

I - B 20

表面粗さによる高レイノルズ数における円柱の渦励振

金沢大 正員

岡島 厚

1. 緒 言

近年、新材料、新工法により超高化した煙突、橋梁主塔などの構造物周りの流れは非常に高いレイノルズ数 ($Re=UD/\nu$, U :一様流速, D :模型外径, ν :動粘度) 領域となり、臨界 Re 数以上の超臨界域や極超臨界域に達する。本研究では、超臨界域付近の流れにおける円柱の渦による励振の様相を風洞実験により明らかにする。しかし、風洞実験で超臨界域の Re 数を得ることは容易ではなく、しかも振動実験においては模型の振動機構上、その固有振動数をあまり大きくできない制約から、試験風速を低く押さえることが望ましい⁽¹⁾⁽²⁾。そこで本研究では、円柱の表面にスパイラル状の溝、および一様球状粗さの表面粗さをつける方法によって、円柱表面の境界層の層流から乱流への遷移を促進させ、比較的低い風速で超臨界域の流れの状態を実現し、超臨界域における円柱構造物の不安定振動挙動を調べた。

2. 実験装置と実験方法

実験には、測定断面 $300\text{mm} \times 1200\text{mm}$ のエッフェル型風洞装置を使用した。供試模型は、Fig.1に示すように、外径 $D=165\text{mm}$ 、長さ 293mm のアクリル製の円柱表面に、外径 6mm のゴムチューブ 64 本をピッチ $11.5D$ でスパイラル状に巻き付けた溝状の表面粗さおよび一様球状粗さの 2 種類を用いた。風洞測定部には、Fig.2 のように供試模型を模型支持台にコイルバネで弾性支持し、5 種類の固有振動数の異なるコイルバネを取り換えることにより模型振動系の固有振動数を変化させた。振動系の減衰係数の調節は、支持台に取り付けた電磁ダンパを用いて行う。ここで、模型振動系の固有振動数を f とし、 δ を対数減衰率、 m を供試模型の単位スパン長さあたりの等価質量とすれば減衰パラメータであるスクルトン数は $Sc=2m \delta / \rho D^2$ である。模型の振動変位は模型支持台に取り付けられたレーザー変位計を用いて計測し、応答振幅 η (D に対する応答変位の RMS 値の%) を求めた。また、模型後流の速度変動周波数 f_w は模型後方に設置した熱線プローブを用いて計測し、得られたデータは A/D 変換した後、パソコンにより周波数解析し、後流渦のストローハル数 $St=f_w D/U$ を求めた。

3. 実験結果及び考察

3.1 静特性 粗面円柱の静特性として、 $Re=3 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^5$ の抗力係数 C_D とストローハル数 St を Fig.3 に示す。図から、溝状粗さの場合の C_D 値は、0.6 以下に低下し、一時後流の卓越周波数も認められなくなり、 $Re=(5 \sim$

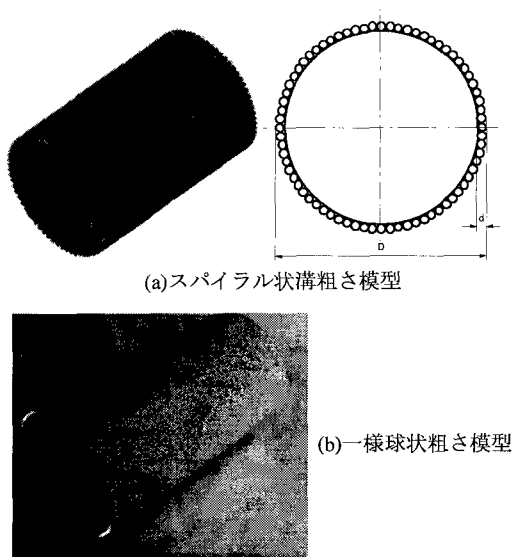


Fig.1. 供試円柱模型

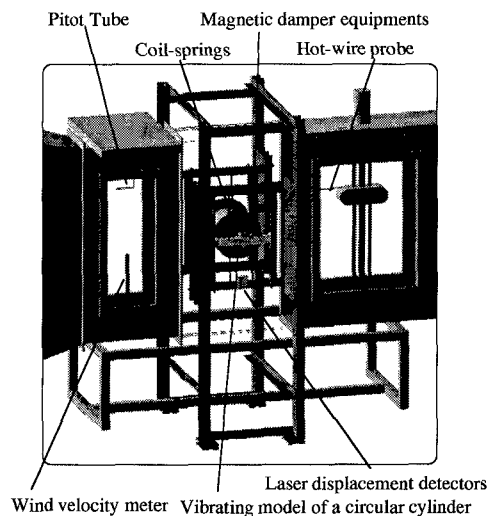


Fig.2. 風洞測定部

キーワード：円柱、渦励振、表面粗さ、臨界レイノルズ数、超臨界域

連絡先：〒920-8667 石川県金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部、電話 076-234-4744、Fax: 076-234-4746

$5.5) \times 10^4$ 付近で超臨界域が実現する。一方、一様球状粗さの場合、 $Re=6.5 \times 10^4$ 付近の C_D 値は若干大きく、 $C_D=0.7$ で、後流ストローハル数は $St=0.27$ で高い。 $Re \geq 10^5$ では、いずれの場合も、 $C_D=0.8 \sim 1.05$ と増大し、 $St=0.23 \sim 0.27$ で極超臨界域である。

3.2 振動特性 粗面円柱の振動実験は、2種類の表面粗さ円柱を、それぞれ $f=3.62 \sim 7.15\text{Hz}$ 、 $f=4.10 \sim 8.88\text{Hz}$ の範囲で、5(4)種類の固有振動数の異なるコイルバネを用い、スクルートン数 Sc が約6となるように電磁ダンパーの電流を調節した。Fig.4, 5に、固有振動数別の振動変位 η と後流のストローハル数を Re 数に対して示す。まず、Fig.4の溝状粗さ円柱の場合、亜臨界域で発振風速付近になると振幅が急激に増大し、振幅は模型直径の10%を超える。さらに Re 数を増加し、 $Re=5 \times 10^4$ 付近で、振動振幅は急減し、振動が発生しなくなる場合が生ずる。この場合、固有振動数の増加に伴って振動が開始する発振風速が増大し、 Re 数も増大して超臨界域を含むようになる。すなわち、 $f=3.62, 4.2\text{Hz}$ の場合、 $Re=5 \times 10^4$ 付近で振動が急速に減衰して発振領域は狭い。また、 $f=5.5, 5.95\text{Hz}$ では発振領域の前半部の振動が発生しない。 $f=7.15\text{Hz}$ の場合は、極超臨界域に達しており、亜臨界域における振動挙動と同様であるが、振幅が小さい。一方、Fig.5の一様球状粗さ円柱の場合には、若干高い $Re=(6 \sim 6.5) \times 10^4$ 付近でほぼ同様の振動挙動を呈するが、スクルートン数 $Sc=6$ では渦励振は完全に消失はしない。

4. 結 論

2種類の表面粗さ付き円柱を用いて、超臨界域における渦励振について自由振動法による風洞実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 溝状粗さおよび一様球状粗さ円柱の抗力係数 C_D 及びストローハル数 St の Re 数に対する静特性は、それぞれ超臨界域の Re 数値、 C_D 値は異なる。
- (2) その超臨界域において、渦励振による振幅は極端に小さくなる。しかもその発振域や振動振幅は表面粗さによる静特性の相違に対応して異なる。
- (3) 極超臨界域では、亜臨界域と同様に渦励振が発生するが、その振幅は若干小さい。

参考文献

- 1) 岡島、中村：高レイノルズ数範囲における表面粗さのある円柱まわりの流れ、九大応力研所報 40(1973) p.387.
- 2) 岡島、中村：高レイノルズ数範囲における円柱のうず励振、災害科学総合シンポジウム講演論文集 10(1973) p.67.

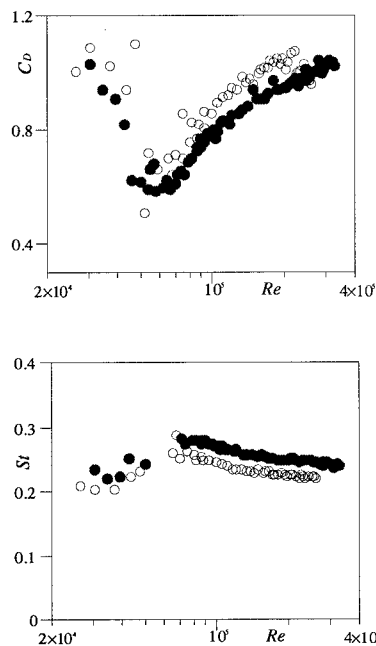


Fig.3. 表面粗さ円柱の静特性(C_D , St).

●：スパイラル状溝粗さ、
○：一様球状粗さ

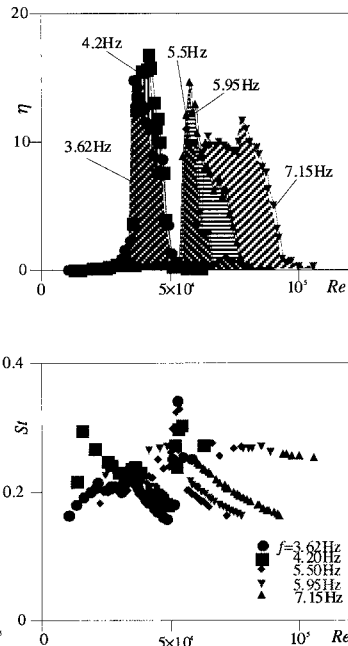


Fig.4 表面粗さ円柱の振動変位 η と後流のストローハル数(スパイラル状溝粗さ)

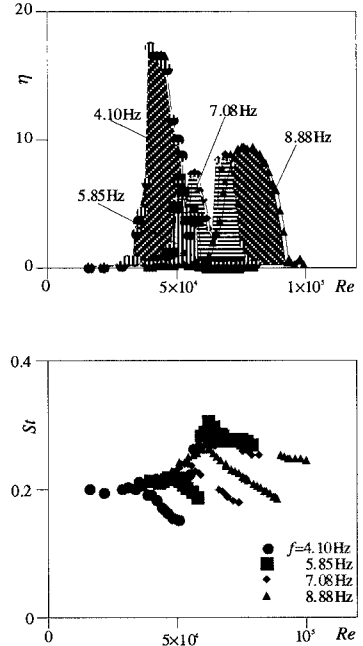


Fig.5. 表面粗さ円柱の振動変位 η と後流のストローハル数(一様球状粗さ)