

二次元流中におかれた振動角柱と周辺気流の相互作用に関する研究

—ニューハイブリッド空力振動法を用いた風洞実験—

○日大生産工(院) 磯野 由佳 日大・理工研 岡田 玲
(有)WindStyle 松山 哲雄 日大生産工 神田 亮 日大生産工 丸田 榮藏

1. はじめに

物体とその周辺気流の相互作用のシミュレーションを可能とするハイブリッド空力振動法 (Hybrid Aerodynamic vibration Technique : 以下 HAT と称す)¹⁾の開発が神田等により行われてきた。この手法は風洞実験と数値解析を組み合わせたオンライン実験であり、空力振動時の空気を捉えることを目的としている。外力測定機構にロードセルを用いるこの手法に改良を加え、多点同時風圧計測システムを用いて模型の表面圧力を測定する手法がニューハイブリッド空力振動法 (NHAT)²⁾である。

この技術は測定された空気力性状を分析することで振幅や風速に対して複雑に変化する構造物の減衰・剛性性能を体系的に評価できるなど、実務的なアドバンテージが大きい。さらには表面圧力分布性状を併せた分析も可能であり、種々の空力不安定現象の発生機構に対して知見を得る可能性を有するなど、研究的なアドバンテージも期待される。また振動物体と周辺気流の相互作用に関する数値流体解析手法の精度検証のための基礎的なデータの提供も可能とする。

HATおよびNHATは手法の提案時から高層建物を模擬した角柱モデル(三次元モデル)によりシステムの開発やシミュレーションが行われてきた。しかし、三次元モデルは実現象を模擬することを目的とするゆえに、接近流の鉛直方向特性に勾配があること、模型が有限端を有するために上部を乗り越える流れが存在すること、模型がロッキングモードで振動すること等の複雑な条件が重なっている。本研究ではそれ

らの条件を単純化した一様流中に置かれた有限端を有さず並進振動する角柱モデル(以下二次元モデル)を対象とした実験システムの開発³⁾を行い、その精度検証および並進振動角柱の空力特性を明らかにすることを目的とする。

本論文では開発した実験システムに対して行った精度検証の結果とともに、正方形角柱の空力振動特性について既往の研究との対応を示すと共に空気力と応答に関する一考察を示す。

2. 実験システムの検証

本節ではシステムの基本的な条件下における精度検証として、採用している補正制御⁴⁾の妥当性に関する検証とコンピュータ内で設定したモデルの動特性が装置上に適切に再現されているかの検証を行う。Fig.1に開発したシステムの構成図を示す。実験模型はX軸(風方向)、Z軸(風直角方向)、 θ 軸(回転方向)の3自由度を有するが、本論文ではZ軸のみを対象として実験を行なう。

2. 1 速度制御における変位の精度検証

ここではコンピュータから所定の速度指令をサーボモータに送り、模型の変位が指令に追従することを確認する。

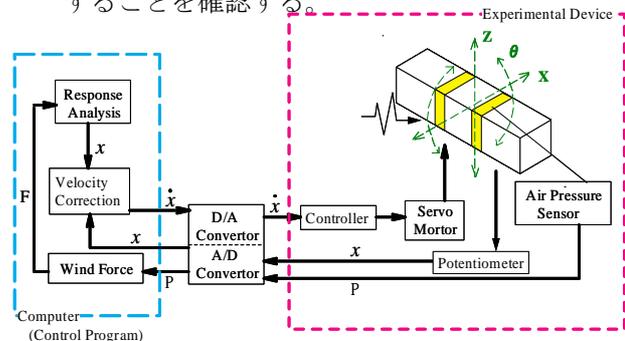


Fig.1 System Chart of NHAT in 2-D Flow

Interactions between Oscillating Cylinder and Surrounding 2 Dimensional-Air Flow

OYuka ISONO, Rei OKADA, Tetsuo MATSUYAMA, Makoto KANDA and Eizo MARUTA

まず原点維持制御が機能しているかを確認する。補正制御を行わない場合(Fig.2 (a))は変位がずれていくが、補正制御を行っているとき(Fig.2 (b))には原点での静止状態が維持されていることがわかる。

次にコンピュータから正弦波および 0.1Hz から 10.0Hz まで一定のパワーをもつホワイトノイズを速度信号として加振を行なった。それぞれの結果を Fig.3、Fig.4 に示す。両結果ともに目標値と測定値はよく一致している。

以上より速度制御を行う場合でも本システムで採用している補正制御により速度と同時に変位も適切に制御されていることがわかる。

2. 2 システムの動特性の理論値との対応

各ステップの応答計算を行なう場合に模型が適切に制御されているかを検証するため、自由振動曲線および伝達関数について理論値との対応で評価を行なう。モデルのパラメータは単位体積質量 175.0kg/m^3 、固有振動数 5.0Hz、減衰定数 1.0%とした。

初期変位 10.0mm を与えて自由振動させた場合の結果を Fig.5 に示す。時間方向にずれはほとんど見られず、振幅も一致していることがわかる。

次にホワイトノイズを対象として入力と出力の関係から伝達関数を求め、理論的に求まる伝達関数と比較を行なった。ここでは入力として加速度を、出力として応答振幅を用いて評価している。Fig.6 に伝達関数の倍率と位相差を示す。実験的に求めた伝達関数は理論的に求めたものとよく一致している。

以上から本システムが動的現象を適切に再現していると判断した。

3. 実験概要

風洞実験は日本大学生産工学部所有の回流式開放型風洞装置（ゲッチングン型風洞）を用いて行なった。実験装置は開放型の測定部に設置されており、実験模型周辺の気流が乱されない

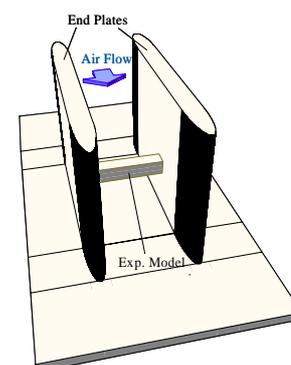
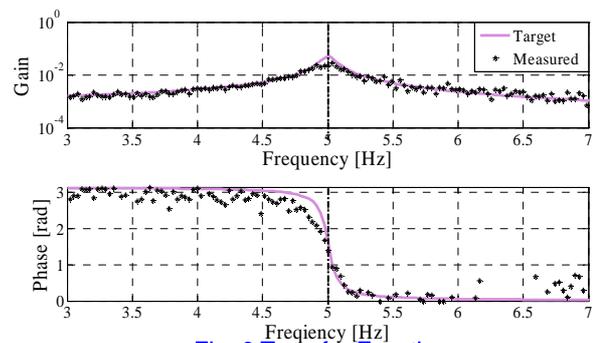
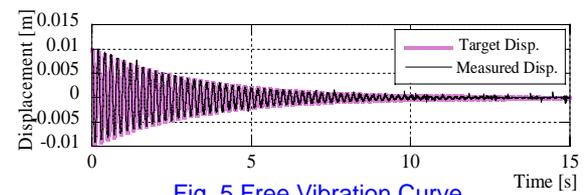
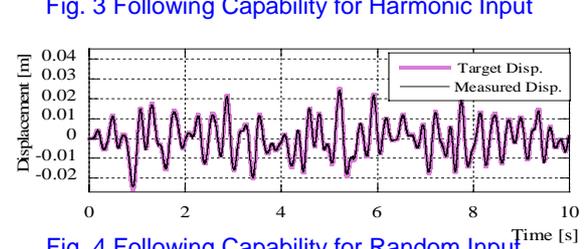
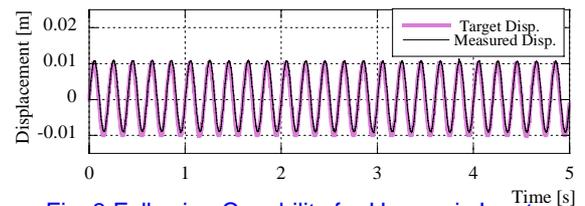
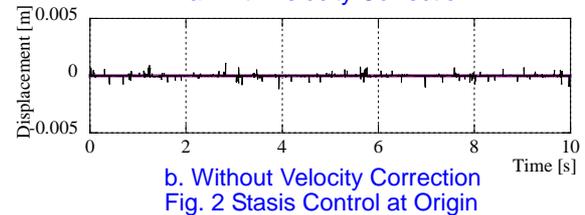
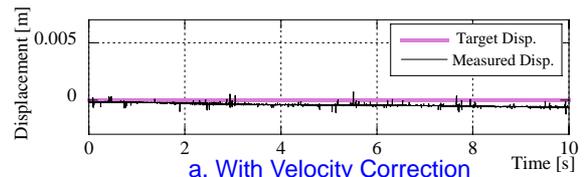


Fig.7 Overview of 2-D Flow Field

よう整流用の端板によって覆われている。測定部の概観を Fig.7 に示す。実験模型は一辺が 150.0mm の正方形断面を有する二次元角柱であり、風圧センサーは各辺 8 点ずつ一層につき 32 点が 2 層設置されている。

4. 空力振動実験

4. 1 空力特性の既往の研究との対応

二次元正方形角柱の風直角方向の空力特性はスクルートン数 (以下 Sc と記す) により異なる性状を示すことがわかっている⁵⁾。

$$Sc = \frac{2m\delta}{\rho BDH} \quad (1)$$

ここで m : 質量、 δ : 対数減衰率、 ρ : 空気密度、 BDH : 模型の体積である。

$Sc=30.0$ の場合の既往の研究⁶⁾⁷⁾との対応を Fig.8 に示す。横軸は実験風速(V)を固有振動数(f)と模型の見付け幅(B)で割った無次元風速(V_r)で表している。縦軸は応答変位の標準偏差(y')を模型の見付け幅で割った無次元振幅に最大値を評価するために時系列波形が正弦波であると仮定し $\sqrt{2}$ をかけて表している。本システムより得られた応答特性は既往の研究で示されている特性を定性的に再現している。

また既往の研究⁵⁾によれば $Sc \geq 16.0$ の場合、共振風速付近で渦との共振による渦励振が発生し風速の上昇とともに一旦応答が収まるが、さらに風速を上げていくとギャロッピング振動が現れることが分かっている。 $Sc < 16.0$ の場合には渦励振は収まることなく直接ギャロッピングに移行する。NHAT はモデルの質量・減衰定数・剛性をコンピュータ上で簡易かつ正確に設定できるという利点を有する。この利点を活かし、 Sc を (a) 質量(m)を変化させることによって変えた場合と (b) 減衰(h)を変化させることによって変えた場合の応答特性の比較を行った (Fig.9 参照)。両結果は良い対応を示していることが分かる。

次に Sc の質量と減衰の比率を変えた際の対

応について検討する。 $Sc=18.7$ の場合を Fig.10(a)、 $Sc=30.0$ の場合を Fig.10(b)に示す。この領域については同じ Sc であれば質量と減衰の比率が異なる場合でも応答は一致することが分かる。

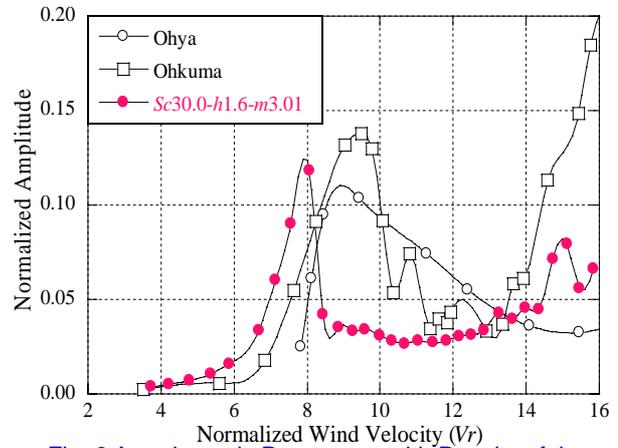


Fig. 8 Aerodynamic Responses with Results of the Previous Studies

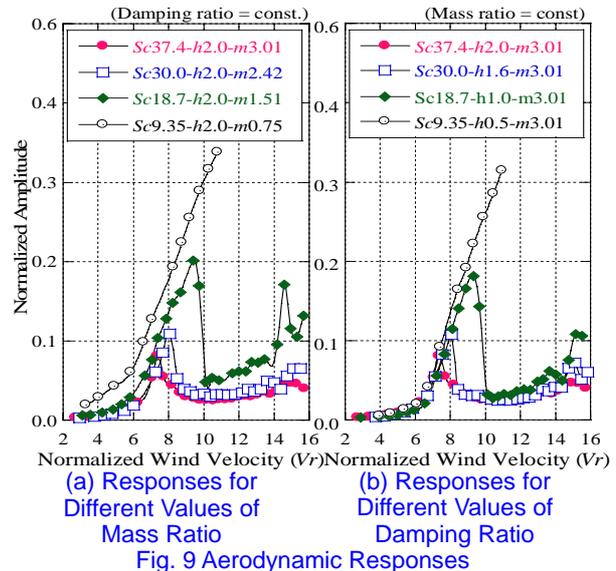


Fig. 9 Aerodynamic Responses

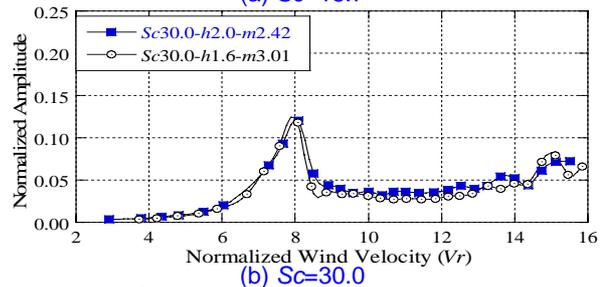
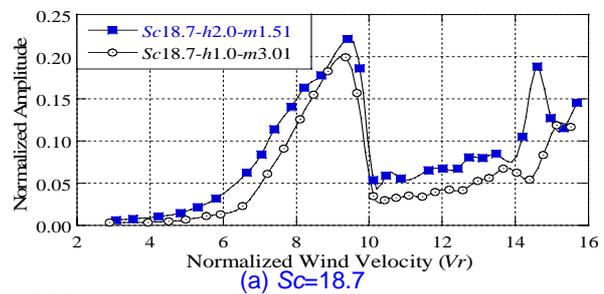


Fig.10 Responses for Same Values of Sc

4. 2 ヒステリシス現象の再現性

気流中の物体後流に生じる渦の発生周波数は風速に比例して増加する。しかし振幅が著しく増大する渦励振領域では後流渦が模型の振動に同期して渦発生周波数が模型の固有振動数に引き込まれるロックイン現象が生じる。Fig.11 に空力振動時の模型に作用する空気力の卓越周波数を Sc 別に示す。縦軸は空気力の卓越周波数を模型の固有振動数で割っている。渦励振の発生している風速域では渦発生周波数が模型の固有振動数に同期していることが分かる。

Fig.12 に同一パラメータで初期変位を与えない場合と前風速での最大振幅を初期変位として与えた場合の応答特性を示す。渦励振の高風速側では同じ風速で異なる応答レベルを示していることがわかる。また、 $Sc = 18.7$ 、 $V_r = 9.0$ における応答変位の周波数性状を Fig.13 に示す。初期変位を与えた場合には固有振動数でピークを持つに対し、初期変位を与えない場合には応答変位は固有振動数と渦発生周波数の2つのピークを持つことがわかる。

5. まとめ

二次元流を対象とした NHAT を用いた実験システムの基本的な条件下における精度検証を行なった。また空力現象に対する適用性について振動角柱を対象とした実験を行い、既往の研究との整合性について示した。その結果、本実験システムが二次元流中に置かれた角柱モデルの特性を把握する上で必要な性能を有していることを確認した。

参考文献

- 1) M. Kanda, E. Maruta, Y. Honma, K. Ueda ; Development of Hybrid Experimental System Combined with Random Response Analysis for Unsteady Aerodynamics Vibration of Structure, Proceedings of 9th International Conference on Wind Engineering, pp.287-298, (1995)
- 2) 平田一郎, 松山哲雄, 神田亮, 丸田榮藏 ; 多点同時風圧計を用いたハイブリッド振動システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.219-333, (2002)
- 3) 磯野由佳, 岡田玲, 松山哲雄, 神田亮, 丸田榮藏 ; 一様流中におかれた二次元形状を有する振動柱と周辺気流に相互作用に関する研究, 日本大学生産工学部学術

講演会講演概要, 37, pp.37-40, (2004)

- 4) 松山哲雄, 神田亮, 平田和也, 名波航, 丸田榮藏 ; 多点同時風圧計を用いた3次元ニューハイブリッド空力振動実験システムの開発, 日本建築学会技術報告集, 22, (2005), 掲載決定
- 5) Scruton.C. ; On the wind excited oscillations of stacks,towers and masts , Proc.Int. Conf. Wind Effects on Build. And Street., pp.798~833(1963)
- 6) 大屋昭男 ; 2次元矩形断面柱の空力弾性特性に関する実験的研究, 東京大学学位論文(1980)
- 7) 大熊武司, 丸川比佐夫, 山本学, 鶴見俊雄 ; 矩形断面柱の風直角方向特性に関する実験的研究(その1), 日本建築学会学術講演梗概集, pp.1121~1122(1993)

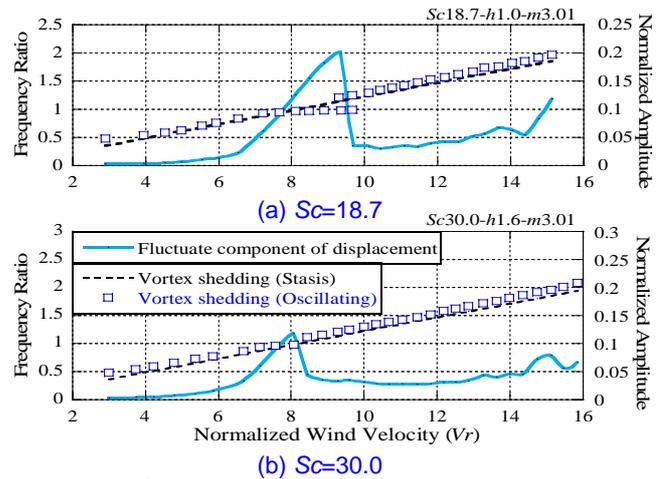


Fig. 11 Evolutions of Vortex-Frequency of Stasis and Oscillating Cylinder

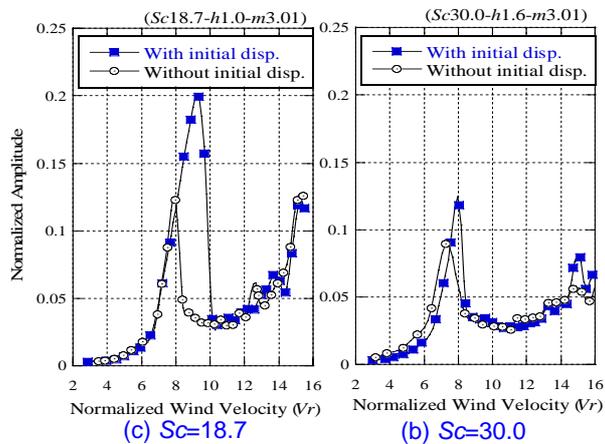


Fig.12 Aerodynamic Responses

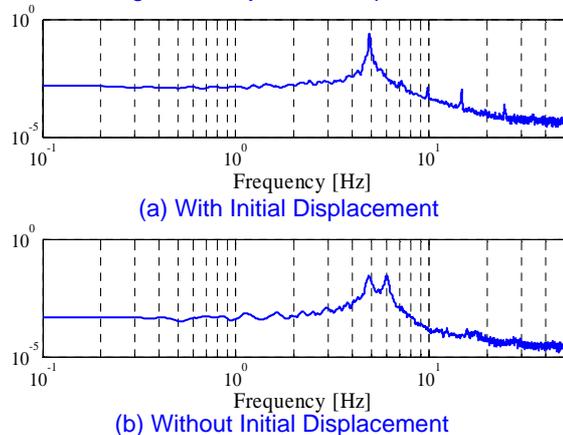


Fig.13 Frequency Components of Response Displacement