク振動発生機構の解明を試みた。

2. 自由振動応答特性

袁²⁾が行った並列2円柱模型の自由振動応答実験について、無次元風速 $U/fD=177.8$ (風速 $U=12\text{m/s}$, 円柱の固有振動数 $f=1.35\text{Hz}$, 円柱直径 $D=50\text{mm}$) における下流側模型の応答軌跡を図-1に示す。下流側模型の中心位置は、有風時の静的変位を考慮し、上流側模型の中心位置から水平方向 W , 鉛直方向 S で、また時間平均位置からの水平・鉛直変位を ξ, η で表す。2円柱の配置によって鉛直卓越または2自由度連成振動が発生した。

この結果から、スパイラル突起付き円柱を用いた際の振動応答の変化を調べた。スパイラル突起付き円柱は既往の研究¹⁾を参考に、スパイラル突起の巻き付け角27度、本数12本、突起高さ1.5mm、幅2.4mmとした。ここでは特に、 $(W/D, S/D) = (7,0), (3,0.5), (7,2)$ の配置に着目し、考察を行う。突起の有無による応答特性と空気力特性の差異を検討するため、2円柱共にスパイラル突起付きの場合に加え、片側のみスパイラル突起付きの場合も検討した。無風時の下流側模型中心位置を上流側模型中心位置から水平方向 X , 鉛直方向 Y で表す。

1自由度鉛直フラッターの発生する $X/D=7, Y/D=0$ の振動応答を図-2に示す。このケースでは上流側のみ

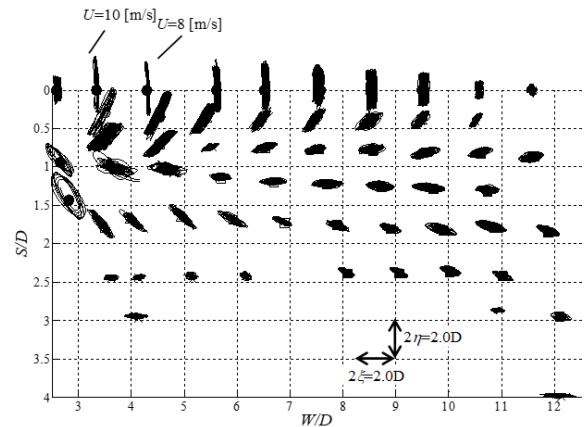
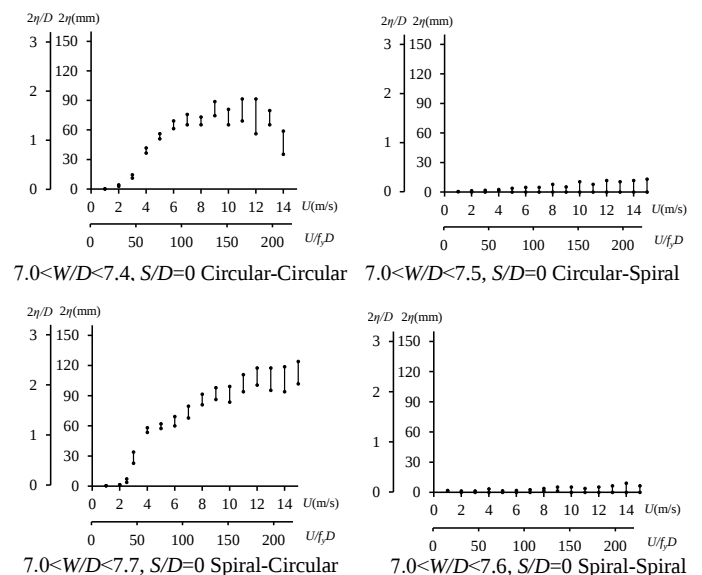


図-1 自由振動応答軌跡

図-2 自由振動応答の風速-振幅図 ($X/D=7, Y/D=0$)

スパイラル突起付きとすると、下流側模型の振動応答は不安定化し、下流側をスパイラル突起付きとすると振動が抑制されたが、配置によって様々な応答が見られた。このように、スパイラル突起付き円柱を用いる事で応答が変化する理由を以降の実験から考察する。

3. 乱れ強度測定実験

単独で存在する円柱模型とスパイラル突起付き円柱模型の後流域の乱れ強度を測定した結果を図-3と図-4に示す。1自由度鉛直フラッターの発生する $W/D=7$,

キーワード ウェイク振動, フラッター, スパイラル突起, カルマン渦, 乱れ強度

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3244

$S/D=0$ と $W/D=3$, $S/D=0.5$ では, 上流側のみスパイラル突起付きにすると振動が不安定化する. この時, 下流側模型位置の乱れ強度が小さくなることから, 乱れが 1 自由度鉛直フラッターを抑制すると考えられる.

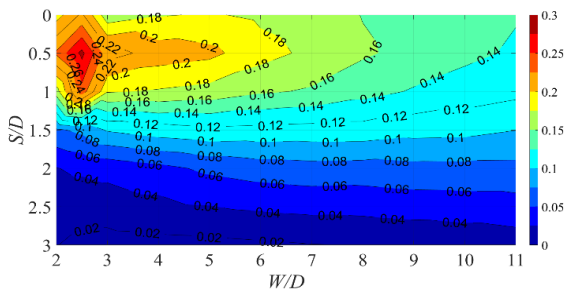


図-3 円柱後流域の乱れ強度分布

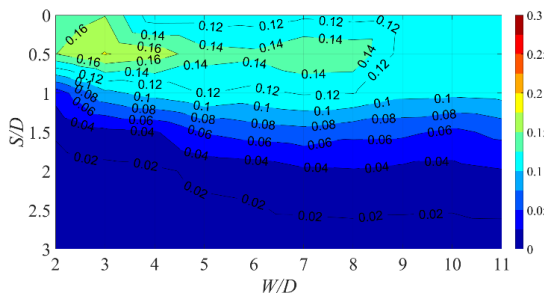


図-4 スパイラル突起付き円柱後流域の乱れ強度分布

4. 非定常空気力測定実験

下流側模型に作用する非定常空気力を 1 自由度強制加振実験から求めた. 非定常空気力は, 8 つの非定常空気力係数を用いて次のように表される.

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

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

2 自由度連成フラッターの発生する $W/D=7$, $S/D=2$ では, 非定常揚力の水平速度比例成分である H_5^* が, 正の大きな値になることでフラッターが発生する²⁾. このケースにおいて, 加振 10 周期毎に求めた H_5^* の時刻歴を図-5 に示す. 図中の青線は H_5^* の値を示しており, 加振 1 周期毎に得られた H_5^* をアンサンブル平均することで求めた, 点線は H_5^* の値に加振 1 周期毎に求めた H_5^* の標準偏差を加えたものである. スパイラル突起付き円柱を上流側や下流側の模型に用いると, 加振 10 周期毎に求めた H_5^* の変動が非常に小さくなり, 正の大きな値になる瞬間も減少することで振動が安定化することが分かった. したがって, スパイラル突起付き円柱はカルマン渦を抑制することが既往の研究¹⁾から判明しており, カルマン渦の抑制に伴い 2 自由度連成フラッター

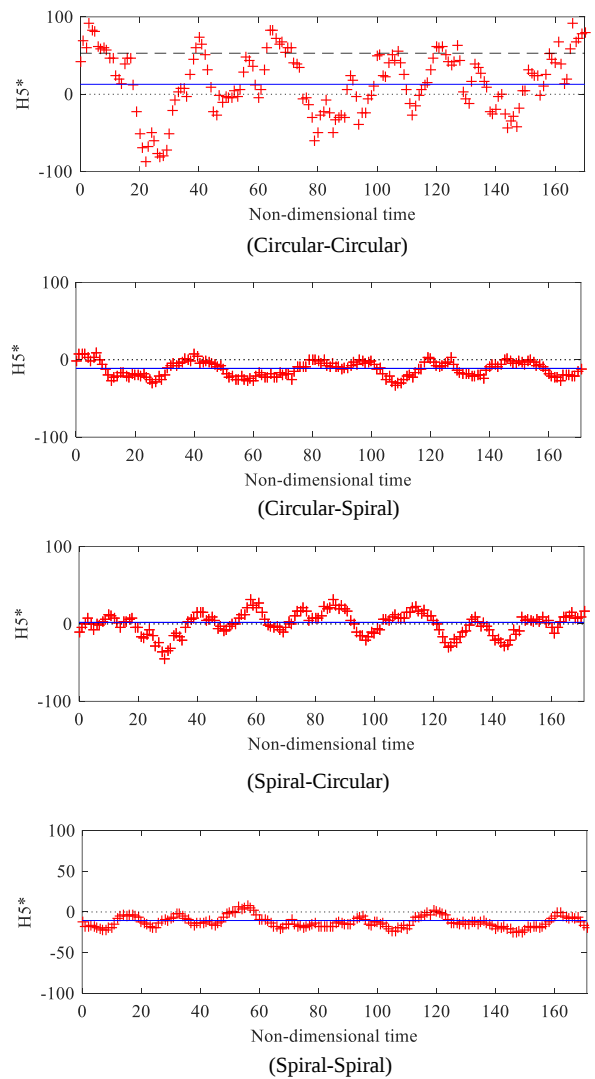


図-5 加振 10 周期毎に求めた H_5^* の時刻歴
($W/D=7$, $S/D=2$, $U/fD=182$, $2\xi/D=0.4$)

が安定化したものと考えられる. すなわち, 図-1 で見られた, 突起なし 2 円柱で発生する 2 自由度連成フラッターは, カルマン渦によって下流側模型に作用する連成空気力が変動することが, 発生要因だと推測される.

5. 結論

- 1) 上流側模型からの乱れが 1 自由度鉛直フラッターを抑制する効果があることが判明した.
- 2) 非定常な 2 自由度連成フラッターは, 下流側模型に作用する連成空気力が, 上流側模型から放出されるカルマン渦によって変動することで発生することが示唆された.

参考文献

- 1) 八木ら: 第 21 回風工学シンポジウム論文集, 263-268, 2010
- 2) 袁ら: 平成 29 年度日本風工学年次研究発表会梗概集, 175-176, 2017