

並列ケーブルのウェイク振動に対するスパイラル突起の制振効果に関する研究

神鋼鋼線工業株式会社 正会員 榊 一平 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
京都大学大学院工学研究科 正会員 小川 哲司 京都大学大学院工学研究科 学生員 袁 移山
京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通

1. はじめに

並列配置されたケーブルでは、上流側ケーブルのウェイクに起因して下流側ケーブルにウェイクギャロッピング(WG)やウェイクインデューストフラッター(WIF)といった振動現象が発生することが知られている¹⁾。これらの振動は励振力が高く、一般にダンパーによる減衰付加等の構造的対策だけで完全に制振するのは困難とされている。一方で、表面粗度の制振効果を検討した既往の研究²⁾では、上下流ケーブルともにヘリカルワイヤを巻き付けることでケーブル間隔 3D の場合の WG 制振に最も効果があることを確認している。

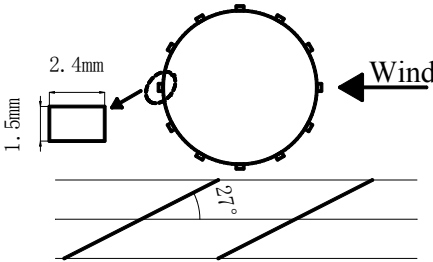
また、八木ら³⁾は抗力低減とレインバイブレーションの制振を目的としたケーブル表面に 12 本の螺旋状突起を設けたスパイラル突起付ケーブルを開発しており、螺旋状の突起により剥離点がスパン方向に移り変わる三次元性がカルマン渦の抑制効果を有することや単独ケーブルの振動応答性状などを明らかにしている。

本研究ではウェイク振動に対するスパイラル突起ケーブルの制振効果について風洞実験を行うことにより調査し、考察を加える。

2. スパイラル突起ケーブルのウェイク振動特性

(1) 実験方法

ケーブルの模型として、直径 $D=50\text{mm}$ 、長さ $L=900\text{mm}$ のアルミニウム製の円柱模型を 2 本用いた。スパイラル突起ケーブルを設置した場合の模型外観および形状を図 1 に示す。スパイラル突起仕様は既往の研究³⁾に参考に、高さ 1.5mm で幅 2.4mm の突起 12 本を巻付け角 27° で設置した。



上流側、下流側模型それぞれに対し円柱、スパイラル突起付円柱の組み合わせを表 1 に示す Type A～D の様に設定し、上流側模型を固定、下流側模型をばねによる 2 自由度弾性支持とし、自由振動応答実験を実施した。スクルートン数は鉛直倍振幅 $1.2D$ の時、約 8.8 である。無風時の風向方向、風向直角鉛直方向の無次元ケーブル間隔($X/D, Y/D$)に対し、2 自由度ばね支持応答実験時における有風時の静的変位を考慮した無次元ケーブル間隔を ($W/D, S/D$) と定義した。



図-1 スパイラル突起付ケーブル模型
1.5x2.4mm x12 本 ($\gamma=27^\circ$)

(2) 実験結果

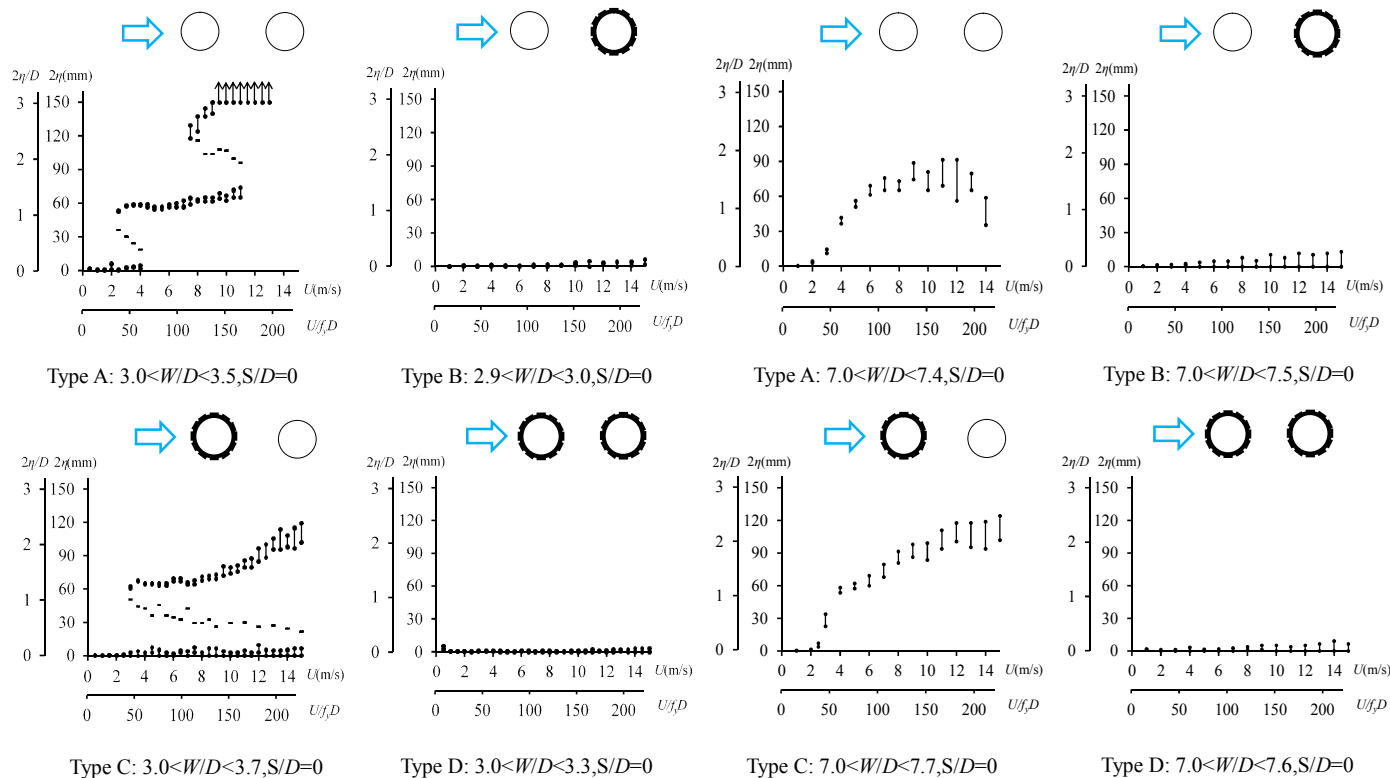
自由振動応答実験より、WG (1 自由度振動) が発現した tandem arrangement($Y/D=0$)で $X/D=3$ 、 $X/D=7$ 場合の下流側ケーブルに発現する鉛直たわみ応答をそれぞれ図-2、図-3 に示す。また、ケーブル模型の組み合わせ Type A～D 毎の結果及び考察を以下に記す。

表 1-模型の組み合わせ		
Type	上流側 (固定)	下流側 (ばね支持)
A	円柱	円柱
B	円柱	スパイラル突起
C	スパイラル突起	円柱
D	スパイラル突起	スパイラル突起

Type A (円柱-円柱) : $X/D=3$ では 2 か所の不安定なリミットサイクルを持つハード型フラッターが発現する。 $X/D=7$ では $U/fD=45$ 以上で WG が発生し、 $U/fD=180$ 以上で振幅の減少が認められる。

Type B (円柱-スパイラル)、Type D (スパイラル-スパイラル) : 下流側をスパイラル突起付とした場合は、上流側がいずれの形状であっても、目立った応答は生じなかった。これは、螺旋状の突起周りの流れがスパン方

キーワード ウェイクギャロッピング, ウェイクインデューストフラッター, 空力的対策, 非定常空気力
ケーブル 連絡先 〒660-0091 兵庫県尼崎市中浜町 10-1 神鋼鋼線工業株式会社 TEL 06-6411-1082

図-2 鉛直たわみ応答図 ($X/D=3$, $Y/D=0$)図-3 鉛直たわみ応答図 ($X/D=7$, $Y/D=0$)

向の成分を持つ流れの三次元性の効果により、下流側のスパイラル突起付模型自身が安定化したものと考えられる。

Type C (スパイラル-円柱) : $X/D=3$ では Type A と同様にハード型のフラッターが発現した。ただし、不安定なリミットサイクルは1箇所のみで現れる結果となった。これは、上流側模型がスパイラル突起付の場合、カルマン渦の放出が弱められるため、上流側模型からの時間平均剥離流れが円柱模型に比べて、小さい曲率を描くことから説明できる可能性があるが、詳細は要検討である。一方、 $X/D=7$ では、Type A と比較すると発現風速は同程度であるが、風速が大きくなるに伴い振幅が大きくなり、応答は不安定化している。これは同様に上流側から放出されるカルマン渦が抑制されることにより WG がカルマン渦の干渉を受けにくくなったことによるものと考えられる。

2 自由度連成振動となる WIF が生じる staggered arrangement($X/D=7$, $Y/D=2$)のケースにおいても、下流側をスパイラルとした Type B, および Type D の組み合わせでは振動は抑制されており、下流側スパイラル突起の流れの三次元性の効果が発揮され安定化していると考えられる。

3. まとめ

(1) 並列円柱ケーブルに発生するウェイク振動について、上流側ケーブルから放出されるカルマン渦が下流側ケーブルの振動特性に影響していることが明らかとなった。

(2) スパイラル突起を用いることで並列ケーブルのウェイク振動を抑制できることが示唆された。

参考文献

- 1) T. Yagi, et al., "Investigation on Wake-Induced Instabilities of Parallel Circular Cylinders Based on Unsteady Aerodynamic Forces", 14th International Conference on Wind Engineering, 2015
- 2) F. Nagao et al., Properties of wake excitation in tandem circular cylinders with several kinds of surface roughness, The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications, 2012
- 3) 八木ら：表面形状を考慮した斜張橋ケーブルの抗力低減と空力安定化に関する研究，第 21 回風工学シンポジウム，2010