防風櫓の機能に関する研究*

— 模型防風櫓の風洞実験 (その3) —

谷 信 輝

(農林省農業技術研究所気象科)

On the mechanism and effect of shelter-hedge.

Wind tunnel test of the model hedge (Part 3)

N. TANI

(National Institute of Agricultural Sciences, Division of Meteorology)

1. ま え が き

著者は前報 (谷 1952) において、隙間のない防風櫓について、その高さ及地面粗度の櫓後風速分布に及ぼす影響を論じたが、今回は隙間のある場合について行つた実験について述べる。防風櫓は多少隙があつて風を通す方が効果が大きいと云われているがその理由については未だ詳かでないのでその一部を明らかにしようと試みた。しかしながら現在境界層内に於ける乱流拡散現象に関する理論に乏しく、多くは実験によりその大体をうかがつてゐるに過ぎない。防風櫓効果を負運動量の拡散として取扱う場合には上記の困難にぶつかり、又櫓に隙間のある時には隙の割合大きさ等によつて異なる新たな乱流場が形成され、それと外部の乱流場との相互作用により、甚だ複雑な様相を呈するであろうということが予想される。従つて現段階でははつきりした理論に基く定量的な結果は期待出来ないが、実験によつて定性的な結果が得られたのでそれについて述べよう。

2. 実験装置

大要は前報と同様であるが、風洞中央に水平に取付けた平板の長さを増加して 5.4 m とした。風速計は外径 3 mm のビトー管を用い、それらを平板からの距離を 1.5, 3, 10, 17, 30, 50 cm (櫓高の 0.17, 0.33, 0.56, 1.11, 1.89, 3.33, 5.56 倍) に垂直な柱に取付け、その柱を水平に、櫓高の 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30 倍に移動して水平、垂直の平均風速分布を測つた。ビトーの総圧及静圧は 30° 傾斜多管マノメーターで読取り計算により風速を求めた。

模型防風櫓は平板の前端より 1.5 m の所に取付け、高さ 9 cm, 長さ 180 cm としトタン板の帯と針金とを組合せて各種作つた。供試したものは全部で 16 種でその諸元については第 1 表に掲げる。

Table 1.

	Width of strips <i>d</i>	Slits <i>S</i>	Screening Ratio	Drag- coefficient <i>C_d</i>	$\sqrt{C_D \cdot d}$
	mm	mm			
A	1 タテ 15	60	20 %	0.6	12
	2 // //	15	50	1.0	15
	3 // //	3.75	80	2.2	22
B	1 // 10	40	20	0.4	6
	2 // //	10	50	0.9	9
	3 // //	2.5	80	2.1	14
C	1 // 5	20	20	0.7	4
	2 // //	5	50	1.2	6
	3 // //	2.5	66	1.3	6
D	1 ヱコ 10	30	25	0.4	7
	2 // //	10	50	1.0	10
	3 // //	3.3	75	1.8	13
E	1 // 5	15	25	0.5	3
	2 // //	5	50	1.3	6
	3 // //	1.67	75	2.2	7
F	∞	0	100	2.4	∞

3. 実験結果

(1) 抵抗係数 C_D の計算 風速に勾配のあるような流れの場にある物体の抵抗係数は、基準風速のとり方によつて C_D も変るから、ある高度の風速に対する C_D という様に決めなければならない。地表風に対する地面の抵抗係数 C_f の場合にも同様なことが云える。ここでは大体櫓の高さに於ける風速で代表させることとする。抵抗を求めるには、防風櫓にかかる力を測定すれば良いわけであるが、その測定は容易でないので後流内の速度損失より計算して求める。即ち抵抗を D とすれば

$$D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho U_S^2 h \cdot b = \rho \iint u_z (U_z - u_z) dz db$$

ここで ρ : 空気の密度, U_S : 基準風速, h, b : 防風櫓の高さ及長さ, U_z, u_z : 夫々無櫓時, 有櫓時の高さ z に於ける風速とする。従つて

$$C_D = \frac{2 \int u_z (U_z - u_z) d(z/h)}{(U_S)^2}$$

* 昭和 28 年 8 月 1 日, 関東支部例会にて発表

として C_D が求められる。ここで計算に用いた値は U_s として 10 cm 高の風速を, U_z, u_z として 檣後 20 h の所で測定した値を用いた。この式は檣後の静圧の変化に対する補正がなく, 基準風速として 10 cm 高の風速を用いたこと等で, 他の場合にも適用出来るとは思はないが, 今回の実験相互間の比較に用うるに差支えないと思う。

(2) C_D と密閉度 防風檣全体の面積のうち, その構成材料で占められている面積の割合を密閉度とする。即ち密閉度 100% とは, 孔隙のない平板をいうのであり, 0% は何もないことをいう。この密閉度と前に求めた C_D との関係は測定の誤差が大きいため大分点が散る様ではあるが大体直線関係の様である。又この関係は U が変わっても変わらない様であり, 格子相互が作用し合う程細くなり, 又風速も大となると C_D が急に変る様になることも考えられるが, 今回やつたうちではその様なことは見られなかった。

(3) 檣後の風速分布 前報に於いて防風檣の防風効果を檣高 1/2 の所の風速で表わしたが, 檣後の風速水平分布を論ずる場合も同様にこの高さに於ける風速の分布を用うることとする。この高さの状態と地表面上とは多少の差があるが, 面近くの風速を測定することは困難であるし, 表面附近の方が風速は低いから実用上差支えないものとした。

防風檣の防風効果とは, 防風檣が平均流から抵抗という形で運動量を取り, 檣後に風速の低い部分を作ることである。いいかえれば, 防風檣は地面上に負運動量の湧源として存在し, そこで発生した負運動量が檣後の乱流によつて拡散されて行き, 風速は次第に回復して行くものと考えることが出来る。

一般に拡散の場合の濃度の分布は

$$C = f(Q, K_z, x, z)$$

で表わす。 Q は湧源の強さ, K_z は垂直拡散係数, x, z は湧源からの距離, 地面から高さである。

壁の影響のない自由乱流中では C は Q に比例し, x の n 乗に逆比例し, その n の値は $1 \geq n \geq 1/2$ であることが知られている。又 Sutton の平坦草原に於ける無限長連続線源の煙の拡散の実験

(1945) では, 風下側の最大濃度の分布は x の 0.9 乗に比例して減少しゆくという。煙の実験ではその乱流場を乱さずに拡散が行なわれるのであるが防風檣の場合では, それによつて新たな乱流場が形成されるためにその場合と異なる様相を示すものと思われる。煙, 粉末等の拡散では C として濃度 (例えば mg/m^3) をとれば良いが, この場合は負運

動量の拡散であるから C として運動量をとる。測定の結果を第 1 図に示す。

x が 5~7.5 h 以内に於いて点が散つているのは, その範囲内では檣の構成材料個々の影響のため風速計の位置による風速の差が大きく現われること, 無風又は逆風になつてピトー管では測れないこと等によるものと思われる。7.5 h 以上になればそれらが完全に混合され防風檣全体としての効果を示すもの様である。図に示される如く, A, B, C, D, E, 何れも同様であるが各檣共 1, 2, 3 の順に並んでいて同じ巾の材料で出来ている檣は略平行になつていることが判る。これらのことから風速分布は x の極く小さい範囲を除いて

$$U - u = \frac{\text{Const. } Q}{x^n}$$

と表わせることが判る。

湧源の強さ Q は線の位置を決める。この Q に関する量は風速 U 及防風檣の抵抗係数 C_D であるから, 従つて

$$Q = f(U, C_D)$$

となり, Q は U が大きい程大きく, 又 C_D が大きい程大きいことは判るが, その函数形を決める程には至っていない。

Fig. 1. The horizontal distributions of wind velocity behind the model hedges.

次にその線の傾斜を決めるものを考えて見る。この傾斜は櫓によつて生じた乱流場の拡散能力を表わす様なもので、傾斜の急なものは拡散大きく速かに防風効果がなくなることを意味している。風洞気流の拡散係数について実験的に次の式が求められている。

$$K = \text{const.} \cdot \sqrt{C_D} \cdot U \cdot d$$

d は風洞に取付けられた格子棒の太さを表わし、 C_D は格子の抵抗係数を表す。これと同様なことが防風櫓についても云えるものとすれば、櫓後の気流の拡散係数は櫓の抵抗係数と櫓を構成している材料の巾とによつて決まるということになる。即ち C_D の大きい程、或は d の大きい程、拡散は大であり、風速分布の式の n が大となる。例えば B 櫓について見ると、1, 2, 3 の順に C_D が大きくなるにつれ、その傾斜も大になつてゆくことが判る。又 A-2, B-2, C-2 は夫々密閉度 50% で C_D も大体同じ様な値を示しているが、 d の値が大きくなると n も大きくなつてゐる。特に d が極めて大きくなつた場合即ち孔隙のない櫓では n も最大を示し (F 櫓) 防風効果は急激に消滅する。

A, B, C 櫓は何れも材料をたてに組だものであるが

D, E 櫓は横に組だものである。材料の巾 d は夫々 B と D, C と E は同じで略同じ傾向を示しているが、多少の差がある。これは測定 of 誤差によるものか乱流構造の差によるものかは今後の実験で検討したい。

4. むすび

風洞に於いて種々の隙間のある模型防風櫓について測定を行い、防風櫓の効果について調べて見た。その結果効果の大きい防風櫓にするには成る可く密閉度を高くして C_D を高め、又櫓を構成する材料をなるべく細くした方が良いことが判つた。

尙詳細な構造、櫓に近い所の状態、乱れの分布等について研究を進める必要があり、今後その方向に向うつもりである。終りに本実験を行うに当り御指導を賜つた井上技官、及び援助して頂いた今井、堀部両技官に感謝の意を表する。

文 献

- 谷 信輝 (1952) 模型防風櫓の風洞実験 (II)
農業気象, 7 (3,4) 134—136.
井上栄一 (1952) 地表風の構造, 農研報告 A (2).
Sutton, O. G. (1949) Atmospheric Turbulence.

Résumé

The horizontal distribution of wind velocity behind the model hedges set on a flat plate at right angles to the wind-tunnel flow, was measured by means, of 7 Pitot tubes and inclined manometers. The model hedges under test have the height of 9 cm and the length of 180 cm being made of strips of thin sheet iron and wires, and they have several kinds of slits and strips, as is shown in Tab. 1.

The drag-coefficients C_d of the hedges are calculated from velocity loss in the wakes. The relation between C_d and screening ratio is shown to be linear, i. e., the higher the ratio the larger becomes C_d .

Being assumed that the hedges are continuous infinite crosswind line sources of minus momentum, the wind velocity deficiency at certain height is expressed by the relation

$$U-u = \frac{\text{const. } Q}{x^n}$$

where u and U denotes the wind velocities at a certain height with and without hedge, respectively, Q is the strength of source, and x is the distance from the hedge.

The large value of $(U-u)$ means that hedge has the high ability of wind break. It is shown that Q can be related to U and the drag coefficient C_d of the hedge and that Q increases with C_d .

Since the exponent n in the above relation can be related to the ability of diffusion in the flow behind the hedge, it is shown that the small value of n is related to the small diffusion and hence, that when n is small the effective zone of wind break is wide.

The eddy diffusion coefficient in a wind tunnel flow is known to be expressed by

$$K = \text{Const.} \cdot \sqrt{C_d} \cdot U \cdot d,$$

where d is the characteristic scale of grids. Assuming that this formula can be applied even to the flow behind the hedge, n is shown to be the function of C_d and d . The practical examples supporting this supposition are presented for hedges of same ratio but of different d , which give rise to different n .

It is concluded eventually that the hedge must have not only the high screening ratio but also the small d in order to be effective as much as possible.