実構造物の振動特性と接近流の乱流効果を考慮した円柱インライン振動特性の研究

石川島播磨重工業㈱　正員○杉本高志　正員　松田一俊
金沢大学工学部　正員　岡島　厚　正員　木綿隆弘

1 緒言

潮流中の海洋構造物などの Bluff body は物体表面の剥離流れや物体後流領域に生成される渦によって様々な流力振動が発生するが，ここでは振動方向が流れ方向と一致するインライン振動に着目した．これまで円柱のインライン振動に関する研究[1)~4)]が多くなされているが，流体の乱れがインライン振動特性に与える影響については系統だった実験がなされていない．プラント配管内の流れは，均一で乱れの無い流れではなく，エルボから十分離れた位置においては，均一ながらも乱れ強さ7～10%程度の乱れを有する．一方，プラント配管の管の肉厚が薄い場合，温度センサーなど配管に挿入された円柱状構造物は配管と連成し，流れ直角方向の固有振動数が相対的に低下する場合がある．

本研究では，円柱の流れ方向と流れ直角方向の振動数の違い，流れの乱れがインライン振動に与える影響に着目し，3次元片端支持弾性模型を用いて水槽実験を行った．なお，実験には金沢大学所有の回流水槽を使用した．測定胴断面は，幅 167mm×高さ 400mm である．

2 実験概要

製作した円柱模型を**表－1，図－1**に示す．この模型は水槽外部に突き出た一貫構造であり，外部根元において流れ方向 2 本，直角方向 2 本の計 4 本のネジで 2 自由度弾性支持されている．円柱はこの支持部を回転中心として，ほぼ剛体モードで振動する．また後流の渦放出周波数 f_w の測定には円柱後方 100mm，円柱先端からスパン長さの半分の位置に設置したＩ形熱膜プローブを使用した．

3 振動数の異なる円柱

図－2に流れ方向の振動数が流れ直角方向の約 1.4 倍であるアスペクト比 20 の円柱の 2 自由度振動実験結果を示す．ここで流れ方向と流れ直角方向の振動数が異なるため，換算流速 Vr(Vr=U/f*D，U は一様流速，f は円柱の固有振動数)の整理にはそれぞれの振動数を用いた．図より，流れ方向振動は Vr_i = 1.3 にて振動が始まり，Vr_i = 2.3 で最大値 ξ_{rms} =0.08 に達する第 1 励振域を形成する．そして，$Vr_{cr}/2$=2.5 近傍で振動が抑制され，Vr_i=2.7 付近に再び振動が大きくなり第 2 励振域を形成する．流れ直角方向振動は Vr_c=2.17 付近で多少振動が見られ，その後，Vr_c=3.5 から第 3 励振域が見られる．

ロックイン現象は 1.2<Vr<1.4 で円柱の無次元振動数 St_c の 1/4 にロックインし，2.3<Vr<3.1 で 1/2 にロックインすることがわかる．また，第一励振域では流れ方向の振動が卓越するが，第 2 励振域の Vr_i=2.91 では流れ直角方向にも大きく振動し，8 の字の軌跡が見られる．8 の字の中心が一定でないのは流れ方向と流れ直角方向の各振動数と各 Sc 数に違いがあるためと考えられる．

図－3に振動応答中の円柱の卓越応答周波数および放出渦の周波数をまとめた．第 2 励振域において，放出渦の周波数が流れ方向の固有振動数の 1/2 にロックインするが，このとき，流れ直角方向の固有振動数とは無関係に振動していることがわかる．つまり，第2励振域における交互渦は，流れ直角方向に対して強制的な振動を発生させている．これに対し，第1励振域では，流速 0.6m/s 付近において円柱の無次元振動数 St_c の 1/4 にロックインし励振された後は，円柱下流域の後流渦による影響が少ない．

図－4に Sc 数を変化させた場合の流れ方向応答のピーク振幅をまとめた．ピーク値は，振動数比の影響を受けず，ほぼ従来と同様の結果を示した．

4 乱流中での応答

図－5に測定部中心での円柱の高さ方向の乱れ強さ分布を示す．なお，U=1.5m/s での流れ方向の空間スケールは，41 mm(= 2.7D)である．

乱流格子を設置した場合のアスペクト比 15 の 2 自由度振動実験結果を一様流での結果[4)]とともに図－6に示す．流れ方向には 1.4<Vr<2.5 で第一励振域が，2.5<Vr<3.0 で第 2 励振域が見られる．また一様流中に比べ，乱流中では第 2 励振域が抑制されていることがわかる．さらに 1.2<Vr<1.4 で円柱の無次元振動数 St_c の 1/4 のロックインが見られ，2.3<Vr<2.8 で 1/2 にロックインする．振幅の低減及びロックイン範囲の減少は，乱れにより渦の剥離が抑制されたためと考えられる．リサージュ図は，一様流中の結果と同じく，第 1 励振域では流れ方向が卓越するが，第 2 励振域では 8 の字の軌跡が見られた．また乱流によるランダム振動は，本流速範囲では発生していない．

5 結言

回流水槽を用い亜臨界レイノルズ数領域において，3次元片端支持弾性模型の流れ方向振動実験を行い，以下の結果

キーワード：円柱，インライン振動，振動数比，乱流，水槽実験
連絡先住所：横浜市磯子区新中原町 1　石川島播磨重工業㈱技術開発本部，tel:045-759-2825,fax:045-759-2208

を得た.

(1) 振動数の異なるアスペクト比 20 円柱の流れ方向応答特性は, Vr_{cr}=2.5 を境にして 2 つの励振域を生じる. また, リサージュ図形は, 第 2 励振域では二方向に軌跡が見られ, 8 の字の軌跡が見られる. これは振動数比 1.0 の単純円柱と同じ応答特性である.

(2) Sc 数を増加させるにつれ, 第 1 励振域に比べ第 2 励振域の振動がより敏感に抑制される. また, そのピーク値の振幅は従来の円柱の結果とほぼ一致する.

(3) 第2励振域では, 流れ方向振動数の 1/2 の周波数で流れ直角方向に強制加振され, 流れ直角方向の固有振動数とは無関係である.

(4) 均一な乱流中(乱れ強さ約 10%)の場合, アスペクト比 15 の片端支持円柱において, 一様流中に比べ第2励振域の振動が抑制される. また, 乱流によるランダム振動は, 本計測流速範囲においては発生しなかった.

【参考文献】

1) 岡島ら:円柱および矩形柱の流れ方向流力振動特性, 日本機械学会論文集(B編)65 巻 635 号, 論文 No.98-1896, 1999 年 7 月, pp.10-17.

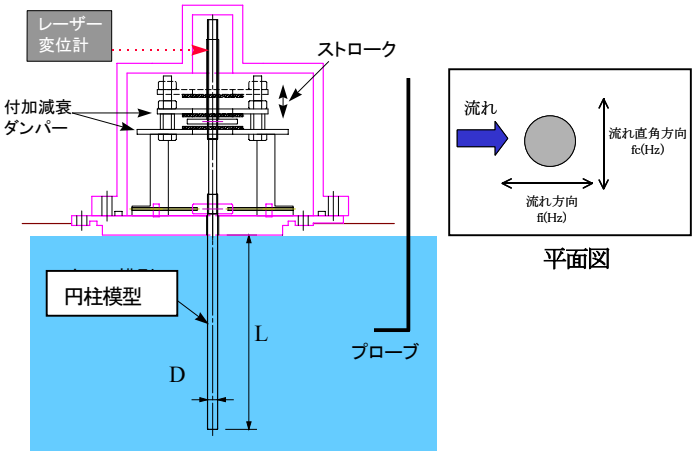
2) 河村ら:超臨界レイノルズ数領域における直行流中の静止円柱からの渦放出特性, 日本機会学会論文集(B編)65 巻 635 号, 論文 No.98-1889, 1999 年 7 月, pp.26-34.

3) 松田ら:高レイノルズ数領域における2次元円柱の空気力特性, 第 33 回流体力学講演会(金沢大), 平成 13 年 9

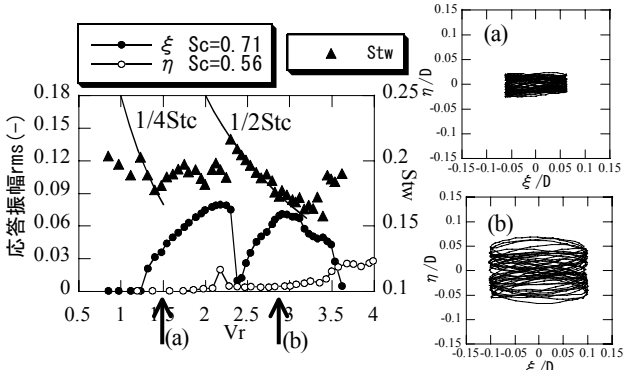
4) T.Sugimoto, K.Matsuda, A.Okajima : Water tunnel experiments on in-line oscillation of a circular cylinder with a finite span length, Conf. on Bluff Body Wakes and Vortex-Induced Vibrations, Dec. 2002,pp.65-68.

表－1 円柱模型諸元

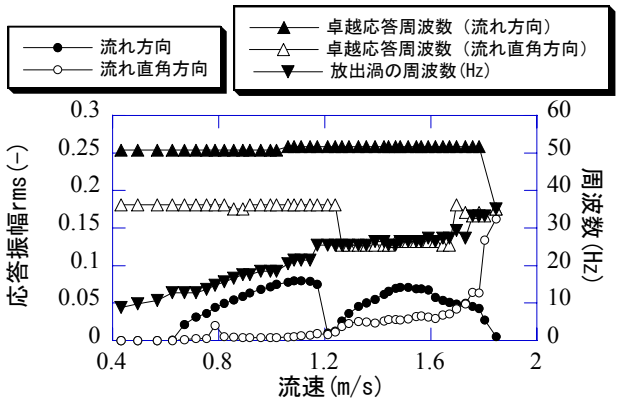
	直径 D(mm)	長さ Le(mm)	アスペクト比	Re 数	固有振動数	
					fi(Hz)	fc(Hz)
振動数比用	10	200	20	$1.5*10^4$	51.0	36.1
乱流用	15	225	15	$2.3*10^4$	33.3	



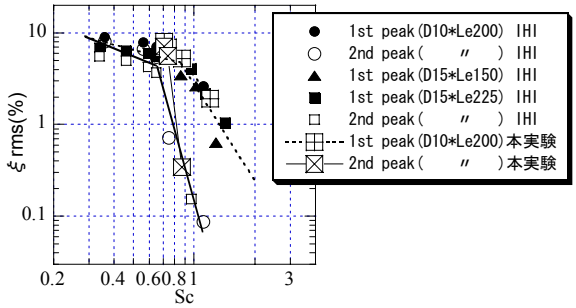
図－1 模型概要図



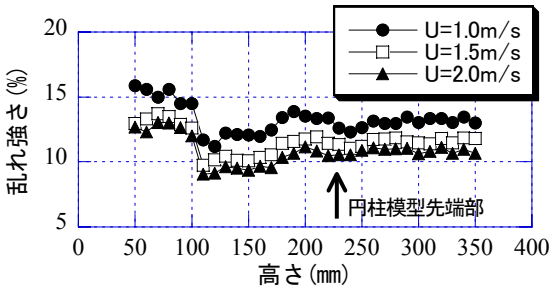
図－2 応答振幅とリサージュ(ξ:流れ方向, η:流れ直角方向)



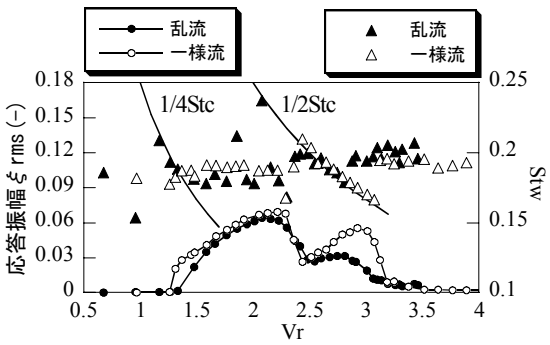
図－3 周波数まとめ



図－4 ピーク振幅の比較



図－5 乱れ強さの分布



図－6 乱流中での応答