

## 減衰制御法による並列円柱の空力減衰の測定

Hitz 日立造船株式会社 正会員 ○田中千喬

高知工科大学 フェロー 藤澤伸光

**1 研究背景と目的** ウェーク・ギャロッピングのメカニズムの解明には非定常空気力の測定が重要であるが、従来の非定常空気力の測定法には慣性力除去などの問題点もある。本研究では、非定常空気力の新たな測定方法を開発して並列円柱の空力減衰を測定し、その実用性を検証した。

**2. 制御を用いた測定法** 強制振動法と同様に一定振幅における空気力が測定可能で、慣性力の問題を生じない方法としてフィードバック制御を利用した測定が考えられる。この測定法では、非定常空気力を構造物の運動からのフィードバックとみなす。この空気力の効果をフィードバック制御により相殺できれば、その時の制御力は空気力と逆符号の力であるといえる。しかし、このような制御システムは複雑で位相遅れによって発散してしまう危険性がある。そのため、本研究では減衰のみを制御する方法を開発した。非定常空気力は、実部と虚部からなり、1自由度系の運動方程式は、 $m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_{yI}\dot{y} + F_{yR}$  で表される。そこで物体の振動時に発散も減衰もせず、一定の振幅で定常振動するように外部から力を与えれば、その制御力から空気力の虚部が求められる。ここでは、モーターによって速度に比例する制御力  $D\dot{y}$  を与えた。速度項のみを考えた場合、振動が定常であるという条件から  $c\dot{y} - F_{yI}\dot{y} - D\dot{y} = 0$  となり、 $F_{yI} = c - D$  から空気力の虚部が求められる。なお、実部も振動数の変化から求められるが、本研究では実部の計測は行っていない。この新たな測定方法を“減衰制御法”と呼ぶことにする。図-1 に並列円柱の空気力測定システムの略図を示す。下流側円柱は1自由度のバネ支持した2次元モデルとし、上流側円柱は風洞壁に固定とした。また、下流側円柱はリニア・モーターにピアノ線で接続した。モーターは円柱の速度に比例した電流によって駆動する。速度は制御用PCを用いて変位を微分し求めた。円柱が定常振動するように、手動でモーターの電流を調整した。空気力測定に先立って、無風時の構造減衰を測定した結果、測定誤差は5%と十分な精度を有することが検証された。

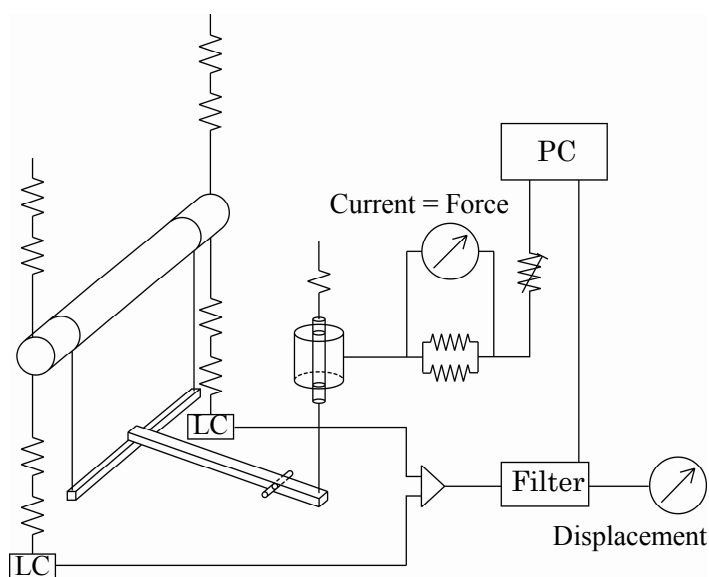


図-1 減衰制御法略図

**3. 実験結果** 下流側の並列円柱の空力減衰を新たに開発した方法で測定した。円柱間隔は2Dと3Dとした。ここでDは円柱の外径である。代表的な実験結果を図-2に示す。円柱間隔は2Dで無次元風速75.4である。縦軸は無次元振幅で横軸は空力減衰と構造減衰の和である。図-3はほぼ同じ条件での応答測定結果、図-4は非定常圧力を積分して求めた空力減衰で、いずれも文献1)から引用した。減衰率は振幅の増加に伴い正から負へ、さらに正へと変化している。不安定なリミットサイクルがY/D=0.3に、安定なリミットサイクルがY/D=0.55に存在していることを示している。このリミットサイクルの存在は図-3の応答測定結果と整合する。なお、図-4では不安定なリミットサイクルが測定されておらず、今回の結果の方が精度が高いと考えられる。図-5は円柱間隔3D、Vr=118.5の場合の結果、図-6、7は応答および圧力積分法の結果である。図-7では減衰率が縦軸と交差する点の精度に疑問が残るのに対して、図-5では安定および不安定なリミットサイクルが明瞭に捉えられている。文献1)では、円柱間隔3DにおいてVr=50以上では不安定なリミットサイクルの存在が報告されていない。

い。そのため追加実験として円柱間隔 3D における応答測定実験を再度行った。その結果を図-8 に示す。実験条件が異なるため図-6 と若干異なった応答となっているが、不安定なリミットサイクルが存在することが明らかになった。この結果は、減衰制御法による測定結果と定性的に一致しており、今回の減衰制御法による測定は十分信頼できるものと言える。送風時には気流の乱れや渦の剥離によるランダムな励振があるにもかかわらず、新たに開発した方法は空力減衰を実用的に測定することが出来ることが立証された。

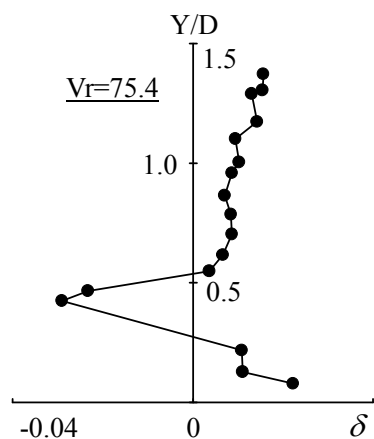


図-2 減衰制御法（円柱間隔 2D）

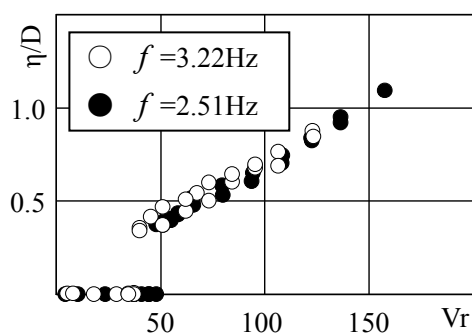


図-3 応答測定実験（円柱間隔 2D）

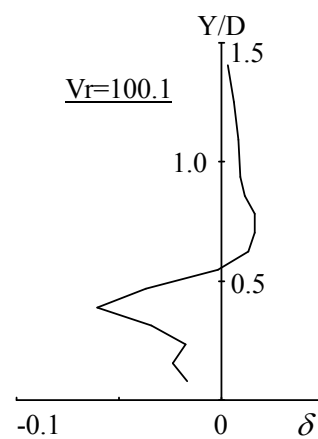


図-4 圧力積分法（円柱間隔 2D）

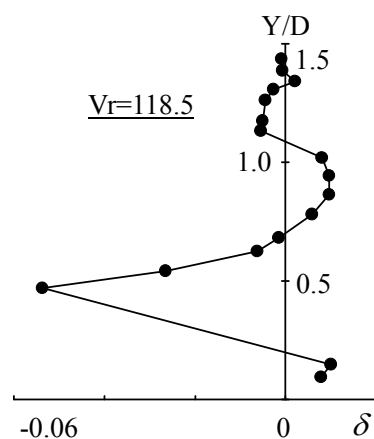


図-5 減衰制御法（円柱間隔 3D）

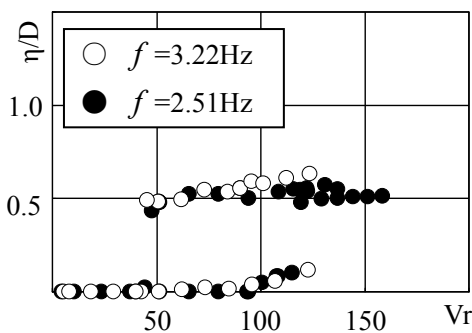


図-6 応答測定実験（円柱間隔 3D）

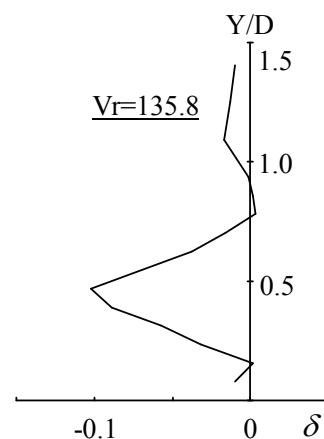


図-7 圧力積分法（円柱間隔 3D）

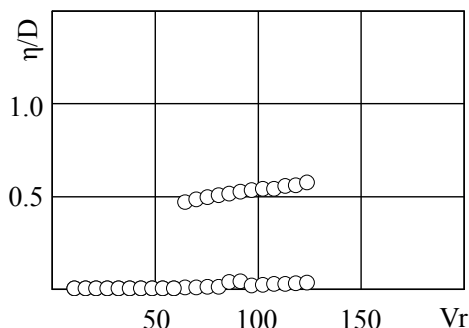


図-8 追加の応答測定実験（円柱間隔 3D）

**4. 結論** 減衰制御法は非定常空気を十分な精度で測定することが出来る。この測定方法は高価な設備を必要としない。しかし現在の手動による減衰制御の方法では減衰が正から負へと変化する範囲では制御が困難であり、今後は、自動で制御するシステムの研究が必要である。

<参考文献>

- 1) 藤澤伸光：並列円柱のウェーク・ギャロッピングと定常および非定常圧力分布、土木学会論文集 A、Vol.65,No.4,2009