ドップラーソーダによる沖縄における台風時の風観測

The Wind Observation in Okinawa by Doppler Sodar during Typhoons

天野 輝久^{*1} 大熊 武司^{*2} 川口 彰久^{*3} 後藤 暁^{*3}

Teruhisa AMANO Takeshi OHKUMA Akihisa KAWAGUCHI Satoru GOTO

SUMMARY

The wind structure of the atmospheric boundary layer has recently become a vigorous concern in wind-resistant design of high-rise buildings. This study deals with the observation in Okinawa by Doppler sodar during two typhoons in 1995. The mean wind speeds have shown good agreements with the referenced data obtained by the ultrasonic anemometer. It is confirmed through the analysis of three hours' record for each typhoon that the wind profiles are basically fitted by power law with the exponent of about 0.3. The height of the gradient wind, however, changes successively from 200 to 550m due to the influence of the layers of clouds. The intensities of u- and v-component of turbulence have shown larger values than the ones by anemometer, while the intensity of the vertical component well coincides with the anemometer.

1. はじめに

建築物の超高層化に伴う風荷重の合理的評価や都市における大気汚染の拡散予測等を目的として、地上500m程度までの測定が可能とされるドップラーソーダを用いた上空風の観測が各方面で行われている。しかし、従来は季節風時の実測例^{1)~2)}が多く、台風時の観測例³⁾は殆どない。筆者等⁴⁾は、一昨年、台風9426号と9429号の二つの台風接近時に観測を行ない、平均風速の鉛直分布がべき法則に適合する場合と対数則に適合する場合とがあること、傾度風高さが100m程度まで下がってくることがあること等を報告した。ここでは、昨年の台風9504号(7月)および9514号(9月)の二つの台風接近時に行った観測結果について述べる。

2. 観測方法

ドップラーソーダは送信音響パルスの後方散乱信号が、各高さにおける散乱体積(ビーム幅9degの円錐体の鉛直方向厚さ $C\tau/2$ (C :音速, τ :パルス長さ)の部分)の速度成分に対応した周波数だけドップラシフトを受けることを原理としている。今回の観測に使用したドップラーソーダ(AR-410, (株)カイジョー)は、天頂角を20degにセットしたトリモノスタティック方式で、3台の送受信器からパルスを10秒間隔で順次発信し、30秒毎の風速の3成分が得られる。今回の測定では送信パワーは900Wとし、 $\tau_1=60\text{ms}$ (低高度用)と $\tau_2=300\text{ms}$ (高高度用)のダブルパルス方式を採用した。散乱体積の厚さはそれぞれ10mおよび50mである。測定高度は20m~150mの

図-1 観測場所

写真-1 観測状況

*1 琉球大学助教授

Assoc. Professor, Univ. of the Ryukyus

*2 神奈川大学教授

Professor, Kanagawa Univ.

*3 (株)大林組技術研究所

Technical Research Institute, Obayashi Co. Ltd.

12 高度と、175m～1000m の13 高度とした。

観測場所は沖縄県西原町にある琉球大学キャンパス内（海拔約90m）である。周囲は比較的平坦で2～5階の建物が散在し、指針⁵⁾における地表面粗度区分Ⅲの地域に該当するものと考えられる。写真-1および図-1に示すようにドップラーソーダを地上に設置し、比較のために超音波風速計(DA-600,(株)カイジョー)を工学部棟（地上約40m）に設置した。

3. 観測結果と考察

1) 台風の概要

台風9503号(フェイ)および9514号(ライアン)の発生から消滅に至るまでの経路を図-2に示す。台風9503号は沖縄本島の西方海上を北進し、7月22日の00時頃約100kmの地点に最接近した。その時の勢力は中心気圧970hPa、最大風速30m/s、暴風半径90km、強風半径310kmの中型台風であった。一方、台風9514号も本島の西方を通り、9月23日の12時頃に約150kmの地点を通過した。その時の勢力は中心気圧960hPa、最大風速40m/s、暴風半径110km、強風半径300kmの中型台風であった。

図-3にドップラーソーダの地上40mにおける10分平均風速と平均風向(北を0°として時計回りを正)の時系列変化を、超音波風速計の結果とともに示す。図中には沖縄気象台(那覇、地上48m)の記録も参考までに示してある。両台風とも平均風速および平均風向は三者とも全体的な傾向は類似している。しかし、詳しく見ると平均風速はドップラーソーダと超音波風速計とでかなり異なる場合がある。すなわち、台風9503号では

図-2 台風の経路

那覇で降雨が記録された時間帯、特に5mm/h以上の激しい雨が観測された21日の23時から22日の3時の間と9時から12時の間は、ドップラーソーダの風速値は超音波風速計に比べてかなり小さくなっている。しかし、それ以外の時間帯ではドップラーソーダの方が変化の幅がやや大きい、両者は良く対応していると言える。

2) 平均風速の鉛直分布

今回の観測は図-3に示したように、台風9503号はRUN1～RUN6、台風9514号はRUN1～RUN2の測定を行った。このうち、測定中に降雨が殆どなく安定したデータの得られた時間帯、すなわち、台風9503号については7月22日の13時から15時、台風9514号については9月23日の11時から14時までのそれぞれ3時間のデータについて以下の解析を行った。なお、風向は両台風とも180°～200°で、ほぼ南風である。信号処理のSN比の閾値を10dBに設定し、平均化時間内におけるデータ取得率が20%以上の場合を有効とした。有意なデータが得られた最高の高度は600mであり、最低の高度は350mであった。

図-4に台風9503号について、10分間平均風速の

図-3 平均風速と平均風向の時系列変化

図-4 平均風速の鉛直分布 (台風9503号)

図-5 平均風速の鉛直分布 (台風9514号)

図-6 傾度風高さ Z_0 と傾度風速 U_{Z0} の関係

図-7 Z_0 と α の関係

図-8 乱れ強さの比較

鉛直分布の変化を各時間帯毎に示す。図からわかるように、平均風速の鉛直分布は各時間帯でかなり異なっており、分布形には次の二つのタイプが認められる。すなわち、風速が高さの増加とともにべき法則に適合して増加し、特定の高さ (Z_0 : 傾度風高さ) 以上ではほぼ一定の値 (U_{Z0} : 傾度風速) となるもの (以下、P1と呼ぶ) と、中間層にはほぼ一定の風速を示す領域を挟むもの (以下、P2と呼ぶ) の二つである。この一定風速の層は、はっきりとは分らないが、測定中の観察によれば、降雨を伴わない雨雲の層であると思われる。13:00 から 14:10 までは P1 と P2 がほぼ交互に現われる不安定な状態を示すが、14:10 から 15:20 の約 1 時間はべき法則に良く適合する安定した状態が続く。そして、その後は再び P1 と P2 が交互に現われる。

一方、図-5 に示した台風 9514 号の場合も同様な傾向を示しており、12:50 から 14:00 までの約 1 時間はべき法則に良く適合する P1 が継続している。

図-6 はそれぞれの台風について、傾度風速 U_{Z0} と傾度風高さ Z_0 の関係を示したものである。台風 9503 号の場合、 U_{Z0} は全体的にはほぼ一定であるが、 Z_0 は 200m から 450m まで変化している。ただし、分布形が安定していた 14:10 から 15:20 までは、300m ~

400m と比較的安定した高さを保っている。一方、台風 9514 号については、P1 が継続した 12:50 から 14:00 までの間で、 U_{Z0} がほぼ一定であるのに対し、 Z_0 は 200m から 550m まで大きく変化している。このように、平均風向が殆ど異ならず周辺環境が変化しないにも拘わらず傾度風高さが変化し、時にはかなりの低高度まで下ってくることがあることに注意しなければならない。

図-7 は Z_0 とべき指数 α の関係を、指針³⁾の粗度区分 I ~ V の値とともに示す。P2 の場合は最下層の風速勾配から α を求めた。べき指数 α は P1 の場合、 Z_0 が大きい程小さくなる傾向が認められるが、平均的に見れば、本観測地の周辺環境である粗度区分 III の値である 0.2 より若干大きい 0.3 程度となっている。そして、分布形が P2 の場合には α の値はかなり大きくなる。

3) 変動風速の特性

ドップラーソーダの地上 40m における乱れ強さの 3 成分を超音波風速計のそれと比較した結果を図-8 に示す。両台風とも傾向は殆ど同じであり、ドップラーソーダの方がばらつきが大きいことがわかる。更に、3 成分のうち上下方向成分である w は両測定器でほぼ同様な値を示すが、主流方向成分 u と直角方

図-9 乱れ強さの鉛直分布 (台風9514号)

向成分 v は、超音波風速計の値に比べて1.5～2倍程度大きくなっている。ドップラーソーダは30秒間隔のデータから求められており、それより短い周期成分の寄与がないことを考えると、この観測値はかなり過大である。従って、ドップラーソーダによる変動風速の測定値は、実用的には未だ問題を含むものと考えなければならない。

図-9は乱れ強さの鉛直分布を示したものである。図中の実線は粗度区分Ⅲにおける u に関する分布形である。ばらつきが極めて大きい、乱れ強さは3成分とも高層部に至るまでかなり大きくなっている。

4. 結論

沖縄において2つの台風接近時に、ドップラーソーダを用いて上空風の観測を行った。本研究により得られた結論を列記すれば、以下のようになる。

- 1) 平均風速の測定値は降雨時を除けば、十分な信頼性がある。
- 2) 平均風速の鉛直分布はべき法則に適合すると考えてよいが、中間に一定の風速値を示す雨雲の層を挟む場合がある。

3) べき指数は、本観測地の周辺環境である粗度区分Ⅲの値よりやや大きい0.3程度であり、傾度風高さは450mよりかなり低い高度まで下がってくることもある。

4) ドップラーソーダによって観測される乱れ強さは、 w 成分を除いてかなり大きい値を示し、実用的には改善の必要がある。

〔参考文献〕

- 1) 西宮昌：上層風観測のためドップラー音波レーダ，日本風工学会誌第29号，pp.61-72，昭和61年9月
- 2) 高倉秀一，須山喜美：ドップラーソーダによる大気境界層の風の観測（その2），日本風工学会誌第47号，pp.1-2，平成3年4月
- 3) 日比一喜，神田順，桂順治：ドップラーソーダによる台風時の風速鉛直分布の実測，日本建築学会大会学術講演梗概集構造Ⅰ，pp.121-122，1994年9月
- 4) 天野輝久，大熊武司，川口彰久，山本博志，後藤 暁：沖縄における台風時の風観測 その1～その3，日本風工学会誌第63号，pp.11-16，平成7年4月
- 5) 日本建築学会：建築物荷重指針同解説，pp.258-270，1993年6月