

複数ファン風洞による風向変動を持つ気流の作成

Generation of Direction-Changing Flow by a Wind Tunnel with Multiple Fans

学籍番号 66845
氏名 外村 光 (Tonomura, Hikari)
指導教員 神田 順 教授

1. 研究の背景

今や世界各地で超高層ビルの建設が数多く進められ、構造物に対する強風の影響は、安全性や耐久性を考える上で非常に重要である¹⁾。そのため、境界層風洞を用いて定常的な気流を再現した実験が行われ、多くの研究が積み重ねられてきた。しかし、実際には図1に示すように、風向は時々刻々と変化しており、建物への風向の変化の影響は充分には確かめられていない。例えば、数10秒間に10度~20度の風向変化が、建物の応答や風圧に影響する可能性があることが既往の研究でも指摘されている²⁾。しかし、境界層風洞ではこのような風向変化を作成することは困難であるため、近年、強制的に流れを制御し、効率的に所要の気流特性を達成しようとするアクティブ型風洞が注目されている。例えば、翼列を振動させたり、複数のファンを制御したりするものがある。現在、このような非定常な風向変動に対する研究が幾つか進行しているが、明確な手法は確立されていないのが現状である。

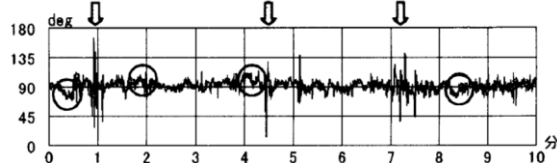


図1. 自然風の風向時刻歴波形

2. 研究の目的

本研究は、アクティブ型風洞の1つである複数ファン風洞を用い、ファンを数値制御することで従来の風洞では不可能であった数秒程度の風向変動を持つ気流を作成することを目的とする。さらに、作成した風向変動が建築物に及ぼす影響を検討し、このような気流による実験の意義を論じる。

3. 風洞の概要

実験は東京大学柏キャンパスの風洞実験室にて、1列6段のファンを組み込んだ吹き出し式風洞で行った(図2)。測定洞は、高さ600mm×幅200mm×長さ3600mmである。ファンはプログラムによって制御されており、入力電圧と風速の関係は図3に示した通りである。z=150mm~450mmの範囲で概ね一様な気流が確認出来る。また、本研究では、測定洞上流端の床面を原点に主流方向をx、主流直角方向をzとして位置を示し、各ファンは下から順にch1, ch2... , ch6と呼ぶことにする。

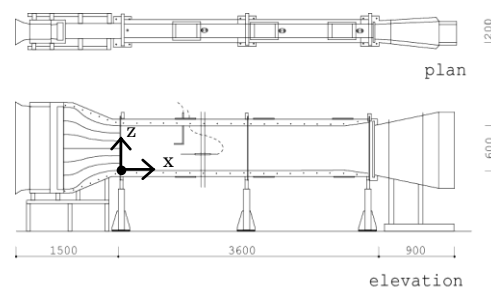


図2. 風洞の平面図及び立面図

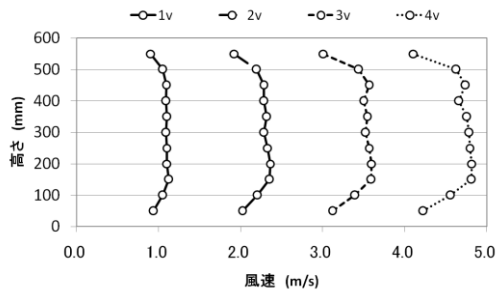


図 3. x=1000mm での入力電圧と風速

4. 可視化実験による風向変動の予想

4. 1 概要

風向変動実験の方向性をおおまかに把握するために可視化実験を行った。一定の風を吹かせた状態から ch1 を停止する場合 (case001), ch1, 2 を停止する場合 (case002), ch1, 2, 3 を停止する場合 (case003) の風の流れ (表 1) を撮影した。風速は一定とし、可視化には発炎筒の煙を用いた。撮影範囲はファンに近い位置で変化が起ることを前提に、x=0mm~1200mm とした。

4. 2 結果

ch1 及び ch1, 2 を停止した場合は、水平に吹いていた風が下向きに流れ始める風向の変化がはっきりと確認された (例えば図 4)。その変化は、特に x=1000mm 程度で顕著に現れていた。ch1, 2, 3 を途中で停止した場合は、他の場合と比較すると乱れが大きく、下部で滞留する風と上部で流れる風の二種類に別れていることが分かった (図 5)。

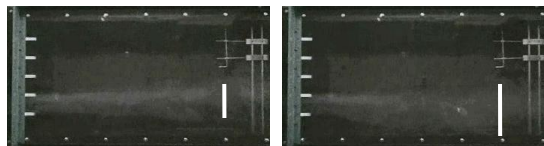


図 4. case001 x=1000mm での気流の幅

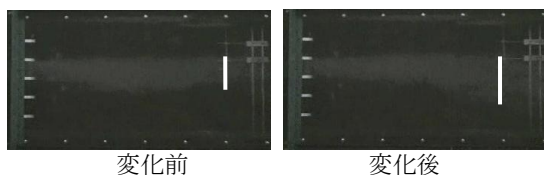


図 5. case003 x=1000mm での気流の幅

5. 風向変動実験

5. 1 概要

可視化実験の結果をもとに、x=1000mm での風向変化を、x 型熱線風速計を用いて測定した。測定は、z=50mm~550mm の間を 50mm 間隔でそれぞれのケースに対し、11 点ずつ行った。また、サンプリング周波数は 500Hz、計測時間は約 30 秒もしくは 60 秒とした。

まず、可視化実験で用いた下部のファンを停止する 3 ケース (表 1) に対し、上部のファンを停止する 3 ケース、中心部のファンを停止する 3 ケースを測定した。

次に、case001, 002 のファンの停止時間を性能上最小限の 2 秒に対し、5 秒・10 秒・20 秒に変化させたケースを測定した。

そして、中心部のファンを強めた 3 ケースの停止時間 2 秒と 10 秒の場合を測定した。

最後に、ch1, 2 を停止する case002 を基本にして、更に大きな風向変化が発生することを期待し、ch1, 2 を停止するのに加え、ch3, 4 を少し強め、ch5, 6 をより強める case002A 及び ch3, 4, 5, 6 を段階的に強める case002B の停止時間 2 秒と 10 秒の場合を測定した。風向変化の安定性を考え、変化前後の空気量を保持するよう入力電圧を設定した。

本風洞の最大風速 5m/s が自然風の 50m/s に相当するように風速の縮尺率を 1/10、模型の縮尺率を 1/100 と仮定すれば、時間の縮尺率は 1/10 に相当すると考えられる。

表 1. case001, 002, 003 の概要

case	停止するファンの数	変化時間(秒)
001	1 (ch1)	2
		5
		10
		20
002	2 (ch1,2)	2
		5
		10
		20
003	3 (ch1,2,3)	2

5. 2 結果

上部や中心部を変化させた場合には、下部を変化させた場合の変化よりも顕著な変化は起きなかったため、ここでは、case001, 002, 003 及び case002A, 002B について結果を述べる。また、入力電圧は 2 種類で行ったが、風速との比例関係が成り立っていることが確認出来たので、入力電圧 4v の時の case001, 002, 003 の変化前後の風速変化(図 6)及び風向変化(図 7)を記す。結果は、4 回のアンサンブル平均をとった。

風速は、x 方向風速と z 方向風速から合成して求めた。風向変化の前後で、0.5m/s 程度、減速していることが分かった。また、図 6 の○印で示した値は、ケースごとの最大の風向変化の○印(図 7)に対応している。

風向変化は case002, 003 で 6 度程度の値が得られた。3 種類を比較してみると、ファンを停止すればするほど、大きな風向変化が起こるわけではないことが分かった。

本実験で最も風向変動が大きいケースは、case002A, 002B であり、その風向変化は 9 度程度であることが分かった(図 8)。

ファンの停止時間を変化させた結果から、20 秒までは変化が安定することを確かめた。

また、時間の縮尺率を 1/10 として、実際のスケールに当てはめると、風向角 9 度を 20 秒から 200 秒の変化時間で再現していることに相当する。

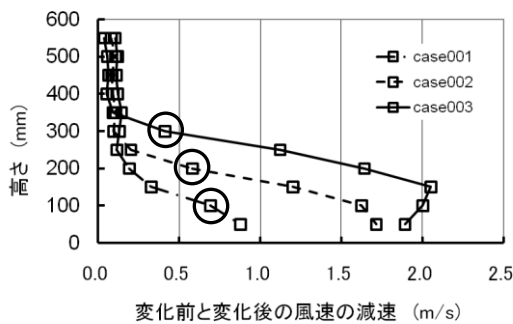


図 6. case001, 002, 003 の風速変化

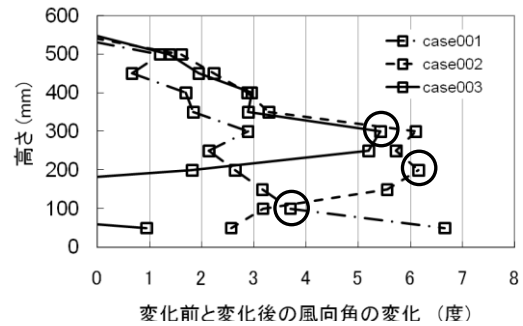


図 7. case001, 002, 003 の風向変化

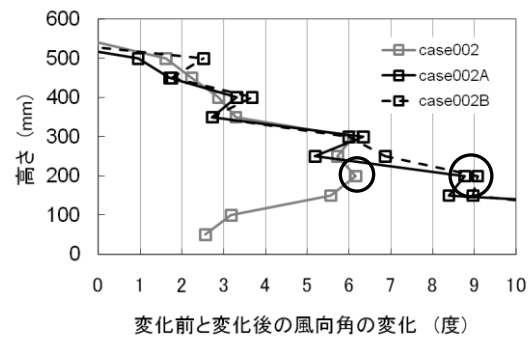


図 8. case002, 002A, 002B の風向変化

6. 風圧実験

6. 1 概要

風向変動実験で得た風向変化を持つ風が建物にどのような風圧を与えるかを測定する。風向変化の大きい case002, 002A, 002B に対し、ファンの停止時間 2 秒と 10 秒の場合の風圧を測定し、従来の風洞と同様の風向変化のない風を傾けた模型に当てた場合の定常な風圧と比較する。

実験に用いた風圧模型(図 9)には、主流直角方向に point1, 2, 3, 主流方向に point4, 5, 6 の計 6 点の風圧測定点を設けた。模型は、point3 が $x=900\text{mm}$, $z=300\text{mm}$ になるよう設置した。また、設置する角度は、0 度、5 度、10 度、15 度に変化させることが出来る。

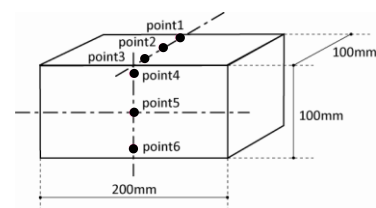


図 9. 風圧模型

6. 2 結果

風圧を一様流での基準速度圧で基準化した平均風圧係数として時刻歴変化を、10度傾けた模型に風向変化のない風を吹かせた場合を図10に、風向変化のある風のファンを2秒間で停止した場合の一例としてcase002Bを図11に、10秒間で停止した場合の一例としてcase002B_10を図12に示す。

case002_10とcase002Bを比較すると、各々の風圧は完全に一致してはいないものの、どちらも最大負圧はpoint3、最大正圧はpoint5で、これらの比率も同程度である。

case002Bとcase002B_10を比較すると、2秒間で停止した場合の変化直後に、瞬間的な大きな負圧が生じることが確認された。そこで、変化時のpoint3の周波数のパワースペクトル密度を求めたところ、2秒間の変化過程で10Hz前後でのパワースペクトル密度の値が大きくなることが分かった(図13)。ただし、10秒間の変化過程でも2秒ずつの変化を確認すると、その一部で同様の現象が起こっていることが分かった。

変化前の一様流の場合において、5Hzで周波数の鋭いピークが確認された。そこで、渦の放出周波数を代表長さで無次元化したストローハル数を求めたところ、従来のデータと等しくなることが確認出来た。

7. 結論

本風洞では、約10度までの風向変動を、風向変化時間2秒~20秒で作成することが出来ることを確認した。さらに、2秒間の風向変化過程で風圧が一時的に大きくなるのが分かり、その時の周波数成分が風向変化前後と異なっていることが分かった。また、風向変化前後で異なる周波数成分を持つことも分かった。

これらから、風向変動を考慮することで、定常な実験では再現出来ない現象を捉えることの出来る可能性を示した。

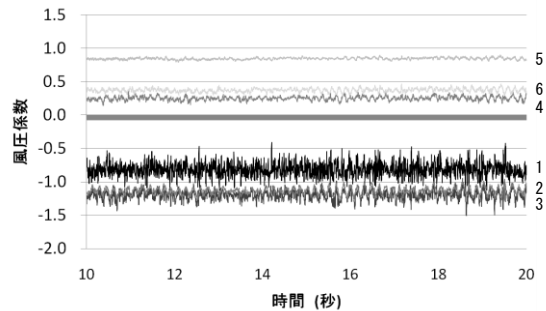


図10. 10度傾けた模型の風圧時刻歴変化

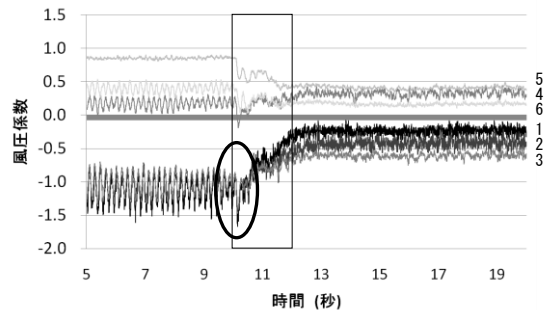


図11. case002Bの風圧時刻歴変化

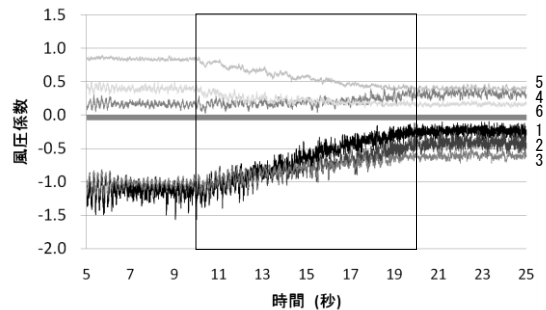


図12. case002B_10の風圧時刻歴変化

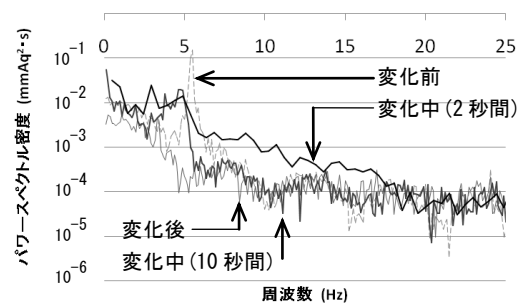


図13. 周波数のパワースペクトル密度

参考文献

- 1) 建築物の耐風設計(2004) 神田順ほか
- 2) 正方形平面建物の風応答・風向特性に対する風向の非定常性の影響(2001) 田村哲郎ほか