

第 I 部門

構造物の空力不安定振動に及ぼす振動モードの干渉

大阪府立工業高等専門学校 専攻科 学生員 ○黒田 博之
 大阪府立工業高等専門学校 建設工学科 長谷川直哉
 大阪府立工業高等専門学校 建設工学科 正会員 岡南 博夫

1. まえがき

充腹断面を有する構造物は、空気力学的に剥離を伴う流れに起因する非線形の不安定振動を発生することが知られている。構造物は無限自由度をもつ振動体であり、低次から高次モードの固有振動数を有するが、耐風設計上は一般的には1次モードを対象として検討されることが多い。剥離渦に起因する渦励振、およびギャロッピングの振動現象は、各々ある風速領域で分離して、また混在して振動発生原因となることがあり、剥離を伴う空力的な非線形現象であることを考慮すれば、1次モードのみだけでなく、さらに、それと高次モードとの空気力学的な相互作用を検討することは意味のあることだと考えられる。

そこで、モデルを単純化して検討・評価するため2次元剛体模型のたわみ2自由度振動系を対象として、渦励振・ギャロッピング現象が振動体の2自由度振動モード間でどのような干渉効果が見られるかといった点に注目した風洞実験的な検討を試みる。

2. 実験概要

図1は実験の概要をモデル化して示したものである。研究の第一段階として、ここでは、モードが簡単となるように各スプリング k_1 , k_2 , k_c のバネ定数が全て同じコイルスプリングを使用し、また風洞内で風の作用を受ける正方形断面模型の質量 m_1 と風洞外に取り付けたフレームの質量 m_2 は同じとなるような実験系とした。粘性定数 C_1 , C_2 , C_c は、振動系の m_1 を拘束した状態、 m_2 を拘束した状態、 m_1 と m_2 を一体とした状態、それぞれの振動数・減数定数の測定値、および m_1 , m_2 の値から計算して求める。これらの値は後で準定常理論から数値シミュレーションを行う際に用いる。なお、各質量は $m_1=1369$ g, $m_2=1305$ g であり、若干異なる値となる。各振動モードの振動数は表1に示すとおりである。表1には、フレームに質量を付加して質量比をパラメータとした実験を行う際の振動数、および1次と2次振動モードの振動数比を示す。各振動モードの対数減衰率は全て1%程度であった。模型断面は一辺8cmの正方形で、長さ60cmである。

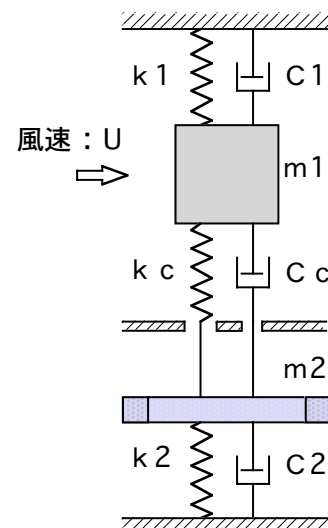


図1 実験システム

3. 実験結果

図2に風速変化に伴う風洞内の模型と風洞外のフレームの2つの質量 m_1 , m_2 の応答変位振幅、および振動数の実験結果を示す。4種類の実験結果は最上段の図が、フレームに付加質量を載荷しない状態の応答結果である。この振動系のモードは理論的に1次で（1, 1）、2次で（1, -1）となり、実験結果はほぼ理論に合っている。

表2にストローハル数を0.125とした場合の渦励振発生風速を示す。フレームに質量を付加することによって振動数が低下し、渦励振発生風速も低下する。各実験結果には各質点の振動数の測定結果が示されており、1次振動モードの同位相の振動が発現するまで

表1 フレームに質量を付加した際の振動数

フレームへの付加質量(g)	0	704	804	1174
1次振動モードの振動数(Hz)	1.953	1.71	1.661	1.564
2次振動モードの振動数(Hz)	3.419	3.028	3.028	2.93
振動数比	1.751	1.771	1.823	1.873

表2 渦励振発生風速

フレームへの付加質量(g)	0	704	804	1174
1次モード渦励振発生風速(m/s)	1.22	1.09	1.06	1.00
2次モード渦励振発生風速(m/s)	2.19	1.94	1.94	1.88

模型の振動数は背後に発生する渦の周波数変化特性が示されており、風速に比例して増大し、1次モードの固有振動数に達する風速から不安定振動する結果となる。応答特性は、渦励振発生風速の3倍付近の風速領域で変曲点が認められ、ギャロッピング現象に渦が干渉していることが推定される。なお、この特性は、付加質量を載荷して2つの質点の質量差が大きくなる程顕著になり、2倍付近の風速領域においても変局点が認められる。なお、振動数の測定は、変位応答の測定値からスペクトルを求め、その卓越周波数から推定したもので、1次と2次モードの振動が混在している場合には、2つの卓越する周波数成分が現れる。図2の2段目以下の付加質量 704 g, 804 g, 1172 g をフレームに載荷した実験結果は、両モードが同時に現れている風速領域が示されている。

実験は風速を漸増しながら応答変位の推移を見るスイープアップ(SU)の実験と、逆に、ある振幅で振動状態にある風速から実験を開始し、風速を低下させながら応答変位の推移を見るスイープダウン(SD)の実験を行った。付加質量がない場合には、SU, SDの結果共に同じ履歴を辿り、付加質量が大きくなれば、SUとSDの実験結果が示す履歴の相違が明瞭となる。このことは、風速・振動数・代表長さで表示する無次元風速と無次元振幅で応答結果を評価する際に1次モードの結果と2次モードの結果で相違することになる。

4. むすび

振動系がたわみ2自由度系の振動モデルを対象として、2次元剛体模型を使用することにより振動モードに及ぼす空力的な干渉効果を調べた。ここでは、単純化することから風の作用を1つの質点にのみ作用させて実験を行った。風の影響を受けない質点の質量を大きくする程1次モードから2次モードへの移行が容易となる。シミュレーション結果は発表当日に示す。

TMDのような振動制御系では、ここで対象とした振動系と異なり、構造物の内部に設置され風の作用を受けないTMは構造物の質量よりかなり小さい。このようなシステムを考慮すれば、本研究において、今後両質点の質量比をさらに詳細に変化させた実験を行うと共に減衰の効果に関する実験データを収集すること、また断面の異なる模型で、渦励振とギャロッピングの発現状態が異なる場合の特性を比較すること等が課題として残されている。

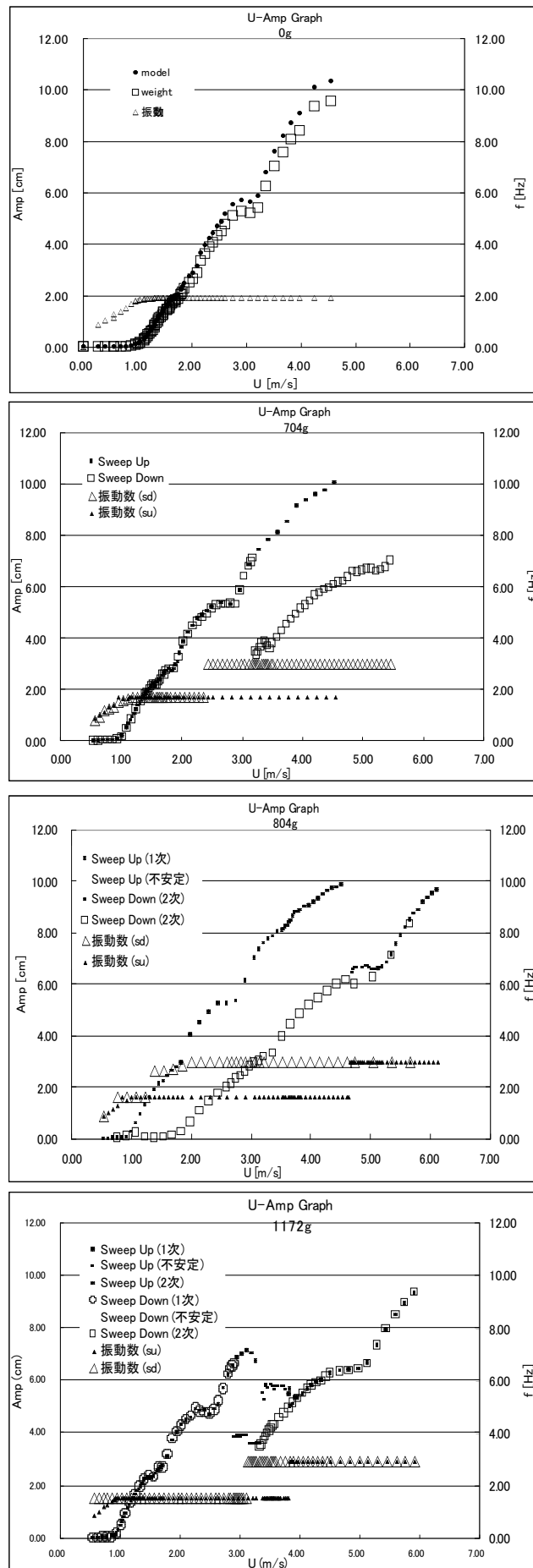


図2 フレームの質量変化に伴う変位応答振幅
および振動数の風速変化特性