

I - B 22

円筒形塔状構造物の高風速渦励振における変動空気力特性

東京大学 学生会員 水野裕介 日本大学 正会員 北川徹哉
 東京大学 正会員 木村吉郎 東京大学 フェロー 藤野陽三

1. まえがき アスペクト比が大きく構造減衰の小さい円筒形塔状構造物は、風により主流直角方向に振動することがある。そのうち渦励振に比べて約3倍の風速域で生じる主流直角方向振動を高風速渦励振と呼んでおり、円柱後流変動風速の測定から、その励振源として自由端渦の存在が考えられている^[1]。しかし実際に作用する空気力の特性は明らかではない。また、構造減衰の増加によって渦励振の振幅は大きく減少するのに対して、高風速渦励振ではそれほど減少しないことがわかっているが、その原因は明らかではない。そこで本研究では、自由端渦による変動空気力の特性を明らかにすることを目的として、静止円柱圧力模型を用いて円柱表面の変動圧力の測定を行った。

2. 実験方法 縦置き回流型の境界層風洞(吹口寸法 1.5W × 1.8H[m])で風速 7m/s の一様流において測定を行った。用いた円柱模型は寸法が直径 50mm、高さ 1250mm で、アルミ製の剛体模型である。模型 1 は鉛直方向一列に 52 点、模型 2 は頂部付近に 54 点(水平方向 9 × 鉛直方向 6)の測定点を配置した。

3. 実験結果 まず模型 1 で測定された変動圧力のパワースペクトルを示す。図 2 には測定点を主流直角方向に向けた場合の、変動圧力のパワースペクトルの鉛直方向分布を示す。中間高さ部分にある 29Hz 付近の大きなピークはストローハル数約 0.2 に対応するカルマン渦による変動成分である。一方、頂部付近の鋭いピークの振動数はカルマン渦成分の約 1/3 であり、これが高風速渦励振の励振源となる自由端渦による変動圧力成分と考えられる。

固有直交関数展開(以下 POD)は多点で測定された変動圧力場を効率よく捉えるための手法として用いられており^[2]、平均値を除いた変動成分の様子を少ない変数で表すことができる。ここでは模型 2 による測定結果に対し、円柱風下側表面を淀み点から反時計回りの角度で 90° ~ 180° (左)、180° ~ 270° (右)の2つの部分に分けてそれぞれ POD を行った。図 3 には POD による圧力変動の 1 次のモード形を、図 4 には 1 次モードの時刻歴を示す。1 次モードの寄与率は約 50% である。モード形は 180° を境に左右対称形である。時刻歴をみると、左右で変動の位相が逆転していることから、主流直角方向の励振源となりうることがわかる。さらに詳しくみると、時刻歴の 0 ~ 0.5 秒では左側で変動が大きく右側の変動は比較的小さいが、逆に 2.1 ~ 3.1 秒では右側で変動が大きく左側の変動は比較的小さくなっており、左右交替的に同じような強さの変動圧力が作用するカルマン渦の場合とは異なる性質を持つことがわかる。

キーワード：高風速渦励振、自由端渦、変動空気力、渦励振

連絡先：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 tel:03(3812)2111(内線 6099) fax:03(5689)7292

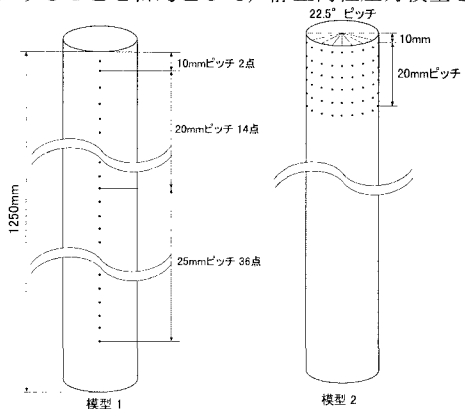


図1 測定点の配置

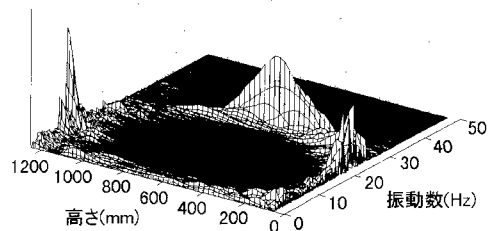


図2 変動圧力のパワースペクトル

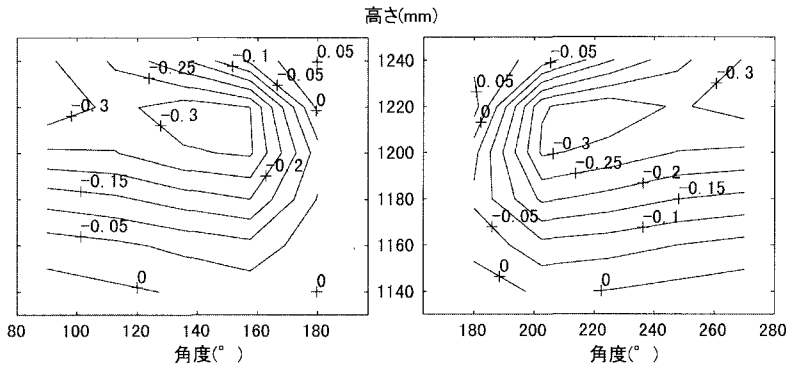


図3 円柱頂部付近の風下表面に作用する変動圧力のPODによる1次モード形(左:左側(90-180°),右:右側(180-270°))

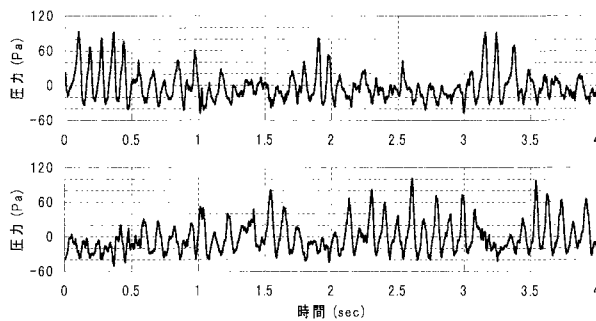


図4 頂部付近変動圧力の1次モード時刻歴(上:左側,下:右側)

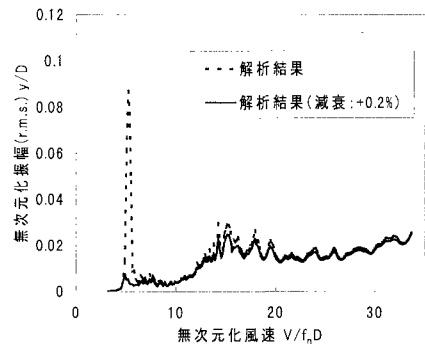


図5 解析による風速と応答(r.m.s)の関係

4. ロッキングモデルの応答解析

測定された変動圧力をもとに円柱に作用する変動空気力を求め、それを外力として円柱のロッキングモデルの応答を計算した結果を図5に示す。渦励振発現風速付近ではVickeryらによる渦励振時の空力減衰式^[3]を用いた。それ以外の風速域では準定常の空力減衰を用いたが、特に高風速渦励振発現時には模型実験結果(圧力模型と同サイズのロッキング模型(固有振動数6.53Hz)を用いたもの)と応答振幅が合致するように渦励振時の空力減衰に0.7を乗じたものを加えた。空力減衰による負減衰効果を考慮しないと解析結果が実験結果と一致しないことから、高風速渦励振時にも渦励振時と同様の空力負減衰がある程度はたらくことが間接的ではあるが示されたものと考えている。図5の点線で表したものが実験結果と整合するように空力減衰を調整した応答解析結果である。一方、実線はロッキングモデルの構造減衰を0.2%大きくしたときの解析結果であり、構造減衰の増加により渦励振の応答はかなり減少するが、高風速渦励振の応答はそれほど減少していない。これは、構造減衰と空力減衰との和が高風速渦励振時の方が渦励振時に比べて大きいためと考えられる。

5. まとめ 円柱表面の変動圧力を測定することにより、円柱頂部付近では振動数がカルマン渦の約1/3である自由端渦による変動圧力成分が支配的であり、それが高風速渦励振の励振源となることがわかった。また、この自由端渦により生じる変動圧力成分は円柱の片側の側面でのみ大きな変動が数回連続的に続き、その間反対側の変動は比較的小さいといった傾向が交互に入れ替わる特性をもつこともわかった。また、変動圧力を用いた応答解析結果から、高風速渦励振時には渦励振時に比べてやや小さい自励空気力が作用することが推測された。

本研究の風洞実験は戸谷治之氏(研究当時日本大学卒論生)とともに風洞実験を行いました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 [1] 北川ら:土木学会論文集, No.543/I-36, p.195-274, 1994. [2] 田村:日本風工学会誌第65号, p.33-41, 1995. [3] Vickery & Basu: J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. Vol.12, No.1, p.49-73, 1983