

I-B23

自由端近傍の後流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 筆者らは、塔状円柱において渦励振発現風速よりも数倍高い風速域で発現する“高風速渦励振”の励振源について実験的に検討してきた¹⁾²⁾。2次元円柱渦（カルマン渦）よりも低い周波数を有する“自由端渦”が円柱頂部近傍に発生し、その周波数が円柱の固有振動数に一致する風速域において高風速渦励振が発現したことから、高風速渦励振の励振源は自由端渦であると考えられた。一方、円柱頂部にやや厚みのある小円柱を設置した実験²⁾においては高風速渦励振は発現せず、自由端渦も検出されなかった。この結果から、円柱上部を通過した後流域に入り込む流れが自由端渦の形成に重要な要因となっていると推察されるが、定量的な知見を得るには至っていない。

そこで本研究では、円柱頂部に薄円盤を設置することにより円柱頂部近傍の流れを変化させることを試み、自由端渦の形成および高風速渦励振の発現に与える影響を検討する。

2 風洞実験方法 本実験は東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻所属の強風シミュレーション風洞（回流型風洞）において行われた。測定部の高さは1.8m、幅は1.5mである。気流はほぼ一様であったが、風洞床面による境界層が高さ $H=200\text{mm}$ 程度まで発達していた。実験模型は図1に示すように、高さ $H_c=1250\text{mm}$ 、直径 $D_c=50\text{mm}$ 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。模型の固有振動数 f_n は6.4Hzであり、構造減衰は図2に示すように弱い振幅（ y ：頂部変位）依存性を示した。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 $4D_c$ 後流側、 $1D_c$ 風直角方向、高さ $H/H_c=0.92$ （ H ：風洞床面からの高さ）の位置に設置し、後流風速変動を測定した。

なお、頂部に設置する円盤は厚さ0.7mmの非常に軽量のプラスチック板である。直径 D_{cd} を55mm～100mmに変化させたが、各円盤の設置に対して固有振動数の変化は微小であり、減衰定数の特性は図2と同様であったため円盤設置による付加質量が応答振幅に与える影響は無視できるものとした。

3 実験結果 図3は、無次元風速 $V/f_n D_c$ （ V ：風洞風速）と無次元化振幅 y/D_c （r.m.s.）との関係を D_{cd}/D_c についてまとめたものである。渦励振のピークが $V/f_n D_c=6.0$ にみられ、その振幅は D_{cd} に対してほとんど変化しないが、発現風速範囲は D_{cd} の増加とともに若干狭まっている。円盤を設置していない場合、 $V/f_n D_c=14$ においてピークが現れており、これが高風速渦励振である。 D_{cd} の増加にしたがって高風速渦励振の振幅は減少し、その発現風速は徐々に低風速側へシフトしている。これらの原因を後流風速変動の測定結果より考察する。円盤を設置していないケースにおける $H/H_c=0.92$ での後流風速変動のパワースペクトルを図4(a)に示す。測定風速は $V/f_n D_c=10$ である。高風速渦励振の励振源である自由端渦の変動が支配的である。また $1 < f/f_n < 1.8$ にも小さなピークがあり、何らかの微小な変動が存在している。なお、 $H/H_c=0.54$ における後流のパワースペクトルも点線で示しており、2次元円柱渦によるピークがみられる。次に $D_{cd}/D_c=1.2$ の円盤を設置した場合の後流のパワースペクトルを図4(b)に示す。自由端渦のパワーは衰退し、新たなピークが $f/f_n=1.3$ に現れている。本研究においては、この変動を“低周波カルマン渦”と呼ぶ。なお、 $H/H_c=0.54$ における2次元円柱渦は円盤設置の影響を受けていない。さらに $D_{cd}/D_c=1.6$ の円盤を設置すると（図4(c)）自由端渦のピークは現れず、低周波カルマン渦が支配的となる。したがって、図3に示された高風速渦励振の振幅の減少は、 D_{cd} の増加にともなって自由端渦の発生が弱まるためであると考えられる。

次に、 D_{cd} の変化が渦放出の周波数に与える影響を検討する。 $H/H_c=0.92$ と 0.54 における後流のパワースペクトルから渦放出周波数を抽出してストローハル数 St として表し、 D_{cd}/D_c についてまとめたものが図5である。なお、円

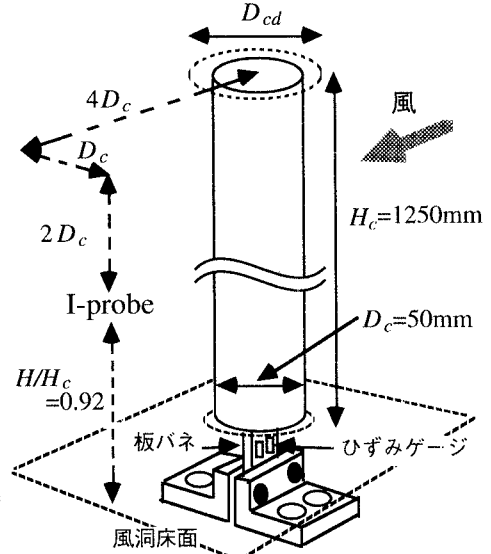


図1 実験概要

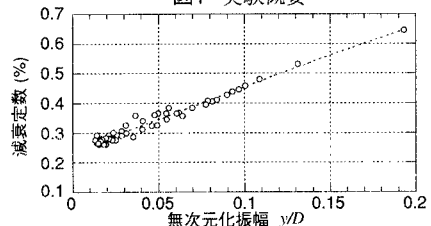


図2 頂部変位と減衰定数の関係

高風速渦励振，自由端渦，円柱塔状構造物，端板，後流風速変動測定

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8 TEL/FAX 03-3259-0411

〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

TEL 03-5802-3312 FAX 03-5689-7292

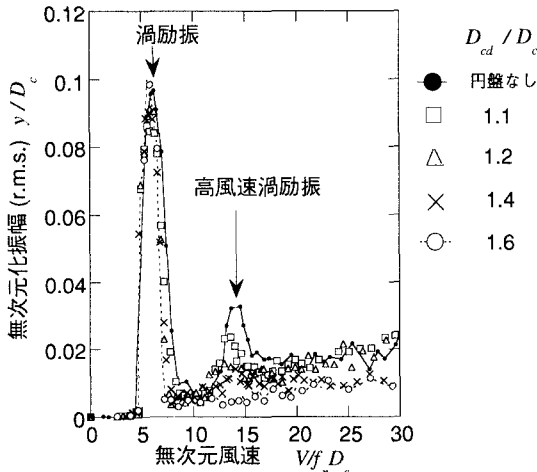


図3 円盤直径と応答の関係

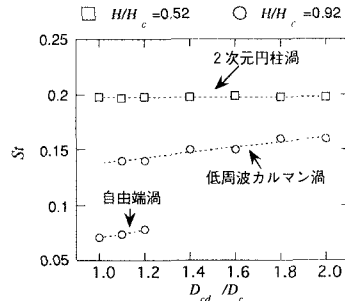


図5 薄円盤の設置が渦放出周波数におよぼす影響

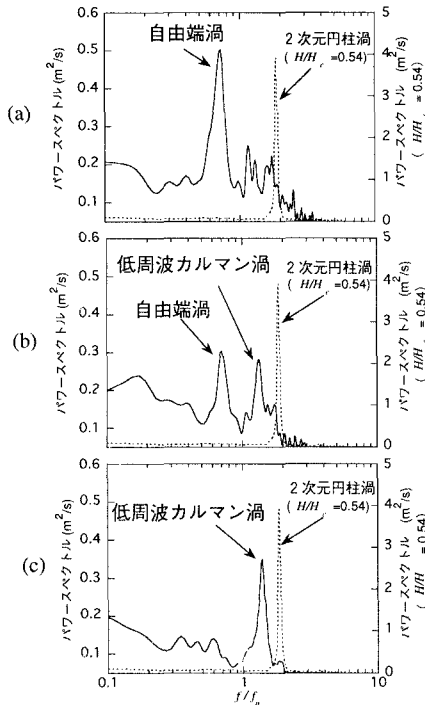


図4 後流風速変動のパワースペクトル ($V/f_n D_c = 10$) (a) 円盤なし (b) $D_{cd}/D_c = 1.2$ (c) $D_{cd}/D_c = 1.6$

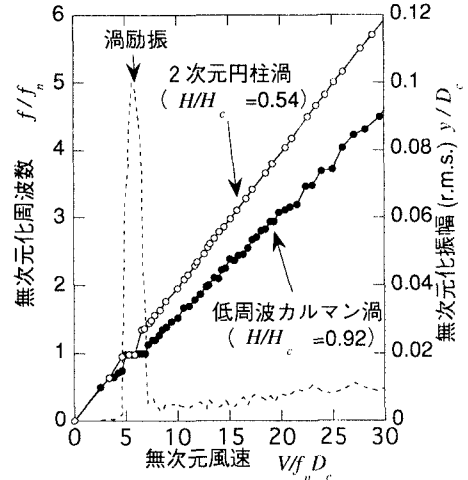


図6 $D_{cd}/D_c = 1.6$ における低周波カルマン渦の周波数と風速の関係

盤を設置していないケースを $D_{cd}/D_c = 1.0$ としている。自由端渦の St は D_{cd} の増加とともに緩やかに増加する傾向にあり、これが図3に示した高風速渦励振の発現風速低下の原因であると考えられる。 D_{cd} の増加とともに自由端渦は衰退し、 $D_{cd}/D_c > 1.2$ においては低周波カルマン渦のみが現れる。低周波カルマン渦の St も D_{cd} の増加とともに増加する傾向にあり、これが渦励振発現の風速範囲が狭まる（図3）原因であると思われる。また円盤を設置していないケース（ $D_{cd}/D_c = 1.0$ ）においても、低周波カルマン渦は微小ながら発生している（図4(a)）と思われるが、周波数を特定できなかったため明示していない。一方、 $H/H_c = 0.54$ における2次元円柱渦の周波数は円盤設置の影響をほとんど受けていない。図6は低周波カルマン渦の周波数を風速に対してプロットしたものである。低周波カルマン渦は2次元円柱渦よりも広い風速範囲においてロックインの状態となり、渦励振の発現風速範囲を広げる役割を果たしていると思われる。

4 まとめ 高風速渦励振の励振源である自由端渦の

特性を調べるために、円柱頂部に薄円盤を設置して自由端近傍の流れを変化させることを試みた。高風速渦励振の振幅は円盤直径の増加とともに減少し、その発現風速は低風速側へシフトした。これは、円盤直径の増加にともない自由端渦の発生は衰退するとともに、その周波数は増加するためであることが示された。

謝辞：風洞実験において東京大学大学院の水野祐介氏、日本大学理工学部（実験当時）の戸谷治之氏に御協力を頂きました。また、日本大学理工学部の野村卓史教授には貴重な御意見を頂いています。ここに記して謝意を表します。

参考文献 (1)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, I-36, pp. 195-207, 1996. (2)北川、藤野、木村：塔状弾性模型を用いた風洞実験による高風速渦励振の発現特性に関する研究、土木学会論文集（1998年4月号掲載予定）。