

減衰制御法による並列円柱の実測非定常空気力

Unsteady aerodynamic force of tandem circular cylinders measured by the damping control method

社会システム工学コース

1125122 田中 千喬

## 1 研究背景と目的

斜張橋の並列ケーブルに風によるウェーク・ギャロッピングと呼ばれる振動が発生している。ウェーク・ギャロッピングの機械的な対策方法として並列ケーブルをワイヤーで繋ぐ方法がある。しかしながらウェーク・ギャロッピングは大振動であり、ワイヤーが損傷し修復が必要となる。空気力学に基づいた対策の開発が求められている。

空気力学に基づいた対策として、ヘリカルワイヤのウェーク・ギャロッピングに対する制振効果の適応性が研究されている。しかし、ヘリカルワイヤのパラメータによっては制振効果が大きく変化し、明確な結論が得られていない。

ウェーク・ギャロッピングとヘリカルワイヤの効果のメカニズムの解明のためには振動時の空気力すなわち非定常空気力の測定が重要となってくる。しかしながら従来の非定常空気力の測定方法では難点も多くある。本研究では非定常空気力の新たな測定方法の開発を目的とする。

## 2. 実験手順

非定常空気力の測定方法はいくつか存在する。最も一般的な方法である振動法は振幅、振動数が変化しないという利点がある。しかし、設備が非常に既往の非定常空気力測定方法ではコスト、精度の面でそれぞれ問題を抱えていた。例えば、強制振動法は測定装置のコストが非常に高い。そのため強制振動法の利点を活かしたフィードバック制御利用した新たな測定方法の研究を行った。この新たな測定方法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。空気力を制御により相殺できればその制御のフィードバック力が空気力の反対の符号であるといえる。しかし測定システムはとても複雑で位相のズレにより発散してしまう可能性がある。そのため本研究では減衰のみを制御する方法を開発する。この新たな測定方法は減衰を制御し一定の振幅を保つようにし、その制御力から空力減衰を測定する。この新たな測定方法を“減衰制御法”と呼称する。本測定方法は無風時において物体の構造減衰を測定することによって精度の検証を行なった。その結果、誤差 5%と十分な精度であった。

## 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。図 1 に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。モーターは物体の運動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る。制御力の調整は手動でモーターの電流を制御することによって行なう。

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。減衰率は風速の増加に伴い正から負へと、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  $Y/D=0.55$  で存在していることを

示している。このリミット・サイクルの存在は既往の応答測定実験結果と整合するものである。その他の空力減衰の測定結果も応答測定実験結果と整合するものであった。今回、新たに開発した方法は送風時に稀に発生する気流の乱れや渦の剥離によるランダム励振があるにもかかわらず、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。

#### 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正から負へと減衰が変化する範囲では制御が困難である。今後は自動で制御するシステムの開発が必要となる。

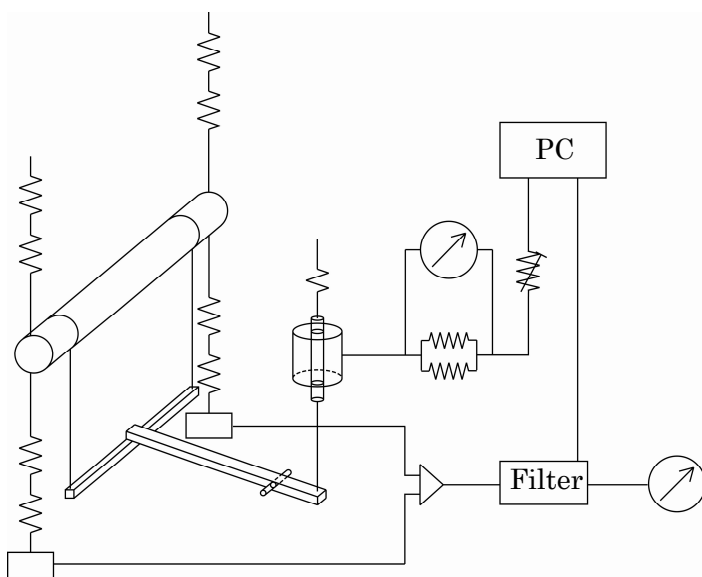


図-1 減衰制御法略図

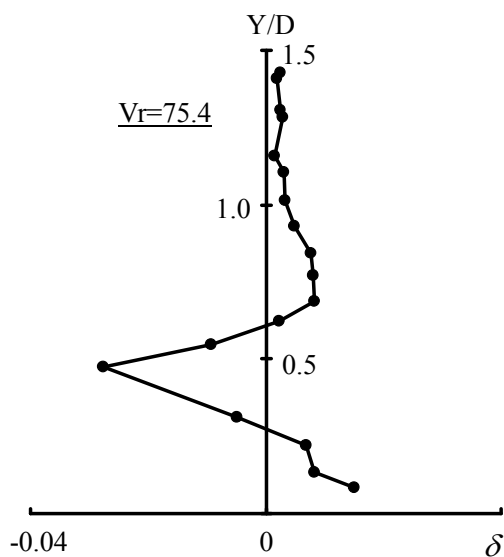


図-2 振幅と対数減衰率（円柱間隔 2D）

< Abstract >

Unsteady aerodynamic force of tandem circular cylinders measured by the damping control method

Kazutaka Tanaka

### **1. Introduction**

The parallel cables of stayed bridges are often suffered from the wind induced violent vibration called wake galloping. As the mechanical measures to suppress the wake galloping, the parallel cables are often connected each other using thin wires. However, since the excitation of the wake galloping is very severe, the wires are frequently damaged and the troublesome repairing is required.

As the aerodynamic countermeasure, the applicability of the helical wires to suppress the wake galloping was also investigated experimentally. However, the suppressive effects varies drastically, depending on the geometric parameters of the wires and the definitive result could not be obtained.

Measurement of unsteady aerodynamic force is considered to be useful to clarify the mechanism of the wake galloping and the effects of the helical wires. However, the existing methods to measure the unsteady aerodynamic forces have various problems. In this study, the development of a new measurement method and the aerodynamic forces acting on the tandem circular cylinders measured by the new method are reported.

### **2. Study procedure**

The several methods have been developed for the measurement of the unsteady aerodynamic force. The most popular one is the forced oscillation method, which has the advantage that the amplitude and the frequency of the vibration can be kept constant. However, it requires very expensive equipment. In order to develop the new method, keeping the advantage of the forced oscillation method, the utilization of the feedback control is investigated. The concept of the new method is based on the fact that the unsteady aerodynamic forces are the feedback variables from the motion of the structure. Thus, if the control can be realized to cancel the effects of the aerodynamic force, the magnitude of the feedback control forces are equal to the aerodynamic forces with opposite sign. However, the measurement system may be very complex, and may have the risk to diverge if the phase lag is large. Consequently, the method that controls only the damping is developed in this study. This new measurement method controls the damping of the model to keep the constant amplitude, and aerodynamic damping force is measured from the control force. This new method is called “the damping control method” hereafter. The precision of the method is verified by the measurement of the structural damping of the model in calm wind. The results of the verification is satisfactory with the error of about 5%

### **3. Experimental result**

The aerodynamic damping of the leeward cylinder of the tandem circular cylinders is measured using the newly developed method. The spacing of two cylinders is  $2D$  and  $3D$ . where  $D$  is the diameter of the cylinder. The schematic diagram of the measurement system is shown in Fig 1. The leeward cylinder is the spring mounted two-dimensional model of single-degree-of-freedom, while the windward cylinder is fixed on the tunnel wall. The leeward cylinder is connected to a linear motor by the piano wire. The motor is driven by the current, which is proportional to the velocity of the model movement. The velocity is obtained by differentiating the measured displacement using PC. The control force is adjusted manually by controlling the motor current.

The typical test results are shown in Fig.2. The cylinder spacing is  $2D$  and reduced wind velocity is  $75.4$ . The

