

3次元円柱のインライン振動に関する水槽実験

石川島播磨重工業(株) 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. はじめに

潮流中の海洋構造物など非流線形状の Bluff body は物体表面のはく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。King ら¹⁾は、片持ち支持した弾性円柱模型を使用し水槽実験を行い、2つの励振域を確認した。また岡島ら²⁾は、亜臨界 Re 数での風洞実験により、2次元円柱のインライン振動特性とくにスクルーン数(以下 Sc 数)に対する応答特性を示している。

しかし本現象については、いまだ不明な点が数多く残されており、この振動現象を明確に説明できるに至っていない。また実験模型の支持条件の違いによる振動応答の変化に関する基礎的データは少なく、さらに片持ち弾性支持した模型の場合、 Sc 数(構造減衰分)を連続的に変化させる実験は困難である。本研究では図-1のように2自由度弾性支持した円柱模型を用い、また永久磁石による付加減衰ダンパーにより Sc 数を変化させて水槽実験を行なった。なお本研究は金沢大学との共同研究として実施し、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

円柱模型の概要図を図-1、試験ケースを表-1に示す。円柱としてアスペクト比(以下 AR)の異なるステンレス製円柱を用いた。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 Sc 数を変化させるために、円柱上部の銅板を永久磁石で上下から挟み、磁石間距離を変化させることで構造減衰を付加させた。打振実験による対数減衰率の変化の一例を図-2に示す。また円柱後流における放出渦の周波数の測定には、円柱後方 90mm、スパン中央位置に設置した熱膜プローブを用いた。

3. 実験結果

【応答特性】図-3に AR10($D=20\text{mm}, L=200\text{mm}$)の応答図と各点のリサージュ図、図-4に AR20($D=15\text{mm}, L=300\text{mm}$)の応答図と各点のリサージュ図を示す。AR10では、 $Vr=2.3$ において第1ピークを迎え、リサージュのように第1励振域では若干流れ直角方向にも振動が発生し、楕円軌道となる。第2励振域ではあまり大きなピークは現れず、そのリサージュでは2方向ともに振幅は小さいが8の字軌道を描く。これに対し AR20 では、第2励振域でも大きく振動し、8の字軌道も明確である。AR15 の場合も AR20 とほぼ同様の現象が見られた。これは AR の小さい模型では、先端部の流れの巻き込みにより、後流渦の2次元性が弱められるが、AR が大きくなるにつれ、交互渦の2次元性が増し、励振力の増大とともに8の字軌道を大きく描くことになったと考えられる。

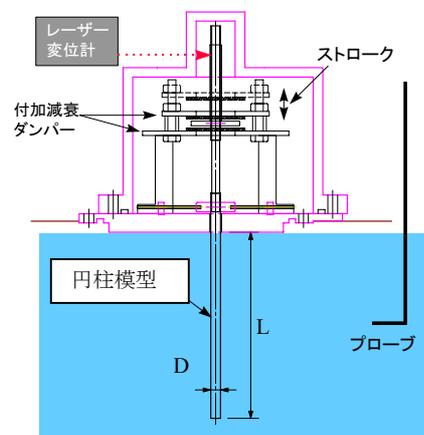


図-1 模型概要図

表-1 試験ケース

直径D(mm)	スパンL(mm)	アスペクト比	閉塞率	Re 数(@ $Vr=4$)
10	200	20	0.030	1.5×10^4
	150	15	0.022	
	100	10	0.015	
15	300	20	0.067	2.3×10^4
	225	15	0.051	
	150	10	0.034	
20	300	15	0.090	3.1×10^4
	200	10	0.060	

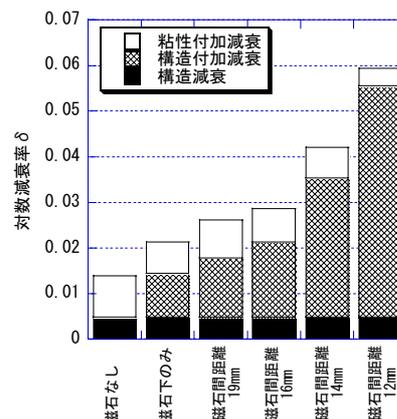


図-2 減衰特性

キーワード: 円柱, インライン振動, スクルーン数, アスペクト比, 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(株)技術開発本部, tel:045-759-2825, fax:045-759-2208

また、ARによらず後流渦のストローハル数 St_w は第1励振域では前半部の振動発生時に $1/4St_c$ に若干だがロックインしており、2つの励振域の谷間から第2励振域の全域にかけて $1/2St_c$ にロックインしていることがわかった。

【Sc 数^{*)}による影響】 Sc 数を増加させた場合、AR10 では第1励振域の振幅は減少し、 $Sc=1.5$ ではほとんど減衰した。AR20 では、第1,2励振域ともに振幅は減少したが、第2励振域の方が Sc 数に対して敏感に減少することがわかった(図-5)。しかし既往の実験²⁾では、第2励振域の方が Sc 数に対して緩慢な変化を呈することが多い。本実験のように3次元2自由度支持することによって直角方向の振動が発生する。このことがインライン振動の振幅増減に与える影響は今後の課題である。

【回り込みの影響】 円柱先端部の流れの2次元性を増すために、AR20 ($D=15\text{mm}, L=300\text{mm}$) の円柱先端に円柱直径の3倍の端板を取り付けた実験を行った(図-6)。この結果、第2励振域と $1/2St_c$ にロックインする範囲は端板を取り付けた場合の方が広がり、リサージュ図でも端板なしに比べ大きく8の字を描いた。

4. まとめ

アスペクト比(AR)の異なる円柱モデルを2自由度片持ち支持し、水槽実験を行った結果、以下の結論を得た。

- AR10 では第1励振域振幅が大きく、第2励振域振幅は小さいが、AR20 では第1,2励振域ともに振幅は大きい。また、その軌道は第1励振域と第2励振域で異なり、後者では8の字軌道を描く。よって2自由度支持した場合、第2励振域では後流の交互渦による直角方向の振動が、インライン振動特性に及ぼす影響が強い可能性がある。
- Sc 数を増大させると、第1励振域よりも第2励振域の方が敏感に減少することがわかった
- 円柱端部に端板を取り付けた場合、第2励振域と交互渦のロックイン範囲が拡大した。後流渦の2次元性を増すことにより、インライン方向および直角方向ともに励振力が増大したものと考えられる。

【参考文献】1) King, R., Prosser, M.J. and Johns, D.J., “On Vortex Excitation of Model Piles in Water”, Journal of Sound and Vibration, Vol.29(2), pp.169-188,1973.

2) 岡島ら, 「円柱及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, pp.10-17, 1999

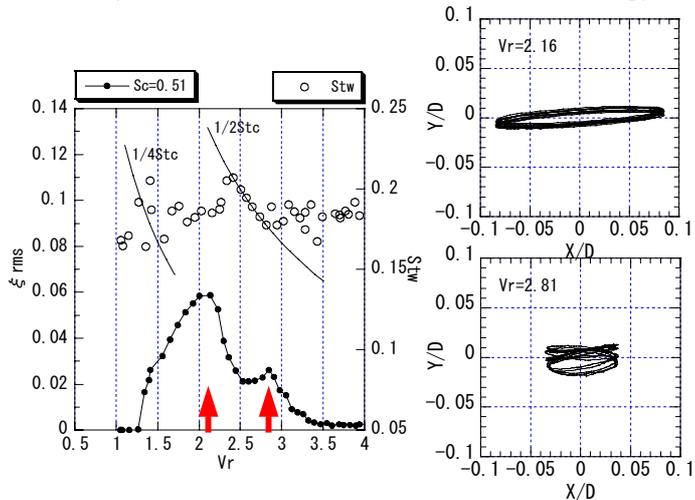


図-3 AR10(20*200)の応答とリサージュ図

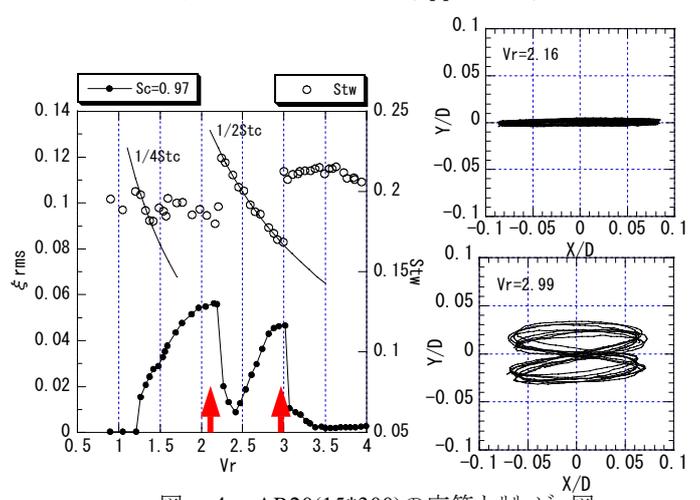


図-4 AR20(15*300)の応答とリサージュ図

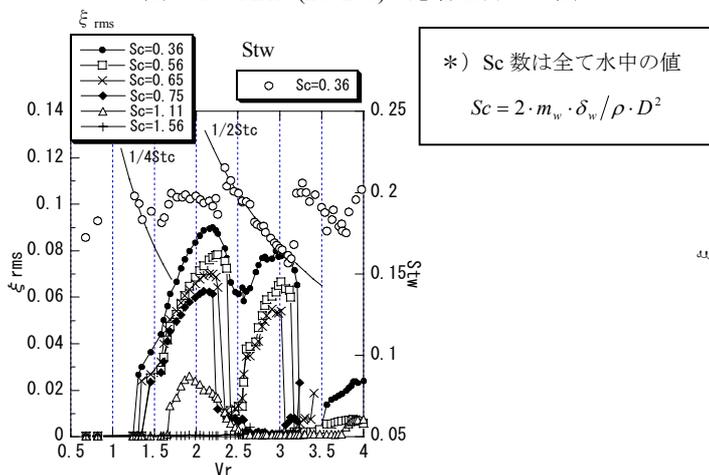


図-5 Sc 数に対する AR20(10*200)の応答

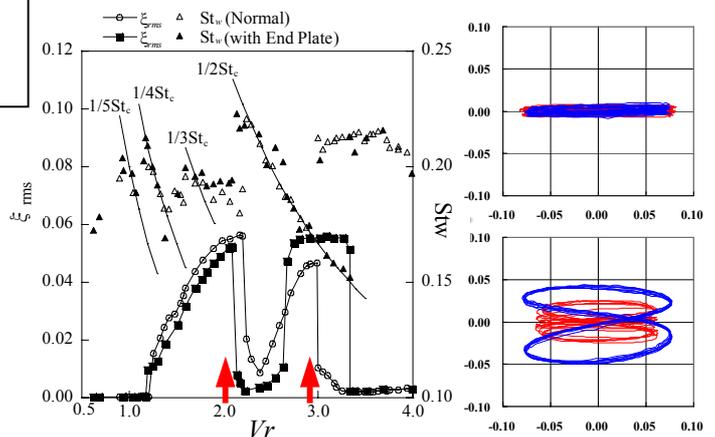


図-6 端板による変化: AR20(15*300)の応答とリサージュ図