

隧道排煙用送風機

六角康久* 堀 謹 二**

Tunnel Fans

By Yasuhisa Rokkaku and Kinji Hori
Kawasaki Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

As an effective means of smoke expelling for railway tunnels, which is important for their maintenance and the transportation alike, the blower is the primary machine in use. And as the blower for this service being specifically termed a tunnel fan, the propeller fans are exclusively used of late instead of multi-blade fans and turbo-fans which were employed in early days of development.

The improvement of methods of smoke expelling by means of blowers such as popular Saccard method and shunting tunnel method now faces several problems concerning installing position of blowers, combined use of screen, etc.

Hitachi, Ltd., with its career as the pioneer and almost exclusive manufacturer of tunnel fans in this country, and accordingly with the most extensive experiences, has supplied many tunnels on State Railways with various excellent types of tunnel fans best suited to the different conditions of each site.

The writers, in the capacity of engineering staffs of Hitachi tunnel fans, introduce several subjects on this type of fan including the design of smoke expelling system, the history of tunnel fan's development, the performance test at site, etc.

[I] 緒 言

隧道内に一酸化炭素、亜硫酸ガス等の有毒ガスを含む煤煙が蓄積することは、保線上並びに輸送上非常に大きな問題であるが、この対策としての排煙装置の主体をなすものは送風機で、この用途の送風機は特にトンネルファンと呼ばれる。ここでは先づ排煙装置の概略を述べ、次いでこれに用いられる送風機の型式及び構造を説明し更に現地総合試験の一例をそえたものである。

[II] 排 煙 装 置

排煙の目的は一部には乗客へのサービス及び線路その他の機材の腐蝕防止などもあるが、その主なものは乗務員の苦痛軽減と保線作業員の能率増進である。ところで隧道に設置される送風機は、列車乗務員に対しては、機関手室に煙の侵入する量を減らすのが目的で、列車間隙

風の相対速度を増す為に対向送風がよく、保線員にとっては列車風を利用する事によつて速く排煙を完了させる為とその反対がよい。次に送風機による排煙方式には構造的に、分岐トンネル式とサッカルド式に分類される。分岐トンネル式は隧道口附近につくられた分岐トンネルから、送風機によつて外気を隧道内に送り込む方式で、この場合送風機によつて作られた圧力が、隧道を貫通して反対側の隧道口へ送風出来るように、送風機側の隧道口に可動の幕を垂れてこれを閉塞するのである。この方法はサッカルド式に比べて効率が約2倍であるという利点があるが、垂幕の如き列車の障害となりやすいものを用いなければ役に立たず、又それを設備したり維持したりする経費が嵩むという欠点がある。尙この垂幕のみでも、列車が隧道に入った後直ちにこれで入口を塞げば送風機による対向送風と同様の利益があるが、残留煙は自然風がない限り抜けない為屢々大事故の原因となつたりしてそのみでは不十分である。次にサッカルド式では

* ** 日立製作所川崎工場

送風機によつてノズルから隧道へ相当大きな速度で空気を吹込み、この噴気によつて隧道口に丁度垂幕を閉じたと同様の効果が出来、この速度ヘッドが隧道を貫通する空気の速度ヘッドと、抵抗に打勝つて流れる為の圧力となつて働くのである。この方法は垂幕を必要としないので相当広く用いられるが、26%~10%の低効率であるという欠点がある。現在この方式の方が多く用いられるのでこの場合の送風機の量の決定について述べると、第1図に於て、ノズルの断面積を A_1 、その風速を v_1 、縮流係数を η_c とすれば、風量及び圧力は次式で与えられる

$$Q = v_1 A_1 \quad F = \frac{1}{\eta_c^2} \frac{\gamma}{2g} v_1^2$$

これに必要な v_1 、 A_1 は

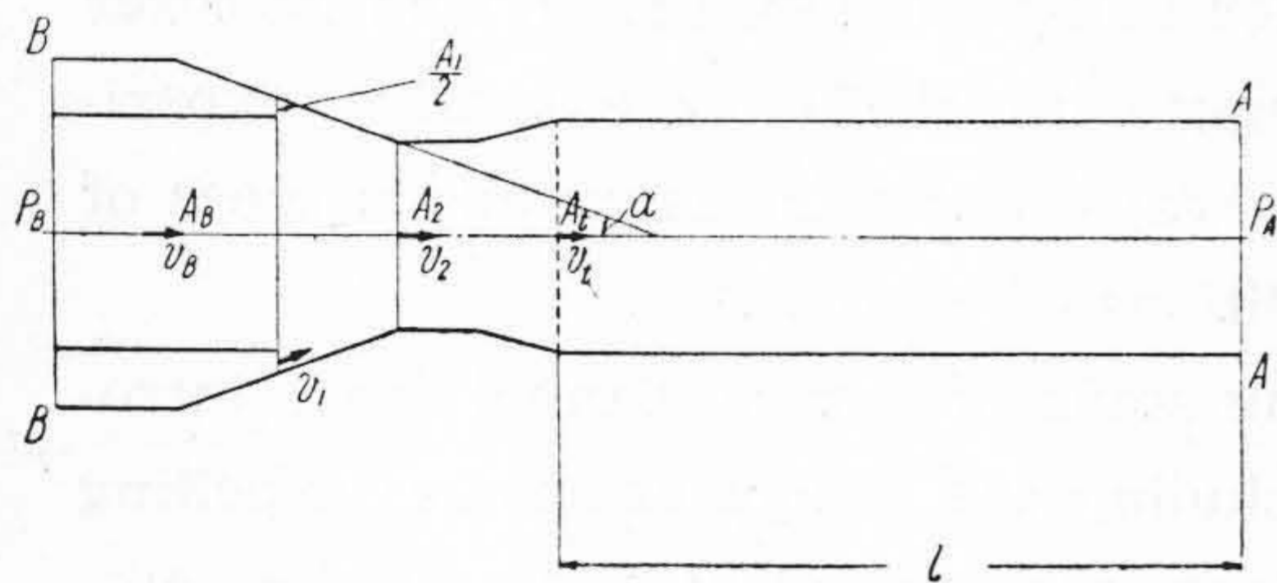
$$A_1 v_1 = A_t v_t, \quad v_B = 0$$

と見做せば、運動量の理論により次式で与えられる。

$$v_1 = v_t \frac{1 + \frac{fl}{2} + \frac{g P_{AB}}{\gamma v_t^2}}{\cos \alpha}$$

$$A_1 = \frac{A_t \cos \alpha}{\left(1 + \frac{fl}{2}\right) + \frac{g P_{AB}}{\gamma v_t^2}} \quad (1)$$

但し、これらの式中の文字は次のものを表わす。



第1図 ノズルの断面

Fig. 1. Sectional View of Nozzle

Q : 送風機の風量 (m^3/sec)

F : 送風機の全圧 ($mmWG$)

γ : 空気単位体積重量 (kg/m^3)

v_t : 隧道内平均流速 (m/sec)

A_1 : ノズルの断面積 (m^2)

l : 隧道延長 (m) v_1 : ノズルの流速 (m/sec)

f : 隧道表面摩擦係数 g : 重力の加速度 (m/sec^2)

P_{AB} : 隧道口間の圧力差 (kg/m^2)

α : ノズルの隧道に対する角度

なお、 v_t は 4~5 m/sec 程度に設計されるが、その限界は次の列車進入迄に排煙が完了する事と、列車が隧道内で停止しても限界相対速度 (3.5 m/sec) を下らぬ事等の条件によつて決定される。

[III] トネルファンの型式と構造

(1) 型式

トンネルファンとして用いられる送風機は、多翼送風機、ターボファン及びプロペラファンの三種である。この中プロペラファンは極く低圧のものからかなり高圧のものまで自由に設計出来るので、問題はないが多翼送風機は比較的低圧の時、ターボファンは比較的高圧の場合に用いられる。第1表は既製のトンネルファンの要目を示す。表に見る如く初期には専ら多翼送風機が用いられたが、これは垂幕を用いる分岐トンネル式が多かつた関係であつて、排煙に必要な圧力が風量に比し比較的低圧であつた為であるが、この種のファンは全圧機械効率が60%内外でありあまり良好でない上に形体も相当大きくなる欠点がある。次に、広鉄の欽明路隧道、門鉄の冷水隧道ではサッカルド式の為風圧が上記のものに比しかなり高くなり、従つてターボファンが採用されている。この型式のファンは多翼送風機に比し、形体はやや大となる

第1表 日立トンネルファン仕様一覧表

Table 1. Specifications of Hitachi Tunnel Fans

納先	品名	数量	納入年月	風量 (m^3/min)	風圧 ($mmWG$)	回転数 (r.p.m.)	圧力 (HP)
大鉄 (逢阪山)	多翼送風機	1	昭和 2-11	7,800	30	120	150
大鉄	//	1	4-7	7,800	50	135	150
名鉄	//	1	4-7	5,400	45	120	150
名鉄	#20 OS-RH 多翼送風機	1	5-8	6,600	111	250	300
名鉄	#21 SS-RH 多翼送風機	1	5-10	6,000	93	240	150
広鉄 (欽明路)	#19 ODT-CH 両吸込型ターボファン	1	18-7	6,000	130	347	300
大鉄 (東山)	3,200φ BP-CH プロペラファン	1	20-3	7,800	35	420	100 kW
門鉄 (冷水)	#19 ODT-CH 両吸込型ターボファン	1	23-5	6,000	150(全圧)	347	250 kW
仙鉄 (大橋)	2,700φ BP-RH プロペラファン	1	25-10	5,400	48	450	75 kW
札鉄 (礼文華)	2,100φ BP-CH プロペラファン	2	26-4	3,250	120(全圧)	965	100 kW
富士製鉄 (平田湾)	1,900φ BP-CH プロペラファン	2	26-8	2,800	85(全圧)	865	60 kW

が効率は70%内外でかなり良い。しかし最近では一般の傾向と同じく、トンネルファンに於ても、他のファンに比し形体も小で効率も優秀なプロペラファンが採用されるに到つた。次にその利点を述べる。

(2) プロペラファンの利点

(a) 同一仕様に対し、各ファンに最も適当な比速度を与えるような回転数を採用すると、プロペラファンは他のファンに比し高回転数を取り得る事と形体が小である事が特長で、高回転数である事は、直結の場合に電動機は極数の少いものでよく、従つて電動機の形体も小になる。低圧の場合でも他のファンのように低い回転数は取らぬ為、プーリによる減速も殆ど不必要構造が簡単になる。このファン本体及び附属電動機で形体、重量が小である事は、組立や据付に極めて便利で且価格も低廉になる。

(b) 形体が小で、その構造簡単のため、据付面積が大幅に狭くなり、据付及び基礎工事費が極めて安価となる。これは特にファンを隧道内に設置する如き設計の場合(礼文華隧道及び平田湾隧道)には他のファンを使用する事は殆ど難しい程である。

(c) 効率は比較的低圧の場合で、多翼送風機に比し約10~15%高く、比較的高圧の場合で、ターボファンに比し約10%~12%高く、最高は全圧で85%以上に達するものがある。その結果電動機も比較的小出力のものでよく、電力消費量も少く経済的である。

(d) プロペラファンは特に高圧の場合には、段数を増す事によつて解決する事が出来、広範囲にわたつて小型で且つ効率のよいファンを作る事が出来、常に効率最高の点に仕様点に来るように設計する事が出来る等が利点として挙げられる。

なお参考の為に、サッカルド式として計画された礼文華隧道排煙用送風機を4種に計画した場合を比較すると第2表のようになる。前にも述べた事であるが、表に明らかなようにプロペラファンではターボファンに比し

て形体、重量、据付面積等大幅に小となり、風洞新設工事、送風機基礎工事、送風機据付工事に於てかなり経費が節約されるばかりでなく、軸馬力も小で有利である。

又表中の重量、据付面積は2台のものは2台分を示したものである。1台の場合は隧道の上に据付けて180度ベンドさせるのであるが、この場合ノズルまでの風路の流れが複雑となり2台両側に並べてそれぞれのノズルから同時に噴出させる方が、構造的にも効率的にも有利である。又2台になれば形体は小となり、電動機も小馬力のものですむが、合計の価格は逆に増加する事はさげられない。しかし、1台停止をやむなくされた場合などでは排煙時間は2倍になるが、他方の運転で致命的な事故を避けうるといふ利益が考えられる。

なお礼文華隧道の場合は、隧道の構造上などから隧道内に両側に設置して隧道内の空気を吸い込むという新方式を採用したのであるが、この場合は特に耐蝕性の考慮が必要である。

(3) 異なる排煙方式に於けるプロペラファンの比較

先に述べたように排煙方式には、分岐トンネル式とサッカルド式があるが、更に又長い隧道では途中で中継ぎする事も考えられる。これ等の場合を計画中の実例につき比較したものが第3表であつてその隧道延長は5kmである。分岐トンネル式では所要風圧が小で動力はサッカルド式の1/7ですむが、風圧に比し風量が多い為、ファンは大口径低回転のものとなる事と垂幕を必要とする事が特長である。サッカルド式1段では所要風圧が極めて高い為、ランナの段数が多く、且回転数が高くなり、各部構造に於て一層堅牢を要求され、且複雑となる。又サッカルド式2段では、4台の中2台が隧道の中央に設置される為、送電上の問題があり、電動機はサッカルド式1段に比べて1/2ですむにもかかわらず、電気関係の価格はかえつて高いという結果になつている。なお表中の価格比はごく概算の見積から計算されたものである事を附記して置く。要するに、送風機、電動機及び配電送

第2表 同一隧道に対するプロペラとターボの比較

Table 2. Comparison of Propeller Fan and Turbo Fan Used in the Same Tunnel

	プロペラ 1 台	プロペラ 2 台	ターボ 1 台	ターボ 2 台
寸法型式	3,200φ BP-CH	2,100φ BP-CH	#22 ODT-RH	#15 ODT-CH
風量 (m ³ /min)	6,500	3,250	6,500	3,250
風圧 (mmWG)	120	120	120	120
回転数 (r.p.m.)	720	965	310	405
電動機軸馬力 (HP)	200	200	240	220
送風機高さ (m)	3.7	2.4	6.5	4.4
送風機重量 (t)	11.5	12	15	14
据付面積 (m ²)	30	20	50	30

第3表 同一隧道に対する分岐トンネル式とサッカルド式の場合のプロペラファンの比較

Table 3. Comparison of Propeller Fans Used in Shunting Tunnel System and in Saccard System in the Same Tunnel

	1	2	3
排煙方式	分岐トンネル式	サッカルド式1段	サッカルド式2段
寸法型式	2,600φ BP-CH	1,700φ 4 st BMP-CH	1,700φ BP-CH
必要台数	1	2	4
風量 (m ³ /min)	6,000	3,000	3,000
風圧 (mmWG)	70	500	125
回転数 (r. p. m.)	580	1,170	1,170
電動機	110kW 12p 1台	400 kW 6p 2台	100 kW 6p 4台
据付面積 (m ²)	22	24	40
送風機関係価格比	100	120	70
電動機及び送配電関係価格比	100	300	320
土木建築及びその他の設備費	100	45	110
総価格比	100	130	160
備考	垂幕を必要とす		2台は隧道中央に設置する為ケーブル長きを要す

電関係その他一切の経費、及び設備後の維持費、動力費等を含めて、どの場合が最も経済的であるかという事が考えられなければならないのであるが、又同時に、設置後の取扱の難易、起りうる障害の有無等が併せて考えられなければならない。

(4) 構造

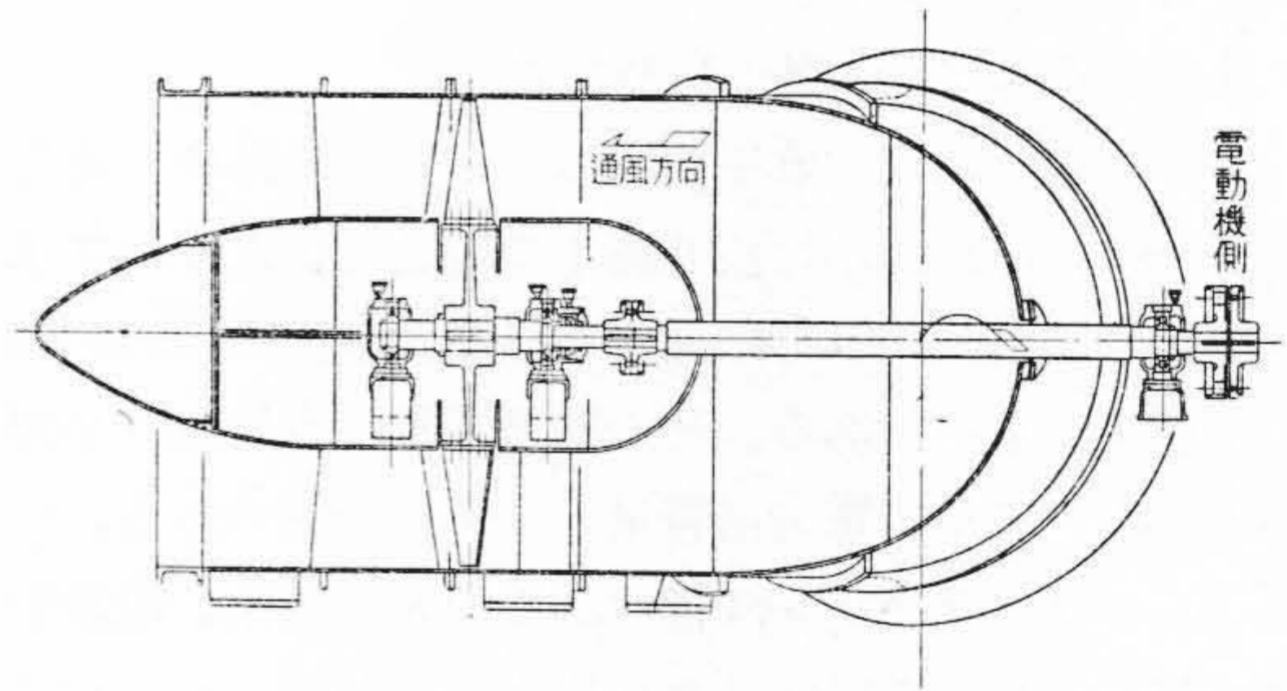
最近専ら採用されているプロペラファンに就て構造の概略を述べる。一例として、札幌鉄道局に納入した礼文華隧道排煙用プロペラファンの構造図を第2図に示す。主要構造を列記すると

(a) ランナは正しい翼型に仕上げられたシルミン製の12枚の羽根を不銹鋼製のボルト及びリーマボルトに依りボスに取付け、羽根の表面には耐蝕性を考慮して鉛メタリコンを施した上、十分平滑に仕上げている。ランナは組立後、静バランスは勿論、動バランスも厳密に取り、運転中の振動を極力減少せしめてある。

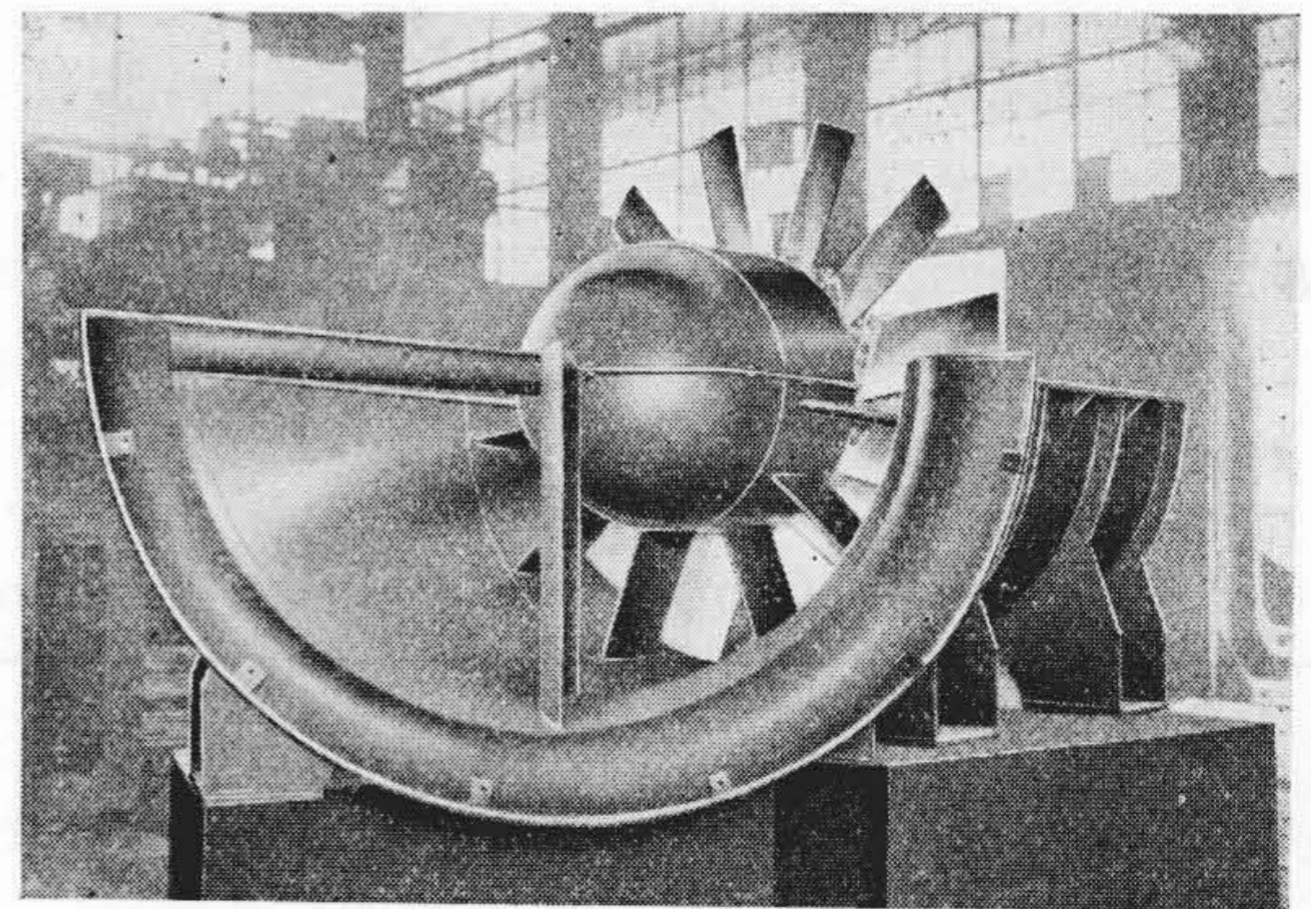
(b) ランナ軸は鍛鋼を用い、同質の中間軸を介してフレキシブルカップリングにより電動機と直結運転せしめられる。

(c) 軸受はラジアル荷重に対してはシリンドリカルローラベアリングを用い、スラスト荷重に対しては、スラストボールベアリングをローラベアリングと同一の筐に納めてある。なおこの場合のように特に夏冬の温度差が大きい場合には、稠度250位のカップグリースで、凝固点も低く低温でも稠度のあまり変らない特別製のトンネルファン用グリース(丸善石油製)を用いている。

(d) 導翼は後置導翼型とし、鉄板製の円弧翼を用い

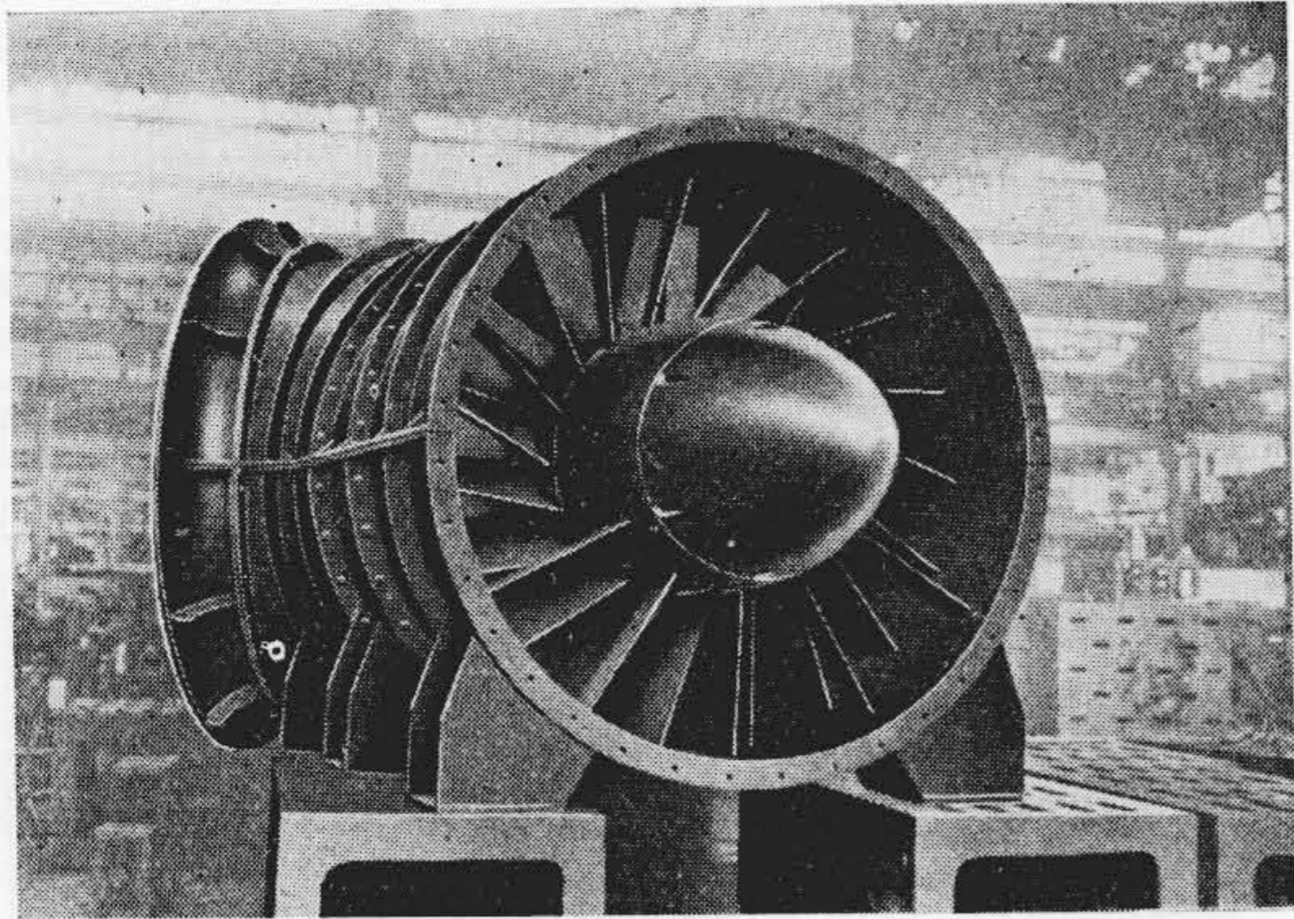


第2図 トンネルファン構造図
Fig. 2. Sectional View of Tunnel Fan



第3図 札幌鉄道局納 2,100 mm プロペラファン
Fig. 3. 2,100 mm Propeller Fan

である。ケースは分解組立を容易にする為、細分し且つ上下二つ割れとし、フランジの合せ面は漏洩防止及び組立容易にする為特に機械加工をし、内外面にはフェノールレジン系耐酸塗料を塗布してある。



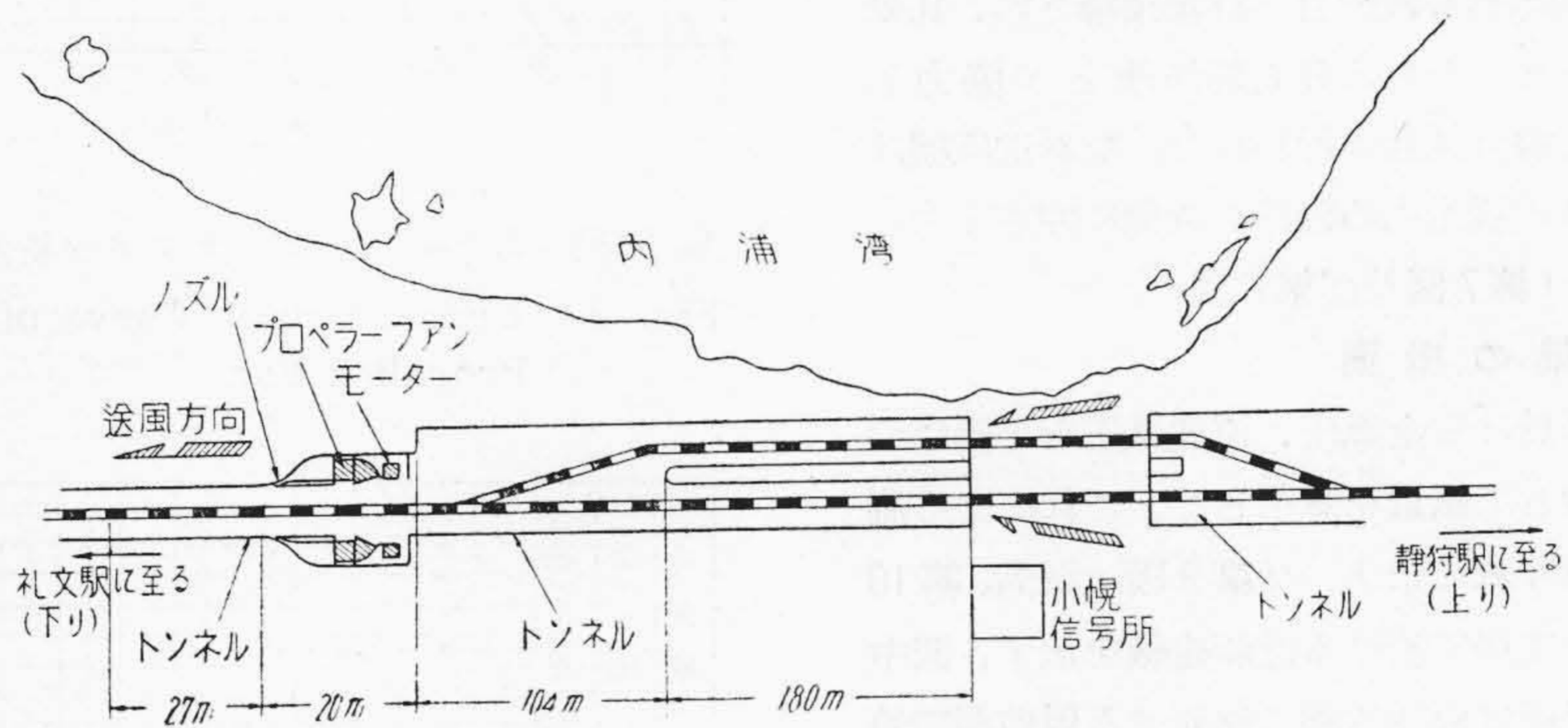
第4図 札幌鉄道局納 2,100 mm
プロペラファン

Fig. 4. 2,100 mm Propeller Fan



第5図 札幌鉄道局納 2,100 mm プロペラファン
用ランナ

Fig. 5. Runner of 2,100 mm Propeller Fan



第6図 現地トンネル見取図

Fig. 6. General View of Tunnel

(e) ランナボス、シャフト、軸受箱等を内蔵する内筒は全体として1箇の流線型を形造り、極力効率の上昇をはかつてある。

(f) 吸込口の損失を少なくする為、バンドパイプの先にはベルマウスをつけ、又これに金網を取付けて危険を防止してあり、且金網には内部点検の為の出入扉が設けられてある。

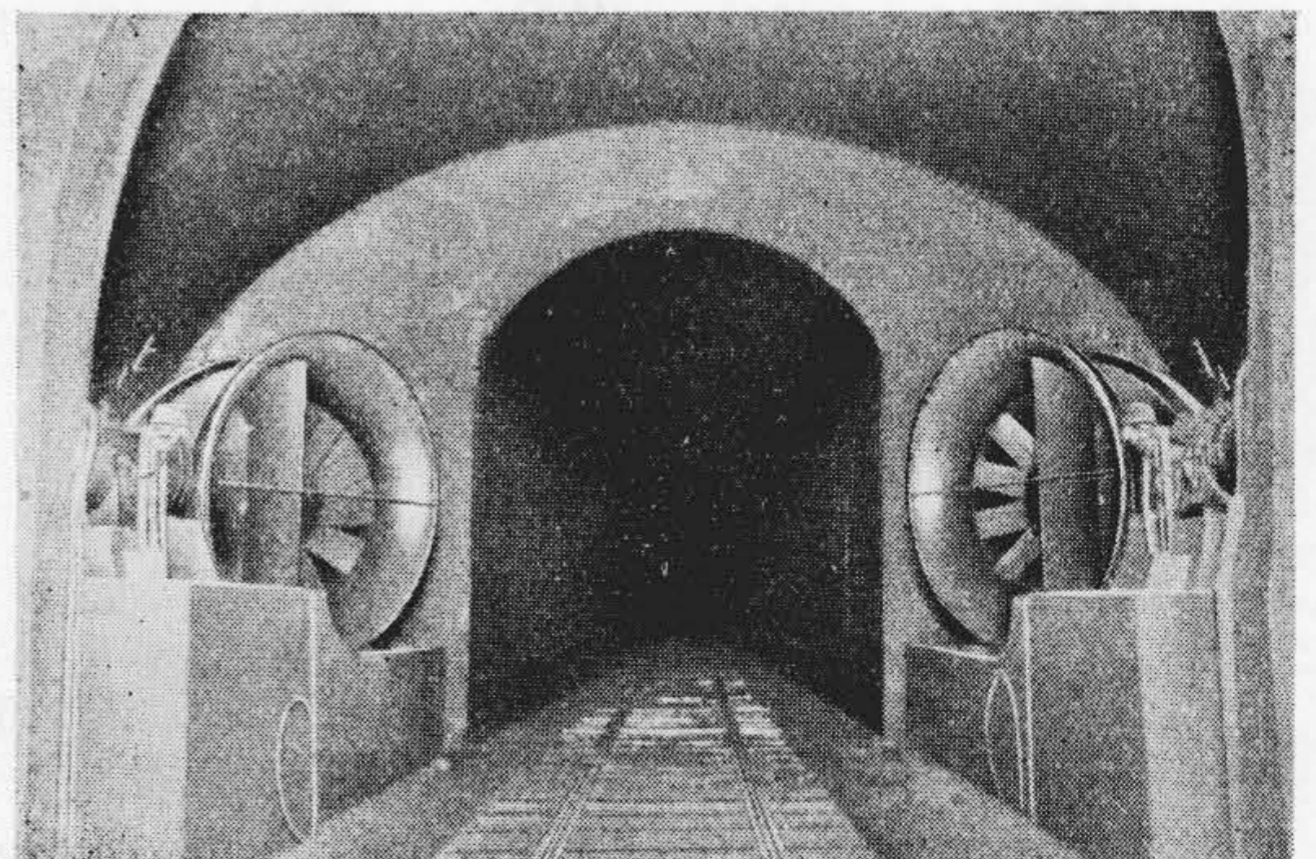
以上要するにプロペラファンの生命である良効率の發揮と、トンネルファンとしての耐蝕性とを考慮して周到に設計され、製作されたものである。第3図及び第4図は工場にて組立中の上記プロペラファン、第5図はそのランナである。

[IV] 現地総合試験の一例

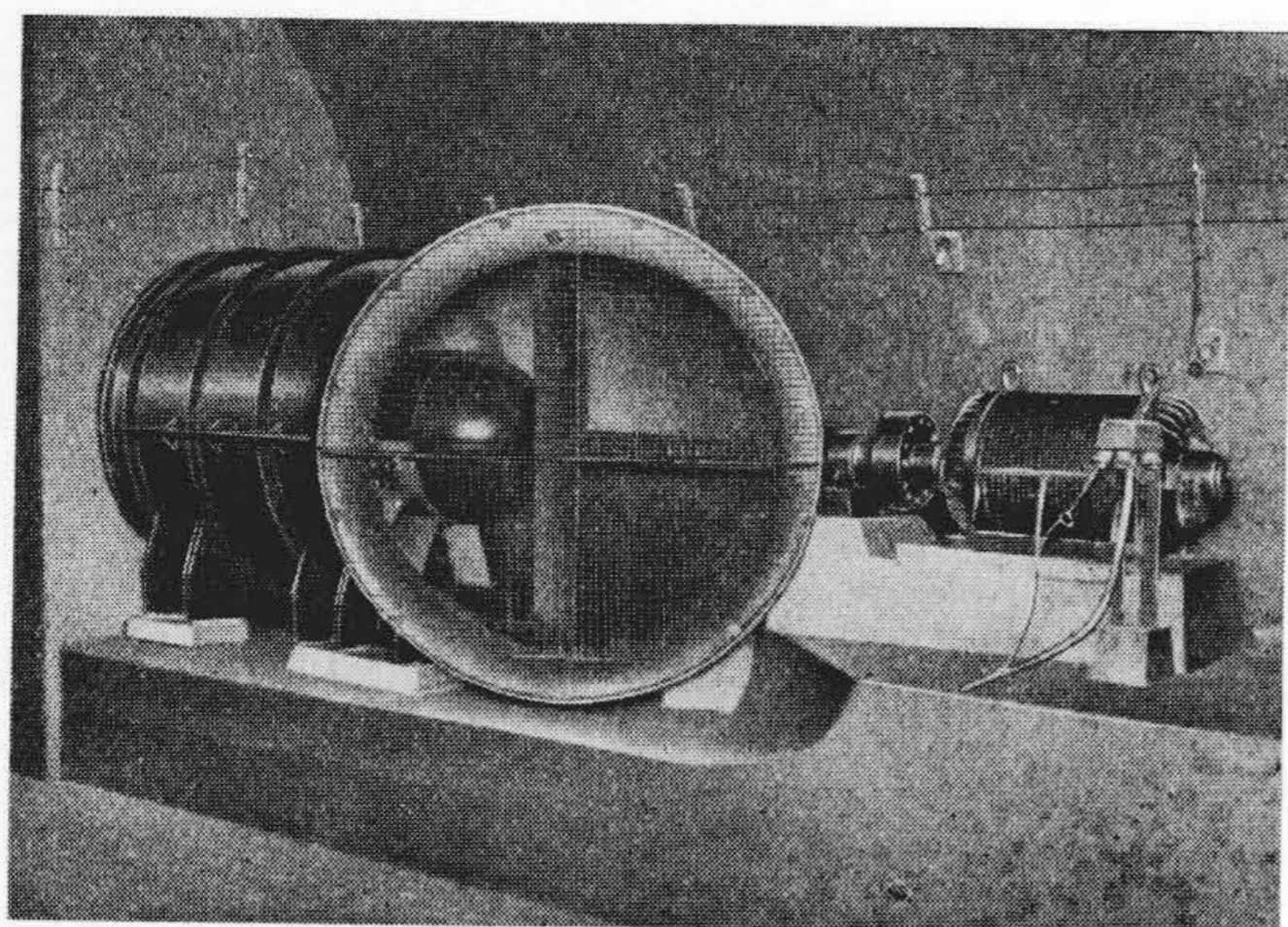
(1) 現地状況

総合試験の一例として、上記札幌鉄道局納礼文華隧道排煙用プロペラファンについて簡単に記述する。この隧道は第6図に示すようになっているが、隧道延長は約2.7 km であり、礼文華側から 10% の登り勾配で途中

から降りになっている。室蘭方面からの上り列車が、登り勾配の為相当多量の煙を隧道内に残すので、隧道内の保線作業の難渋を除去する事を主目的として、この排煙装置が取付けられたものである。隧道の両側に2台の送風機を設置し、各々のノズルを通して空気を吹込む方式は京都大学土木工学教室村山教授の設計になるもので我



第7図 礼文華隧道内に設置されたトンネルファン
Fig. 7. Tunnel Fans Installed in the Rebunge Tunnel



第 8 図 礼文華隧道内に設置されたトンネルファン
Fig. 8. Tunnel Fan Installed in the Rebunge Tunnel

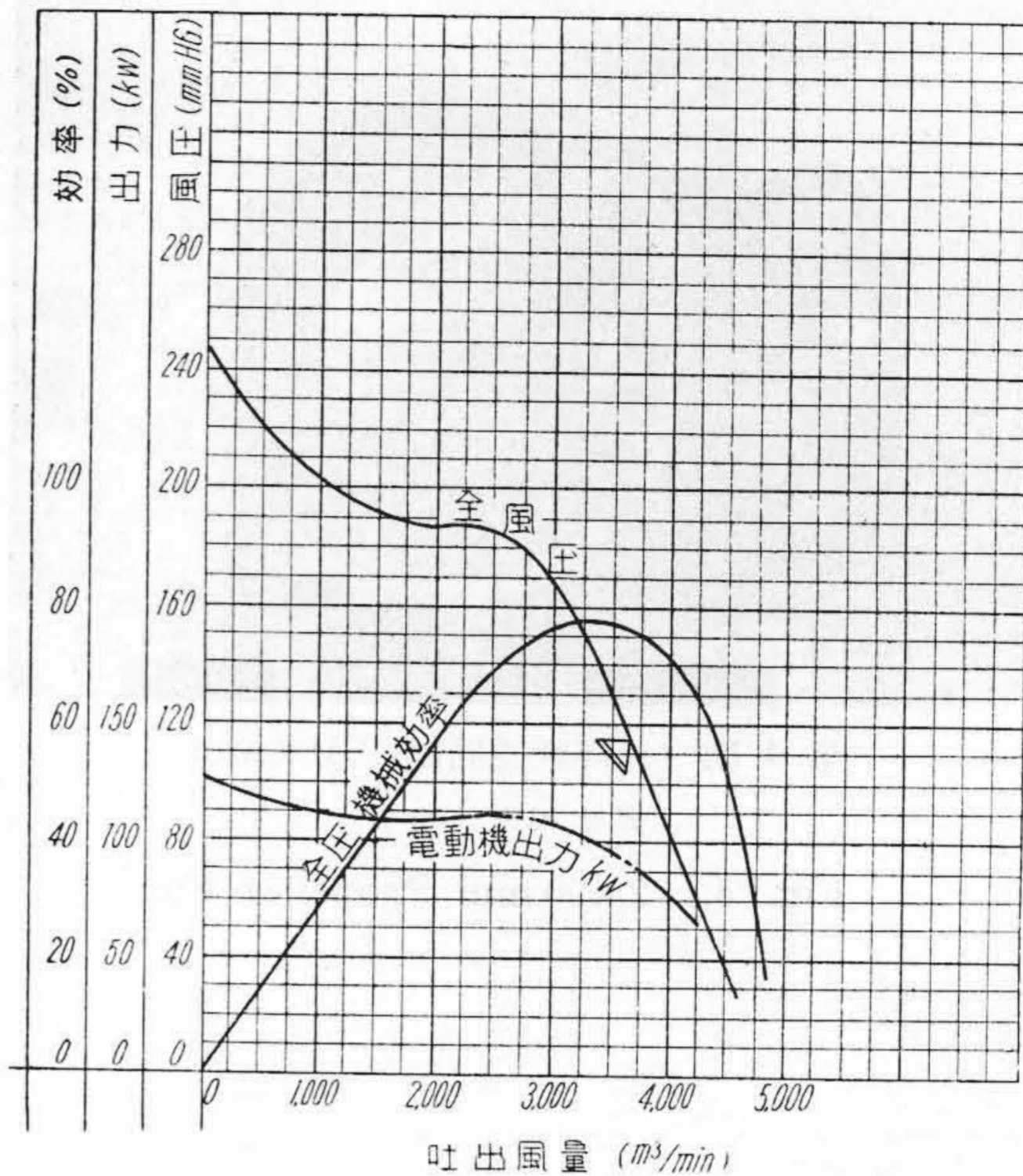
国で最初の試みであり、今回は特に送風機が隧道内に設置されている。現地試験も教授自ら計画指導され、札鉄当局とファンのメーカーである日立製作所とが協力して、2 日間に亘つて総合試験が行われた。なお送風機は小幌口より約 250m の隧道内の線路の両側に左右 1 台ずつ設置されている。(第 7 図及び第 8 図)

(2) 試験結果の概要

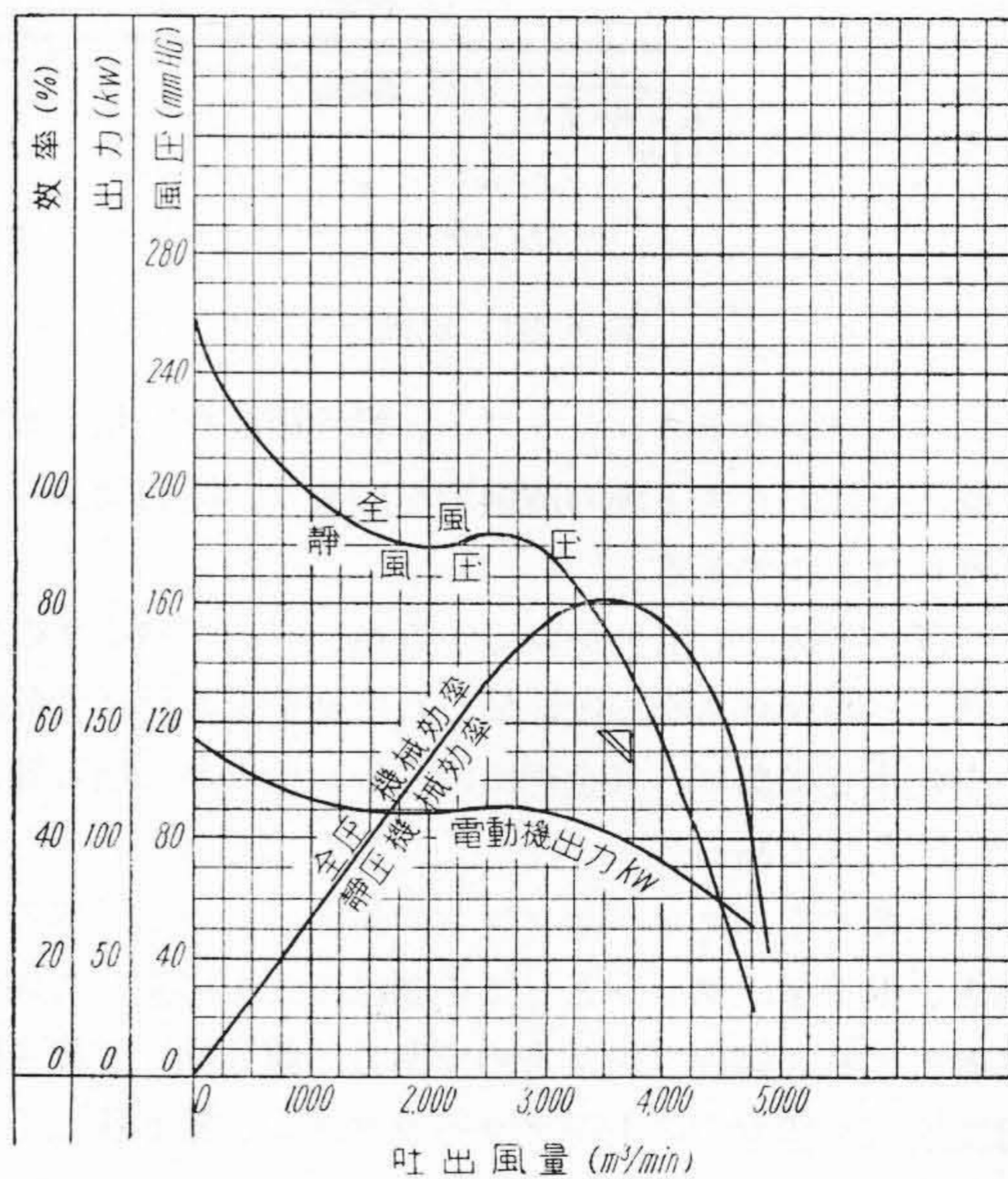
ノズル直後の点に於ける全風圧、速度風圧を 1 機について 25 点ずつ記録して風量を算出した。これによる測定値及び計算値を第 4 表に示す。又第 9 図は海側、第 10 図は山側のファンの工場に於ける性能曲線を示す、図中の鍵型で示す風量風圧は標準状態に換算せる現地測定値を示す。海側はほぼ風圧曲線上に一致するも、山側は同一風圧の点にて現地測定風量は工場試験時の -5.6% と

第 4 表 ノズル直後の点の測定値及び計算値
Table 4. Measured Value and Calculated Values at the Point behind the Nozzle

		海 側	山 側	
測 定 値	速度風圧平均値 (mmWG)	120.6	122.71	
	全風圧平均値 (mmWG)	119.92	123.52	
	隧道外室内温度 (°C)	14.0	14.0	
	送風機吐出口空気温度(°C)	14.2	14.4	
	回 転 数 (r. p. m.)	972	979	
	大 気 圧 (mmHg)	755	755	
	電 圧 (V)	3,025	3,025	
	電 流 (A)	24.5	25.8	
計 算 値	上記数値より計算せる風量 (m ³ /min)	3,696	3,736	
	回転数 965r. p. m. 温度 20°C 大気圧	風 量 (m ³ /min)	3,669	3,683
	760mmHg に換算せる数値	全風圧 (mmWG)	116.6	118.4

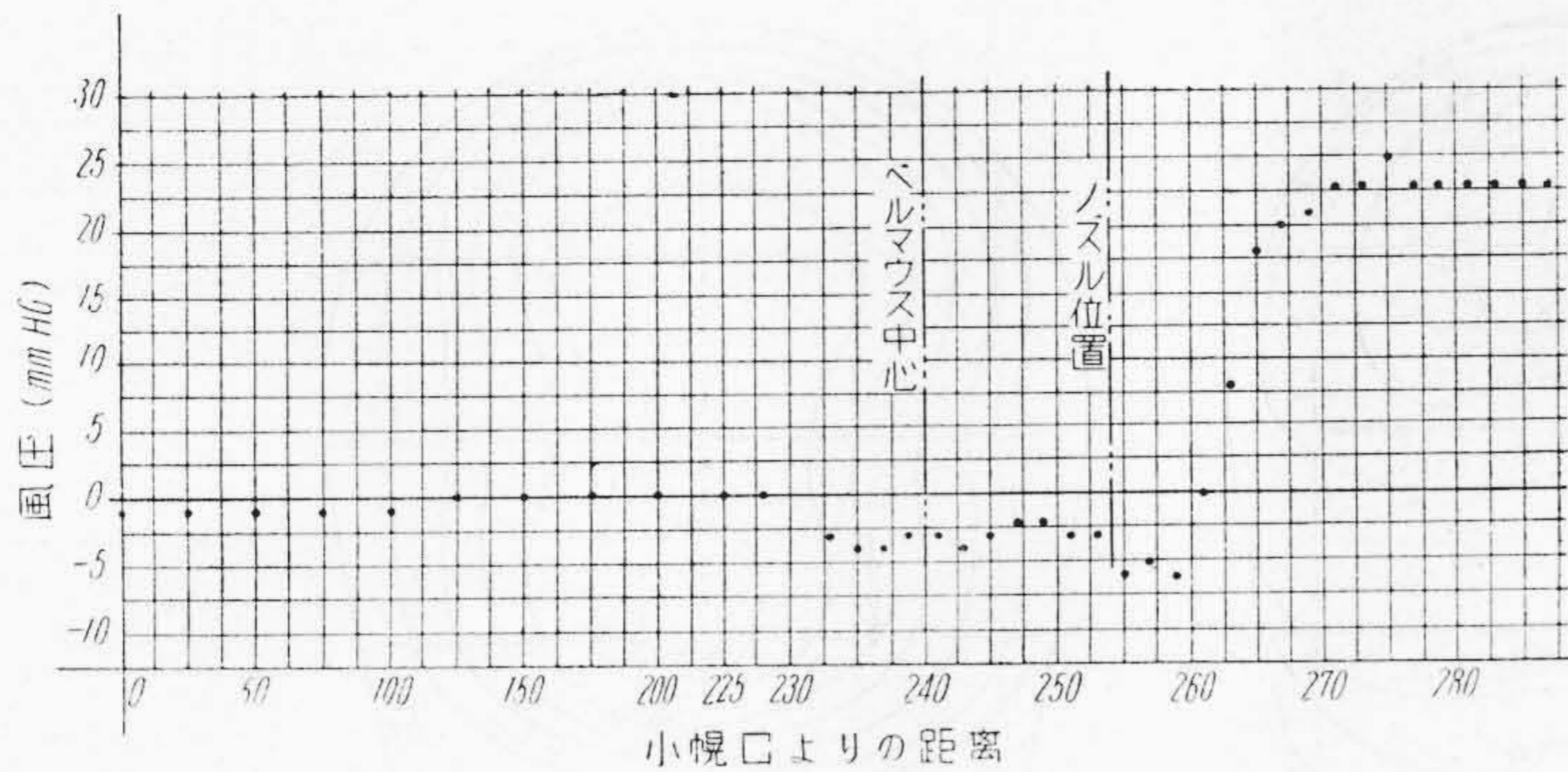


第 9 図 2,100 φ プロペラファン特性曲線 (海側)
Fig. 9. Characteristic Curve of 2,100 φ Propeller Fan

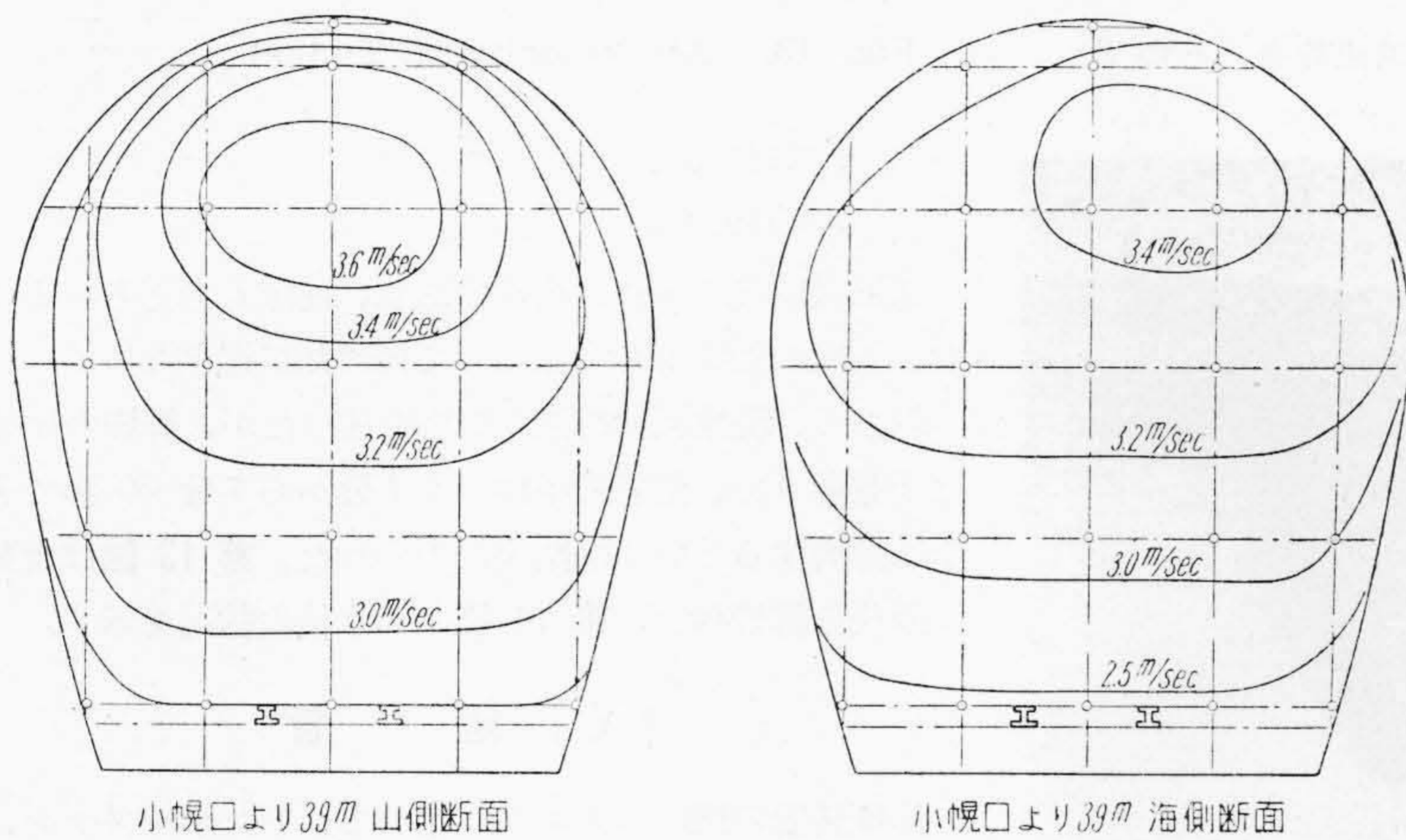


第 10 図 2,100 φ プロペラファン特性曲線 (山側)
Fig. 10. Characteristic Curve of 2,100 φ Propeller Fan

なつた。これは水柱計の上下振動が激しく、正確な値を読取りにくかつた事に起因するものと思われる。電流は規定電流 22A であるが、規定電圧 3,300V に対しての約 1 割低下と、吸込温度の規定 20°C に対し 14°C であ



第11図 トンネル内静風圧分布
Fig. 11. Static Pressure in Tunnel



第12図 トンネル内風速分布(その1)
Fig. 12. Air Velocity in Tunnel

る事等を考慮して換算すれば約 21.5A 程度となる。

次に第11図は隧道内の静風圧の測定値を、又第12図及び第13図は隧道内の風速の分布状態を示す。これによると、風速が速いきらいがあるが、これは後に述べる測定の誤差と、2 m/sec に及ぶ自然風の影響が大きいと思われる。

又第5表は上記風速分布より求めた平均風速度、並びに風量及び自然風速度を0とした時の風量を示す。この3点にノズル直後の点を加えた4点を比較すると、ノズル直後の点を基準として最大約8%の風量の差がある。この誤差の原因としては、列車間隔の関係上、同時測定が出来なかつた事と、高所の点を測定する際にアネモメータの開閉がうまく行かなかつた事によるとと思われる。かくの如く測定値は修正を要するが、概略の効率を求めむる為、各点に於ける風量をそのまま利用してエネルギーを求めてみる。今、エネルギーを E kg-m/sec, 全風圧を P mmWG, 静風圧を p mmWG, 風量を Q m³/sec, 風速

を v m/sec とすれば

$$E = Q \cdot \Delta p \quad \text{又は}$$

$$E = Q \left(\frac{\gamma v^2}{2g} + p \right)$$

であるから

ノズル直後のエネルギー E_1 は

$$E_1 = \frac{3696}{60} \times 119.92 + \frac{3736}{60}$$

$$\times 123.52 = 15040 \text{ kg-m/sec}$$

ノズルより 35m の点のエネルギー E_2 は、

$$E_2 = \frac{8020}{60} \times \left\{ \frac{1.225}{2 \times 9.8} \right.$$

$$\left. \times \left(\frac{8020}{60 \times 20.5} \right)^2 + 23 \right\} = 3440$$

kg-m/sec

小幌口より 39m の点のエネルギー E_3 は

$$E_3 = \frac{3604}{60} \times \left\{ \frac{1.225}{2 \times 9.8} \times \right.$$

$$\left. \times \left(\frac{3604}{60 \times 20.5} \right)^2 - 1 \right\} + \frac{3715}{60} \times$$

$$\left\{ \frac{1.225}{2 \times 9.8} \times \left(\frac{3715}{60 \times 20.5} \right)^2 - 1 \right\}$$

$$= -54 \text{ kg-m/sec}$$

なお測定時における電動機のもつエネルギー E_0 は

$$E_0 = 21,000 \text{ kg-m/sec}$$

であつた。

故に送風機を含む送風機より

ノズル迄の効率 η_1 は

$$\eta_1 = \frac{E_1}{E_0} = \frac{15,040}{21,000} = 71.5\%$$

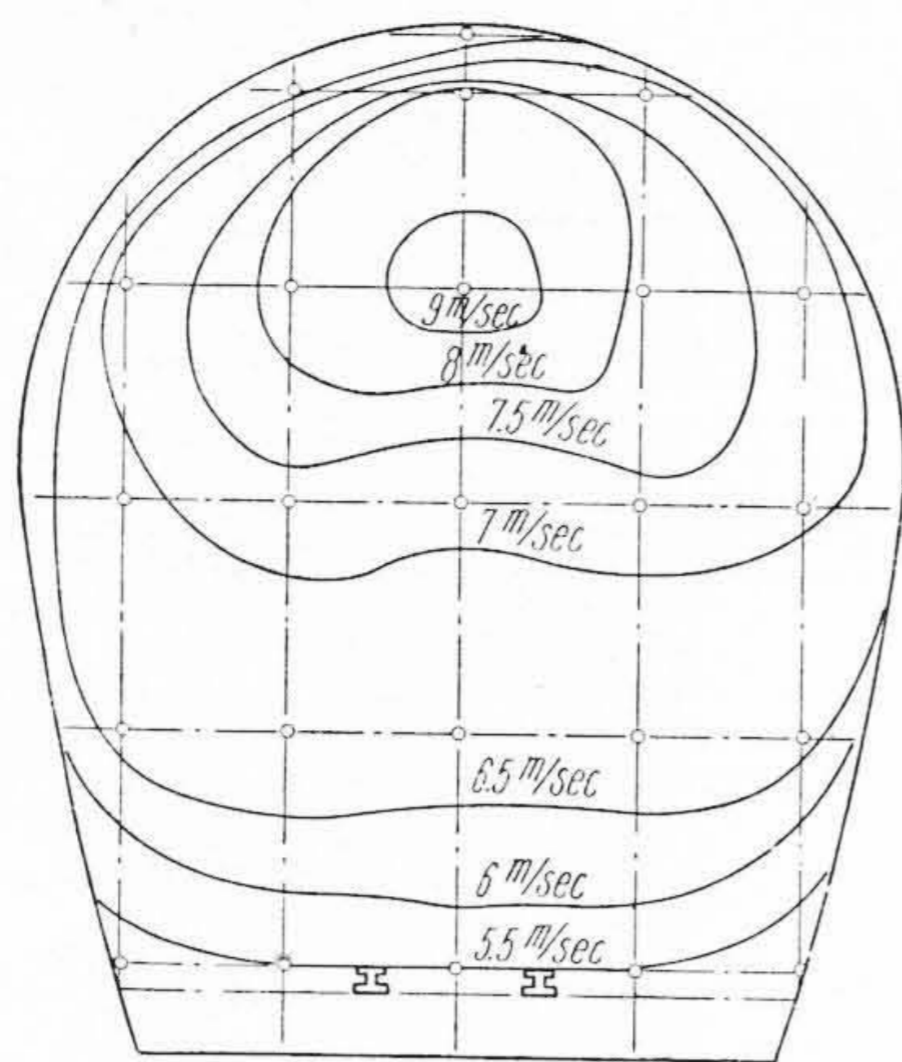
吹き出しの効率 η_2

$$\eta_2 = \frac{E_2}{E_1} = \frac{3,440}{15,040} = 22.8\%$$

第5表 隧道内風速及び風量

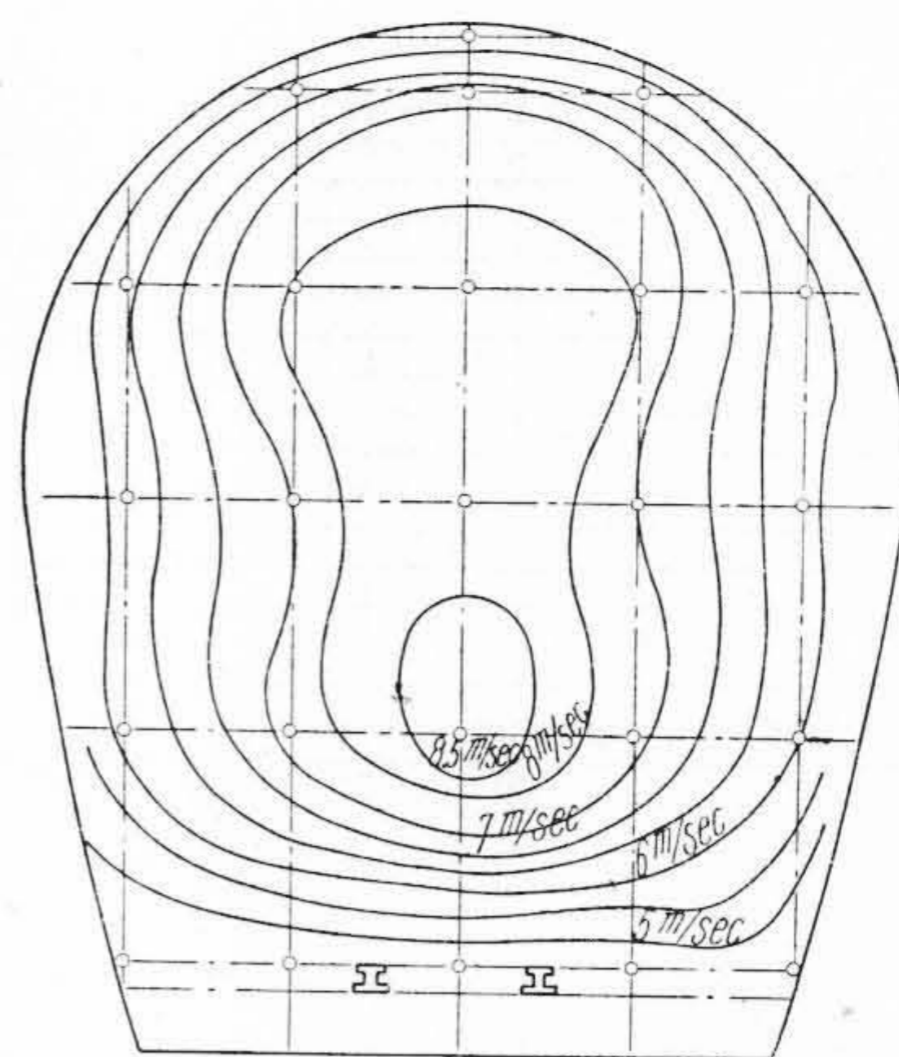
Table 5. Air Velocity and Volume in Tunnel

	小幌口より 39m の点		ノズル より 35m の点	礼文口 より 180 m の点
	海側	山側		
平均風速度 (m/sec)	3.06	3.15	6.82	6.64
自然風速度 (m/sec)	0.90	0.90	2.0	1.8
断面積 (m ²)	20.5	20.5	20.5	20.5
風量 (m ³ /min)	3,752	3,875	8,389	8,167
自然風速度を0とした 風量 (m ³ /min)	3,604	3,715	8,020	7,860



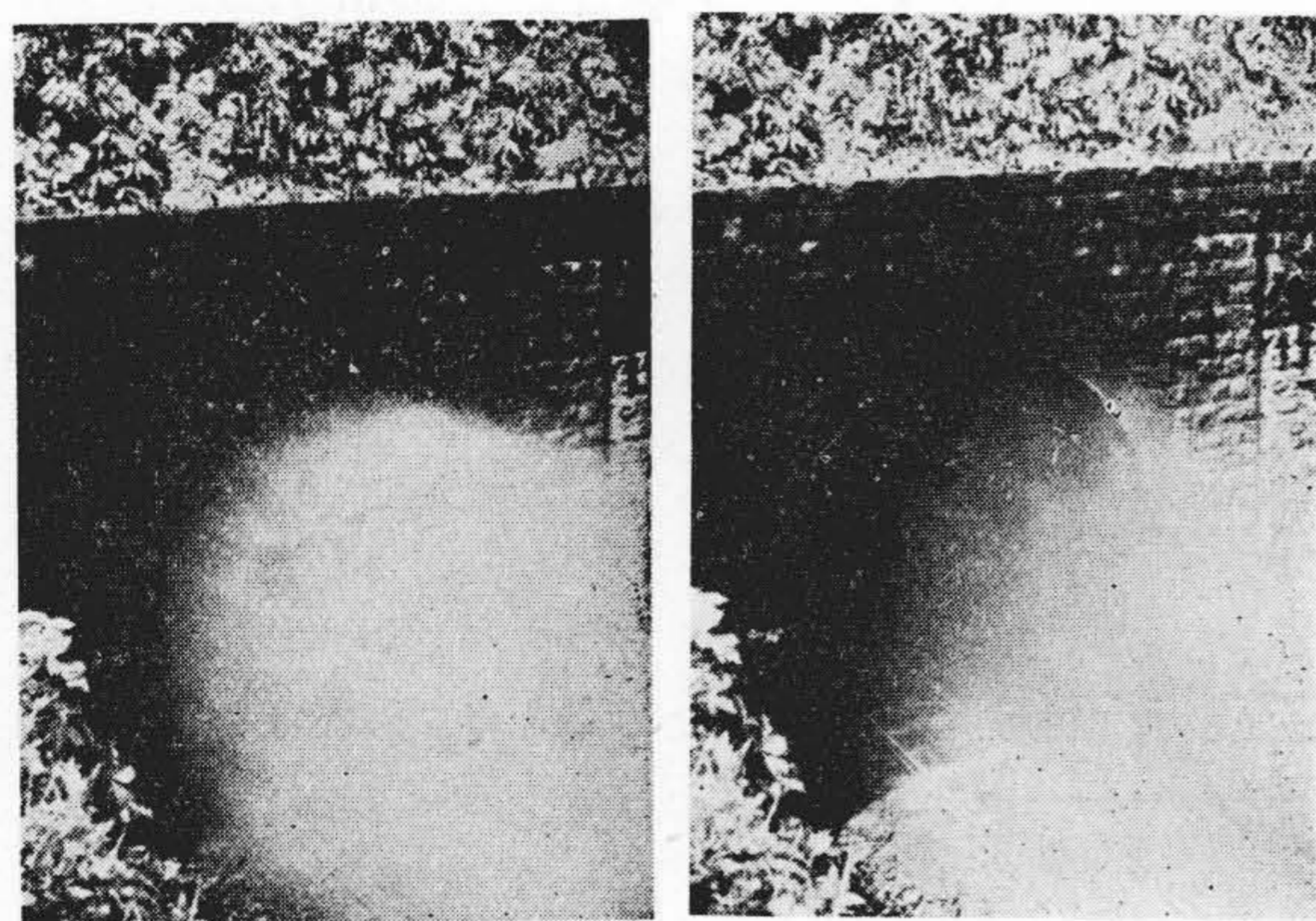
ノズルより35m先の断面

第13図 トンネル内風速分布(その2)



礼文口より180mの断面

Fig. 13. Air Velocity in Tunnel



第14図 送風開始3分後の排煙状況

Fig. 14. Smoke driven from Tunnel Outlet after 3 minutes from Start of Fans

第15図 送風開始6分後の排煙状況

Fig. 15. Smoke driven from Tunnel Outlet after 6 minutes from Start of Fans

送風機を含む送風機前後の風路の効率 η_3 は

$$\eta_3 = \frac{E_2 - E_3}{E_0} = \frac{3440 + 54}{21000} = 19\%$$

送風機の効率 η_0 は2台平均 79% であるから、風路のみの効率 η_4 は

$$\eta_4 = \frac{\eta_3}{\eta_0} = \frac{0.19}{0.79} = 24\%$$

なお、各点の風量は先に述べた通り多少の差異があるので、測定方法より判断して比較的正確と思われるノズル直後の風量を各点の風量に採用して別に効率を算出したものを、 η_1 に対して η_1' 等とすれば次のようになる。

$$\eta_1' = \eta_1 = 71.5\%$$

$$\eta_2' = 20.3\%$$

$$\eta_3' = 15.3\%$$

$$\eta_4' = 19.4\%$$

送風機前後の流れは複雑であり、逆流も考えられるので、上記の効率も参考値として掲げたに過ぎない。

以上で、現地試験結果の概略を述べたが、排煙の効果は予想通りで、最悪の条件でも7分から7分30秒で完全に排煙するという好結果が得られた。第13図は起動3分後の排煙状況、第14図は6分後の状況を示す。

[V] 結 言

排煙装置の概略の説明から始めて、トンネルファン、特に最近専ら使用されているプロペラファンについてその構造、特長及び現地総合試験結果の概略を説明した。今後ともトンネルファンの必要は増大すると思われるので、一層の工夫を重ねて、益々優秀なトンネルファンの製作に努力したいと思う。

本稿作成にあたって、並々ならぬ御教導を戴いた国鉄施設局高橋浩二技師、現地総合試験に於て御指導を受けた京都大学村山教授、並びに同試験に協力された札幌鉄道局の方々、又数々の有益な助言を戴いた川崎工場、伊藤部長、小橋課長、亀戸工場甲本課長及び工場内試験、現地試験を通じて試験に尽力された検査課の小西氏、その他の方に深甚々の感謝を捧げる。

参 考 文 献

- (1) 高橋浩二：第二大橋隧道排煙装置
- (2) 前川 力：トンネル排煙装置設計法
(鉄道業務研究資料第8巻第3号)
- (3) 前川 力：トンネル排煙装置の性能調査報告
(鉄道業務研究資料第8巻第3号)
- (4) 佐藤周一郎：鉄道工学(上巻)
- (5) 門鉄工作部機械課：冷水隧道通風試験成績
- (6) 小西省三：礼文華隧道排煙送風機試験報告