

慣性接続要素による構造物の風応答制御に関する基礎的研究

- その1 二次元正方形角柱の空力安定性について -

日大生産工(院) ○小宮 巧 日大生産工 神田 亮 日大生産工(院) 小林 啓樹

1. 序論

構造物の耐震性向上のために Dynamic Mass Damper の研究^{1,2)}が行われている。Dynamic Mass Damper は、慣性接続要素を有し、構造物に対し慣性効果と減衰効果の両効果を与える応答制御装置である。

また、筆者らはこの Dynamic Mass Damper の慣性効果すなわち慣性接続要素が風応答制御に対しても有効であるとし、慣性接続要素の風外力に対する基本的な制御効果を調べた³⁾。具体的には、風洞実験により境界層乱流中において静止モデルより求めた風外力を1質点系モデルに入力した応答の一例を示した。さらに、慣性接続要素は構造物の空力安定性を示すスクルートン数および質量減衰パラメータの値を増大させるため、空力安定性を向上させる効果が期待できる。

以上を踏まえ本論文は、慣性接続要素を有する構造物の空力安定性について検討する。その1では、流れの三次元的効果がなく、現象がよりシンプルな二次元流を対象とし、その空力振動指標であるスクルートン数が慣性接続要素より受ける影響を考察する。さらに、改良型ハイブリッド空力振動実験法⁴⁾(以下、Modified Hybrid Aerodynamic vibration Technique または MHAT)を用いて、慣性接続要素を有する二次元正方形角柱の空力安定性について検討する。

2. 慣性接続要素を有する振動系のスクルートン数

本章では、二次元流に対する構造物の空力安定性を示す指標の一つであるスクルートン数 Sc について慣性接続要素を有する振動系では原振動系とどの様に異なるかについて検討する。まず、 Sc は構造物と流体の密度の比と減衰定数の積から求まる無次元数であり、一般的な構造物の場合、 Sc が大きいほど空力安定性は高くなる傾向にある。 Sc は式(1)のように表される。

$$Sc = 4\pi \frac{\rho_s}{\rho} h_s \quad (1)$$

ここに、 ρ_s : 構造物の密度、 h_s : 減衰定数、 ρ : 空気密度である。

次に、慣性接続要素を有する振動系のスクルートン数 Sc' を考える。まず、振動系の有する慣性接続要素と原振動系の質量比からなる慣性接続質量比 γ を式(2)のように定義する。

$$\gamma = \frac{m_d}{m_s} \quad (2)$$

ここに、 m_s : 質点系の質量、 m_d : 慣性接続要素の質量効果である。また、慣性接続要素を有する振動系では式(1)、(2)及び前報の検討より、 ρ_s は ρ_s' に、 h_s は h_s' に変化する。したがって、 Sc' は式(3)のように表される。

$$Sc' = 4\pi \frac{\rho_s'}{\rho} h_s' = 4\pi \frac{(1+\gamma)\rho_s}{\rho} \frac{h_s}{\sqrt{1+\gamma}} = \sqrt{1+\gamma} Sc \quad (3)$$

ただし、 $\rho_s' = (1+\gamma)\rho_s$ 、 $h_s' = h_s/\sqrt{1+\gamma}$

ここに、 ρ_s' : 慣性接続要素を考慮した構造物の密度、 h_s' : 慣性接続要素を有する振動系の減衰定数である。式(3)より、原振動系に比べて Sc が $\sqrt{1+\gamma}$ 倍されることから、慣性接続要素を有する振動系は原振動系より空力安定性が向上することが予測される。

3. 実験諸元

振動の自由度は、流れ直交方向の並進1自由度とした。Fig.1に使用した空力振動モデルを示す。図に示すように圧力測定孔は、1面に16点、4面で計64点設けた。気流は、空力不安定振動現象が表れやすく、慣性接続要素の安定性について調べやすいほぼ一様流に近い(乱れ強さ約0.5%、基準高さ700mm)ものとした。 Sc は、 ρ_s が 97.48kg/m^3 であるのに対し、原振動系で30.0、10.0となるように h_s を定めた。Table1に実験パラメータを示す。 γ は原振動系を $\gamma = 0.0$ とし、0.0、1.0、2.0の三段階とした。 ρ_s' 、 h_s' 、 Sc' は式(3)より、表中のようになる。応答値のサンプリング間隔は、2msecとした。サンプリングデータ数は、16384個を1セットとした。対象とした無次元風速 $\sqrt{1+\gamma}V_r (= \sqrt{1+\gamma}\bar{V}/n_s B = V_r')$ 、 n_s : 原振動系の固有振動数、 $\bar{V}$: 平均風速、 B : 見つけ幅)の範囲は3~35とした。

4. 実験結果および考察

Fig.2に $Sc = 30.0$ 、Fig.3に $Sc = 10.0$ の応答曲線を示す。なお、縦軸は無次元振幅 $\tilde{Y} (= \sqrt{2} \cdot Y_{rms}/B)$ 、 Y_{rms} : 応答変位の標準偏差)である。Fig.2($Sc = 30.0$)より、

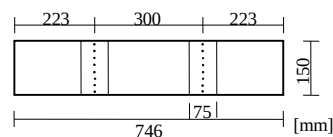


Fig.1 Elevation of the model

Table1 Experimental parameters

a) $Sc = 30.0$, $\rho_s = 97.49[\text{kg/m}^3]$, $h_s = 3.00[\%]$

γ	0.0	1.0	2.0
Sc'	30.0	42.4	52.0
$\rho_s' [\text{kg/m}^3]$	97.48	194.96	292.45
$h_s' [\%]$	3.00	2.12	1.73

b) $Sc = 10.0$, $\rho_s = 97.49[\text{kg/m}^3]$, $h_s = 1.00[\%]$

γ	0.0	1.0	2.0
Sc'	10.0	14.1	17.3
$\rho_s' [\text{kg/m}^3]$	97.48	194.96	292.45
$h_s' [\%]$	1.00	0.71	0.58

Fundamental study on wind response control of structures using the inertial mass
- Part 1. the aerodynamic vibration experiment of 2 dimensional square prism -

Takumi KOMIYA, Makoto KANDA and Hiroki KOBAYASHI

$V_r' = 8 \sim 9$ 付近では渦励振が発生している。渦励振が収束した後 $V_r' = 21 \sim 35$ ではギャロッピング振動が見られる。渦励振においては、慣性接続要素の慣性項が大きいと渦励振のピークの応答値は小さくなり、角柱の空力安定性が向上していることがわかる。

さらに、 $Sc = 10.0$ のFig.3を見ると $\gamma = 0.0, 1.0$ では、計測リミットを超えた後、応答の収束が確認されなかったことから、フラッター振動が発現していると推察される。また、無次元風速領域は $V_r' = 10$ 付近であるのでこのフラッター振動は低風速フラッター振動であると考えられる。 $\gamma = 2.0$ では、 $V_r' = 6$ 付近から応答は増大し、 $V_r' = 8$ 付近でピークとなり、その後収束している。これらのことから $\gamma = 2.0$ では渦励振が発現していると推察される。さらに、 $V_r' = 10$ 付近から応答は再び増大し、 V_r' を増大させても応答の収束は見られないのでフラッター振動が発現したと考えられる。

Fig.4に $Sc = 10.0$ の外力の卓越振動数における外力と応答の位相角 ϕ を示す。なお、参考のために応答曲線を同図に示す。 $\gamma = 0.0, 1.0$ では、 ϕ が約 20° で最終的に応答が発散している。 $\gamma = 2.0$ では、 $V_r' = 6$ 付近で応答が増大している時、 ϕ は約 20° まで徐々に増加し、 $V_r' = 8$ 付近で応答が収束した時には ϕ は約 180° を示す。位相角の変化から見てもこの振動増大現象は渦励振であることがわかる。慣性接続要素の補助質量を増大させると本来低風速フラッターが発現する領域で低風速フラッターが発現せず渦励振が発現した。

$Sc = 30.0$ や $Sc = 10.0$ の場合を見ると慣性接続要素は渦励振のピーク値を小さくさせたり、空力振動モードをフラッター振動から渦励振に変化させたりするなど構造物の空力安定性を向上させる効果がある。なお、Fig.2と3の無次元風速は $\sqrt{1 + \gamma}V_r$ であるから、 γ の値が大きいほど応答の立ち上がる実風速は低くなることに注意を要する。

5. 結論

慣性接続質量比 γ を用いて慣性接続要素を有する振動系のスクルートン数 Sc について整理した。空力安定性の指標である Sc が $\sqrt{1 + \gamma}$ 倍されるため、原振動系に比べて空力安定性の向上が予測できる。また、MHAT

により慣性接続要素を有する二次元正方形角柱の空力振動実験を実施した。慣性接続要素は、渦励振発生時のピーク値を小さくしたり、空力振動モードをフラッター振動から渦励振に変化させたりするなど、構造物の空力安定性を向上させる効果を有することがわかった。

「参考文献」

- 1) 古橋剛, 石丸辰治: 慣性接続要素によるモード分離 慣性接続要素による応答制御に関する研究その1, 日本建築学会構造系論文集, 第576号, pp.55~62, 2004.2, 2) 郭鈞桓, 石丸辰治, 古橋剛, 秦一平: 同調 D.M.システムを有する構造物設計法に関する研究 長周期波及びパルス波地震動に対する次世代超高層構造物の制震設計, 日本建築学会構造系論文集, 第686号, pp.693~702, 2013.4, 3) 小宮巧, 神田亮: 慣性接続要素による高層建築物の風応答制御に関する基礎的研究, 日本大学生産工学部学術講演会 46 回学術講演会, 情報・制御, pp.229~232, 2013.12, 4) 岡田玲, 松山哲雄, 神田亮, 磯野由佳, 丸田榮藏: 2次元流中におかれた角柱の振動時の性状を明らかにするためのニューハイブリッド空力振動技術の開発, 日本建築学会技術報告集 Vol. 22, pp.145~150, 2005.12

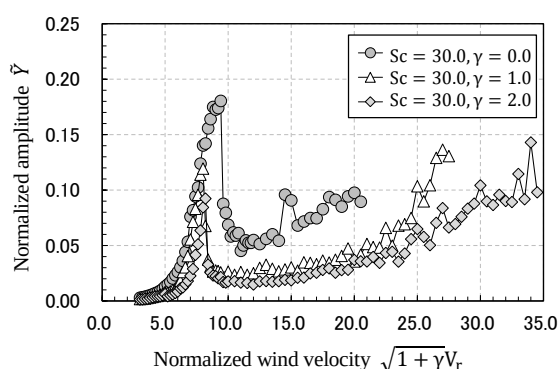


Fig.2 Response curves ($Sc = 30.0$)

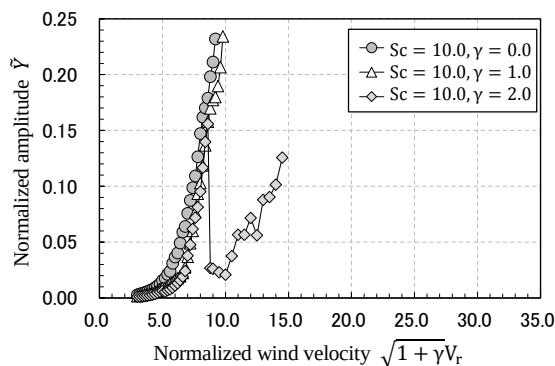


Fig.3 Response curves ($Sc = 10.0$)

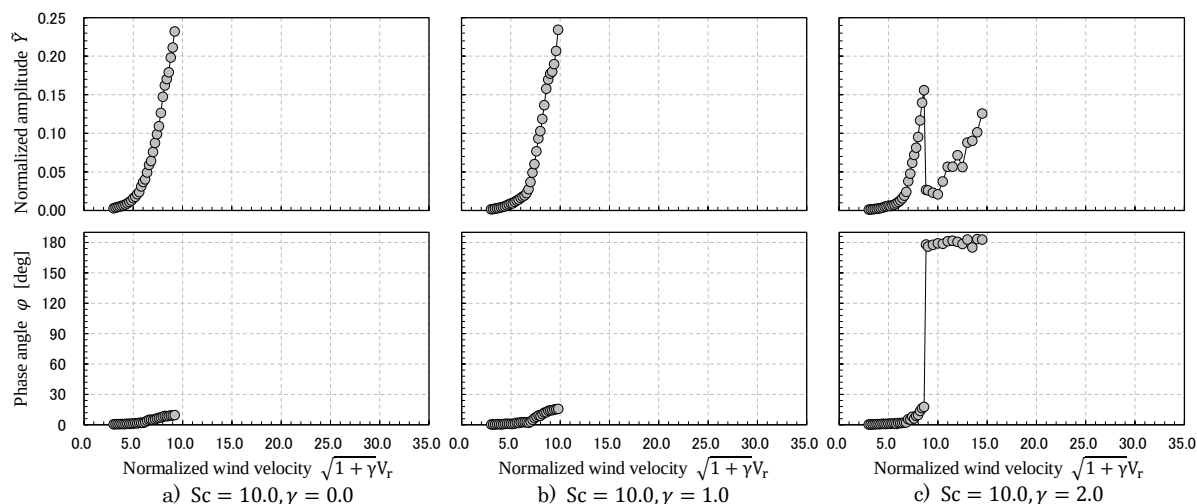


Fig.4 Response curve and phase angle