

I-752

円形断面を有する塔状構造物の高風速渦励振に関する実験的研究

東京大学大学院 学生員 北川徹哉
東京大学工学部 正 員 藤野陽三

東京大学大学院 正 員 若原敏裕
東京大学工学部 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風速域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ている^{1),2),3)}。本研究ではその現象を「高風速渦励振」と呼び、発生メカニズムを風洞実験を用いて明らかにする。

2. 風洞実験方法 図1に示すように、片持ち支持した一様円形断面の1自由度ロッキング模型($f=17.5\text{Hz}$, $\xi=0.28\%$, $m=35\text{g}$)を用いた。

風直角方向の模型応答は模型頂部に設置した加速度計により計測し、また、後流の変動風速をI型熱線風速計を用いて模型中心から下流側に5D、風直角方向水平に1Dの位置において高さHを変化させて($H=200\sim 500\text{mm}$, 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2.6m×高さ2.1~2.4m×長さ18.9mの回流型密閉式風洞において一様流のもとに行った。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 実験結果を図2に示す。減衰を増加させた場合($\xi=0.66\sim 0.81\%$)の結果も併せて示す。両ケースにおいて $V=2\text{m/s}$ 付近に通常の渦励振によるピークがあるが、さらに $V=6\text{m/s}$ 付近においても応答のピークがみられ、高風速渦励振が発現している。通常の渦励振は減衰の増加に敏感であるが、高風速渦励振は減衰を増加してもほとんど振幅が変化していない。以下では、 $\xi=0.28\%$ における高風速渦励振に着目して検討する。

図3(a)に渦励振が生じていない $V=4\text{m/s}$ における加速度応答のパワースペクトルを示す。通常の渦励振に関わる渦放出成分(以下、「ストローハル成分」と呼ぶ)による応答のパワースペクトルのピークが35Hz付近にみられる。一方、ストローハル成分とは別の渦放出によると思われるピークが12Hz付近に現れているが、この渦放出を「第2渦放出」と呼ぶことにする。

実際の渦放出の特性を明らかにするために、図4(a)に後流変動風速パワースペクトル高さ方向の分布を示す。図4の左側の軸は風洞床面からの高さHを表している。図4(a)の $H=200\sim 400\text{mm}$ においてはストローハル成分の渦放出(35Hz)に伴うピークが顕著にみられるのに対し、模型上端付近($H=400\text{mm}$ 以上)において低振動数域に変動風速のパワースペクトルのピークがみられ、図3(a)に現れた第2渦放出の振動数(12Hz)と一致するピークも存在している。なお、ストローハル成分の渦放出に伴うピークは模型上端付近においてはみられない。

次に高風速渦励振時の $V=6\text{m/s}$ における応答のパワースペクトル(図3(b))から、図3(a)と比較して、ストローハル成分の渦放出振動数および第2渦放出振動数は高振動数側へ移り、第2渦放出振動数が固有振動数に一致していることがわかる。また、 $V=6\text{m/s}$ における図4(b)の後流変動風速パワースペクトルにおいても、模型上端部に発生している第2渦放出振動数のピークが固有振動数に一致している。

なお、後流変動風速を非定常スペクトル解析の一種であるウェーブレット変換(Morletのウェーブレット⁴⁾)を用いて解析した。図5(a)は通常の渦励振時の風速($V=2\text{m/s}$, $H=350\text{mm}$)における後流の時系列であり、これをウェーブレット変換したものが図5(b)のウェーブレット係数 W_C である。横軸は時刻であり、縦軸は振動数に対応する。各時刻における各振動数成分の強さを濃淡で表している。この図からストローハル成分の渦放出($V=2\text{m/s}$ では17.5Hz)は周期的になされていることがわかる。応答(図5(c))も定常的であり、典型的な渦励振の応答である。一方、高風速

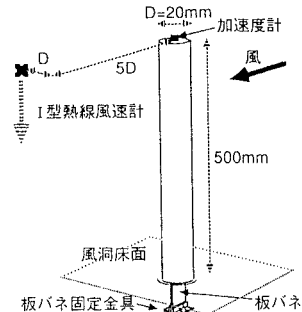


図1 風洞実験概要

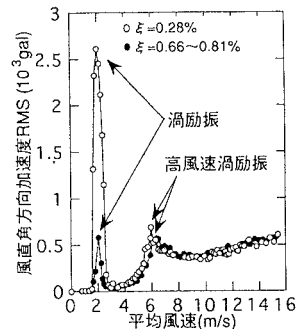


図2 平均風速と風直角方向加速度応答の関係

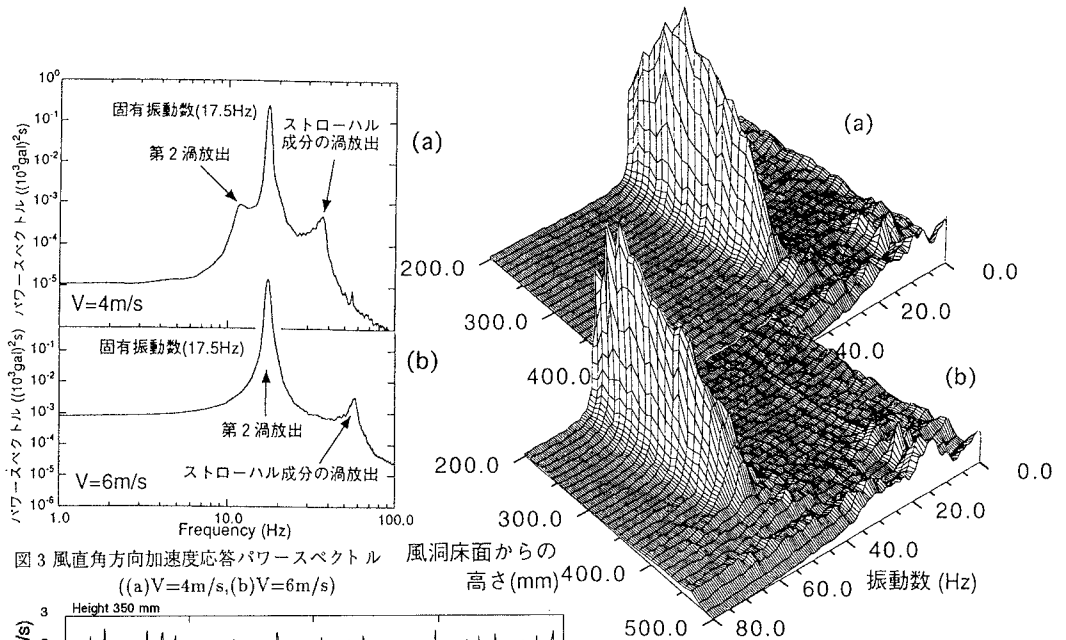


図3 風直角方向加速度応答パワースペクトル 風洞床面からの
((a)V=4m/s, (b)V=6m/s) 高さ(mm)

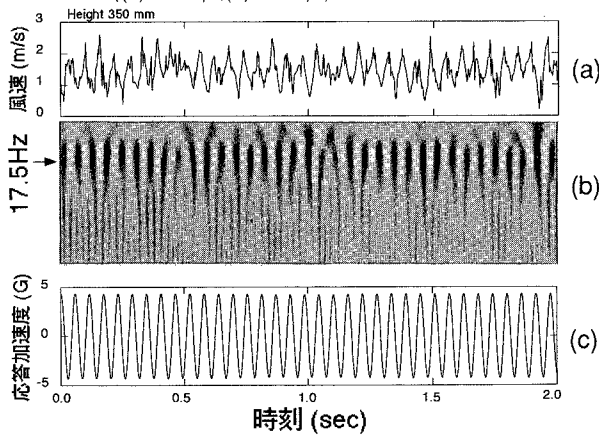


図5 (a) 後流時系列 (b) W_c (c) 風直角方向応答 ($V=2\text{m/s}$, $H=350\text{mm}$)

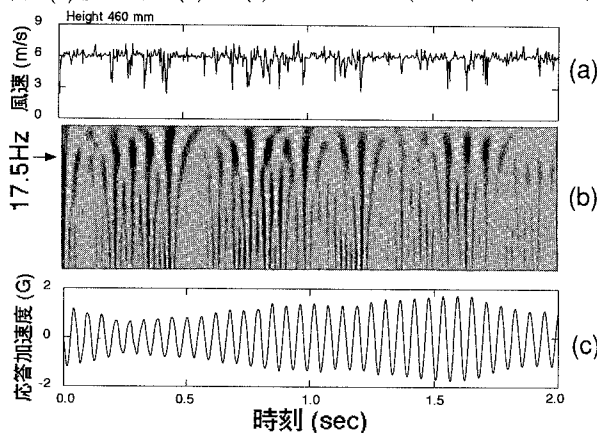


図6 (a) 後流時系列 (b) W_c (c) 風直角方向応答 ($V=6\text{m/s}$, $H=460\text{mm}$)

図4 後流変動風速パワースペクトル
((a)V=4m/s, (b)V=6m/s)
渦励振時の風速 ($V=6\text{m/s}$, $H=460\text{mm}$) に
おける後流について (図6(a)) みてみると, そ
(b) の W_c (図6(b)) より, 第2渦放出 ($V=6\text{m/s}$
では 17.5Hz) は間欠的になされている。また,
応答 (図6(c)) は定常ではない。

4. 結論 片持ち円柱ロッキング模型を用いた風洞実験を行い, 高風速渦励振の特性について検討した。通常の渦励振に伴う渦発生に比べて振動数の低い第2渦放出が模型上端部付近に確認され, これが高風速渦励振の原因であることがわかった。第2渦放出は間欠的に発生しており, 上端部を周り込む流れと側面の流れによって生成される複雑な流れに起因すると思われるが, さらに検討していく必要がある。

参考文献

- 1) L.R.WOOTTON: The oscillations of large circular stacks in wind, Proc. Inst. Civ. Eng., pp.573-598, 1969.
- 2) 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.
- 3) 河井宏允: テーパーつき円柱の渦励振, 日本風工学会誌第59号, pp.49-52, 1994.
- 4) M.Farge: Wavelet transform and their applications to turbulence, Ann. Rev. Inc., pp.395-457, 1992.