

台風時の風の乱れの特質と平均風速

石 崎 潑 雄

TURBULENT CHARACTERISTICS AND MEAN WIND SPEED OF TYPHOON WIND

By *Hatsuo* ISHIZAKI

Synopsis

On the basis of the wind data obtained by the observations of typhoons and other kinds of wind, the variations of the gust factor, the intensity of turbulence and the power law index of wind profile with mean wind speed are considered. Those values are proved to decrease with the increase of mean wind speed and to be larger in typhoons than in other kinds of wind. Finally the linear relationship between the power law index and the intensity of turbulence is discussed.

1. ま え が き

近年、構造物に対する風の乱れの作用が重要視されてきているが、自然風の乱れについては、今日なお不明の点が多い。特に台風時の風の乱れの性状は、他の強風の乱れと同一なのかどうか、あるいは、どのように違うのかについては、よくわかっていない。従って、現在、耐風設計あるいは風洞実験に際しての乱れの設定は、主として、地形や地表面粗度のみを考慮して、きめているのが実状である。台風は、わが国の大部分の地域において最も代表的な強風であり、このような状態でよいかどうかの検討が必要であろう。

もちろん、台風時の風の乱れの研究が全然ないわけではない。Kitaoka 等¹⁾ (1971) は、気象官署の資料から、台風時の突風率が他の低気圧による風の場合にくらべて、約10%大きいことを示している。この例から推定されることは、台風時の風が他の強風時よりも乱れが大きいということである。乱れが大きければ、風速の高さ方向分布 (wind profile) を表わす冪法則の指数も変わるはずである。相馬²⁾ (1964) は東京タワーにおける風速の観測結果を整理して、台風時の風のプロフィールを示す冪指数 α の値は、他の強風時にくらべて10%程度大きいことを示した。また、塩谷³⁾ はその著書において、垂水や那賀川西河口付近の風の観測結果を引用して、台風時の風の profile の冪指数が大きくなることを述べている。また、大熊等⁴⁾ (1979) は台風時の変動風速が温帯低気圧によるそれよりも大きい例を示している。

以上のように台風時には、突風率も乱れの強さも、風のプロフィールを示すべき指数も大きくなるようであるが、定量的には明確でない。ただ、突風率に関しては比較的良好にわかっており、内外の多くの研究者により風速の増大とともに小さくなることが明らかにされている。Tattelman⁵⁾ (1975) は風速と突風率との関係式を提案した。風の乱れの強さ (intensity of turbulence) も風速が増大すると小さくなることが Cramer⁶⁾ (1960) によって指摘されている。このように風の乱れは平均風速の値によって変化するから、台風時の風を他の強風の乱れと比較するには、同一程度の強さの風について考えなければならない。従って、これを究明するには、きわめて多くの観測記録を必要とする。

七里によって提案され、関西電力をはじめとする、わが国の電力会社が主体となって行なった沖縄県多良間島の台風観測の目的の一つは、以上のような台風の風の特質を明らかにすることでもあった。本論では、この多良間島で行なわれた観測結果にもとづいて、以上の問題の検討を試みた。

2. 乱れの強さ, 突風率と平均風速

Fig. 1, Fig. 2 は上記, 台風観測研究の報告書⁷⁾ に載せられている観測結果の資料から作成したものである。**Fig. 1** は乱れの強さと平均風速, **Fig. 2** は突風率と平均風速との関係を示している。観測では3杯の回転型風速計により地上からの高さ7, 15, 25, 35, 50 m の5高度について各10分間の値が得られているが, それらの中から, 任意に約200点の値を取り出した。突風率は評価時間4.5秒間の最大風速の10分間平均風速に対する比である。突風率も, 乱れの強さも平均風速の値によってばかりでなく, 地上からの高度によっても多少は変化する。たとえば, 乱れの強さは地上から高くなるほど, 多少, 小さくなるようであるがここでは, これを無視し, 高さ7 m から50 m まで各点の値をすべて一様に取り上げて各点の平均風速との関係として **Fig. 1** を作った。突風率に関しても同様で, **Fig. 2** 中の点は, 各高度の値を含んでいる。また, ここでは風向による区別もしなかったが, 多良間島の観測点は海岸に近く, 方向によって海側と陸側とがあるけれども, 島は本来, さんご礁の平坦な地形であり, 海岸に近いといっても, 観測点は海岸から約500 m 入っており, 観測柱の高さは50 m であるから, 地表面粗度の風向による変化は, あまり無いと考えられる。

以上のように, **Fig. 1, Fig. 2** においては観測高度の差, 風向の違いを無視しているけれども, 台風による風と, 台風以外の風による風とでは, 明らかに大きく違っている。さらに平均風速との関係は, 突風率も, 乱れの強さも, ほとんど同じ傾向を示している。ただし, 乱れの強さの方が, やや点のばらつきが少なく, 図から次のようなことがいえる。

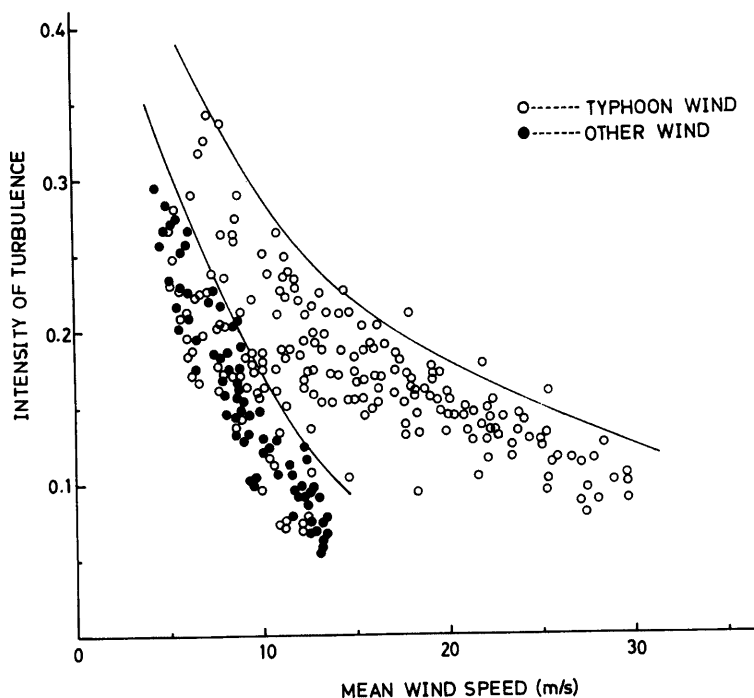


Fig. 1. Intensity of turbulence and mean wind speed for all wind directions.

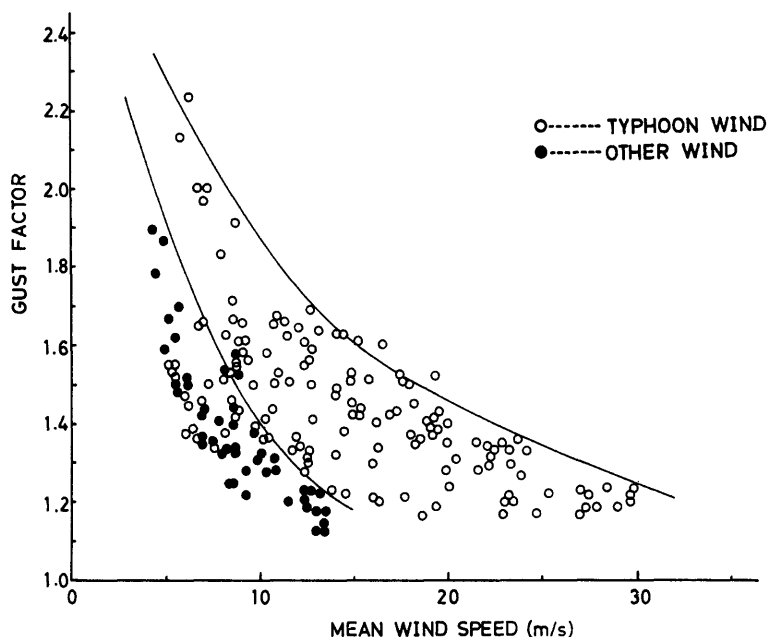


Fig. 2. Gust factor and mean wind speed for all wind directions.

- (1) 乱れの強さは、平均風速の増大とともに小さくなる傾向を示す。
- (2) 乱れの強さの値にばらつきはあるが、平均風速の値に応じて、その上限値が存在するように見える。
- (3) 乱れの強さの値のばらつきは、平均風速の低い方が大きい。

同一風速の下でも、乱れの強さが場合によって大きく異なるのは、そのときの大気安定度、その他が違うためであろう。また、このように点のばらつきが存在するから、少ない観測資料では、一般的傾向をつかむことはできない。観測資料が少なく、一般的な傾向と違って風速の低いときの方が乱れの強さが小さくなるというような例外的な資料ばかりになることもあり得る。したがって、乱れの強さのように、ばらつきの大きい量を検討するには、十分な注意が必要である。

耐風工学上は、乱れの大きい場合が重要であり、上に述べたように、平均風速に対する乱れの強さの上限値が存在するとすれば、この上限値をこそ問題にすべきであろう。このような考えから、乱れの強さの上限値の曲線を仮定して Fig. 1 に記入してみた。台風に対する曲線と、他の風に対する曲線の2つが描ける。突風率についても同様で、Fig. 2 に記入したような曲線が得られる。これらの曲線の示す値を、いくつかの平均風速に対して求め、台風と他の強風との値を比較してみると、およそ Table. 1 のようになる。

台風以外の風については、風速の高い場合の値が得られていないので、高い風速について、台風と他の強風を比較することはできないが、両者の違いは風速の高いところで大きくなる傾向のあることがわかる。また、乱れの強さも突風率も、台風時の方が一般に大きいけれども、台風時と他の強風時との値の比が、風速によって変わるので、単純に台風時の乱れが何パーセント大きいというような表わし方はできない。いずれにしても、両者とも平均風速の値によって大きく変化する。多良間島における地表面粗度は比較的小さいと考

Table 1. Upper values of the gust factor and the intensity of turbulence.

Mean Wind Speed (m/s)	Gust Factor			Intensity of Turbulence		
	(A) Typhoon	(B) Other Wind	(A)/(B)	(C) Typhoon	(D) Other Wind	(C)/(D)
5	2.30	1.90	1.2	0.40	0.31	1.3
10	1.85	1.40	1.3	0.29	0.17	1.7
15	1.60	1.15	1.4	0.22	0.09	2.4
20	1.45	—	—	0.18	—	—
25	1.30	—	—	0.15	—	—

えられるが、Table 1 中の風速の低い場合に対する乱れの強さ、突風率は、都会のような粗度の大きい地点における値と考えられてきたものに近い。

3. 風速のプロファイルを示す巾指数と平均風速

前節の考察は、風向や地上からの高度による乱れの差を無視して進めてきた。さらに詳細な検討をするためには、これらを無視するわけにはいかないが、風向や高度を限定すると観測資料の数が少なくなり、これの考察が困難になる。前述のように乱れの程度を示す指数の平均風速に対する値は、ばらつきが大きく、少ない観測値では、例外的に反対の傾向を示すことさえあるからである。ここでは、前記、台風観測報告書の資料の中で、比較的多くの値の得られている1風向について乱れの強さと突風率を求めてみた。Fig. 3、Fig. 4 に示されている値は、平均風向が北から220°-

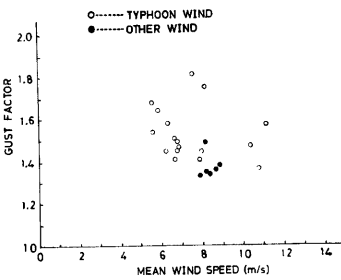


Fig. 4. Gust factor and mean wind speed for the wind direction between 220° and 230° at the height of 7 m.

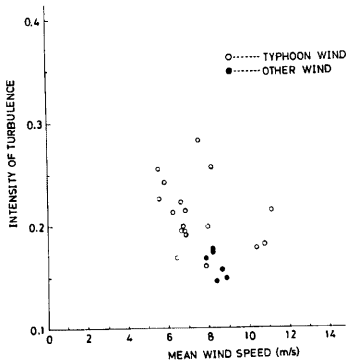


Fig. 3. Intensity of turbulence and mean wind speed for the wind direction between 220° and 230° at the height of 7 m.

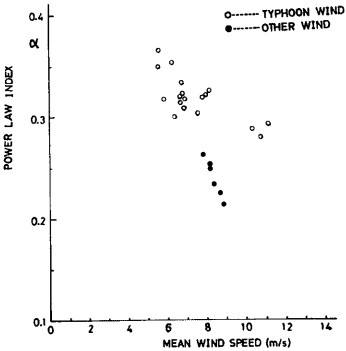


Fig. 5. Power law index of wind profile and mean wind speed for the wind direction between 220° and 230° at the height of 7 m.

230° 間で、地上高 7 m のものに限った。点の数が少なく、特に台風以外の風に関する値は風速 8 m/s 前後しかないで、乱れの強さ、突風率とも、平均風速に対する変化を求めることはむずかしい。しかし、いずれも台風時の値の方が大きいことがわかる。

平均風速の鉛直分布、すなわちプロファイルを示す市法則の指数 α も、乱れの程度を表わす値の一つのである。そこで、上記の風向、地上高度における α の変化を平均風速に対して示したのが Fig. 5 である。 α の値は乱れの強さや、突風率よりも、ばらつきが少なく、その傾向を把握しやすい。台風時の市指数 α は、他の強風時の値にくらべて明らかに大きく、その上限値は平均風速とともに減少していることがわかる。風速約 6 m/sec のときの α の値は 0.35 前後であるが、風速 10 m/sec で 0.3 ぐらい、風速 20 m/sec まで延長して考えると 0.2 ぐらいになるのではないかと思われる。

4. 市指数と乱れの強さ

大気が中立安定状態にあると仮定すれば、風速変動の標準偏差 σ と摩擦速度 u^* との関係は、 A を定数として、

$$\sigma = Au^* \quad \dots\dots\dots(1)$$

と仮定できる。平均風速 $\bar{u}$ の鉛直分布を表わす対数法則によると、

$$\bar{u} = \frac{u^*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 z は地上からの高さ、 z_0 は粗度長、 k はカルマンの定数である。乱れの強さ I は $\sigma/\bar{u}$ であるから、(1)、(2) 式から

$$I = \frac{\sigma}{\bar{u}} = \frac{Ak}{\ln z/z_0} \quad \dots\dots\dots(3)$$

他方、平均風速 $\bar{u}$ の分布を表わす市法則は、基準高度を z_1 、その高さの風速を u_1 とすれば、

$$\bar{u} = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^\alpha = u_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

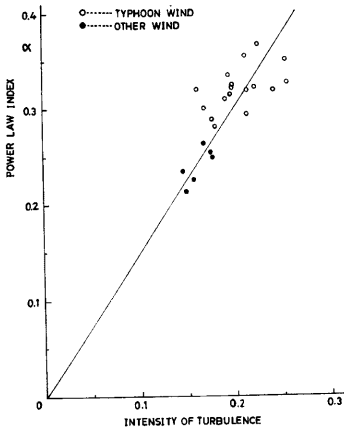


Fig. 6. Relationship between the intensity of turbulence and the power law index for the wind direction between 220° and 230° at the height of 7 m.

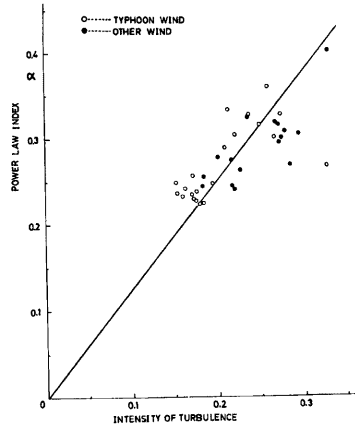


Fig. 7. Relationship between the intensity of turbulence and the power law index for the wind direction between 30° and 50° at the height of 7 m.

(2) 式と (4) 式が高さ z_1 の付近で同一のプロファイルとなるためには⁸⁾

$$n = \ln \frac{z_1}{z_0} \quad \dots\dots\dots(5)$$

(3) 式において $z = z_1$ とし, (5) 式を入れると

$$I = \frac{Ak}{n} = Ak\alpha \quad \dots\dots\dots(5)$$

(6) 式が実際に成立つかどうかを確かめるために Fig. 3 と Fig. 5 の値を用いて, α と I の関係を求めたのが Fig. 6 である。

Fig. 6 中の点は, 多少のばらつきはあるが, 原点を通る直線上に, ほぼ載っており, α と I と比例していることがわかる。Fig. 7 は他の風向についての資料から求めたものである。若干, 離れている点もあるが, 大部分の点は原点を通る直線の近くにある。従って, 近似的には, α と I とが比例するものと見ることができであろう。Fig. 6 と Fig. 7 における α と I との関係から, (6) 式中の k を 0.4 と仮定して A を求めてみると, それぞれ 1.7 と 2.0 になる。この A の値は, 他の方法で従来から推定されている値にだいたい一致する。

5. む す び

本論では, 従来の強風の観測資料等を検討し直しただけであるが, その乱れの性状に関連し, 次のようなことがいえる。

(1) 突風率, 乱れの強さ, 風速のプロファイルを示す^{ベタ}市指数の風速に対する変化を図に表わしてみると, これらの値を示す点は, 大きく散らばるけれども, その上限値をきめることができる。突風率等についての単純な平均値を求めることは, あまり意味がない。

(2) 上記の上限値は平均風速の増加とともに, いちじるしく減少する。従って, 突風率, 乱れの強さ, 風速のプロファイルの^{ベタ}市指数等は地表面粗度による影響もさることながら, 風速の大きさによる変化に注意しなくてはならない。

(3) 上記の事実から, 突風率等の値を正確にきめるには, 同一の場所で数多くの観測を行なわなければならない。

(4) 台風時の風は, 他の原因による強風にくらべて, 一般に乱れの大きい傾向を示す。乱れは, 地表面粗度のみからはきまらない。

(5) ある地点の同一方向の風については, 乱れの強さと風速プロフィールの^{ベタ}市指数がほぼ比例する。

参 考 文 献

- 1) Kitaoka T., S. Soma, S. H. Kikuchibara and M. Onoda: Regional characteristics of high winds for structural design, Papers in Meteor. and Geophys., 22, No. 3-4, 1971, 134-159.
- 2) 相馬清二: 強風の乱流構造, 気象集誌, 42, 1964, 372-396.
- 3) 塩谷正雄: 強風の性質, 開発社, 1979, p. 48.
- 4) 藤本, 大熊, 天野, 赤木, 平松, 飯利: 7920号台風時の建物風圧力および建物振動についての実測結果, その1風の性質, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1980, p. 901.
- 5) Tattelman, P.: Surface gustiness and wind speed range as function of time interval and mean wind speed, J. Appl. Meteor; Vol. 14, 1975, 1271-1276.
- 6) Cramer, H. E.: Use of power spectra and scales of turbulence in estimating wind loads, Meteor. Monographs, Vol. 4, No. 22, 1960, 12-18.
- 7) 台風研究委員会: 多良間島における台風観測研究総合報告書, 中央電力協議会, 1980.
- 8) Ishizaki, H.: Storm frequencies and wind load problems, Proc. Third Inter. Conf. on Wind Effects on Buildings and Structures, 1971, 539-548.