

I-446 弾性模型による複数円柱の空力弾性挙動について

九州工業大学 正 員 久保喜延
九州工業大学 学生員 中原智法
新構造技術(株) 正 員 野村正和
(研究当時、九州工業大学学生)

1. まえがき 近年の斜張橋ケーブルは、メンテナンス上の理由から複数配置とされることが多くなったが、これに伴いウェークギャロッピング等の振動問題も数多く報告されるようになった。現在、この振動問題に対しては、ケーブル相互間をワイヤで連結したり、オイルダンパーを取り付けて制振する対策がとられているが、本研究ではケーブルの本数や配置を変えることによりどの程度ウェークギャロッピング等の振動を抑制できるかを検討した。なお、これまでこの種の実験は、二次元剛体模型を使って行われてきたが、複数の円柱を使用すること、およびより実橋のケーブルに近づけることのために、本研究では模型自身に弾性変形をさせる三次元弾性模型を使用した。

2. 実験概要 実験には、九州工業大学建設工学教室付属の空力弾性風洞(測定断面1070×1070mm)を用い、円柱模型(長さ4.0m, 外径D=50mm, 内径46mmのアルミパイプ)を、図1のように模型軸方向への若干の変位を許すために、板バネを介して両端を支持するようにセットした。実験ケースにより多少の差はあったが、固有振動数 $f=8.3\text{Hz}$ 、構造減衰率 $\delta=0.005$ 程度であった。また、この実験では定常振幅を測定すると同時に、そのときの振幅と振動数から得た位相差を用いて、次式により定常振幅における円柱に働く空気を推定した。

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F \sin(\omega t + \beta) \quad \dots\dots(1)^{*1}$$

ここに、 y :変位、 m :質量、 c :減衰係数、 k :バネ定数

F :空気力の絶対値、 ω :角速度、 t :時間、 β :位相差

実験を行ったのは以下のケースである。

- 1) 2本円柱の場合; 円柱配置は図2のような直列配置のみで、円柱中心間隔 S を2.0Dから4.0Dまで0.5Dきざみで変化させた。
- 2) 3本円柱の場合; 円柱配置は図3のように、①前向配置、②上向配置、③後向配置の3ケースで、 S は2本円柱の場合と同じである。
- 3) 4本円柱の場合; 図4のような菱形配置で、 S_v を3.0D~4.0D、 S_H を2.0D~4.0Dの間で変化させた。

3. 実験結果 振動モードは、1次モードが主体であり、2次モードが一部の風速で出現したが、その振幅は小さかった。

- 1) 2本円柱の場合; 図5に示すように、直列配置では $20 \leq V_r$ となる風速域でウェークギャロッピングが発生していることが分かる。したがって、この実験においても、実橋における現象と同様の振動を再現できたと言える。このとき上流側円柱も振動するが、これは下流側円柱の振動が支持部を介して伝わったものであると考えられる。このような上流側ケーブルの振動は、檜石島橋や呼子大橋でも観測されている。^{*2}この点を除けば、筆者らがこれまでにやってきたコイルスプリン

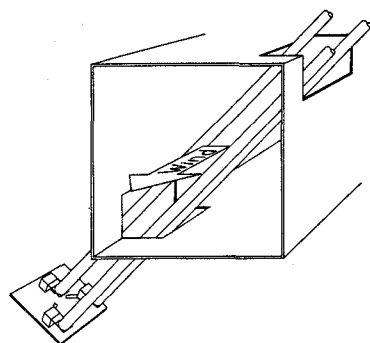


図1 実験装置外観

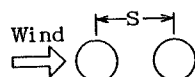
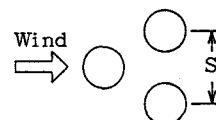
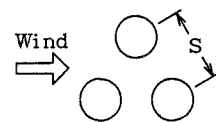


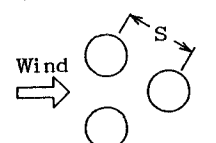
図2 2本円柱の配置



①前向配置



②上向配置



③後向配置

図3 3本円柱の配置

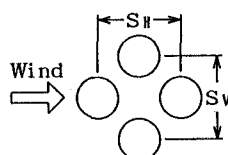


図4 4本円柱の配置

グ支持による直列円柱の応答^{*3}に類似している。

2) 3本円柱の場合；図6のように、①前向配置の場合は、ウェークギャロッピングは発生せず、渦励振における振幅も2本円柱の場合と比べて少し小さい。②上向配置の場合は、 S が小さいとウェークギャロッピングの振幅が小さくなる傾向が見られた。このウェークギャロッピングは、どのケースにおいても下流側円柱だけであった。これは、下側2本の円柱が2本円柱の直列配置の場合と同様な関係になるためであると考えられる。また、2本円柱では振動が発生しなかった $V_r=10\sim15$ の風速域においても無次元振幅0.5程度の振動が発生した。③後向配置の場合は、 $S=2.0D$ を除いて前向配置と大差ない。 $S=2.0D$ では $20\leq V_r$ となる風速域で振幅はあまり大きくならないが振動が発生している。また、 S が小さいと渦励振が $V_r=9\sim13$ の風速で発生した。これは、上流側2本の円柱間隔が狭く、また下流側円柱がそのすぐ後に位置するために、3本が一体となった形で振動するためであると考えられる。

3) 4本円柱の場合；図7のように、3本円柱上向配置の場合と応答が似ている。高風速における振動は S_v と S_H の比により、位相差の変化が2本円柱と同じ場合と、異なる場合とに分かれた。このときの前者の空気力係数は $C_f=0.2$ 程度であったが、後者は $C_f=0.8$ 程度まで大きくなっている。また、 S_v が小さいと渦励振の振幅が小さくなる傾向がある。

4. まとめ 今回の実験結果からすると、3本円柱の前向配置と後向配置が風に対して安定であると言える。よって、実橋に3本ケーブルを用いるとすれば、前向配置と後向配置を採用すればよいと考えられる。しかし、今回の実験では、風向が円柱軸と直角な方向のみであり、風向に対する検討は行っていない。実橋では、前向配置や後向配置であったケーブルが、風向により上向配置のような並びとなり、高風速域で振動が発生することも考えられる。したがって、今後、様々な風向についての検討を行う予定である。

参考文献

- *1 例えば 久保 喜延：「耐風設計の豆知識」，橋梁と基礎，第23巻第8号（1989.8）
- *2 国土開発技術研究センター：「斜張橋ケーブルの耐風性に関する検討委員会報告書」（1989.1）
- *3 久保 喜延，加藤 九州男，金尾 稔：「直列二本円柱の空力弾性挙動と振動抑制に関する一考察」，土木構造・材料論文集 第4号（1989.1）

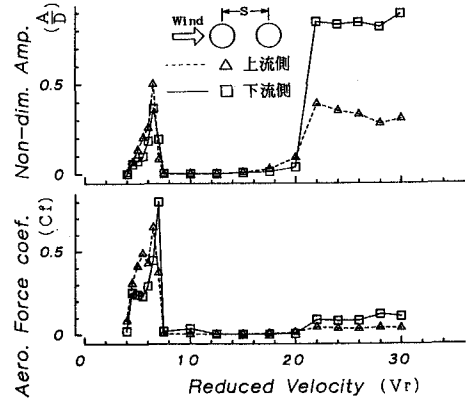


図5 2本円柱の応答と空気力

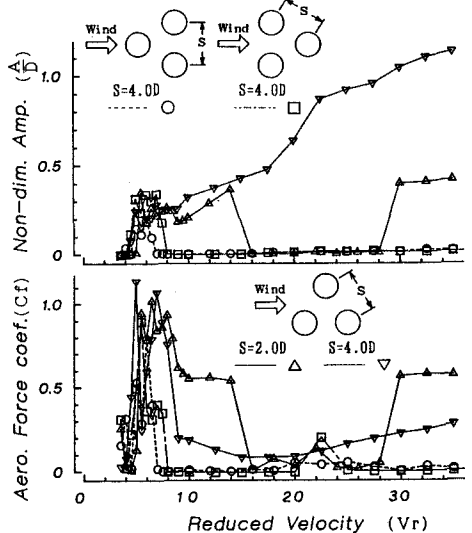


図6 3本円柱の応答と空気力

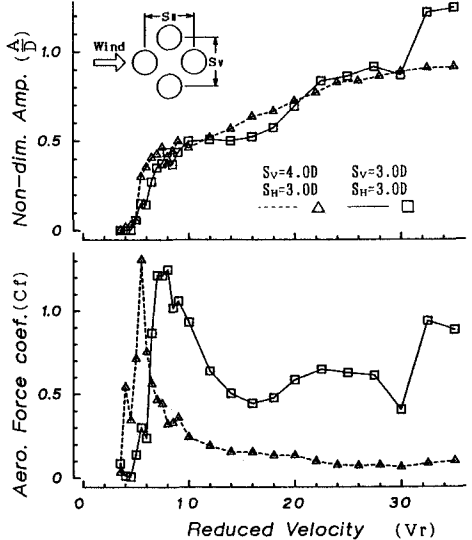


図7 4本円柱の応答と空気力