静岡県柑橘試験場の気象改良工法に関する風洞模型実験†

谷 信 輝*・岩 崎 尚**・小 中 原 実***

(*農業技術研究所気象科, **園芸試験場環境部, ***静岡県柑橘試験場)

On the Model Test of Modified Features in Shizuoka Citrus Experiment Station

N. TANI*, T. IWASAKI** and M. KONAKAHARA***

(*National Institute of Agricultural Sciences, **Horticultural Research Station,

***Shizuoka Citrus Experiment Station)

1. ま え が き

静岡県柑橘試験場は清水市駒越に、昭和15年創設以来ミカン栽培に関するすぐれた業績をあげてきたが、戦後特に昭和28年9月16日13号台風以来、台風による場内ミカン樹の潮風害、風害の発生が顕著となり、以後34年9月26日伊勢湾、36年9月16日18号、40年9月17日24号台風など相ついで、甚大な被害を与え、試験研究の満足な遂行も困難になつて来た。今回試験場の整備にあたり、気象改良工法を採用したほ場基盤整備計画を立案した。気象改良工法というのは風道の変更のための地形改造、防風林、防風垣の合理的配置、その他防災施設の整備を含めた総合的な気象改良法である。この静柑試の例でいえば地形改造として台風時に尾根鞍部より入る強い潮風気流を高いえん堤により阻止し、一方風下側の陵線部を切欠きその気流を流し去ることが考えられた。しかしこのように大規模な地形改造による気象改良は未だその例をみず、風洞実験により場内の風の変化をみて、工法効果の確認をする必要があつた。

本実験は静岡県柑橘試験場の依頼により日本農業気象学会が受託し行つたもので、その結果はすでに報告書として提出されているが、学会誌を通じ結果の概要を報告するものである。

2. 風洞模型実験の方法

(1) 相似法則

塔、橋などの建築物の設計に際し、あるいは飛行場設定の場合に、その模型により、建築物に及ぼす風の力、地形による風向風速の分布などが求められ、その結果と現地実物の場合とよく一致することがすでに認められ、風洞模型実験の有効性が立証されている。

† 昭和43年7月5日関東支部例会において発表

地形模型の風洞実験にあたり現地との相似関係をうるために考えねばならないことは、(1) 地球回転の影響(コリオリーの力)、(2) 重力、(3) 静圧、密度の高さによる変化、(4) 気層の熱的安定度、(5) 空気の圧縮性、(6) 粘性である(根本、1967)。しかし今回の実験は、台風時における小面積の試験場内の風向風速分布を求めることが目的であるから、上記の諸条件の大部分は省略でき粘性の影響のみ考慮すればよい。

井上(1952)は地表風現象の模型実験相似条件として「乱子レイノルズ数の一致」をあげ、自然地表風と風洞気流との乱流条件を明らかにした。ここで乱子レイノルズ数 R とは

$$R = UL/K$$

で表わされる。 U は平均風速、 L は物体の代表的長さ、 K は気流の乱子動粘性係数(乱流拡散係数)である。これによれば、一般に地表風でも風洞風でも K は U に比例するものであるから、乱子レイノルズ数は風速により変化しないものである。すなわち、平均流の速度、方向の分布パターンは風速により変らないしを意味し、そのパターンを変えるためには、風洞気流の乱れを増減して K をかえ、レイノルズ数をかえねばならない(谷、1958)。

風洞実験の方法 模型製作上の注意は、根本(1967)により与えられているのでこれらに従い、また今回の実験の目的に合うよう、実験方法を決め模型製作を行った。

(2) 地形模型の製作

模型の大きさは風洞測定部の有効幅で制限されるが、縮率はできるだけ大きい方が測定は楽である。農業技術研究所小型風洞(ゲッチンゲン型測定部幅80 cm×高60 cm×長100 cm)を使用するため、模型基盤は直径75 cmの円形とし、縮率は試験場周辺地域を含ませるため1,000

分の1とし、水平、垂直方向とも同縮率とする。

地形改造の案はいろいろ考えられたが、実験可能な数は限られるので、次の4種とした。

- ① 現状地形
- ② 改造地形 A、A'
- ③ “ B

A、A' は1部分の変化で、その部分だけ模型を交換できるようにした。

模型製作はまず現状地形のものから着手した。1/1,000地形図に実験対象地域を含む直径74 cmの円を描き、その中を東西方向に1 cm 間隔の平行線を引きその線に沿った地形断面を作る。それを基盤上に原図に従って直立させそれらの間をペーパーセメント、粘土などで埋め地形を成形した。現状地形模型完成後それを原型に改造地形用として複製を作り、それぞれの改造案に従い切削補填して成形した。各模型とも表面植被として、ナイロンせいを接着し、尾根筋の防風林として1~1.5 mmの目をもつ網を幅1~1.5 cmに切り虫ピンでたてた。建物など主要のものは木片、スチロール板で作り所定の位置に固定した。

(3) 模型設置

風洞測定室床面をベニヤ板張りとし地形模型の入る位置に直径75 cmの孔を切抜き、そこに模型を収める。高低調整と方位変更ができる様、模型は戸車つきジャッキ3台で支えられている。模型と測定室側壁との間隙を地形が不連続にならないよう木片と紙でカバーした。

Fig. 1. The model under test (Modified feature type A').

(4) 測定

風洞風速は約5 m/sの一定とし、平均流パターンの変更には乱流格子、壁面粗化を考えたが、結局それらが無い方が現地とよく相似する結果であつた。

台風により被害が発生するときの主風向は SE-S-SWの間にあると考えられるので、実験は、SE, SSE, S,

SSW, SWの5方向について、模型表面近くの風向風速の分布測定と潮風による塩分沈着を模型化して澱粉沈着状況観察を行つた。風向測定には針金の先につけた絹糸を風向計としそのフレを見た。風速測定には熱電対風速計を用い、模型の表面上約2 mmの高さの風速を求めた。また市販の片栗粉と称する澱粉を簡易ダスターで汀線に相当する所より飛散させ、模型上で粉の沈着量の多少を観察により判定した。

3. 現状地形模型実験結果

現状地形模型上の20余りの点で風向と風速とを測定し、それを各主風向について繰返したが、そのうちの3例を第2~4図に示した。これらの分布図をならべて見

Fig. 2. Wind direction SE.

Fig. 3. Wind direction S.

Fig. 4. Wind direction SW.

Fig. 2-4.

Wind velocity distributions on the present feature model surface. Arrow marks point wind direction and numbers beside the mark mean ratio of wind speed at the center of tunnel in per cent.

Fig. 5. Wind direction distribution at the field, 1400-1500, Feb. 20, 1968.

ると次の点に気がつく。

① 試験場は場のある谷内風向は主風向（風洞風向）が E より SSE までは東より、すなわち谷を上る方向の風である。一方主風向 SW では西よりの谷を下る方向を示す。この中間の S, SSW の時、谷内の風向はほぼ NW となるが乱れが非常に大きく、風向計のフレが激しい。風向計振動の様子は 3 本の矢で表わされ、中央の矢が平均の風向、左右の矢はフレ幅を示した。地形による風向の変化については、山本（1958）がその特徴

Fig. 6. The distribution of powder deposit on the model at the wind direction S.

を指摘したが、今回の実験においても同様なことが認められている。

② 尾根の鞍部の風向は主風向に拘らず、尾根に直角に近い風向をとる。

③ 主風向に最も近い風向を示すのは、試験場の東端にある海拔 48 m の高地上の点である。

風速は図中に風洞風速との比率（%）で示した。風速の高度分布のため風速計感部の設置高度の影響があらわれ、測定にあたり極力高さを揃えるよう努めたが、測定値に誤差を与えたように思われた。

風向風速の測定がかなり客観性をもつたのに対し、粉末実験では観察者の主観的判断で沈着量の多少を判定したので厳密な解析には適さないが、沈着量が多いとみられる場所は、

- ① 風向に直角に対面する斜面
- ② 風が渦を巻く部分

などである。第 6 図は場内の特に量が多いと見られた部分のみを示した。場外の海岸に面した斜面、西側の丘陵斜面など勿論多量に沈着したが記載を省略してある。

4. 現地観測との比較

風洞実験の相似性を確認するため、現地において、風向、風速の分布観測を実施した。第 5 図は昭和 43 年 2 月 20 日風向風速自画器によりえた風向分布の結果で、風洞実験の SW の場合と比べると細部には相違する所が見出されるが大体の傾向としてよく相似している。一方風速分布の測定を 2 月 1 日 11 台の中浅式風向風速計で、11 時 10 分から 14 時 25 分までの間に 10 回 5 分間平均風速の

Fig. 7. The distribution of damages by typhoon No. 5313, Sept. 26, 1953.

測定を行つた。毎回の風速分布と風洞実験の各風向の風速分布とを比較してみても両者の間の相似は良好でない。現地での風速観測時間5分は短かすぎ局所的な影響が強く現れたものと見られ10回の観測を平均したものの分布は風洞実験値にやや近い。これは現地風速計設置場所の状態、高度による誤差、また風洞実験の際の測定誤差のため風向分布の相似より悪かつたと思われる。

粉末実験に相当する場内塩分付着量分布調査は台風時極く一部しか実施されておらず、相似性を確かめることはできないが、台風被害分布調査で被害程度『甚』〜『多』とされる範囲(第7図)と模型上の粉末沈着量の特に多かつた場所とはよく一致している。被害は塩分付着量のみで決定されるものではないが、粉末実験の有効性を示したと思う。

以上風向、風速および沈着量分布の現地と風洞模型との相似程度から、この風洞実験の方法は妥当なものと判断し改造地形模型に適用することとした。

現地形模型の実験結果から、台風時場内に被害発生が多い原因として次のことが考えられた。

① 過去被害の大きかつた台風はすべて清水市の西方を通過したもので、最大風速はSSE, S, SSWの風向のとき発生した。

② 最大風速発生時場内は場の風は非常に乱れる。従つてこの時、樹の折損、落果、擦傷を多く発生し、場合によっては倒伏を起こす。

③ さらに悪いことはこの時海岸からの潮風を最も多く受け、激しい潮風害となる。

従つて被害軽減のためには、風を弱め乱れを少くし、潮風の侵入を防ぐ必要があり、特に風速が最大となる風

向に対して最も効果のある防風施設の設置が重要であることが判る。

5. 改造地形模型実験

改造地形 A, A' は、場内の地形を整理して平滑化し西端に高さ約 20 m, 長さ約 100 m のえん堤を築き、また東側の谷に本館を建てる形である。その本館西側の尾根の切り方で A 案, A' 案と分けられる。

A と A' との風向分布を比べてみると、変更部分の周囲は風向がちがつているが、全体の分布はほとんど変わらない。

改造地形模型 A, A' においても、現地形と同様、主風向 E~S と SSW~SW とで場内の風向が反対となる

Fig. 8. Wind direction SE.

Fig. 8-10. Wind velocity distributions on model surface (Modified feature type A).

Fig. 9. Wind direction S.

Fig. 10. Wind direction SW.

Fig. 12. Powder deposit on model type A'.

Fig. 11. Powder deposit on model type A.

Fig. 13. Wind direction distribution on model type B, at wind direction S.

が、えん堤を作ったことで、その付近の風向はかなり乱れる。主風向 S の場合、東から場内をぬける風と、西から入ってえん堤上面を東に向う風とがあり、この両者がぶつかるえん堤肩部で特に乱れが大きく、風向計が回転して平均の風向は求め難い。SW になると乱れは少なくなり、風は滑らかに場内を下る。現地形の場合と比べ、場内地形の単純化により乱れの程度は減少しているが、風速はかえって増加している。

粉末実験結果では、本館南側および西側、ほ場北側の南向斜面、えん堤上面平坦部に特に多い部分がみられた。A、A' の比較では、A' の本館西側から平坦ほ場への侵入が多いことが観察され、ほ場保護の見地から、A

案の方がすぐれていると考えられた。

改造地形 B 案はえん堤を A よりさらに大きくし、西側は海拔 60 m、南東側鞍部は 48 m の高さとし、場内を広く平坦にした。また西側のえん堤上面を水平に北に延ばし、北西側の尾根を削り取つたものである。風向分布の大略は A と大差ないが、A よりさらに地形が広く単純化されたため、風の流れも単純化された。しかし高いえん堤のため、場内の逆風も顕著となつている。北西側尾根を切取つた影響は、風向 SE-S のときあらわれ、そこを抜ける風が認められたが、SSW-SW ではその効果はほとんどない。切取部をぬけた風は場外北西方向約 200 m 離れた同高度の斜面付近の風向に若干の影響を与

えるが、その程度は著しいものでない。

6. 風洞模型実験結果の考察

改造地形により当初考えられた風害、潮風害軽減などの気象改良の目的は達せられたか実験結果から考察し、さらに改良すべき点を指摘しよう。

風害、潮風害の原因である風についてみると、風は大まかにいつて、海岸線に平行な2線の尾根に大きく支配され、大体谷線に沿うて流れるが、主風向が谷線に直角の時、谷内の風は弱いが乱れは非常に強い。現状地形では、南側尾根の切れた鞍部からの強風の吹き込みによりその正面に甚大な被害を生じている反面、尾根の風下側斜面に僅かの面積ながら無被害の場所もある複雑さを示している。今回実験した程度の地形改造では、場内の風向風速分布を根本的に変更することは出来なかつたが、地形の単純化により、特に被害の甚しい場所あるいは無被害の所がともに解消し、場内の条件は均一化することが認められ、防風垣の配置を容易にして防風効果が期待でき、風害軽減の効果があると推察された。

改造地形Aは、実験した3案のうち工事量は実行可能の程度であり、また風洞実験結果でも被害軽減の効果が比較的大きいと見られたので、A案について防風垣の配置案を検討した。防風垣の防風効果は、風向が垣に直角の時最大であるので、垣の設置の方向は最大風速発生時の風向により定めねばならない。風洞実験では風洞風速を約5 m/sの一定として各風向で測定を行つたが、実際の台風の経過をみると、始めSEの風向で暴風となり台風の接近と共に風速が増し風向はSにより、S-SSWの時最大風速となり以後風向はSWに転じ風速が減ずるのが普通である(風向順転の場合)。今このような風向風速の時間的変化を考え、風洞実験でえられた各点の主風向別の風向風速の分布を組合せると、各点の風向別風

速変化(ウインドローズ)が求められる。1つのモデル台風についてえられた結果は第14図の通りで、傾斜の方向に風が強いことが判る。従つてこの場における防風垣の配置は、傾斜に直角すなわち等高線に平行なものを主とし、風向の変化を考えて、主垣帯に直角な副垣帯をおくものとする。

作物の風害被害は、風の運動エネルギー量により決定されることを著者の1人はすでに明らかにした(谷, 1967)。すなわち作物にあたつた風速が大きいほど、またその継続時間が長いほど被害が大きくなるものであるが、同じ場所と同じ台風による風害程度を比較する時は暴風時間中の全風速のちがいをみれば、被害程度の大小が判る。現状地形模型の風速分布と現地被害程度調査結果とより、風速と被害程度との関係を求め、それを改造地形に適用すると、改造により平坦にしたほ場中央部で防風垣のない場合は被害『中』程度となると推定される。それを被害『少』から『無』程度にするためには、風速を60~70パーセントに減少させることが必要であることが判つた。この程度の減風を目標とする防風垣の造成は大した困難はないと思われる。

潮風中の塩分は、風と同様、少々のかん堤でその侵入を防止できない。風向の大幅な変更ができないことが、明らかとなつた以上付着塩分の減少法を別に考えねばならない。防波堤の形状変更による海水飛散の抑制、付着塩分水洗施設の完備は勿論必要ではあるが、潮風の濾過による塩分の侵入防止が極めて有効である。すなわち潮風の通路に風を透過する樹枝葉層の厚い防風林帯の造成が必要である。戦前にも台風はあつたと思うが、場内被害がそれほど問題とならなかつたのは、場周辺にマツその他の樹木が多く潮風防止の役目を果していたためと考えられる。潮風防止に効果があるものは、濾過作用のある防風林のようなものに限り、風に対して不透過性のえ

Fig. 14. Wind direction and speeds during a model typhoon on model type A.

Fig. 15. The plan of wind breaks and shelter belts.

ん堤、建築物等では風道を若干変えるだけで、塩分侵入防止には全く効果がないのみならず、風に乱れを与えかえつて害を増すものである。

以上の考察から整備配置すべき防風林、防風垣の試案を示すと、第15図の通りとなる。ただしこれは風の条件からのみ決めたもので、実際にあたつては試験区画の都合作業の難易などを加味して修正しなければならない。

今一つ注意を要することは、以上えられた結果すべて平均的状态を取扱つたに過ぎず、自然の瞬間的な現象は風洞実験では予想もしなかつた結果を生ずる可能性があり、平均的状态に基礎をおいた対策で完全とはいえない。災害に対する不断の備えが肝要であることを特に強調したい。

本実験を行うにあたり、現地調査、風洞実験に懇切なる御指導、御助言を頂いた名古屋大山本良三助教授、気象研究所根本茂室長に厚く感謝するとともに、現地静岡柑橘試験場当局の絶大な御支援に深甚な謝意を表する。

7. 摘 要

(1) 静岡県柑橘試験場のほ場整備計画において考えられた台風による風害潮風害防止を目的とする気象改良工法の効果確認のため、風洞模型実験を行つた。

(2) 模型として現状地形、改造地形3種が作られた。それらは直径75cmの円形で縮率1/1,000となつている。これらを風洞内におき、主風向別に模型上で表面近くの風向、風速分布および粉末沈着分布の測定を行つた。

(3) 模型実験と併行して現地でも風向風速の分布観測を行い、現状地形模型での結果と比較したところ、よい

相似関係がえられ、風洞実験の方法が妥当であることを確めた。またこれらの結果から台風の接近により最大風速となる風向 S-SSW において場内の風が大きく乱れ、樹を揺らし、同時に多量の潮風を受け被害を甚大にしていることが判つた。

(4) 地形改造の目標は場内の風速を減少し潮風の風道から逃れる点にあつた、実験をした改造案程度ではその目標は達しえられないと判断されたが、場内の地形単純化により、被害発生のみをなくし、防風施設の配置を容易にし、防風効果を大にすることが出来る。

(5) 風向風速が時間的に変化するモデル台風を考え、場内各点の最大風速の方向を求め、防風垣配置の試案を作成した。防風垣の性能としては風速を60~70%程度に減少できるものが必要である。場内塩分付着量軽減のためには、水洗設備、防風垣完備のほか南側尾根線上の防風林帯の整備が急務である。

参 考 文 献

- 1) 井上栄一(1952)：地表風の構造，農技研報A-2 1-93.
- 2) 根本 茂(1967)：局地風を対象とした自然風現象の風洞模型実験，農業気象，22(3)，129-136.
- 3) 谷 信輝(1958)：模型防風垣の風洞実験，農技研報，A-6，1-80.
- 4) ——(1967)：台風災害対策の研究，九州農試彙報，12(3，4)，343-387.
- 5) 山本良三(1958)：起伏地形に於ける圍面の防風に就いて(3)地形と風，農業気象，14(2)，69-73.

Summary

In order to reduce the wind damage to citrus trees caused by typhoons in the experimental field of the Shizuoka Citrus Experiment Station, people are planning to make some modifications in the arranging of Station buildings of local topographical characteristics.

To evaluate the effects of such modifications beforehand, the model experiments with wind tunnel were carried out by present authors.

We prepared four models of the scale of 1/1,000, of which one is corresponding to the present status without any modifications and other three are corresponding to ones with the possible modifications such as removal of buildings, setting new banks, wind breaks and flattening small hills.

At first, the results of wind tunnel test with the unmodified model with respect to the distribution of wind speed and direction were compared with those obtained in the natural field, and we found a satisfactorily good similarity between them.

With the modified three models the characteristics of the respective wind fields as well as those of deposition patterns of fine particles introduced in the wind tunnel flow were investigated. The latter are assumed to represent the accumulation of salty rain drops from the nearby sea surface, which may cause severe damages to citrus trees.

From the detailed investigations of numerous experimental results some recommendations to the possible modifications to the Station to be newly built have been obtained.