

陸屋根上の円錐渦に伴う組織運動

正会員 ○ 孟 岩 *1
同 日比一喜 *2

陸屋根、円錐渦、高周波数運動、前縁剥離、低周波数運動、後流渦

1. はじめに 陸屋根に風が斜めから当たる場合に、円錐渦は屋根面に形成されることがよく知られている。幾何学的に対称な条件の下でも、この円錐渦に起因する風圧は対称に現れず、ほぼ逆の位相をもって変動することが河井ら[1]の風圧実験によって明らかにされている。一方、谷口と谷池[2]は可視化実験により、円錐渦はおおむね交互に風上面の前縁から発生していることを報告している。本研究では、陸屋根上の速度場を測定することにより、円錐渦に伴う組織運動とその発生メカニズムを調べる。

2. 風洞施設概要 実験は清水建設(株)技術研究所の小型回流式風洞を用いた。モデル建物は高さ16cm、幅と奥行き8cmの亚克力製直方体であり、測定部入り口より風下方向4.6mの所に設置した。風洞風速は6m/sに設定した。建物の見付け幅**b**と軒高風速 U_{0h} により求められたレイノルズ数($U_{0h}b/\nu$)は約 2.1×10^4 である。風洞及び風洞気流の詳細については文献3に参照されたい。

3. 風洞実験の結果 3.1 平均速度場

Fig.1には屋根面上の平均速度U、V、Wの鉛直分布を示す。測定点は建物の対称軸線上と側面線上に設けられている。縦軸は屋根面からの距離($z'=z-h$)を見付け幅**b**で無次元化した高さを表し、横軸は軒高風速 U_{0h} により無次元化された速度成分を表す。屋根面の中央と風下側の測定点BとGでの平均速度Uの値は一般流のそれより大きくなっている。一方、測定点Cでは円錐渦の軸に近いために平均速度Uが屋根面近傍において一般流の値より小さくなっている。また、C点での平均速度V、Wの鉛直分布は円錐渦の動きを反映し、その値は屋根面近傍で負(屋根面の対称軸から離れていく下降流)となり、屋根面から離れると反対に正(屋根面の対称軸に向かう上昇流)となる。風上側面上における測定点D、E、Fでは強さ上昇流が見られ、また、平均速度U鉛直分布は一般流のそれによく似ている。測定点Fでの平均速度Vの値は建物を回り込む流れの影響を受け、屋根面近傍において負になっている。

3.2 変動速度場 Fig.2には変動速度の標準偏差 σ_u 、 σ_v 、 σ_w の鉛直分布を示す。屋根面の中央と風下側の測定点BとGにおいては、対称軸(線DBG)近傍での流れが剥離していないため、 σ_u の分布が一般流のそれと大きく違わない。一方、 σ_w の値は一般流の値に比べか

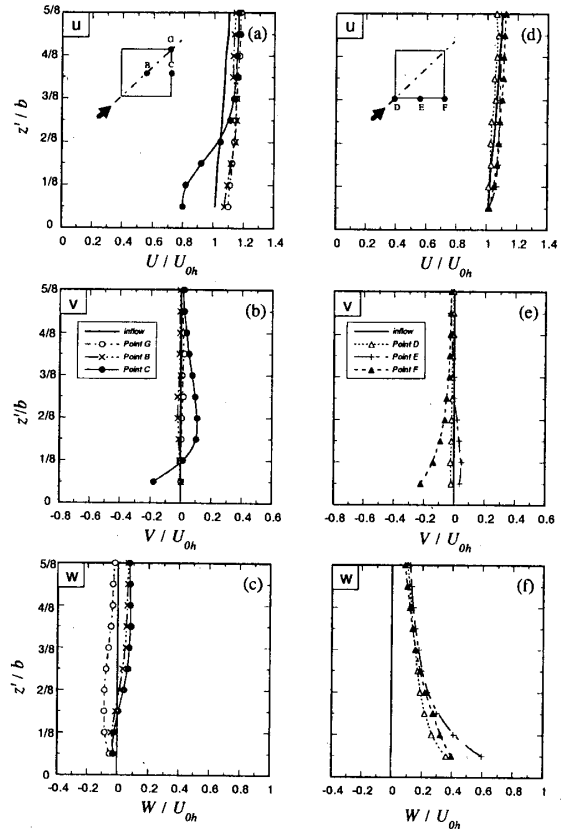


図1 平均速度の鉛直分布

なり小さくなっている。この現象は風洞の整流部にハニカムが入れられた場合、風洞の乱れが小さくなるという現象によく似ている。実際、一般流の中に建物の規模より大きな渦運動が多く含まれている。これらの渦運動は屋根面の存在によりその鉛直方向の運動が妨げられ、結果的に変動速度のエネルギーが低い周波数域で減少する。このことは測定点BとGでの速度成分wのパワースペクトル (Fig.3(c)) から確認することができる。同様な現象は円錐渦の軸に近い測定点Cでの σ_w の分布にも見られる。ただし、測定点Cでは屋根面の近傍において円錐渦の発生に伴う速度変動の影響で、 σ_w の値が一般流の値より大きくなっている。また、円錐渦の影響で測定点Cでの σ_u の分布に大きなピークが見られる。一方、風上側面上における測定点D、E、Fでは σ_u の分布が一般流のそれによく似ているが、測定点Dでの σ_v の値と測定点Eでの σ_w の値は屋根面に近づくとつれ大きくなっているのが特徴である。

Coherent motions associated with conical vortices on a flat roof

Yan MENG and Kazuki HIBI

3.3 変動速度のパワースペクトルの特性 円錐渦に伴う組織運動の実態を明らかにするには変動速度の周波数特性を調べるのが有効である。Fig.3には速度成分u、v、wのパワースペクトルを示す。速度成分uのパワースペクトルは測定点Cを除いて、低周波数領域において一般流のそれに似た形となっている。測定点Cでは速度成分uのスペクトルが低周波数領域から高周波数領域までにわたって大きく増大しており、その最大の値は一般流の値の約5倍となっている。速度成分uのパワースペクトルの高周波数域での増大は建物風上面前縁で発生する円錐渦により作られたものと考えられるが、低周波数域での増大は別の組織運動によって作られていると推測される。低い周波数の組織運動の影響は速度成分vのパワースペクトルにもはっきりと現れている。測定点Dでは速度成分vのパワースペクトルの増大がすべて低い周波数の運動によって作られている。また、測定点Dで得られた変動速度の波形はかなり周期的である。速度成分vのパワースペクトルに見られた大きなピークの無次元周波数は約0.05である。この無次元周波数は建物後流渦の無次元周波数とほぼ一致しており、円錐渦に伴う低周波数運動は建物後流渦によるものと考えられる。一方、測定点Cでは速度成分vのパワースペクトルの増大が殆ど無次元周波数1の近傍に集中している。同様なピークは速度成分wのパワースペクトルにも現れている。この無次元周波数は建物後流渦の無次元周波数より一桁高く、屋根面上の高周波数渦運動によって作られていると考えられる。実際、屋根面前縁で発生する剥離渦が屋根面前縁に留まることがなく、建物の見付け幅の約0.6倍の間隔で放出されていくことが可視化実験によって確認されている。一般に剥離渦の移流速度が軒高風速の5~7割であると考え、剥離渦の無次元周波数は約1となり、速度成分wの無次元ピーク周波数とほぼ一致する。測定点Eでの速度成分wのパワースペクトルにはもう一つの特徴的なピークが見られる。そのピーク周波数はD点での速度成分vのパワースペクトルに見られた無次元ピーク周波数の2倍であり、0.1となっている。測定点Eでの σ_w の屋根面近傍での増大はこの低周波数変動によって作られている。

4 まとめ 陸屋根上の円錐渦に伴う組織運動は大きく二つに分けられる。一つは建物見付け幅とほぼ同じ規模の高周波数運動で、建物前縁での剥離渦の放出によって作られている。もう一つは建物見付け幅の数倍規模の低周波数運動で、建物の後流渦と同じ周期を持っている。円錐渦が陸屋根上に交互に発生しているのはこの低周波数運動、すなわち、建物の後流渦の放出によって引き起こされていると推測される。

参考文献 1)H. Kawai and G. Nishimura, J.Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 60, pp. 211-225,1996. 2)谷口徹郎、谷池義人、日本建築学会構造系論文集、Vol. 448、pp.31-37、1996. 3)孟、日比、第14回風工学シンポジウム論文集、pp.103~108、1996.

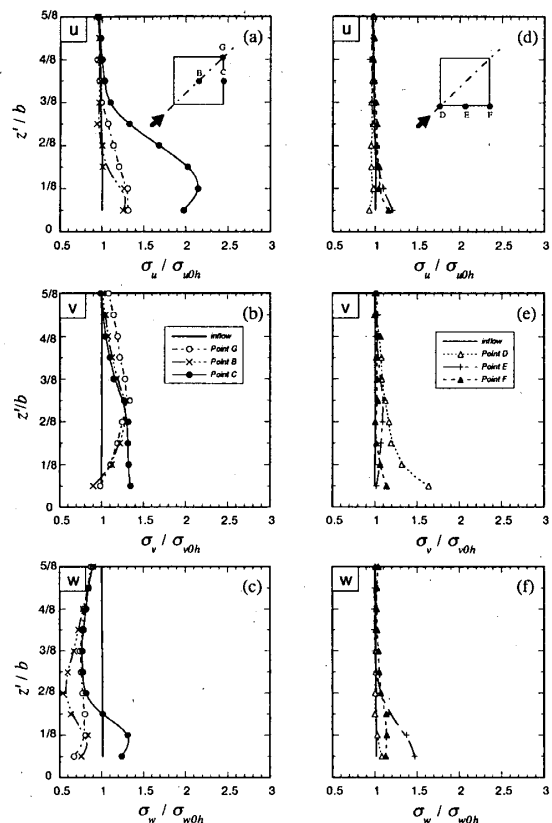


図2 変動速度の標準偏差の鉛直分布

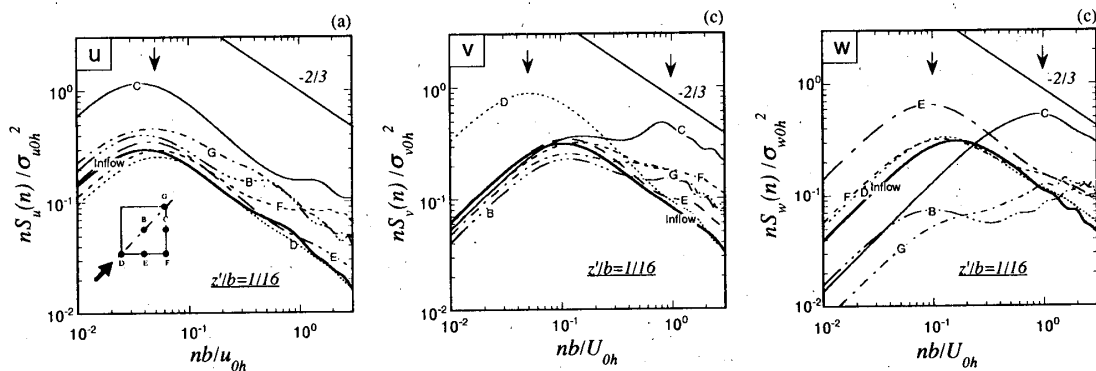


図3 変動速度のパワースペクトル密度

*1) 清水建設 (株) 技術研究所
*2) 同