

2次元円柱のインライン振動特性

石川島播磨重工 正会員 松田一俊

石川島播磨重工 正会員 上島秀作

石川島播磨重工 正会員 杉本高志

1. まえがき

1968-69年イギリスにおいて報告された潮流による海洋構造物の流れ方向振動¹⁾や1995年12月に発生した高速増殖炉「もんじゅ」の2次系ナトリウム漏洩事故などに端を発して、円柱構造物の流れ方向振動に関する研究が活発に行われている。円柱インライン振動に関する風洞実験については、アスペクト比1.8および2.4の2次元円柱模型を気流方向1自由度振動系に支持した岡島ら^{2), 3)}の風洞実験結果がある。

本研究では文献2)の研究成果を踏まえ、アスペクト比および振動自由度が、円柱インライン振動の応答特性に与える影響を風洞実験で確認し考察を行った。

2. 実験概要

実験に用いた風洞は、石川島播磨重工技術開発本部（横浜）所属の構造物安定性風洞である。測定胴寸法は、高さ2.5m×幅1.5m×長さ8.0mである。風洞模型は表1に示すアスペクト比の異なる2種類を用いた。アスペクト比1.8の模型は、風洞内のコイルバネ8本によって、水平1自由度振動系に支持されている。一方、アスペクト比6.8の模型は、風洞外のコイルバネ8本（または16本）によって、水平1自由度振動系（または水平・鉛直2自由度振動系）に支持されている。それらの模式図を図1に示す。いずれの模型も固有振動数は約3.6Hzで一致させた。流れの2次元性を確保するため、模型の両端に隔壁および端板を設置している。無次元風速 $V_r (=V/fD)$ 、 V ：風速、 f ：固有振動数、 D ：円柱径）1におけるレイノルズ数は、約 1.0×10^4 である。スクルートン数 $Sc (=2m\delta/\rho D^2)$ 、 m ：模型単位長質量、 δ ：無風時対数減衰率＝構造対数減衰率＋無風時空力対数減衰率、 ρ ：空気密度、 D ：直径)の変化は電磁ダンパによる減衰率の変化によって行い、模型質量は一定とした。スクルートン数の減衰として無風時対数減衰率 δ を採用したため、本研究のスクルートン数は水流動実験における数値と比べ無風時空力対数減衰率の分だけ大きめの値となる。よって、本実験結果の評価には注意が必要である。

3. 実験結果および考察

円柱インライン振動の一般的な応答特性を図2に示す。流れ直角方向の渦励振が発現する無次元風速 $V_{rcr}=5$ の半分 $V_{rcr}/2$ を中心として、その前後である無次元風速1.25～2.5付近に第1励振域が、また同2.5～3.8付近に第2励振域が存在する。

表1 2次元円柱模型構造諸元

直径 D (mm)	模型長 L (mm)	アスペクト 比 L/D	質量比 $2m/\rho D^2$	無風時対数 減衰率 δ	スクルートン 数	振動 自由度
200	356	1.8	160	0.005-0.018	0.8-2.9	1
200	1354	6.8	180	0.005-0.023	0.9-4.2	1 or 2

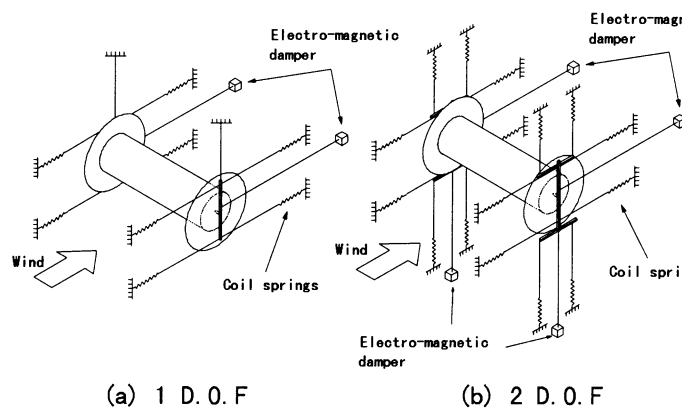


図1 模型ばね支持機構と振動自由度

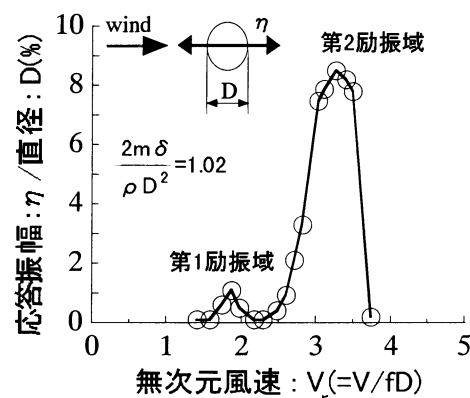


図2 円柱インライン振動応答例

キーワード：2次元円柱，インライン振動，風洞実験，スクルートン数，アスペクト比

連絡先：〒235-8501 横浜市磯子区新中原町1番地 石川島播磨重工業株式会社技術開発本部機械・プラント開発センター大型機械システム開発部空力・大気拡散グループ TEL(045)759-2135 FAX(045)759-2183

初めに1自由度振動系に支持したアスペクト比1.8の模型を用いて、文献2)の実験結果と比較した結果を図3に示す。横軸はスクリーン数 Sc であり、縦軸は応答振幅を直径 D で無次元化してある。本実験結果は文献2)の実験結果とほぼ一致したことから本実験手法の妥当性が確認できたものと考えられる。

次に、アスペクト比の影響を調べた結果を図4に示す。第1励振域、第2励振域の各ピークは、スクリーン数1.0以上において、いずれもアスペクト比6.8の方が大きくなった。したがって、アスペクト比の小さい模型を用いた実験結果は、設計上危険側の評価を与える可能性がある。

最後に、振動系の自由度の影響を調べた結果を図5に示す。第2励振域の応答ピークについては、自由度の影響が認められなかった。しかし、第1励振域の応答ピークについては2自由度の方が小さくなる結果となった。この理由として次のことが考えられる。第1励振域において模型から発生する渦は対称渦²⁾である。しかし、2自由度の模型の応答リサージュが楕円軌道となるため、1自由度に比べて対称渦の生成が起こりにくくなる。一方、第2励振域において、2自由度の場合、第1励振域同様に応答リサージュは楕円軌道となる。しかし、発生する渦は交互渦²⁾であるため、楕円軌道が交互渦の生成に及ぼす影響は微小と考えられる。別途、振動状態において小バブルを用いた流れの可視化を行ったところ、第1励振域における対称渦の生成は、1自由度より2自由度の方が弱められていることが確認できた。また、第2励振域において、振動自由度の違いによる交互渦の生成パターンの差はほとんど認められなかった。なお、第2励振域の応答ピークの方が第1励振域より大きいことから、風洞実験における振動自由度の違いが、インライン振動に対する円柱状構造物の設計に及ぼす影響はないものと考えられる。

4. まとめ

- (1) アスペクト比の小さい模型を用いた実験結果は、設計上危険側の評価を与える可能性がある。
- (2) 第2励振域の応答ピークは振動自由度の影響が認められなかったが、第1励振域の応答ピークは2自由度の方が小さくなる結果となった。第2励振域の応答ピークは第1励振域より大きいため、振動自由度の違いが円柱状構造物の設計に与える影響はない。

参考文献

- 1) King, R., Prosser, M.J. and Johnes, D.J., *J. Sound Vib.*, 29(2), pp.169-188, 1973.
- 2) 岡島, 大津山, 永森, 中野, 木綿: 円柱および矩形柱の流れ方向流体力学特性, 日本機械学会論文集(B編)65巻635号, pp.2196-2203, 1999年7月.
- 3) 岡島, 岩崎: 物体の流れ方向流体力学振動の可視化, 第16回風工学シンポジウム論文集, pp.213-218, 2000年11月.

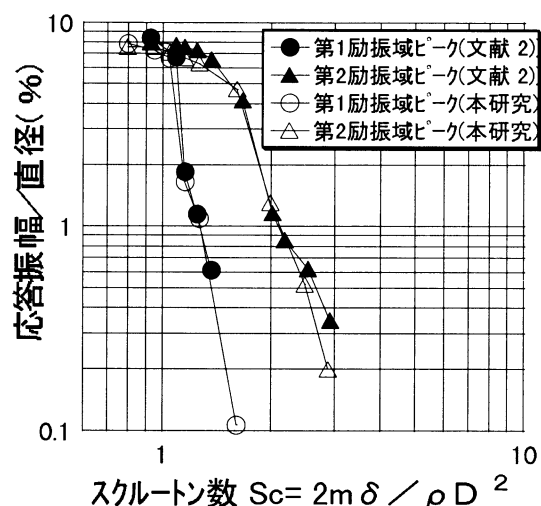


図3 文献2)の実験結果との比較(1自由度)

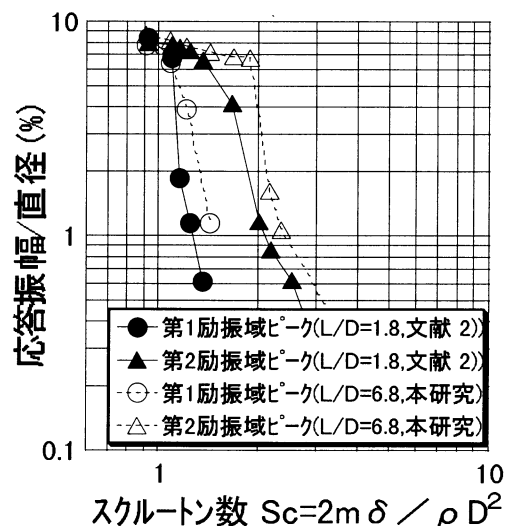


図4 アスペクト比 L/D の影響

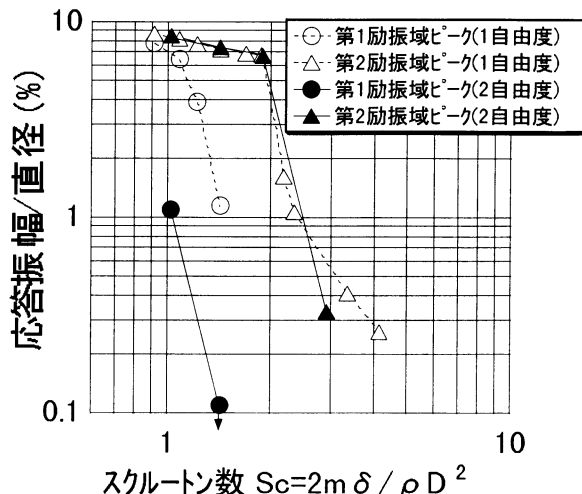


図5 振動自由度の影響