

斜張橋ケーブルを対象とした複数円柱の三次元空力弾性応答特性

九州工業大学 工学部 学生員 中原智法
 九州工業大学 工学部 正 員 久保喜延
 九州工業大学 工学部 正 員 加藤九州男

1. まえがき 橋梁技術の進歩により比較的支間の長い斜張橋が多く架設されているが、これにともない風によるケーブルの振動が問題とされるようになった。制振対策として、ダンパーの設置、ケーブルどうしの連結などが実用化されているが、保守、景観などの問題も多い。このような方法に対して、筆者らの研究室ではケーブルの本数、配置、間隔などを変えることにより制振できないかを検討してきた。斜張橋ケーブルを対象とした研究としては、流れに直列配置された2本円柱の研究が多数発表されているが、その多くは円柱軸が流れに垂直な場合である。そこで本研究では、ケーブルの風向による応答の変化について検討した。

2. 実験概要 実験は九州工業大学建設工学教室付属の境界層型風洞(測定部断面:1800×2600mm)内に、模型自身が弾性変形をする三次元弾性模型を垂直方向の傾斜角 θ が $\theta=30^\circ$ となるように設置して行った。なお、模型両端は刚性調節のために直径 $\phi=4\text{mm}$ の銅パイプを介して支持している。実験ケースは以下のとおりである。

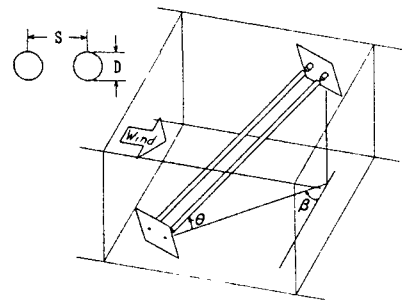


Fig.1 模型設置状況

- (1)単独ケーブル ; 風向 β を $\beta=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ に変化させた。
- (2)2本ケーブル ; 模型を風向が $\beta=0^\circ$ の場合に流れに直列となるように配置し、ケーブル中心間隔 S を $S=2.0D, 3.0D, 4.0D$ に変化させた。風向 β は単独ケーブルの場合と同じである。

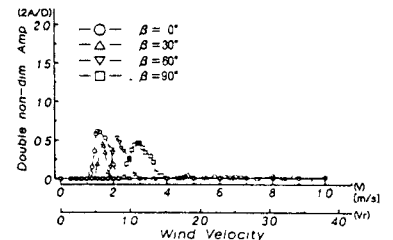
模型振動諸元はTable.1のとおりである。模型の構造減衰率は、実験ケースによる変化はほとんど無いが、振幅依存性があった。また、レイノルズ数は $Re=6 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ の亜臨界レイノルズ数である。

Table.1 模型振動諸元

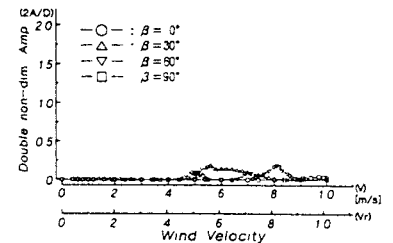
	対称モード	非対称モード
材質	アルミニウムパイプ	
直径(D)	25mm (肉厚1mm)	
長さ(L)	2500mm	
振動数(f)	10.5Hz	39.5Hz
対数構造減衰率 δ	0.0141(2A/D=0.5)	0.0204(2A/D=0.2)
	0.0332(2A/D=1.0)	0.0201(2A/D=0.4)

3. 実験結果 振動モードは1次モード(以下対称モード)、2次モード(以下非対称モード)の2つのモードが発生した。応答中の振幅は、各モード形における最大振幅である。

(1)単独ケーブル ; 対称モードの応答をFig.2(a)に示す。風向 $\beta=0^\circ$ の場合、換算風速 $Vr=V/fD=4.5 \sim 7.5$ で最大振幅が $Vr=5.5$ の無次元倍振幅 $2A/D=0.6$ である渦励振が発生している。 β が大きくなるにつれ、渦励振の風速域が高風速側へ移動し、最大振幅が小さくなる傾向がみられる。これは、流れ方向の断面が円から楕円へ変化するためであると考えられる。特に $\beta=30^\circ$ の場合には、渦励振域が狭く最大振幅も $2A/D=0.45$ で小さい。また、第二のピーク¹⁾は発生しなかった。非対称モードについてはFig.2(b)のように、対称モードと同様に β が大きくなるにつれ渦励振の風速域が高風速側へ移動し、同時に渦励振域が広くなる傾向がみられた。また、 $\beta=60^\circ$ の場合、 $Vr=6.8 \sim 7.1$ と $Vr=7.3 \sim 8.7$ の2つの渦励振が存在した。



(2-a) 対称モード



(2-b) 非対称モード

(2)2本ケーブル ; 対称モードと非対称モードの振動が発生したが、非対称モードについては単独ケーブルの場合と大差なかった。
 ・中心間隔 $S=2.0D$ の場合 対称モードの応答をFig.3(a)に示す。それぞれの風向について単独ケーブルと同じ風速域で渦励振が発生し

Fig.2 単独ケーブルの応答

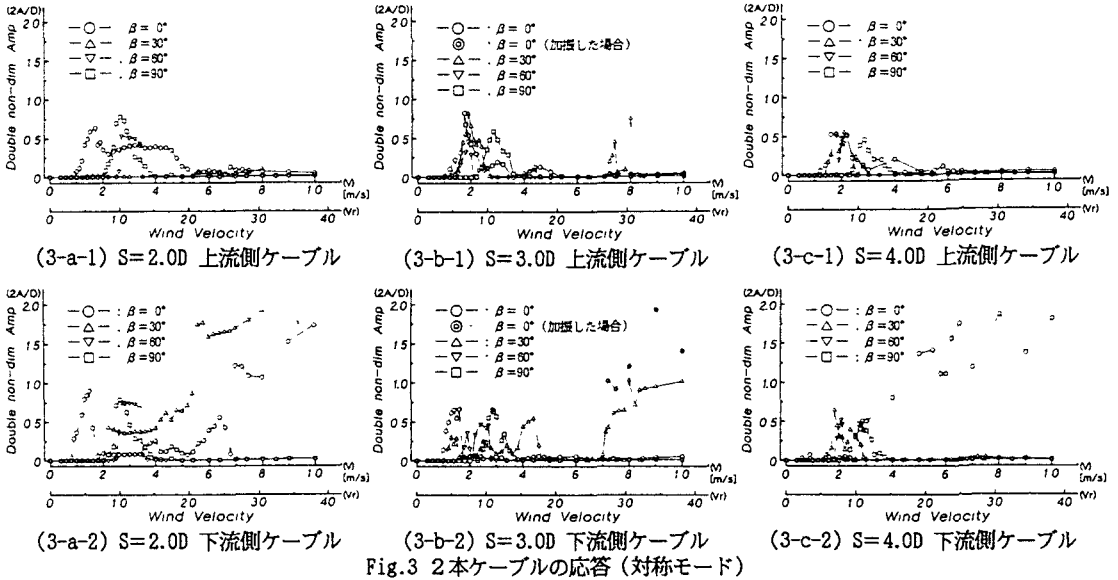


Fig.3 2本ケーブルの応答(対称モード)

ているが、 $\beta = 30^\circ$ の場合は振幅が非常に小さく、 $\beta = 0^\circ, 60^\circ$ の場合には上流側ケーブルの振幅は単独ケーブルと同程度であるが、下流側ケーブルは1.4倍程度大きくなっている。これは、上流側ケーブルの最初の後流渦域に下流側ケーブルが存在するため²⁾であると考えられる。また、 $\beta = 90^\circ$ の場合には渦励振の最大振幅は双方のケーブルとも単独ケーブルに比べて1.4倍程度大きい。ウェークギャロッピングは、 $\beta = 0^\circ$ の場合には $V_r = 26$ から、 $\beta = 30^\circ$ の場合には $\beta = 0^\circ$ よりも低風速な $V_r = 20$ から発生し、振幅は $2A/D = 2.0$ 以上になった。

・中心間隔 $S = 3.0D$ の場合 Fig.3(b) が対称モードの応答であるが、 $\beta = 0^\circ, 30^\circ$ の場合は上流側ケーブルと下流側ケーブルで渦励振の風速域が異なり、上流側ケーブルの渦励振最大振幅が $2A/D = 0.8$ 程度で下流側ケーブルに比べて大きく、 $\beta = 60^\circ$ の場合には $V_r = 6 \sim 8, V_r = 8 \sim 11$ の2つの渦励振が存在することが分かる。また、 $\beta = 90^\circ$ の場合は単独ケーブルと同じ風速域で渦励振が発生し、最大振幅は単独ケーブルの1.3倍程度であった。ウェークギャロッピングについてみると、 $\beta = 0^\circ$ の場合は加振を行うと $V_r = 27$ から発生するが、加振しなければ発生しなかった。 $\beta = 30^\circ$ の場合は $V_r = 27$ から発生するが振幅は急激に大きくはならなかった。

・中心間隔 $S = 4.0D$ の場合 対称モードの応答を Fig.3(c) に示す。この図より、 $\beta = 0^\circ$ の場合に上流側は単独ケーブルと同じ風速域で単独ケーブルと同様な渦励振が発生しているが、下流側ケーブルには発生せず、 $\beta = 30^\circ$ の場合には単独ケーブルと同じ風速域と、それよりも少し高い風速域にピークを有する2つの渦励振が存在することが分かる。また、 $\beta = 90^\circ$ の場合には単独ケーブルと同じ風速域で単独ケーブルと同程度の振幅を有する渦励振が発生した。ウェークギャロッピングは、 $\beta = 0^\circ$ の場合のみ $V_r = 10$ 程度から発生し、 $\beta = 30^\circ$ の場合には発生しなかった。これは、中心間隔が広くなることにより $\beta = 30^\circ$ の場合には、下流側ケーブルが上流側ケーブルのウェークの影響外にあるためであると考えられる。

4. まとめ 以上の結果についてまとめると以下ようになる。

- ① 単独ケーブルは、風向が大きくなるにつれて渦励振域が高風速側に移動し、振幅が小さくなる傾向がある。
- ② 2本ケーブルの渦励振は単独ケーブルと同じ風速域で発生するが、中心間隔によって振幅などは異なる。
- ③ 2本ケーブルのウェークギャロッピングは、中心間隔が広い程、また風向が 0° の場合よりも 30° の場合の方が低風速側で生じる。しかし、中心間隔が $4.0D$ の場合には風向が 30° になると発生しない。

※参考文献 1) 中川憲治, 岸田敬三, 五十嵐一孝「傾斜円柱の振動と後流特性」大阪大学「風洞」No.2 (1984)

2) 久保喜延, 中原智法, 加藤九州男, 金尾稔「斜張橋ケーブルを対象にした複数円柱の空力弾性振動」第11回風工学シンポジウム論文集 (1990)