

I - B46 AC サーボモータでファンを制御する風洞で生成される気流の変動特性

日本大学理工学部 正会員 野村卓史
日本大学理工学部（研究当時） 大津 充
同 山木経幹
東京大学工学系研究科 正会員 木村吉郎

1. はじめに

筆者らは、ファンの回転をコンピュータで制御する方式によって自然風の変動を模擬することを試みてきた [1, 2]。これまで用いてきた風洞はインバータモーターでファンを駆動する方式であったが、インバータモータは制御電圧どおりに動く保証がない。そのため生成された気流の変動と目標とする変動との差異に駆動部の動きがどれだけ影響しているか不明であった。これに対し AC サーボモーターはあらかじめ定めた規格の範囲では制御電圧に忠実に動くことが保証されている。そこで新たに AC サーボモーターでファンを駆動する方式の風洞を製作し、生成される変動風の測定を行ったので報告する。

2. 実験の概要

今回製作した風洞は図1に示すように縮流洞の先端に直径10cmの円形吹き出し口を有する押し込み型である（製作：サンテクノロジー）。AC サーボモーター（三菱 HA-FE 33）によってファンを駆動し、モーター回転数 3000 rpm のときに約 13 m/s の最高風速を得る。パソコンから D/A 変換ボードを経由してサーボアンプ（三菱 MR-J40A1）に電圧変動を与えてモーターの回転数を制御する。制御方法は速度制御である。入力電圧と出力風速の関係は図2に示すように低風速域を除けばほぼ線形関係にあるが、厳密には線形でないので、これを5次関数で近似し、目標とする出力風速値に対応するように入力電圧値を与えた。

風速の測定は、吹き出し口の中心線上で吹き出し口から 20 cm 離れた点 A および 40 cm 離れた点 B の2カ所で熱線流速計によって主流方向の変動を測定した。サンプリング周波数は 100 Hz で、40 Hz のローパスフィルタを経由してデジタルレコーダに記録した。

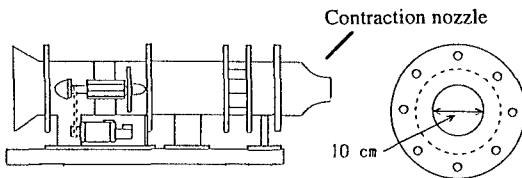


図1 実験に用いた風洞

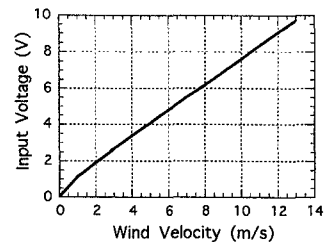


図2 入力電圧と出力風速の関係

3. 測定結果

(1) 入力電圧をステップ状に変化させたときの出力風速の変化

一定の初期電圧を 60 秒間与えて風速を一定に保ったのち、瞬時に電圧値を変化させ、出力風速がどのように変化するかを測定した。測定例を図3と図4に示す。

図3は電圧をステップ状に上げたときのものである。図中には以前インバータモーター風洞で測定した結果（出力周波数 1 Hz の平均風速計による）を比較のために示した。インバータモーター風洞では所定の風速値に達するのに 7, 8 秒かかっているのに対し、今回用いたサーボモーター風洞では 0.2 ~ 0.3 秒程度である。これは風速レベルや風速差を変えた他のケースでも同じであった。風速は一瞬オーバーシュートしているが、これは用いたサーボモーターの動き方を反映したものである。

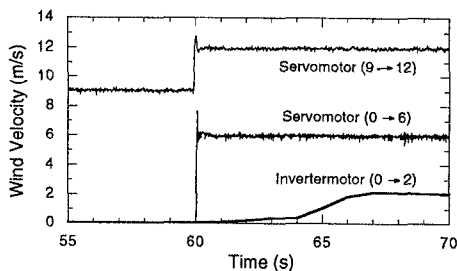


図3 電圧をステップ上昇させたときの風速変化

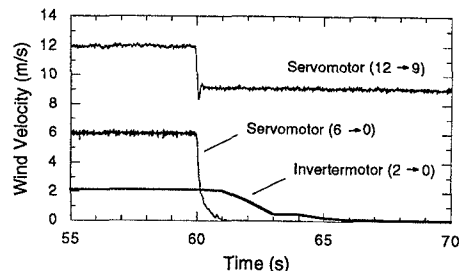


図4 電圧をステップ降下させたときの風速変化

自然風、風洞、サーボモーター

〒101 千代田区神田駿河台 1-8 TEL 03-3259-0411 FAX 03-3259-0411

図4は逆に風速レベルを瞬時に降下させた場合の例である。降下後の風速がゼロでないとき（12 m/s から 9 m/s へ）には上昇時と同じような変化を示すが、風速ゼロをめざして降下させたときには、プロペラは瞬時に止まっても慣性のため気流の運動が急には止まらないことが分かる。

(2) 入力電圧を正弦波で与えた場合の出力風速の変化

例として周期5秒、片振幅4 m/s の波形を目標にした場合を図5に示す。中心風速が8 m/s の場合は正弦波を忠実に再現しているが、中心風速が4 m/s の場合は風速がゼロに近いところで減速しながら目標波形より遅れていき、電圧が上昇していく過程で目標波形に追いついている。このような傾向は風速がゼロ近くになる場合に共通してみられた。図4のところで述べたのと同じ原因と考えられる。正弦波を与えた実験では周期を1秒にすると波形が目標値よりややずれる結果となった。

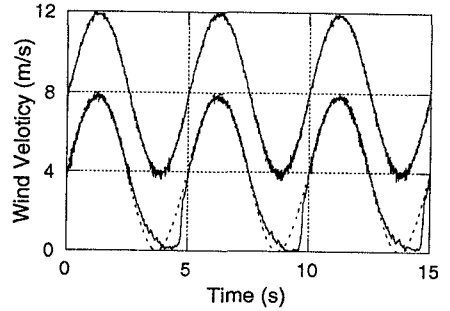


図5 正弦波入力時の風速変動

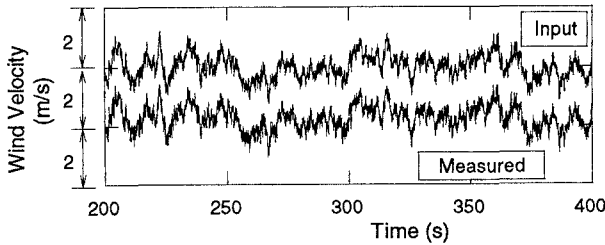


図6 目標波形と測定された風速波形
($U = 4 \text{ m/s}$, $L = 10 \text{ m}$, 吹き出し口より 20 cm)

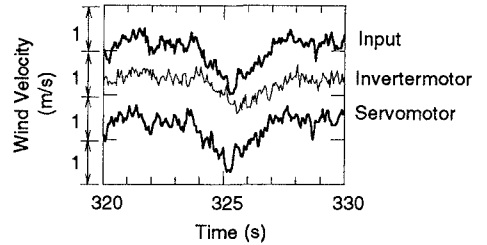


図7 図6の一部の拡大図
(細線：インバータ風洞での測定結果)

(3) 人工自然風変動の模擬

カルマンスペクトルに従う人工風速変動に対応する電圧変動を作成して入力し、風速変動を測定した。作成した人工風速変動は、いずれも乱れ強さ10%とし、乱れスケール L を10 mおよび100 mの2通り設定した。

図6に平均風速4 m/s、乱れスケール10 mの波形を入力したときの入力波形と吹き出し口から20 cm離れた点Aで測定した風速変動の波形の一部を比較して示す。測定された風速変動が入力波形をよく模擬していることが分かる。図7は図6の変動の内の10秒間をさらに拡大して示したものである。また、図7にはインバータモーター風洞で同じ条件の測定を行ったときの風速変動の波形を比較のために細線で示した。今回用いたサーボモーターで生成される風速変動が波形の微妙な変動を再現していることが示されている。

図8には平均風速9 m/sの変動波形を入力してA点で測定した風速変動をFFTにかけて得られたパワースペクトルを、乱れスケール $L = 10 \text{ m}$ および $L = 100 \text{ m}$ のそれぞれについて示した。図中に灰色で示した線は目標とするカルマンスペクトルのパワースペクトルである。測定された風速変動のスペクトルはほぼ目標のスペクトル分布に従った変化をしている。特に、乱れスケールの違いに直接対応する周波数の低い領域の差異をよくとらえているといえる。ファンを直接制御する方式により乱れスケールが大きいゆっくりとした変動を再現できることが分かる。

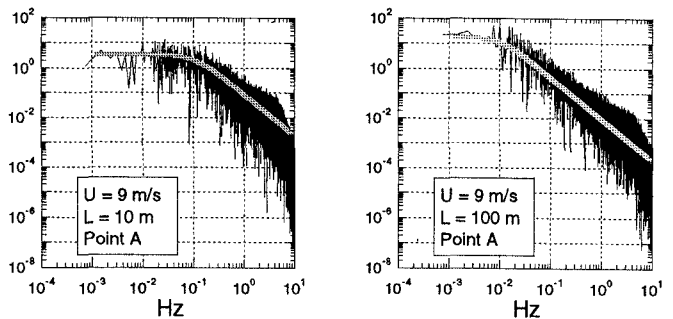


図8 風速変動のパワースペクトル
(太い灰色の線は目標値)

謝辞：風洞の設計製作には（株）サンテクノロジーの山越一男氏にお世話になりました。人工自然風変動の作成には日本大学助手北川徹哉氏にご助力を頂きました。また、本研究は文部省科学研究費補助金の助成のもとに行いました。記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 大津充ほか：ファンの直接制御により生成される変動風特性，土木学会第51回年次学術講演会 I-A 177, 1996.
- [2] 野村卓史ほか：ファンの直接制御による変動風生成の試み，土木学会第50回年次学術講演会 I-743, 1995.