

I-244 斜張橋ケーブルを対象とした三次元複数円柱の空力弾性挙動

日本橋梁(株) 橋梁本部 正 員 中原智法
(研究当時、九州工業大学大学院生)

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数多く報告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、筆者らはケーブルの本数、配置、間隔などを変えることにより空力的に制振できる方法を模索してきた。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。

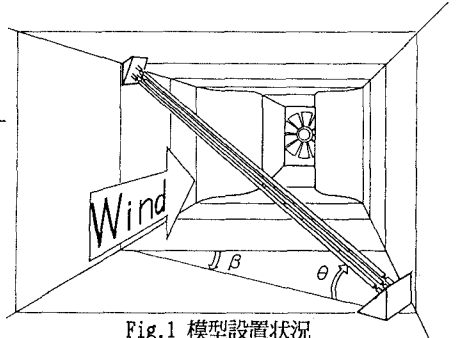


Fig.1 模型設置状況

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Fig.1のように垂直方向の傾斜角θがθ=30°となるように設置して行った。なお、模型両端は剛性調節のために直径φ=4mm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。

- 1) 単独ケーブル ; 模型軸が流れに直角な場合の風向をβ=0°とし、風向をβ=0°, 30°, 60°, 90°に変化させた。
- 2) 2本ケーブル ; 模型を風向がβ=0°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。
- 3) 3本ケーブル ; 正三角形にケーブルを配置し、三角形の向きが異なる上向き配置と横向き配置の2配置について検討した。中心間隔は2本ケーブルと同様とし、風向は、上向き配置がβ=-90°~90°、横向き配置がβ=0°~180°の範囲をそれぞれ30°きざみで変化させた。

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、実験ケースによって変化することはほとんど無かった。また、レイノルズ数はRe=6×10²~2×10⁴の亜臨界レイノルズ数である。

3. 実験結果

振動モードは対称モード(1次モード)、非対称モード(2次モード)の2つが発生したが、非対称モードで発生した振動は渦励振のみであり、振幅も対称モードと比べて小さいため、ここでは対称モードについて述べる。

- 1) 単独ケーブル ; Fig.3のように渦励振のみが発生した。風向βが大きくなるにつれて、渦励振の風速域が高風速側へ移動し、その振幅は小さくなる傾

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
対称構造減衰率δ	0.0141(2A/D=0.5)	0.0204(2A/D=0.2)
非対称構造減衰率δ	0.0332(2A/D=1.0)	0.0201(2A/D=0.4)

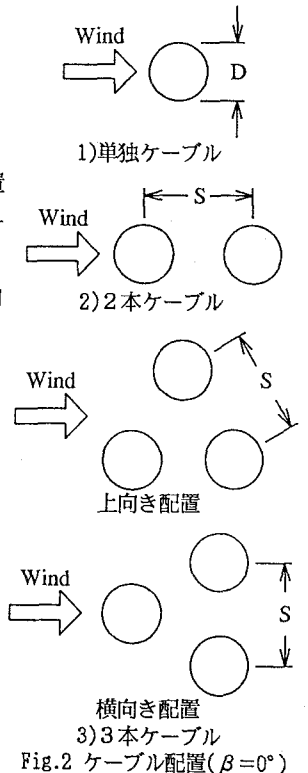


Fig.2 ケーブル配置(β=0°)

向がある。この現象は、ケーブル背面に発生するケーブル軸に沿った二次流に起因すると考えられる。このような挙動は、従来の二次元模型による傾斜円柱の挙動と同じである。

2) 2本ケーブル； 応答の一例をFig.4に示す。このように、渦励振のほか高風速域でウェークギャロッピングが発生している。中心間隔Sや風向 β の変化による渦励振とウェークギャロッピングの振幅のちがいをまとめると、Table.2のようになる。ウェークギャロッピングは、中心間隔S=2.0D, 3.0Dの場合には風向が $\beta=0^\circ, 30^\circ$ で発生するが、S=4.0Dの場合には $\beta=30^\circ$ では発生しない。さらに、中心間隔Sが広くなるにつれ、また風向が $\beta=0^\circ$ よりも $\beta=30^\circ$ の方がより低風速で発生した。渦励振については、中心間隔Sが狭い場合を除くと単独ケーブルの場合と等しい。

3) 3本ケーブル； 上向き配置と横向き配置について、中心間隔Sと風向 β の変化による応答振幅のちがいをまとめたものがTable.3, Table.4である。どちらの配置においても、中心間隔Sが広くなると、ウェークギャロッピングが発生し難くなるのが分かる。特に、横向き配置のS=4.0Dの場合には、初期変位を与えても発生していない。また、渦励振は風向が $\beta=90^\circ, -90^\circ$ に近づくにつれ、すなわちケーブル軸が流れに対して垂直から平行な方向に傾斜するにしたがい、風速域は高風速側へ移動し、同時に振幅は小さくなる傾向があった。

4. まとめ

- 1) 単独ケーブルの挙動は、二次元模型を用いた傾斜円柱の挙動と同様である。
- 2) 2本ケーブルでは、渦励振は中心間隔Sが狭い場合を除くと単独ケーブルと同様な挙動を示し、ウェークギャロッピングは中心間隔Sが広くなるにつれ、また風向が $\beta=0^\circ$ の場合よりも $\beta=30^\circ$ の場合の方がより低風速側から発振する。
- 3) 3本ケーブルの場合、渦励振はどちらの配置とも中心間隔Sに関係なく発生するが、その振幅は中心間隔Sによって異なる。また、ウェークギャロッピングは中心間隔をS=4.0Dまで広げると、横向き配置では発生しない。

※参考文献

- 1) 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(1990.10)
- 2) 中原智法, 久保喜延, 加藤九州男「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特性」1991年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集(1992.3)

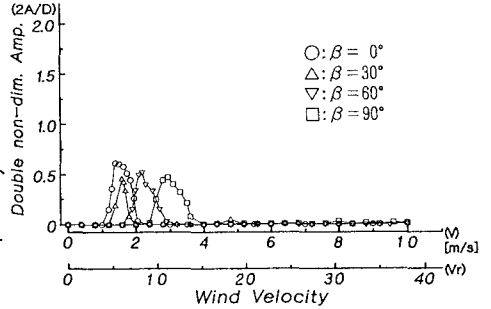


Fig.3 単独ケーブルの応答

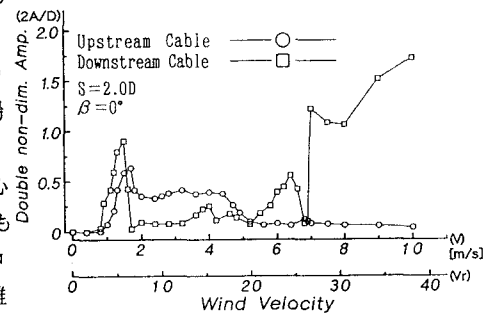


Fig.4 2本ケーブルの応答(風下側ケーブル)

Table.2 2本ケーブルの最大振幅

風向 β	間隔 S=2.0D		間隔 S=3.0D		間隔 S=4.0D	
	渦励振	WG	渦励振	WG	渦励振	WG
0°	0.91	1.72	0.82	1.93	0.52	1.86
30°	0.43	1.91	0.81	1.02	0.67	×
60°	0.72	×	0.49	×	0.52	×
90°	0.78	×	0.64	×	0.50	×

Table.3 3本ケーブル上向き配置の最大振幅

風向 β	間隔 S=2.0D		間隔 S=3.0D		間隔 S=4.0D	
	渦励振	WG	渦励振	WG	渦励振	WG
-90°	0.50	0.51	0.59	×	0.60	×
-60°	0.44	×	0.83	×	0.58	×
-30°	0.96	1.74	0.79	1.72	0.71	×
0°	0.85	1.16	1.14	1.86	0.96	1.37
30°	0.76	1.40	0.79	×	0.68	×
60°	0.64	×	0.64	×	0.70	×
90°	0.35	×	0.64	×	0.46	×

Table.4 3本ケーブル横向き配置の最大振幅

風向 β	間隔 S=2.0D		間隔 S=3.0D		間隔 S=4.0D	
	渦励振	WG	渦励振	WG	渦励振	WG
0°	0.76	1.52	0.82	1.92	0.67	×
30°	0.50	1.58	0.90	1.50	0.79	×
60°	0.48	×	0.76	×	0.53	×
90°	0.48	0.57	0.47	×	0.46	×
120°	0.65	0.86	0.67	0.44	0.51	×
150°	0.92	1.66	1.22	×	0.95	×
180°	0.99	1.16	1.12	×	0.87	×

WG:ウェークギャロッピング ×:発生せず
斜体文字:初期変位(加振)を与えた場合