

強風時における突風の拡がりや突風率について

石崎 潑雄・光田 寧

ON THE SCALE OF PEAK GUST AND THE GUST FACTOR

by Dr. Eng. Hatsuo ISHIZAKI and Yasushi MITSUTA

Synopsis

The problem of finding the length and the duration of a peak gust seems to be important for the wind-proof design of structures. It is assumed here that the scale of peak gust is equal to its wind run, and the relation between the scale of peak gust and the maximum wind speed is derived from the experimental relation between the gust factor and the gust duration time, which was obtained by one of the authors before. From the result, we propose the design wind speeds corresponding to the sizes of structures.

1. は し が き

構造物に作用する風力が時間的にも空間的にも一定のものではなく、いちじるしく変化するものであることは、一般によく知られていることである。したがって自然風の風速や風向の時間的変化やその分布を知ることが、構造物設計上、きわめて重要であることも筆者らがすでに述べたところである。この考えから、台風その他の強風時に風力の観測を行ない、その結果を考察して問題の解明をしようとしてきたが、強風時において、多くの点での風を同時に観測することは少なからぬ経費と労力を必要とし、しかも豊富な観測資料を用いないと決定的な結論は得られない。

一般に公表されている風の観測資料でも、構造物の規模の程度、すなわち数米あるいは数十米離れた二つ以上の点における同時観測資料となると非常に少ない。さらに、1秒程度の短時間における風速の変化をもとらえたものはほとんどないといえる。

これに反し、一点における風力の観測は古くから行なわれ、その資料も豊富である。これらの大部分は平均風速の記録であり、瞬間風速として発表されているものでも数秒以上の時間以内における平均風速であるが、上記のような数点の同時観測の資料にくらべればわれわれの利用できるものが多い。よつて、ここでは一点における風の観測資料から、風力の時間的・空間的変化を知るための手がかりとして、突風の拡がりや突風率の値を推算する方法を述べてみたい。

突風率、すなわち平均風速とその観測時間内における最大瞬間風速の値との比に関しては、これを示す式が従来から多くの人々によつて提案されている。しかし、上述のように最大瞬間風速といつても、厳密にはある短い評価時間内における平均風速であり、この評価時間を定めなにかぎり、突風率は種々の値をとり無意味に近くなる。よつて筆者の中の一人は、上に述べた最大瞬間風速の評価時間、あるいは平均風速の評価時間によつて突風率がどのように変化するかを示す式を提案した。この突風率を算定する際の瞬間風速の評価時間は、一点における突風の継続時間を示す一つの数字ともみなし得るから、突風率とこの値から一点に作用する最大風力とその作用時間を推定することができる。

突風の拡がり、即ち風力の空間的な分布を知るためには、二点以上の観測資料が必要である。しかし、もしも自然風の乱れが等方性であるという仮定が成立するならば、突風の拡がり方は、風向方向にも、またそ

れに直角な向きにも一樣であることになる。構造物にとつては風向に直角な面における風力の分布が重要であるから、上の仮定に基づいて、一点に作用する最大風力の作用時間から、これを推算するとどのよなものになるかを以下に示すことにする。

2. 風速評価時間と突風率との関係

さきに述べたとおり突風率は平均風速とその評価時間内に発現した最大風速との比として定義され、すでに多くの人びとによつてその値が提出されているが、風速評価時間と突風率との関係を示す試みは完成していなかった。そこで筆者らの一人は Sherlock¹⁾ 及び Deacon²⁾ の示した実測の結果に基づいて、次のような実験式を得た³⁾。(なお Durst⁴⁾ も最近風速変動の標準偏差を用いて同様な研究を行なっているが、実験式を得るところまでには至っていない。)

Sherlock 及び Deacon の観測結果から、種々の風速評価時間 (S sec) に対応する最大風速 ($V_{\max}$) を用いて突風率 ($G = V_{\max}/V_{\text{mean}}$) を求め、これを表示すると Table 1 のようになる。この場合の平均風速の評価時間 (D sec) は 300 sec である (普通、日本では 600 sec が用いられている)。最大風速の評価時間

Table 1 Ann Arbor (Sherlock, 1952)

風速評価時間 S (sec)	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	p
突風率 G	1.55	1.48	1.42	1.33	1.25	0.069

観測場所：広い草地内の観測塔、観測回数：28、観測高度：50及び75 ft、平均風速：約 15 m/sec、ただし5分間平均

Sale (Deacon, 1955)

風速評価時間 S (sec)		2.0	4.0	8.0	16.0	32.0	p
突風率 G	40 ft	1.52	1.49	1.42	1.31	1.21	0.090
	210 ft	1.23	1.21	1.19	1.16	1.12	0.045
	503 ft	1.16	1.16	1.13	1.11	1.09	0.033

観測場所：広い草地内の無線塔、観測回数：2、観測高度：40, 210, 503 ft、平均風速：17.6 m/sec (40 ft), 23.2 m/sec (210 ft), 27.6 m/sec (503 ft) ただし、いずれも5分間平均

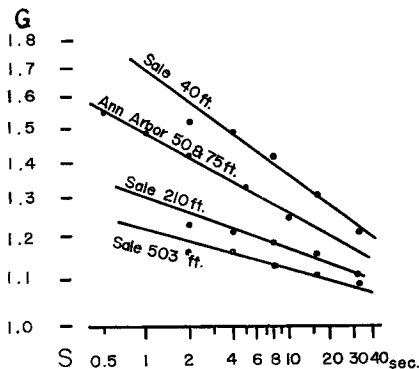


Fig. 1 Variation of gust factor G with gust duration S

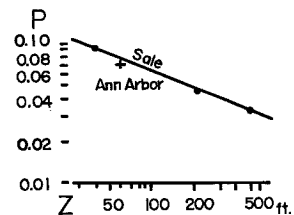


Fig. 2 Variation of p with height Z

が長くなれば、突風率が次第に小さくなることは当然予想されることであるが、この関係を図示するとFig. 1 のようになる。この図からもわかるように、最大風速評価時間 (S) と突風率 (G) との間には近似的に次のような実験式で示される関係のあることが見出される。

$$G = \left(\frac{S}{D} \right)^{-p} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 p は実験的に定められるべき指数であるが、それぞれについて計算した値を Table 1 の中に示した。また、この指数 p の値は高さとともに小さくなつていて、その関係も Fig. 2 に示すとおり、次のような実験式で近似することができる。

$$p = p_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{-0.418} \dots\dots\dots (2)$$

ここでの指数 -0.418 は Deacon の観測に基づいた突風率の値について計算したものであるが、Sherlock の観測に基づいた値もこれとよく一致している。

この2式によつて、任意の風速評価時間、および高度に対して突風率を算出することができる。もちろんこの結果は平らな草地で得られた観測結果に基づいたものであるから、地表の状態の異なつたところではこれとは異なつた値をとることは当然であるが、問題の考察に対してはこのような平地での値を基準として考えるのが適当であろう。

3. 突風の拡がりや突風率の関係

構造物等に対する風圧力の影響を考える場合に、突風の拡がりや問題となることはすでに述べたとおりである。最大風速を生ぜしめるような突風の風向方向の拡がりや、最大風速を評価する時間間隔に空気塊の進んだ距離、すなわち風程であると考えて大過ないと思われる。したがつて、突風の風向方向の拡がり L は、突風率 (G) 風速評価時間 (S) 平均風速 (V_{mean}) によつて、

$$L = S \cdot V_{\text{max}} = S \cdot G \cdot V_{\text{mean}} \dots\dots\dots (3)$$

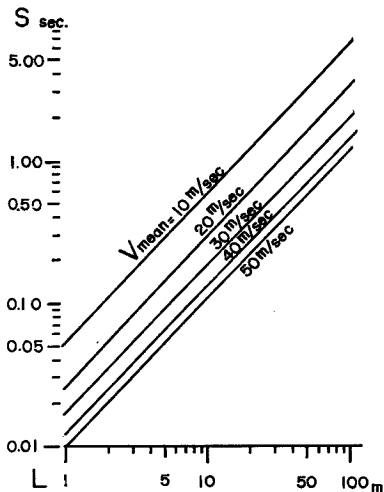


Fig. 3 Variation of gust duration S with the scale of the peak gust L , for various mean wind speeds V_{mean} obtained from Eq. (4), where $D=600$ sec and $p=0.07$

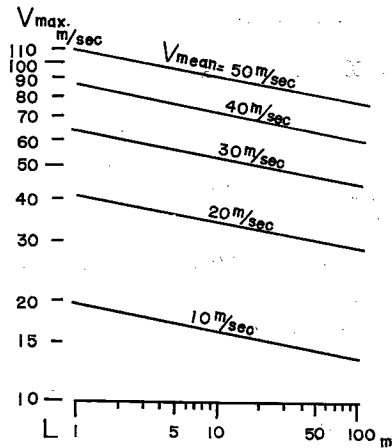


Fig. 4 Variation of maximum wind speed V_{max} with the scale of the peak gust L , for various mean wind speeds V_{mean} obtained from Eq. (5), where $D=600$ sec and $p=0.07$

で示される。この G に (1) 式の関係式を代入して

$$L = \left(\frac{S}{D} \right)^{-\frac{1}{1-p}} \cdot S \cdot V_{\text{mean}}$$

さらに変形すると、

$$S = \left(\frac{L}{V_{\text{mean}}} \right)^{\frac{1}{1-p}} \cdot D^{\frac{p}{1-p}} \dots\dots\dots (4)$$

という関係が得られる。この式は L という長さとも一致するような風程を持つ突風の風速評価時間を示すものであるが、この S は風向方向に L という長さを丁度おつてしまうような拡がりをもつ突風を、1点で見たときの継続時間であると解釈することもできる。

また、 S を用いて L と V_{max} との関係を求めると

$$V_{\text{max}} = V_{\text{mean}}^{\frac{1}{1-p}} \cdot D^{-\frac{p}{1-p}} \cdot L^{\frac{p}{1-p}} \dots\dots\dots (5)$$

となる。結局、これは風向方向に L という拡がりを持つ突風の最大風速を示す式である。

さらに前に述べたように、自然風の乱れが等方性であるという仮定を拡張し、数十米の大きさに達する突風の拡がりも、水平面内においては少なくとも風向方向及びこれに直角な方向に一樣であると仮定する。もしもこの仮定が成り立つならば、大きさ L の突風、即ち長さ L の構造物を同時におおつてしまうような拡がりをもつ突風というものと考えられ、この突風の有する最大風速が (5) 式から計算される。この最大風速による風力が構造物全体に同時に加わることになるから、構造物の長さに応ずる最大風速あるいは最大風力を推算できることになる。

前述の結果を用いて高度約 20 m における p の値を 0.07 とし、10分間平均風速 V_{mean} ($D=600\text{sec}$) を種々の値にとつたとき、長さ L をおおつてしまうような突風の継続時間を (4) 式から求め、結果を図示すると Fig. 3 のようになる。また同様の場合について長さ L と最大風速の値 V_{max} との関係を (5) 式によって求め、これを Fig. 4 に示した。Fig. 3 および 4 からわかるように、たとえば平均風速 40 m/sec とすると、拡がり 5 m をもつ突風、すなわち長さ 5 m の構造物に同時に作用する突風の継続時間は約 0.07 sec となり、その最大風速の値は 75 m/sec となる。

4. あ と が き

上述のように、一点における観測の資料に基づいた考察から、突風の拡がりを推定し、任意の長さを持つ構造物に同時に作用する最大風力を推算するための関係式を導くことができた。しかし、さきにも述べたとおり、突風の拡がりに関する実測資料がほとんどないために、この結果を検証することは今のところ不可能である。したがって、これは一つの仮説に過ぎず、将来さらに修正を必要とすることは当然であるかも知れないが、このような関係がほとんど得られていない今日においては、一つの目安を与えるものとしての意義はあると思う。

なお、筆者らは今後さらに突風の空間、時間的構造について実測を行ない、研究を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) Sherlock, R. H.: Variation of Wind Velocity and Gusts with Height, Proc. Amc. Soc. Civ. Eng., Vol. 78, No. 126, 1952.
- 2) Deacon, E. L.: Gust Variation with Height up to 150 m, Quart. J. R. Met. Soc., Vol. 81, No. 350, 1955.
- 3) 光田寧: ガストファクターについて, 日本気象学会秋季大会, 1959.
- 4) Durst, C. S.: Wind Speed over Short Periods of Time, Met. Mag., Vol. 89, No. 1056, 1960.