

I-A 189

円柱塔状構造物の高風速渦励振に関する実験的研究

日本大学理工学部 正 員 北川徹哉
 東京大学工学系研究科 フェロー 藤野陽三
 東京大学工学系研究科 正 員 木村吉郎

1. まえがき 円形断面を有する構造物では通常の渦励振発現風速よりも高い風速域において、渦励振と類似の振動現象がみられる^{1),2),3),4),5)}。筆者らは塔状構造物におけるその現象を“高風速渦励振”と呼び、その発生メカニズムを1自由度系の円柱ロッキング模型を用いた風洞実験により検討してきた⁵⁾。その結果は、自由端付近で生成される後流変動(“自由端渦”と呼んでいる)を高風速渦励振の励振源として示すものであった。そこで本研究においては、2種類の円柱塔状弾性模型を用いた風洞実験を行い、自由端の形状が高風速渦励振に与える影響について考察する。

2. 風洞実験方法 図1に示す2種類の円形断面の弾性模型(模型a: $f_{n1}=27.5\text{Hz}$, $f_{n2}=140.0\text{Hz}$, $\xi=0.21\%$, 模型b: $f_{n1}=26.0\text{Hz}$, $f_{n2}=131.5\text{Hz}$, $\xi=0.17\%$)を用いた。模型aは一樣断面(直径 $D_1=13.5\text{mm}$)であるのに対し、模型bは直径がやや長い小円柱(直径 $D_2=22.5\text{mm}$, 厚み $H_2=12\text{mm}$)を頂部に有する。

模型の風直角方向応答を模型頂部に設置した加速度計により計測した。また、後流の変動風速をI型熱線風速計を用い、模型中心から下流側に $9D_1$ 、風直角方向水平に $1D_1$ の位置において風洞床面からの高さ H を変化させて多点で($H=200\sim 500\text{mm}$, 10mm ピッチ)計測した。

風洞実験は清水建設技術研究所所属の幅 $2.6\text{m} \times$ 高さ $2.1\sim 2.4\text{m} \times$ 長さ 18.9m の回流型密閉式風洞において一樣流のもとに行った。ただし、風洞床面の境界層が模型位置において高さ約 200mm まで発達していた。

3. 実験結果 模型aを用いた実験の結果を図2(a)に示す。 $V/f_{n1}D_1=5.7$ (V :平均風速)に、通常の渦励振による応答のピークがある。さらに、 $V/f_{n1}D_1=21$ にもピークがみられ、高風速渦励振が発現している。一方、模型bを用いた場合(図2(b))、通常の渦励振のピークがやはり $V/f_{n1}D_1=5.7$ に現れるが、高風速渦励振に対応するピークはみられない。以下において、風直角方向応答と後流変動風速の各パワースペクトルから、これらの原因を考察する。

図3(a)に、模型aを用いた場合の $V/f_{n1}D_1=16$ における風直角方向応答のパワースペクトルを示す。この風速は通常の渦励振(1次モード)発現風速と高風速渦励振の発現風速との間の風速域であり、応答振幅は比較的小さい(図2(a))。図3(a)において、2次元円柱における渦放出(以降、「2次元円柱渦」と呼ぶ)によるピークが、無次元化振動数 $f/f_{n1}=2.5$ と 2.8 に枝分かれして現れている。また、 $f/f_{n1}=0.7$ にもピークがあり、これが自由端渦⁵⁾の変動によるものと思われる。そこで、後流変動風速のパワースペクトル(図4(a))をみると、 $H=440\sim 480\text{mm}$ において、やや小さいが自由端渦のピークがやはり $f/f_{n1}=0.7$ に確認できる。また、2次元円柱渦の放出振動数が高さ方向(スパン方向)に異なり、 $f/f_{n1}=2.5$ のピークは $H=320\sim 440\text{mm}$ に、 $f/f_{n1}=2.8$ のピークは 320mm より低い高さに現れている。2次元円柱渦の放出振動数がスパン方向に異なる現象については、松本ら⁴⁾も円形断面ケーブルの2次元模型を用いた風洞実験において確認している。

高風速渦励振時の風速である $V/f_{n1}D_1=21$ における応答のパワースペクトル(図3(b))では、自由端渦の振動数が f_{n1} に一致している。また、後流変動風速のパワースペクトル(図4(b))においても自由端渦のピークが $f/f_{n1}=1$ に位

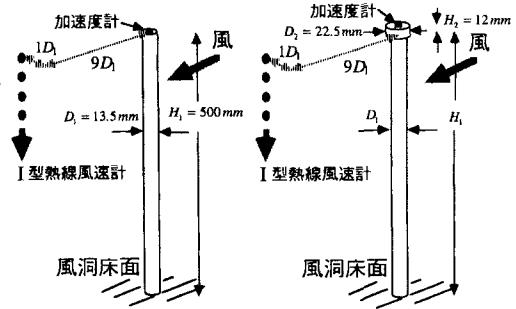


図1 実験模型と風洞実験の概要

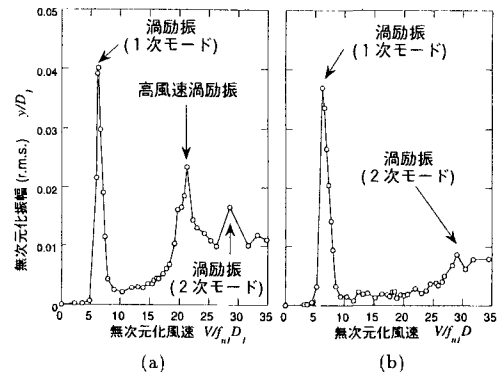


図2 風速と風直角方向応答の関係

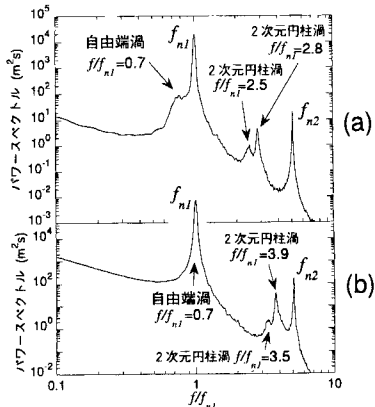


図3 風直角方向変位応答パワースペクトル (模型 a, (a) $V/f_{n1} D_1 = 16$, (b) $V/f_{n1} D_1 = 21$)

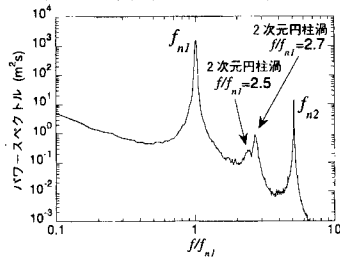


図5 風直角方向変位応答パワースペクトル (模型 b, $V/f_{n1} D_1 = 16$)

置していることが確認できる。ゆえに、高風速渦励振は自由端渦により励起されると考えられ、文献5)と整合する。なお、自由端渦の振動数は2次元円柱渦の放出振動数と同様に、風速に比例していたことを付記しておく。

一方、模型bを用いた場合の $V/f_{n1} D_1 = 16$ における応答パワースペクトル(図5)では、模型aの場合(図3(a))に現れていた自由端渦によるピークは確認できない。 $V/f_{n1} D_1 = 16$ における後流変動風速のパワースペクトル(図6)をみても、自由端渦のピークはみられない。ゆえに、模型bのケースで高風速渦励振が発現しないのは、自由端渦が発生しないためであると考えられる。模型頂部の小円柱が後流に影響を与え、自由端渦の生成を妨げていると推測される。一方、模型aのケース(図4(a))と同様、2次元円柱渦の放出振動数が高さ方向に異なる現象もみられる。

4. 結論 2種類の円柱塔状弾性模型を用いた風洞実験により、高風速渦励振の特性について検討した。一様円形断面の模型においては、2次元円柱渦の放出振動数に比べて振動数の低い自由端渦が模型上端部付近に発生することが確認され、その振動数が固有振動数に一致する風速域で高風速渦励振が発現した。直径がやや長い小円柱を頂部に有する模型においては自由端渦は生成されず、高風速渦励振も観測されなかった。模型頂部の小円柱が自由端渦の生成を妨げている可能性がある。また、2次元円柱渦の放出振動数が高さ方向に異なる現象は、両方の模型において共通して観測された。しかしながら、頂部に小円柱を有する模型においては高風速渦励振は発現していないため、2次元円柱渦の放出振動数が高さ方向に異なる現象は、高風速渦励振の発現に関与していないと思われる。

謝辞 若原敏裕氏ならびに清水建設技術研究所流体グループの皆様には風洞実験において多大な御協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1)Wootton,L.R.:The oscillations of large circular stacks in wind, Proc. Inst. Civ. Eng., pp.573-598, 1969. 2)Durgin et al. :Lower mode response of circular cylinder in cross-flow, Trans. ASME, Vol.102, Jour. Fluids Eng., pp.183-190, 1980. 3) 河井宏允:テーパつき円柱の渦励振, 日本風工学会誌, 第59号, pp.49-52, 1994. 4) 松本ら:斜張橋ケーブルの限定型振動としてのレインバイブレーションに関する研究, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.1059-1064, 1994. 5) 北川ら:円柱塔状構造物における高風速渦励振の発生メカニズムに関する実験的解明, 土木学会論文集 (印刷中).

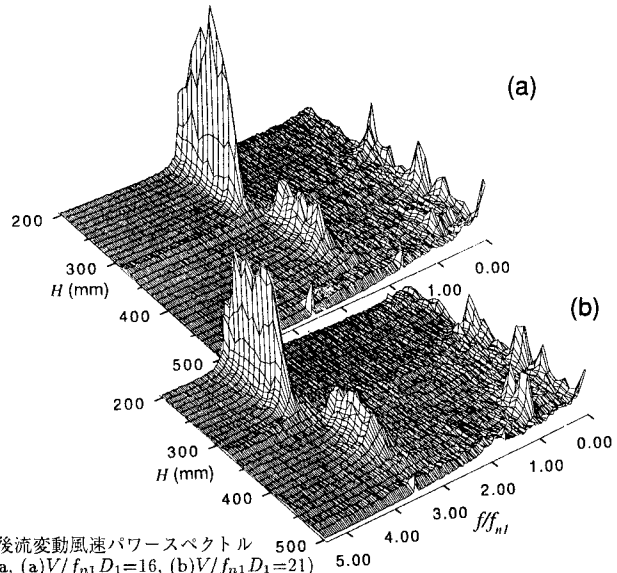


図4 後流変動風速パワースペクトル (模型 a, (a) $V/f_{n1} D_1 = 16$, (b) $V/f_{n1} D_1 = 21$)

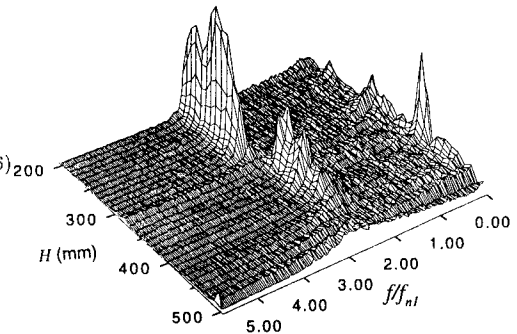


図6 後流変動風速パワースペクトル (模型 b, $V/f_{n1} D_1 = 16$)