視点・論点

大気乱流の相似則における風速鉛直分布について

ON THE VERTICAL WIND SPEED DISTRIBUTION

IN THE SIMILARITY LAW OF ATMOSPHERIC TURBULENCE

加藤真規子*

Makiko KATO

松本さんのご質問の「大気境界層内における気流実験の相似則に関する風速鉛直分布（平坦地上）」についてお答えします。

風工学年次大会の講演要旨には紙面の制限もあり、また、ある程度常識であるということから特に既述はしていないが、大気中の気流の一番の特徴は、地形や建物等の直接的な影響がある場合をのぞいては、乱れの生成消滅が平衡状態になっていて十分発達した乱流になっているということである。

したがって大気乱流の風洞実験では、乱れの減衰はある程度避けられなくても助走路を十分長くとして、できるだけ発達した乱流をつくる必要がある。そのため床面に粗度ブロックを並べたり、種々の乱流発生装置を利用したりしているが、スパイア等の乱流発生装置は大きなものを使うほど乱流の発達には長い助走路が必要になる。気象研究所の風洞でも、長さ18mの測定部のうち多くの場合は助走用に9~12mをとって、測定する気流場は風速や乱れの分布ができるだけ風下方向に変化しないように注意して設定している。例を第Fig. 1に示す。

いま、風洞内に再現する野外の風速鉛直分布が具体的に既知ではなく、海風とか市街地の風とか任意に設定しなければならない場合を考える。風速分布は対数則、べき法則どちらにとってもよいが、設定すべき風速分布の高さを実高度で H とすると、高さ H はべき法則を適用してもせいぜい2~300mが限度である。それ以上の高度

の風速分布は一般にはわからない。一方、大気境界層の高さは500~1000mと言われている、風洞実験の場合風洞内につくる乱流境界層の厚さ δ （普通には風洞風速の90~99%値の高さとして定義する高さで、松本さんがFLOW Iに対しては h_1 としている高さ）は、もちろん対象とする実験の内容にもよるが大体は大気境界層高さに対応するとすることができる。当然のことながら、いま考えている風速分布の高さ H は、 $H < \delta$ でなければならない。したがって、風速分布が十分発達した乱流境界層中に設定されていれば、松本さんの言われるFLOW IでもFLOW IIでも風速分布には大きな差はないと考えられる。

FLOW I, FLOW IIに関連する実験例として、風工学年次大会の発表に用いた200m鉄塔の観測結果の風速鉛直分布(Hanafusa et al.¹⁾)は、スパイアを用いた風速分布でも再現して比較検討を行っている(加藤²⁾)。実験概要はFig. 2に示すCase1とCase2で、年次大会ではCase1についての発表をした。Case2の方は、乱流境界層の高さを得るために用いたスパイアは底面積5cm平方、高さ65cmで、風洞前縁(幅3m)に7基等間隔に並べた。床面の粗度ブロックの並べ方は多少異なっている。得られた乱流境界層の高さは実高度でCase1: 320m, Case2: 420m(縮尺は1/1000)で、風速分布はFig. 3のように観測結果に一致させた。この場合、 u 成分と w 成分の乱流強度の分布はFig. 4のようにCase1とCase2で一致した。ただ乱れの構造に関しては、Case2

* 気象研究所 室長
Head, Meteor. Res. Inst.

Fig. 1 風洞内に設定した風速と乱流強度分布の例 (べき指数1/3)

Fig. 2 風洞実験の概要 (Case1, Case2)

の場合、 u 成分の乱れのスペクトルが100m以上の高さの低周波数域にスパイヤの影響が若干残っているのが認められた (Fig. 5)。Case2の w 成分のスペクトルはCase1と殆ど同じであった。この結果、スパイヤによる

大きな渦がスパイヤ高さの約20倍風下までも及んでいることから、乱流発生装置による風速分布の形成はある程度実地形との整合性を考えて使用しないと実状に合わない気流構造となる場合があることを指摘した。た

Fig. 3 設定した風速鉛直分布 (Case1, Case2)

Fig. 4 得られた乱流強度鉛直分布の観測結果との比較 (Case1, Case2)

だ接地境界層程度の高さでは大きな問題にはならない。

次に、風速鉛直分布の相似によって相対的な摩擦速度と粗度定数 z_0 が相似になることは、風速分布が対数則の場合、すぐわかる。しかし、べき法則を適用した場合でも、接地層くらいの低い高度に限って見ると、そこでも対数則は近似的に成り立っていて、相対的な摩擦速度と粗度定数 z_0 は同様に相似になる。

Fig. 5 Case1とCase2のu成分スペクトルの比較
Case1: 実線と黒丸印, Case2: 点線と四角印

Fig. 6 風洞内に設定した風速鉛直分布 (a) と得られた乱流強度分布 (b) の野外との比較。

一方、野外では地上30mの高さにおける乱流強度 (σ_u/U) の z_0 との関係が求められており、 z_0 によって乱流強度は決まる。すなわち風速分布によって乱流強度も決まってくる。実際、風洞実験でも風速分布を設定し、高さ10~30mの乱流強度を見ると、代表的な風速分布の乱流強度に一致していて、乱流強度を合わせるという必要がない。これは、乱れが風速のシアに因っていることから、風速の鉛直分布を相似にすることによって、乱流強度の鉛直分布が相似になるのはむしろ当然とも言える。また、乱流強度分布が相似であれば、乱れが摩擦速度に比例することから、摩擦速度も当然相対的に相似となる。

風速鉛直分布の相似によって気流場を設定し、野外複雑地形上の乱流強度分布を比較した例 (加藤他⁴⁾) をFig. 6に示す。観測地点の地点S (拡散源、風速を観測) と地点M2 (風速と乱れを観測) は約1km離れており、風洞実験は縮尺1/5000、風上側の地形はほぼ平坦なので床面に相当粗度を置いて風速分布を一致させた (a)。風洞での乱流強度分布の測定結果は、高さ100~500mで観測した結果にはほぼ一致した (b)。地上付近は参考のため平坦地上の結果 (Hanafusa et al.¹⁾) と比較した。

一般の場合、乱流強度やレイノルズ応力等の分布まで参考となる野外のデータは十分に得られていないことが多いので、これらを実験の相似条件として規定することも難しい。

以上のことから、風速鉛直分布を適切に設定すれば、 z_0 、乱流強度分布も相似になるので、一次近似としては特に乱れの性状 (乱流強度、レイノルズ応力等) を規定する必要はなく、また、それらのことを規定しなければならないような精度の高い実験が要求される場合は別に考える必要がある。

参考文献

- 1) Hanafusa T. et al.: Characteristics of high winds observed from a 200m meteorological tower at Tsukuba science city, Pap. Met. Geophys., 32, 19 - 35, 1981.
- 2) 加藤, 花房: 大気乱流の風洞実験, 第26回乱流シンポジウム講演論文集, 230 - 233, 1994.
- 3) 塩谷: 強風の性質, 開発社 65 - 72, 1981.
- 4) 加藤他: 野外実験と風洞実験による複雑地形上の拡散の比較, 天気, 34, 397 - 407, 1987.