

## Blast Fence に関する研究 (2)

石 崎 潑 雄 ・ 光 田 寧  
桂 順 治 ・ 室 田 達 郎

### ON THE BLAST FENCE WITH EXPANDED METAL (2)

By *Hatsuo ISHIZAKI, Yasushi MITSUTA, Junji KATSURA*  
and *Tatsuo MUROTA*

#### Synopsis

This paper is the study of the influence of the blast fence with expanded metal of 4 m in height on the air-craft jet wake. The field tests were made at the Tokyo International Airport in 1965 for the jet wakes of DC-8 and Boeing 727. The distance between engine nozzles and the blast fence is 29 m and 15 m for the case of DC-8 and Boeing 727, respectively. Distributions of wind speeds and maximum temperature around the fence were observed and strains of structural members of the blast fence were measured. From these experiments it was found that the wind shelter effect of the blast fence was large enough for ordinary ground works and the fence itself was strong enough to be able to bear the full throttle jet wakes.

#### 1. ま え が き

近年、航空機のエンジンがジェット化されてきたことから、空港内においてその jet wake による影響が問題となっている。つまり、ジェットエンジンの jet wake は高温高速であるため人体や構造物等に危険を及ぼすことが問題となるのである。もちろん噴射点から遠く離ればそれらの影響は少なくなるが、空港の機能上ある程度その近くにおいても危険のないことが望まれることが多い。Blast fence はこの jet wake から背後の人体や構造物等を防御することを目的とするものの一つである。Blast fence に関する研究は1959年頃から行なわれているが、多くは平板あるいは曲面板を用いて jet wake を上方に転向させて背後の風速を低減する方法に関するものであった<sup>1)</sup>。筆者らは1964年に高さ 2 m のエキスパンドメタルを用いた blast fence に Boeing 727 の jet wake をあててその効果を実験した<sup>1)</sup>。これに使用したエキスパンドメタルは、Photo. 2 に示すように鋼板を網状に加工したもので、fence に穴のある方が背後の遮風効果の期待できる範囲が広いこと、背後に渦を生じないこと、fence に加わる風圧が小さくなって構造的に有利であること等の利点がある。この実験の結果、エキスパンドメタルを用いた高さ 2 m の blast fence は地上から高い点にはその効果を及ぼすことはできないが、地上における作業その他に対しては充分な遮風効果を有することがわかった。最近、大分空港に設置されたエキスパンドメタルを用いた高さ 1.8 m の blast fence は、YS-11 がエンジン調整を行なうときの jet wake が nearby の果樹園に被害を及ぼすため設置されたものであるが、設置後ほとんど被害がなくなったということである (Photo. 1) (附録参照)。このように地面附近に対してはエキスパンドメタルを用いた blast fence の遮風効果は充分期待することができる。



Photo. 1 (a) A jet wake of YS-11 at a take-off point of Oita Air Port, bringing damages to plants about 60 m away from engines.

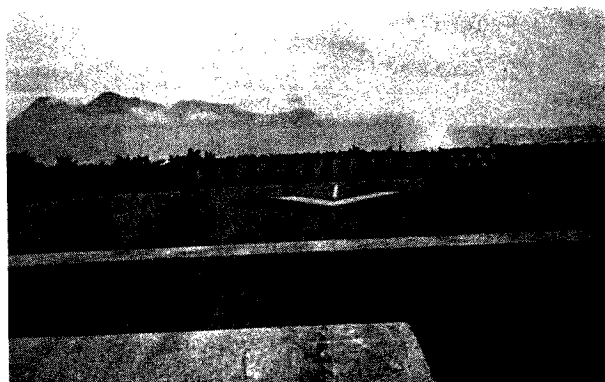


Photo. 1 (b) Blast fences with expanded metals of 1.8 m in height built at the end of the run way stated above. Damages to plants are not observed at the back of the fences.

## 2. Blast fence の実験

1965年に筆者らは東京国際空港において、試験的に作られた高さ 4 m の blast fence に関して実験を行った。この blast fence はエキスパンドメタルを使用している点では1964年の場合と同じであるが、高さ、形状および噴射点と fence との距離に関して前回の実験とは異なる。高さ 4 m の blast fence は、この種のものとしては大規模なものと思われ、その遮風効果と構造上の安全性を検討することがこの実験の目的である。

### (1) Blast fence の概要

実験に用いた blast fence は Fig. 1 のとおりで、柱間隔 2 m、全長 10 m、高さ約 4 m である。骨組は H 形鋼および L 形鋼から成り、受圧面にはエキスパンドメタル（中津鋼板製、NXH-25）を使用している。エキスパンドメタルは Fig. 2 および Photo. 2 に示すとおり形状であり、垂直に立てた時に各ストランドは水平に対して約 $34^\circ$ 傾斜している。この fence は、Boeing 727 が 15 m 離れた地点からエンジン開度100%で噴射しても安全ように設計されている。つまり、Boeing 727 facility planning にしたがって設計風速を 147 m/sec にとり、そのときの速度圧を  $1,190 \text{ kg/m}^2$ 、エキスパンドメタルの抗力係数を 0.7 と

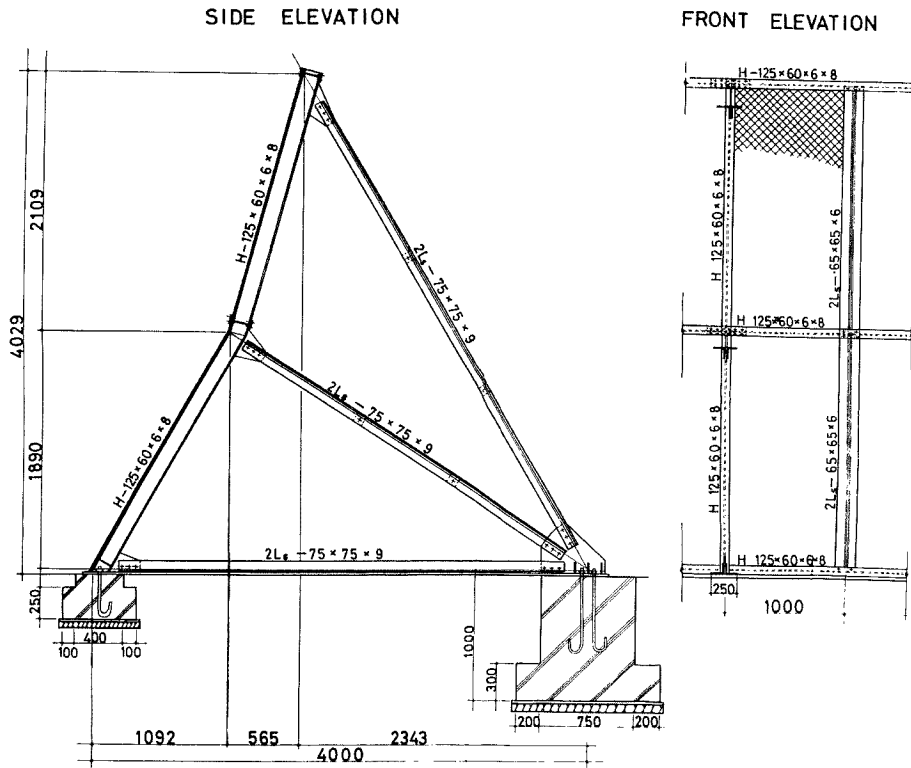


Fig. 1 The structure of the blast fence used in the experiment.

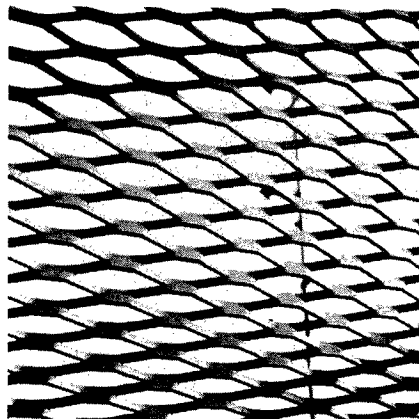


Photo. 2 The front view of the expanded metal used in the experiment.

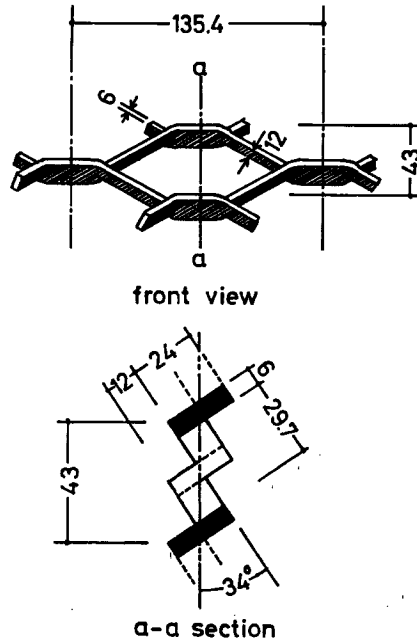


Fig. 2 Front view and the section of the expanded metal. (unit: mm)

仮定して設計してある。この仮定の妥当性を検討することも本実験の目的の1つである。

エキスパンドメタルを用いた場合、blast fenceの風向に対する傾斜角は遮風効果に重大な影響をもつ。この実験では下部が $30^\circ$ 、上部が $15^\circ$ 、風上側に傾斜しているが、これは筆者らの行った風洞実験<sup>1)</sup>の結果にしたがったもので、風洞実験において背後に対する遮風効果が最も顕著であった角度である。この場合エキスパンドメタルのストランドは水平に対して風を上方向に転向させる向きに下部で約 $64^\circ$ 、上部で約 $49^\circ$ の角度をもっている。

## (2) 実験の概要

実験は1965年10月4日に東京国際空港で行なった。jet wakeはDC-8およびBoeing 727によってあたえた。Blast fenceに対するこれらの旅客機のエンジンノズルの位置は、Fig. 3に示したとおりで、DC-8の場合はfenceの前方29m、地上約2mの点にあり、Boeing 727の場合はそれぞれ15m、3.8mである。

jet wakeの測定器械はFig. 4に示すように、jet wakeの軸線上blast fence上端より前方3m、後方5mおよび11mの3ヶ所に立てたポール上と、blast fenceの1部とに取り付けた。ポールに取り付けた測器の地上からの高さは、1.1m、2.2m、3.3mおよび4.4mである。図中、Rは歪計型風圧計で15cm×15cmの受圧板とそれを支えるトラスから成り、受圧板の受ける風圧をトラス材の歪から読みとることができる(Photo. 3)。P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>は差圧変換器型風圧計で、 $\frac{1}{60}$ 秒程度までの周期の変動風圧を検出することができ、直記式電磁オシログラフと組み合わせて風圧変動を記録させた。P<sub>1</sub>は高圧用、P<sub>2</sub>は一般用である。Cは小型ロビンソン風速計(3杯)で、風程50m毎の接点を内蔵し、直記式電磁オシログラフと組み合わせて平均風速の測定に用いた。Tは水銀留点最高温度計で、実験終了後回収して最高温度を測定した。

Blast fence各部の応力は、測定位置にwire strain gauge(以下W.S.G.)を貼り付け、その点の歪を静歪計または動歪計を用いて測定して求めた。歪の測定箇所は全部で11ヶ所で、1ヶ所につきW.S.G.を1~4枚使用した。Fig. 5は応力測定箇所を示したものである。

測定はエンジン開度60%, 80%および100%の場合について行なった。ここでいうエンジン開度とは、DC-8 の場合は take-off power に対するエンジンの power の百分率を、Boeing 727 の場合は take-off power のエンジン回転数に対するエンジン回転数の百分率を言う。

実験は DC-8 の場合17時30分、Boeing 727 の場合20時10分頃より開始し、階段状にエンジン開度を増加しそれぞれ約5分後に終了した。実験当日は天気は晴、当時の気温は DC-8 の実験のとき約 20°C、Boeing

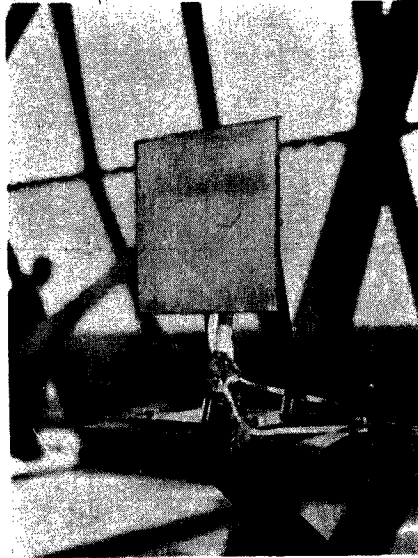


Photo. 3 A strain gauge type wind pressure gauge used for measurements of jet wake velocity.

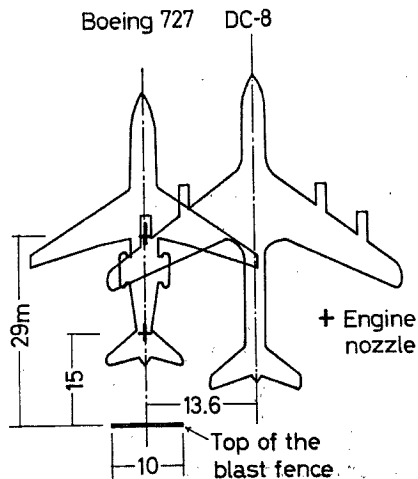


Fig. 3 Arrangement of the blast fence and engine nozzles. Heights of the engine nozzles of DC-8 and Boeing 727 are 2 m and 3.8 m above the ground respectively.

727 のとき約  $18^{\circ}\text{C}$ 、風は DC-8 のとき  $3\text{m/sec}$  程度、Boeing 727 のときは静穏であった。Photo. 4 に実験の状況を示した。

(3) 風速の垂直方向分布

Fig. 6 は blast fence の前後 A, B および C 点で測定した風速の分布を示しており、これによって jet wake の変化の様子を知ることができる。測定点 A-1~4 および B-4 における風速は歪計型風圧計の風圧から算定した値であり、B-1~3 および C-1~2 のそれは小型ロビンソン風速計による 1 分間平均風速である。風圧から推定した風速は瞬間最大風速に近い値で、1 分間平均風速よりはかなり大きい値を示していると思われる。

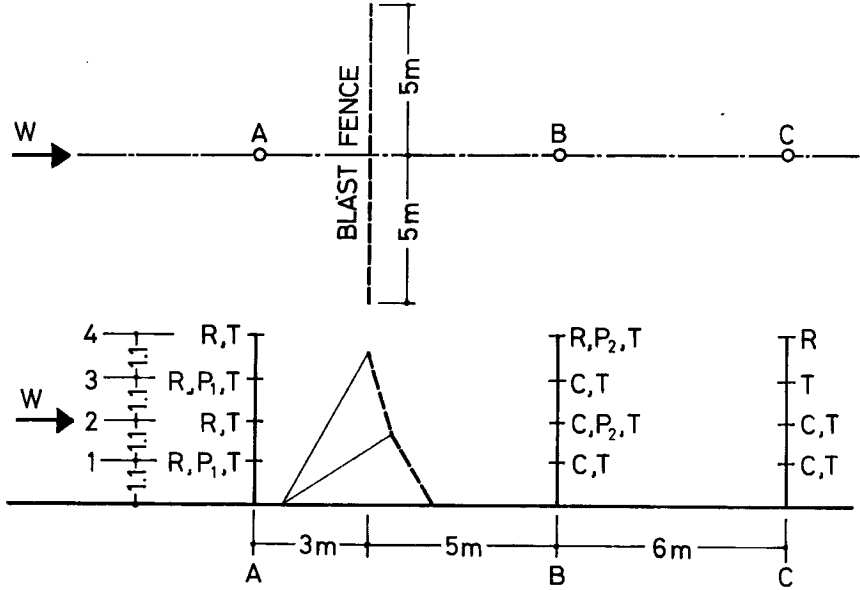


Fig. 4 Arrangements of the instruments. *R*: strain gauge type wind pressure gauge,  $P_1$ : bellow type high wind pressure gauge,  $P_2$ : bellow type low wind pressure gauge *C*: 3-cup anemometer, *T*: mercury-in-glass maximum thermometer.

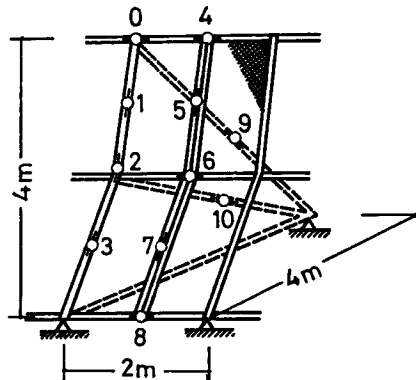
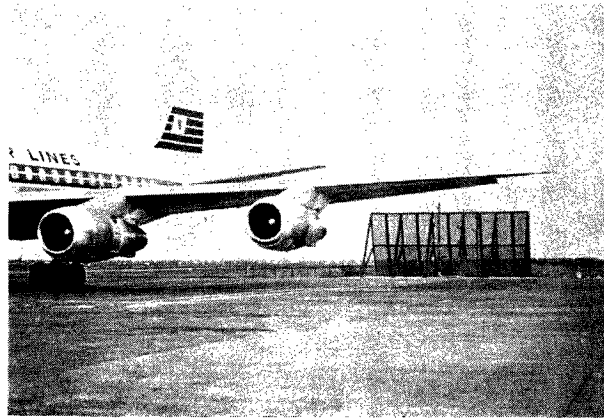


Fig. 5 Locations of strain measurements.

Fig. 6 (a) は DC-8 の場合である。fence の前方 3 m の A 点における風速の極大は、エンジン開度 60~80% では地上 2 m 付近で、エンジン開度 100% では地上 1 m 付近に生じている。A 点で観測された風速は最大 84 m/sec であるが、この高速の wake は blast fence を通過して fence の背後 5 m の B 点に達するときは、地上 4 m 以上の高さまで上方に転向している。その結果 fence の背後地上 3 m 以下では著るしい弱風域が生じており、ここでは高々 11 m/sec 程度の風速である。風速 11 m/sec 程度の風は通常の作業には差支えはなく、この場合 blast fence は充分な遮風効果をもっているといえる。

Fig. 6 (b) に示した Boeing 727 の場合は A 点では地上 3 m 付近で風速が極大で、地上 1 m 付近でも 20 m/sec 以上の風速である。エンジン開度 100% のとき A-3, 4 の風圧計が破壊したため風速が不明であるが、Boeing 727 facility planning によれば 150 m/sec 程度、風圧計の破壊強度から推定すると 170 m/sec 以上であったと思われる。この高速の jet wake は blast fence の背後では地上 3 m 以上の位置に転向している。地上 3 m 以下では、エンジン開度 60% のとき 7 m/sec 以下、80% のとき 14 m/sec 以下の風



(a) DC-8



(b) Boeing 727.

Photo. 4 View of the experiments

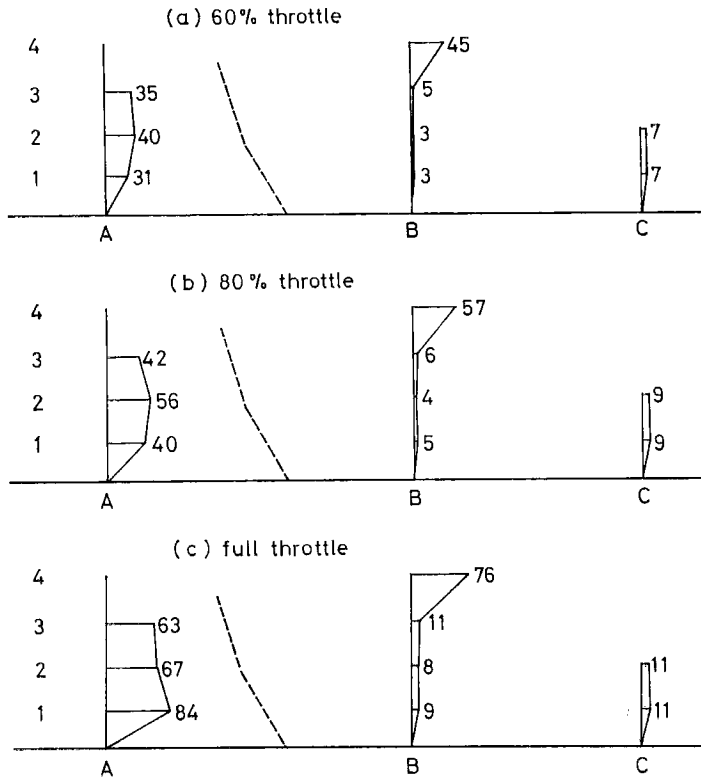


Fig. 6 (a) Distributions of wind speeds (m/sec) around the blast fence in the wake of DC-8.

速であり、100%のときは 20 m/sec 程度となっている。飛行機の整備作業等をなすうる限界風速は 15 m/sec 程度であるといわれており、Boeing 727 が fence の前方 15 m 付近に停止し、エンジン開度を80~100%とした場合、fence の背後 10 m 程度以内の場所は整備作業をなすうる限界となる。しかし、この場所が道路等になる場合はこの程度の風速は大きな支障にはならないと思われる。

#### (4) 最高温度分布

Fig. 7 は最高温度の分布を示している。この最高温度は DC-8, Boeing 727 いずれの場合もエンジン開度100%の時に記録されたものと考えられる。DC-8 の場合は blast fence 前面の A-1 点で最も高く 60°C であるが、blast fence 背後の B, C 点では地上 3 m 付近まで 33°C~36°C 程度で周囲温度 20°C より約 15°C の温度上昇がみられる。夏季にはこの付近が 50°C 以上になることもありうるが、長時間そこにとどまらぬかぎりあまり問題にはならないと思われる。Boeing 727 の場合は、温度が最も高いと思われる A-3, 4 点の温度計が jet wake によって破壊したため測定ができなかったが、Boeing 727 facility planning によればこの付近の温度は 90°C 程度と推定される。これに対して blast fence の背後では地上 3 m 付近まで 20°C 前後であって周囲温度と大差はない。以上のように blast fence 背後の温度上昇は、DC-8 の場合にやや大きい、Boeing 727 の場合はほとんど問題にならない。この差はエンジンノズルの高さの差によって生じたものと思われる。

#### (5) 風圧力分布

jet wake の風圧の測定は差圧変換器型風圧計と歪計型風圧計とによった。Table 1 はその測定結果で blast fence 前後の風圧の最大値を示すものである。参考文献 1) にも述べられているように jet wake の



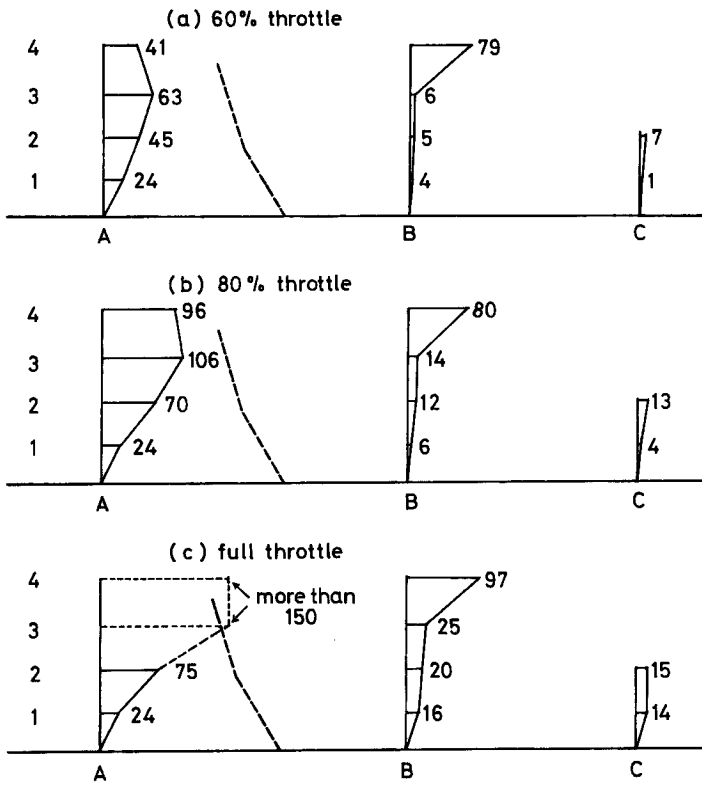


Fig. 6 (b) Distributions of wind speeds (m/sec) around the blast fence in the wake of Boeing 727.

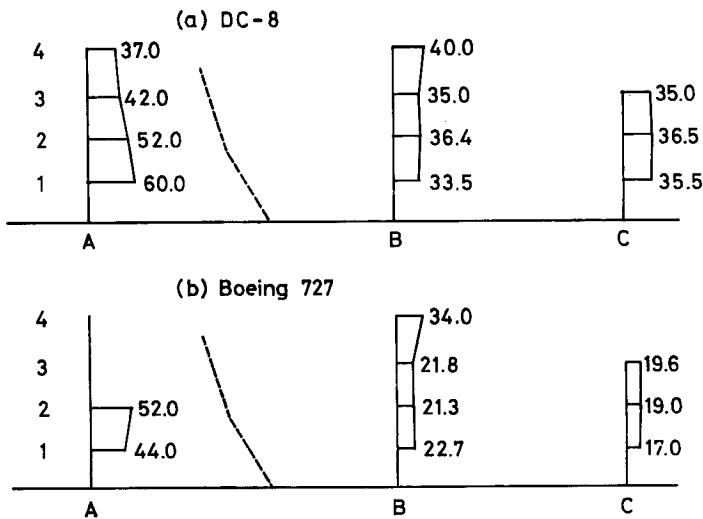


Fig. 7 Distributions of maximum temperatures (°C).

Table 1 Observed maximum wind pressures ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) around the blast fence.

機名	エンジン開度%	測点	A-1	A-2		A-3	A-4		B-4	B-2
		高度m	1.1	2.2		3.3	4.4		4.4	2.2
		測器	R	R	$P_1$	R	R	$P_1$	R	$P_2$
DC-8	60	65	110	65	90	—	65	145	0	
	80	160	215	160	125	—	140	225	0	
	100	460	295	535	270	—	145	335	0	
Boeing 727	60	40	145	135	260	110	220	380	0	
	80	40	335	215	665	545	750	460	10	
	100	40	375	295	>1570	>1570	1640	665	30	

風圧変動は非常に激しく、正圧から負圧まで広範囲に変動しているため平均風圧は最大値にくらべて非常に小さくなる。

Blast fence 前方 3m の地点の風圧の最大値をみると、DC-8 の場合エンジン開度100%では地上 1~2m 付近で約  $500 \text{ kg}/\text{m}^2$ 、地上 3m 付近で  $270 \text{ kg}/\text{m}^2$ 、地上 4m 付近で  $150 \text{ kg}/\text{m}^2$  程度である。Boeing 727 の場合は、DC-8 よりもエンジンノズルの位置が高いため地上 3~4m 付近が風圧が最大でエンジン開度100%では  $1500 \text{ kg}/\text{m}^2$  以上、地上 2m では  $300\sim380 \text{ kg}/\text{m}^2$ 、地上 1m では非常に小さく  $40 \text{ kg}/\text{m}^2$  程度である。

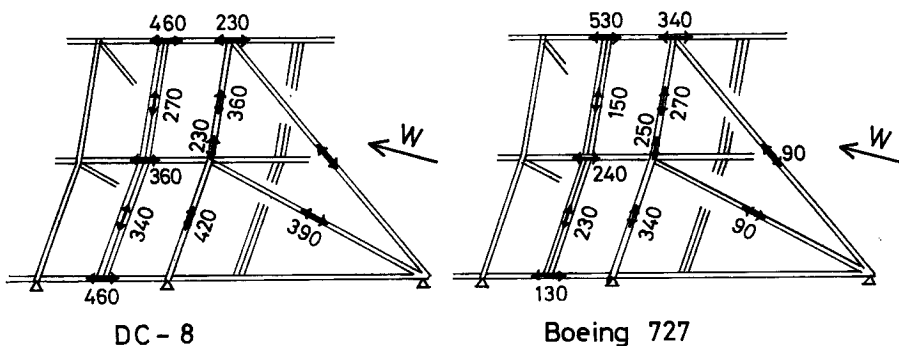
A点は blast fence 前縁より 3m 前方にあって、この点の風圧は blast fence に加わる風圧とは異なるが、近似的にはA点の風圧に blast fence の抗力係数を乗じたものが blast fence に作用したとみなしうるであろう。

この blast fence の設計においては速度圧を高さに関係なく  $1,190 \text{ kg}/\text{m}^2$  にとっているが、これは Boeing 727 のエンジン開度100%の場合のA列の風圧と比較して妥当な値と考えられる。

#### (6) 応力測定結果

Fig. 8 は、blast fence 各部の最大歪から、ヤング係数を  $2.1 \times 10^6 \text{ kg}/\text{cm}^2$  として応力を計算したものである。これによると各部の最大応力は  $100\sim500 \text{ kg}/\text{cm}^2$  程度であり、Boeing 727 の上部水平材中央の  $530 \text{ kg}/\text{cm}^2$  が最も大きい。これは、使用した鋼材の許容応力度  $1600 \text{ kg}/\text{cm}^2$  の約  $1/3$  である。

上述の最大応力から断面力を計算し設計値と比較したのが Fig. 9 である。上下の水平材およびトラス引

Fig. 8 Observed maximum stresses ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

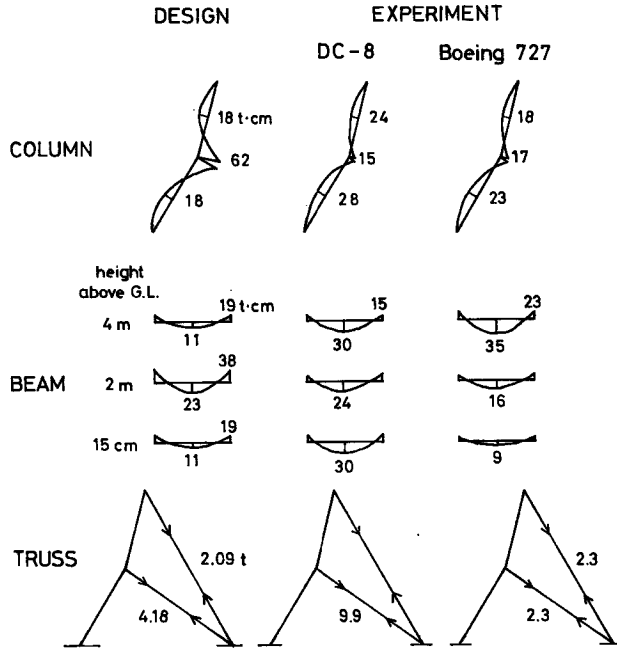


Fig. 9 Comparison of bending moments or axial forces between the design and the experiments.

張材の曲げモーメントあるいは軸方向力は実験値の方が設計値を2～3倍上まわっているがその他の位置では設計値は実験値とよく一致している。

### 3. む す び

以上の実験結果からこの blast fence の遮風効果および構造上の安全性についてつぎのことがいえる。

(1) Boeing 727 がエンジン開度を80～100%にした場合、fence 背後は整備作業等をなすうる限界となる。DC-8 および Boeing 727 のエンジン開度が60%以下の場合には遮風効果は充分であり、その場合の弱風域は地上 3m 付近までおよぶ。

(2) 弱風域内の温度上昇は DC-8 の場合に 15°C 程度であるが、Boeing 727 の場合はほとんどない。

(3) この fence の設計の仮定はほぼ妥当なものであり構造的に安全である。

なお、この実験は羽田空港当局、日本航空株式会社、全日空株式会社、八幡製鉄株式会社および中津鋼板株式会社の方々の援助によって行なわれたものである。特に blast fence の応力測定は八幡製鉄の協力によって行なわれた。これら多大の援助協力に対してここに厚く感謝の意を表する。

### 参 考 文 献

- 1) 石崎澂雄, 光田 寧, 桂 順治; Blast Fence に関する研究 (1), 京都大学防災研究所年報, 第9号, p. 243, 1966.

附録 大分空港の blast fence の遮風効果に関する観測結果

大分地方気象台長齊藤将一氏の筆者宛私信によれば、同氏が大分空港で YS-11 旅客機について blast fence の遮風効果を観測した結果は次表のとおりである。この blast fence はエキスパンドメタルを用いた地上高 1.8 m のものであるが、観測結果はきわめて顕著な遮風効果のあることを示している。

観 測 点	S	A	B
平 均 減 速 比	1.00	0.28	0.14
(S点の風速を1とした場合)			

〔註〕

- 飛行機位置      blast fence 前方 100 m
- S      点      blast fence 上 90 cm, 地上高 2.7 m
- A      点      blast fence 後方 7.2m, 地上高 1.9 m
- B      点      blast fence 後方 21m, 地上高 1.9m
- S, A, B,点はいずれも YS-11 の後流の軸線上に設けられている。