

Blast Fence に関する研究 (1)

石 崎 潑 雄・光 田 寧・桂 順 治

On the Blast Fence with Expanded Metal

by *Hatsuo ISHIZAKI, Yasushi MITSUTA*
and *Junji KATSURA*

Synopsis

This paper is the study on the effect of the blast fence in the jet wake of aircrafts. By the model tests in the wind tunnel, the velocity distributions and the streamlines around the fence were observed and the field tests were made at Tokyo International Airport for the jet blast of Boeing 727. From the results of these tests, we found the fence of this type was sufficiently effective for protection and economical one.

1. ま え が き

Blast Fence というのは飛行場において乗客や作業員等を jet wake から保護することを目的としているが, wake velocity をどれだけ減ずることができればその目的を果し得るかということをおおきく検討しておかねばならない。Horonjeff (1962) によれば, 飛行機に乗る乗客や整備員は 25 ないし 30mph (10~13m/sec) 以上の blast にさらされた場合に, 負傷することがあり, Tucker (1959) は経験から風速が 35mph (約15m/sec) を越えると飛行機の整備が不可能になり, 危険を伴うと述べている。これらの事柄より考えて, Blast Fence はその後面での風速が10ないし 15m/sec 以下になるような遮風効果をもつことが要求されると考えてよいであろう。

Blast Fence には種々の形式のものが考えられているが, それらのうちどのようなものが最も効果的であるかを調べる目的で, 大規模な研究が米国陸軍工兵隊により空軍のために行われた (Tucker1959)。実験はまず高さ 3 m の実寸の fence を空軍基地内につくり, B-52 爆撃機および KC-135 油槽機の blast を実際に吹きつけて行われた。この際 fence からエンジンまでの距離をほぼ 40m にとり, full take off thrust がかけられた。この実地試験の他に小型のガスエンジンを用いた模型実験が行われたが, その結果によれば曲面をもった fence は平板の fence あるいは平板のルーバー fence よりも効果があつた。また実地試験の方からは曲面をもった fence のうちで 1 枚の曲面からなる fence と数枚の曲面板からなる fence の効果はほぼ同じで, どちらも wake velocity を限界値以下に下げ得ることが知られた。なお平板のルーバー fence は vane がはげしく振動することが報告されている。

この研究において注意すべきことは, fence の目的が blast の流れの向きを直角上方に曲げ, それによって後方での風速を減じようとしていることである。jet wake は有限の巾を持っているのであるからそれを完全に上方へ転向させることも不可能ではないだろうが, 必ずしもそのようにしなくても風下の地面近くで風速が限界以下にさなればよいのではないかと思われる。現にこのたびの Boeing 727 の場合などは jet nozzle の高さが 4 m もあるものでは fence は自動的にそれ以上の高さのものが必要となり, そのようなものを作ることは困難である。従来から農業上の目的で用いられている防風林や防風垣は風の流れを全部上方に曲げるような働きはしないけれども, 風下側にその高さの10倍以上の距離まで遮風効果のあることが知ら

れている。したがってかなり低い fence でも十分効果を期待してもよいものが可能であると考えられる。

農業上、防災上の目的で広く用いられている防風林や防風垣に関する研究も数多く行われているが、中でも最近 WMO の working group によって出された総合報告 (1964) は広範囲にわたる資料調査に基づいてまとめられており、この問題を概観するのに都合がよい。

この報告によれば防風垣の遮風効果およびその及ぶ範囲を決定するのは単に垣の高さだけでなく、その空隙率の影響も無視することはできない。空隙率が小さいときは垣のすぐ後面に風速が最小になる点があり、そこでの防風効果は大きい、風速の回復は早く防風効果の及ぶ範囲は風下側のあまり遠いところまで広がらない。一方空隙率が大きいときには風速の極小点は垣から風下側に少しはなれたところに生じ、そこでの風速はそれほど小さくはないが防風効果は風下側かなり広い範囲にまで及ぶ。

Neageli (1953) は 2.2m の reed mat (よしず) を用いて自然風中で実験を行っているが、WMO の場合と同じような結果を得ている。Bodroff (1936) は垣の密度が大きくなると風下での乱れが増大することを見出している。今日一般に空隙率が小さい場合は風下側の乱れのために風速の回復が早くなることが認められている。従って防風垣の効果を考える上で風の乱れを無視することはできないし、防風作用を広い範囲にまで及ぼすということと極小点での風速を小さくすることとは相反する課題といわねばならない。

Kaiser (1959) は防風垣を傾けた場合の防風効果について研究しているが、それによると同じ空隙率をもつ垣を風上側に 30° 傾けた場合は同じだけ風下側に傾いたものより防風効果が大きいとしているが、一方 Schultz と Kelly (1960) は同様の研究でその差が少なく、垣を傾けたことによる効果はその際の高さの損失と相殺するとしている。

防風垣に関する研究によって上のようなことが知られているが、これを Blast Fence の場合にただちに応用できるかどうかということには疑問がある。それは自然の風と jet wake との性質の違いが fence の効果にどのように影響するかわからないからである。jet wake の速度は一般の風と比較にならないほど大きく、しかも非常に乱れているのである。

1. エキスパンドメタル Blast Fence の風洞模型実験

(1) 風洞模型実験の概要

風洞による模型実験の目的は空港の実物実験で明らかにすることが困難な種々の問題、すなわち、fence の傾きとその効果との関係、fence の wake の性状、blast により fence が受ける力等を究明することとした。もちろん風洞による気流と実物の jet blast とはその性質が異なるけれども、実物実験の結果と遮風効果を考える上に参考になるものと考えられる。

風洞実験は京都府宇治市にある京都大学防災研究所所属の吹出し口径 1 m の回流型風洞によって行った。使用した模型は実物と同種のエキスパンドメタル Fig. 1 でできており高さ 50cm、巾 100cm のものと、高さ 25cm、巾 1100cm のもの (以下それぞれ、50cm 模型、25cm 模型と称する) の 2 種類とした。これらの模型は風向に対して勾配が 45° , 60° , 75° , 90° , 120° , 135° , と変化できるように装置し、それらの各場合について吹出し口における風速を約 8 m/sec, 12 m/sec, 20 m/sec, とし、それぞれについて流線、風速分布等を求めた。

流線を測定するためには Photo. 1 に示すように模型中央の流れに平行な鉛直面内にナイロンテグスの支線を等間隔に張り、それに塩化ビニールの繊維を結び付けて流れの方向を指示するようにして、この状態をカメラで撮影することにより流線を求めた。

一般流中の風速を求めるためには、流れの方向を指示している繊維の方向にピトー管を合わせ、ゲッチゲン型マノメータで圧力を読み、それにより各点の風速を得た。

後流の中では流れが乱れているために上の方法を用いることができなかったので、比較的、時定数が大きいと思われるサーミスター風速計を用いて、各点の平均風速を求めた。

(2) 風洞実験の結果

a) 流 線

Fence の傾きが一つの場合について、模型の大きさを2種類(50cm 模型と 25cm 模型)、吹出し口の風速を3種類に変えて流線の形を比較したが、顕著な相違は見られなかった。したがって fence に当たる風の速度が10~20 m/sec ぐらいの範囲では流線の形は変化せず、また模型の大きさが2倍ぐらいになっても流線はほぼ相似形を保つものと思われる。

Fig. 2 は fence の傾きが 60° の場合について

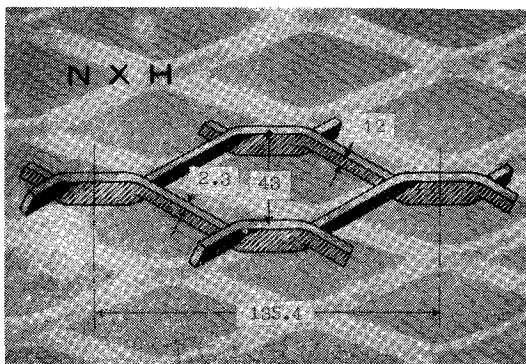


Fig. 1 The expanded metal used in the experiment.

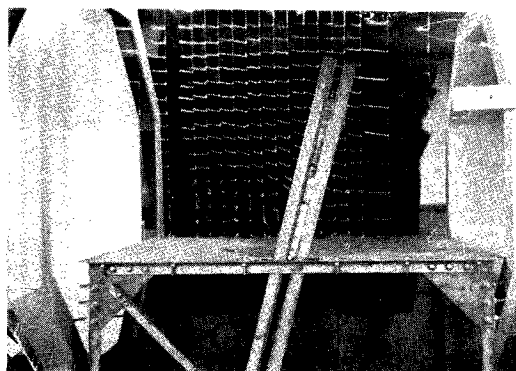


Photo. 1 Blast fence model in the wind tunnel.

る位置と 0.6 になる位置を示した。この図よりエキスパンドメタル 90° の場合は風速はそれほど小さくできないが広い範囲に亘って影響を及ぼすことができる。また 60° に傾けると、素材の鉄板の傾きが風と直角に近くなるため風方向に対する空隙率が小さくなって、影響を及ぼす範囲は狭くなるが、後面での風速を小さくすることができる。さらに極端な場合が平板の fence である。

以上の事柄から fence の使用目的によって傾きを選ぶことができるものと考えられる。

c) 後流の状態

糸の動きから風下の流れの状態は Fig. 4 に示すような3つの領域に分けることが出来る。その1は糸が直線に見える風速が定常な一般流の部分Aであり、その2は糸が扇形にみえる網目を通り抜けた流れの部分Bである。この部分は乱れを含んではいるが、乱れによる各方向の速度成分が平均流の速

エキスパンドメタルを用いた場合と、平板を用いたものについての流線を示す。

b) Fence の傾きによる遮風効果

Fence を風下に傾けた場合はエキスパンドメタルの素材である鉄板が風向と平行に近くなるため遮風効果は少なかった。したがって、風向と直角、あるいは風上側に傾けた場合について考えることにする。Fig. 3 は傾きを 60° にしたときのエキスパンドメタルと平板について、また傾きを 90° にしたときのエキスパンドメタルについての遮風効果を比較したものである。ここで吹出し口の風速 V_0 と任意の点の風速 v との比 v/V_0 が1にな

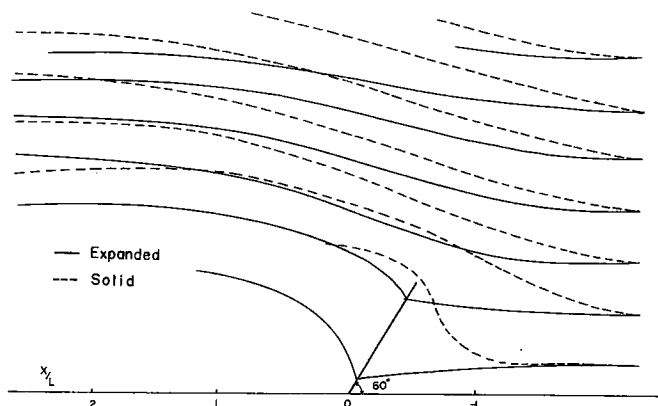


Fig. 2 Stream lines around the model due to expanded metal and solid plate.

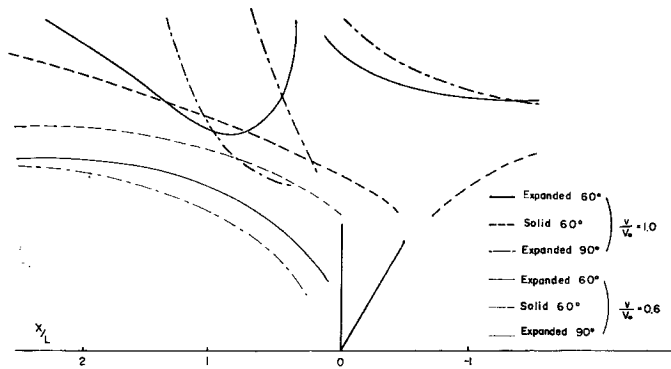


Fig. 3 Wake regions around the models.

AとBとの境界線は風下に向かって流線より高くなることから、空隙率が大きくなるとAとCとの間のBの勢力が強くなると考えられるので、fenceの影響範囲が広がる理由がわかるように思われる。

d) 抗力係数

Fig. 5の風速profileからfenceのために気流が失った運動量を求めることができるから、その値から抗力及び抗力係数を計算することができる。

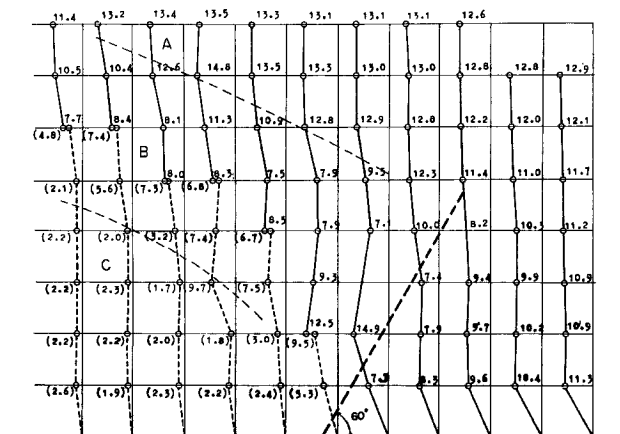


Fig. 5 Wind profiles around the model fence.

ジェット機に比べて高い位置にあり、今迄に用いられてきた空港保安設備では不十分な点が出てくることが考えられる。今回の実験はその対策を立てるための基礎的な資料を得ることを目的としたのである。現在羽田空港において用いられているBlast Fenceは高さ約2mで、727機のノズルの高さ4mのほぼ半分しかない。

度よりも小さい。第三の部分は糸が一定の方向に向かず、もつれたり支線にからんだりするいわゆる死水領域Cである。

Fig. 5は50cm模型による風下側の速度のprofileであるが、Aでは前面と同様の高風速の領域、Bは下ほど風速が低くなる遷移的な領域、Cは低風速の領域に相当することがわかる。

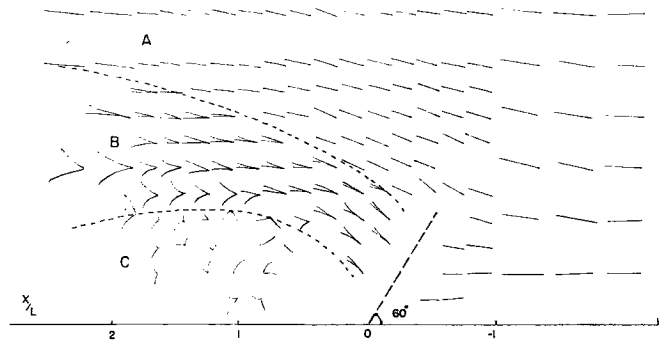


Fig. 4 Configurations of threads in the wake of the model fence.

エキスパンドメタル60°の場合について抗力係数 C_D を算出すると

$$C_D \approx 0.4$$

となる。ただしこの値はfenceの横方向の広がりを考えていないから、半無限的な広がりをもつ実物のfenceでは $C_D \approx 0.7$ ぐらいと考えてよいと思われる。

2. Jet Blast による Fence の実物実験

(1) 実験の概要

Boeing-727機は先にも述べたとおり、そのノズルの位置が従来のジェ

だから Tucker 等が考えているように wake を直角上方に曲げてしまうというような効果は期待できない。この fence が実際にどの程度の遮風効果があるかを調べてみるための実験を昭和39年11月13日夕刻に行なった。

実験の行われた場所は羽田空港25番スポットで、ここには Photo. 2 に示したように、高さ約2 mの中津銅板製エキスパンドメタルの fence が円弧状に設置されている。この fence の傾きは風上側、地面との角が約60°である。wake の測定には jet wake の軸と一致する方向、fence の前後に4点、さらに fence の後方、それと直角な方向に3点の観測点を4 m間隔に設置した。計測器の配置を Fig. 6 および Table. 1 に示す。

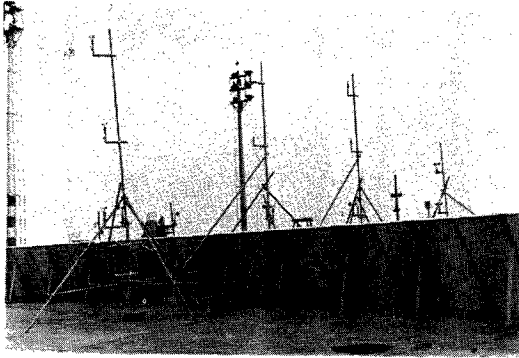


Photo. 2 Blast fence and anemometers mounted on the poles.

た。 C_2 の大型風速計は一般気象観測用の発電式風杯型（3杯）風速計で、指示装置のみしかないので目で読み取ると同時に写真に撮影して後で読取った。この測器はかなり遅れがあるので短周期の変動には追従しない。 P_2 のピトー管は普通のピトー管で、これをビニール管で導き、V字型マノメーターによって動圧を検出した。 T_1 サーミスター温度計は一般温度測定用のもので、金属性保護管に入っており、次に述べるガラス温度計より遅れが大きい。これを電磁オシログラフと組合わせて記録した。 T_2 の最高温度計は普通の水銀留点最高温度計で、実験終了後回収してその点での最高温度を読取った。

実験は当日16時48分頃から約6分行われたが、この時の天候は曇、風は静穏で、気温は15°Cであった。飛行機は測点Aの前方30mの点にノズルがくるように測線の延長上にそれに沿って停止させ、エンジン開度35%および60%の場合について測定を行なった。この際の観測の結果は Table. 2～3 に示す。

(2) Jet Wake の特性

C_1 の小型風速計は京大防災研究所において開発された風杯型（3杯）風速計で（棚橋他，1964），風程50m毎の接点を内蔵しており，多素子電接記録計と組合わせて平均風速の測定に用いた。この風速計の流れに対する追従性は比較的良好で，現在用いられているプロペラ型の風速計とほぼ等しい動特性をもっている。 P_2 の風圧計も京大防災研究所において開発した変動風速測定のための測器（棚橋他，1964）で， $\frac{1}{10}$ 秒程度の短い周期の風速変動まで測定することができる。これはペン書きオシログラフと組合わせて用いられ

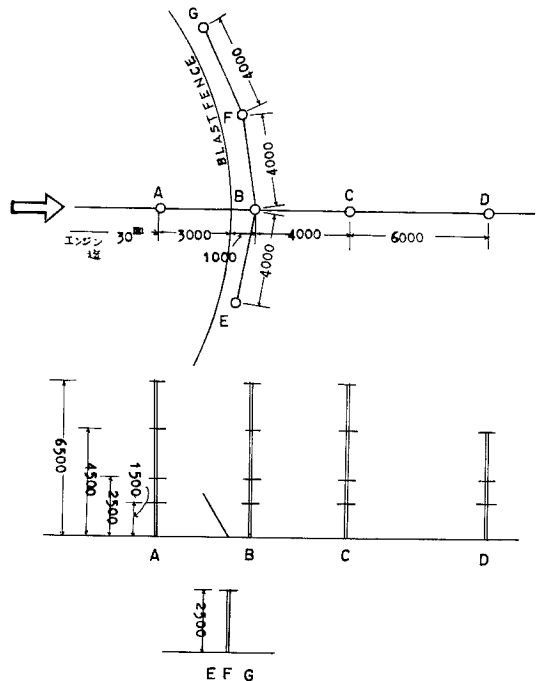


Fig. 6 Arrangements of the instruments.

ジェットエンジンの wake は普通の風と違ってノズルから吹き出すジェットであるから、ノズルからの距離によってその風速が変化する。Tucker (1959) によれば wake の中心軸での風速は次のような関係で変化する。

$$U_c = \frac{4D}{X} U_p$$

ここで U_c は軸上 X の位置での風速、 D はジェットノズルの直径、 X はノズルから風下側へ軸に沿って測った距離である。

さらに平均的には上のような値を示す wake の風速も瞬間的には非常に大きな変動を示しており Tucker (1959) によればその極大値は平均値の 200%、極小値は20%ぐらいの値をとり、この極大と極小は1秒間に3回ないし6回生じる。このように wake の乱れは非常に大きく、しかもその周期が短いということも自然の風とは異なった大きな性質である。

今一つの jet wake の特性はその温度が周囲の気温に比して非常に高いということである。ノズルの近くにおいては 300°C 以上の温度を示すことがあり得る。したがって wake の速度が小さいときにはその浮力のために軸が次第に上方に曲って行くことが考えられる。今 wake の平均の温度が周囲よりも 50°C だけ高いものとする、wake 中の空気塊はほぼ $\frac{1}{6}g$ の上向きの加速度をもつことになる。したがって1秒後に

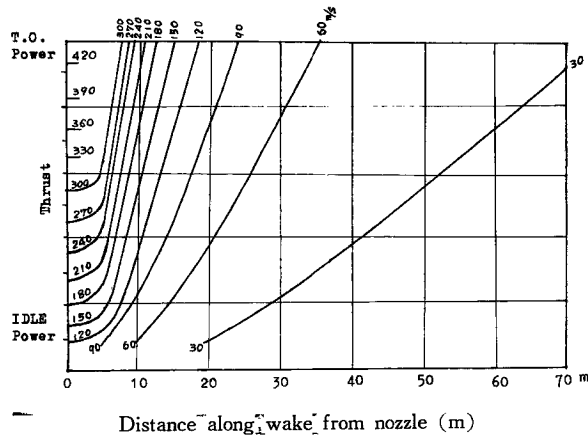


Fig. 7 Estimated jet wake velocity (m/sec)

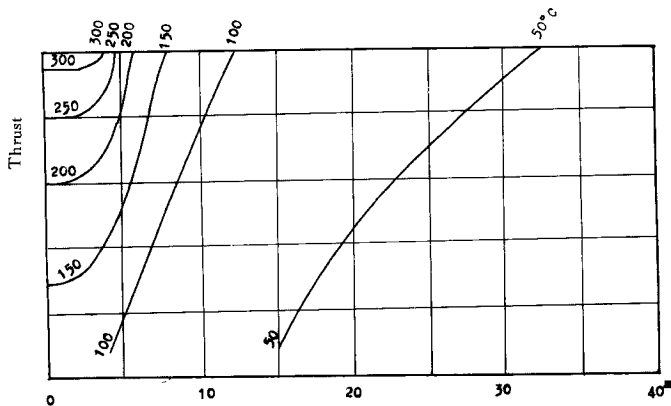


Fig. 8 Estimated jet temperature.

はほぼ 1.5m ほど軸は上方にずれていることになる。

今回の実験に使用した Boeing 727 の jet wake の軸での風速と温度について “Boeing 727 Facility Planning” に基づいて算定したものを Fig. 7, Fig. 8 に示す。

(3) 風速の垂直方向分布

Blast Fence の存在によって wake の風速分布がどのように変形させられているかを見るために、測線に沿った垂直断面内での風速分布を示したものが Fig. 9 である。これは16時51分15秒から30秒までの15秒間の平均状態を示し、小型風速計の記録に基づいたものであるが、D点 2.5m および 4.5m は大型風速計の読取り値から、B点の 4.5m および 6.5m はピトー管の読取り値から推定した値を用いている。この時のエンジン開度は60%であり、Fig. 7 より推定した距離 30m での風速は約 55m/sec であるが、これは A 点の 4.5m で測定された風速 58m/sec とほぼ一致している。

A点における風速分布はノズルの高さとはほぼ一致した高度に極大値をもつ比較的単純な分布をしており、jet wake はこのような風速分布をしているものと考えてもよいであろう。fence 後面のB点では高度1.5mでの風速がわずか 8m/sec となり fence の効果が顕著に現われている。しかしそれより 1 m 高い 2.5m の高度では急速に風速が増加して

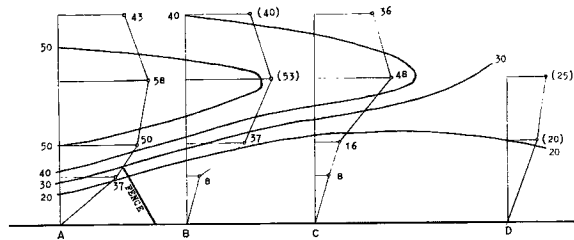


Fig. 9 Distributions of wind speeds (m/sec) at 60% throttle of full thrust.

37m/sec, という大きな値となっている。さらにB点より 4 m 後にあるC点ではA点と同じく 4.5m の高度に極大が生じており、そこでの風速は 48m/sec である。前項に示した関係によれば wake の軸上での風速はノズルからの距離に反比例するが、このA点とC点の 4.5m 高度での風速 もほぼこの関係を満足している。したがって fence の存在によって jet wake の軸上での風速が減じているということは認められない。C点 1.5m での風速はやはり 8m/sec と非常に小さいが、2.5m での風速も 16m/sec と小さな値を示している。そして風速が急増するのは 2.5m と 4.5m の間の層においてである。D点での風速はほぼ 20ないし 25m/sec であって、ここには fence の近くのような著しい弱風域の存在を示していない。

各観測点における風速値に基づいてこの垂直面内での風速分布が描いてあるが、これによれば fence 後方の風速は充分弱められており、fence と同じ高さまでの範囲は充分限界以下の風速になっているといえる。

エンジン開度35%時の風速分布を Fig. 10 に示すが、この場合はさきのように風速の極大は見られず、いずれの測点でも風速は高さとともに増大している。この場合には風速は 60 %のときの半分以下になっており、ノズルからA点までの到達時間はほぼ 1 秒を要するから、浮力のために jet wake の軸が 6 m ぐらいの高さまで昇っていると考えられる。

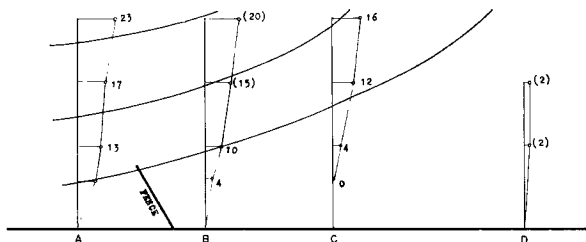


Fig. 10 Distributions of wind speeds (m/sec) at 35% throttle of full thrust.

したがって fence の前方、地面近くの風速は限界以下になってはいるが、Blast Fence による遮風作用はさきの60%のときと同じ傾向を示す。

(4) 風速の水平方向分布

Blast Fence の後面に 4 m 間隔で E, B, F, G の4つの測点が配列されており、高さ 2.5m に風速計が取付けられている。B点以外の記録

は取らなかったが、読取り結果から推定すると風速の分布は下表ようになる。

測点	E (高さ2.5m)	B (高さ2.5m)	F (高さ2.5m)	G (高さ2.5m)
60%	20m/sec	30m/sec	20m/sec	15m/sec
35%	5	10	10	3

これで見ると jet wake の軸は B 点より多少 F 点寄りにあったともみられるが、大体軸から 5 ないし 8 m の距離で風速が半分になっている。これから推定すると、jet wake の風速の半減半角は 15° であるといえる。

（5）風速の乱れの性質

前に述べたとおり jet wake は非常に乱れた流れであることが予想されたので、短周期の風速変動を測定することのできる A T-4 型風圧計を用いて観測を行なった。測定位置は fence の前面の A 点、および後面の B、C 点の各々の高さ 2.5 m の点である。

エンジン開度 60% 時の測定結果を次に示す。この平均風速は小型風速計で測定したものであり、風圧計とは追従性の差異があり、空気密度の差も影響するので平均風速から算出した平均風圧と風圧測定値とはかなり異なっている。

	小型風速計 による平均風速	風圧計による	
		平均風圧	風圧変動標準偏差
A 点 (2.5m)	50m/sec	187kg/m ²	94kg/m ²
B 点 (2.5m)	37	64	128
C 点 (2.5m)	16	0	61

この表の風圧変動の標準偏差は $\frac{1}{60}$ 秒毎に読取る風圧の変動を示すものである。

A 点において風圧変動の標準偏差は平均風圧のほぼ $\frac{1}{2}$ で、この値は自然の風で見られる値よりはるかに大きい。fence のすぐ後面にある B 点の平均風圧は A 点の $\frac{1}{2}$ ぐらいに減じているにもかかわらず標準偏差はむしろ 35% ほど大きくなっている。したがって平均は小さくても乱れはむしろ増大しているのである。これは A 点で代表されるような jet wake が Blast Fence に当たったためにさらに乱れた状態となったと見られる。C 点は明らかに fence の wake の中に入っていると見られる領域にあり、平均風圧はほぼ 0 となった。しかしそれにもかかわらず変動値は B 点の半分ぐらいの大きさである。ただし A 点での乱れよりは小さく、ほぼ $\frac{1}{3}$ に減じている。

このような風圧変動がどのようなスペクトルをもつものであるかを調べるために、 $\frac{1}{60}$ 秒毎に読取った風圧変動の資料からパワースペクトルを計算した結果が Fig. 11 である。周波数は 1.5 cycle/sec から 15 cycle/sec までを 10 等分してある。計算の都合でスペクトルの両端の部分は誤差が大きいので、中央部のみの比較しか行えない。これからみると A 点のスペクトル密度はほとんど周波数によって変化しない。すなわち jet wake には数サイクルから十数サイクルの範囲で特にはっきりした卓越周期がなく、種々の周期の乱れを伴っているといえる。他方、B 点のスペクトル密度は周波数の増大と共に減少するような形である。これは図に示された範囲より低い周波数のところにエネルギーの山があることを示しているものと考えられる。全周波数範囲にわたり A の密度より大きいから、A の形の乱れの高周波側が減衰してしまったものとは考えにくい。C 点では B 点と形は似ているが密度が全体として $\frac{1}{6}$ ぐらいになっている。これら 3 点が互いに 4 m しか離れていないにもかかわらず、まったく違ったスペクトルを示していることは注意しなければならない。

い。jet wake には数サイクルから十数サイクルまでの変動が一様に含まれているが Blast Fence の後面では周期の長い変動が発生しているらしい。Fence の後面では Fence の wake の境界面における大きな風速勾配が新しい乱れの発生の原因となっていると思われる。

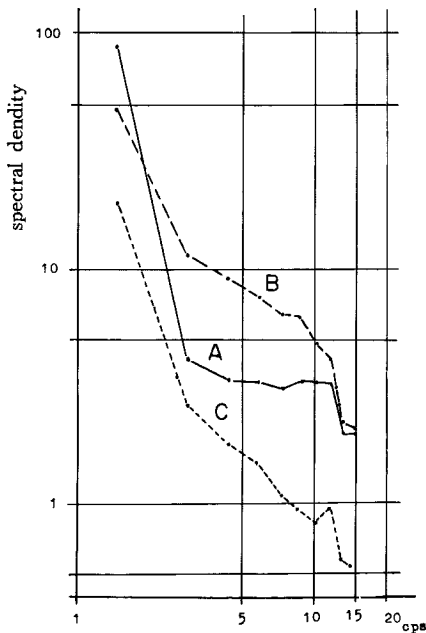


Fig. 11 Power spectra of fluctuating wind pressure in jet blast.

乱れの伝播の状を調べるために、A点の風圧とそれより若干の時間の遅れをもつB点の風圧との相関係数を計算してみた。乱れが流れて行くならばA点からほぼ $\frac{1}{60}$ 秒遅れてB点にその変動が現れるはずである。しかしB点の遅れを種々に変えて計算した相関係数の最大値は0.11に過ぎず、A点とB点の風圧変動はほとんど無関係であると考えられる。またB点とC点との相関についても計算を行なったが、その際の相関係数の最大値も0.14に過ぎない。結局A, B, C各点の乱れはほとんど無関係であるようである。

(6) 温度分布

最高温度計を用いて求めた最高温度の垂直面内および水平面(高さ2.5m)内の分布を示したものが Fig. 12および Fig. 13である。この最高温度はエンジン開度60%時に生じたものであると考えてよいであろう。その分布は風速分布の形と非常に似ており、共に高温、高速の jet wake が静止大気中に噴出して行く様子を示している。

また wake の軸における温度は図 Fig. 8 に示した値とはほぼ一致している。

Fig. 15 はA点、地上2.5mでの風速と温度の時間的な変化の様子を示したものである。この図から注意すべきことは温度が次第に上昇して行くような傾向を示していること

である。このことは Table. 3 に示された他の測点の資料からも見られることである。このような昇温の原因は温度計支持具の昇温に伴う誤差も多少はあろうが、主として地面その他周囲の環境が少しずつ昇温して行ったことによると見るのが適当であろう。これは fence の wake と jet wake との空気の交換によるものであるが、非常にゆっくりとした昇温(約 10°C , 16分)であるから長時間の作業のような場合を除いて問題とはならないであろう。

3. Blast Fence の実物実験結果に関する考察

これまでの観測結果からもわかるとおり、実験を行った Blast Fence は高さがジェットノズルの高さの半分程度で、Tucker の考えるような機構によれば、あまり大きな効果が期待されないにもかかわらず現実には fence の後面で充分な遮風作用のあることが確認された。

これは一般の防風垣に見られるのと同じような機構で fence

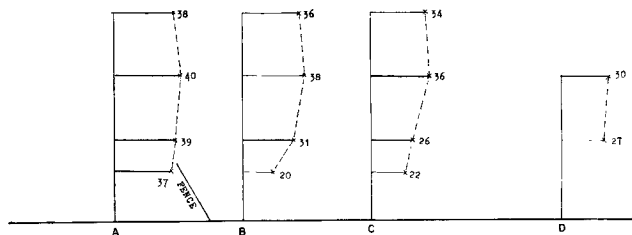


Fig. 12 Distributions of temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 60% throttle of full thrust.

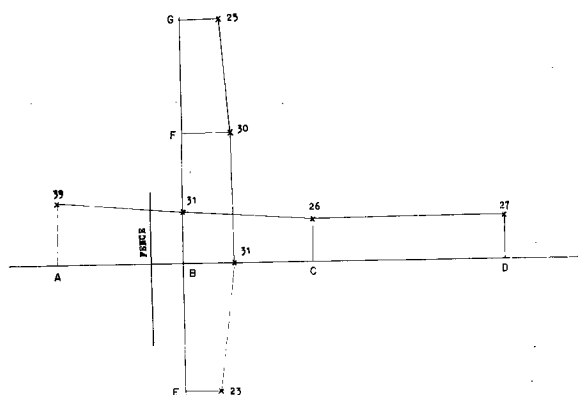


Fig. 13 Distributions of temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 60% throttle of full thrust.

の場合には誤差を伴う。しかし一応これで流れの大勢は見ることができるであろう。この図によると、流線はやはり fence によって大きく変形されているが、特に fence の網目を通して流れた部分については著しい。この流れは網目通過に際して垂直上方に向う速度成分をもつから、それより上の流線の変形にも大きな

の後面に弱風域が生じているためであろう。このような wake は流れの中に置かれた障害物の影の部分にあたるのであって、当然予期されるものである。Blast Fence の効果に対し、jet wake の中心を吹き上げさせなければならぬというような特別な考慮を必ずしも必要としないと思われる。

Fig. 9 に示したエンジン開度60%の場合の流線の様子をEndlich (1964)の示した方法によって計算したものがFig. 14である。この計算に際して流れは2次元流を仮定しているの

で、この場合のように3次元的に拡がる流れ

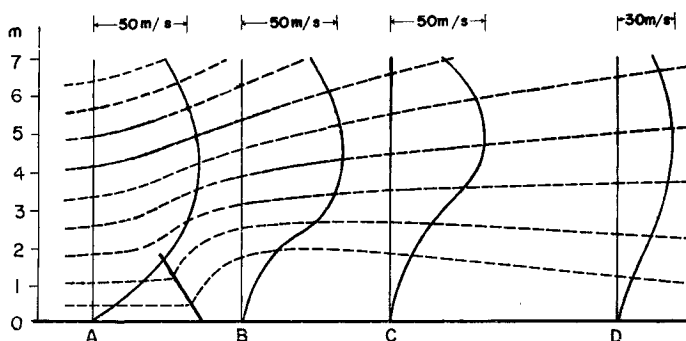


Fig. 14 Stream lines around the Blast Fence.

働きをするはずである。また網目の目が細かいから、これを通った流れは乱れが少なくなっていると考えられる。

したがって fence 後面の流れは次の3つに分類できる。すなわち jet wake, 網目を通った流れ、および fence の wake である。そしてさきに乱れを測定したA, B, Cの高さ2.5mの点がそれぞれこの分類に対応しているとすれば、相互の相関のなかったことも理解できる。このうちで網目を通った流れがこの fence の効果を増大するのに有効に作用していることは明らかであり、さらに研究を行う必要があろう。

4. む す び

以上に述べた模型実験および実物実験の結果から、現在羽田空港において用いられているエキスパンドメタルによる Blast Fence の jet blast に対する遮風効果はほぼ充分であることがわかる。Boeing 727 機のようにエンジンの位置が地上から高い場合、現在の fence では地上から高い点まで、その効果を及ぼすことは無理であるが、地上における作業その他に対しては非常に有効である。

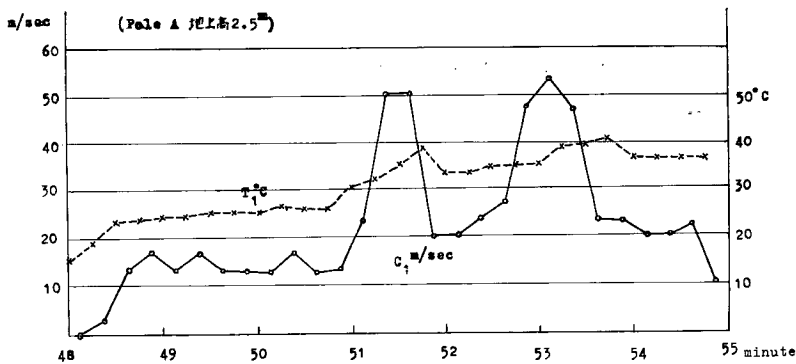


Fig. 15 Time variations of wind speed and temperature in jet blast.

Fence の地上に対する傾きの角度も現在のとおり 60° 前後のものが良い。ただしエキスパンドメタルの空隙率は現在使用中のものより大きくしても差しつかえないと考えられ、その場合には枠その他全体として小さな断面の材を使用できるから、さらに経済的な fence が期待できるものと考えられる。

この型式による Blast Fence の利点をあげると、

1. 風が上向きに抜けるために比較的広い範囲に弱風域が生じる。
2. 背後に渦を生じない。
3. 抗力を低減できるので経済的なものが得られる、等である。

なお羽田空港における実験に際しては、種々御援助下さった空港当局、全日空株式会社、八幡製鉄株式会社、中津鋼板株式会社の方々に厚く感謝の意を表する。

References

- 1) Tucker, T.A. 1959. Meeting USAF blast fence requirements, Journal of the Air Transport Division, American Society of Civil Engineers, Vol.85, No. AT-1, January.
- 2) Horonjeff, R. 1962. Planning and design of airport.
- 3) Windbreaks and shelterbelts, WMO Technical Note, No.59, 1964.
- 4) Naegeli, W. 1953. Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Schilfrohrwänden, Mitteil. Schweiz. Anstalt Forstl. Versuchswesen, Vol.29, No. 2.
- 5) Bodroff, V. 1936. The influence of shelterbelts on the microclimate adjacent territories, Jour. Forestry, Vol.34.
- 6) Kaiser, H. 1959. Beiträge zum Problem der Luftströmung in Windschutzsystemen, Meteor. Rundschau, Vol.12.
- 7) Schultz, H.B. and Kelly, C.F. 1960. Snow fences for wind protection efficiency of slanted fence windbreaks, Clif. Agric., Vol.14, No.4,
- 8) 棚橋 諒, 石崎隆雄, 光田 寧. 1964. 潮岬風力観測所における風力観測用測器について, 京都大学防災研究所年報, 第7号, p.207.
- 9) Endlich, R.M. and Mancuso, R.L. 1964. A direct method of stream function computation, Tellus, Vol.16.

Table. 1 Arrangement of the instrument

測点 高度 (m)	A	B	C	D	E	F	G
6.5	C_1 P_2T_2	P_2T_2	C_1 P_2T_2				
4.5	C_1 P_2T_2	P_2T_2	C_1 P_2T_2	C_2 T_2			
3.5	C_1C_2 $\frac{P_1P_2}{T_1T_2}$	C_1C_2 $\frac{P_1P_2}{T_1T_2}$	C_1C_2 $\frac{P_1P_2}{T_1T_2}$	C_2 T_1T_2	C_2 $P_2T_1T_2$	C_2 $P_2T_1T_2$	C_1 T_2
1.5	C_1 P_2T_2	C_1 P_2T_2	C_1 P_2T_2				

 C_1 小型風速計 (平均風速) C_2 大型風速計 (//) P_1 AT-4型風圧計 (瞬間風圧) P_2 ピトー管 (//) T_1 サーミスター温度計 (気温) T_2 最高温度計 (最高気温)

Table. 2 Wind speed around the blast fence

時刻(sec)	測点 高度(m)	A				B		C			
		1.5	2.5	4.5	6.5	1.5	2.5	1.5	2.5	4.5	6.5
16h 48m		m/s				m/s		m/s			
	0 ~ 15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	15 ~ 30	3	3	7	10	0	0	0	0	4	0
	30 ~ 45	10	13	10	17	4	7	4	4	8	12
	45 ~ 60	13	17	13	20	0	7	4	4	12	16
49m	0 ~ 15	10	13	17	23	4	10	0	4	12	16
	15 ~ 30	13	17	—	20	0	7	4	4	8	12
	30 ~ 45	13	13	—	20	0	3	0	0	8	8
	45 ~ 60	10	13	—	20	0	3	0	4	8	12
50m	0 ~ 15	13	13	—	17	0	7	4	0	4	12
	15 ~ 30	13	17	17	17	4	3	0	0	4	8
	30 ~ 45	13	13	13	13	0	3	0	4	8	12
	45 ~ 60	13	13	17	20	0	7	4	4	12	12
51m	0 ~ 15	20	23	—	20	4	13	4	4	16	20
	15 ~ 30	37	50	58	43	8	37	8	16	48	36
	30 ~ 45	37	50	—	43	8	37	8	24	44	36
	45 ~ 60	17	20	—	23	4	10	4	4	12	16
52m	0 ~ 15	20	20	—	17	0	10	4	4	16	16
	15 ~ 30	17	23	—	20	4	13	0	4	16	20
	30 ~ 45	20	27	—	30	0	17	4	4	20	24
	45 ~ 60	40	47	—	47	8	33	8	10	44	36
53m	0 ~ 15	47	53	—	47	8	40	12	20	48	40
	15 ~ 30	33	47	—	33	8	27	8	16	32	28
	30 ~ 45	17	23	—	23	4	13	4	12	16	20
	45 ~ 60	17	23	—	23	4	13	8	8	40	16
54m	0 ~ 15	17	20	—	23	4	13	0	4	16	16
	15 ~ 30	17	20	—	23	0	10	4	8	12	20
	30 ~ 45	17	23	—	23	4	7	0	4	12	16
	45 ~ 60	13	10	—	10	0	7	0	0	4	8
max		47	53	58	47	8	40	12	20	48	40

Table. 3 Temperature around the blast fence

測点		A	B	C	D	E	F
時刻(sec)	高度(m)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
48m	0 0sec	16	16	15	14	14	15
	1 5	19	17	15	14	14	16
	3 0	23	18	16	14	15	17
	4 5	23	18	17	14	15	17
49m	0 0	24	18	17	14	15	17
	1 5	24	17	16	14	15	17
	3 0	25	18	16	14	15	17
	4 5	25	18	16	14	15	18
50m	0 0	25	18	17	14	15	18
	1 5	27	18	16	14	14	18
	3 0	26	17	16	14	14	18
	4 5	26	18	17	14	14	18
51m	0 0	30	19	18	16	15	21
	1 5	32	20	18	16	17	21
	3 0	35	23	20	20	17	25
	4 5	38	24	24	22	20	27
52m	0 0	33	22	22	21	19	25
	1 5	33	22	20	21	18	25
	3 0	35	23	20	20	19	25
	4 5	35	23	20	20	18	26
53m	0 0	35	24	22	21	19	26
	1 5	39	27	23	22	19	27
	3 0	39	28	23	23	19	28
	4 5	40	28	25	26	21	28
54m	0 0	37	26	24	23	20	28
	1 5	37	26	23	23	20	28
	3 0	37	26	23	22	18	26
	4 5	37	26	23	22	18	26
max		40	28	25	26	21	28
最高温度計		39	31	26	27	23	30