

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：32660

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360216

研究課題名（和文） 風向変動風洞の実用化を目的とした大型高速シャッターの開発と
空気力測定手法の確立研究課題名（英文） Development of a large hi-speed shutter for a practical
implementation of fluctuating wind direction tunnel and confirmation
of aerodynamic force measurement methods

研究代表者

木村 吉郎（KIMURA KICHIRO）

東京理科大学・理工学部・教授

研究者番号：50242003

研究成果の概要（和文）：自然風の顕著な風向変動を相似できる、大型の風向変動風洞の実現に欠かすことのできない、大型の高速シャッターの開発を目的とした。試作したシャッターは、0.2秒程度で、測定部の広い範囲にわたってほぼ一様に風速を急減させることができ、風向変動風洞に用いることができると考えられる。また、風向変動風洞のように、風向変化に伴って圧力の急変が生じる場合でも、その影響を除去した形で模型に作用する圧力を測定できる手法を確認することができた。

研究成果の概要（英文）：This study was conducted to develop a large high-speed shutter that can be used with a large size fluctuating wind direction tunnel. The tunnel is expected to be able to simulate the fluctuating wind direction characteristics of natural wind. The tribally manufactured shutter could decrease the wind speed within 0.2 second over large area of the test section. The developed shutter is thought to be applied with a large size fluctuating wind direction tunnel. Also a pressure measurement method was confirmed to be effective that can remove the effects of the static pressure fluctuation such as that with wind direction change of fluctuating wind direction tunnel.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	8,700,000	2,610,000	11,310,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：風向変動，シャッター，圧力測定，気流特性，変動圧力，風洞実験，風工学

1. 研究開始当初の背景

自然風においては、風向が変動する。一方、乱流に含まれる風速変動の風向直角水平成分により生じる高周波の風向変動以外の、比

較的ゆっくりとしたいわゆる「風向」の変動は、通常の風洞実験装置においては、再現することができない。

こうした風向の変動が種々の現象に及ぼ

す影響のメカニズムについては、今までほとんど検討されてこなかった。これは、上述のように、風向変動を正確に再現する実験手法が存在しないことが、大きな要因となっていると考えられる。

しかし、自然風における風向変動は、その中に置かれた構造物に作用する空気力特性に、大きな影響を及ぼすことが指摘されている(桂順治, 1993; 奥田泰雄ら, 1994; 谷池義人ら, 2000; 鈴木雅靖ら, 2001; 池内淳子, 2005)。国外においては、風向の影響について直接言及した研究はないが、風速変動の風向直角水平成分が物体に作用する変動圧力特性に影響することは、いくつかの研究で指摘されている。すなわち、自然風中に設置される実際の構造物に作用する空気力を、正確に予測するためには、自然風の風向変動特性も再現した状態で実験を行い、そのメカニズムを明らかにしていく必要がある。

また、工場からの排ガスなどの拡散問題においては、風向が排ガスの濃度分布に大きな影響を及ぼすため、その影響を取り入れた簡易な数値モデルで濃度分布のアセスメントが実施されることが多い。風洞実験によって定量的に予測するために、風洞床面近くに設置した可動翼列を用いて風向変動を再現する手法の研究も行われているが(永井, 2004)、高さ位置によって生成される風向が異なること、風向の変動範囲が標準偏差で 20° 程度までと限られること、生成される気流の空間相関特性の一部が自然風とは異なるといった問題がある。

またわが国でも、竜巻による被害が顕著となってきたが、本研究で開発する風向変動風洞は、竜巻内の気流を正確に再現することはできないものの、 180° 近くまでの回転性の気流が急激に作用する状況は生成可能である。このように、竜巻による被害解明の基礎的な研究に用いることもできるという点は、風向変動風洞の実用化の新たな意義と考えた。

以上の背景に基づき、研究代表者らは、今まで試みられてきた手法とは異なる、自然風の風向変動と同じメカニズムを用いて風向を変動させることのできる風洞を試作し、その特性を明らかにしてきた。

上記の研究の結果、幅 195mm、高さ 150mm の測定部において、0.5 秒間に最大 90° の風向変化を生じさせることが可能となっている。一方、自然風の実測データを分析したところ、4 秒間で 30° や、40 秒間で 60° といった風向変化が生じるケースがあることがわかった。こうした短時間に生じる大きな風向変化を、相似則を満たした風洞実験で再現するためには、風洞装置を大型化するとともに、風向変化時間は 0.5 秒またはそれ以下とする必要がある。大型化は、大きな模型を用

いた精度の高い実験を行うためにも必要である。こうした大型の風向変動風洞を実現するために欠かせないのが、本研究で開発することを目的とした、大型化した場合にも高速で開閉可能なシャッターである。

2. 研究の目的

自然風の顕著な風向変動を相似できる、大型の風向変動風洞の実現に欠かすことのできない、高速シャッターを開発することが、本研究の中心的な目的である。幅 1.0m、高さ 1.09m のシャッターを製作し、既存の風洞内に設置したシャッターの開閉により生成される気流の特性に基づき、シャッター板の形状やシャッターの回転速度変化を最適化する。閉じた状態では気流の漏れがほとんどなく、かつ、開放した状態では気流の乱れが少なく、同時に、開閉時間の短いシャッターを開発する。

また、構造物に作用する空気力の詳細な特性解明のためには、圧力分布の測定が行われるが、シャッター開閉に伴って生じる圧力変動の影響を受けない測定手法の確立も、分力計を用いた測定との詳細な比較を行うことにより、実施していく。

3. 研究の方法

開発するシャッター(図1)は、回転軸に 4.5 枚の正方形板の対角線を取り付けた「シャッター板」を、5+2 列、ブラインドのように少しずつ重ねた形で配置し(「+2」列は端部用で、片側には正方形の半分の形状の板、残りの片側には長方形板を取り付けたもの)、それぞれの軸の周りで回転させるような機構とした。現有の風洞の幅 1.1m、高さ 1.8m の風路に設置することで、その特性を検討した。

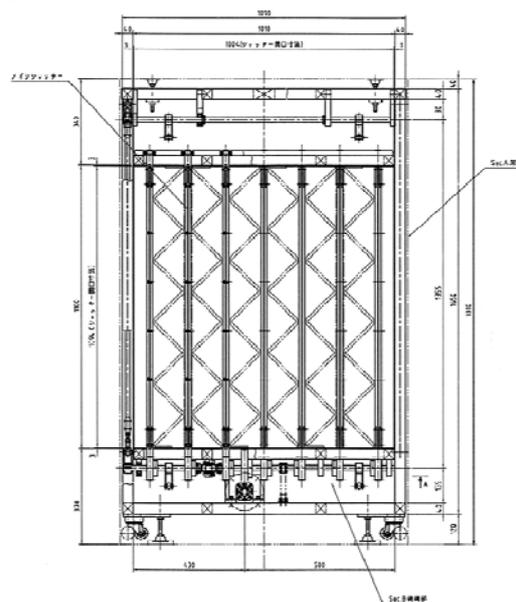


図1 シャッター正面図

シャッター板を、多数の正方形形状をした板で構成されるようにしたのは、既往の乱流生成装置（蒔田秀治ら、1990）を参考にしたものである。シャッター開閉時に発生する非定常な渦が、なるべく等方的な特性をもち、気流性状に及ぼす不自然な影響が小さくなるように配慮した。

風路内に設置するシャッターの上下にはバイパス風路を設け、シャッターが閉の状態では、バイパス風路を風が流れるようにした。これは、シャッターを閉じた際にシャッター板にファンで生成される圧力が作用すると、過大な変形が生じ、シャッターの動作に支障をきたすことが懸念されたためである。バイパス風路のものを含めたシャッターは、すべてリンク機構で接続し、1台のACサーボモータを位置指定制御で動作させることにより開閉させた。

シャッターを測定部の風下、または風上に設置し、シャッター開閉時の、風速変化や風速分布といった気流特性を熱線風速計等を用いて測定し、開発したシャッターの適用性を検討する。

また、このようなシャッターを用いた風向変動風洞において、シャッター開閉時に生じる大きな圧力変動の影響を受けない測定手法について検討した。測定対象とする模型は、地面板上に設置した1辺200mmの立方体（図2）、表面圧力を同時多点圧力計により測定した。測定孔は、屋上面に9点、側面に6点ずつの、合計33点を90mm間隔で配置した。模型の投影面積による閉塞率は3.6%である。

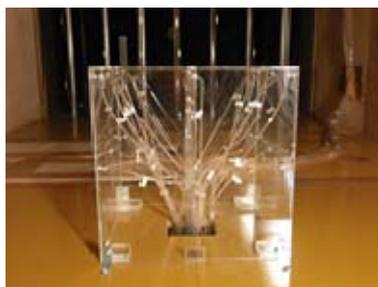


図2 圧力模型

4. 研究成果

(1) シャッター開放状態での風速分布

シャッターを設置したのは、エッフェル型の境界層風洞の最下流部の、縮流された測定部である。上述のように、バイパス風路がシャッターの上下に設けられているため、シャッターが設置されている測定部の風路の気流性状は、風上側上下位置における剥離により、特に上下方向の一様性は良好ではなかった。しかし、測定部の中央から上下方向にシ

ャッター高さの半分程度の位置では、概ね一様な風速分布となっている。測定部の中央位置における主流方向変動風速の乱れ強さは5%以下であった。

(2) シャッターを開放した瞬間の風速特性

シャッターを開放した瞬間の風速増加は、シャッターを設置している境界層風洞には上流側に長い測定部が存在することが影響して、7秒程度もの時間を要することが明らかとなった。

一方で開発したシャッターを風向変動風洞に設置した場合には、幅195mm、高さ150mmの小型シャッターを用いた現在試作済みの風向変動風洞における特性から判断しても、風速増加はもっと速く生じると考えられる。

しかし、現有の境界層風洞を用いた場合には、設置方法を改良したとしても、開発した大型シャッターを用いて0.2秒といった短時間で風速増速を生じさせることは困難であったため、本研究では、以下で述べるように、シャッターを閉塞した瞬間の気流特性や模型に作用する変動圧力特性を対象として、検討することとした。

(3) シャッターを閉塞した瞬間の風速特性

開発したシャッターを測定部の風下側に設置した場合、シャッターの閉塞時には、シャッターを閉じた瞬間の風速低下は、測定部内の位置によらずほぼ一様に、かつ0.2秒程度と短い時間で生じていることがわかった（図3に例を示す）。すなわち、この条件においては、目標とした性能を満たしていることがわかった。なお、シャッターの上流側0.6mという近い位置においては、シャッターの閉塞時に、変動風速の w （鉛直）や v （主流直角水平）成分に、シャッターの回転に伴うと考えられる、小さな特徴的な風速変動がみられたが、シャッターの上流側1.2m位置ではそうした変動はみられなかった。

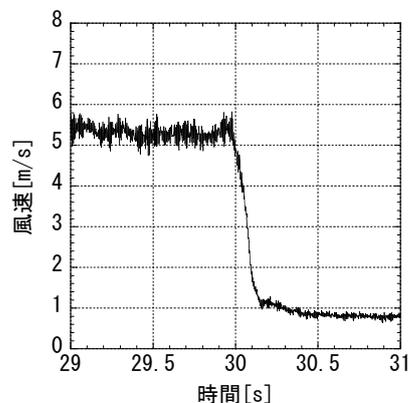


図3 シャッター閉塞時の風速変化
（シャッター位置：風下側）

一方シャッターを風上側に設置した場合は、図4のu成分のプロットが示すように、風速はまずごく短時間でいったん低下するものの、その後変動して、3~4秒後からほぼ定常な値となっている。また、v成分についても、シャッターを閉塞した後にピークが見られる。これは、シャッターを閉塞した後に、測定部において、渦のような気流が生じているためと考えられる。このような気流が発生する理由には、シャッターと測定部、パイパス風路の形状といったものが関係している。このシャッターを、風向変動風洞に設置した場合には、こうした現象は生じないと考えられることから、風上にシャッターを設置した場合にも、極めて短時間で風速低下を生じさせることができると判断できる。

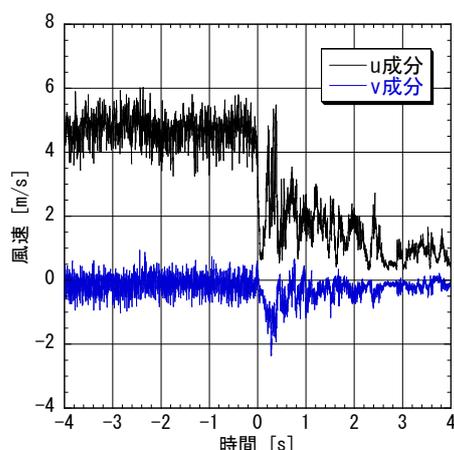


図4 シャッター閉塞時の風速変化
(シャッター位置：風上側)

(4) シャッターを閉塞時の圧力測定手法

前田潤滋ら(2010)の研究を参考にして、シャッター閉塞時に生じる静圧変動の影響を、模型の上方に設置した平板(「静圧板」と呼ぶ)において測定される圧力を基準静圧として用いることにより、取り除くことが可能であるか、検討した。シャッターは測定部の下流側に設置した。

図5に、基準静圧差引前の立方体模型風面上部の点での圧時刻歴、その真上の静圧板上の点での基準静圧の時刻歴、それらの差圧の時刻歴を示す。差引前の模型表面と静圧板での圧力時刻歴は、シャッター閉塞時に正圧のピークが生じ、約2秒後に定常値となった。差引後の模型表面の圧力時刻歴では、こうした急激な風速変化に伴って生じる変動圧力の影響は排除されており、風速が急減する場合にも、こうした補正が有効であることが確かめられた。なお、圧力測定点の真上より主流方向に90mm離れた静圧板上で測定される圧力を基準静圧とした場合には、圧力変動の影響を十分排除することはできなかった。すなわち、測定対象とする圧力孔の真上の点に

おける静圧を用いる必要のあることが確認された。

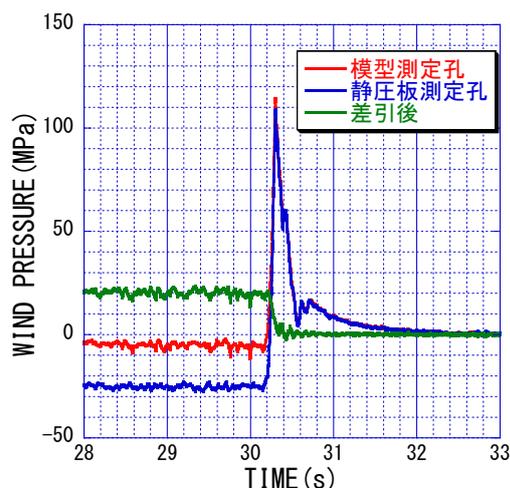


図5 模型風面上部での圧力と静圧板での基準静圧とそれらの差圧

(5) まとめ

本研究により、試作した大型シャッターが、風向変動風洞に適用可能であり、適切な補正を行うことにより作用する変動圧力を測定できることが、概ね確認できたと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 木村吉郎, 才木孝裕, 中島紘志, 加藤九州男, 久保喜延, 試作した風向変動風洞の特性と検討, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 56A, pp. 576-587, 2010

[学会発表] (計5件)

- ① 大谷大二郎, 木村吉郎, 松田一俊, 加藤九州男, 風向変動風洞用大型シャッターの閉塞時に生じる圧力変動の特性, 平成23年度土木学会西部支部研究発表会, I-031, pp. 61-62, 2012
- ② 大谷大二郎, 中島紘志, 木村吉郎, 加藤九州男, 久保喜延, 風向変動風洞の実用化を目的として開発した大型シャッターの特性検討, 土木学会第65回年次講演会講演概要集, I-363, pp. 725-726, 2010
- ③ 木村吉郎, 中島紘志, 加藤九州男, 久保喜延, 風向変動風洞に用いる大型シャッターの開発, 第59回理論応用力学講演会, 2010
- ④ 中島紘志, 木村吉郎, 加藤九州男, 久保喜延, 風向変動風洞の実用化を目的とした大型シャッターの開発, 平成21年度土木学会西部支部研究発表会, 2010, I-3, pp. 7-8

- ⑤ K. Kimura, K. Kato, Y. Kubo, A Trial Manufacture of a Fluctuating Wind Direction Tunnel, 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, pp. 255-258, 2009

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木村 吉郎 (KIMURA KICHIRO)
東京理科大学・理工学部・教授
研究者番号：50242003

(2) 研究分担者

加藤 九州男 (KATO KUSUO)
九州工業大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号：60039138