

防風林による風蝕の防止

Hajime IZUKA : Wind Erosion Prevention by Windbreak.

農林技官 飯塚 肇

目 次

1 緒 言.....	95
2 観測地の状況.....	96
3 飛塵測定器（捕砂箱）.....	97
4 捕砂箱入口の風速.....	99
5 飛塵の観測.....	103
6 表土の含水率と限界風速.....	109
7 飛塵防止に対する防風林の効果.....	118
8 摘 要.....	126
写真説明.....	133

1 緒 言

この研究は、関東ローム地帯に見られる風蝕、即ち強風による表土の飛散の状態を観察し、之に対する防風林の阻止機能を明らかにするために行つたものである。観察に当つて、種々の事情のために、充分な資料が得られず、従つて得られた資料では、適確な結論を得るに充分でない憾みがあるが、従来この種の研究は殆ど取りあげられていなかったもので、とにかく得られた資料に基いて考察を行い、発表することとした。足りないところは、後日の観測補正に俟ちたい。

この観測は、防災部風害研究室が昭和 24 年 4 月 8 日から 12 日迄の 5 日間、群馬県新田郡桔梗ヶ原開拓地で行つたものであつて、観測に当つては、群馬県林務部の田村治山課長、長谷川、矢板両技師の非常な御援助を頂き、又桔梗ヶ原開拓農業組合の熱心な御協力を受けた。尚取り纏めに当つて、風洞実験（風洞実験に就いては理工学研究所河田研究室の御好意によるところが多い）及び風速と風の乱れの整理は高桑技官及び檜山徳治氏が、又土壌分析は大政、黒鳥両氏の御指導を頂いて高橋助手が行つたのであり、計数の整理と図版に就いては笹沼たつ氏を煩わしたところが多い。こゝに記して深甚の謝意を表する。

2 観測地の状況

開拓の進展に伴つて、各地でかなり纏つた面積の開墾が行われている。群馬県の赤城山を中心とする地方にも、数多くの開拓地が設けられているが、之が赤城の裾野として展開する傾斜地帯では、激しい土地の侵蝕と風害に悩まされ、南部の裾野に連がる新田、佐波両郡地方の平野では、冬期から春先にかけての強い西北の季節風によつて惹起される色々の被害に悩んでいる。之は当初防風林を考えなかつたためである。その被害の一つに表土飛散の害が数えられる。

越後、信濃の国境山脈を越えて吹き下して来る強い冬の季節風は、赤城、榛名、の両山によつて形づくられている渋川附近の平野地帯を吹き抜けて、猛烈な勢で新田、佐波の広い平原に吹きつけて来る。その為にこの地方の農家は必ず居宅の周囲に屋敷林乃至防風林壁を設けて居り、畑の周囲も樹列又は桑樹等で保護している。

洪積土上に火山灰砂が厚く堆積したこの平野では、雨の少い冬期から春先にかけて、土地が乾燥した状態にある時に、強い風が吹き募ると、殊に開墾地では、表土は風に吹き飛ばされて大量に移動し、蒔いた種は行方不知れず、桑さえその根を露出し、麦は飛砂に埋められて十分な生長が期待されない。甚だしい場合は営農は成立しないと言つてよい位である。

火山灰砂即ち関東ロームは、砂よりも軽く、比重は概ね2.4で、砂と異つて甚だ飛散しやすい。

観測を行つた場所は、新田郡生品村桔梗ヶ原開拓地で、開拓地の面積は350町歩であり、こゝは元“あかまつ”（胸高直径30cm程度）と“くぬぎ”の林であつたのであるが、昭和23年当初、開拓の開始と共に殆ど全部伐採してしまつて、現在は荒漠とした平坦な耕地に變つてゐる。従つて、冬の季節風の時期には、猛々たる砂塵に蔽われて、殊に風の強い日には畑仕事も出来ない程である。

この地方の季節風の進路である前橋測候所の観測でみると

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平均風速 m/s	4.6	4.7	4.7	4.2	3.3	2.7	2.4	2.4	2.4	3.0	3.8	4.3
最多風向	NNW	NNW	NNW	NNW	NNW	ESE	ESE	ESE	NNW	NNW	NNW	NNW

即ち12, 1, 2, 3, 4の各月は、北北西の季節風が吹き荒ぶのである。一方降雨量は12, 1, 2, 3の各月は50mm以下、4月は100mm以下の寡雨期であり、乾燥した表土は飛散しやすい状態にある。尙、この時期の日々の風速、風向及び雨量は附表(1)の通りである。生品地方では2~3日北北西の猛烈な風が吹いて、之が南風になると風は和らぎ、次に小雨が降る。月によつても異なるが大体そうした状態が繰り返されているのであつて、降雨で湿つた表土

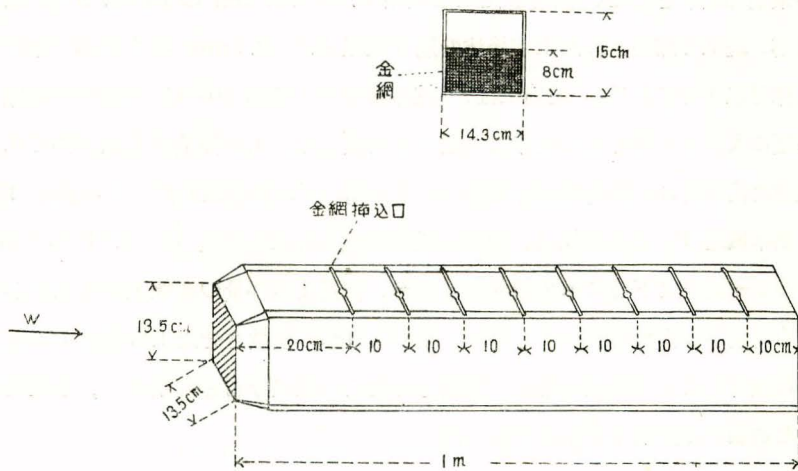
も翌日の強風で忽ち乾燥してしまうのである。今度の観測は4月8日から始めたのであるが、前々日から強風が吹き荒れて居り、9日はやゝ風速に衰えをみせ、10日は穏やかな南風に変り、11日には11.1mm程度の雨があり、12日には又強い北北西風に変つている。

この地方の作物は小麦を主とし、其の他馬鈴薯、西瓜、甘薯、陸稻、南瓜、メロン、茄子、胡瓜、大根、白菜であるが、小麦の収穫は反当り2俵と言う貧弱さである。殊に今年は、寒害、風害で更に不作の見込である。

3 飛塵測定器 (捕砂箱)

飛塵の測定には色々な方法が考えられているが、今回の観測では第1図のような木箱を用い

第1図 飛塵測定器



た。箱の入口は一边内法 13.5 cm の正方形で、入口はナイフェツヂになつて居り、なるべく入口に於ける空気抵抗を減じて、渦流による攪乱を少くせんとした。箱の長さは 1 m で、入口から 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm の 8 ケ処に金網を挿入するようにしてあるが、今度は 20 cm のケ処には金網を入れず、他の 7 ケ処に金網を入れて、之で風速を減じ飛塵を捕捉しようとしたのである。金網は 14.3 cm × 16 cm の大いさの枠に高さ 8 cm に金網を張り、30 cm, 50 cm, …………… と奇数の個処には金網を張つた部分を下にして、偶数の個処には逆に挿入した。実際に使つてみると、この 7 個の金網で飛び込んだ土砂を大体捕捉し得るようであるが、次の箱の中の土砂分布 (地上に据えたもの) や、後に述べる箱の内部の風の動きを考えると、僅少のものは箱を通過して外に飛び出すのではないかと考えられ、殊に 1 mm 角の金網目を通過する小径粒土にそれが多いものと思われる。

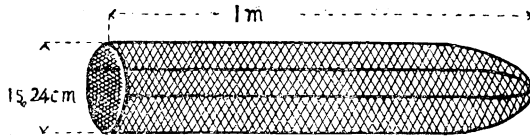
fig. 1



尙、箱を使つた場合のこの飛塵の吹き抜けを考慮して、入口面積と長さを箱と同じにとつたやゝ目の粗い人絹の袋を使つてみたが、之は風にあふられて、折角入つた土砂が再び跳び出す

ものが多くて不成功であつた。

fig. 2



そこで、この装置によつて飛塵の捕捉率について簡単な実験を行つてみた。即ち、捕砂箱を水平に置いて、之に廻転数調節装置付きの送風機から風を送り、箱の入口からよく乾燥した土

を少量宛挿入して箱の内部へ飛散させ、箱内に残留した土の量と挿入した全土量との比を以てこの装置の飛塵捕捉率とした。使用した土は粒径 $0.6 \sim 0.07 \text{ mm}$ のものが 70% 以上のローム土であるが、現地で捕捉された土が後述の通り粒径 $0.7 \sim 0.1 \text{ mm}$ のものが 70% 以上であつた点と大体対応させてある。使用土は、乾燥器中で7日間 105°C に保つて乾燥したものを、ガラス瓶に入れゴム栓をして保存して置いて実験した。土の秤量は上皿天秤で 0.1 瓦迄測定した。風速は箱の出口に風向風速計を置いて3分間の平均値を求めた。この値を V_e' とし、之と外部の標準風速 V_s との関係は、後述の風洞実験から求めた式 $V_s = 1.7V_e' + 1.86$ によつて定めた。測定の結果は下表に示す通りであるが、装置及び秤量の関係上挿入土量が少くなる程捕捉率の有効数字の桁数が減少するので、箱の入口から飛散させた土の量は 1 瓦迄とした。尙、箱の中に残留した土の粒径分布は、飛散させた土の粒径分布と大差なく、小粒径のものが特によく箱を通過する結果とはならなかつた。

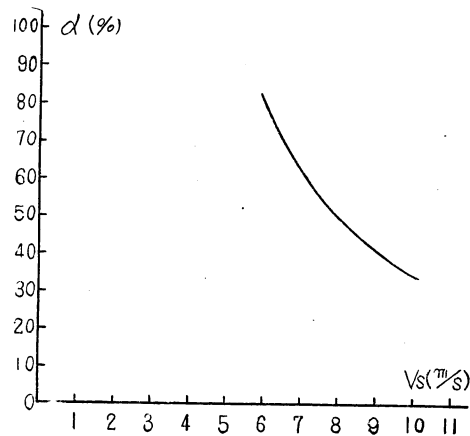
全 飛 散 土 量 (瓦)	1	{ 外部標準風速 V_s (m/s)	6.02	8.11	9.68	10.04
		{ 捕 捉 率 α (%)	90	50	50	50
	5	{ 外部標準風速 V_s (m/s)	5.92	8.01	8.24	9.93
		{ 捕 捉 率 α (%)	80	52	50	36
	10	{ 外部標準風速 V_s (m/s)	5.92	8.16	9.56	9.84
		{ 捕 捉 率 α (%)	76	45	39	36
	15	{ 外部標準風速 V_s (m/s)	6.02	8.14	10.04	—
		{ 捕 捉 率 α (%)	78.3	45.3	32.7	—
	50	{ 外部標準風速 V_s (m/s)	10.17	—	—	—
		{ 捕 捉 率 α (%)	29.2	—	—	—

表中の全飛散土量 1 瓦の場合は、有効数字が 1 桁であり、又他の場合との偏差が殊に大きいので、これを除外して平均をとると、

外部標準風速 V_e (m/s)	5.95	8.14	9.92
捕 捉 率 α (%)	78	48	35

実用上この値を図上につないで、この装置による飛塵捕捉率を定める事とした。これを第2図に掲げて置く。

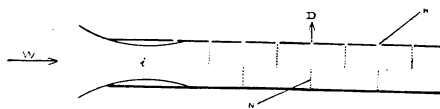
第 2 図. 飛塵捕捉率と風速との関係



4 捕砂箱入口の風速

箱の内部の空気の流れを考えると、

Fig.3

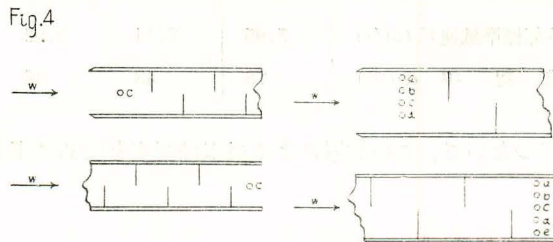


箱の入口では、中央部の空気の流れは軸線に沿うて流れるが、その周りの流れは求心的となり、 i で最小断面を生じ、従つてここに最大風速が現われることになる。その後方に墙壁がなく、又壁面の摩擦損失も省略し得る程度のも

のであれば、得られた最大風速 v_i は、箱の出口に伝えられる筈であるが、金網Nによつて風速の減退を繰り返し、出口では v_0 なる風速になる。

さて、外部から v なる風速で箱に入つた空気は、入口で v_i なる最大風速を持つべきであるが、後方の墙壁による風速の抑制によつて、内部の圧力を増大し、 v_i は外部の風速 v よりも小さいものになる。ところで、箱に入る空気量と箱から出る空気量は等しくなければならぬから $v_i = v_0$ であるべきであるが、次に述べるように、風洞実験の結果は v_i は v_0 に等しくないことを示している。之は箱の内部の圧力の増大によつて金網を挿し込む間隙 H から $D(\Sigma D = v_i - v_0)$ なる量の空気が外部に押し出されるために生ずる損失と思われる。

風洞実験では次の9点を測つた。



図中 c は, fig. 3 の i に当る部分であり, c' は fig. 3 の 0 に当る。

測定の結果は次の通りである。

第 1 表

	V_c m/s	V_s m/s	$V_c/V_s \times 100\%$
第 1 回	3.025	4.910	61.60
	3.859	6.288	61.37
	4.586	7.308	62.75
	4.808	8.327	57.73
	5.505	9.398	58.57
	6.449	10.821	59.59
第 2 回	2.147	2.583	83.12
	3.205	5.362	59.77
	3.987	7.058	56.48
	4.808	8.327	57.73
	5.215	9.427	55.31
	5.776	10.308	56.03

V_c は c の風速

V_s は箱の外の風速

第 2 表

	$V_{a,b,c,d}$ m/s	V_s m/s	$V_{a,b,c,d}/V_s \times 100\%$
a	3.987	7.156	55.71
b	3.987	7.156	55.71
c	4.237	7.156	59.20
d	4.237	7.156	59.20

第 3 表

$V_{c'}$ m/s	V_s m/s	$V_{c'}/V_s \times 100\%$
4.808	11.466	41.93
3.923	9.372	41.76
3.205	8.013	39.99
1.894	5.776	32.79

第 4 表

	$V_{a'}.b'.c'.d'.e' \text{ m/s}$	$V_s \text{ m/s}$	$V_{a'}.b'.c'.d'.e' / V_s \times 100\%$
a'	5.994	9.507	63.04
b'	5.314	9.722	54.65
c'	3.923	9.507	41.26
d'	4.237	9.507	44.56
e'	4.237	9.722	43.58

第1表でわかる様に、C点の風速の標準風速（箱の外の風速）に対する割合は、標準風速の大小によつて異なり、 V_c と V_s の関係は直線式 $V_s = 1.94V_c - 1.16$ で示される。

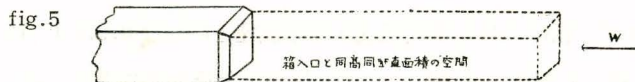
又第2表のように、標準風速を一定にして、c点をかえて測ると、最初の金網の入っている側のb, aの風速は、然らざる側のdの風速より小さいが、cとdとは同じ風速を示している。即ち、cを中心にして、最初の金網のある側とない側との風速の比は0.94:1であり、夫々の風速を持つ面積の比は2:3である。従つてc位置の風速を飛塵が箱に飛び込む風速と考えると、箱の入口の風速と標準風速との比は、

$$k \cdot V_c : V_s = 0.976 V_c : V_s \dots \dots \dots (1)$$

となる。

第3表でみると、箱の出口中心部c'の風速の標準風速に対する割合は、cと同じく、標準風速の強弱によつて異なり、 $V_{c'}$ と V_s の関係は同じく直線式 $V_s = 1.97 V_{c'} + 1.86$ で示される。c'の風速はcのそれよりも小さく、標準風速8m/sの時、c点の風速は4.75m/s, c'の風速は3.1m/sである。之は前述の箱の構造による入口から出口迄の間の風量の損失と、風向に対して箱の後部に生ずる渦流による風速の抑止によるものであると考えられる。第4表によれば、箱の出口に於ても入口と同様に、最後の金網の側では風速が弱く、反対側では強いが、その比は入口と異つて反対側の壁近くで特に大きくなつてゐる。

さて、こゝで入口のc位置に更にeを加えて、その風速を $e=d$ とすれば、入口の平均風速の標準風速に対する割合は57.80%で、出口の夫れは49.42%になる。この入口と出口の風速の差に相当する空気量は、間隙Dから外部に押し出される。



飛塵の速度を考えるのに、粒子は空気中で気流の乱れによつて垂直上方への揚力を受け、之が重力と釣り合った状態にあり、常に水平方向に動くものと見做す。風圧を f , 粒子の質量を m , 速度を v とすれば、粒子の運動方程式は、

$$f = m \frac{dv}{dt}$$

風速を v_0 , 風に直角な方向への粒子の正射影を S とすれば、 f は次式で表わされる。

即ち

$$f = C_x \frac{1}{2} \rho (v_0 - v)^2 S$$

ここに

C_x = 抵抗係数

$$\rho = 0.0012 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{空気密度})$$

従つて

$$C_x \frac{1}{2} \rho (v_0 - v)^2 S = m \frac{dv}{dt}$$

$t=0$ の時 $v=0$ として積分すれば、

$$v = v_0 - \frac{2 m v_0}{C_x \rho S v_0 t + 2 m}$$

今、粒子を半径 r の球とすれば、

$$S = \pi r^2, \quad m = \frac{4}{3} \pi r^3 \sigma, \quad C_x = 0.5, \quad \sigma = 2.4 \text{ g/cm}^3 \quad (\text{粒子の重量})$$

之等の値を上式に代入すれば、

$$v = v_0 - \frac{9.6 v_0 r}{0.0009 v_0 t + 9.6 r}$$

風速 $v_0 = 8.0 \text{ m/s}$, 粒子の半径 $r = 0.15 \text{ mm}$ とすれば、 v と t との関係は下表のようになる。

t (秒)	1	30	60	120
v (m/s)	6.67	7.95	7.97	7.99

$$v_0 = 8.0 \text{ m/s}, \quad r = 0.15 \text{ mm}$$

更に r の変化に應ずる v の値は、 $t = 30$ 秒の場合下表のようになる。

r (mm)	0.3	0.15	0.1
v (m/s)	7.89	7.95	7.96

以上の考察により、飛塵粒子の速度は静止から 30 秒後程度で大体風速に等しくなると考えても差支えないものと思われる。従つて粒子の速度はすべて風速に等しいと見做せば、一定時間の飛塵量はその時間内の平均風速に比例するものと考えられる。

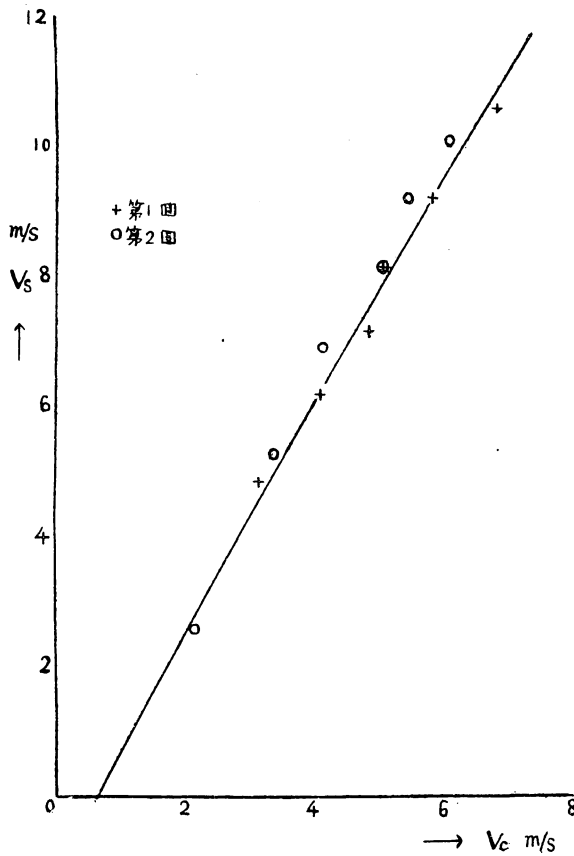
今、fig. 4 に於て c 点及び箱外の飛塵量を夫々 M_c, M_s とすれば、

$$M_c = M_s V_c / V_s \dots \dots \dots (2)$$

前述の (1) 式によつて、箱の入口の平均風速と標準風速との比は $0.976 V_c / V_s$ であるから、第1表による直線式 $V_s = 1.94 V_c - 1.16$ によつて風速比を算出する場合に箱の入口に於ける平均飛塵量 \bar{M}_c は (2) 式より、

$$\bar{M}_c = M_s \frac{0.976 V_c}{V_s} = M_s \frac{V_c}{V_s} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

第 3 図 飛塵測定器入口の風速 (V_c) と標準風速 (V_s) との関係

5 飛塵の観測

(1) 第1回観測

4月8日は午後3時頃迄は風もさほど強くはなく、風の出るのを俟っていたが、3時過ぎる頃から風がやや強くなったので、3時20分から観測を始めた。捕砂箱は予め観測位置に垂直高別に設置して、観測開始迄は入口に蓋をして置いた。観測時間は午後4時20分迄1時間である。箱は入口を風向に向けて、入口の中心が地上0.07m, 0.5m, 1m, 1.5m, 2m, 2.5mになるように置いた。観測の結果は次の通りである。

第 5 表 飛塵垂直分布表

垂直高m	粒径mm	2.5	2.5~1.42	1.42~0.71	0.71~0.41	0.41~0.20	0.20~0.10	0.10~0.02	0.02以下	計	記号
	重量g 及び%										
0.07	重量g	0.37	0.10	5.75	22.05	23.50	14.25	3.65	1.50	70.47	a
	%	0.53	0.14	8.16	31.29	33.35	20.22	5.18	2.12	100	
0.5	重量g	—	0.01	0.02	0.67	0.50	0.30	0.16	0.19	1.85	b
	%	—	0.54	1.08	36.21	27.03	16.22	8.65	10.27	100	
1.0	重量g	—	—	0.06	0.07	0.05	0.10	0.02	0.01	0.31	c
	%	—	—	19.35	22.58	16.13	32.26	6.45	3.23	100	
1.5	重量g	—	—	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.01	0.18	d
	%	—	—	16.67	16.67	22.22	16.67	22.22	5.55	100	
2.0	重量g	—	—	—	0.10	—	0.10	0.02	0.01	0.23	e
	%	—	—	—	43.48	—	43.48	8.69	4.35	100	
2.5	重量g	—	—	0.07	0.20	0.20	0.15	0.04	0.01	0.67	f
	%	—	—	10.45	29.85	29.85	22.39	55.97	1.49	100	

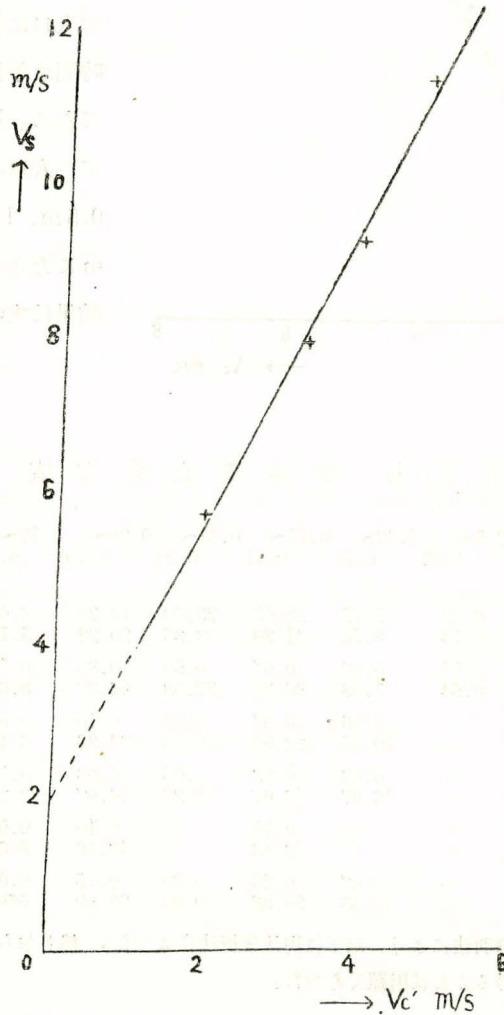
粒径 0.10mm 以上は篩別法により、以下は淘汰分析法によつた。然し乍ら、後者はその量極めて少く、正確な数字を得ることは困難であつた。

上表は粒径分布を重量で表わしたものであるが、之を粒数からと考えてみたい。飛塵を一樣

に球と考へて、 $\frac{1}{6}\pi d^3$ から次のようにその体積と重量を計算した（ロームの比重を 2.4 とする）。

粒 径 mm	体 積 cm ³	重 量 g
2.5 以上	8.17×10^{-3}	1.9608×10^{-2}
2.5~1.42	3.94×10^{-3}	9.456×10^{-3}
1.42~0.71	6.4×10^{-4}	1.536×10^{-3}
0.71~0.41	3×10^{-5}	7.2×10^{-4}
0.41~0.20	2×10^{-5}	4.8×10^{-4}
0.20~0.10	2×10^{-6}	4.8×10^{-5}
0.10~0.02	7×10^{-7}	1.68×10^{-6}
0.02 以下	4.2×10^{-9}	1.008×10^{-8}

第 4 図 飛塵測定器出口の風速 (V_c') と標準風速 (V_s) との関係

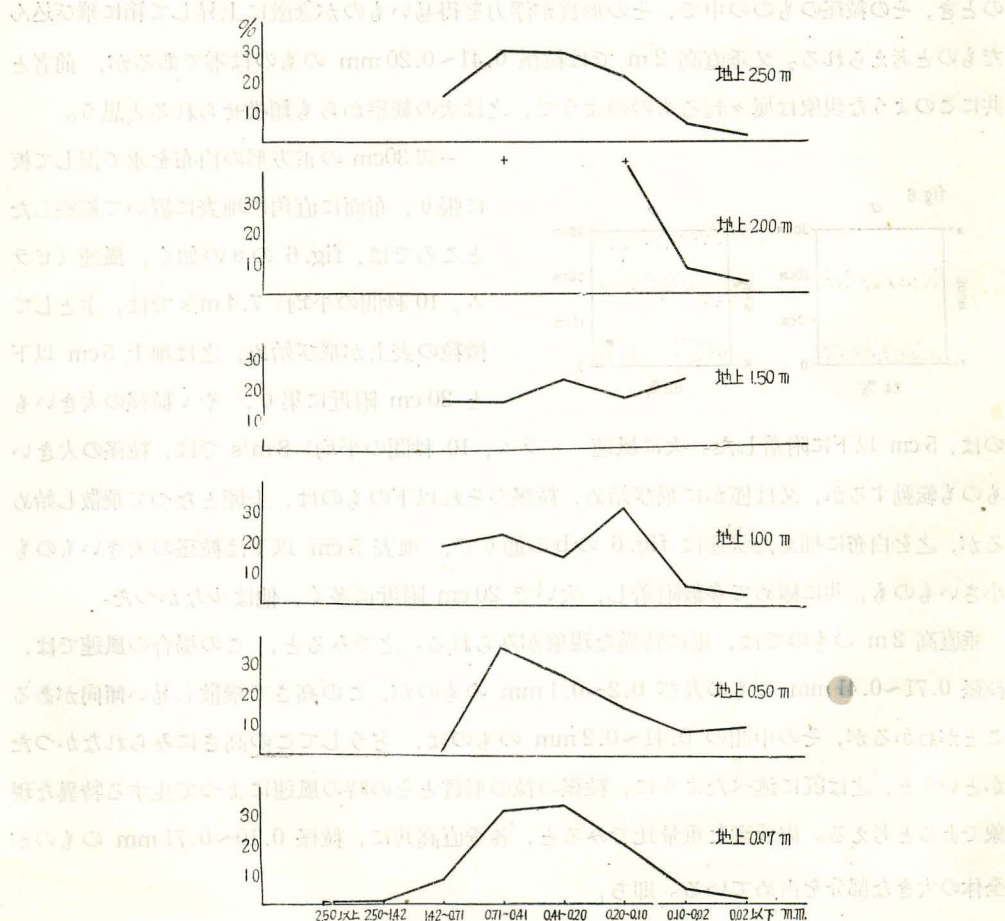


一粒の重量で粒径別の重量を除して粒径別粒表を計算すると、

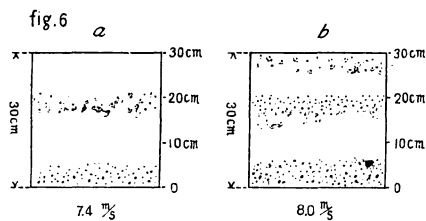
第 6 表 飛 塵 垂 直 分 布 表

垂直 高m	粒径 mm 粒数 及び%	2.5 以上	2.5~ 1.42	1.42~ 0.71	0.71~ 0.41	0.41~ 0.20	0.20~ 0.10	0.10~ 0.02	0.02 以下	計
0.07	粒 数	19	11	3,743	30,264	48,958	266,875	2,172,619	148,809,524	151,362,373
	%	—	—	—	1.69	—	—	—	98.31	100
0.5	粒 数	—	1	13	931	1,042	6,250	95,239	18,908,730	19,012,206
	%	—	—	—	0.54	—	—	—	99.46	100
1.0	粒 数	—	—	39	97	104	2,083	11,905	992,063	1,006,291
	%	—	—	—	1.41	—	—	—	97.58	100
1.5	粒 数	—	—	20	42	83	625	23,809	992,063	1,016,642
	%	—	—	—	2.42	—	—	—	97.58	100
2.0	粒 数	—	—	—	139	416	2,083	11,905	992,063	1,006,606
	%	—	—	—	1.44	—	—	—	98.56	100
2.5	粒 数	—	—	46	279	417	3,125	23,809	992,063	1,019,739
	%	—	—	—	2.71	—	—	—	97.29	100

第 5 図 粒径別重量比による飛塵分布



垂直高 0.07 m, 0.5 m 及び 2.5 m では、飛塵は粒径別に重量比で計算した場合、一つの粒径別度数分布曲線を作っている。ところが、垂直高 0.07 m 及び 0.5 m では、径 2.5 mm 以上及び 2.5~1.42 mm のものは、全く欠けているか、又は殆ど認められない程度である。即ち、この2つのものは、この観測に現われた風速では、飛塵となるに十分な浮力が与えられず、その運動も転動の域を出ないのであつて、垂直高 0.5 m の径 2.5~1.42 mm のものは、第6表でわかるように只一粒であり、之はその形質が、たまたまこの時の風速で垂直高 0.5 m の浮力を与えられる状態にあつた一つの例外的なものとして考えられるべきものであつて、殆ど全部転動によつて、地表に置かれた箱の中に入り込んでいるのである。然るに、垂直高 1 m, 1.5 m, 2 m のものは前者のような度数分布を示していない。この現象を考えてみると、之から一つの結論が得られる。即ち、粒径 1.42~0.71 mm のものは地上 0.2 m の1時間の風速変化が 8.9~11.7 m/s である場合には、地上 1~1.5 m の高さを保つて飛ぶ傾向があるといふことである。地上 2 m になると、この粒径のものはこの風速では殆どみられなくなるが、反対に地上 2.5 m になると、この粒径のものがかなり出て来る。之は極めて大きい瞬間風速のとき、その粒径のものの中で、その形質が浮力を得易いものが急激に上昇して箱に飛び込んだものと考えられる。又垂直高 2 m では粒径 0.41~0.20 mm のものは零であるが、前者と共にこのような現象は屢々起るもののようで、之は次の観察からも類推せられると思う。



一辺 30 cm の正方形の白布を水で湿して板に張り、布面に直角に地表に置いて観察したところでは、fig. 6 の a の如く、風速（ビラム、10 秒間の平均）7.4 m/s では、主として微粒の表土が飛び始め、之は地上 5 cm 以下と 20 cm 附近に集り、やゝ粒径の大きいものは、5 cm 以下に附着した。次に風速（ビラム、10 秒間の平均）8 m/s では、粒径の大きいものも転動するか、又は僅かに飛び始め、粒径のそれ以下のものは、土煙となつて飛散し始めるが、之を白布に捕えた状態は fig. 6 の b の通りで、地表 5 cm 以下は粒径の大きいものも小さいものも、共に極めて多数附着し、次いで 20 cm 附近に多く、他は少なかつた。

垂直高 2 m のものでは、更に特異な現象がみられる。之でみると、この場合の風速では、粒径 0.71~0.41 mm のもの及び 0.2~0.1 mm のものが、この高さで飛散し易い傾向があることがわかるが、その中間の 0.41~0.2 mm のものは、どうしてこの高さにみられなかつたかという、之は既に述べたように、粒径の粒の形質とその時の風速によつて生ずる特異な現象であると考えられる。尙飛塵を重量比でみると、各垂直高共に、粒径 0.10~0.71 mm のものが全体の大きな部分を占めている。即ち、

地 上 0.07 m 84.86%

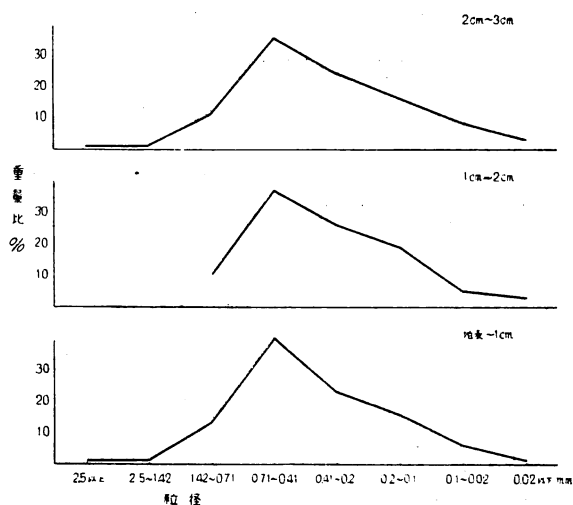
地 上	0.5m	79.16%
"	1 "	70.97%
"	1.5 "	55.56%
"	2 "	82.09%
平 均		76.65%

である。然し乍ら、その割合が一樣でないのは、その原因として風速と粒の形質によつて与えられる浮力とが考えられるが、一般にその割合が大きいということは、重量比で表わされた表土中の粒径分布が、そういう傾向にあることが最も大きい原因ではないかと考える。表土は常に耕耘によつて上下にかきまぜられている。従つて、現在の表土のみを観察して、それを比較の資料とすることは出来ない。そこで、地表面から下層 20 cm 迄を 6 層に分けて、各層の粒径別重量分布を調べてみた。

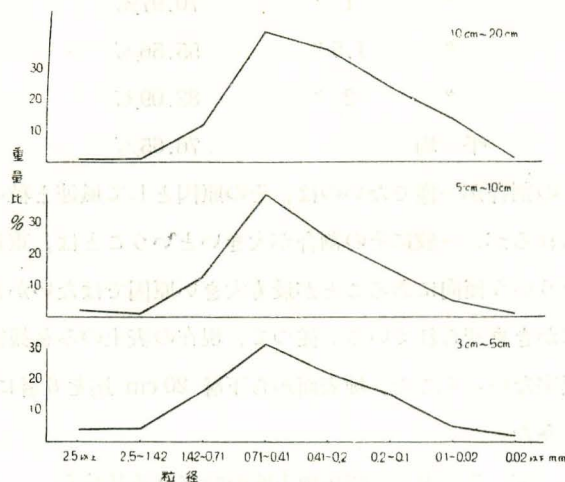
第 7 表 開拓地土壤の粒径別重量分布

粒径 mm		2.50以上	2.50~ 1.42	1.42~ 0.71	0.71~ 0.41	0.41~ 0.20	0.20~ 0.10	0.10~ 0.02	0.02以下	計
土層の深さ cm										
0~1	重量 g	0.6	0.8	11.6	36.6	21.1	14.5	5.1	0.9	91.2
	%	0.66	0.88	12.72	40.13	23.13	15.90	5.59	0.99	100
1~2	重量 g	0.1	0.7	10.4	39.5	26.9	20.0	5.1	1.8	104.5
	%	0.1	0.67	9.95	37.80	25.14	19.14	4.88	1.72	100
2~3	重量 g	1.3	1.1	10.3	34.3	23.4	15.8	8.3	2.7	97.2
	%	1.34	1.13	10.60	35.29	24.07	16.25	8.54	2.78	100
3~5	重量 g	3.7	3.1	13.7	29.3	19.0	13.1	4.7	1.6	83.2
	%	4.20	3.52	15.53	33.22	21.54	14.85	5.33	1.81	100
5~10	重量 g	1.4	12.0	11.6	35.0	22.4	13.0	4.3	1.3	101.0
	%	1.39	11.88	11.48	34.65	22.18	12.87	4.26	1.29	100
10~20	重量 g	0.7	0.6	8.2	27.8	17.1	9.3	2.3	1.0	6.7
	%	1.05	0.90	12.24	41.49	25.52	13.88	3.43	1.49	100

第 6 図の 1 開拓地土壤の粒径別重量分布



第6図の2 開拓地土壤の粒径別重量分布



上表及び第6図の1及び2でみると、各層共に殆ど同じような粒径別重量分布をしているのであつて、従つて、この間は耕耘によつて何れが上に何れが下になろうとも、表土の組成は殆ど変わらない。又上表でみると、粒径 0.71~0.41 mm のものが最も多くて 30~40% を占め、3~5 cm 層を除いては、粒径 0.41~0.20 mm、粒径 0.20~0.10 mm の順に多く、粒径 0.71~0.10 mm の % は、平均して 77% であり、飛塵の 76.65% と大体一致している。結論すれば、飛塵は重量の面からみると、0.10~0.71 mm のものが大部分で、その中でも 0.20~0.71 mm のものが圧倒的に多い。之は農作物にとつて、風により吹きつけられる機械的な被害と埋没の被害に対して極めて悪い条件を与えるものと言わなければならない。又開拓地土壤では粒径 0.02 mm 以下のものは総重量の 1.90% であるが、飛散土壤では之は 2.35% になつてゐる。之は粗粒のものよりも微細土の方が風に飛ばされる比率が多いことを示すもので、尙第6表のように、飛塵の垂直分布を粒数別にみると、粒径 0.02 mm 以下のもので総粒数の殆ど全部を占めているのであつて、又飛塵と開拓地土壤に於て重量比では、0.02 mm 以下は前者が総量の 7.8%、後者が 1.7% で特に微粒土の飛散の割合が大きく、この粒径のものは飛出しの条件は悪いが一度飛立てば、その浮游飛散は広範囲長距離に亘り、このように作物の生長に必要な吸収可能な栄養分を多く含む微粒土の散失が多いことは、耕地の生産力保持の上からみて特に非常な損失である。

さて、こゝで問題になるのは飛塵の総量である。第5表に示すように、4月8日の15時20分から16時20分に至る1時間で、箱の中では各垂直高別に地表から夫々 *a*, *b*, *c*, *d*, *e* 及び *f g* の飛塵が移動している。之を各々大気中の移動量とするために、各垂直高別のその時間中の平均風速を v_s とし、之に対する v_c を、 v_s と v_c の関係直線式 $V_s = 1.94 V_c - 1.16$ から求め (3) 式により、第5表に掲げた各垂直高別の飛塵量に V_s/V_c を乗じ、又3及び第2

図に示したように捕砂器の飛塵捕捉率は風速により一定の値を示すものであるから、上の値を風速に應ずる捕捉率で割つて垂直高別の飛塵量を求め、更に之を合計して $1/6$ をかけて、 $0.135 \times 0.135 = 0.018225 \text{ m}^2$ の垂直平面を移動する平均飛塵量 M_b とする。風向に対して幅 1 m 、垂直高 2.5 m の垂直平面 2.5 m^2 を単位にとれば（飛塵の高さは垂直高 2.5 m 以上に及ぶ場合も考えられるから、この値は全飛塵量を示すことにはならないが、その量は極めて少ないものと観察せられるので、一応この正面の飛塵量で、全飛塵量に換え得るものとする。）

$$M_{b \text{ unit}} = M_b \times 137.17 = 2,788.67 \text{ g}$$

$$\text{但し } 2.5/0.01825 = 137.17$$

となる。

この地方の飛塵時間刻を大休 11 時から 16 時迄の 5 時間とし、その $1/10$ を実際の飛塵時間とすると、風向に直角な幅 1 m の空間を 1 日に $2,788.67 \text{ g} \times 5 \div 10 = 1,394.4 \text{ g} \approx 1.4 \text{ kg}$ の表土が移動することになるわけである。この量は表土の乾燥状態及び風速によつて著しく異なる。然し乍ら、之は単に移動する量のみを考えたもので、一地点の表土が移動した跡は風上から吹き送られた土砂で被覆することになるわけであるから、その収支は幾何になるか、之は計算の基礎を持たないが、一般に風下程飛塵による土砂の堆積及び作物の埋没が多く、風上程表土の削剝が甚だしいことになる。

6 表土の含水率と限界風速

第 8 表 表土飛散開始時の風速

時刻 時・分 観察	10.00	10.10	10.15	10.20	10.30	10.35	10.40	10.50	11.00	11.05
平均風速	7.3	5.7	3.0	4.0	6.3	6.8	6.2	7.4	7.7	8.0
表土飛散の状態	表面に浮き上つた砂粒中には転動するものがある。	—	—	—	—	—	—	飛散が始る微細土は高さ 20 cm 位迄、やゝ粒径が大きくなると高さ 50 cm 位迄。	之より各所で大量の表土の飛散が起る。	粒径大なるものの飛散が始まる。

4 月 9 日観察、ピラム各 10 秒間の平均風速、地上 1 m の観測。

上表では地上 1 m の風速をあげているが、表土の飛散の限界風速を考える場合にはなるべく地表面に近い点の風速を考えなくてはならないから、この場合地上 1 m の風速を地上 0.2 m の風速に換算して比較の基礎とする。

観測地で風の垂直分布を測つた結果は次表及び第 7 図の通りである。

風害研究室が下北半島横浜海岸で測つた結果では、地上 2 m 迄の風速の垂直分布は、

$V_z = V_1 Z^{0.255}$ で表わされるが、同様にここの地上 5 m 迄の風の垂直分布も、少しのふれは

第 9 表 風速の垂直分布

日	時	番号	地上 0.2 m		0.5 m		1 m		2 m		3 m		5 m	
			回数	風速 m/s	回数	風速 m/s	回数	風速 m/s	回数	風速 m/s	回数	風速 m/s	回数	風速 m/s
4 月 8 日	14.30	1	75	6.5	89	7.5	95	8.2	106	8.8	103	8.6	116	9.8
		2	64	5.6	78	6.7	82	7.1	92	7.7	96	8.1	103	8.8
	15.10	3	76	6.5	94	7.9	95	8.2	106	8.8	109	9.1	115	9.7
	15.20	4	89	7.6	98	8.2	108	9.2	113(△123)	10.1	126	10.4	134	11.3
		5	102	8.6	121	10.0	127	10.8	123(△143)	11.7	148	12.1	158	13.2
	15.50	6	76	6.5	90	7.6	96	8.2	107	8.9	112	9.3	111	10.3
	16.00	7	94	8.0	110	9.2	118	10.0	130	10.7	136	11.2	143	12.0
	16.35	8	75	6.5	90	7.6	95	8.2	107	8.9	111	9.2	120	10.1
		9	66	5.7	83	7.1	88	7.7	98	8.2	101	8.4	109	9.2
4 月 9 日	11.30	10	44	4.0	55	4.9	57	5.1	60	5.2	65	5.6	66	5.8
		11	46	4.2	59	5.2	60	5.3	66	5.6	71	6.1	72	6.3
	12.10	12	47	4.2	57	5.1	63	5.5	67	5.7	73	6.3	73	6.3
		13	48	4.3	60	5.3	63	5.5	61(△71)	6.0	71	6.1	72	6.3
	13.10	14	57	5.0	68	5.9	74	6.5	78	6.6	83	7.0	84	7.2
		15	44	4.0	55	4.9	55	4.9	59	5.1	63	5.5	63	5.5
		16	53	4.7	61	5.4	64	5.6	69	5.9	73	6.3	74	6.4
		17	54	4.8	62	5.5	68	6.0	72	6.1	76	6.5	77	6.7
4 月 12 日	9.40	18	61	5.3	74	6.4	77	6.7	84	7.1	88	7.4	90	7.7
		19	65	5.7	74	6.4	79	6.9	78(△88)	7.4	90	7.6	91	7.8
	10.05	20	65	5.7	75	6.5	80	6.9	85	7.1	89	7.5	92	7.9

(1) 回数は 120 sec 当り (2) △ 印は度数計の故障による補正值

あるが大體に於て $V_z = V_1 Z^{0.126}$ なる曲線式で示される(第8図)。式中、 Z は地上高、 V_1 は地上 1m の風速、 V_z は地上 Z m (但し 5m 迄) の風速である。第9表に示す風速は、地上 1m の観測であるから、之を地上 0.2m の風速に歩すと、

地上 1m の風速 m/s	7.3	7.4	7.7	8.0
地上 0.2m の風速 m/s	5.0	5.1	5.3	5.5

である。

尙、理工学研究所の河田三治氏は、各地の測定を集計して、地表附近から 15m 迄の範囲で成立する風速の垂直分布の式を求めて居られるが、それによると、

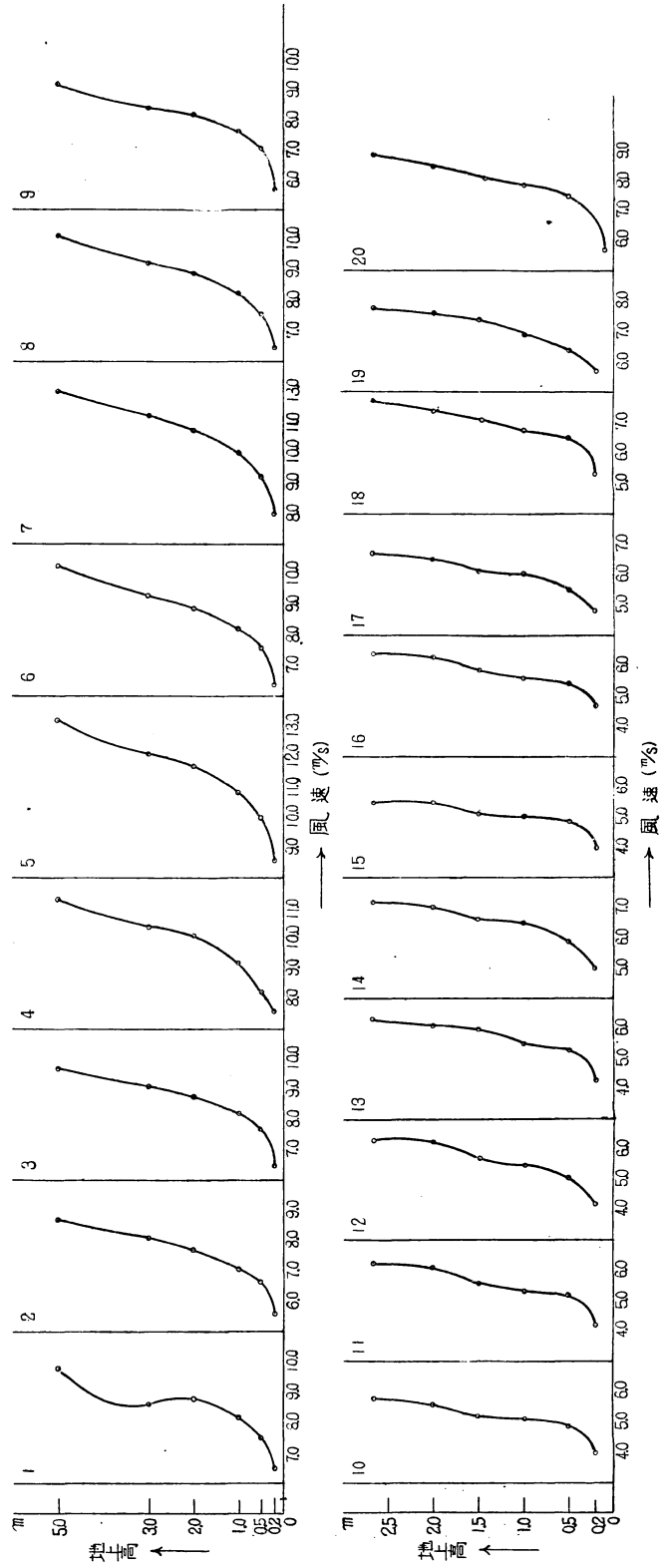
$$\bar{u}_{(Z)} = \frac{64.5 \bar{u} (1 - 0.81 \log \bar{u}_1 + 0.27 \log Z)}{1 - 0.53 \log \bar{u}_1}$$

$\bar{u}_{(Z)}$: 高さ Z cm の平均風速 (cm/s)

\bar{u}_1 : 高さ 1m の平均風速 (cm/s)

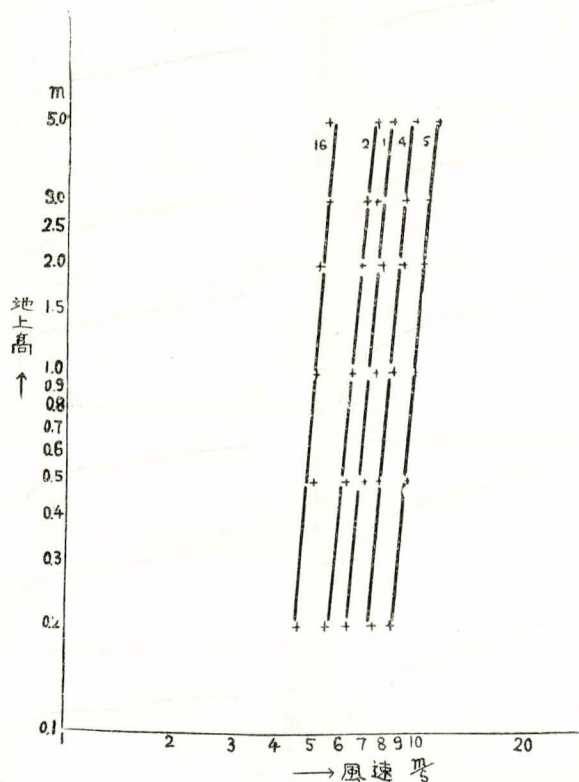
Z : 高さ (cm)

第 7 図 風 の 垂 直 分 布



$\log : 10$ の底

第 8 図 風の垂直分布



この式によつて上の 1m の高さの風速を 0.2m の夫れに直すと、

地上 1m の風速 (cm/s)	7.3	7.4	7.7	8.0
地上 0.2m の風速 (cm/s)	5.66	5.73	5.93	6.13

この値を前表と比較してみると、河田氏の式が一般式である点を考慮すれば、相当よく一致して居るものと思われる。

千種氏は、砂が転動する場合の計算式として、

$$WA(f \log \alpha + \sin \alpha) = K_0 V^{2-W}$$

α : 斜面の傾斜角

f : 摩擦係数

W : 砂粒の単位重量 2.61 トン/m³

A : 砂粒の体積 (平均直径 0.34 mm)

K_0 : const., 実測の結果から 0.00215

w : 未知数, 実測の結果から 0.3508

$$f=0.6009$$

を与えている。本式に於て平坦地, 即ち $\alpha=0$ の場合には,

$$0.6006 WA = 0.00215 w^{-0.3508}$$

即ち, 平坦地の場合の限界風速は粒径 0.344 mm で 4.98 m/s となつてゐるが, 今度の観測でも 5.0 m/s が砂粒転動の限界風速になつて居り, 大体同じ値を示している。尤も之は表土の土質及び粒径と含水率によつて異なるものであることは勿論である。砂粒の転動の開始は 10 時であるが, それから 50 分後には, 表土の乾燥によつて 5.1 m/s で表土の飛散が始まつてゐる。

秋葉氏の実験によると, 含水量と限界風速の間には直線的な関係があり,

$$W = a\alpha + b$$

W : 限界風速

α : 含水率

a, b : 気候によつて変化する係数

で示され, 含水量 1% では, W は大体 6~8 m/s となつてゐる。又秋葉氏は砂の実験で, 当初同一含水量の砂が飛散し始める迄の時間は, 風速の大きいにより異なるものであることを確めている。又アメリカ Western Oklahoma 地方での試験及び観察ではひどい風蝕を生ずる為には 11.2 m/s の風が必要であると C. G. Bates 氏は言つてゐる。

第 10 表 表土の含水率

採取月日	時刻	土 壤 層 の 位 置	採取時の重量 (a) g	乾燥重量 (b) g	含水率 %
4 月 12 日	9.30	表面, 厚さ 5mm 程度	10.9	9.8	10
	11.30	乾いた部分のみ採取	16.9	16.4	2
	11.30		18.1	17.8	1
	12.30	表面, 厚さ 5mm 程度	13.2	12.1	8
	12.50	乾いた部分と湿つた部分と平均して採取	19.3	18.7	3
	9.30	表層 5 mm 程度除いてその下層	14.3	12.7	11
	10.30	1 cm 程度を平均して採取	10.4	8.5	18
	11.30		10.8	8.4	22

含水率は $\frac{a-b}{a} \times 100$ で示す。

採取土壌は, 直ちに試験管に入れて密栓して持ち帰り, 之を秤量して採取時の重量とした。乾燥重量は 3 日間毎日 8 時間宛, 蒸発皿に入れた試料を 105°C で乾燥したのであるが, 之は絶乾重ではなく, 風乾と絶乾の中間状態にあるものと見做すべきで, 従つて含水率も正確なものではないことをことわつて置きたい。然し乍ら, 比較値として用ゐるのには差支えないと思う。

上表によつて, 観測地の表土の時刻別の含水状態をみると,

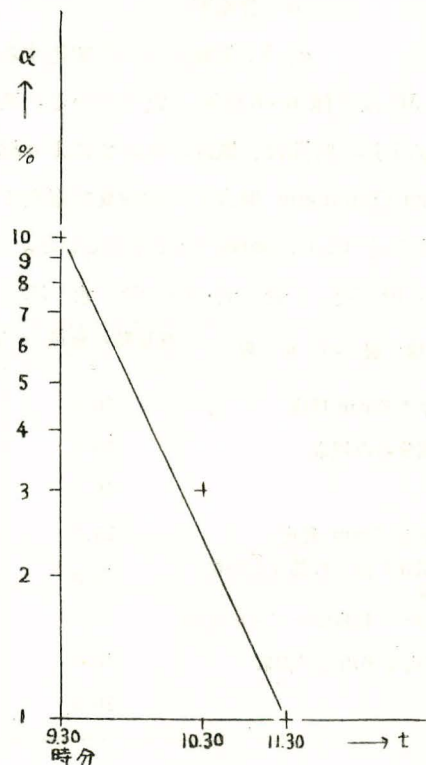
時 刻	時 分 9.30	時 分 10.30	時 分 11.30		時 分 12.30	時 分 12.50
含水率 { 表土 (乾燥した部分)	10%	2%	1%	表土(乾, 湿の平均)	8%	3%
表土下 1cm 層	11	18	22		—	—

9時30分から11時30分迄は、表土の乾燥した部分のみをとつたのであるが、この部分の含水率は双曲線状に減少し、

$$\alpha = at^{-b} \quad \alpha = \text{含水率}, t: \text{時刻}$$

で示される傾向にある。第9図から a, b を求めると、図の範囲内では、この曲線は $\alpha = 10t^{-2.1}$ で示される。12時30分から50分迄は、表土の乾燥した部分と未乾の部分を平均的に採取して、一つのサンプルとしたのであるが、之はやゝ含水率が多くなつてゐる。然し乍ら、風速は、

第9図 時刻による表土の含水率の変化



時 刻	時 分 9.30	時 分 10.30	時 分 11.30	時 分 12.30	時 分 12.50
風速 m/s	7.78	7.35	8.35	8.25	7.33

で、11時30分以後少しく強くなつて居り、その影響も充分考えなくてはならないから12時30分、同50分の表土の乾いた部分の含水率は1%以上でないことは背ける。

表土の乾燥した部分だけのサンプルでは、含水率は時間の経過と共に双曲線状に減少しているが、乾、湿の两部分を平均して採つたものでも同様の傾向があるかどうかは、2点の観測のみで、どう考えようもないが、12時30分に8%のものが、僅か20分後の12時50分には3%に減少していることから考えると、表土の平均の含水率は時刻の経過と風速の増大に伴つて、急速に減少するものと思われる。

部分的な少量の表土の飛散は、全体としての含水率とは無関係に、部分的な表土の乾燥によつても起るもので、第8表及び第9図に示したように、10時の風速は5.0 m/s (地上0.2 mの風速。地上1 mの風速7.3 m/sから換算)、含水率4.27%、10時50分の風速は5.1 m/s (地上0.2 mの風速。同前)、含水率1.64%で(ここに風速は9日の観測であり、含水率は12日の測定で、この組合せは多分に無理なように考えられるが、9日も12日も、実際に観察すると、強い風の吹送によつて、表土は同様に速に乾燥して居り、従つて状態の変化を示す比較値として用いるには差支えないと考える。)、前者では表面に浮き上つて存在する砂粒中には転動するものもあり、又軽い植物枯片の如きは飛散するが、全体としては表土の飛散は認められず、後者では風速は前者とほぼ同様であるが、含水率が著しく小さくなつた為に、表土の飛散が始まつている。又11時に含水率1.47%、風速5.3 m/s (地上0.2 mの風速。同前)となると、大量の表土飛散がみられ、11時5分に含水率1.44%、風速5.5 m/s (地上0.2 mの風速。同前)になると粒径の大きい土粒も飛散し始めるのである。

以上によつてみると、大量の表土の飛散が生ずるのは、表土全体が乾燥状態に達した時にみられるもので、この場合、この表土に対する限界風速を示すと考えられるものは、11時のものの1例で、従つて之だけでは限界風速と含水率の関係を考察することが出来ないが、前述の秋葉氏の実験式 $W = a\alpha + b$ でこの関係を示し得るものとすれば、 b は $\alpha = 0$ 、即ち絶乾状態の表土が飛散する為に必要な風速となり、この値を実験によつて求めたところ次の結果が得られた。

即ち、林業試験場内の表土(ローム土)の中、粒径0.59 mm以下のものを電気乾火燥器内で105°Cで3日間乾燥して、理工学研究所の風洞で飛散の限界風速を測定したところ、表面上30 cmの高さでの値として、

$$W_{0.3} = 4.0 \text{ m/s}$$

を得た。この場合、表面の凸凹の有無の限界風速に対する影響はみられなかつた。同研究所内田茂男氏が砂粒の飛び出しについて解析されたところによると、粒径0.1 mm程度の砂が最も飛び出し易く、粒径がこれより増しても減つても飛び出す速度は増加する結果となつている。この傾向は上の風洞実験でも明瞭に見られ、風速を増して行くと使用した土粒の中、大粒径のものが先づ飛散し尽して、表面には0.07 mm程度以下の小粒径のもののみが残留することが観察された。

更に、風に乱れのある場合の限界風速を測定する為、送風機の風に自然風を導入して上記と同じ土を 105°C で 7 日間乾燥し絶乾状態となつたものについて実験した。実験装置は、高さ及び幅 14 cm、長さ 100 cm の木箱の蓋と前後両端の板を除き、この前端から後端へ風を通した。木箱の中に、高さ 1 cm、幅 8 cm、長さ 60 cm の容器（両端は開放）を入れ、この中に実験土を入れた。木箱の前端から約 1 m の位置に送風機を置き、木箱と送風機との中間へ自然風を導入した。送風機は、廻転数調節装置付きの 1/16 馬力の電動機に 3 枚の羽根を取り着けたものを使用し、送風機の風だけでは土粒が飛び出さない様に廻転数を調節して置き、自然風の加入による風の乱れによつて土粒が飛び出す状態を調べた。風速及び風の乱れは、木箱の後端に風向風速計を置いて測定した。風速は土の表面上高さ 5 cm の位置での 5 秒間の平均風速で、乱れの強さは 3 分間 5 秒置きに連続測定した風速から計算した。木箱の内部から後端への風速分布は別に測定して、後端で測つた風速に補正を施したものを土の表面の風速としたが、木箱の内部の風速は風向風速計によつてでは大抵一定の値を保つ結果が得られた。

以上の装置で電動機の廻転数を種々変えて測定を繰り返した結果、絶乾状態の土の飛散の限界風速として下の値が得られた。即ち、表面上 5 cm の高さで、土粒子が転動を始める風速は、

$$W_{0.05} = 2.4 \text{ m/s (表面が平面の場合)}$$

$$W_{0.05} = 2.2 \text{ m/s (表面に 1 cm 程度の凹凸のある場合)}$$

乱れの強さ：20～30%

実験に使用した土壌粒子の組成は下表の通りである。

粒径(mm)	0.59～0.30	0.29～0.15	0.14～0.07	0.07以下
重量比 (%)	17.5	31.5	23.8	27.2

桔梗ヶ原に於ける風速の垂直分布は地上 0.2～5 m の範囲で求めてあるが、理工学研究所の河村龍馬氏等が鵜沼海岸でピトー管を使用して地上風を測定した結果によると、風速は地上 5 cm 程度迄は大抵同じ傾向で減少しているので、桔梗ヶ原に於ける垂直分布の式 $V_z = V_1 Z^{0.126}$ も地上 5 cm 程度迄適用されるものとし、実験で得られた地上 5 cm の限界風速を地上 0.2 m の値に直すと、表面に 1 cm 程度の凹凸のある場合の限界風速として、

$$W_{0.2} = 2.6 \text{ m/s}$$

が得られる。この場合乱れの強さは数値的に換算出来ないが、一般に風速の小さい時乱れは大きく、風速の増加と共に減少して風速 6～7 m/s 位で一定の値に達することが知られているので、この場合の乱れの強さは実験の場合の値 20～30% より幾分小さいものと考えられる。

この $W_{0.2}$ の値が原氏の実験式 $W = a\alpha + b$ に於て $\alpha = 0$ の場合の W 、従つて b に相当するものとすれば、

$$b=2.6$$

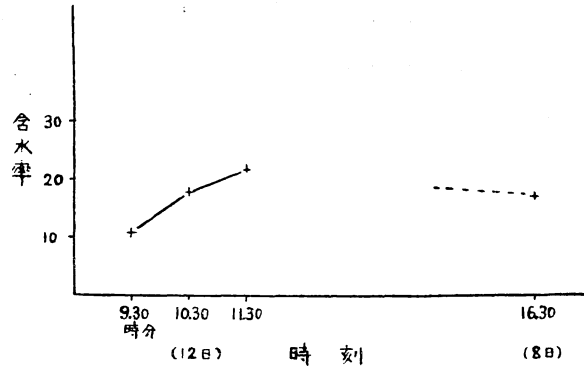
現地の測定では、限界風速 W と含水率 α の値として一例しか得られてないが、今この値、

$$W=1.5 \text{ m/s}, \alpha=1.64\%$$

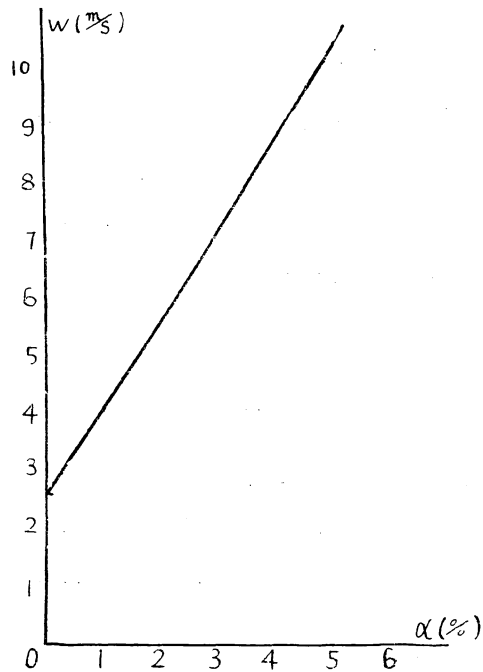
を用いて原氏の式の常数 a を求めると、

$$a=1.5$$

第 10 図 時刻による表土下 1cm 尺の含水率の変化



第 11 図 限界風速と含水率との関係



従つて、土の飛散限界風速と含水率との関係式として、一応下式が得られる。

$$W = 1.5\alpha + 2.6$$

W : 土の飛散限界風速 (m/s), 但し地上 0.2 m の値

α : 土の含水率 (%)

乱れの強さは 20% 程度

この直線式は、第 11 図に示す通り α の増加と共に W が急激に増加する事を示しているが、この傾向は現地の測定に於ても極めて明瞭に看取されたところである。

第 10 表によると、表土下 1 cm 層では、表面の乾燥とは反対に、11 時 30 分迄の観測では、時刻の経過と共に含水率は増大しているが、之は表層土の速かな乾燥と移動によつて、表層土とこの層との連絡がたちきられ、又表層土の構造と移動によつて、この層に対する風の影響が増大し、その為に毛管による下層水分の吸上が高まつた為に、この層の含水率は風速の増大に伴つて増加して日中の最大値をとり、風速の減退と共に又減少するものと考えられる (第 10 図)。4 月 8 日午後 4 時 30 分から 40 分迄の間に、4 ケ所で表層土と表層下 1 cm 層の土を採取して含水率を調べた結果は、

第 11 表

	含 水 率 %				
	1	2	3	4	平 均
表 土	1	1	1	1	1
表層下 1 cm 層	22	21	14	13	17.5

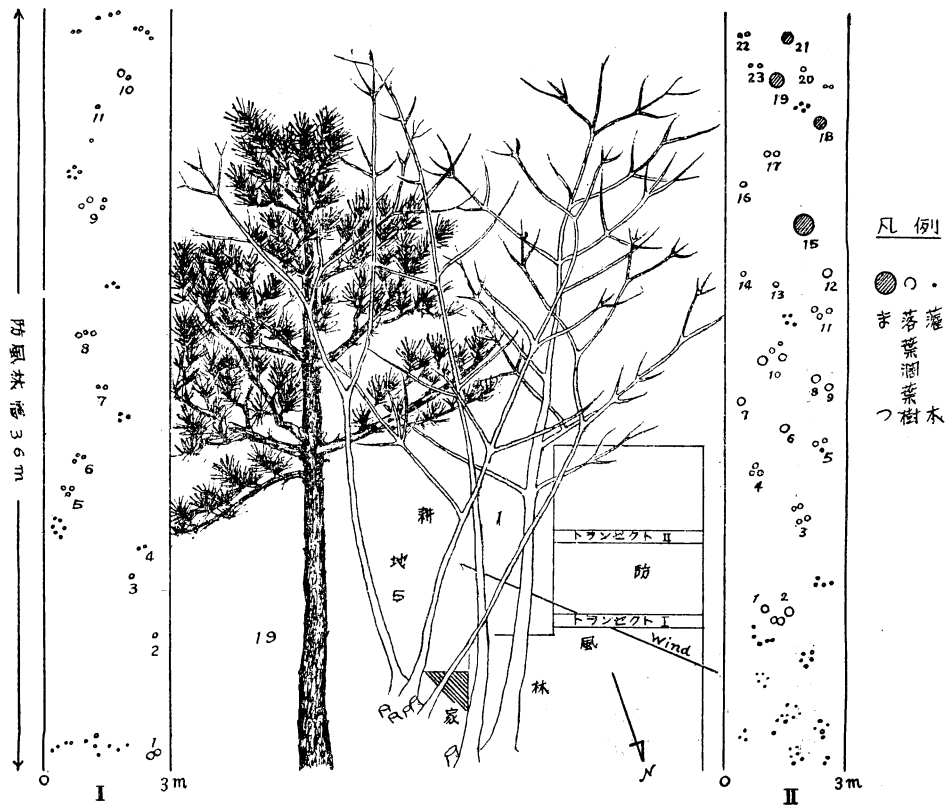
之も第 10 表と同様な理由で、正確な含水率を示しているものではない。

8 日も 12 日も同様な天候で、従つて同様な土層の含水率変化をしていると考えてよいから、上表と第 10 表に示す 12 日の測定結果とを組合せて考えると大体に於て前述の結論が得られるのである。

7 飛塵防止に対する防風林の効果

桔梗ヶ原開拓地の先覚者高木勇藏氏は、この開拓地に於ける防風林の必要性を認識して、開拓に當つて居宅の周囲に一条の林を残した。その為に、現在ではその風下に於ける作物の収穫は他に比して非常に高率を示している。この残された防風林の構成は第 12 図及び第 12 表並第 13 表に示すような状態で、大体に於て落葉広葉樹を主とし、飛塵の防止を必要とする冬から春先にかけては、“あかまつ”を残して他は落葉し、防風機能も大変弱いものになるのであるが、それにも拘らずかなり効果的な役割を果している。

第 12 図



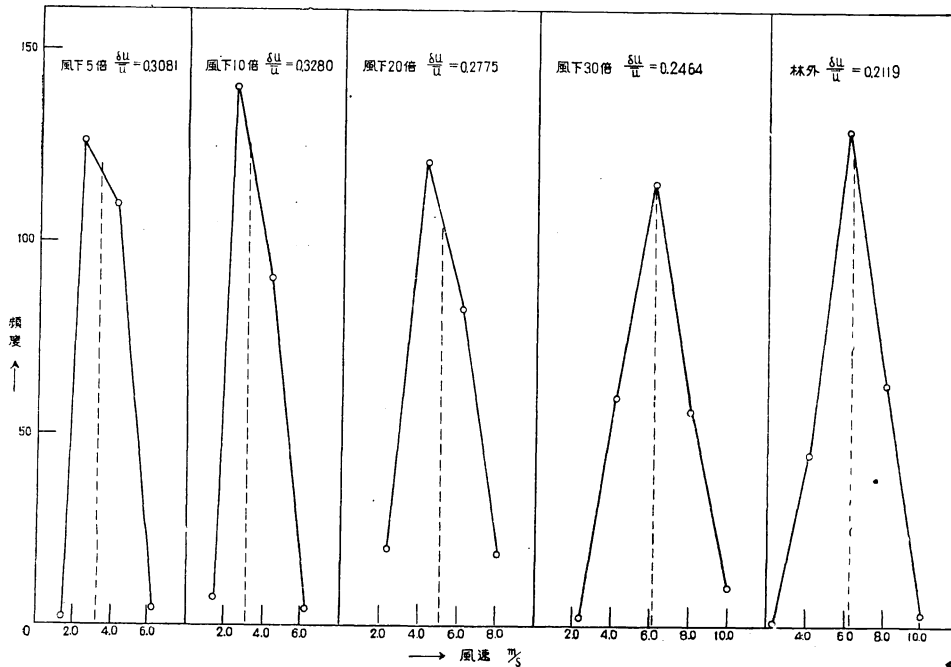
第 12 表 (第 12 図トランセクト I)

立木番号	樹 高 m	本 数	胸 高 直 径 cm			
			1	2	3	4
1	5.5	2	5.2	5.5	—	—
2	3.0	1	3.2	—	—	—
3	3.5	1	4.5	—	—	—
4	2.5	2	1.8	2.3	—	—
5	2.5	3	2.3	2.4	2.5	—
6	2.5	3	2.5	2.5	3.0	—
7	2.5	2	2.8	3.2	—	—
8	4.0	3	3.2	4.5	4.5	—
9	5.0	4	3.5	4.0	4.2	4.5
10	5.5	2	4.8	6.2	—	—
11	2.0	1	1.5	—	—	—

第 13 表 (第 12 図トランセクトⅡ)

立木番号	樹 高 m	本 数	胸 高 直 径 cm				
			1	2	3	4	
1	4.5	—	5.0	6.2	—	—	—
2	4.5	—	5.5	5.8	—	—	—
3	2.0	—	1.5	1.5	1.5	2.2	—
4	3.0	—	3.0	3.5	5.5	—	—
5	3.0	—	2.8	3.2	3.5	—	—
6	5.0	—	5.5	—	—	—	—
7	5.0	—	5.2	—	—	—	—
8	6.0	—	8.5	—	—	—	—
9	5.5	—	5.8	—	—	—	—
10	5.0	—	3.6	4.2	5.5	6.0	—
11	4.0	—	4.2	4.5	5.5	—	—
12	4.0	—	4.2	—	—	—	—
13	3.8	—	4.0	—	—	—	—
14	3.0	—	4.0	—	—	—	—
15	6.0	—	20.0	—	—	—	まつ
16	1.8	—	1.5	—	—	—	—
17	2.5	2.2	3.0	—	—	—	—
18	4.0	8.8	—	—	—	—	まつ
19	5.0	16.0	—	—	—	—	まつ
20	2.0	1.5	1.8	—	—	—	—
21	4.5	14.5	—	—	—	—	まつ

第 13 図 風速分布と乱れの強さ (地上 0.2 m の観測)



この防風林の、この時期に於ける防風機能を示すものとして、その風下の風の乱れの強さを検討することにしたのであるが、その結果は次表及び第 13 図の通りである。

第 14 表 防風林風下の風の乱れの強さ

位 置	観 測 値		平均風速 \bar{u} m/s	標準偏差 δu m/s	乱れの強さ $\delta u/\bar{u}$	備 考
	風速 m/s	頻度				
林 外	2.4 4.3 6.2 8.1 10.0	1 45 129 63 3	6.37	1.35	21.19	4 月 12 日 11 時 40 分より観測。 小型ロビンソン風力計を用い、5 秒毎の読 取りとし、読取り回数は 241 回である。 地上 20 cm の観測。
★ 風 下 5 h	1.5 2.4 4.3 6.2	2 126 109 4	3.31	1.02	30.81	4 月 12 日 12 時 5 分より観測。 地上 20 cm の観測。
風 下 10 h	1.5 2.4 4.3 6.2	7 140 90 4	3.14	1.03	32.80	
風 下 20 h	2.4 4.3 6.2 8.1	20 120 83 18	5.08	1.41	27.75	
風 下 30 h	2.4 4.3 6.2 8.1 10.0	2 59 115 55 10	6.29	1.55	24.64	

h は樹高を示し、風下 5 h は、防風林風下で樹高の 5 倍の距離をいう。

乱れの強さの減少は渦流による風速の減殺を意味するもので上表でみると、林外に比べて防風林風下は何れも乱れの強さが大きく、且風下の倍数を増すにつれて小さくなっているので、明らかに防風林の影響があることを示している。

但し、この観測では防風林風下 5 倍は 10 倍よりも乱れの強さが小であるが、之は防風林密度の小さいことによつて生ずる風の吹抜けがたまたま出たものではないかと考えられる。

一方、防風林の風下に於ける風速の変化を、ピラム風速計で観測した結果は (4 月 12 日)、

第 15 表 防風林風下の風速 (地上 0.2 m の観測)

時 刻	風 速	風下 5 h		風下 10 h		風下 20 h		風下 30 h	
		5 h	林外	10 h	林外	20 h	林外	30 h	林外
10.00~10.14	風 速 m/s	3.3	6.9	4.3	8.2	5.0	7.2	5.4	6.7
	風下/林外 %	48.24	—	66.67	—	69.28	—	79.08	—
10.20~10.34	風 速 m/s	3.3	7.2	4.0	6.4	6.4	8.3	6.7	8.1
	風下/林外 %	46.51	—	71.34	—	77.15	—	82.64	—
12.15~12.29	風 速 m/s	3.4	7.7	3.8	8.2	5.2	8.3	6.0	8.4
	風下/林外 %	44.2	—	46.3	—	62.7	—	71.5	—

風速は 2 分間の平均

上表の算術平均をとると、

第 16 表 林外に対する防風防風下の風速比

林外	防 風 林 風 下			
	5 h	10 h	20 h	30 h
100	46.32	61.44	69.38	77.44

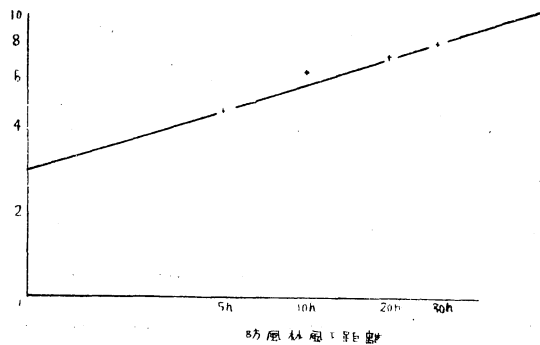
第 17 表 防風林風下表層土の含水率 (12 日 15 時 30 分の測定)

風下距離	5 h	10 h	20 h	30 h	林外
含水率 %	10	5	3	2	1

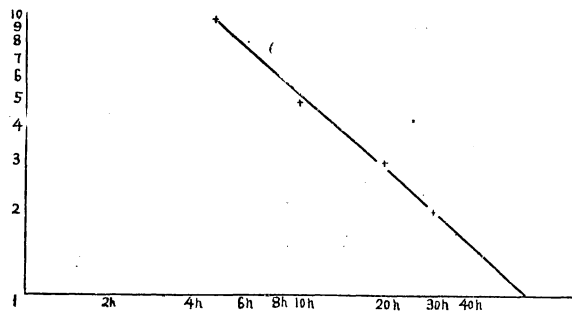
即ち、防風林風下表層土の含水率は、林外表層土の夫れに比し、5 h で 10 倍、10 h で 5 倍、20 h で 3 倍、30 h で 2 倍になつてゐる。

第 14 図に示すように、この防風林では、一般に防風林風下 35 h 迄の風速の変化は拋物線で示され、その曲線式は $y=27.2 x^{0.315}$ で与えられ、又この防風林風下 30 h 迄の表土の含水率の変化も第 15 図のように双曲線式 $y=41.9 x^{-0.89}$ で示される。尙この防風林風下の林外に対する風速比の変化と、之に対応する表土の含水率の関係を求めると、第 16 図のように、両者の関係は、双曲線式 $y=100 x^{-0.347}$ で表わされる。

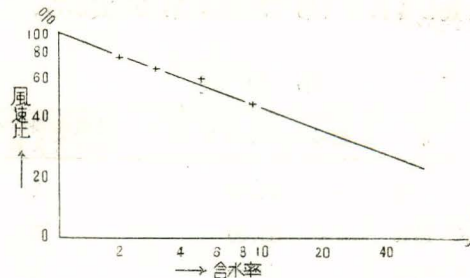
第 14 図 林外に対する防風林風下の風速比



第 15 図 防風林風下表層土の含水率の変化



第 16 図 風速比と含水率との関係



さて、防風林風下と林外（防風林の影響のない場所という意味である）との飛砂量の比較をする為に、4月12日13時15分から14時45分迄観測を行つた。捕砂箱は入口を風向に向けて地上に据えた。測定位置は、林外は前方15mに新に耕した畑があり、此処は飛塵を生じ易い条件下にあつた。又その周囲は麦畑で、測定位置附近は耕耘せられていない平坦なローム地であつた。防風林風下は大体麦畑であるが、30h附近は、作物のないローム地で、かなり異つた土地条件下にあつた。

第 18 表 防風林風下の飛塵量

区 分	粒径 mm	2.5 以上	2.5~ 1.42	1.42~ 0.71	0.71~ 0.41	0.41~ 0.20	0.20~ 0.10	0.10~ 0.02	0.02 以下	計
林 外	飛塵の重量 g	14.4	2.0	26.6	274.1	134.0	39.1	16.1	3.7	510.0
	%	2.8	0.4	5.2	53.7	26.3	7.7	3.2	0.7	100
	風下/林外 %	—	—	—	—	—	—	—	—	100
防 風 林 風下10h	飛塵の重量 g	0.02	—	—	0.02	0.32	0.23	0.06	0.04	0.69
	%	2.9	—	—	2.9	46.4	33.3	8.7	5.8	100
	風下/林外 %	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14
同 20h	飛塵の重量 g	2.1	0.2	7.2	26.9	24.2	19.1	2.9	4.4	92.0
	%	2.3	0.2	7.8	29.2	31.7	20.8	3.2	4.8	100
	風下/林外 %	—	—	—	—	—	—	—	—	18.04
同 30h	飛塵の重量 g	10.5	27.5	72.6	114.6	21.1	0.9	8.5	2.1	257.8
	%	4.1	10.6	28.2	44.4	8.2	0.4	3.3	0.8	100
	風下/林外 %	—	—	—	—	—	—	—	—	50.54

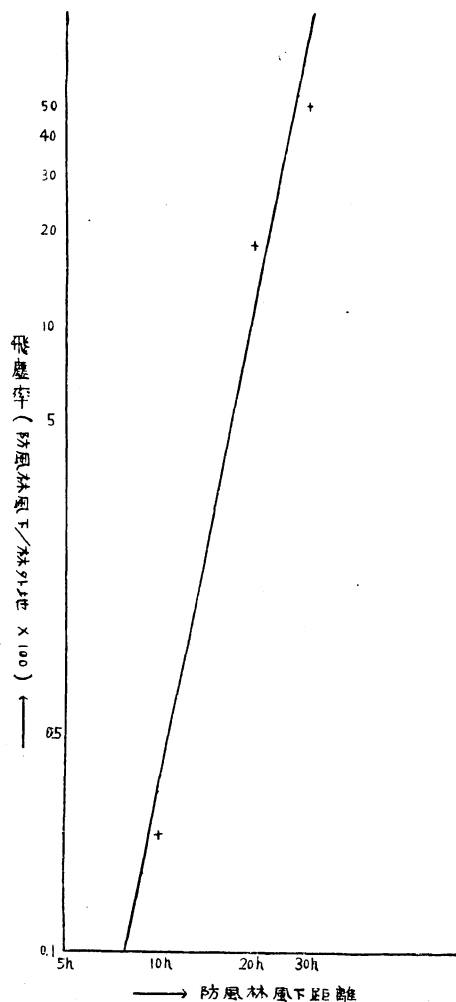
防風林風下 20h のものは、取り扱いの際に箱の後端に土が入つた懸念があるので、この試料は捨て、更に3時30分から30分間、林外と防風林風下 20h との2ヶ所に箱を置いて測定を行つた。この観測値を第1回の観測値中に入れようとするのであるが、既に風速、表土の乾燥状態が異つているので、正確な比較値とはなし難いが、それでも大体の傾向はみられると考える。第1回の林外の飛塵量の合計は 510g であり、第2回の合計は 60.18g であるから、第2回の 20h の観測各値に 510/60.18 を乗じて、第1回に得らるべき値とした。尙、風下5hでは表土の含水率の大きいことと、風速が小さいこと及び麦と菜の花を植えた畑の状態によつて、殆ど飛塵を認められなかつたので、之は考察から除外した。

第18表によつて、防風林風下距離を x 軸に、飛塵率を y 軸にとつて画いた曲線は、拋物線となり、 $y=0.033 x^{2.865}$ で表わされる（第17図）。第16表から、

第19表

区 分	風の乱れの強さ %	飛塵観測時の表土の含水率 %
林 外	21.19	1
防風林風下 10h	32.80	5
” 20h	27.75	3
” 30h	24.64	2

第17図 防風林風下の飛塵率



内田茂男氏は「砂粒の飛出し風速に関する一つの解析」中で、「砂粒が連続的運動を開始する機構に2つの考え方がある。第1は平均風速による空気の合力が、下層の砂粒との間の静摩

擦力に打克つて転動を始める仕方。第2は主に垂直方向の気流の乱れによつて上方への揚力を生じ、之が粒子に働く重力と釣合つた状態に達すると、粒子は非常に移動し易い状態に置かれるから、以後は水平方向の大きな平均風速の作用によつて移動されるとする考え方である。」と述べているが、同様な考え方で、防風林の風下で、林外よりも表土の含水比が大きい場合に、逆に限界風速が小さくなつてゐるのは、乱れの強さの変化によるものと考える。

こゝで乱れの強さのみを考えて、乱れの大きさを考究の外に置いたのは、乱れの大きさがどの程度表土の飛散に影響するかも推測し難いし、又乱れの大きさを測ることが研究の現状では不可能であつた為であつて、理論追究の立場からは将来に留保さるべき問題であると考える。

限界風速を $W = a\alpha + b$ で表わす場合には、防風林風下の限界風速は上述の通り林外の限界風速より大きくなるべきであるが、実際には、第15表及び第18表に示す通り、之と一致する結果は得られない。現在の場合、防風林風下の限界風速は明確に測定されていないので、仮りに林外が限界風速 5.1 m/s の場合には之に第16表の風速比を乗じた値が風下の各点の限界風速を与えるものと仮定し、風下 10 h, 20 h, 30 h に対する之等の値を夫々 W'_{10} , W'_{20} , W'_{30} と表わせば、

$$W'_{10} = 3.13, \quad W'_{20} = 3.54, \quad W'_{30} = 3.95 \text{ (m/s)}$$

之等と林外の限界風速 W との関係を定める為に、

$$W'_{10} = C_{10}W, \quad W'_{20} = C_{20}W, \quad W'_{30} = C_{30}W$$

と表わして、 C は風下距離に關係する因子と考え、その点の風の乱れによつて定まるものと見て、

$$C_{10} = (T/T'_{10})^{n_{10}}, \quad C_{20} = (T/T'_{20})^{n_{20}}, \quad C_{30} = (T/T'_{30})^{n_{30}}$$

と置く。こゝに T は林外に於ける風の乱れで、 T'_{10} , T'_{20} , T'_{30} は夫々風下 10 h, 20 h, 30 h に於ける風の乱れを表わす。この式に第14表の値を代入して n を求めると、

$$n_{10} = 1.116, \quad n_{20} = 1.354, \quad n_{30} = 1.690$$

乱れの強さは風速によつて異なるから、 n は第16表の風速比によつて変化するものとし、風速比を r として n と r との関係を求めると、次の直線式が成立する事が知られる。即ち、

$$n = 0.0357r - 1.09$$

従つて、観測地に於ける防風林風下の限界風速 W' と、林外の限界風速 W との間には、一応次の關係式が成立する事となる。即ち、

$$W' = W(T/T')^{0.0357r-1.09}$$

W' : 防風林風下の限界風速 (m/s)

T' : W' に対応する点の風の乱れの強さ (%)

T : 林外の風の乱れの強さ (%)

r : W' に対応する点の林外に対する風速比 (%)

W : 林外の限界風速 (m/s)

8 摘 要

(1) 本試験は、冬期から春先にかけての乾燥期に、強い西北の季節風によつて生ずる表土の飛散に悩む群馬県新田郡桔梗ヶ原開拓地に就いて行つたものである。この一帯の土壤は洪積土上に火山灰砂が厚く堆積したものである。

(2) 飛塵（飛散表土）の測定は第1図に示すような捕砂箱を垂直的に地表（箱の中心は地上 7 cm）、地上 50 cm（箱の中心）、1 m、1.5 m、2 m、2.5 m の6ヶ処に置いて行つた。従つて地上 2.57 m 以上を飛散する土粒は捕捉されていない。この箱の飛塵捕捉率は風速によつて異り、風速と捕捉率の関係は第2図の曲線で示される。

箱の内部では風速は箱の外部よりも小さく外部の風速を V_s 、箱の入口の風速を V_e とすれば、 V_e と V_s の関係は $V_s = 1.94 V_e - 1.16$ で示される。

(3) 飛塵は粒径 2.5 mm 以上、2.5 mm~1.42 mm、1.42 mm~0.71 mm、0.71 mm~0.41 mm、0.41 mm~0.20 mm、0.20 mm~0.10 mm、0.10 mm~0.02 mm 以下の8階級に分けて測定した。

重量別に飛散の状態をみると、粒径 2.5 mm 以上のものの飛散は地上 13.5 cm 以下にられ、又粒径 2.5 mm~1.42 mm のものの飛散は地上 43 cm~57 cm の範囲に限られ、限最も多量に飛散するのは粒径 0.71 mm~0.10 mm のもので、このことは開拓地土壤の組成と同様な傾向を示すものである。粒数別にみると、粒径 0.10 mm 以下のものが大部分を占めている。

各垂直高別に測定した飛塵の算術平均値を箱の飛塵捕捉率で除したものに飛塵時間数を乗じたものを風衝面 $0.135 \times 0.135 = 0.018225 \text{ m}^2$ 当りの一日の飛塵量とし、之を垂直高 2.5 m、幅 1 m の単位風衝面の値に換算すると、この単位風衝面を通過する一日の飛塵量は $13,943.55 \text{ g} \approx 14 \text{ kg}$ となる。尤も一地点に於ては風速の大小や風の息に従つて飛び上るものもあり、又飛来したものが落下するものもあるので、この量が其処から失われるのではなく、その差引量の +- が其の地点（幅 1 m の線上）に現われるのであるが、これだけの量の土粒がその線上を移動することには変りはないのである。

(4) 千種氏は平坦地の砂（粒径 0.334 mm）の転動の限界風速を 4.98 m/s と計算しているが、今回の観測では 5 m/s（地上 20 cm の風速）となり、大体一致している。

又秋葉氏は実験の結果、砂土の含水率 1% のとき限界風速は 6~8 m/s なる値を得ているが、今回の観測では、表土の含水率 1.64% の時、限界風速は 5.1 m/s（地上 20 cm の風速）であつた。

(5) 飛塵の限界風速を示す式を $W = a\alpha + b$ (W : 限界風速, α : 表土の含水率, a, b : 係

数)とし、風洞実験によつて係数を定めると、 $W=1.5\alpha+2.6$ が観測地に於ける限界風速と含水率の関係式として得られる。但しこの場合、風の乱れの強さは 20% 程度である。

- (6) 表土の乾燥は部分的に進行するが、部分的な少量の表土の飛散は、全体としての含水率とは無関係に、部分的な表土の乾燥によつても起るものである。この表土の部分的な乾燥状態をみると、その含水率は時刻及び風速の函数として双曲線状に減少し $\alpha=at^b$ (α は含水率、 t は時刻) で示される傾向にある。

尙表層下 1 cm 層では、表層土とは異なる含水率の変化を示している。

- (7) 桔梗ヶ原開拓地に残された落葉広葉樹を主とし、之に“あかまつ”を混する幅約 36 m の疎立防風林の飛塵防止効果を検討するに、防風林風下の飛塵量は、風下 10 倍で林外(標準地)の 0.14%、同じく 20 倍で 18.04%、同じく 30 倍で 50.54% であつた。この関係は拋物線式 $y=0.033x^{2.865}$ (y は風下距離、 x は飛塵量) で示される。

防風林風下では、風速の減退によつて表土の乾燥が遅く、含水量が大であるにもかゝらず、小なる風速によつて表土の飛散が生ずるのは、風の乱れの強さが大きい為である。この関係は防風林に近い程甚だしく、防風林を遠ざかるに従つて、標準地の状態に近づくのであつて、乱れの強さの大きい場合には限界風速は著しく小さくなる。

観測地に於ける防風林風下の限界風速を W' とし、林外(標準地)の限界風速を W とすれば、両者の間には $W'=W(T/T')^{0.037r-1.158}$ (T : 標準地の風の乱れの強さ、 T' : W' に対応する点の風の乱れの強さ、 r : W' に対応する点の標準地に対する風速比(%)) なる関係が成立する。

- (8) 第 12 表、第 13 表及び第 12 図に示す如き防風林の風下に於ける飛塵率は概ね第 17 図に示す如きものである。

参 考 文 献

- 千種 虎正：砂浜開墾地の砂粒子と風速との関係 農業土木研究 第1巻、第2号
 秋葉満寿次：砂面蒸発量と風速との関係 農業土木研究 第5巻、第2号
 秋葉満寿次：砂土含水量と飛砂限界風速度との関係 農業土木研究 第5巻、第2号
 河村 龍馬：地上附近の風に関する二、三の実験 林野局 治山事業参考資料 第1輯
 海岸砂地造林に関する調査報告
 内田 茂男：砂粒の飛出し風速に関する一つの解析 林野局 治山事業参考資料 第1輯
 海岸砂地造林に関する調査資料
 土 壤 保 全：農林省開拓局計画部 昭和 23 年 12 月
 Carlos G. Bates: The Windbreak as a Farm Asset; Principal Silviculturist, Lake
 State Forest Experiment Station, Forest Service, 1944.

Summary

Wind Erosion Prevention by Windbreak

Hajime IIZUKA

In this study the wind erosion namely the surface soil blowing by strong wind in Kanto District was observed in order to clarify the effect of windbreak upon soil blowing.

1. The observation was made during the period of 5 days beginning April 8 1949 on the reclaimed field in Kikyogahara, Gumma Prefecture.

2. On this area the north west seasonal wind prevails in the season ranging from winter to early spring. This wind together with dryness causes so serious soil blowing that farming can not be operated in places not protected by windbreaks.

3. The amount of blown soil was measured by an apparatus designed by the Wind Damage Research Office, Forest Experiment Station. This apparatus called "Sand catcher" is a box with the length of 100 cm and open square ends of 13.5 cm×13.5 cm, one of which has sharp edges and placed against wind. Inside the box there are placed 7 sheets of wire nets of a size 13.5 cm×6.75 cm alternately with distances of 10 cm starting from the points 10 cm apart from the leeward end.

4. Sand catchers are placed on the ground surface and in the heights of 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5 meters above ground.

5. The soil catching rate (the percentage of the amount of soil caught to that blown) of the box differs according to the wind velocity; 78% for 5.95m/sec of the standard wind velocity (the wind velocity outside the box) and 48% for 8.14m/sec.

6. Under the assumption that soil particles are blown with the same velocity of the wind, it is presumable that the amount of blown soil in a given period is propotional to tge average wind velocity in the same period. Let the amounts of blown soil at the entrance of the box and outside the box be M_e and M_s respectively.

Then,

$$M_e = M_s V_e / V_s$$

Further, the ratio between the wind velocities at the entrance of the box and outside the box is known from wind-tunnel experiments as $0.976 V_e / V_s$. Therefore, in the case where the wind velocity ratio is calculated by means of an equation between V_e and V_s , namely $V_s = 1.94 V_e - 1.16$ (empirical formula), the average amount of blown soil at the entrance of the box \bar{M}_e is obtained as

$$\bar{M}_e = M_s \frac{0.976 V_e}{V_s} = M_s V_e / V_s$$

7. The amount of soil blown through a plane 1 meter wide and 2.5 meter high perpendicular to the wind direction is calculated as 1.4 kg per day, where the duration of soil blowing is estimated to be 5 hours per day. Generally speaking, windward area suffers from wind erosion while leeward area, from soil deposit.

8. The limiting velocity for soil blowing is $W = 1.5\alpha + 2.6$ at the experimental site, where α is the water content of surface soil. The intensity of wind turbulence is estimated to be about. 20%.

9. The effect upon wind velocity control was very small, since the velocities were minimized to only 61.44%, 69.33% and 77.44% of the wind velocities on the standard area (the area having no influence of the wind-break) for 10 h, 20h and 30 h respectively. However, the effect upon soil blowing control was quite large since the soil blowing rates were 0.14%, 18.04% and 50.54% of the standard area for 10 h, 20 h and 30 h respectively.

10. Despite the delay of drying and the richness of water content owing to the decrease of wind velocity, surface soil is easily blown by gentle winds on leeward side. This reason is due to the large intensity of wind turbulence. Let the limiting wind velocity on the leeward side of a windbreak be W' and the standard wind velocity be W . We have the following relation :

$$W' = W(T/T')^{0.037r-1.158}$$

Where T : The intensity of wind turbulence on the standard area.

T' : The intensity of wind turbulence at the point corresponding to W' .

r : The ratio of the wind velocity at the point corresponding to W' to standard wind velocity.

The scale of the wind turbulence was neglected in obtaining the above formula.

Figure 1 consists of three schematic diagrams labeled (a), (b), and (c). Each diagram shows a participant seated in a car seat. In (a), the participant is holding a steering wheel, and there is a sensor on the steering wheel. In (b), the participant is holding a steering wheel, and there is a sensor on the steering wheel. In (c), the participant is holding a steering wheel, and there is a sensor on the steering wheel.

附表(1)

前橋に於ける風速風向並雨量

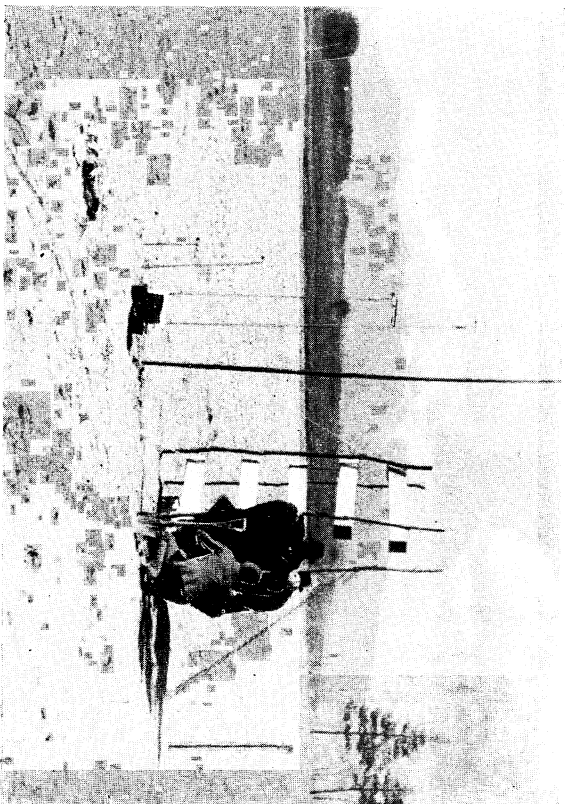
月日	風速 m/s		最大時に於ける風向	雨量	月日	風速 m/s		最大時に於ける風向	雨量	月日	風速 m/s		最大時に於ける風向	雨量	月日	風速 m/s		最大時に於ける風向	雨量	月日	風速 m/s		最大時に於ける風向	雨量
	平均	最大				平均	最大				平均	最大				平均	最大				平均	最大		
12.1	2.2	5.0	ESE	—	1. 1	5.0	9.3	NNW	26.2	1. 1	3.3	6.1	NNW	0.0	3. 1	7.3	13.0	WNW	0.0	4. 1	7.4	15.8	N	0.0
2	5.4	12.5	N	—	2	8.1	13.2	NW	—	2	1.1	2.8	SSE	0.0	2	5.2	13.5	NNW	0.7	2	7.3	12.9	NNW	—
3	5.9	13.8	N	—	3	3.9	6.7	NW	2.0	3	1.5	3.4	ESE	2.2	3	8.4	13.5	NW	—	3	3.0	5.9	NNW	1.3
4	4.9	9.2	N	—	4	5.6	9.3	WNW	—	4	3.4	6.1	SE	1.5	4	3.6	8.7	NW	—	4	9.5	18.0	N	4.0
5	2.5	5.0	NW	—	5	7.9	12.9	W	—	5	6.0	13.2	NW	0.0	5	6.9	13.7	NNW	2.2	5	4.8	10.5	NNW	10.7
6	3.2	6.3	NNW	—	6	5.6	10.8	WNW	—	6	6.6	12.9	NNW	—	6	7.4	13.7	N	—	6	5.9	14.2	N	7.1
7	6.9	10.7	NNW	—	7	4.7	7.6	W	—	7	5.1	9.1	NNW	—	7	6.6	17.3	NNW	0.7	7	7.4	13.2	NW	—
8	6.9	14.0	N	—	8	4.2	9.4	NNW	—	8	5.2	73.2	NNW	0.0	8	5.5	11.2	NNW	—	8	6.7	14.0	NW	—
9	3.7	7.2	NNW	—	9	5.7	10.7	NNW	0.0	9	4.1	9.8	N	0.0	9	3.4	6.3	NW	0.0	9	4.5	8.9	N	—
10	4.2	10.8	NNW	0.9	10	3.6	8.4	NNW	—	10	5.0	10.0	NNW	0.2	10	3.7	14.2	NNW	0.0	10	4.0	13.2	N	2.0
11	3.4	6.5	NNW	—	11	3.7	6.1	NNW	—	11	3.3	6.3	WNW	—	11	9.5	14.5	NNW	—	11	4.1	9.4	N	11.1
12	3.5	6.3	N	—	12	4.6	8.5	NNW	—	12	3.9	8.4	WNW	30.1	12	7.2	13.5	NNW	—	12	8.2	13.4	NW	0.0
13	4.8	9.7	N	—	13	7.7	12.5	NNW	—	13	7.0	13.5	N	—	13	4.3	9.8	NW	1.5	13	5.8	10.3	E	1.4
14	3.5	6.2	N	9.2	14	3.4	6.5	WNW	0.3	14	5.1	9.8	NNW	0.7	14	3.6	9.8	NNW	11.8	14	9.9	15.3	N	0.9
15	5.8	14.5	NW	1.6	15	3.4	11.3	N	—	15	7.6	12.0	WNW	—	15	3.4	9.8	N	0.0	15	6.0	11.8	NNW	—
16	5.0	9.5	N	—	16	6.6	12.9	NNW	—	16	6.4	12.4	N	—	16	7.9	10.5	NNW	—	16	9.2	14.9	NNW	—
17	3.0	4.7	NW	—	17	5.3	8.9	NNW	—	17	5.1	11.2	NNW	—	17	3.1	13.0	NW	—	17	4.4	8.5	N	—
18	2.3	6.0	NW	—	18	4.7	10.7	NNW	—	18	5.5	8.7	N	0.0	18	5.6	6.7	NNW	2.4	18	4.7	8.0	NNW	0.3
19	3.0	6.3	ESE	—	19	7.0	12.9	NNW	—	19	5.2	9.1	W	—	19	6.3	16.5	N	0.0	19	2.9	11.5	N	0.5
20	2.8	5.5	NNW	0.4	20	5.6	11.7	NNW	—	20	3.4	7.1	WNW	—	20	5.3	11.7	N	—	20	4.1	7.4	NNE	—
21	2.0	5.3	N	1.4	21	3.5	6.3	NW	—	21	10.2	15.5	W	—	21	5.3	10.7	N	0.0	21	3.2	6.1	SE	4.6
22	8.3	13.3	N	—	22	6.0	12.4	N	—	22	3.4	8.2	NW	—	22	7.6	14.2	N	—	22	8.5	17.7	NNW	0.3
23	2.7	5.5	NNW	—	23	7.2	12.2	NNW	—	23	5.0	12.9	N	—	23	7.6	13.2	N	—	23	2.2	4.8	SE	6.6
24	1.0	3.3	W	5.1	24	6.9	9.8	NNW	—	24	3.5	6.1	ESE	—	24	4.3	7.6	N	—	24	3.6	8.2	ESE	—
25	0.9	3.0	W	4.5	25	4.7	8.5	NNW	—	25	3.0	6.7	NNW	0.2	25	4.1	8.4	N	—	25	7.9	14.9	N	0.0
26	1.3	5.0	NW	3.8	26	9.2	16.0	NNW	—	26	4.2	8.0	NNW	1.7	26	5.4	11.0	NNW	—	26	4.3	9.8	ESE	—
27	1.3	3.5	N	7.0	27	5.0	10.1	NNW	—	27	2.2	11.2	N	0.4	27	2.2	4.4	SSE	0.4	27	1.9	7.4	NNW	12.2
28	2.7	2.0	E	0.8	28	4.3	6.9	NNW	—	28	9.0	15.3	WNW	0.0	28	3.2	6.1	NNW	—	28	8.7	13.2	NNW	—
29	5.4	10.8	NNW	—	29	4.1	7.3	NNW	0.0						29	5.4	8.4	NW	4.0	29	9.1	18.5	NNE	0.0
30	2.2	4.5	NNW	—	30	6.2	14.5	NW	—						30	7.1	12.0	N	—	30	4.0	9.8	NNW	—
31	2.1	5.2	NNW	—	31	3.4	5.4	NW	—						31	3.3	6.7	N	1.4					
合計	—	—	—	34.7	合計	—	—	—	28.5	合計	—	—	—	37.0	合計	—	—	NNW	25.1	合計	—	—	—	—
平均	3.63	—	—	—	平均	5.38	—	—	—	平均	4.79	—	—	—	平均	5.47	—	—	—	平均	5.77	—	—	—

(備考) (イ) 風速の単位は (m/s) とす (ロ) 雨量の単位は (mm) とす (ハ) 本表四角欄は (イ) (ロ) (ハ) の三つを併記したものである。

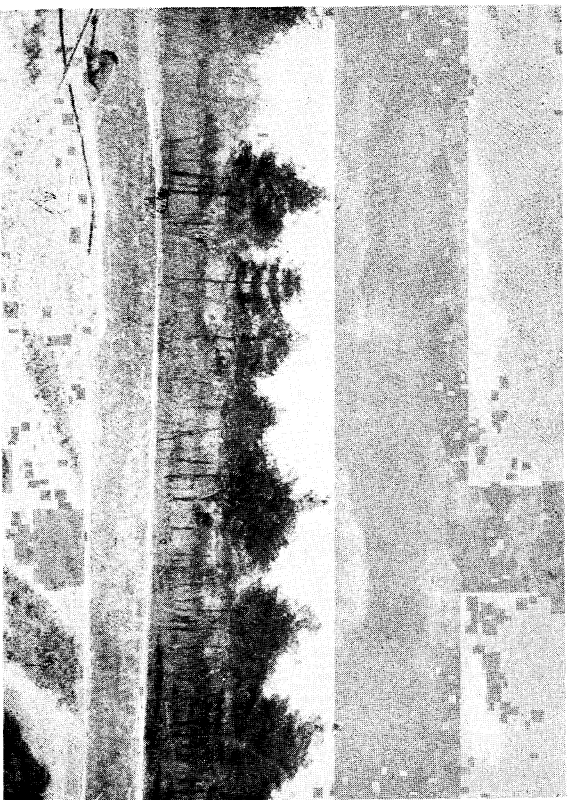
防風林による風蝕の防止。(飯家)

写真説明

No. 1 抽砂箱による飛塵の抽捉



No. 2 供試防風林



No. 3 耕地の飛塵状況 (4月12日午後撮影)



No. 4 同 上

