

I-B21 模型のスケールの変化が高風速渦励振の発現特性に及ぼす影響

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 はじめに 円形断面を有する塔状構造物においては、通常の渦励振の発現風速より数倍高い風速においても、渦励振と類似の空力振動が発現する¹⁾²⁾。

筆者らは、この現象を“高風速渦励振”と呼び、円柱塔状模型を用いた風洞実験により、その発現メカニズムを検討してきた³⁾⁴⁾。2次元円柱渦（カルマン渦）の放出振動数よりも低い振動数を有する“自由端渦”が模型頂部近傍に発生し、その振動数が模型の固有振動数に一致する風速において高風速渦励振は励起された。さらに、自由端渦が発生しない場合には高風速渦励振は発現しなかったことから、高風速渦励振は自由端渦によって励起されと考えられた。また、円柱ロッキング模型³⁾と円柱塔状弾性模型⁴⁾を用いた各実験結果を比較することにより、一様円形断面の場合にはロッキング振動、弾性振動にかかわらず、自由端渦は発生し高風速渦励振が励起されることが示された。

そこで本研究においては次のステップとして、模型のスケールが高風速渦励振の発現に及ぼす影響を調べるために、前実験で用いた円柱ロッキング模型³⁾の2.5倍の大きさの円柱ロッキング模型を用いて風洞実験を行った。

2 風洞実験方法 本実験模型は図1に示すように、高さ $H_f=1250\text{mm}$ 、直径 $D=50\text{mm}$ の円柱を板バネで片持ち支持し、風直角方向のみに自由度を有する1自由度ロッキング模型である。アスペクト比は前実験で用いた円柱ロッキング模型³⁾と同じである。模型の固有振動数 f_n は6.6Hzであり、構造減衰は図2に示すように頂部変位 y に対し非線形となっている。

風直角方向の応答は、板バネに設置したひずみゲージにより測定し頂部変位に変換した。また、I型プローブを模型の中心から $4D$ 後流側、 $1D$ 風直角方向の位置において、高さ H を 20mm ピッチで変化させて、後流風速変動を多点で測定した。その測定範囲は $H=10\sim 1250\text{mm}$ である。

風洞実験は清水建設（株）技術研究所所属の幅 2.6m ×高さ $2.1\sim 2.4\text{m}$ ×長さ 18.9m の回流型密閉式風洞において行った。乱流生成装置は使用していないが、風洞床面による境界層が高さ約 200mm まで発達していた。この気流は前回の円柱ロッキング模型³⁾および円柱弾性模型⁴⁾を用いた実験において用いたものと同じである。

3 実験結果 無次元化風速 $V/f_n D$ （ V ：風洞風速）と風直角方向の無次元化振幅 y/D のr.m.s.との関係を図3に示す。なお、前回の円柱ロッキング模型による実験結果もあわせて示す。通常の渦励振によるピークが $V/f_n D=6.0$ にみられる。本実験模型の構造減衰は振幅に対する非線形性があるため（図2）、振幅を前回の実験結果と比較するのは難しいが（前実験で用いたロッキング模型の構造減衰：0.28%）、通常の渦励振の無次元化振幅は前実験と同程度となった。また、 $V/f_n D=15.3$ においてもピークが現れており、これが高風速渦励振である。しかし、高風速渦励振の発現風速は前実験より低くなっている。

通常の渦励振の発現風速である $V/f_n D=6.0$ における応答波形を図4(a)に示す。応答振幅はほぼ一定となっている。一方、高風速渦励振の波形（図4(b)）、振幅が緩やかに変化するものとなっている。これらの特性は前回までの実験結果³⁾⁴⁾と整合する。

次に、 $V/f_n D=9.6$ における風直角方向変位のパワースペクトルを図5に示す。固有振動数成分 f_n が際立っており、2次元円柱渦（カルマン渦）の放出による影響が $ff_n=1.88$ に小ピークとして現れている。また、 $ff_n=0.68$ においても小さなピークがみられる。このピークの励振源を調べるために、後流風速変動のパワースペクトル中のピークの振動数を渦放出振動数として抽出し、数点の風速についてまとめたものが図6である。図5に現れた $ff_n=0.68$ の成分は $V/f_n D=9.6$ （□印のプロット）において、 $0.86<H/H_f<0.94$ の範囲に現れ、これは自由端渦による変動である。

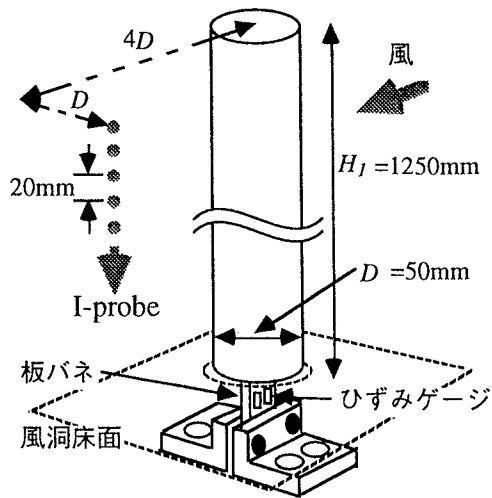


図1 実験概要

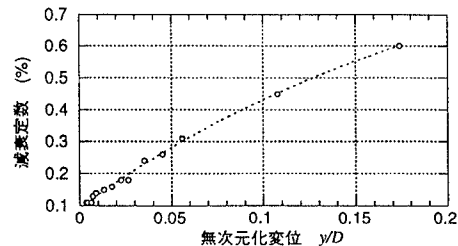


図2 頂部変位と減衰定数の関係

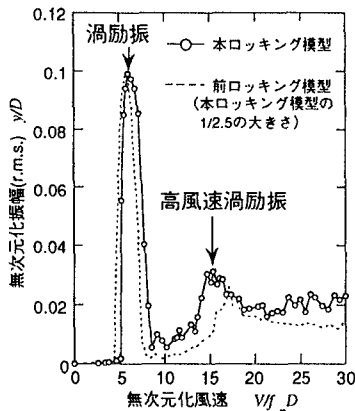


図3 風速と応答の関係

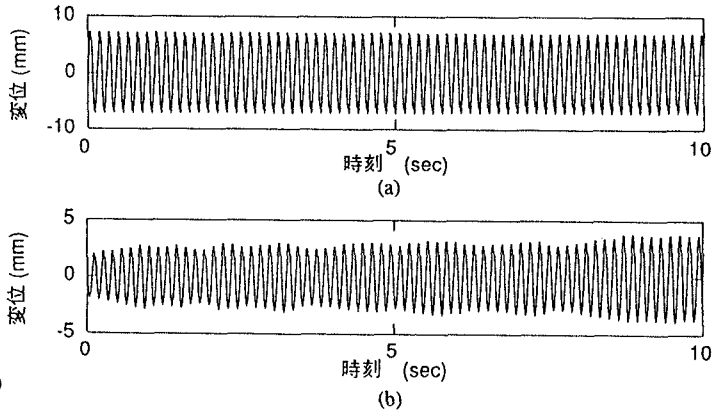


図4 応答波形 (a)渦励振 ($V/f_n D=6.0$), (b)高風速渦励振 ($V/f_n D=15.3$)

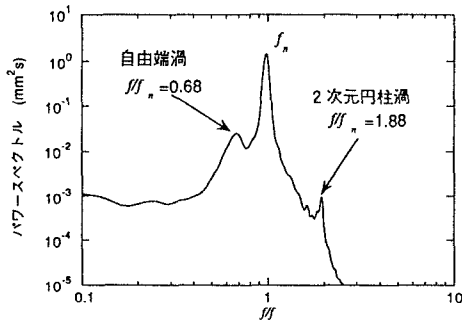


図5 $V/f_n D=9.6$ における風直角方向変位のパワースペクトル

自由端渦の振動数は風速の増加にともなう増加し、高風速渦励振が発現した $V/f_n D=15.3$ においては f_n に一致している。したがって高風速渦励振は自由端渦によって励起されたと考えられ、これまでの実験結果^{3),4)}と整合する。すなわち、図3において高風速渦励振の発現風速が前実験結果よりも低くなっていたのは自由端渦の振動数が前実験よりも低下したためである。本実験においては模型の大型化によってレイノルズ数は前実験よりも増加しており、これが自由端渦の振動数低下の原因であると推測される。

なお、図6において $V/f_n D=6.0$ （通常の渦励振の発現風速）以外の風速では、2次元円柱渦の放出振動数は自由端近傍には現れず、 $H/H_1 < 0.82$ において高さ方向に弧を描くように変化しており、これは風洞床面の境界層によると思われる。この傾向は前回の円柱ロッキング模型を用いた実験³⁾においても若干みられたが、弾性模型の場合にはステップ状に変化するものとなっていた⁴⁾。この不整合性の原因については、今後検討していく必要がある。

4 まとめ 模型のスケールの違いが高風速渦励振発現に及ぼす影響を調べるために、前実験のロッキング模型の2.5倍の寸法を有する円柱ロッキング模型を用いて風洞実験を行った。前実験と比較して、高風速渦励振の発現風速も低くなったが、自由端渦が模型頂部付近に発生し、その振動数が模型の固有振動数に一致する風速において高風速渦励振が励起される点については整合する。

謝辞：風洞実験において清水建設技術研究所流体グループの皆様、特に若原敏裕氏には多大なご協力をいただきました。また、日本大学理工学部の野村卓史助教授には貴重な御意見をいただいています。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. Civil Eng.*, Vol. 43, pp.573-598, 1969. (2)河井宏允：テーパーつき円柱の渦励振, 日本風工学会誌, No. 59, pp. 49-52, 1994. (3)北川, 若原, 藤野, 木村：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, No. 543, 1-36, pp. 195-207, 1996. (4)北川, 藤野, 木村：円柱塔状構造物の高風速渦励振に関する実験的研究, 第14回風工学シンポジウム論文集, pp. 299-304, 1996.

- $V/f_n D=3.8$
- $V/f_n D=6.0$ (通常の渦励振の発現風速)
- $V/f_n D=9.6$
- × $V/f_n D=15.3$ (高風速渦励振の発現風速)
- ◇ $V/f_n D=21.7$

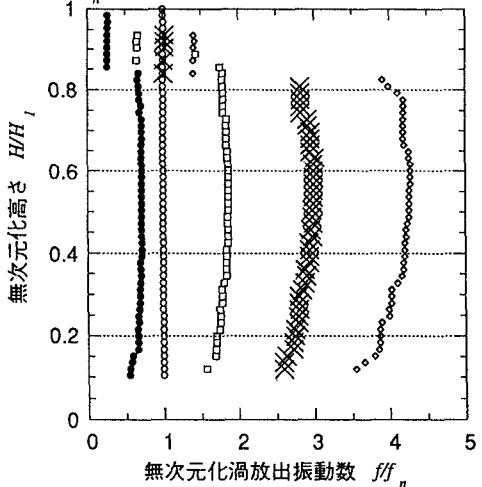


図6 各高さにおける渦放出振動数