

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2 三次元正方形角柱の空力安定性について -

日大生産工 ○小林 啓樹 日大生産工 神田 亮 日大生産工(院) 小宮 巧

1. 序論

その1では改良型ハイブリッド空力振動実験法¹⁾(以下, Modified Hybrid Aerodynamic vibration Technique またはMHAT)を用いて, 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の慣性接続要素による影響を調べ, 空力安定性について検討した。その2では同様に三次元流を対象とし, その空力振動指標である質量減衰パラメータの慣性接続要素による影響を調べ, ロッキング振動をする三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質量減衰パラメータ

本章ではまず, 慣性接続要素を有する構造物の風応答特性や空力安定性のパラメータである質量減衰パラメータ δ について述べる。なお, 本論文で取り扱う式中の記号は, 基本的にその1と同様とする。

δ 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, δ が大きいほど空力安定性は高くなる傾向にある。 δ は式(1)のように表される。

$$\delta = \frac{\rho_s}{\rho} h_s \quad (1)$$

慣性接続要素を有する振動系の質量減衰パラメータ δ' を考える。慣性接続要素を有する振動系では ρ_s と h_s が ρ_s' と h_s' に変化し δ' は式(2)のように表される。

$$\delta' = \frac{\rho_s'}{\rho} h_s' = \frac{(1+\gamma)\rho_s}{\rho} \frac{h_s}{\sqrt{1+\gamma}} = \sqrt{1+\gamma} \delta \quad (2)$$

式(2)より, 原振動系に比べて δ 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. 実験諸言

Fig.1 に使用した空力振動実験モデルとその測定孔位置を示す。モデルは 100mm×100mm×500mm の正方形角柱であり, 圧力測定孔は, 1 面に 50 点, 4 面で計 200 点設けた。Table1 に実験パラメータを

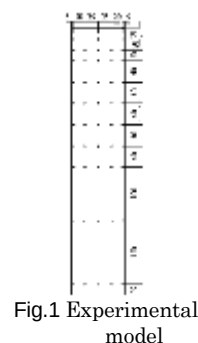


Table1 Experimental parameters

a) $\delta = 0.500, \rho_s = 91.5[\text{kg/m}^3], h_s = 2.00[\%]$

γ	0.0	1.0	2.0
δ'	0.500	0.707	0.866
$\rho_s' [\text{kg/m}^3]$	91.5	183.0	274.5
$h_s' [\%]$	2.00	1.41	1.15

b) $\delta = 0.250, \rho_s = 91.5[\text{kg/m}^3], h_s = 1.00[\%]$

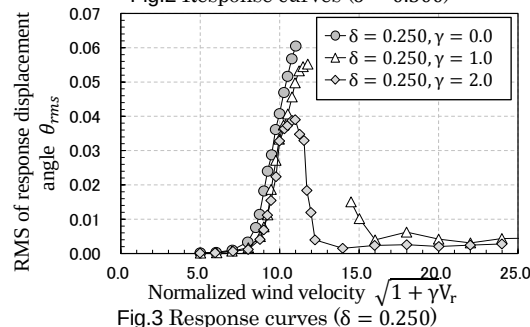
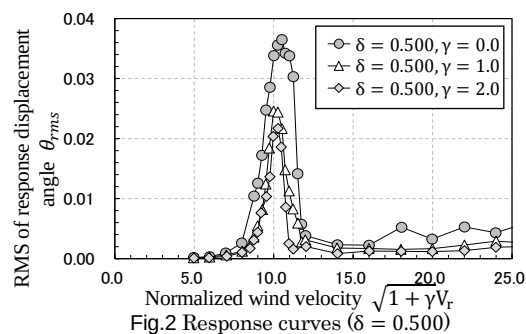
γ	0.0	1.0	2.0
δ'	0.250	0.354	0.433
$\rho_s' [\text{kg/m}^3]$	91.5	183.0	274.5
$h_s' [\%]$	1.00	0.71	0.58

示す。 $\rho_s = 91.5\text{kg/m}^3$ として原振動系の δ が 0.500, 0.250 となるように h_s を定めた。 γ は原振動系を $\gamma=0.0$ であり, 0.0, 1.0, 2.0 の三段階とした。 ρ_s' , h_s' , δ' は式(2)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, 8192 個を 1 セットとし, 3 セット計測した。対象とした無次元風速 $\sqrt{1+\gamma}V_r$ の範囲は 5~25 とし, 無次元風速は風速を変化させることによって再現した。

4. 実験結果および考察

Fig.2 に $\delta=0.500$, Fig.3 に $\delta=0.250$ の応答曲線を示す。なお, 縦軸は応答変位角の標準偏差である。Fig.2($\delta=0.500$)より, $V_r'=9\sim 12$ 付近では渦励振が発生し, $V_r'=12$ 以降は渦励振が収束した。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, $\delta=0.250$ の Fig.3 を見ると $\gamma=0.0$ では, 無次元風速をいくら大きくしても応答の収束が確認されなかった。ゆえに, フラッター振動が発現していると推察される。また, 応答が上昇していくのは無次元風速が $V_r'=11$ 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。



$\gamma=1.0$ では、 $V_r'=8$ 付近から応答は増大し、 $V_r'=12$ 付近で計測リミットを超えた。その後 $V_r'=14$ 付近で応答の収束が見られ、これ以降も応答は収束している。 $\gamma=2.0$ では、 $\gamma=1.0$ と同様に $V_r'=8$ 付近から応答は増大した。 $V_r'=11$ 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 $\gamma=1.0, 2.0$ では渦励振が発現していると推察される。

Fig.4 に $\delta=0.500$ 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。 φ は渦励振による応答の振幅が徐々に増加する領域では $0\sim 90\text{deg}$ 位まで徐々に増加している。渦励振のピーク後は一挙にほぼ 180deg となっている。位相角の変化から見て $\delta=0.500$ で生じている空力振動現象は渦励振であることは明確である。

Fig.5 に $\delta=0.250$ 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。 $\gamma=0.0$ では、 φ が約 30deg で最終的に応答が発散している。 $\gamma=1.0$ では $V_r'=8$ 付近で応答が増大している時、 φ は約 90deg まで徐々に増加し、 $V_r'=14$ 以降で応答が収束した時には φ は約 180deg を示す。 $\gamma=2.0$ では、 $V_r'=6$ 付近で応答が増

大している時、 φ は約 40deg まで徐々に増加し、 $V_r'=12$ 付近で応答が収束した時には φ は約 180deg を示す。位相角の変化から見てこの振動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。

$\delta=0.500$ や $\delta=0.250$ 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, 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

MHATにより慣性接続要素を有する三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。

「参考文献」

その1の参考文献を参照

1) 西将志, 神田亮, 渡辺亨, 渡辺昌宏, 田中秀和: 空気流体振動現象を対象としたリアルタイムハイブリッド式実験法とその応用, 日本機械学会論文集, 第77巻, 第779号, pp.191~205, 2011. 7

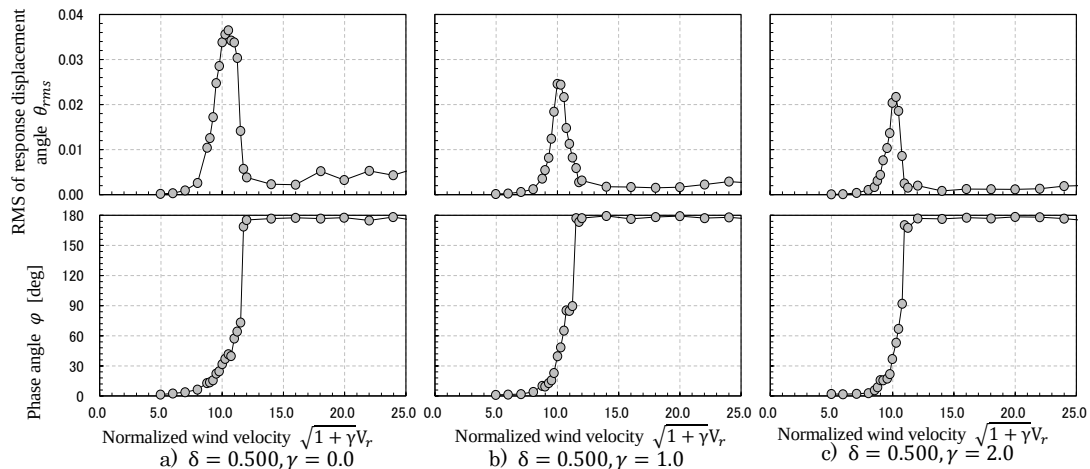


Fig.4 Response curve and phase angle

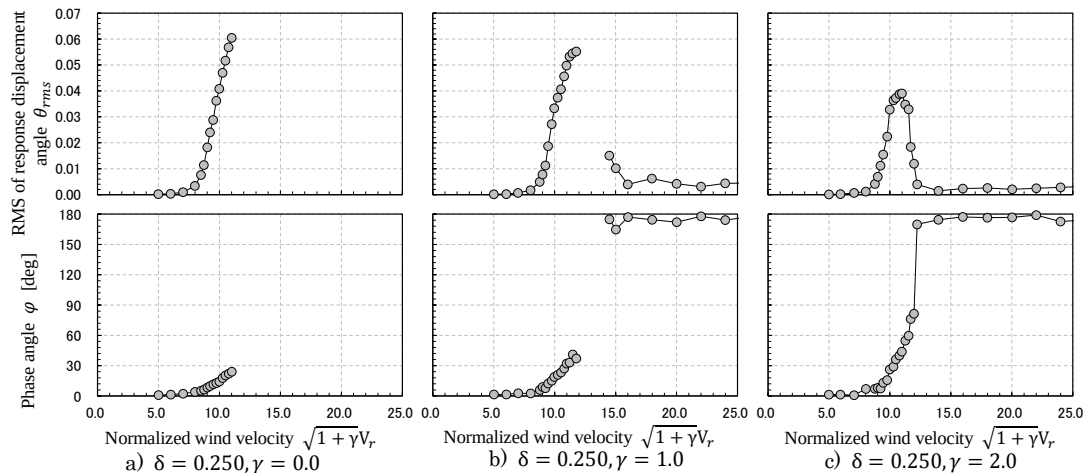


Fig.5 Response curve and phase angle