



土木研究所資料

第 568 号

トンネル内自動車火災実験報告書(Ⅱ)

昭和45年3月

建設省土木研究所

土木研究所資料

第五六八号

トンネル内自動車火災実験報告書(Ⅱ)

建設省土木研究所

ま え が き

この報告書は土木研究所特別研究として昭和43年度から実施している「高速道路の安全に関する研究」の一環として、トンネル研究室が43年度にひきつづき44年度に実施した「トンネルの防災を目的とするトンネル内での自動車の火災実験」の結果をとりまとめたものである。

実験は昭和44年8月25日から30日までの1週間にわたり、昨年度と同様、福島県飯坂町の旧栗子国道の二ツ小屋トンネル（長さ384m—福島県折管）において行なつた。燃焼物として大型トラック3台、小型車（ライトバン）3台計6台の自動車と火皿に入れたガソリン（50ℓ～300ℓ）を用い、試験条件として風速条件2種類（0 m/sec、3 m/sec）、燃焼環境2種類（水噴霧のある場合、水噴霧のない場合）を設定し実験を行なつた。

この種の実験は世界的にめずらしく、いままでトンネルという閉塞された空間下で火災が発生した場合に生ずる種々の状況については、その知識が極めて少なかったのが現状であるが本試験によつて、多くの有益な知識を得ることができた。

本実験は東北地方建設局福島工事々務所の協力のもとに行われた。特に、実験準備、現地設営、危険防止等については全面的な協力を得た。又、風速条件をコントロールするために仮設したジェットファンは松下精工株式会社および株式会社電業社製作所から提供を受けた。実験が予定通り行われ、所期の成果を上げることができたのは、実験に協力された福島工事々務所をはじめ、実験に参加された方々の努力に負うところであり、ここで感謝する次第である。

なお、本研究は44年度でとりあえず終了する。防災施設、消火方法等のディテールに関する問題はこれからの問題であるが、これ等に関しては今後機会があれば研究を継続実施したい考えである。

本実験の結果が、実際の現場での防災対策をたてるうえに有用な資料となれば幸である。

目 次

1. 実験目的・経過	3
2. 実験日程・場所および実験班構成	4
2.1 実験日程	4
2.2 実験場所	5
2.3 実験班構成	10
3. 実験内容・実験設備	10
3.1 実験内容	10
3.2 測定項目および測定方法	11
3.3 実験設備	17
3.4 燃 焼 物	23
4. 実験方法	24
5. 実験結果	25
6. 実験結果の考察	25
6.1 温度分布	25
6.2 一酸化炭素濃度	28
6.3 酸化窒素濃度	29
6.4 煙 濃 度	29
6.5 水噴霧の影響	30
6.6 そ の 他	31
7. ま と め	33

1. 実験目的・経過

最近の急速なモータリゼーションに伴つて、道路の安全性が大きな問題となつてきている。トンネル内で発生する自動車火災は稀れであるが、発生した場合の被害は、米国のホランドトンネル或は我国の鈴鹿トンネルの例に見るように極めて大きく、大事故へ発展する可能性の最も大きいものの1つであり、このための対策は道路管理者側において十分たてておく必要がある。

トンネル内での自動車火災の特性およびそれがトンネル内という特殊な環境に与える影響については、事故発生件数が比較的少ないなどの理由から十分に把握されてない。火災に対する配慮はトンネルの換気方式決定の際の重要な要素の1つとなつており、火災がトンネル環境に与える影響は、防災対策、防災設備の設計ばかりでなく、道路トンネル全体の合理的、経済的な設計においても重要な意味を持つている。

本実験はトンネルの合理的な防災対策をたてるにあつて最も基本となるこれ等の資料を得るために行なつたものである。

実験は昭和43年度から行なわれ、43年度には乗用車1台、トラック1台の計2台の実車燃焼実験を行ない、火災時にトンネル内に発生する諸条件の測定を行なつた。本年度の実験はこの実験にひき続くものであるが、本年度の実験は昨年度の実験に、火皿による実験を加え、又燃焼車の数を多くすると共に、トンネル内に送風機を設置して風速条件を制御し、より完全で豊富なデーターを得る様にした。又、多くのトンネルに防災設備として設けられている水噴霧冷却設備の有効性を試験し、水噴霧の自動車火災とその環境に与える影響を調べるため、水噴霧冷却設備を36mの区間にわたつて仮設し、水噴霧実験を行なつた。

主な観測項目は下記の通りである。

- 1) 温度分布とその時間的変動
- 2) 有害ガス（一酸化炭素および酸化窒素）濃度と時間的変動
- 3) 煙の濃度
- 4) 風速の影響

5) 水噴霧の影響

6) 覆工コンクリート等への影響

又、前年度の実験との主な相違点は、

1) 火皿の実験を加えたこと

2) 燃焼車の数を多くしたこと

3) 送風設備を仮設し、風速をコントロールしたこと

4) 水噴霧設備を仮設し、水噴霧実験を行なったこと

5) 温度測定点の数を増加させたこと

6) 一酸化炭素濃度計に低濃度のものを用いたこと

等である。

2. 実験日程，場所および実験班構成

2.1 実験日程

実験は準備期間も含めて昭和44年8月21日から8月31日までの12日
にわたって行なわれたが、本実験が行なわれたのは8月25日から8月29日
までの5日間である。日程および実験内容は表-1に示す通りである。

表-1 実験日程

月 日	作 業 内 容
8月21日	実験準備
22日	
23日	
24日	
25日	№1 [F(2)-3-0] , №2 [F(4)-3-0]
26日	№3 [F(2)-0-0] , №4 [F(4)-0-0] №5 [F(6)-0-0] , №6 [P-0-0]
27日	№7 [T-0-0] , №8 [F(6)-3-0] №9 [F(2)-3-S] , №10 [F(4)-3-S]

28日	No 11 (P-3-0) , No 17 (F(6)-3-0) No 12 (F(6)-3-S) , No 13 (T-3-0)
29日	No 14 (P-3-S) , No 15 (F(4)-3-0) No 16 (T-3-S) ,
30日 31日	} 後片付

なお、表-1に示したNoは実験番号で実験番号に続く記号は実験の内容を示すもので第1番目が燃焼物の種類、第2番目が風速第3番目が水噴霧の有無を示す。

記号説明

$$\left[\left\{ \begin{array}{c} F (\quad) \\ P \\ T \end{array} \right\} \right] \text{---} \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ 3 \end{array} \right\} \text{---} \left\{ \begin{array}{c} 0 \\ S \end{array} \right\} \right]$$

$\uparrow$ $\uparrow$ $\uparrow$
 燃焼物の種類 風 速 水噴霧の有無
 F : 火皿()内は火皿の (m/sec) 0 : 水噴霧なし
 大きさmm S : 水噴霧あり
 P : 小型車 (ライトバン)
 T : トラック

2.2 実験場所

福島市飯坂町旧栗子国道二ツ小屋トンネル(長さ384m)二ツ小屋トンネルは国道13号線旧栗子国道のトンネルで昭和9年12月に竣工し、昭和41年5月の新国道の完成と同時に国道としては廃止になったものである。寒冷地のため漏水による凍害を受け、各所に二重巻きの補修が行なわれている。二ツ小屋トンネルの位置図を図-1に、標準断面を図-2に、縦断を図-3に示す。又諸元は次の通りである。

ニッ小屋トンネル諸元

長さ	384 m
縦断勾配	福島方 192 m +2.5 % 米沢方 192 m -2.5 %
巾員	6 m
アーチ中心高	5.1 m 及び 4.8 m
コンクリート覆工厚	40 cm および 60 cm

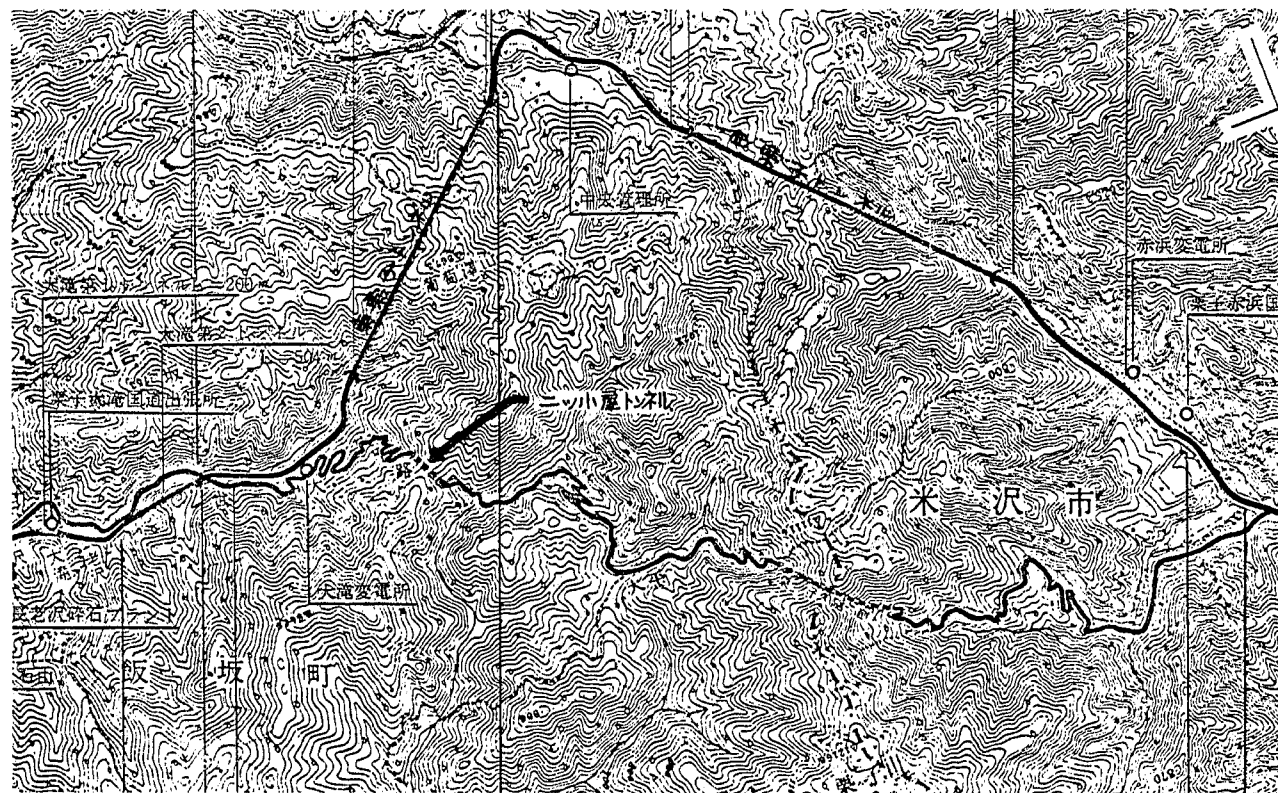
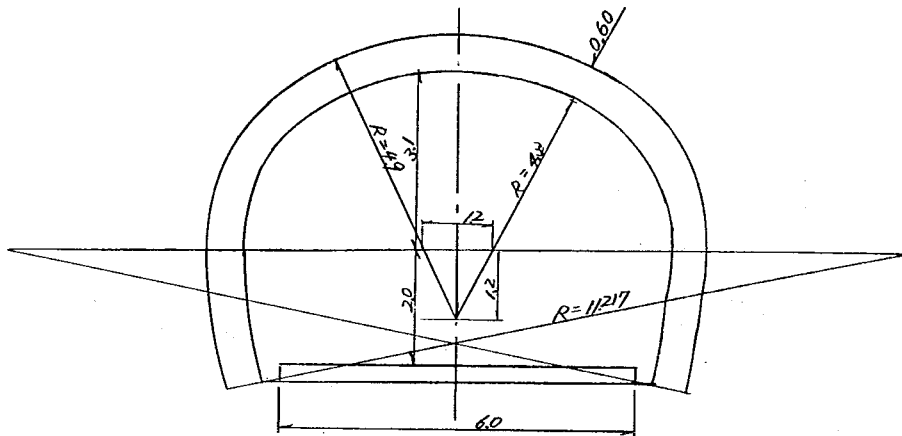


図 - 1 ニツ小屋トンネル位置図

トンネル標準断面図



補修箇所断面図

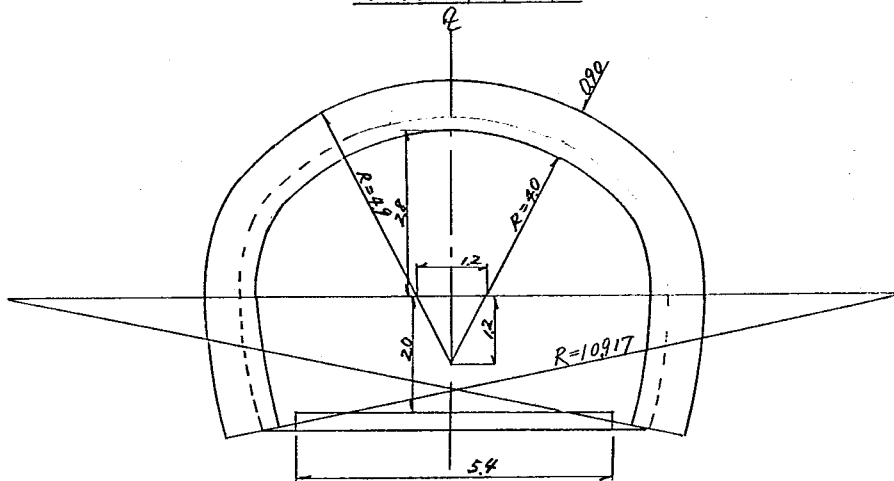


図-2 ニツ小屋トネル断面図

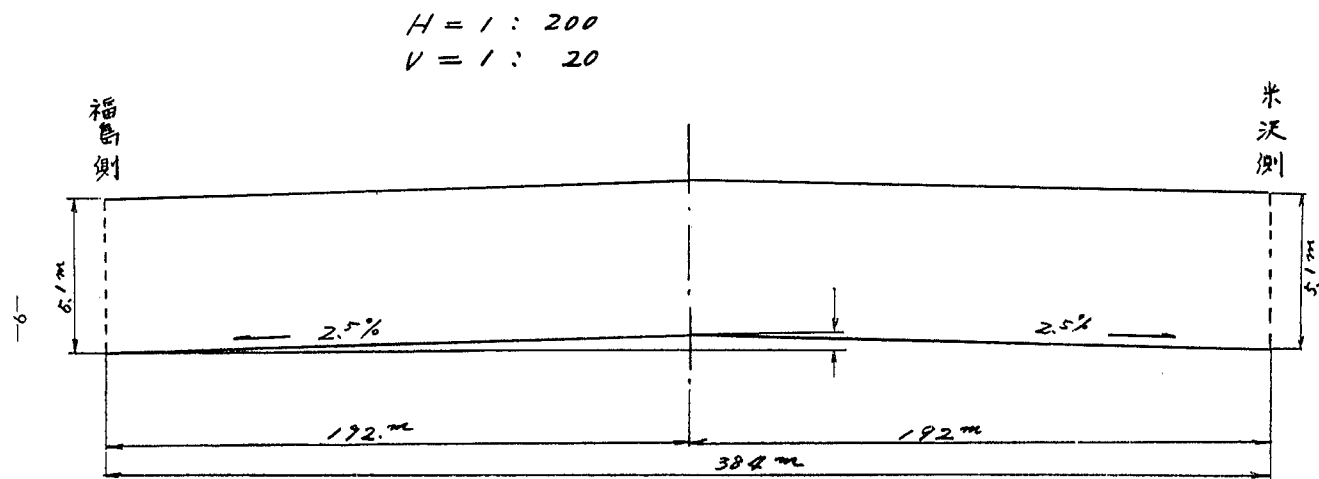


図 - 3 ニツ小屋トンネル縦断面図

2.3 実験班構成

実験班の構成は表－２に示す通りである。

表－２ 実験班構成

機 関	人 員	内 容	備 考
土 木 研 究 所	8	実験管理、CO、NO、風速測定、点火、 写真記録	
福島工 事事務 所	10	現地設営、安全管理	協 力
能美防災 株式会 社	5	温度、煙濃度測定、水噴霧	実験委託
高橋電気工 事株式会 社	3	送風機据付、運転	工 事
見 学 者	20	建設省関係者、高速道路調査会防災委員会 道路公団等	

3. 実験内容・実験設備

3.1 実験内容

実験は表－３に示すように、燃焼物で５通り、風速条件で２通り、水噴霧の有無で２通りの組み合わせで行なった。ただし、水噴霧実験では風速条件をすべて 3 m/sec としたので目標実験数は全部で 15 通りである。なお、消火実験および F(6)－3－0 の実験を 1 回多く行なっているので総実験数は 17 である。

表－３ 実験内容

燃 焼 物	水噴霧 風 速	あ り		な し
		0 m/sec	3 m/sec	3 m/sec
火皿 (2m ²)		Test No.3	Test No.1	Test No.9
		F(2)－0－0	F(2)－3－0	F(2)－3－S
		50ℓ (ガソリン量)	50ℓ	100ℓ
火皿 (4m ²)		Test No.4	Test No.2	Test No.10
		F(4)－0－0	F(4)－3－0	F(4)－3－S
		100ℓ	100ℓ	200ℓ
火皿 (6m ²)		Test No.5	Test No.8	Test No.12
		F(6)－0－0	F(6)－3－0	F(6)－3－S
		150ℓ	150ℓ	300ℓ

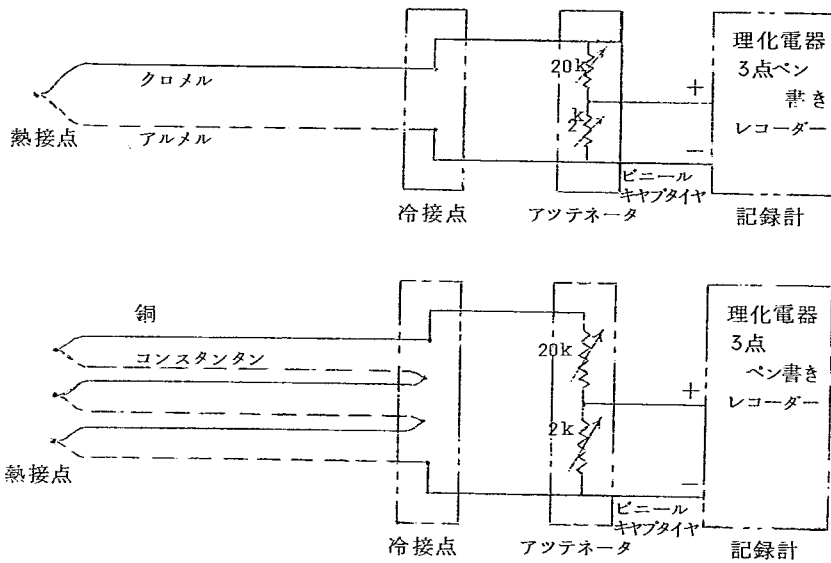
小型車 (ライトバン)	Test No 6	Test No 11	Test No 14
	P-0-0 44ℓ	P-3-0 44ℓ	P-3-S 44ℓ
大型車 (トラック)	Test No 7	Test No 13	Test No 16
	T-0-0 120ℓ	T-3-0 120ℓ	T-3-S 120ℓ

3.2 測定項目および測定方法

実験トンネルにおける測定器具、設備の配置を図-4に示す。測定項目および測定方法は次の通りである。

1) 温度

温度の測定は熱電対により行なつた。設けた測定点は、火点直上天井部に1点、火点を零として風下側5, 10, 20, 40, 80mの地点に3点づつ計16点とした。熱電対はトンネル中心の路面上高さ1.5m、3.3mおよび天井から0.05m離れた所に設けられ、天井よりつるされた針金に固定された。(写真-1参照)0, 5, 10, 20mの地点の熱電対にはクロメルアルメル熱電対(φ=1.0mm個々にガラスヘンソ処理、2本まとめてビニール被覆処理したもの)を、40, 80mの地点のものには銅コンスタンタン熱電対(φ=0.3mm3本直列、個々にガラスヘンソ処理、6本まとめてビニール被覆防水処理をしたもの)を用いた。0, 5, 10mの地点の熱電対には碍管をかぶせ熱に対し保護した。冷接点は福島方坑口より112mのトンネル内に設け、以後出力をビニールキャブタイヤコードにより福島方坑口の測定テントまで導き記録計に接続した。回路構成は図-5に示す通りである。較正は現場においてグリセリンを用いて行なつた。



図— 5 温度測定回路図



圖 4 試驗器具配置圖

2) 一酸化炭素濃度

測定地点は火点から20mの車道中央高さ1.5mのところとした。図-6に示すようにマイクロバス内に設置されたフルスケール200 P.P.mおよび2,000 P.P.mの2台の一酸化炭素濃度計に導いた。パイプの長さが約200mあるので一酸化炭素の指示には約2分程度の時間遅れがある。使用した一酸化炭素濃度計の仕様は下記の通りである。

一酸化炭素濃度計仕様

形 名 日立堀場製作所 AIA-2
測定方式 赤外線、非分散、正フィルター、複光束、偏位法 (N.D.I.R)
精 度 フルスケールの±1%
応答速度 0.5秒
試料流量 0.2~8ℓ/min
測定範囲 200 P.P.m および 2,000 P.P.m

3) 酸化窒素濃度

酸化窒素濃度は図-6に示す様に、一酸化炭素濃度計と直列に接続して使用した。用いた酸化窒素濃度計の仕様は下記の通りである。

酸化窒素濃度計仕様

形 名 日立堀場製作所 UAA-1
測定方式 紫外線吸収法
精 度 フルスケールの±1%
応答速度 約5秒
試料流量 1~8ℓ/min
測定範囲 0~500 P.P.m

4) 煙濃度

煙濃度の測定は火点より40m, 80mの車道上1.5mおよび4.0mの地点で行なった。用いた煙濃度計は測定間距離1.5mの光透過式のものを用いた。(図-7, 写真-3 参照) 出力は測点テントまで導き打点式記録計により記録した。この煙濃度計にはレンズ面の汚れに対する補正装置がついていないので、レンズ面が汚染されると測定後、測定値が零に回復しない。各実験終了毎にレンズ面の清掃を行なった。

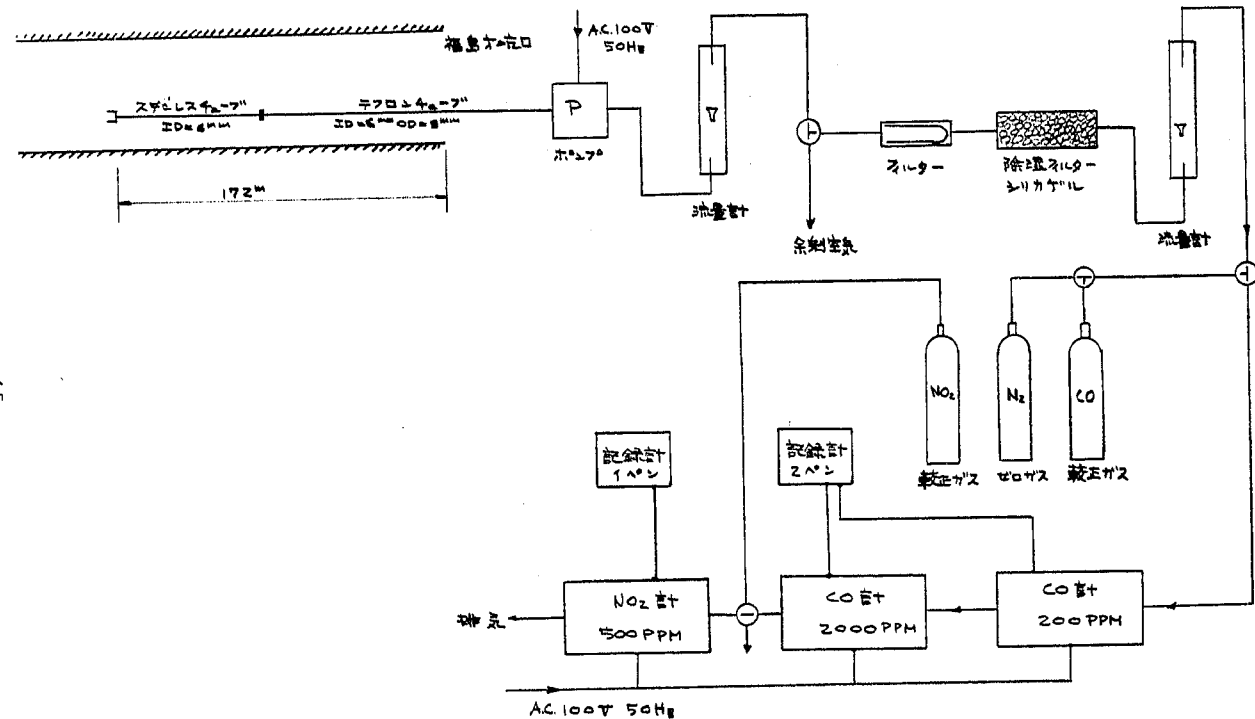
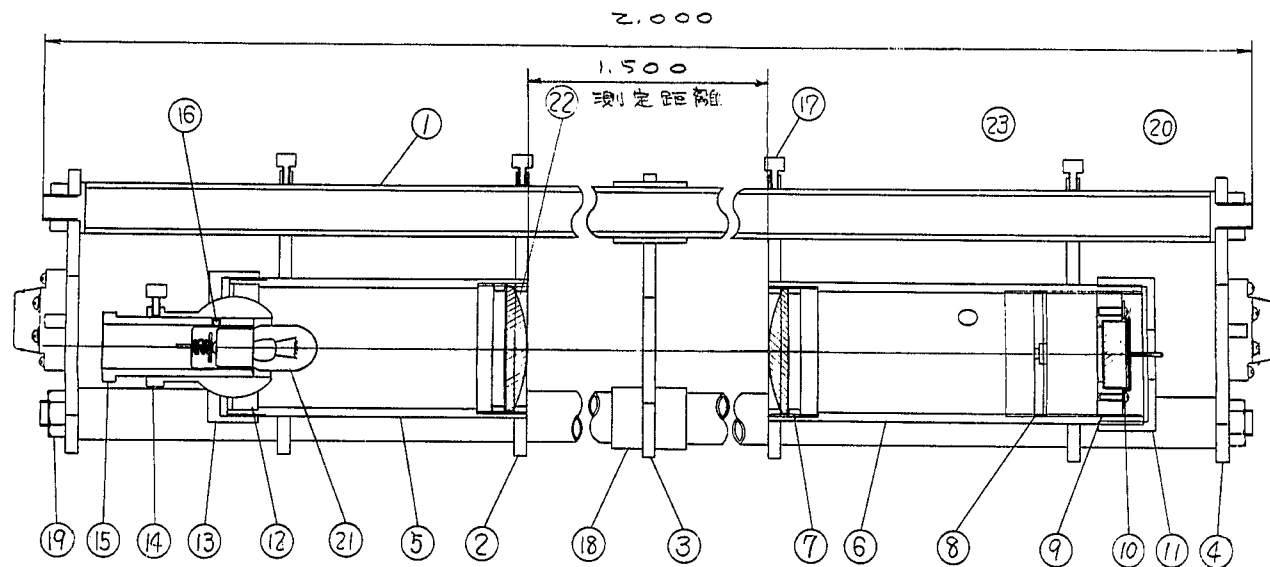


図 - 6 ガス濃度測定系統図



部号	名称	摘要	部号	名称	摘要	部号	名称	摘要	部数
1	取付棒	B&T 20φ 黒色絶縁板付	3	受光素子ホルダ	B&BM 20φ×100mm	17	飾りビス	B&BM 20φ×10mm	5
2	筒取付板	B&P 55φ 黒色絶縁板付	4	受光素子筒	B&P 39φ 黒色絶縁板付	18	遮光板取付筒	B&T 14T 黒色絶縁板付	3
3	遮光板	"	1	受光素子ホルダ	B&BM 20φ×100mm	19	アット	MIO P15 20φ×10mm	6
4	筒端取付板	"	2	光源筒取付筒	"	20	パッキン	材質:JIS 05S	1
5	光源筒	B&T 55φ 黒色絶縁板付	1	光源筒取付筒	"	21	ランプ・ソケット	電圧:12V 15W	1
6	受光筒	"	1	光源筒取付筒	"	22	集光レンズ	焦点距離 92mm 口径 50φ	2
7	レンズホルダ	B&BM 黒色絶縁板付	4	光源ランプホルダ	"	23	受光素子	SBC-III 口径 20φ	1
8	飾り板	"	1	ミソ付止メネジ	SS 20φ×10mm	24	絶縁子	"	2

図 - 7 煙 濃 度 計

5) 風 速

風速の測定は火点より風上側 30 m の天井アーチ部より 50 cm 下方にプロペラ式風速計（直流発電方式、リニアライザー付）を取り付け、出力を米沢側坑門に設けた記録計に導いて自記々録した。（写真－4 参照）

6) 燃焼状況

燃焼状況の記録は火点より風上側から 8 mm シネカメラにより、燃焼状況を撮影することにより行なつた。

3.3 実験設備

実験設備として図－4 に示すように水噴霧冷却設備、送風設備、および発電設備を仮設した。

1) 水噴霧冷却設備

水噴霧冷却設備として高速道路等に設けられていると同様の設備を両側壁上部に設ける予定であつたが、電源容量の不足と乾天続きによる水不足のため計画を変更して図－8 に示すように火点を中心として風上側に 12 m、風下側に 24 m の区間にわたり、車道中央、路面上高さ 4.0 m の位置に水噴霧冷却設備を設けた。放水ヘッドの間隔は 4.0 m で全部で 10 ケの放水ヘッドが取付けられた。放水ヘッドの能力は基準圧力 3 Kg/cm^2 で 95 l/min である。実験中の放水圧力は $3.6 \sim 3.9 \text{ Kg/cm}^2$ であつた。放水ヘッドの寸法を図－9 に、又特性を図－10 に示す。水源は米沢方坑門側溝の水を利用した。側溝をせき止め、釜場を作り、消防用ポンプで汲み上げ一旦タンクローリーにためてから、水噴霧に使用した。放水中は消防ポンプで常に水を補給した。実際に使用した放水ヘッドは 7 ケで風上側 12 m、風下側 12 m の範囲をカバーした。写真－5 は放水ヘッドを写真－6 は米沢方坑口に仮設された水噴霧用水供給設備を示す。

2) 送風設備

実験中の風速をコントロールするため米沢方坑口より 30 m の位置にジェットファン 4 台を仮設した。写真－7 はジェットファンの据付状況である。風速の制御は運転台数を調整することにより行なつた。能力は自然風の無い

状態の場合、最大風速 4.0 m/sec 程度である。仮設したジェットファンは次の通りである。

ファン I	松下精工製	
	外 径	800 mm
	羽根径	615 mm
	吹出し口径	630 mm
	噴流速度	3.0 m/sec
ファン II	松下精工製	
	メガネ型	
ファン III	電業社製	
	ファン外径	800 mm
	ファン口径	630 mm
	噴流速度	3.14 m/sec
	電 力	$1.1 \text{ Kw } 50 \text{ Hz}$
ファン IV	ファン I に同じ	

五
内

3) 電源設備

実験現場は電源設備がないので、発電機により所要の電力を供給した。使用した発電機は全部で3台で下記の通りである。

a 測定器用電源(G)

ディーゼル発電機 GPS/3,000 r.p.m

久保田 ASK - 150

$100 \text{ V } 50 \text{ Hz } 50 \text{ A}$

b 点火、風速記録用電源 (G₃)

ガソリン発電機

ホンダ E 1,000

$100 \text{ V } 50 \text{ Hz } 1 \text{ Kw}$

c 送風機、水噴霧用電源 (G₂)

ディーゼル発電機 87 ps/1,500 r.p.m

富士電機 KA-750型

200V 50Hz 65KVA

(写真-8参照)

4) その他

作業用車輛として大型クレーン車、小型ダンプ車およびリフト車を用意した。又、福島方坑門、トンネル中央、米沢方坑門に電話を仮設し連絡に使用した。

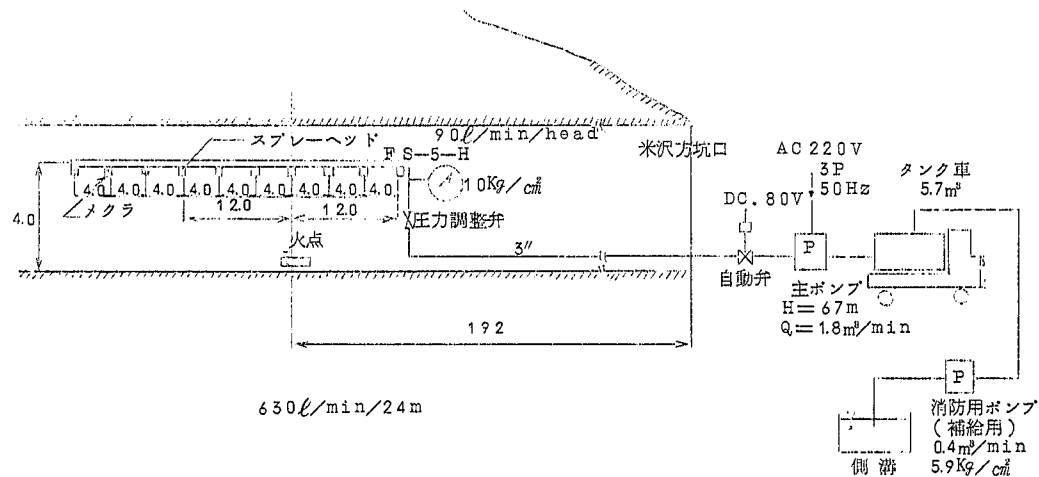
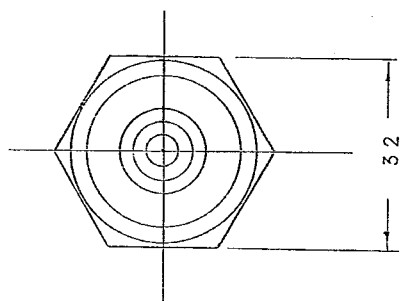


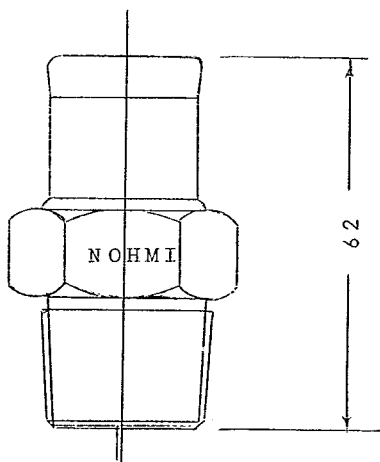
図-8 水噴霧設備系統図

六
水



特 性 表

標準圧力	$3\text{Kg}/\text{m}^2$
標準流量	$95\text{ L}/\text{min}$
取付高さ	4.0 m
散水角度	90°



型式 FS-5-H

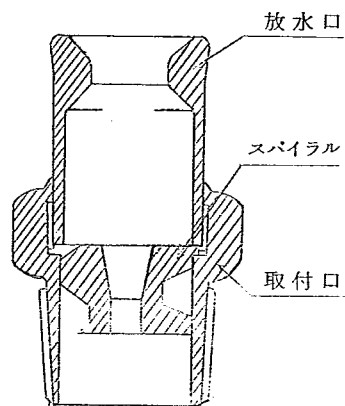


図 - 9 放水ヘッド形状

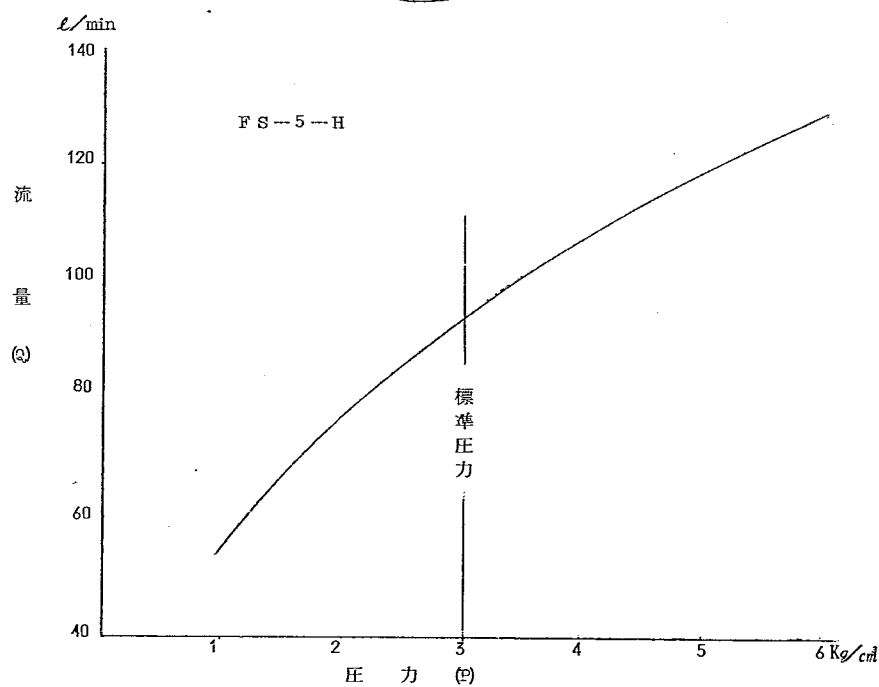
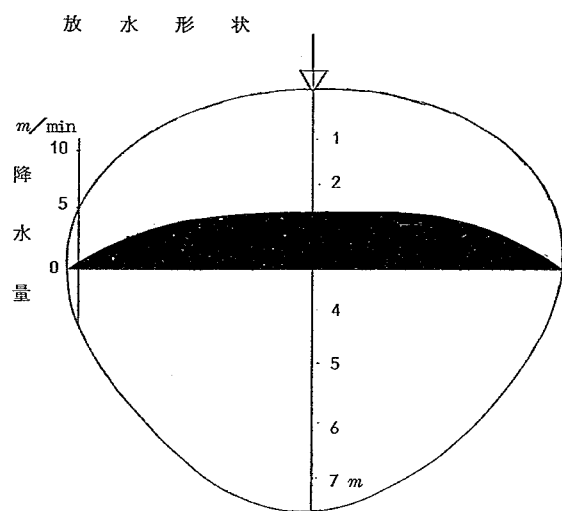


図-10 放水ヘッド特性

3.4 燃 焼 物

燃焼物には小型車（ライトバン）3台、大型車（平ボディトラック）3台の計6台の自動車と火皿に入れたガソリンを使用した。火皿の面積は2㎡、4㎡、6㎡の3種類で、水噴霧のない場合1㎡あたり25ℓのガソリンを入れ、水噴霧のある場合は1㎡あたり50ℓのガソリンを入れた。（表-3参照）又、燃焼物として使用した自動車の諸元は表-4に示す通りである。

表-4 燃焼用自動車諸元

小型車（ライトバン）			
実験車番号	No. 1	No. 2	No. 3
車 種	セドリック	トヨベツト	No. 〃
型 式	VP 31	RS-36V-P	〃
年 式	1963	1962	〃
最高馬力/回転数	88PS/4800R.P.M	80PS/4600R.P.M	〃
軸 間 距 離	2530	—	〃
気 筒 容 積	1883	1897	〃
機 関 型 式	H	3R	〃
車 台 番 号	VP-31-3-094829	RS36-60 062	RS36-31732
燃料タンク容量	44ℓ	44ℓ	〃
実 験 番 号	Test No14	Test No11	Test No6
備 考	写真-9	写真-10	写真-11
大 型 車			
実験車番号	No. 4	No. 5	No. 6
車 種	トヨタ	ニッサンUG-680	ニッサン C-680
積 載 量	5,000Kg	6,000Kg	6,000Kg
年 式	1964	1962	1964
原 動 機 型 式	F(ガソリン)	UD-3(ディーゼル)	ディーゼル
原 動 機 番 号	F 189523	UD-3 212233	P 8357
車 台 番 号	4-FA80-25322	UG-680-2-03583	—
燃料タンク容量	120ℓ	120ℓ	120ℓ
実 験 番 号	Test No16	Test No 7	Test No13
備 考	写真-12	写真-13	写真-14

4. 実験方法

実験の内容、測定項目については3節で述べた。この種の実験を行なう場合に最も問題となるのは想定する火災の規模である。乗用車の火災の場合とガソリンを満載したタンクローリーの火災の場合とは出現する状況が全く違つたものになることは想像に難くない。タンクローリーの火災や大量の可燃物を積載した自動車を実験の対象とすることはあまりにも特殊な場合を対象とすることになり、又このような危険物を積載する自動車にあつては自動車側において十二分の対策をたてるべきで、道路側において防災対策上の対象にするには実情に合わないものとなる可能性がある。

本実験では火災原因として最も起りやすいと考えられるエンジン過熱のための単独自動車火災を想定し、代表的車種として小型車（ライトバン）と大型トラック（平ボディ）を燃焼物として実験を行なつた。鈴鹿トンネルの火災のように類焼する場合についての実験を行なうことも考えられたが、これも類焼の規模をどうするかなどに問題があり、又類焼は単独火災結果として生ずるものであるので、単独火災による火災環境の把握という点に重点をおき、類焼に関する実験は行なわなかつた。自動車のみを燃焼物に使用したのは、自動車個々の相違のため燃焼状況に差が出て来ることが考えられたので、燃焼量がはつきりし、比較的一定の燃え方をすると考えられる火皿による実験を行ない補足的データを得るようにした。

点火は、エンジン内にガソリンを浸み込ませた布切れに、ニクロム線にマッチの頭部をはさみ込んだものをおき、坑口部に設けられたスイッチでニクロム線を通電加熱することにより行なつた。運転室および荷台には燃焼を助けるためビニール袋に入れたガソリンを若干おいた。火はエンジン部から運転室に入りさらに荷台に移る。火皿への点火もニクロム線とマッチを使用し、自動車の場合と同様である。（写真-17、18参照）

水噴霧実験では温度記録を見ながら温度が最高値に達した時期をねらつて放水を開始するようにした。

5. 実験結果

実験の結果を図-11～図-61に示す。図-11～61は温度の測定値を点火からの経過時間に従って示したもので、高さ方向の測定点別、すなわち測点A（天井部）、測点B（路面上3.3m）、測点C（路面上1.5m）の別に示されている。

図-62～67は一酸化炭素濃度の測定値を示す。

図-68～81は煙濃度の測定値を示す。煙濃度の測定においては20m地点の煙濃度計が熱のため測定不能となつたので、20m地点の煙濃度は測定されていない。煙濃度計は煙のレンズ面への付着のため実験開始前の値に実験後戻らないので、汚れによるズレ時間に対して直線的に補正してある。

図-82～85は各実験毎の風速の変化を示したものである。

写真-19～23参照

6. 実験結果の考察

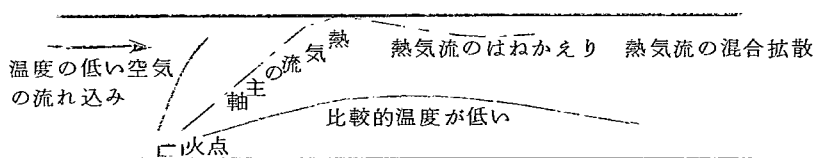
6.1 温度分布

図-86～図-102は最高温度に達した時（17点の測点のうちのどれかが最も高い温度に達した時——普通5B又は5Cの最高温度）のトンネル内の温度分布を各実験毎に示したものである。表-5は各実験毎の各測点の最高温度を示したものである。図-103～図-112は各点の最高温度を各測点毎にプロットしたものである。

図-11～図-61に示す温度の時間経過を見ると火皿の実験では温度分布が大きく見れば三角形の形状をしており、温度の飽和或は定常状態に達していないものが多い。すなわち、ある一定熱源によつて生ずる定常的な温度分布を得るためには使用したガソリン量が十分でなかつたと見ることができる。

図-86～図-102の温度分布図によれば、温度分布の傾向はすべての実験についてほぼ同じで次の様な特徴を持っている。

- 1) 熱気流は火点から風下側斜め上方に上昇し、この熱気流の軸は風速が速いほど傾斜する。このことは表—5に示されるように、火皿の実験では、最高温度が風速0 m/sec の場合測点5 Bで、風速3 m/sec の場合測点5—Cで例外なく記録していることからわかる。
- 2) 天井部に達した熱気流は、以後天井部にそつて熱が混合拡散されながら坑口に向つて流れる。
- 3) 火点上部附近には温度の低い空気がくさび状に流れ込み気温は比較的低い。側壁部にも同様に温度の低い空気が流れ込んでいるものと思われる。
- 4) 火点風下側20 m以後の路面上高さ1.5 m ぐらいまでの所の温度は比較的低温、燃焼物の量によつても異なるが2 m²の火皿の場合最高40℃程度、4 m²の場合最高70℃程度、6 m²の場合最高でも140℃程度である。ただし水噴霧を行なうと熱気流が押し下げられるので温度は若干上がる。
- 5) 以上をまとめると温度がいちぢるしく高くなる区域は火点近くのごくかぎられた範囲であり、温度分布は図—113に示すような特徴を有する。



図—113 トンネル内温度分布の特徴

以上の特徴は図—103～図—112に示した各測点の最高温度を各測点毎にプロットした図にもはつきりとあらわれている。

以上は熱電対で測定した気温についてのデーターからの考察であるが、トンネル覆工や内装に与える影響については気温の他に副射熱による影響を考えなければならない。この実験では副射熱の測定は行なわなかつたが、初めの方の実験（実験番号が少ない方）において天井アーチ部覆工の剥離の現象が見られ、又、路肩部分に敷設したビニールパイプ、電話線の溶断などの現象がみられ、副射熱によるトンネル覆工、内装等の温度上昇は相当のものになっていることが予想される。

表-5 各実験毎の各測点の最高温度

—— は各実験の最高温度

実験 番号	測点	0-A	5-A	5-B	5-C	10-A	10-B	10-C	20-A	20-B	20-C	40-A	40-B	40-C	80-A	80-B	80-C
1	F(2)-3-0	30	29	110	<u>240</u>	28	53	59	56	55	38	50	42	36	48	41	38
2	F(4)-3-0	52	52	550	<u>810</u>	45	203	60	153	134	68	157	116	60	126	90	58
3	F(2)-0-0	38	38	<u>290</u>	135	30	87	35	92	64	36	100	61	22	62	48	30
4	F(4)-0-0	73	62	<u>340</u>	250	41	255	90	165	135	60	190	133	56	138	86	46
5	F(6)-0-0	231	146	<u>755</u>	290	100	608	180	314	220	78	340	180	62	197	108	49
6	P-0-0	100	90	<u>800</u>	640	63	378	121	240	184	62	235	168	64	156	102	60
7	T-0-0	160	93	643	<u>750</u>	65	398	265	250	300	183	182	198	148	225	138	122
8	F(6)-3-0	82	71	565	<u>1050</u>	71	329	80	232	243	145	194	186	116	189	135	106
9	F(2)-3-S	62	49	315	<u>450</u>	40	135	43	106	102	53	100	80	58	112	74	54
10	F(4)-3-S	70	60	388	<u>920</u>	50	205	50	149	155	92	129	114	76	143	99	86
11	P-3-0	37	43	170	<u>595</u>	38	150	83	103	93	62	94	82	62	105	73	57
12	F(6)-3-S	34	45	268	<u>1050</u>	55	355	148	167	145	85	230	203	115	154	120	100
13	T-3-0	33	82	<u>325</u>	300	38	180	113	132	137	96	154	147	80	134	96	70
14	P-3-S	21	20	<u>107</u>	43	24	55	28	50	35	27	50	25	22	46	36	33
15	F(4)-3-0	28	53	<u>305</u>	252	40	200	80	123	100	47	119	29	66	28	26	24
16	T-3-S	29	74	<u>332</u>	90	36	87	38	114	105	25	90	30	52	110	84	56
17	F(6)-3-0	82	90	700	<u>1050</u>	60	425	375	235	290	100	263	220	140	202	148	138

覆工の剝離はパチパチという大きな音をたてて激しく起つたが、実験が進むにつれて剝離現象は少なくなつていつた。これは覆工が熱に対して慣れてくるためであると考えられる。剝離の深さは大きい場合で数cmである。又、炎が直接あたる路面部にも若干のコンクリートの剝離がみられた。写真-24、25は剝離したコンクリートの状況を示し、写真-26、27は溶けた電話線の様子である。

6.2 一酸化炭素濃度

一酸化炭素濃度は図-62～図-67に示す通りである。一酸化炭素濃度の最大値を表にすると表-6のようになる。

表-6 一酸化炭素濃度の最大値

燃焼物 \ 水噴霧 風速	な し		あ り
	0 m/sec	3 m/sec	3 m/sec
火皿 (2m ²)	22	22	88
火皿 (4m ²)	142	77	210
火皿 (6m ²)	245	171	146
小 型 車	240	95	84
大 型 車	330	188	35

表-6によれば一酸化炭素濃度の最大値は330PPMで、風速0m/secの大型車の場合である。この値は一時間程度の短期の場合は衛生上特に問題となるような値ではない。従つて、この実験で行なつた程度の火災規模では一酸化炭素による中毒を特に問題とすることはなさそうである。これはこの程度の火災規模ではトンネル内の風による酸素の供給が十分なためであろう。

一酸化炭素の発生において特徴的なことを上げれば次の通りである。

- 1) 風のある場合とない場合を比較すると、風速の小さい方が一酸化炭素濃度は大きい。これは風速が小さいと希釈が悪くなるのと同時に酸素の供給量が少なくなるためであると考えられる。
- 2) 水噴霧を開始すると一酸化炭素の濃度は増加する。火皿の実験では6m²の場合を除いて一酸化炭素濃度は大きく増大している。これは水噴霧を行なう

ことによつて燃焼の状況が悪化するためであろう。自動車の場合水噴霧を行なつた方が一酸化炭素の濃度は低くなつてゐる。これは、ガソリンの場合と違つて、水噴霧によつて燃焼そのものが非常に妨げられているためと考えられる。

3) 水噴霧の場合の一酸化炭素濃度の最大値はいずれも水噴霧中に記録されている。

4) 燃焼物の量が多くなると一酸化炭素濃度が増大する傾向にある。

6.3 酸化窒素濃度

測定範囲 0 ~ 500 PPM の濃度計で検出できるような酸化窒素は本実験では全く検出できなかつた。本実験では燃焼物としてガソリンを主に使用したので酸化窒素が発生する様な環境になく、又自動車の内装材から発生する酸化窒素も殆んどなかつたものと思われる。

6.4 煙濃度

火皿、自動車いずれの場合もきわめて多量の煙を発生した。測定した煙の濃度は図-68 ~ 図-81 に示す通りであるが、いずれの実験の場合も路面上 4.0 m に設けられた煙濃度計の方が濃い煙濃度を示し、濃い場合は殆んど光の透過率が零となつてゐる。表-7 は各実験毎の透過率の最低値を示したものである。

表-7 透過率の最低値 (% / 1.5 m)

燃焼物	水噴霧 風速	な し		あ り
		0 m/s	3 m/s	3 m/s
火皿 (2m ²)	1 (上)		5	31
	73 (下)		45	66
火皿 (4m ²)	11		16	5
	8		21	31
火皿 (6m ²)	—		0	0
	—		25	21
小 型 車	0		15	68
	48		78	68
大 型 車	0		23	32
	26		80	60

上欄は路面上 4.0 m 位置の煙濃度計、下欄は路面上 1.5 m 位置の煙濃度計の値を示す。

表一 7 によれば路面上 1.5 m 位置の煙濃度も最低値で 8 %、最も良い場合で 78 % である。自動車のヘッドライトで 10 m 先が見通せるのは、条件によつて異なるが、1 m 当り透過率で 90 %、1.5 m 透過率で 85 % 程度と考えれば、最も良い状態でも 10 m 先を見通すことは困難であろう。煙濃度の時間的経過からもわかるように、燃焼が盛に起つている状態では、風下側において消火活動等を行なうに必要な視野は路面上の高さ 1.5 m の所においても得ることは困難であろう。

煙の挙動、濃度で特徴的なことは次の通りである。

- 1) 煙は熱気流に乗つて拡散するものと思われ、温度の高い天井部の方が路面近くよりも煙濃度が高い、
- 2) 点火の初期においてはアーチ部に沿つて煙は流れ、煙のある天井アーチ部とそうでない部分とはつきりとした境界が見られるが、時間の経過にともなつてトンネル全断面に煙が充満して流れる様になる。
- 3) 風速と煙濃度との間にははつきりした傾向は認められないが自動車の場合風速がある方が煙濃度は低い。
- 4) 火皿の場合、火皿の面積が大きくなるにしたがつて煙濃度が増加する傾向が認められる。
- 5) 水噴霧を行なつた場合とそうでない場合には煙濃度に関しはつきりした傾向は認められないが、水噴霧を行なつた場合の煙濃度は水噴霧のない場合と同程度か若干良くなる程度である。
- 6) 煙が坑口まで達するには要する時間は風速 3 m/sec の場合で点火後 70 秒程度、風速 0 m/sec の場合で 120 秒～200 秒程度であるので煙は風速と同じ速度で移動するものと思われる。

写真一 28 は坑口からの煙の吹き出し状況を示す。

6.5 水噴霧の影響

図一 11～図一 61 の温度の時間的経過を示す図を見ると明らかなように水

噴霧を開始すると温度は急激に低下し、いちざるしい高温域はなくなる。水噴霧は温度を下げるのに非常に有効であることがわかる。図-114は6m²の火皿の場合について水噴霧がある時とない時の温度の時間的経過を温度が一番平均化して計測されると考えられる測点80について比較したものである。

Test No. 8とTest No. 17との違いはガソリン量の違いで、Test No. 8ではガソリン量が150ℓでTest No. 17では水噴霧実験の場合と同じくガソリン量は300ℓである。図によるとTest No. 8の場合とTest No. 17の場合とでは燃焼の時間的経過に大きな差のあることがわかる。一方、Test No. 17とTest No. 12の水噴霧実験の放水以前の温度経過はほぼ似ている。従つて、Test No. 17の曲線とTest No. 12との曲線の差が水噴霧による温度降下とみることができる。他の実験では水噴霧のある場合と水噴霧のない場合ではガソリン量が違うのでこのような比較を行なうことが出来ない。

写真-29、30は水噴霧を行なつた時の燃焼の状況を示すものである。水噴霧を行なうと、放水の圧力によつて炎が下に押えられ横に広がる様な傾向となる。放水の放射方向については検討する必要がある。

トラックの荷合のように木の部分に水噴霧が行なわれると、火を消し止める上で有効であるが、ライトバンの車内、トラックの運転台或はフェンダーの下タイヤ等水噴霧が直接あたらない部分の消火には水噴霧は全く無力である。又ガソリンに対しては火勢を若干少なくすることは出来る様であるがガソリンの燃焼を妨げることはできない。

6.6 そ の 他

- 1) 火皿の燃焼速度は火皿の面積が大きくなるほど遅くなる傾向が認められる。
- 2) 自動車の燃焼状況は自動車毎に左右され、風速の影響等を明確にすることはできなかった。
- 3) 火皿の実験においては風速の少ない時の方がトンネル内の温度が高くなる傾向が認められる。
- 4) 自動車の燃焼実験ではガソリントankからガソリンが流れ出し路面に火が広がる現象が認められた。(写真-20参照)
- 5) 燃料タンク、タイヤ等の爆発音が大きく、恐怖感を与える。

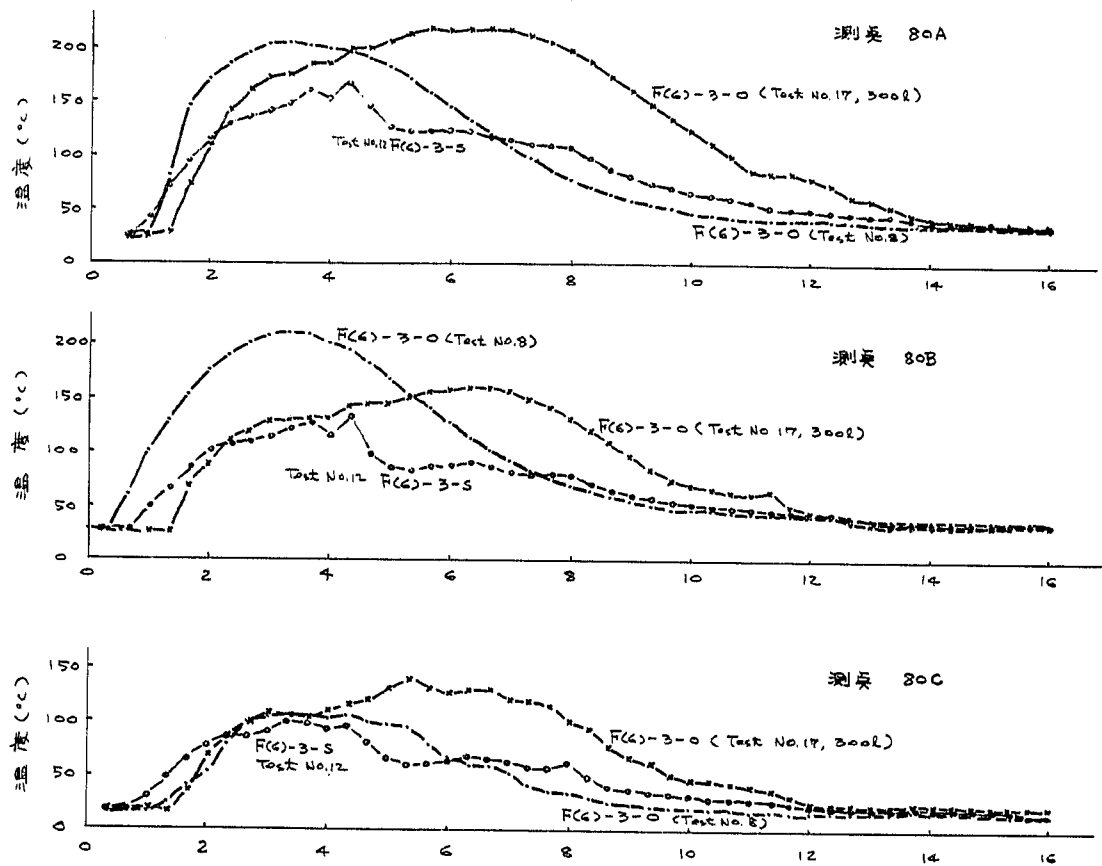


図-114 水噴霧のある場合とない場合の温度の時間的経過の比較

7. ま と め

今回の実験から得られた結論をとりまとめると、

- 1) 火災が発生した場合のトンネル内の温度分布は図-113に示すようになり、高温にさらされるのはごく限られた範囲である。
- 2) 副射熱は相当大きいものと考えられ、火災の規模によつては覆工コンクリートの剝離などの現象が発生する可能性があり、熱伝導率の低い内装材等については注意する必要がある。
- 3) 一酸化炭素の濃度は最高で330 PPM で短期間の暴露に対しては特に問題はない。
- 4) 酸化窒素は使用した濃度計には全く検出されなかつた。
- 5) 燃焼物の種類を問わず発生する煙の量は非常に多く、風下側からの消火活動は困難である。
- 6) しかし、風上側には風さえあれば煙はまわらず、消火活動は容易である。
- 7) 煙は風速と同じ速さで移動するので風下側への避難はさけなければならない。
- 8) 水噴霧冷却設備はトンネル内の温度を下げるのに極めて有効である。
- 9) 自動車の火災にあつては燃料タンクからガソリンがもれ、路面に火が広がる恐れがあるので側溝等の構造については注意する必要がある。
- 10) 燃料タンク、タイヤ等の爆発音は相当に大きい、実際に危険な爆発は今回の実験では発生しなかつた。

(以 上)

43

44

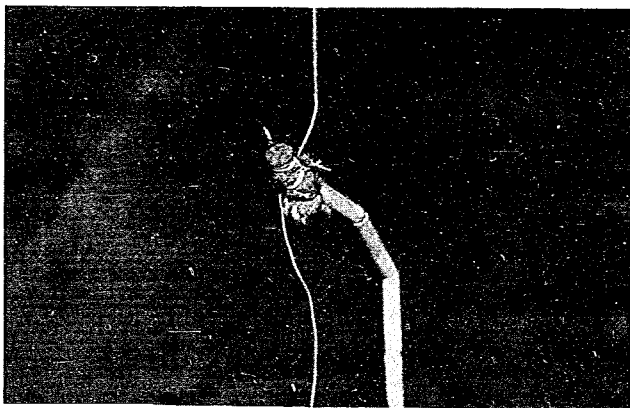


写真-1 熱電対取付状況

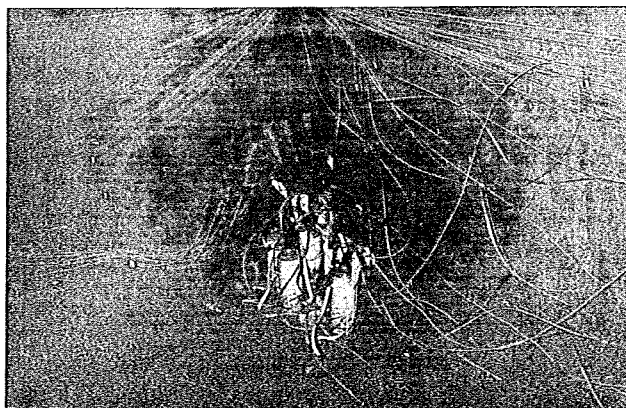


写真-2 冷接点およびアッテネーター



写真一 煙濃度計取付状況



写真一 風速計取付状況

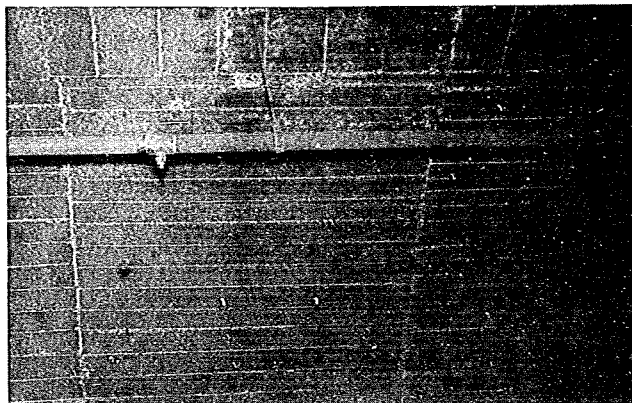


写真-5 水噴霧器冷却設備

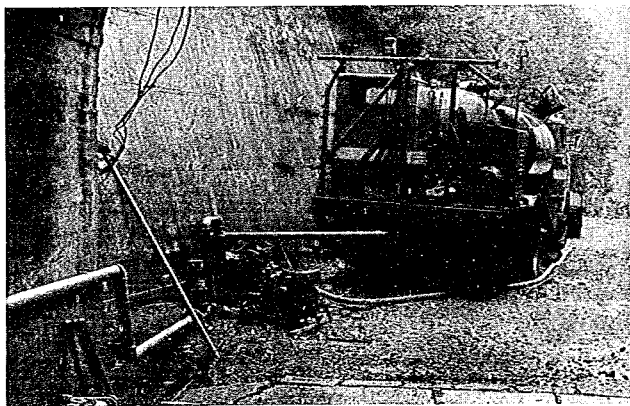


写真-6 水噴霧用水供給仮設備

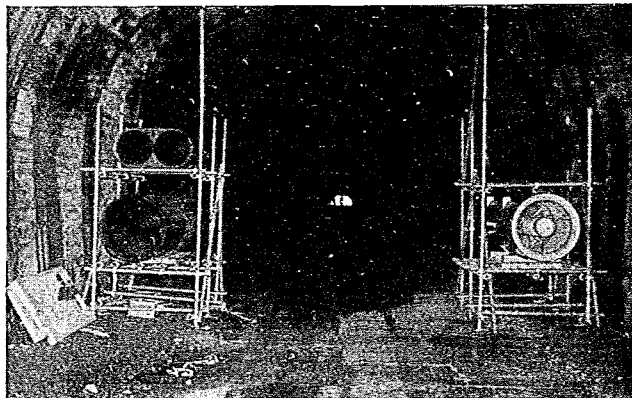


写真-7 送風設備（ジェットファン）

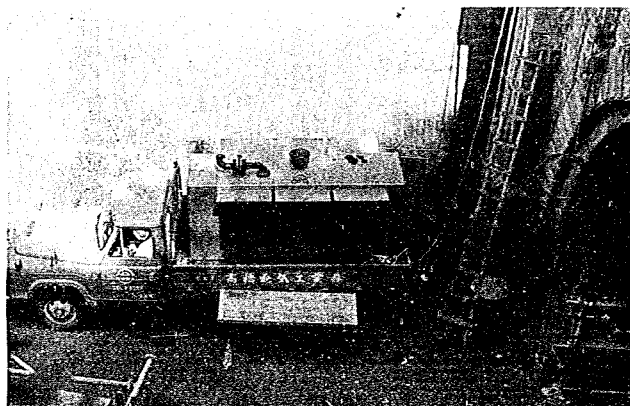


写真-8 送風機，水噴霧用発動発電機



写真一9 燃 焼 用 自 動 車 №1
(Test №14)



写真一10 燃 焼 用 自 動 車 №2
(Test №11)



写真-11 燃 焼 用 自 動 車 №3
(Test №6)



写真-12 燃 焼 用 自 動 車 №4
(Test №16)



写真一13 燃 焼 用 自 動 車 №5
(Test №7)



写真一14 燃 焼 用 自 動 車 №6
(Test №13)

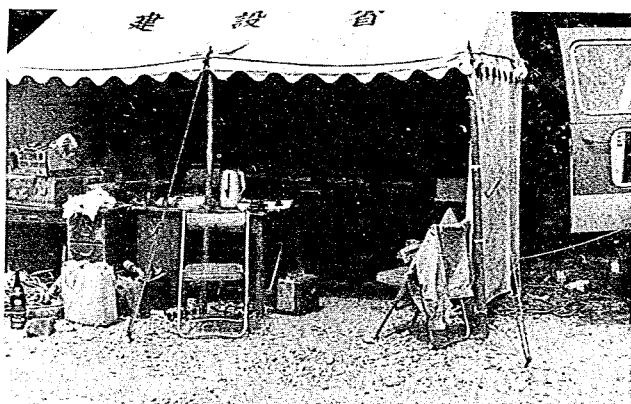


写真-15 測定テント

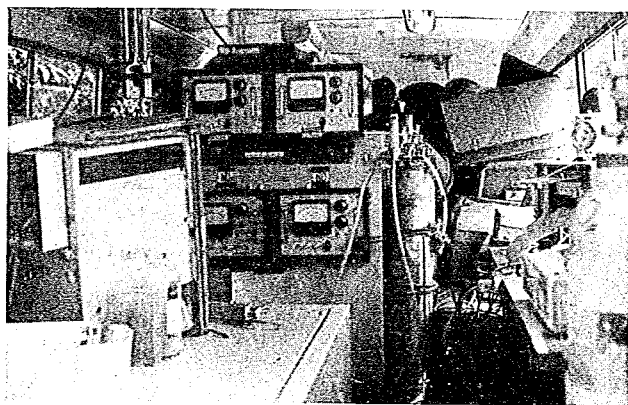
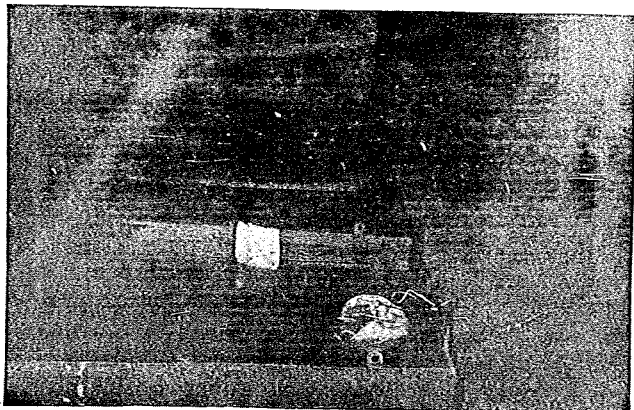
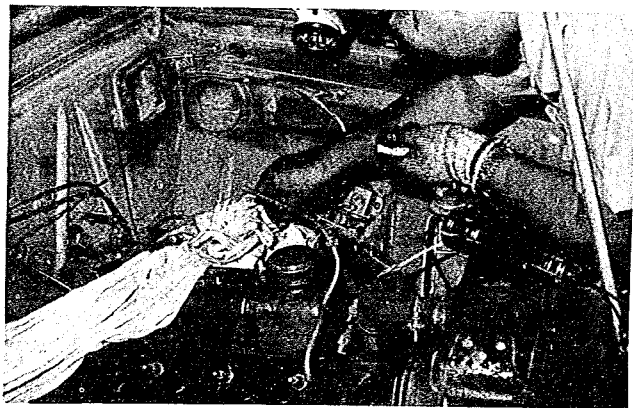


写真-16 酸化窒素濃度計



写真一17 火皿への点火方法



写真一18 自動車への点火方法



写真-19 炎 上 中 の 火 皿



写真-20 炎 上 中 の 自 動 車
(Test No.6)

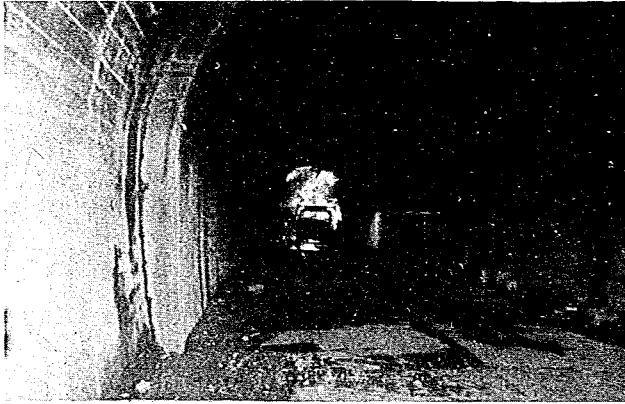


写真-21 炎上中のトラック
(Test Ⅱ16)

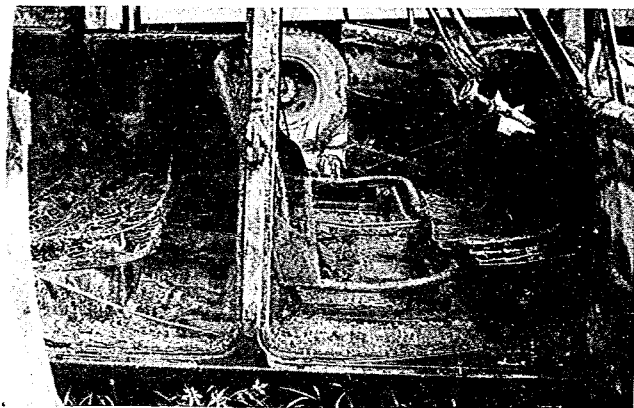


写真-22 燃焼後のライトバン
(Test Ⅲ6)

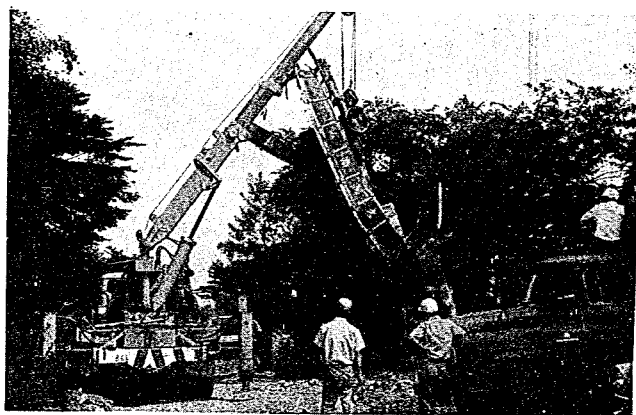
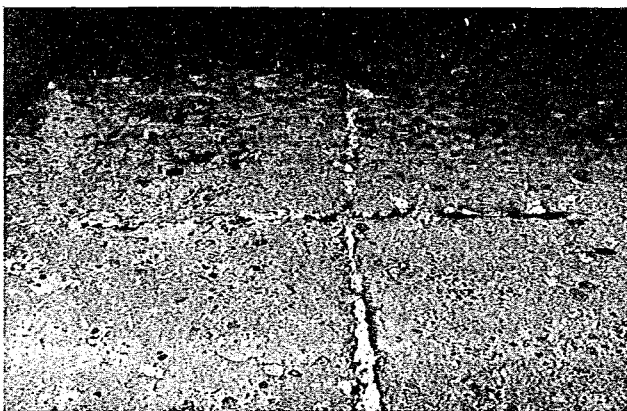


写真-23 燃焼後のトラック
(Test Ⅲ7)



写真－２４ 天井部から剝離し火皿に落下した
コンクリート



写真－２５ 風下側舗装コンクリートの剝離
天井から落下したものも含まれている



写真-26 溶けた電話線

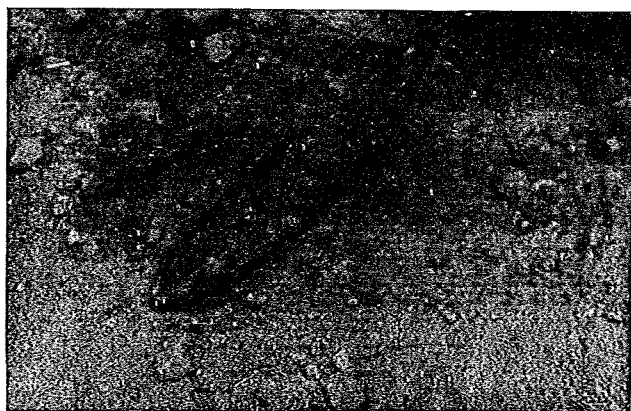
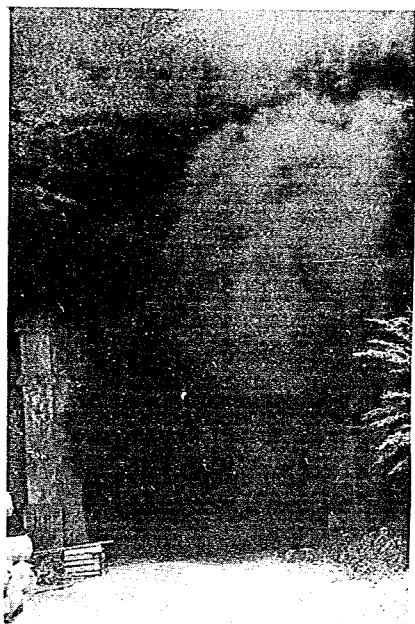


写真-27 溶けた電話線



写真一28 杭内からの煙の吹き出した状況



写真一29 水噴霧時の燃焼状況（火皿）

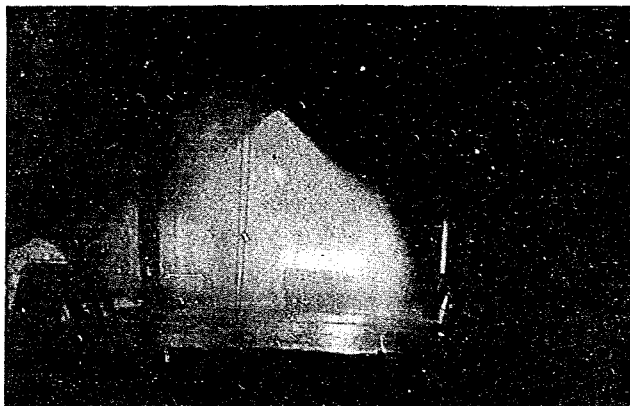
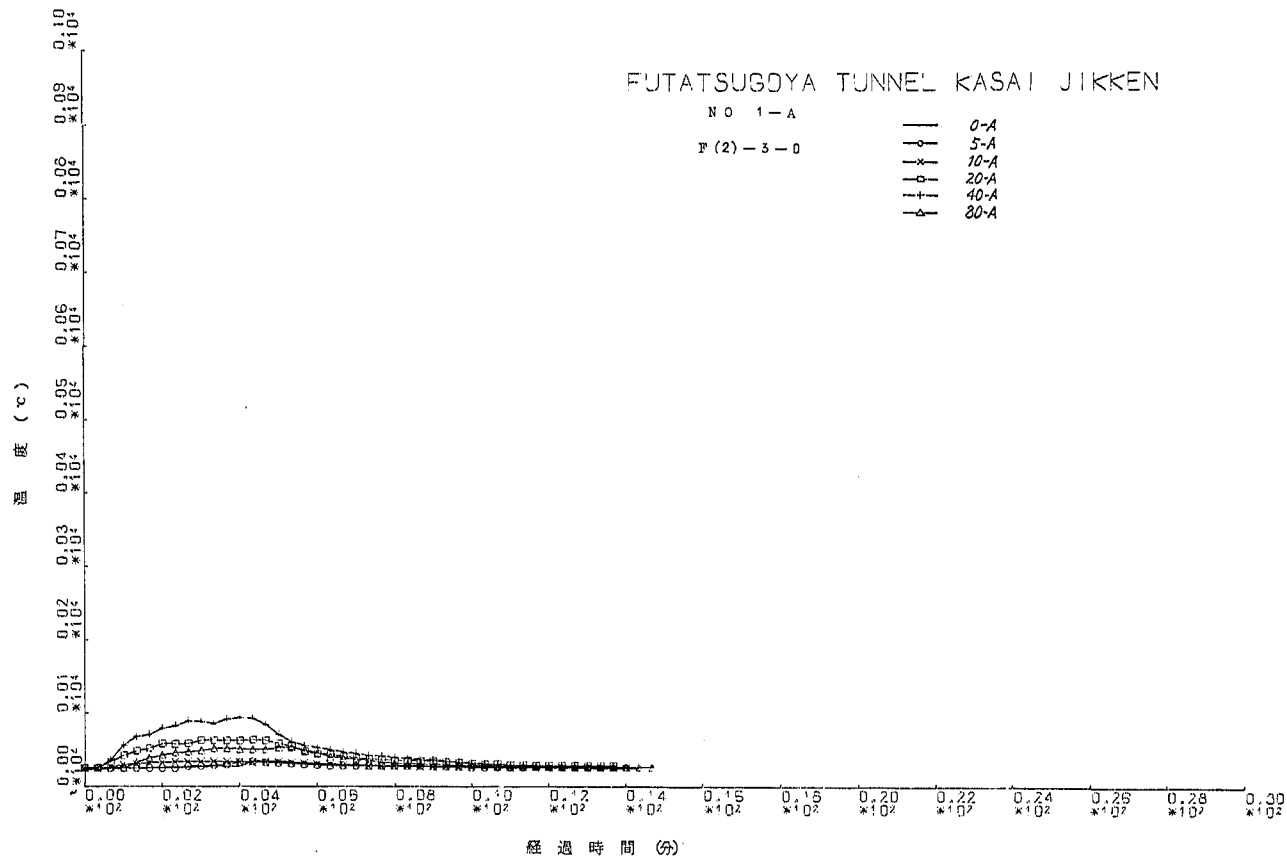
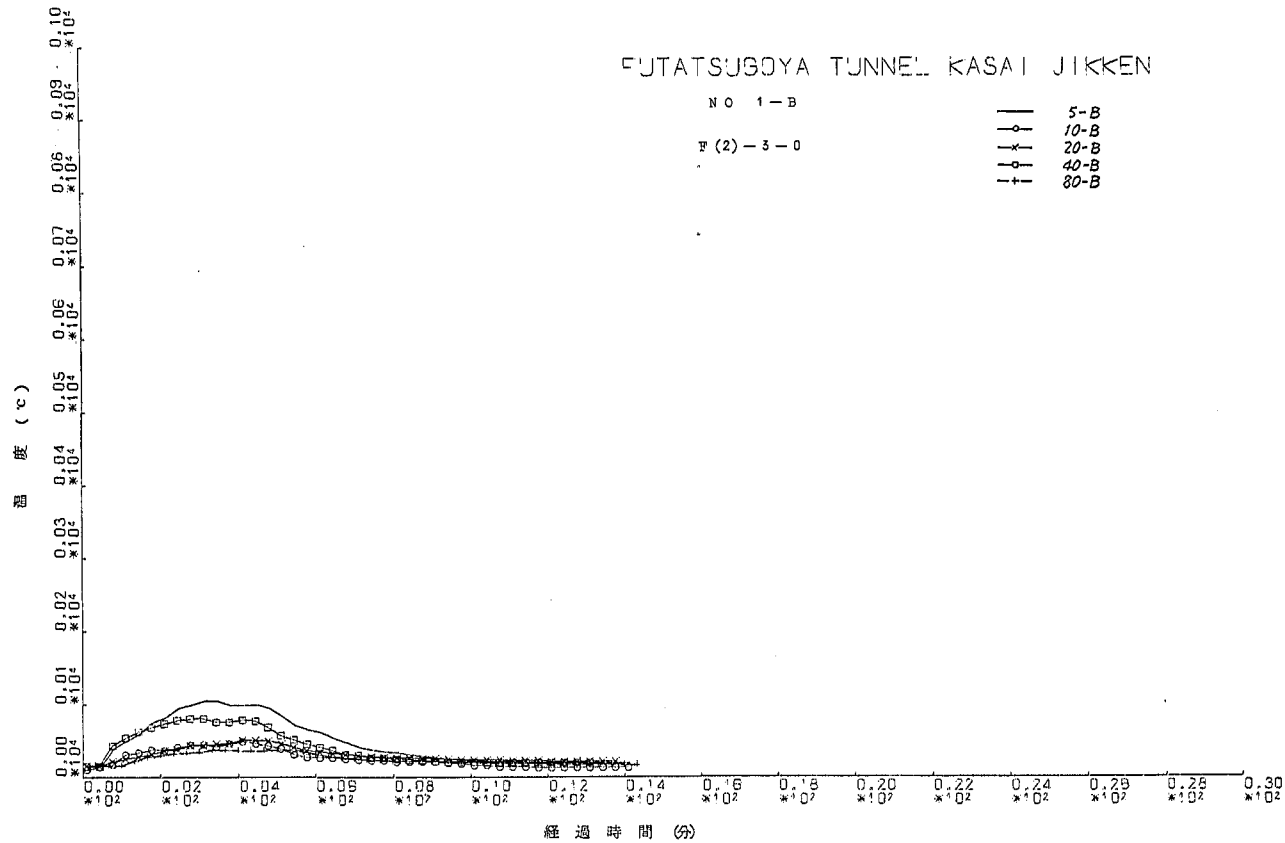


図-30 水噴霧時の燃焼状況（ライトパン）

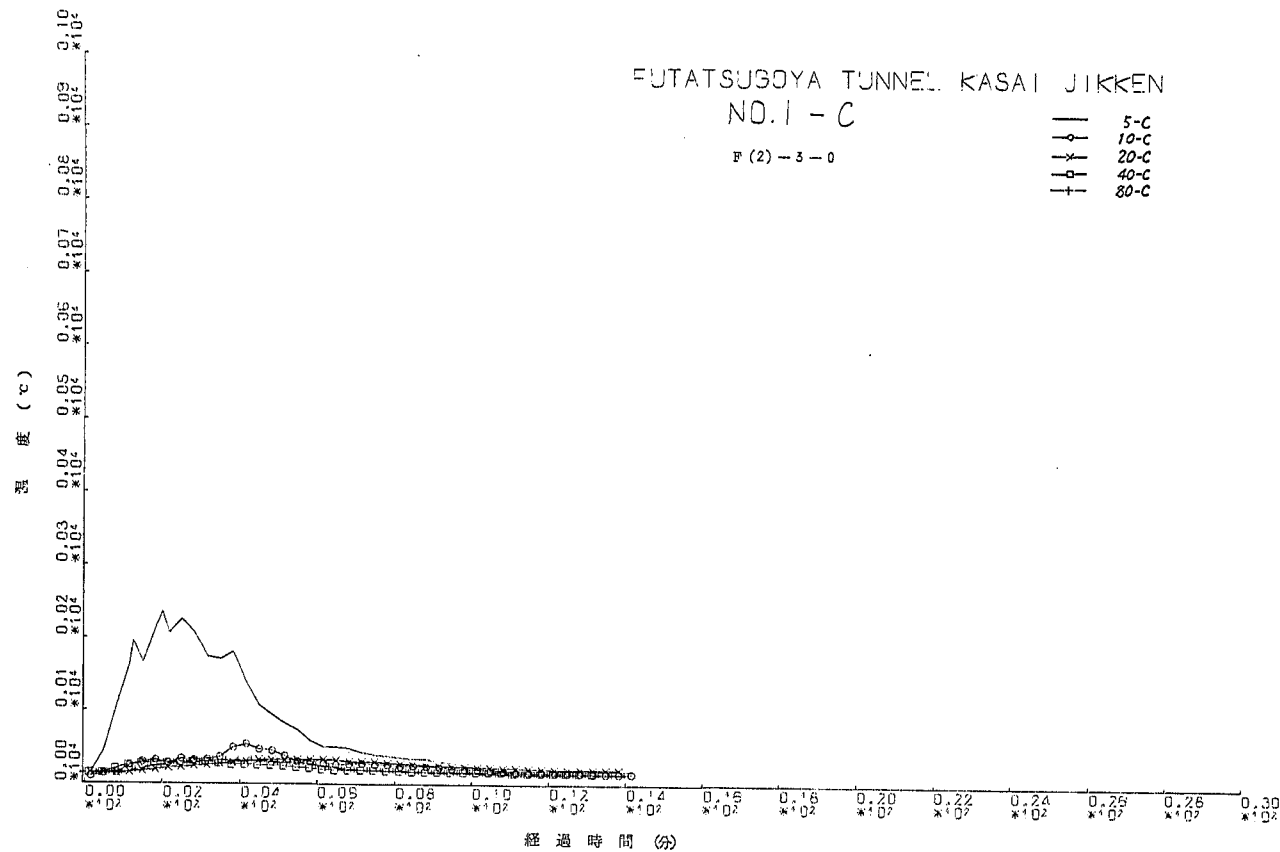


圖~11 溫度變化 (Test NO-1)



図~12 温度変化 (Test NO.1)

--53--



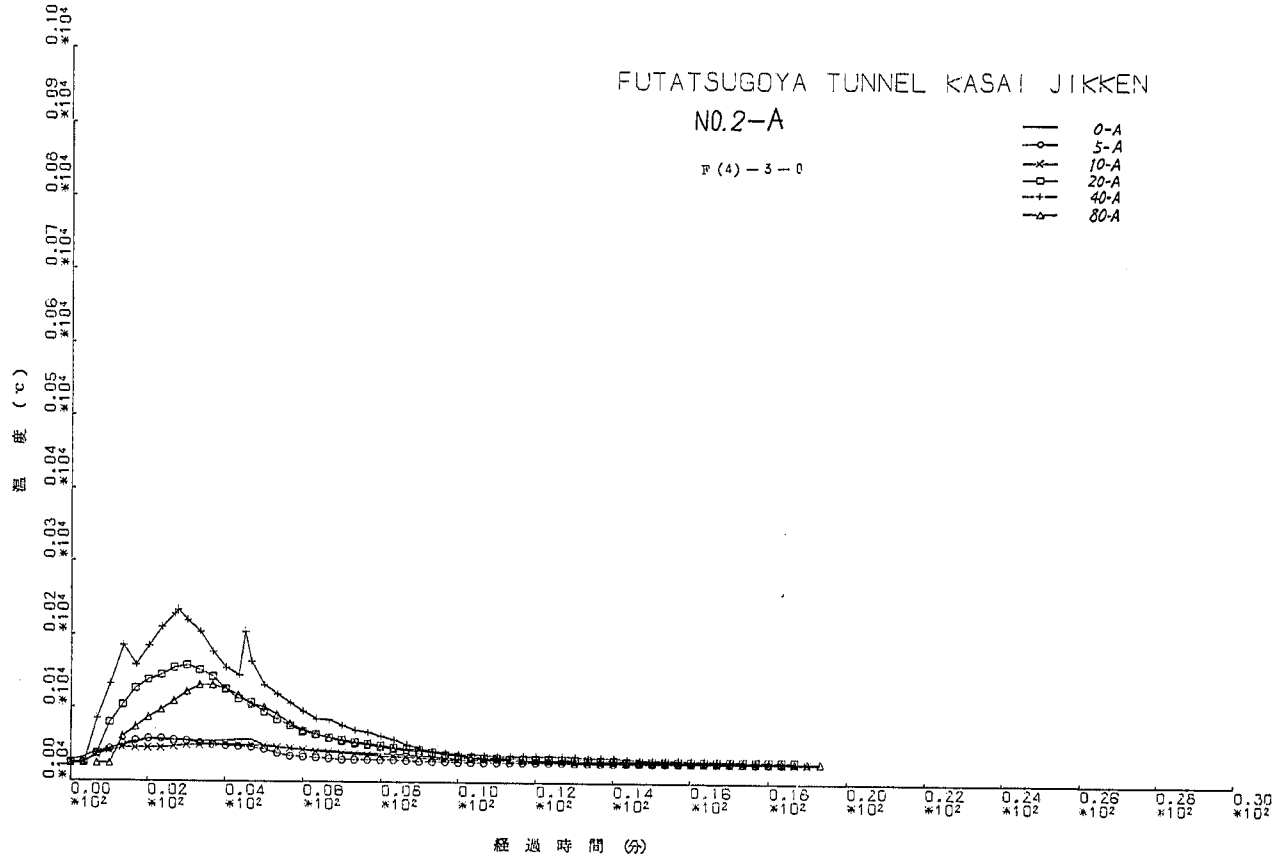
図~13 温度変化 (Test NO.1)

FUTATSUGOYA TUNNEL KASAI JIKKEN

NO.2-A

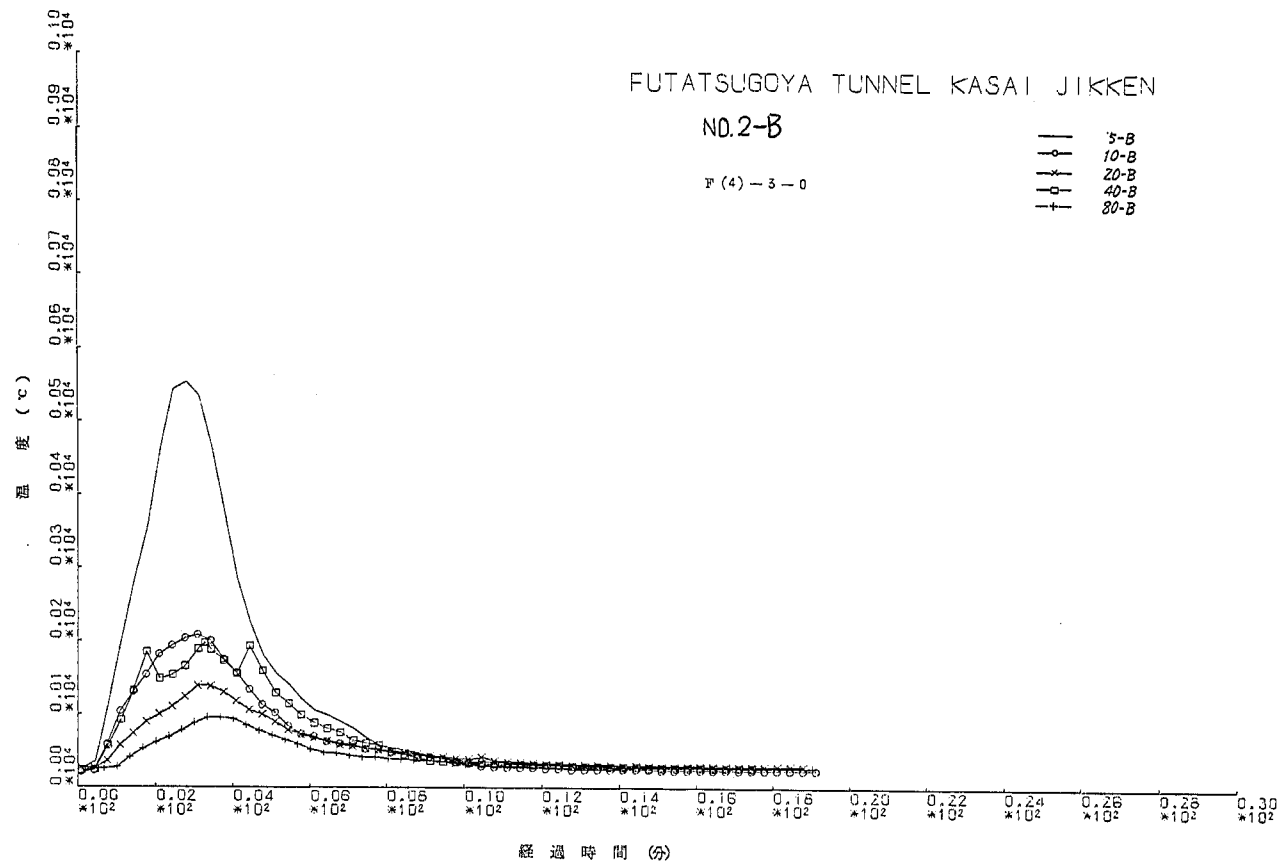
F(4)-3-0

— 0-A
 ○ 5-A
 × 10-A
 □ 20-A
 + 40-A
 △ 80-A

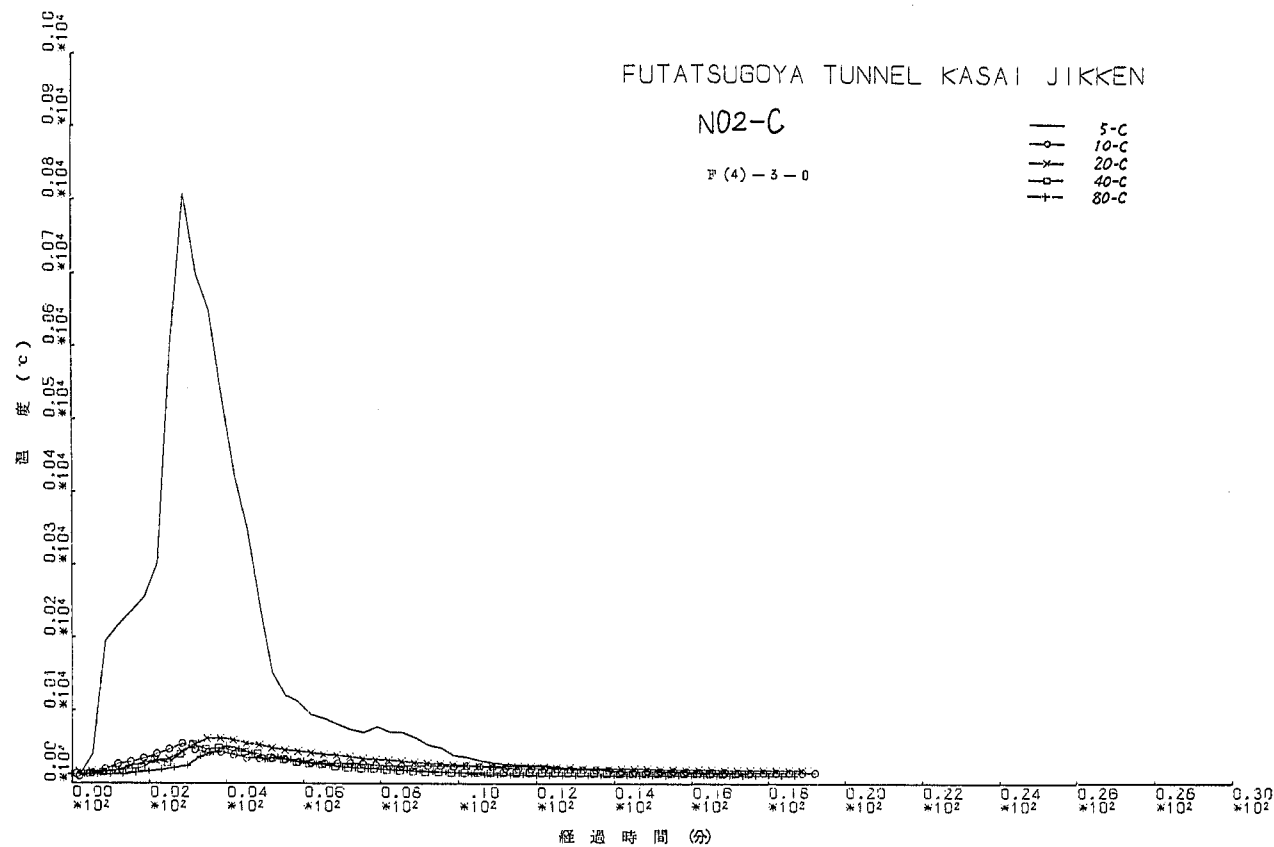


図~14 温度変化 (Test NO.2)

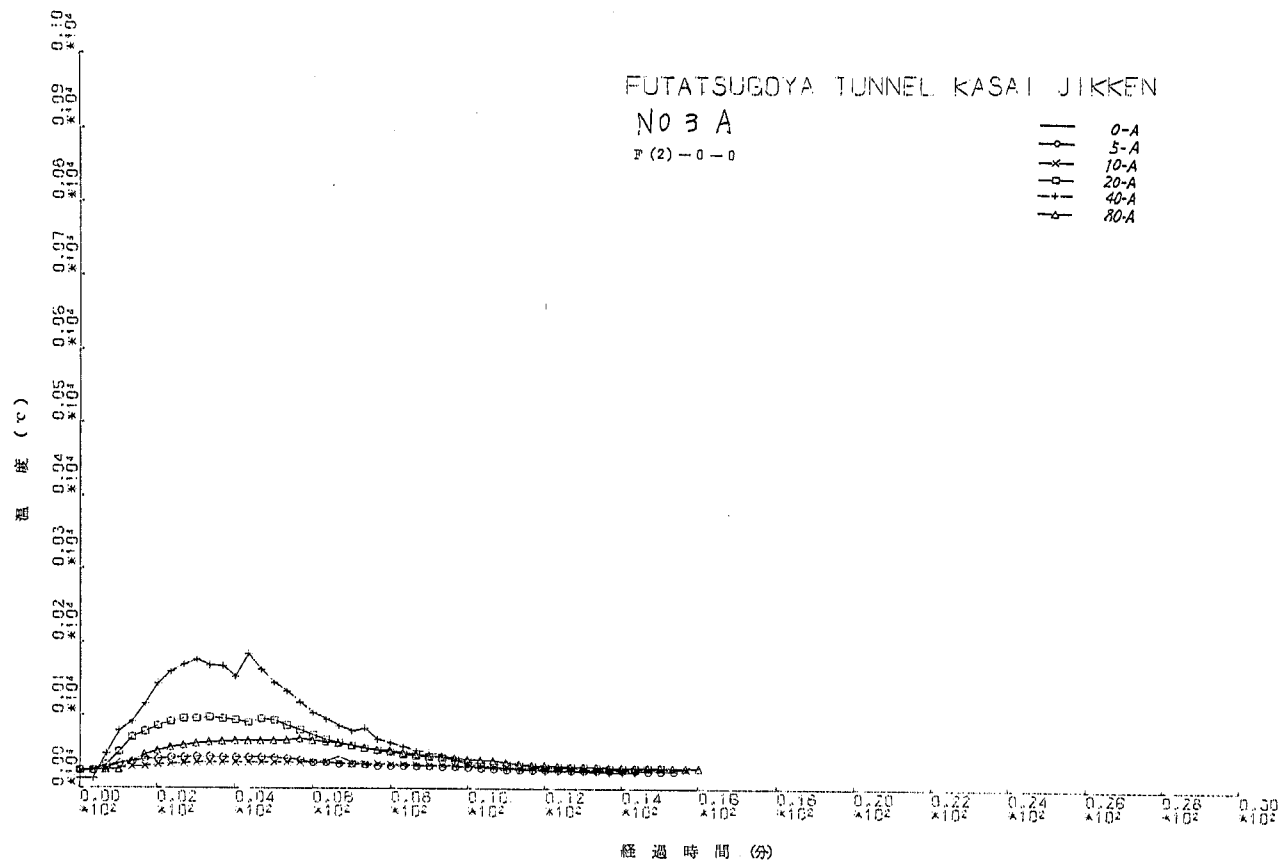
—55—



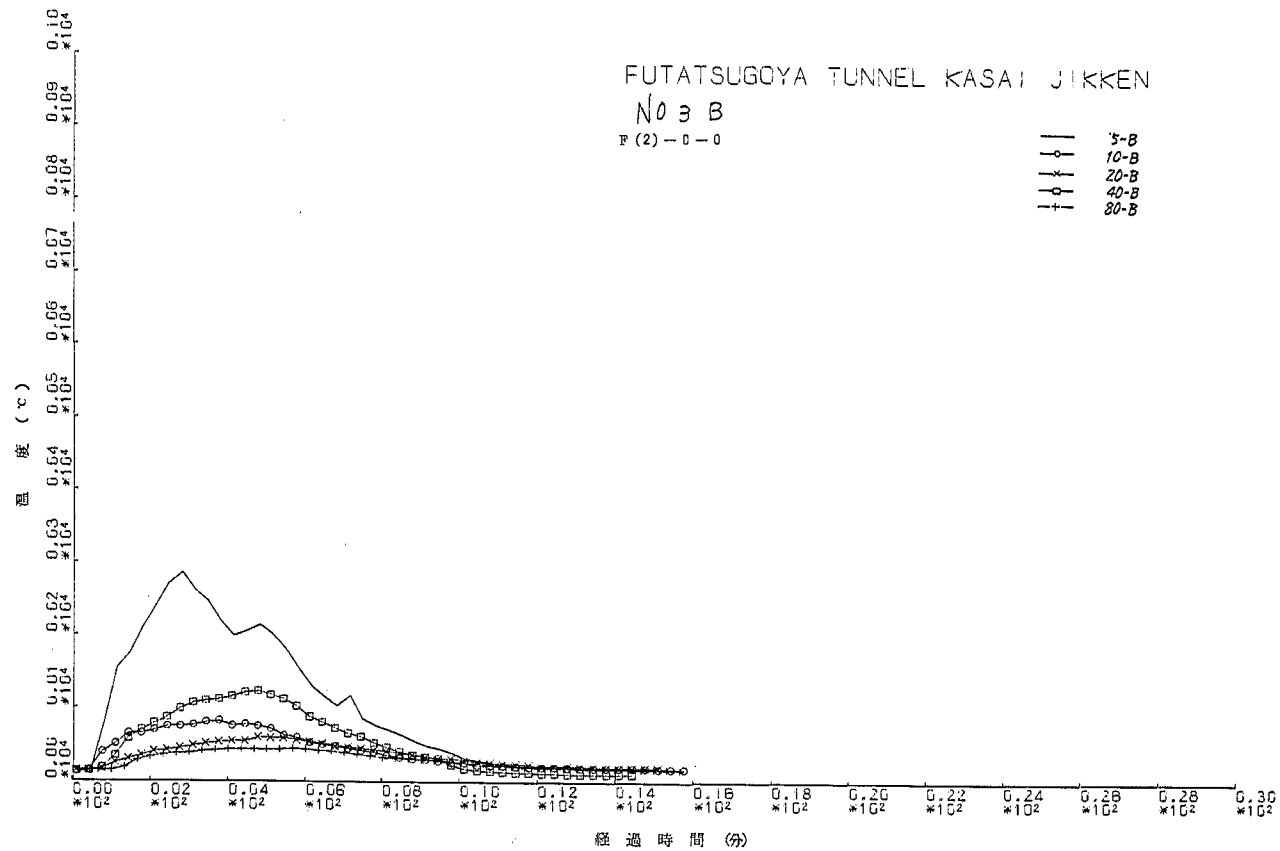
図~1.5 温度変化 (Test NO.2)



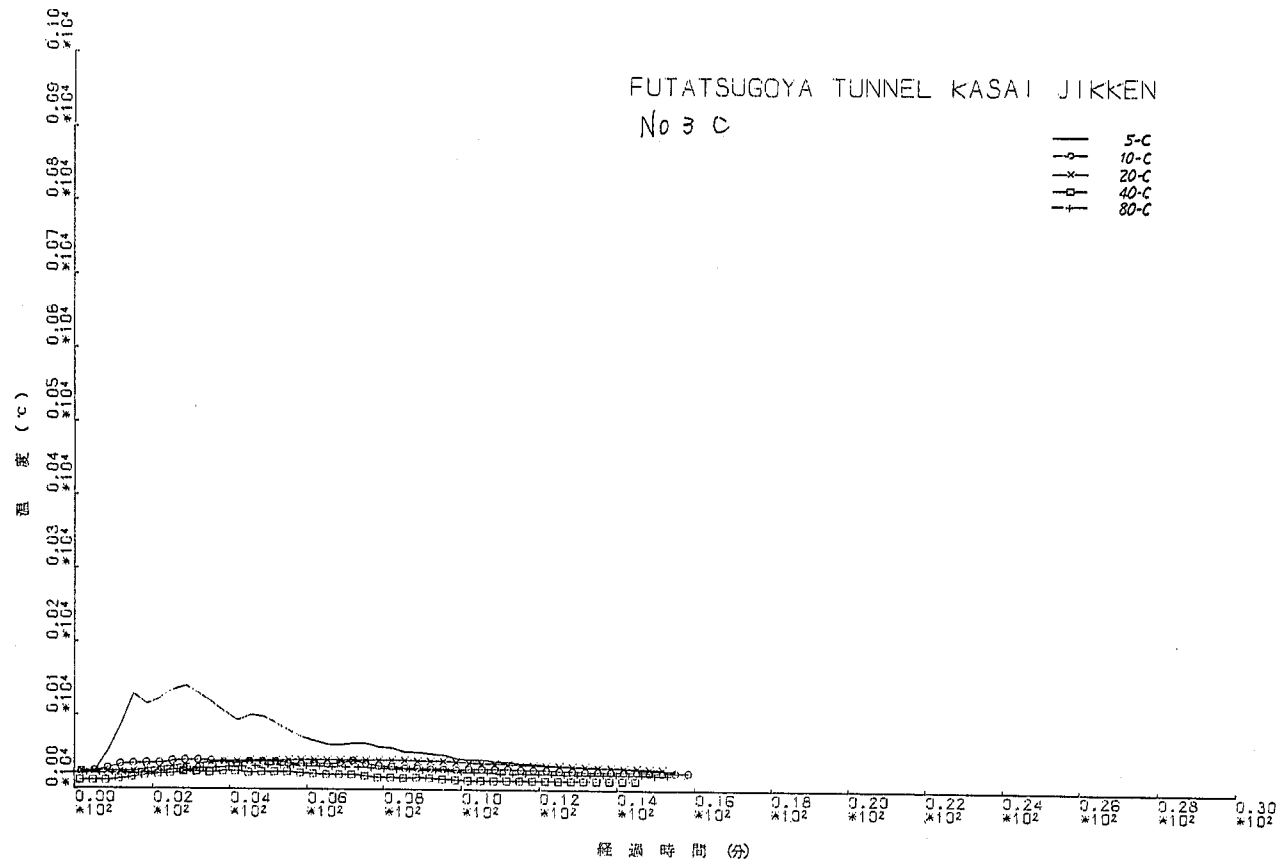
図~16 温度変化 (Test NO.2)



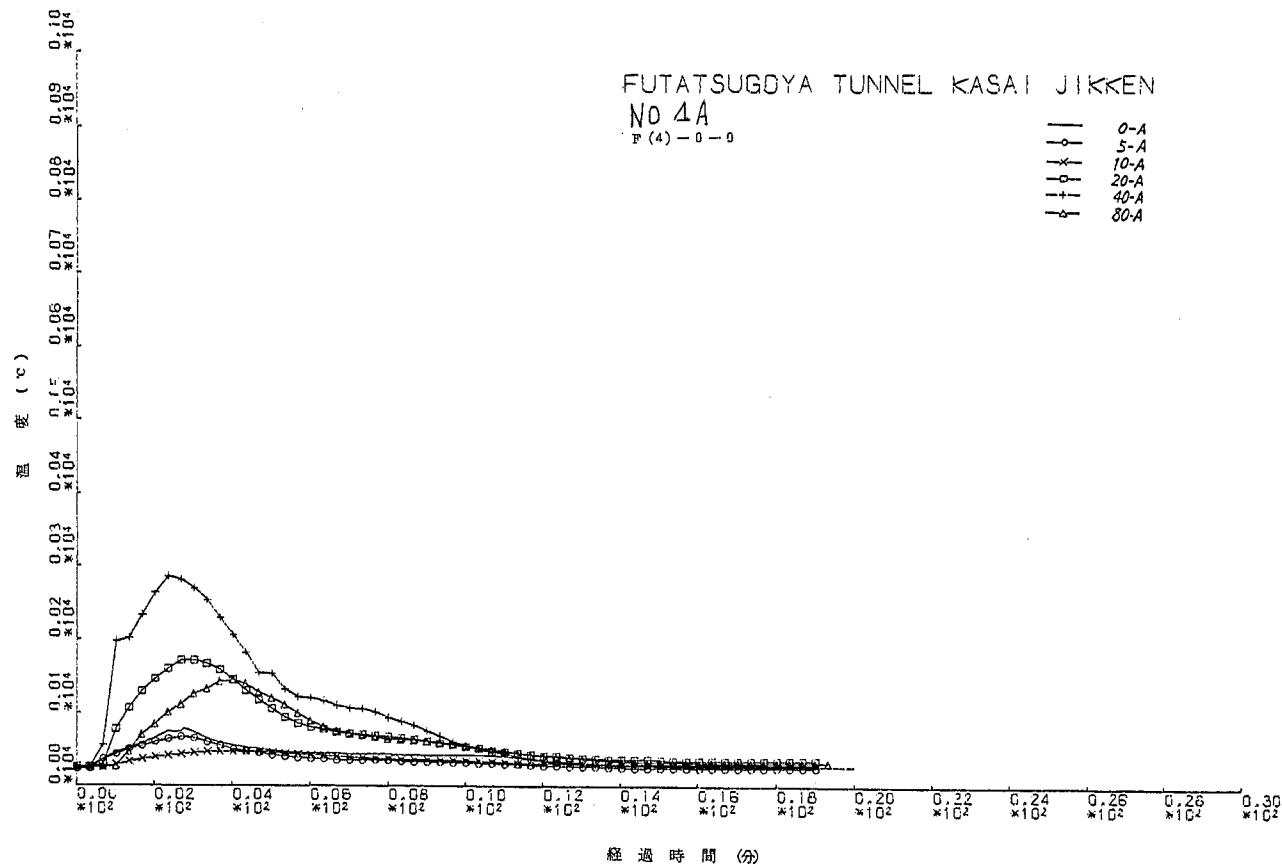
図~17 温度変化 (Test NO.5)



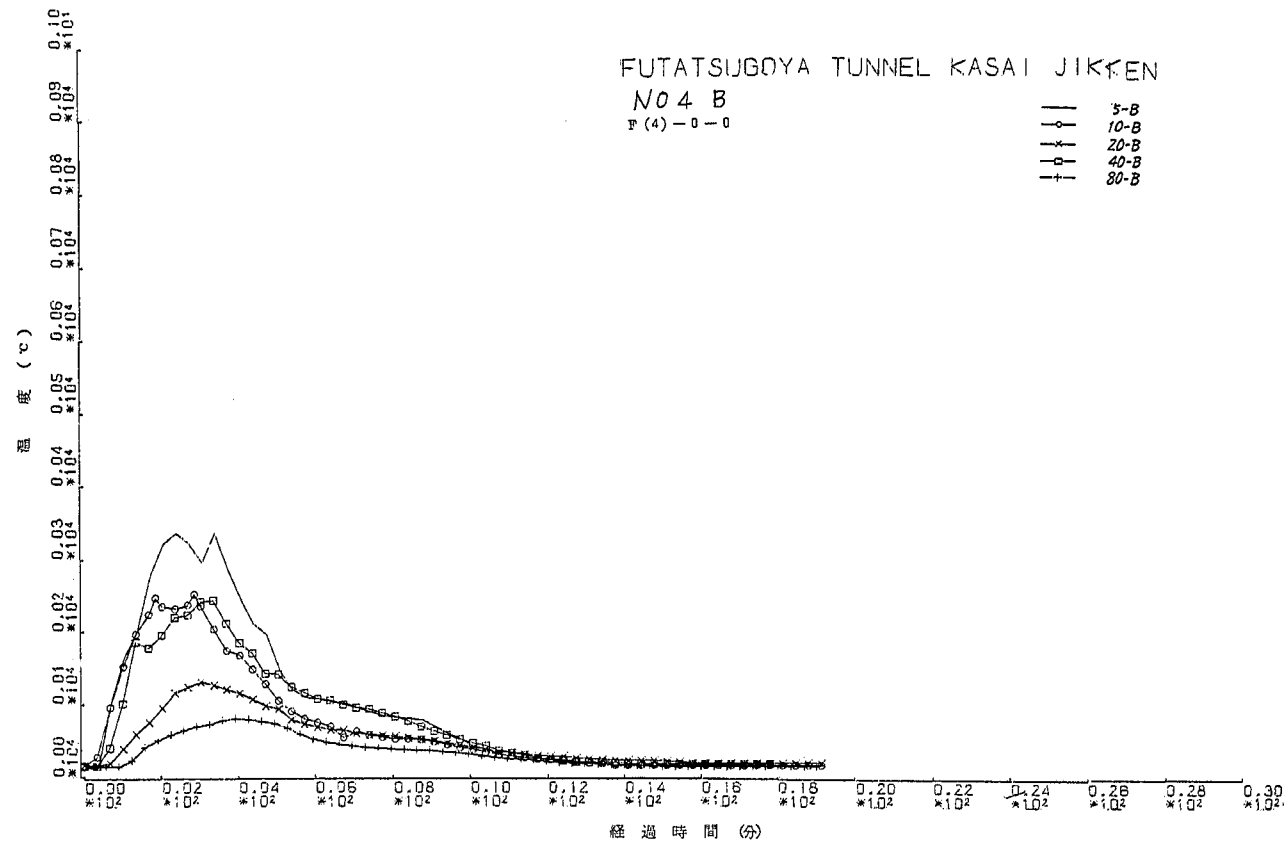
図~18 温度変化 (Test NO.3)



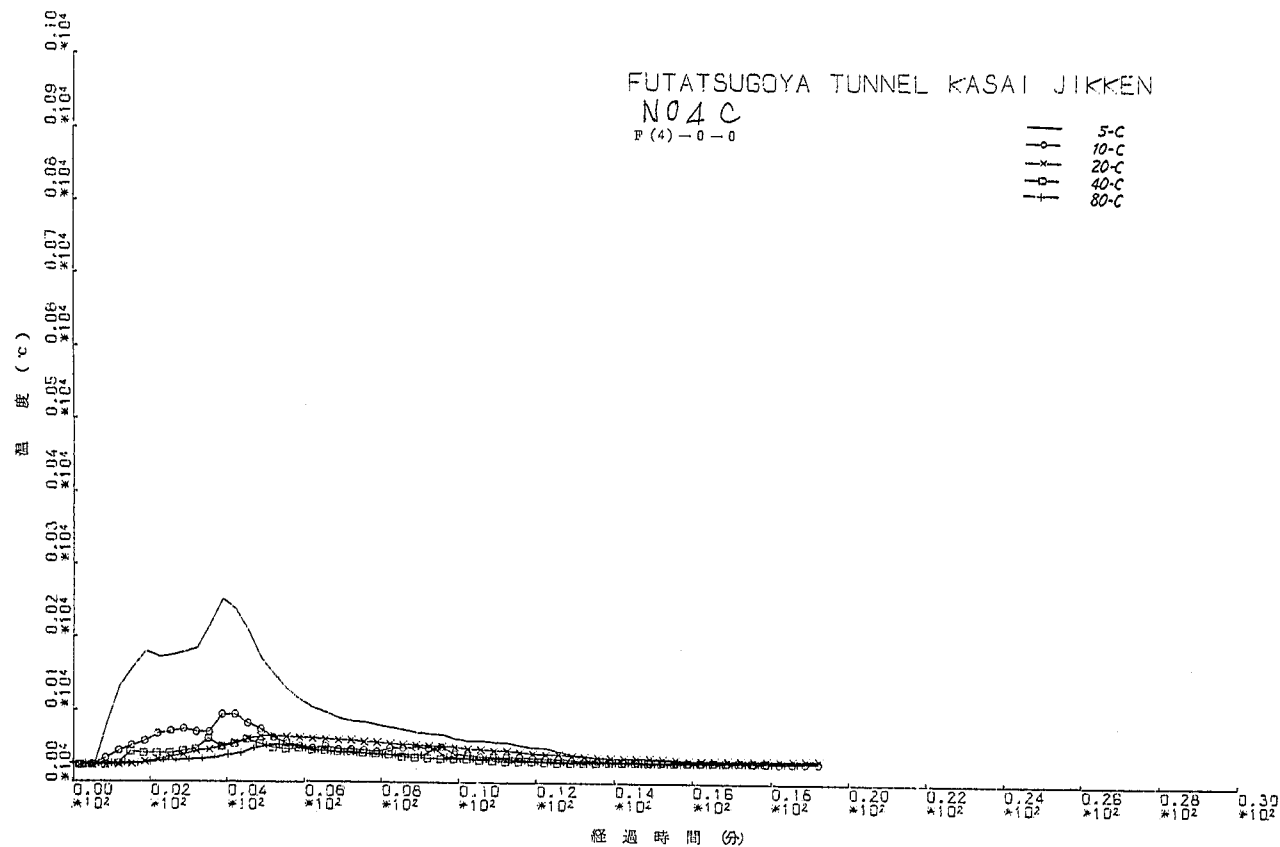
図~19 温度変化 (Test NO-3)



図~20 温度変化 (Test NO.4)

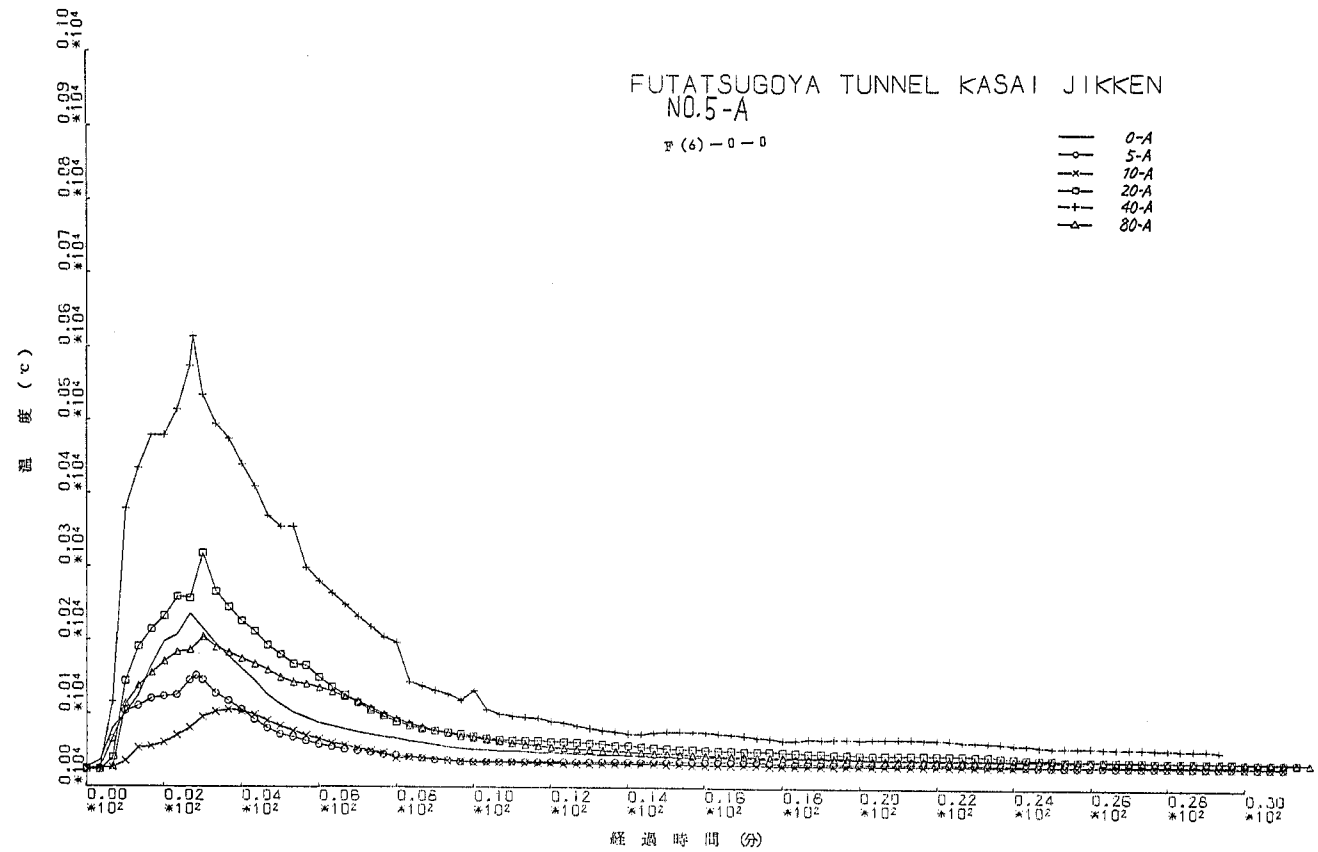


図~2 1 経度変化 (Test NO.4)



図～2.2 温度変化 (Test NO.4)

—63—

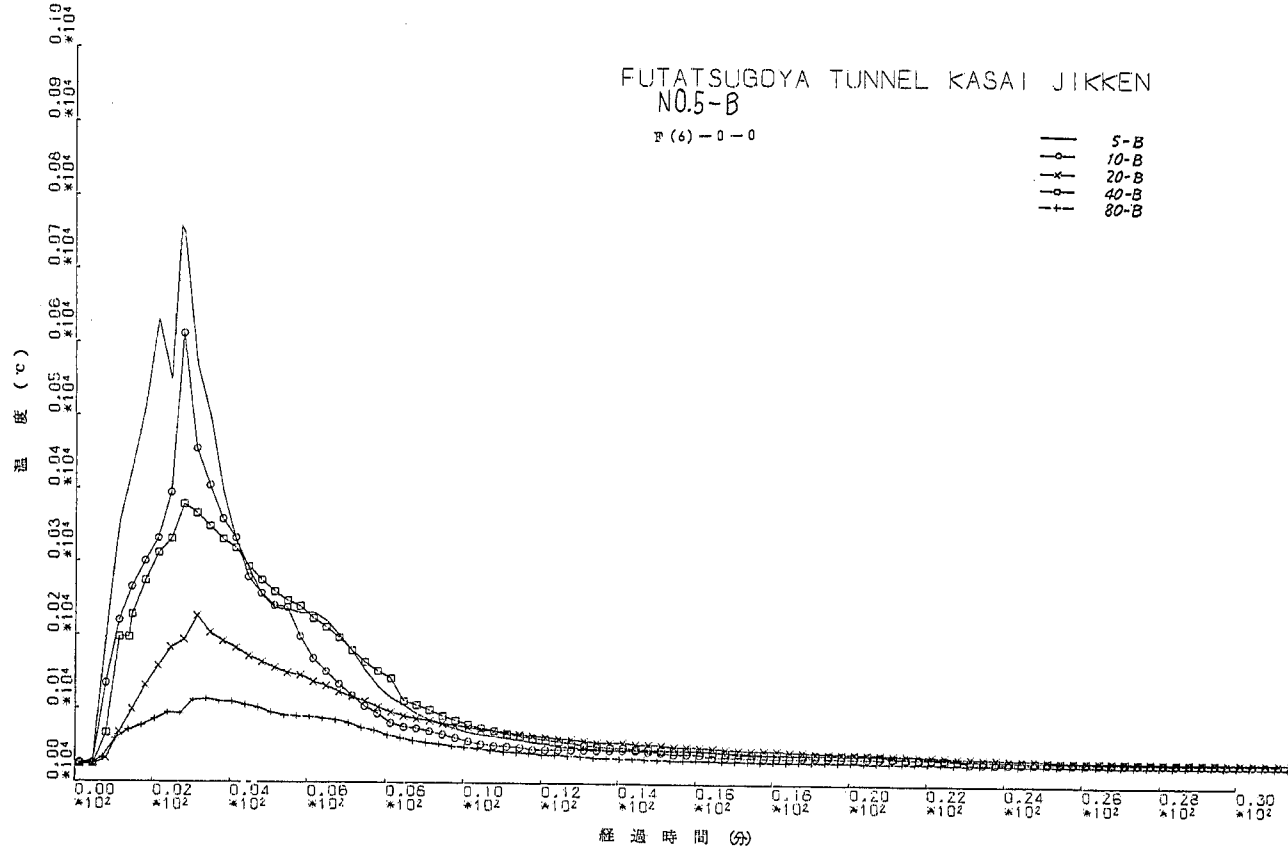


図~23 温度変化 (Test NO-5)

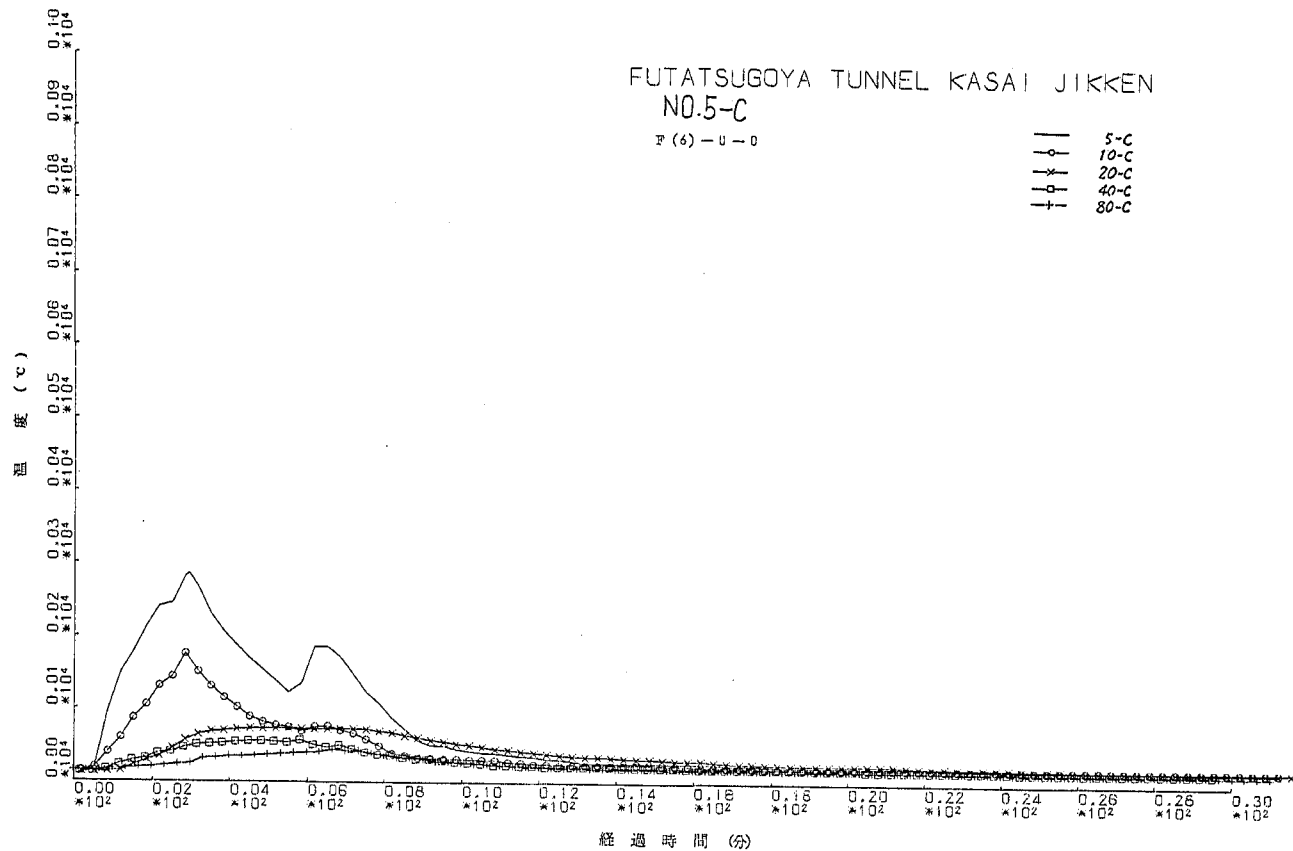
FUTATSUGOYA TUNNEL KASAI JIKKEN
NO.5-B

F(6)-0-0

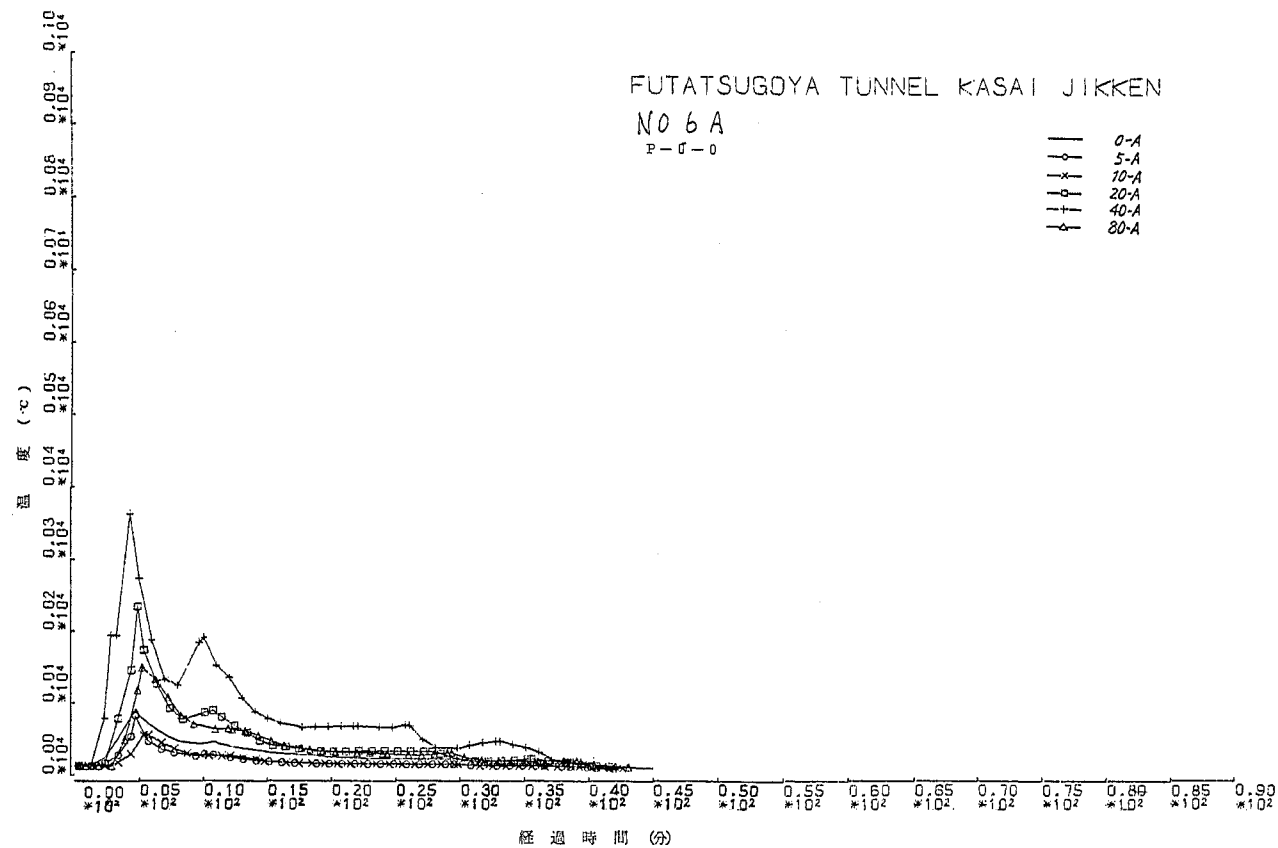
— 5-B
○ 10-B
× 20-B
□ 40-B
+ 80-B



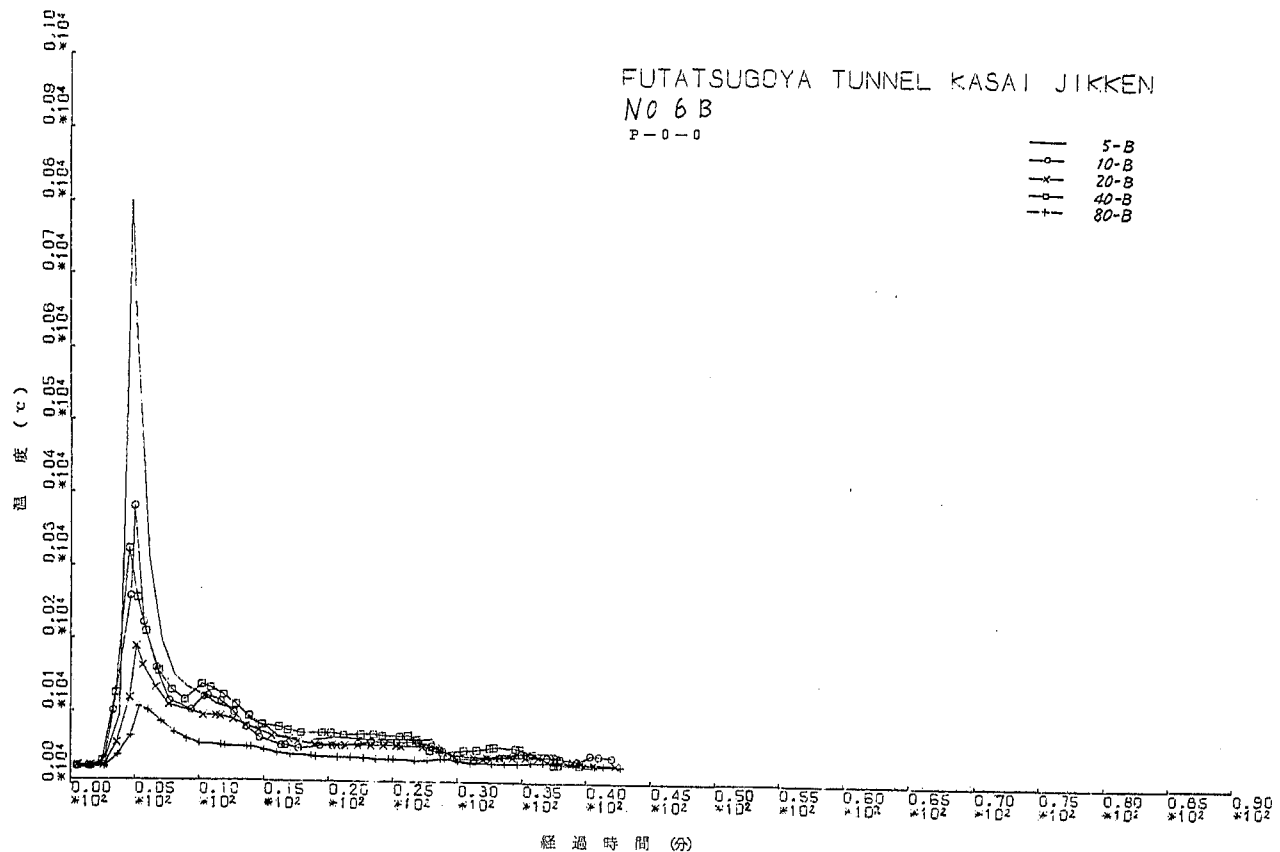
図~2.4 温度変化 (Test NO.5)



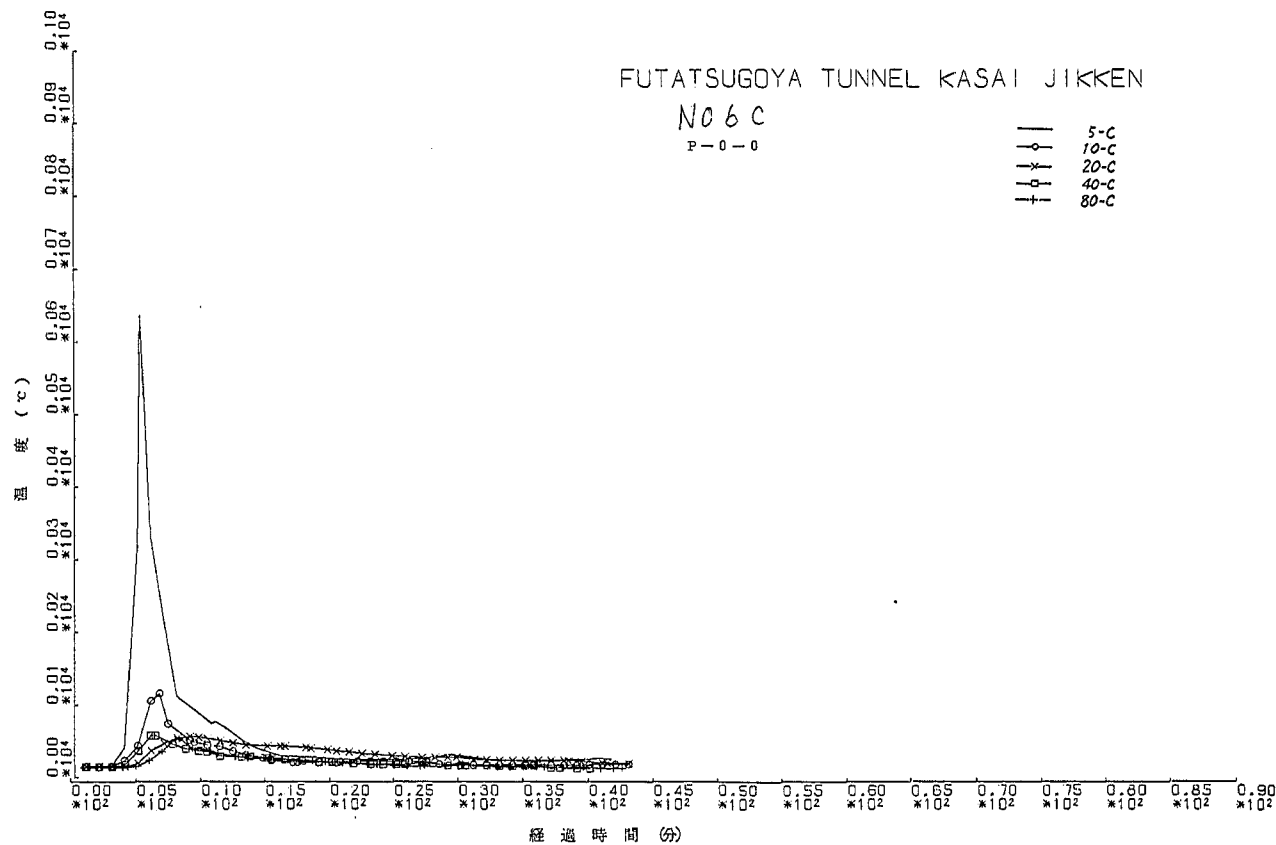
図~25 温度変化 (Test NO.5)



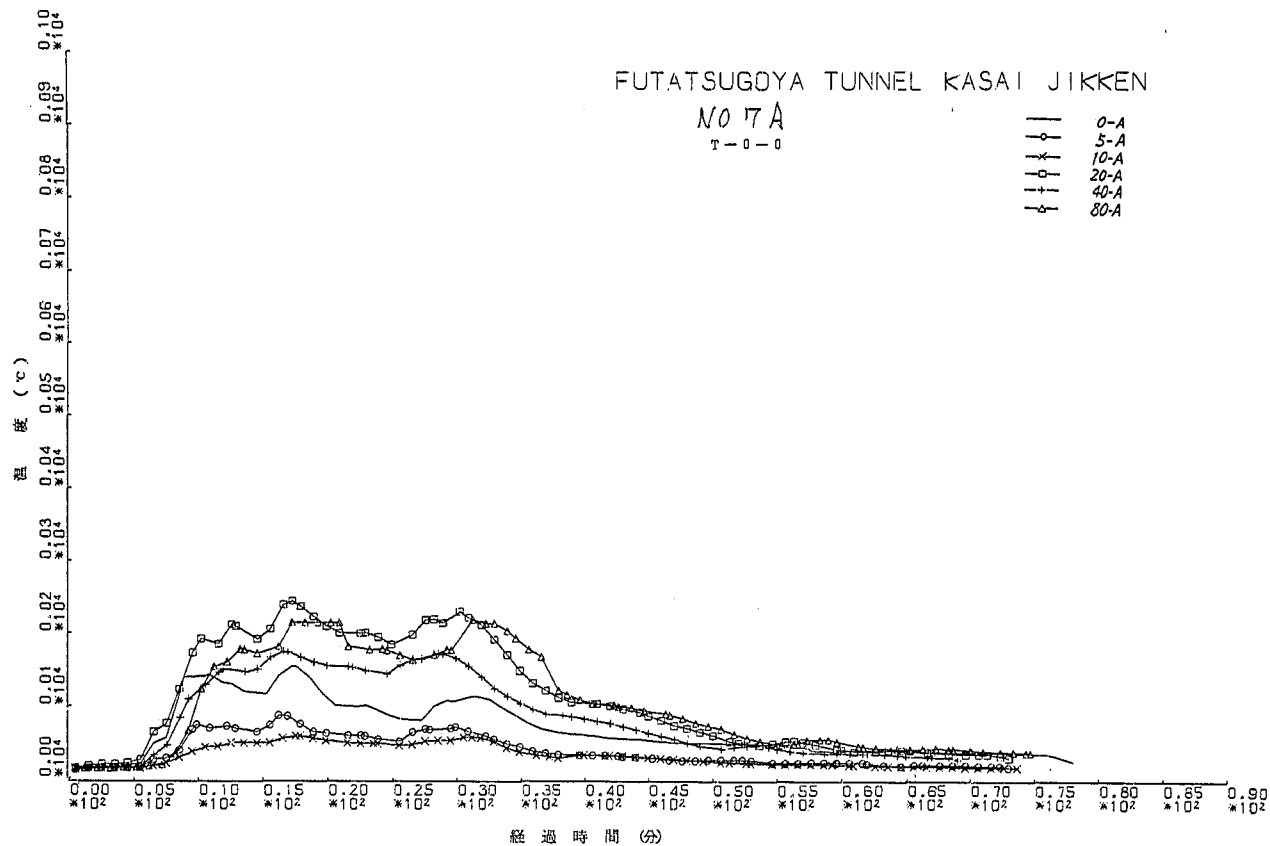
図~2 6 温度変化 (Test NO-6)



図~2 7 温度変化 (Test NO.6)



圖~28 溫度變化 (Test NO.6)



図~29 温度変化 (Test NO.7)

FUTATSUGOYA TUNNEL KASAI JIKKEN

NO 7 B

T-0-0

— 5-B
—○— 10-B
—×— 20-B
—□— 40-B
—+— 80-B

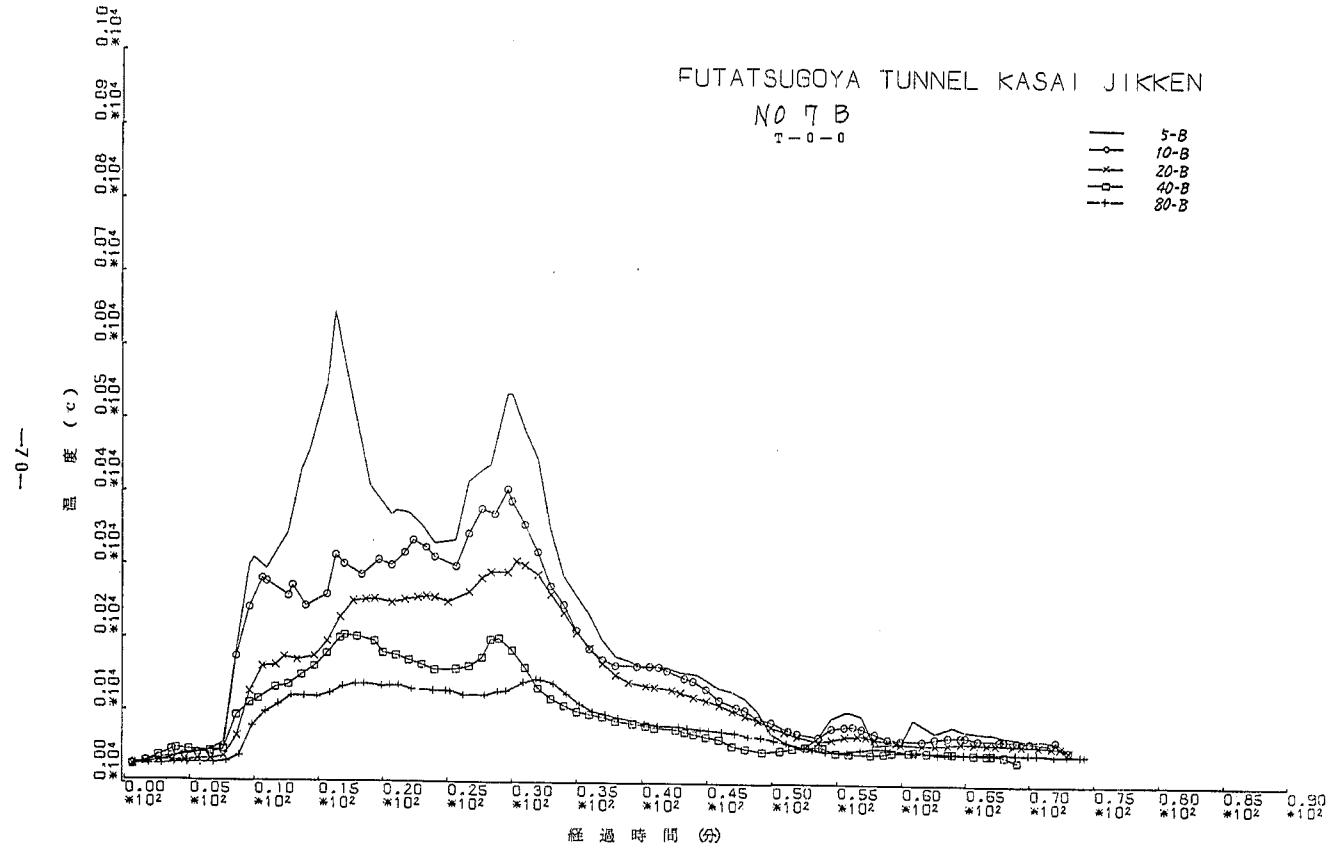


図-50 温度変化 (Test NO.7)

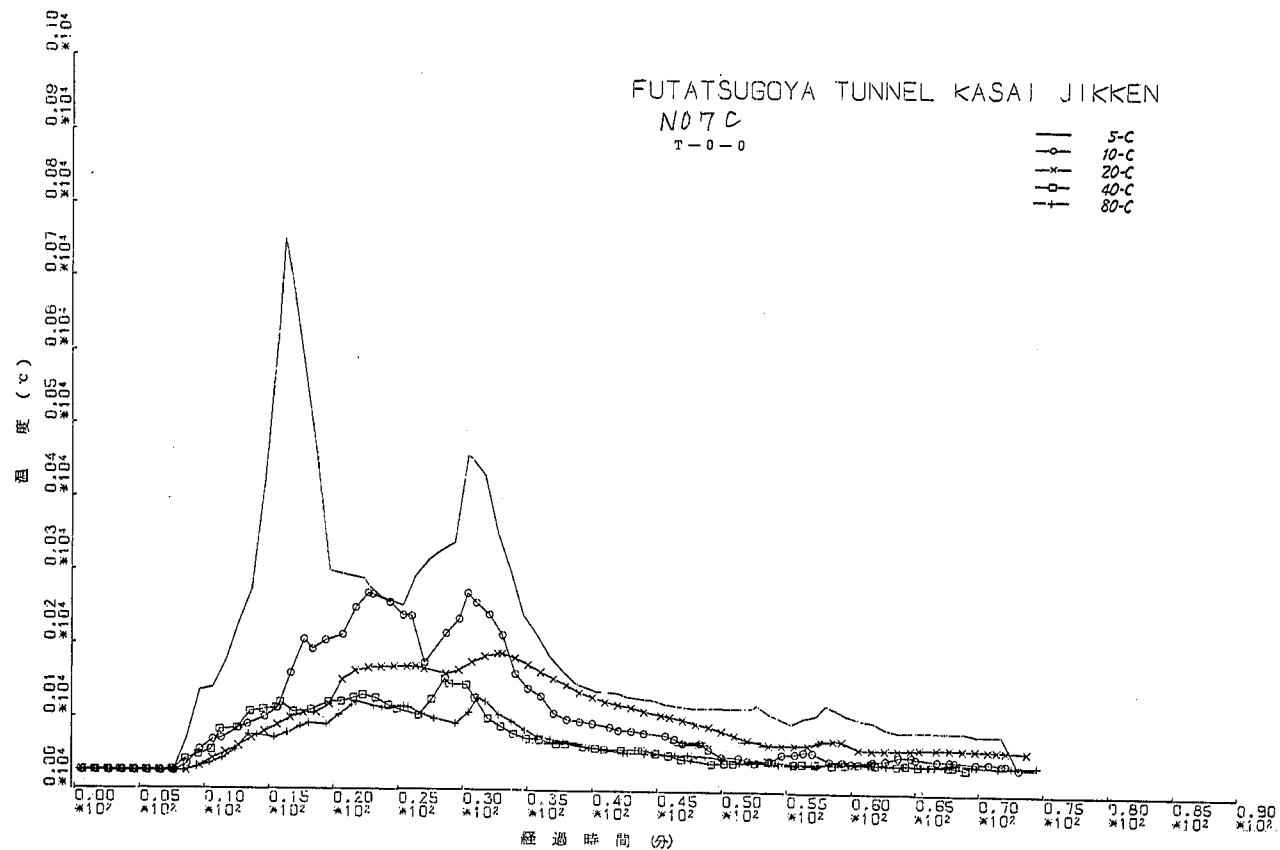
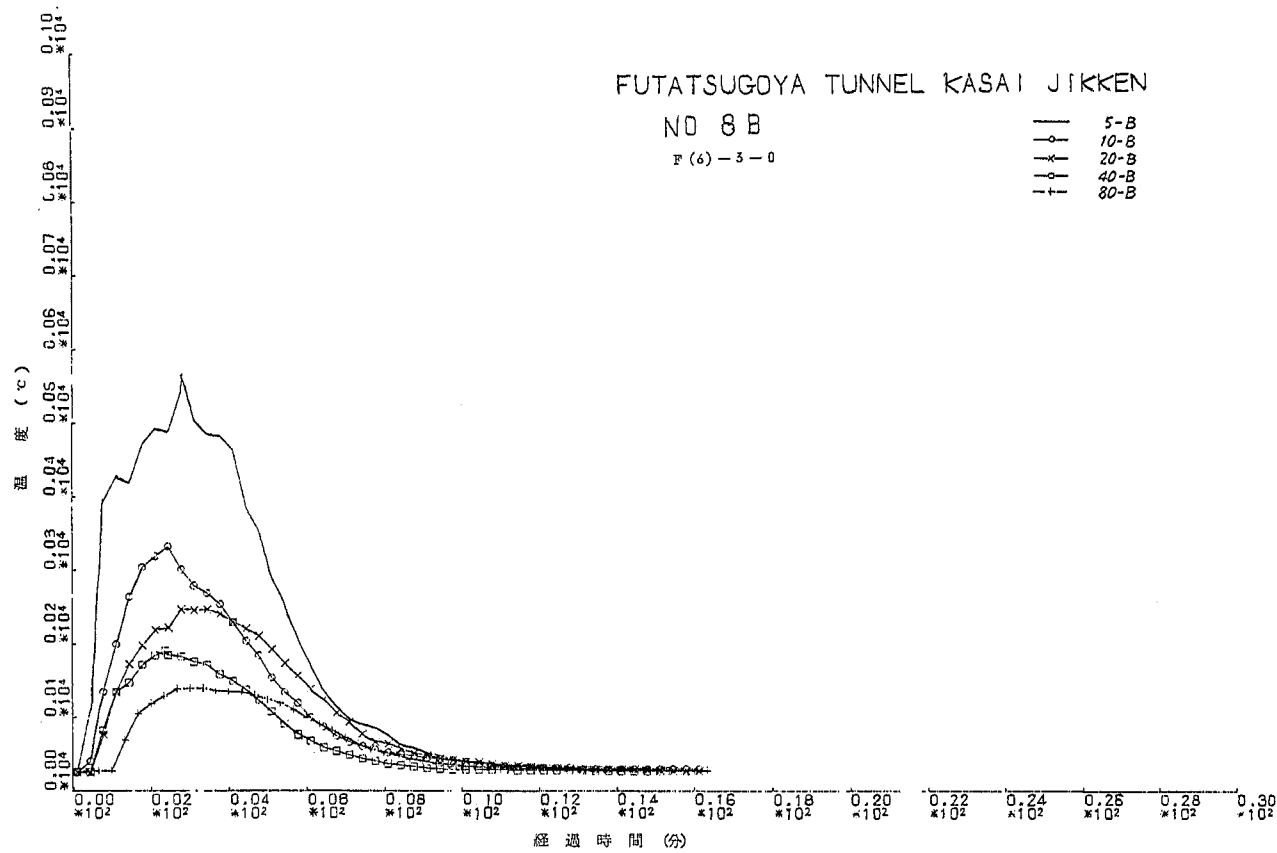
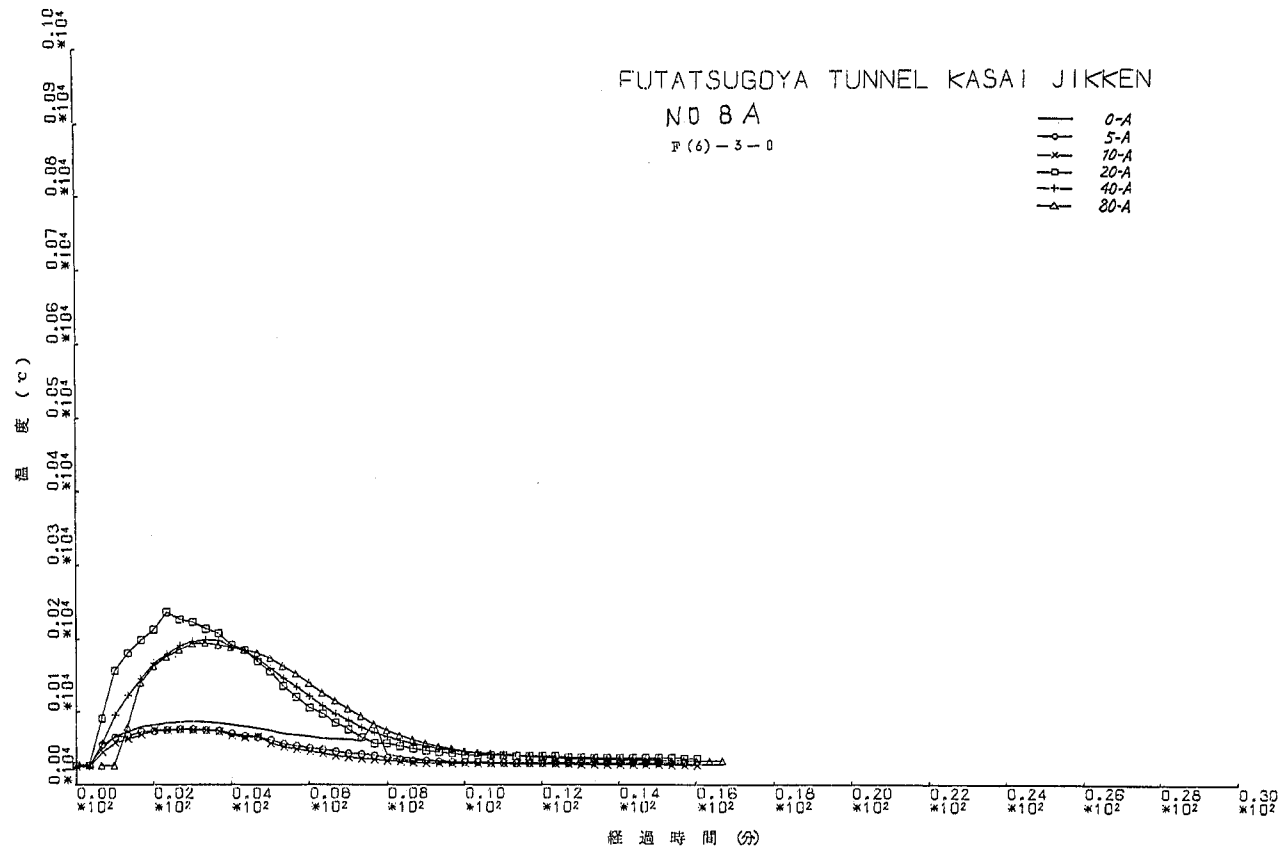


図-3.1 温度変化 (Test NO.7)



圖~33 溫度變化 (Test NO.8)



図~3 2 温度変化 (Test NO-8)

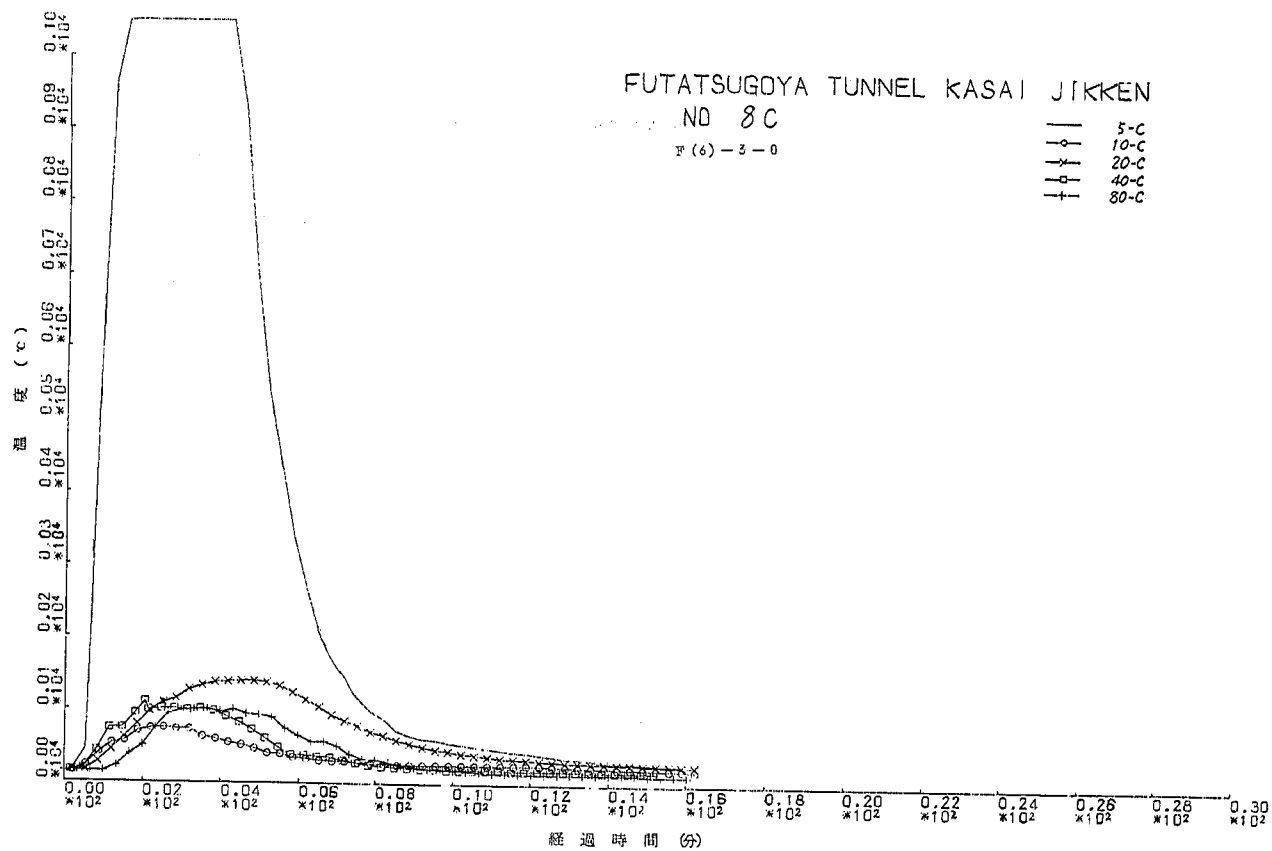


図-34 温度変化 (Test NO.8)

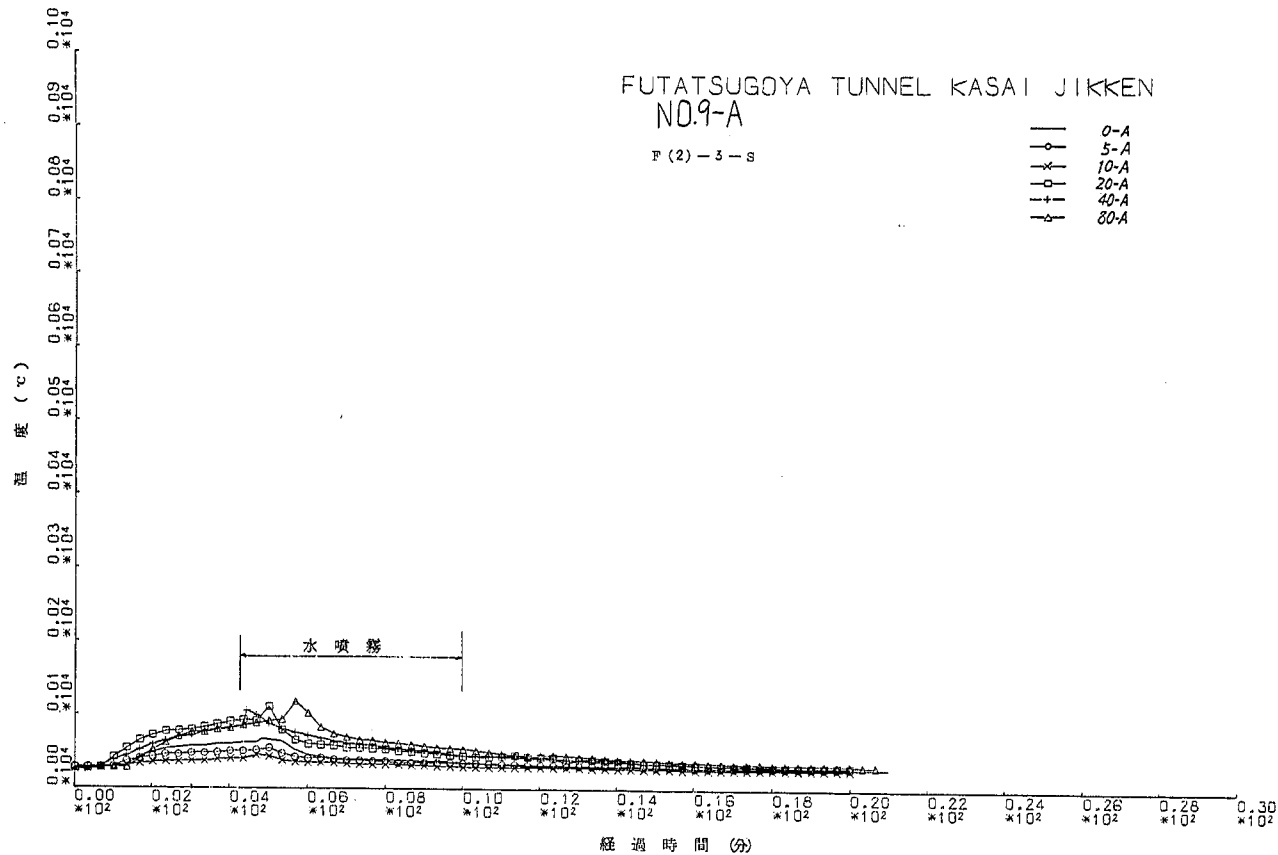
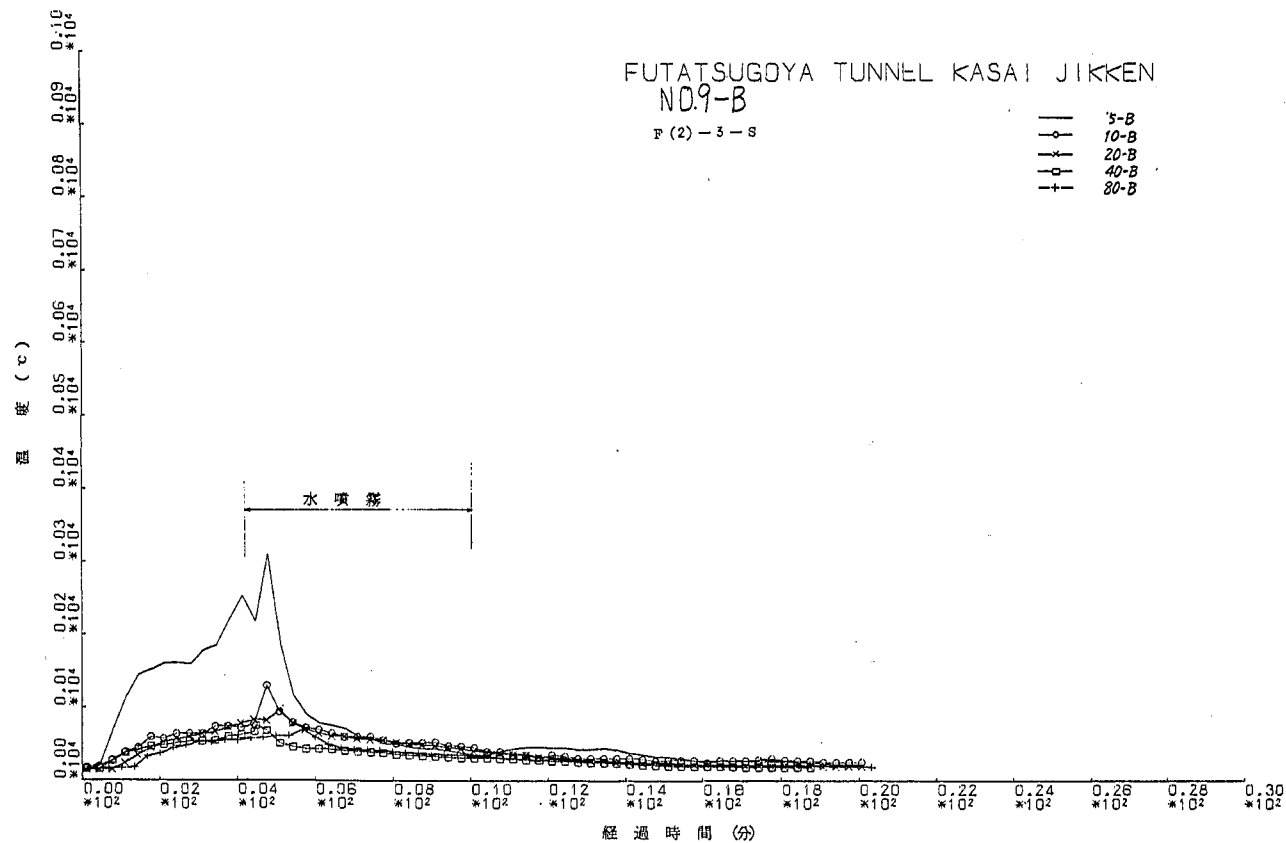


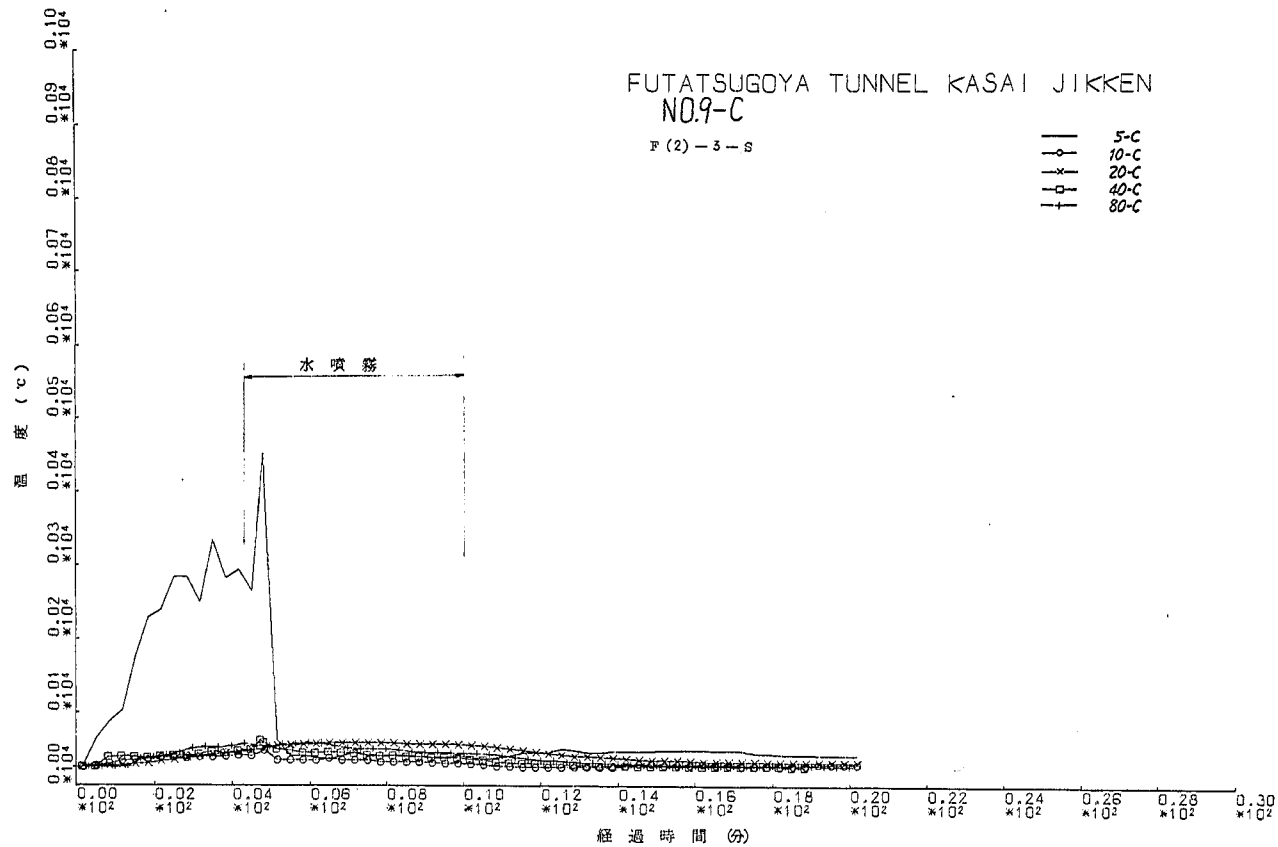
図-35 温度変化 (Test NO.9)

-97-



図~36 温度変化 (Test NO.9)

--77--



図~37 温度変化 (Test NO.9)

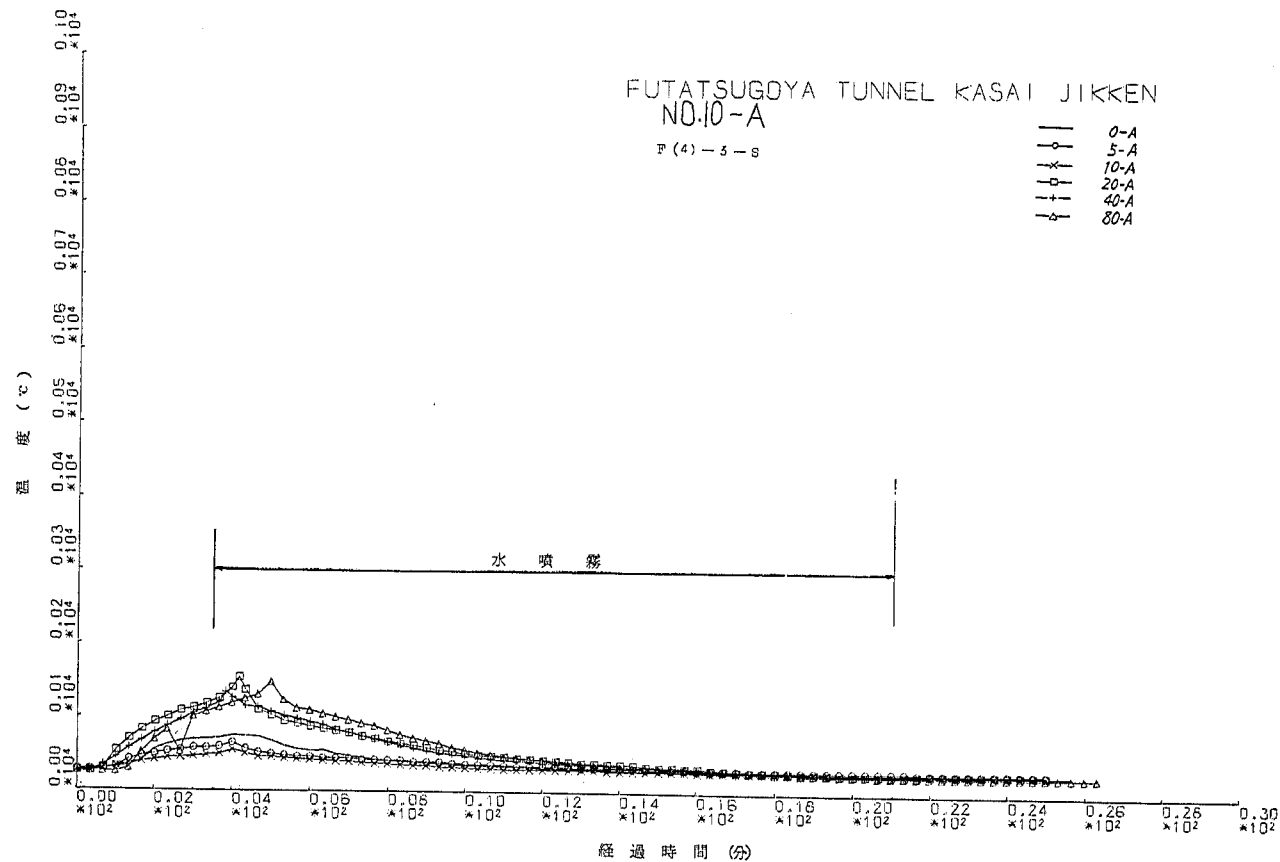


図-38 温度変化 (Test NO.10)

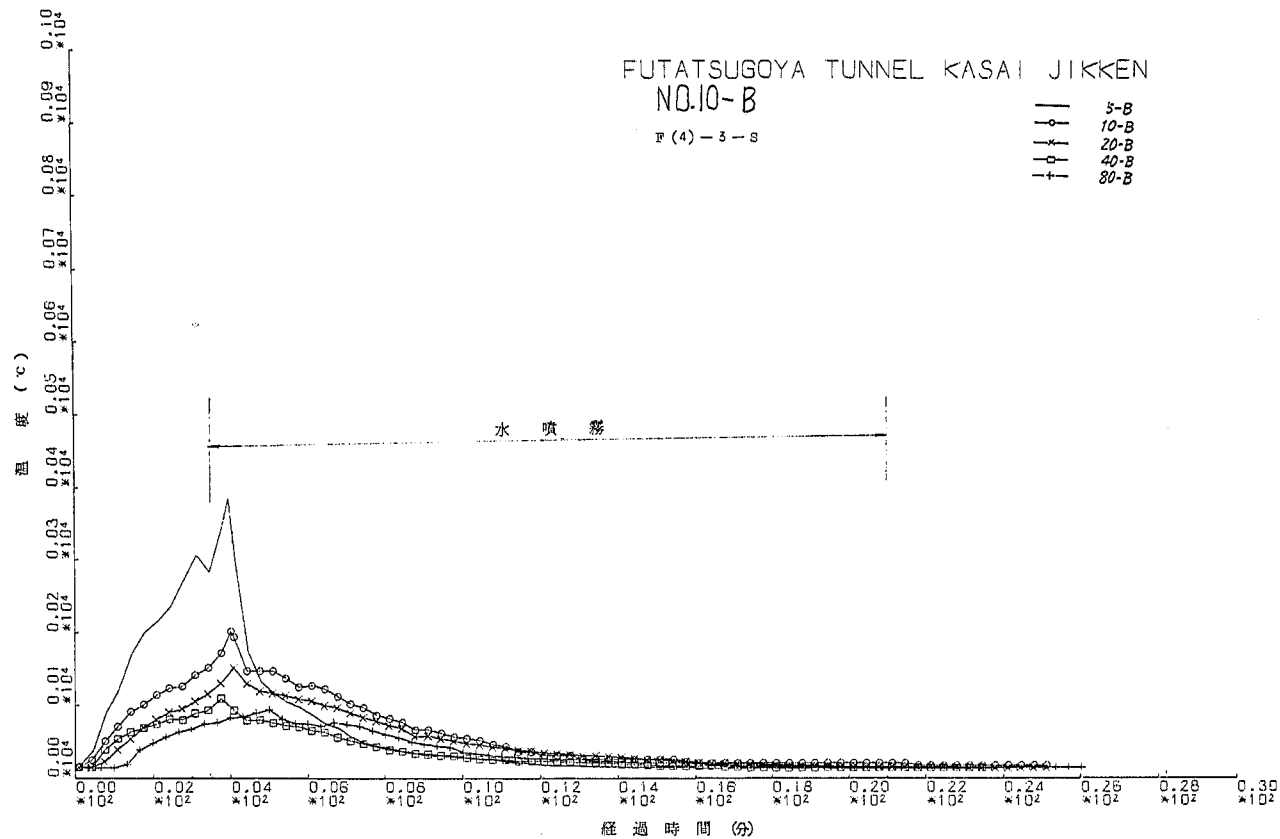
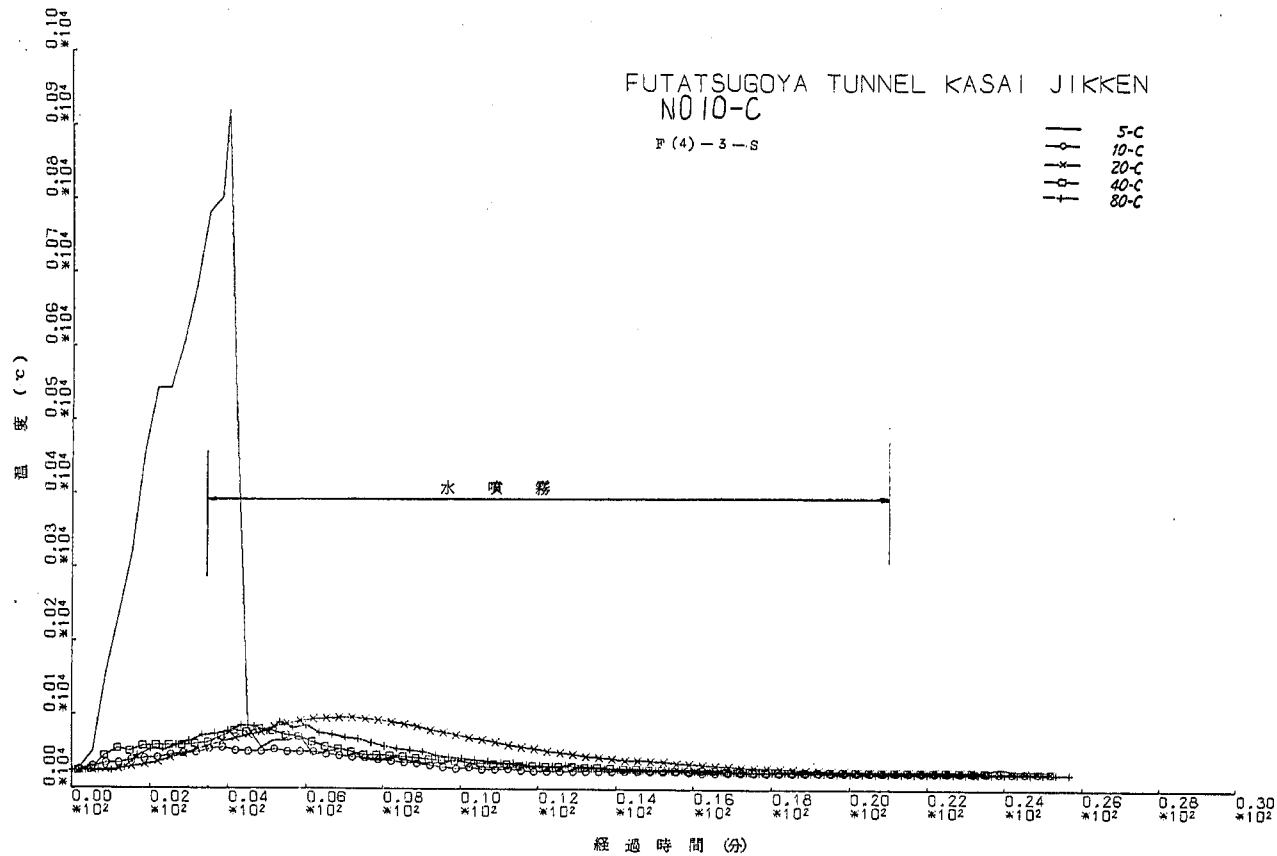
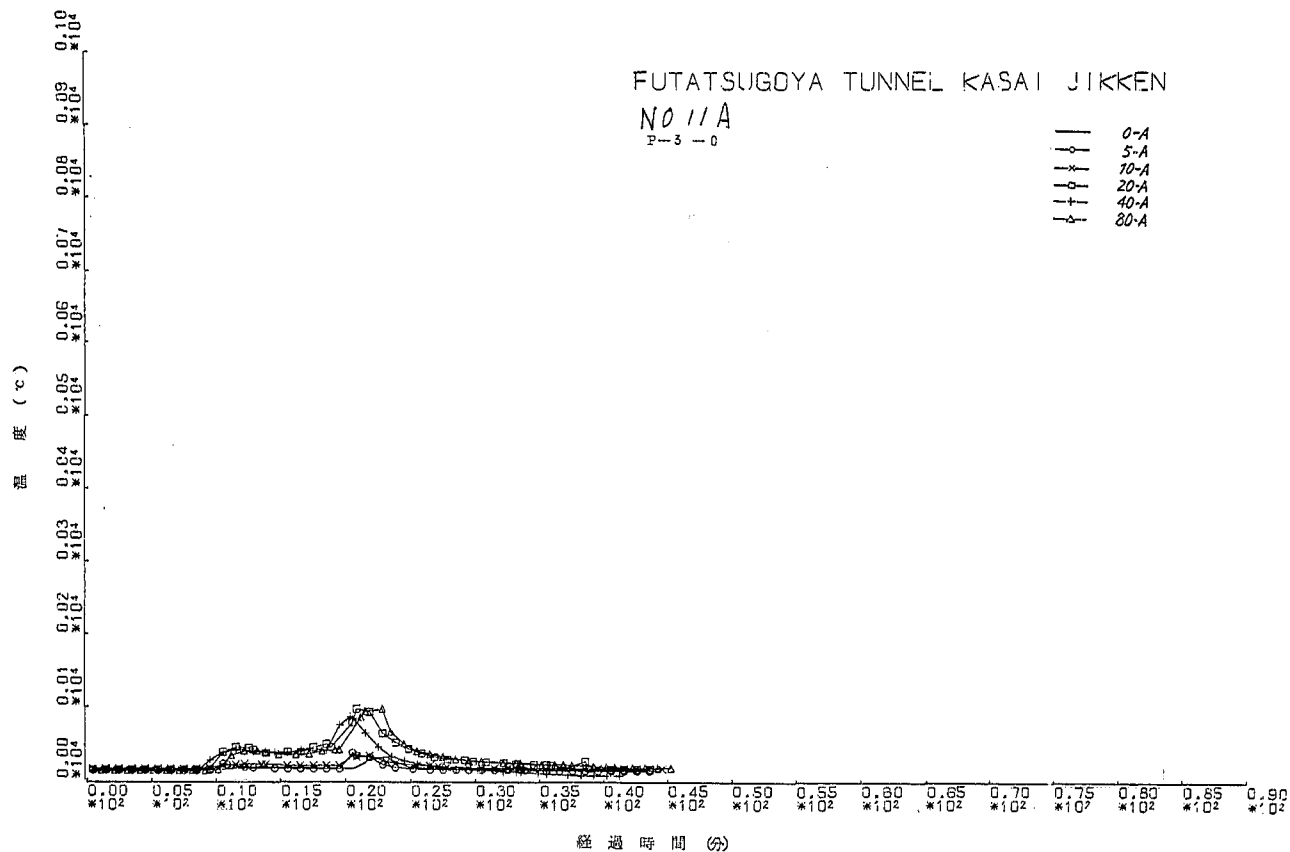


図-39 温度変化 (Test NO.10)

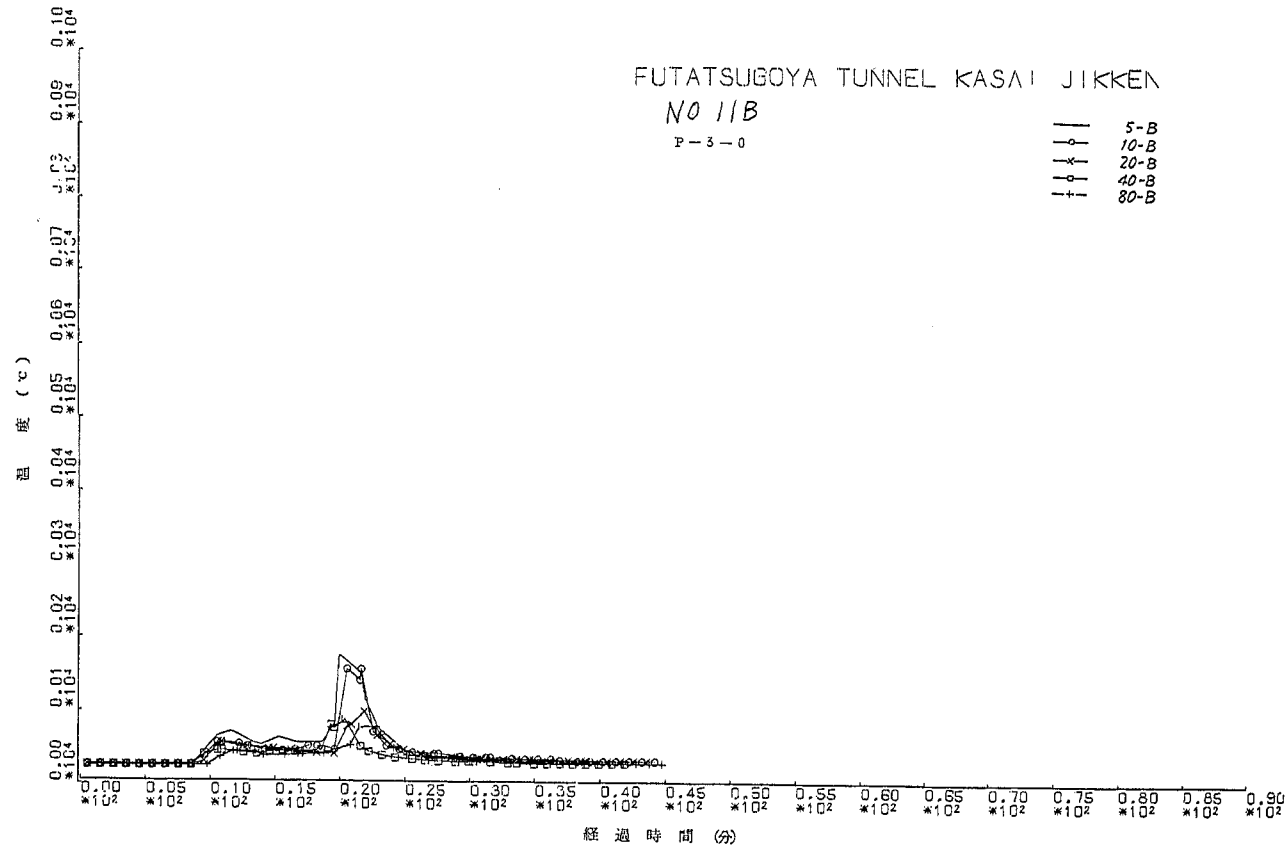
—08—



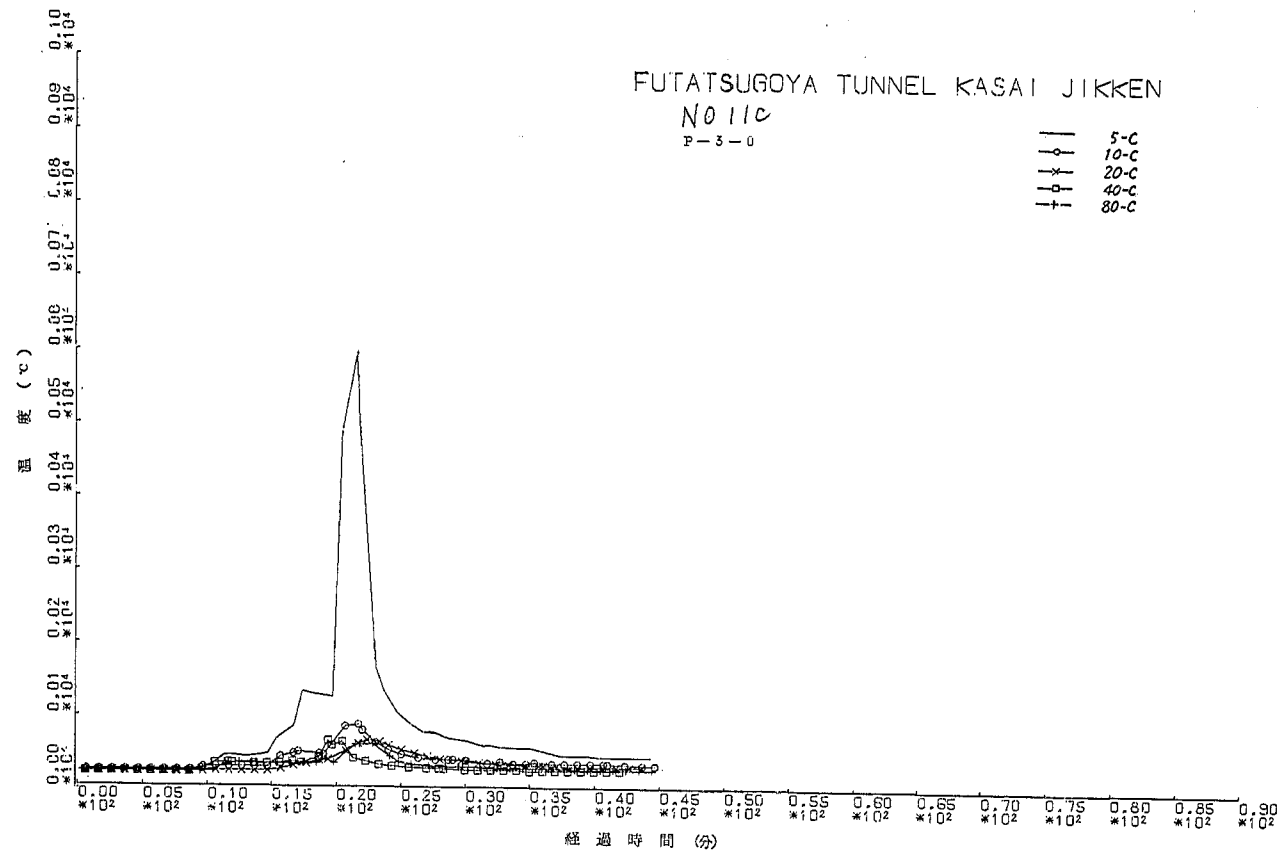
図~40 温度変化 (Test NO.10)



図~4 1 温度変化 (Test NO.11)



図~4 2 温度変化 (Test NO.11)

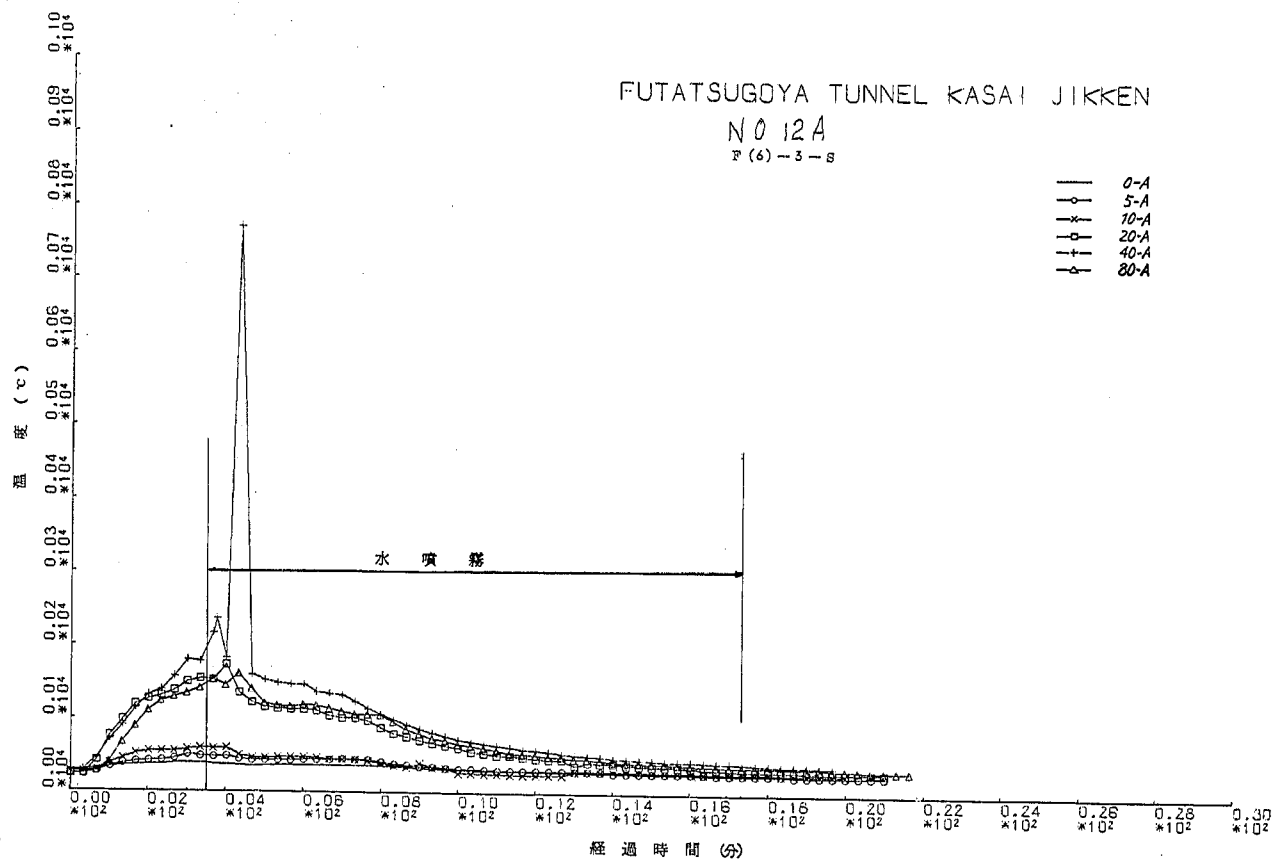


図~43 温度変化 (Test NO.11)

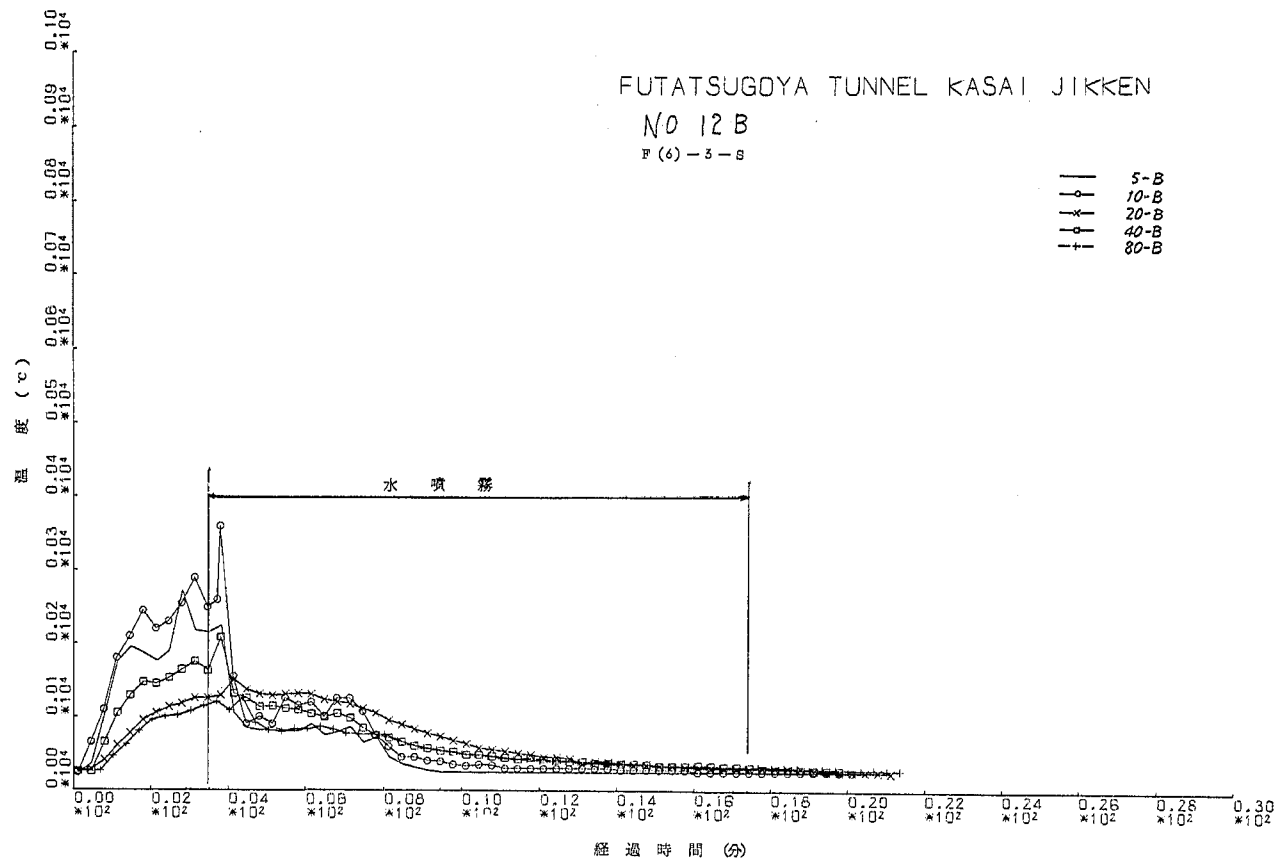
FUTATSUGOYA TUNNEL KASAI JIKKEN

NO 12A

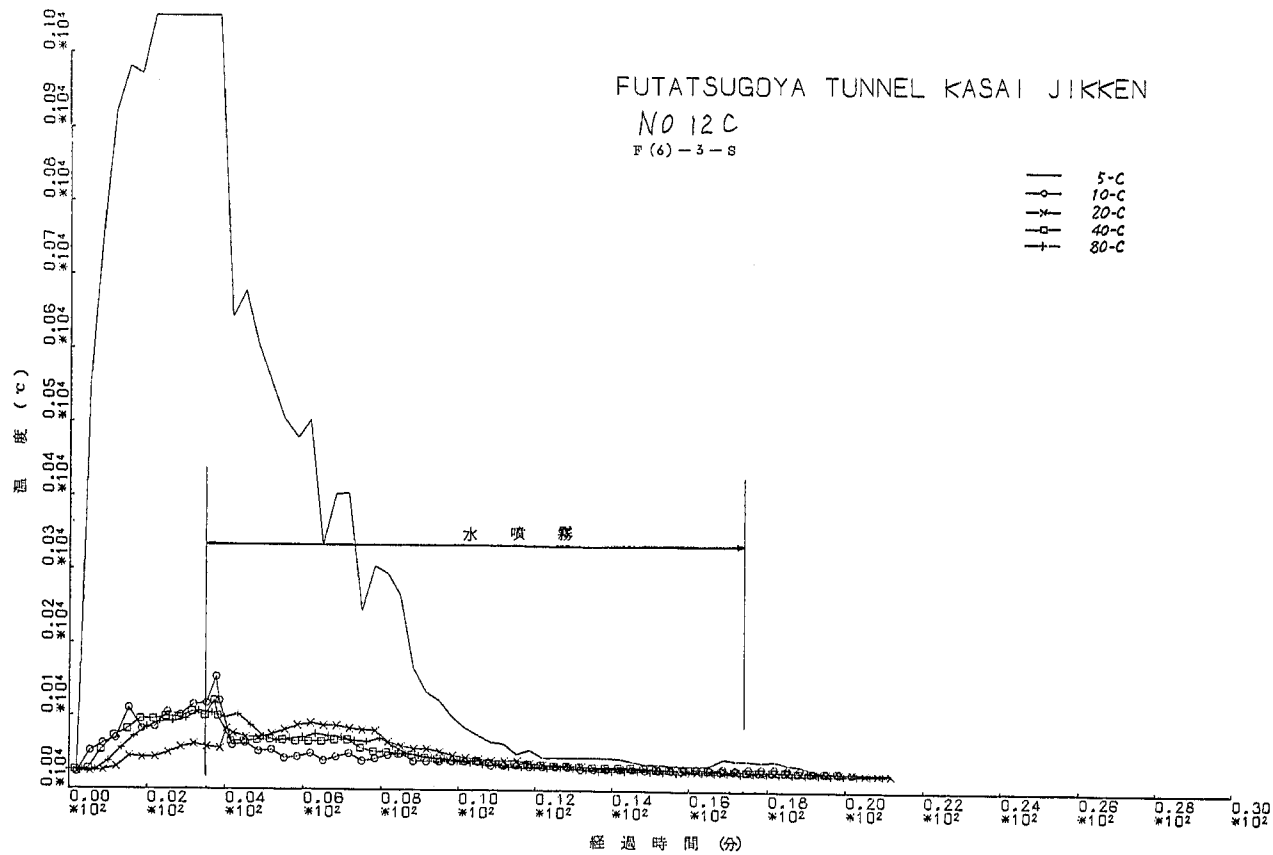
F (6) - 3 - 8



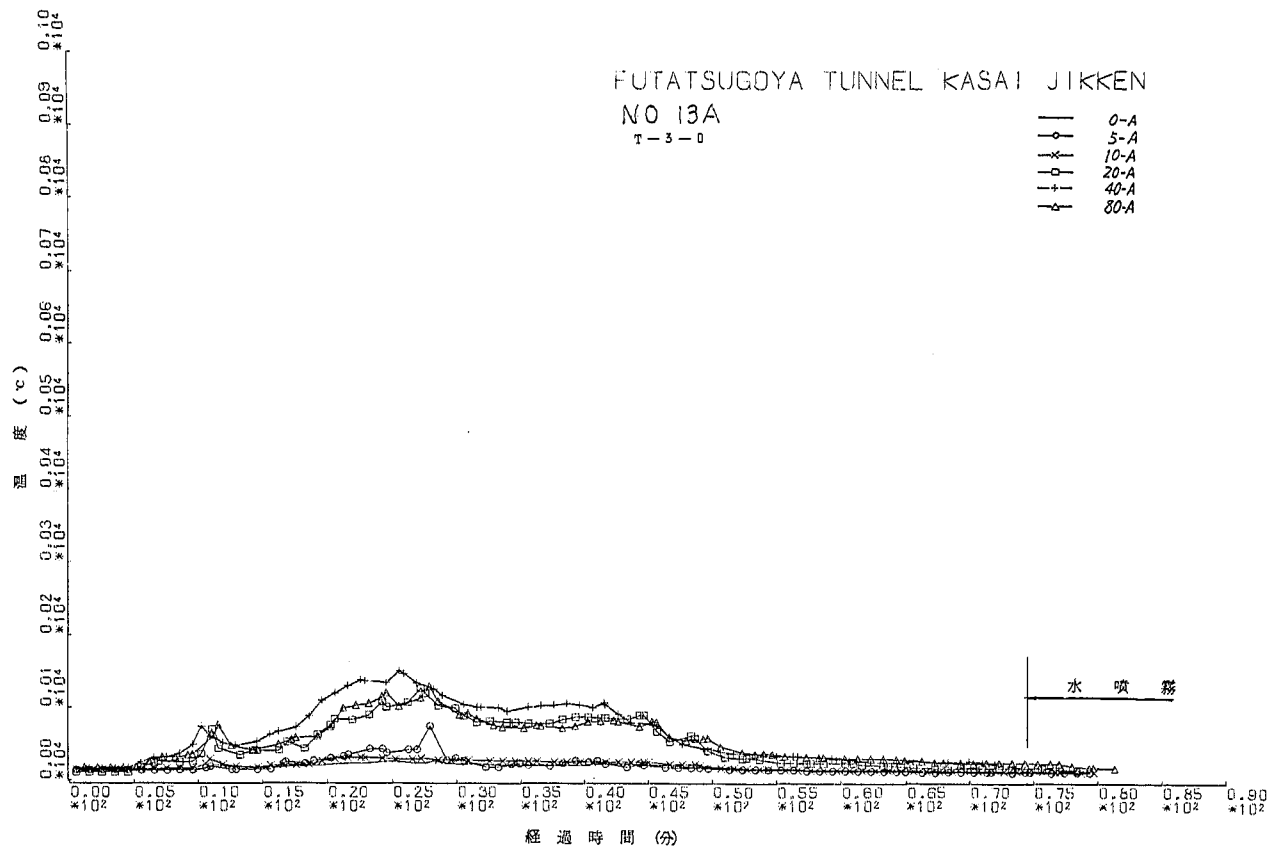
図~4.4 温度変化 (Test NO.12)



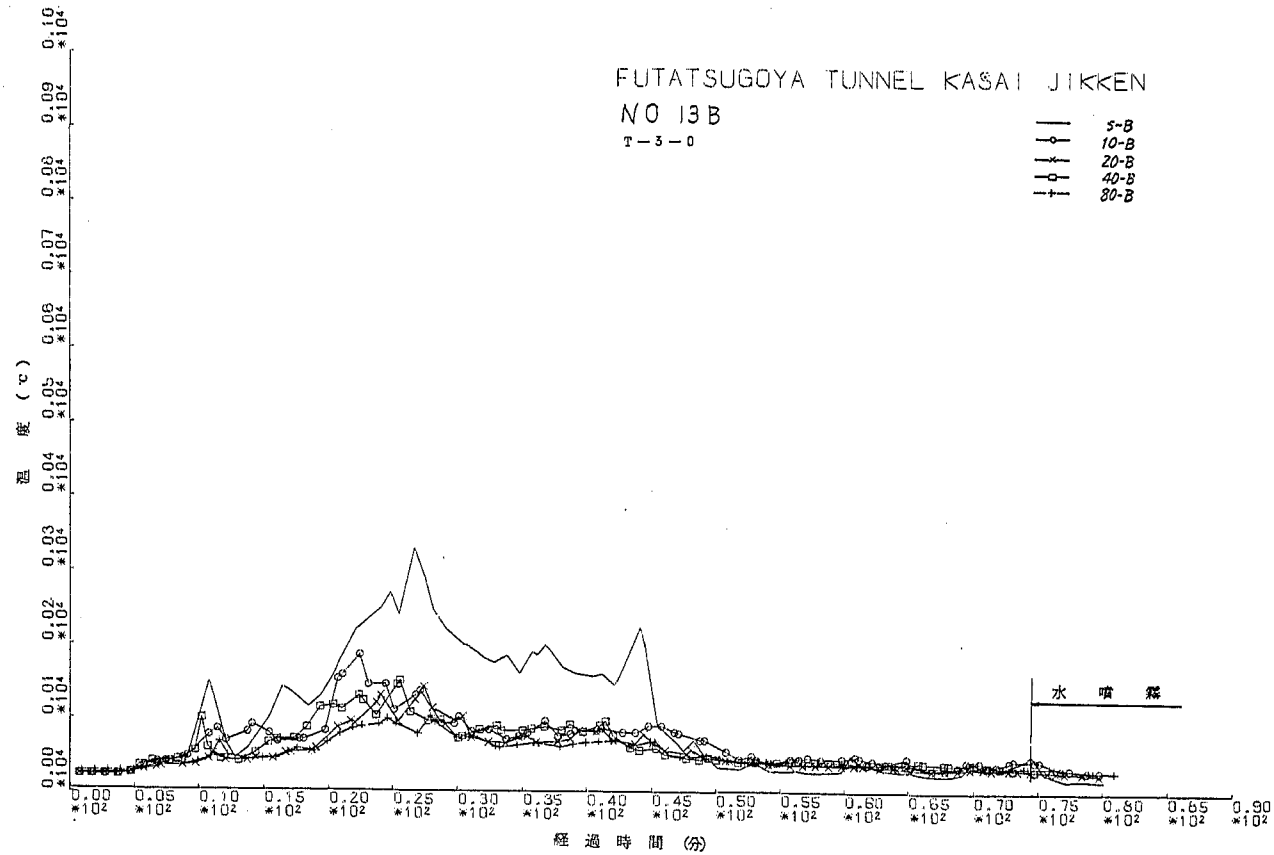
図~4 5 温度変化 (Test NO.12)



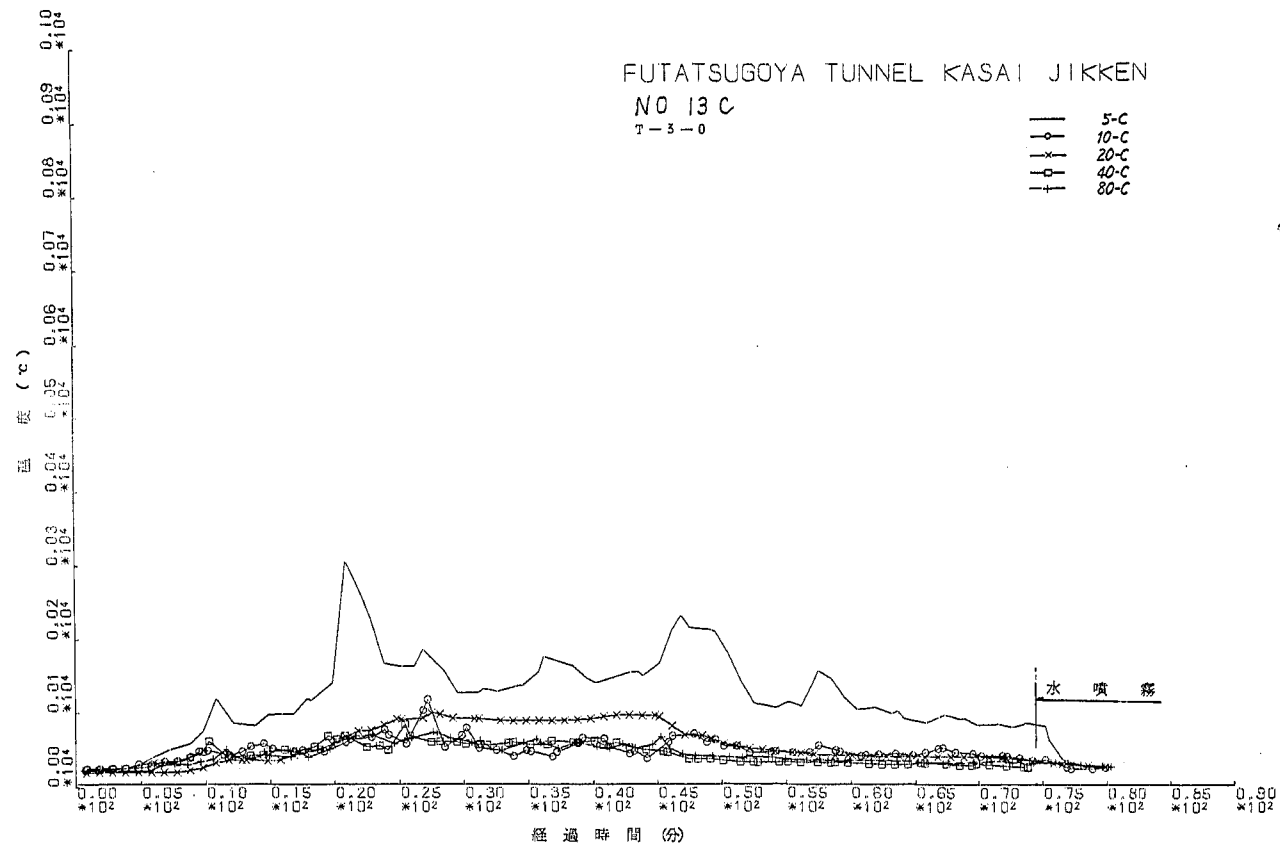
図~4 6 温度変化 (Test NO-12)



図~47 温度変化 (Test NO.13)

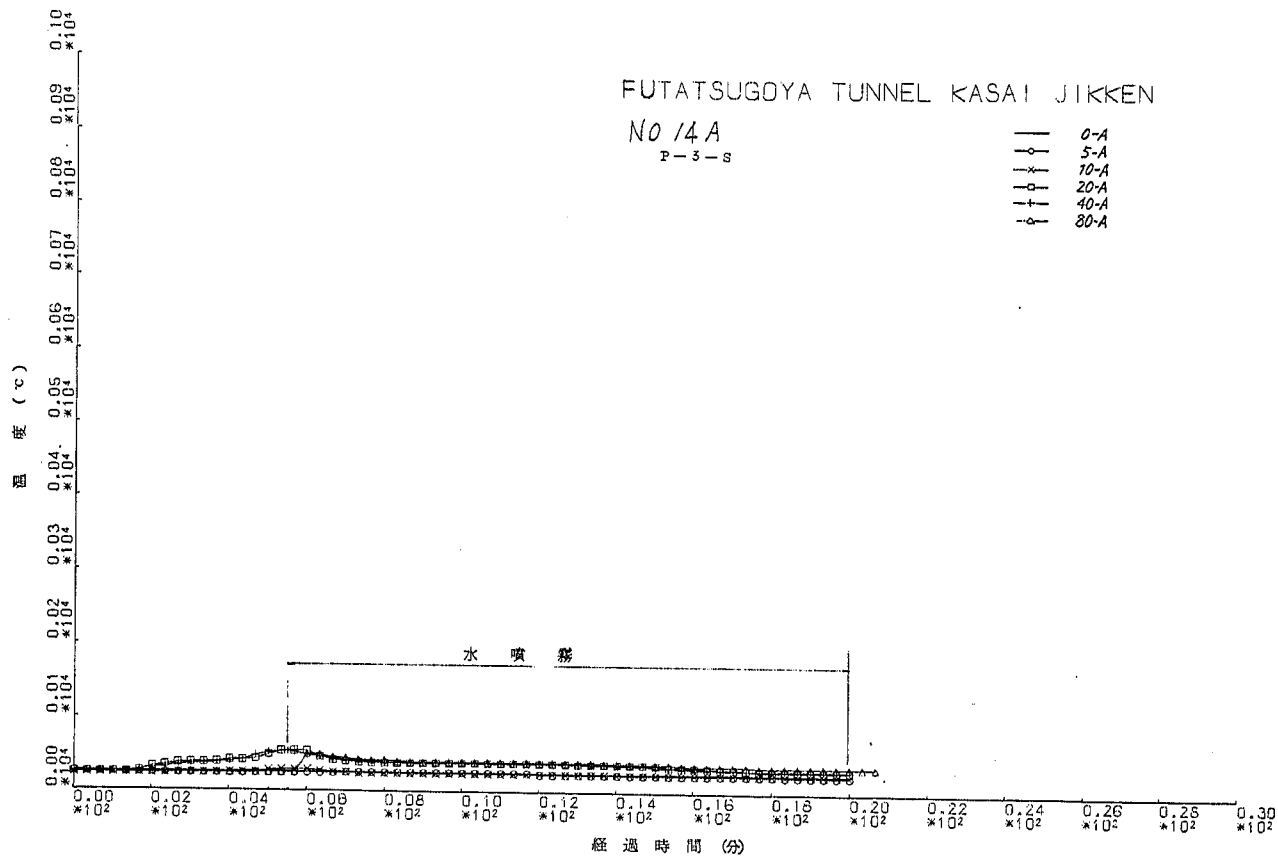


図~48 温度変化 (Test NO.13)

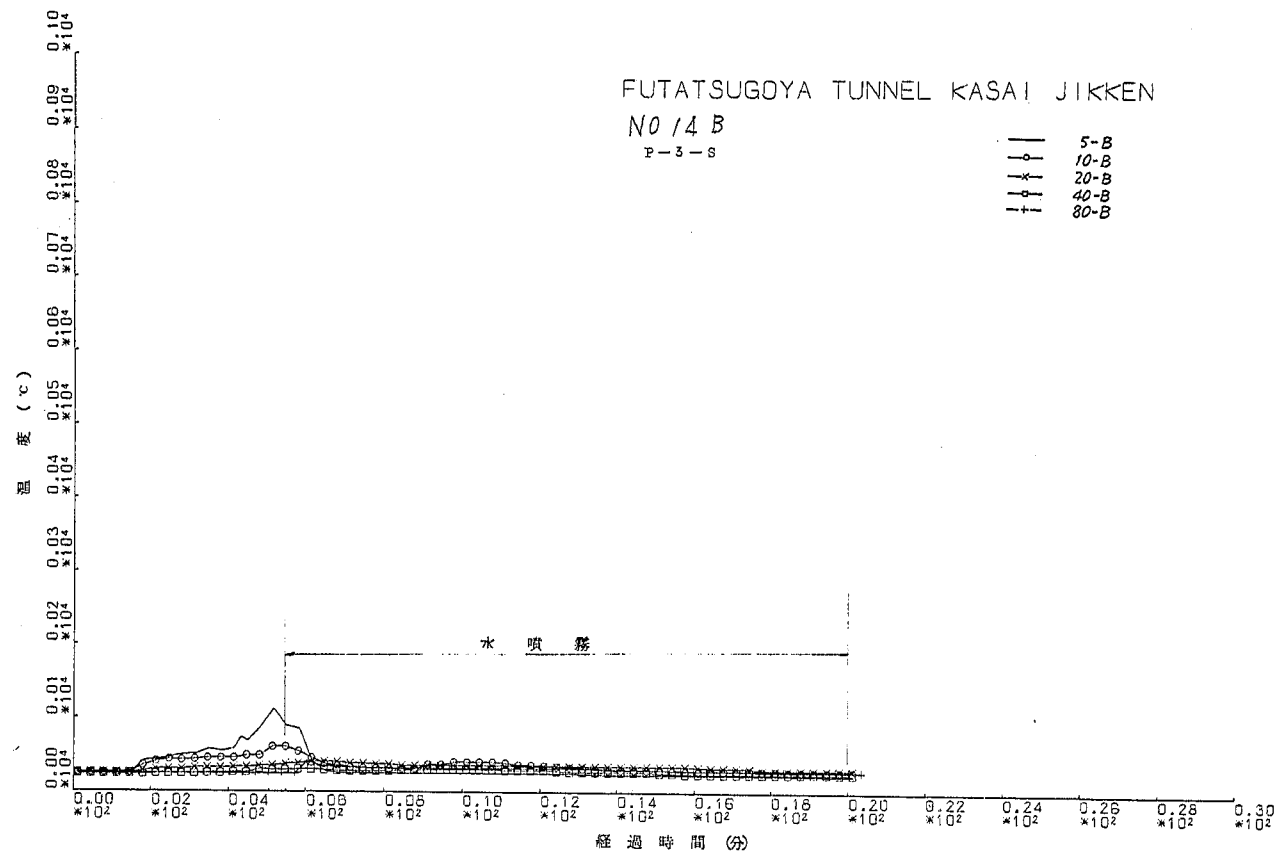


図~49 温度変化 (Test NO.13)

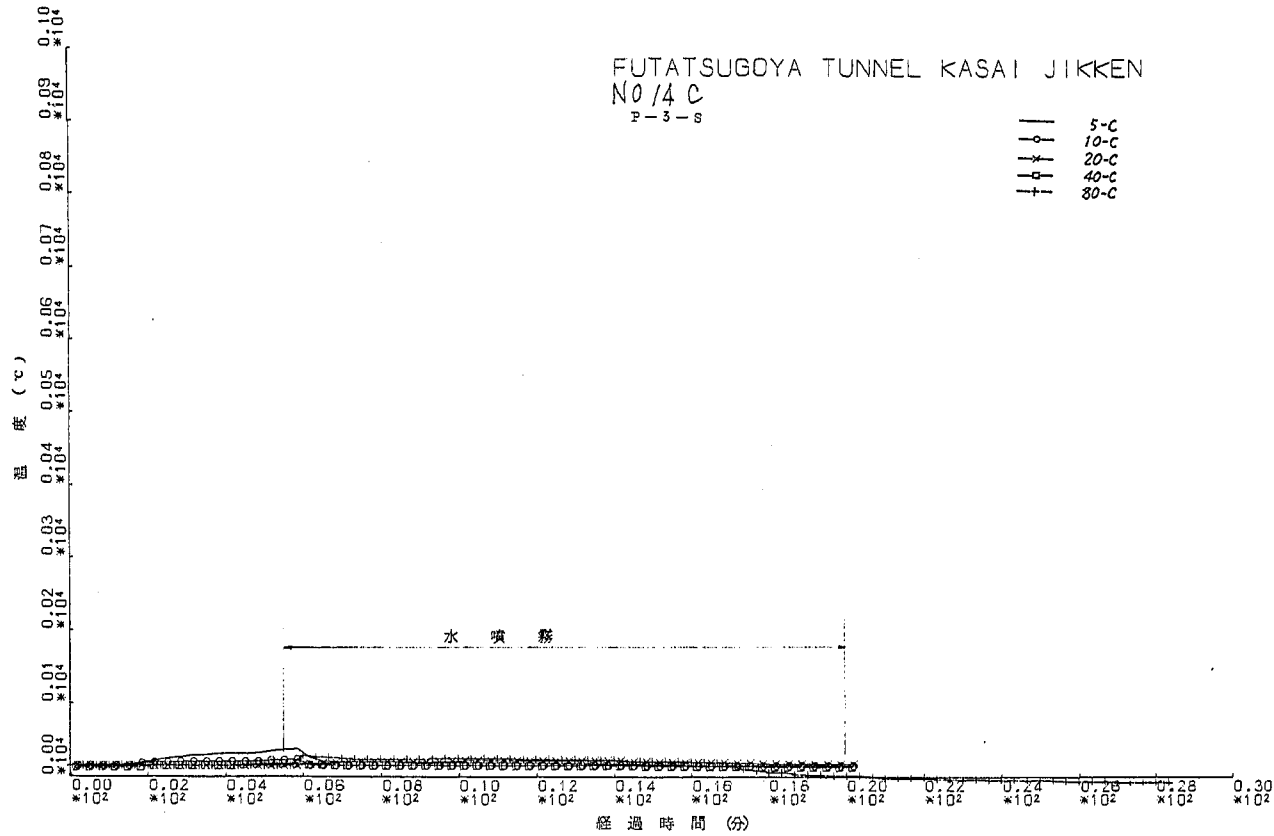
—06—



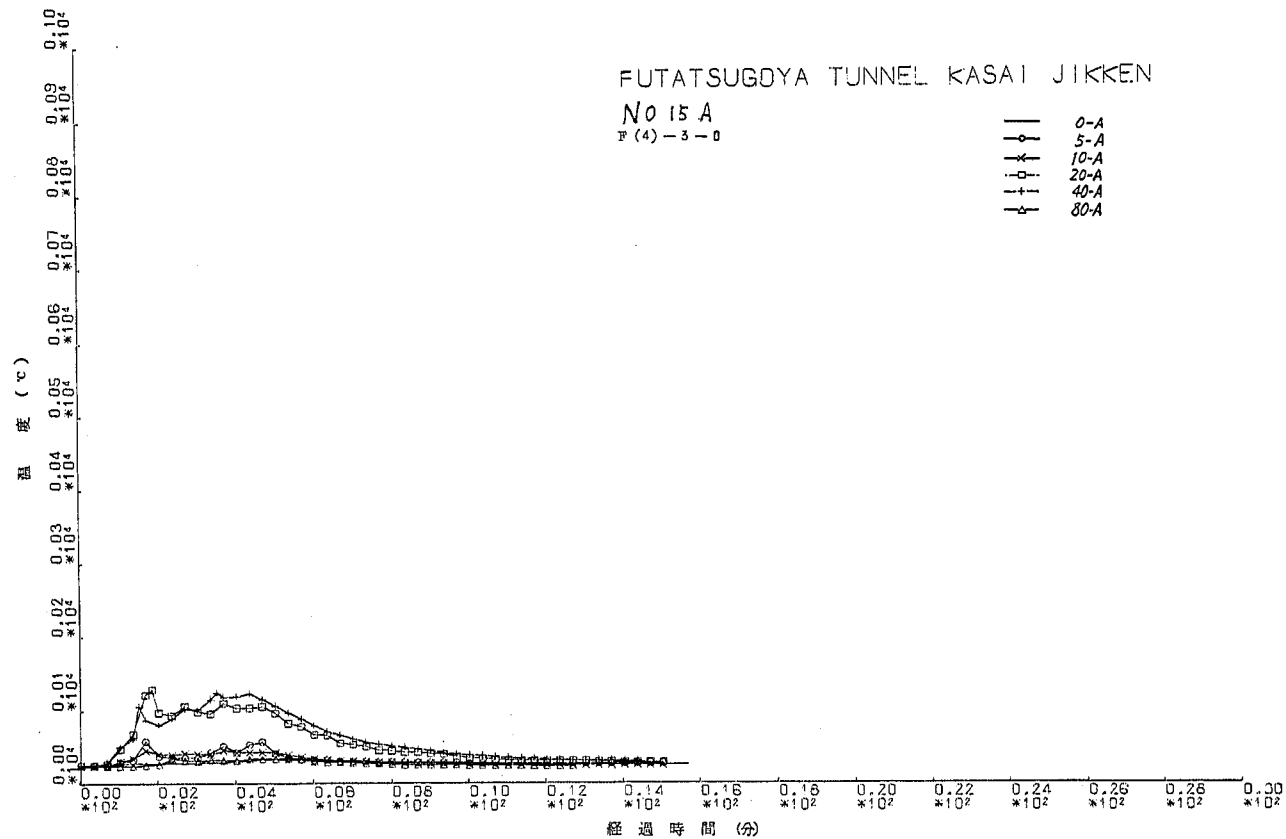
図~50 溫度變化 (Test NO.14)



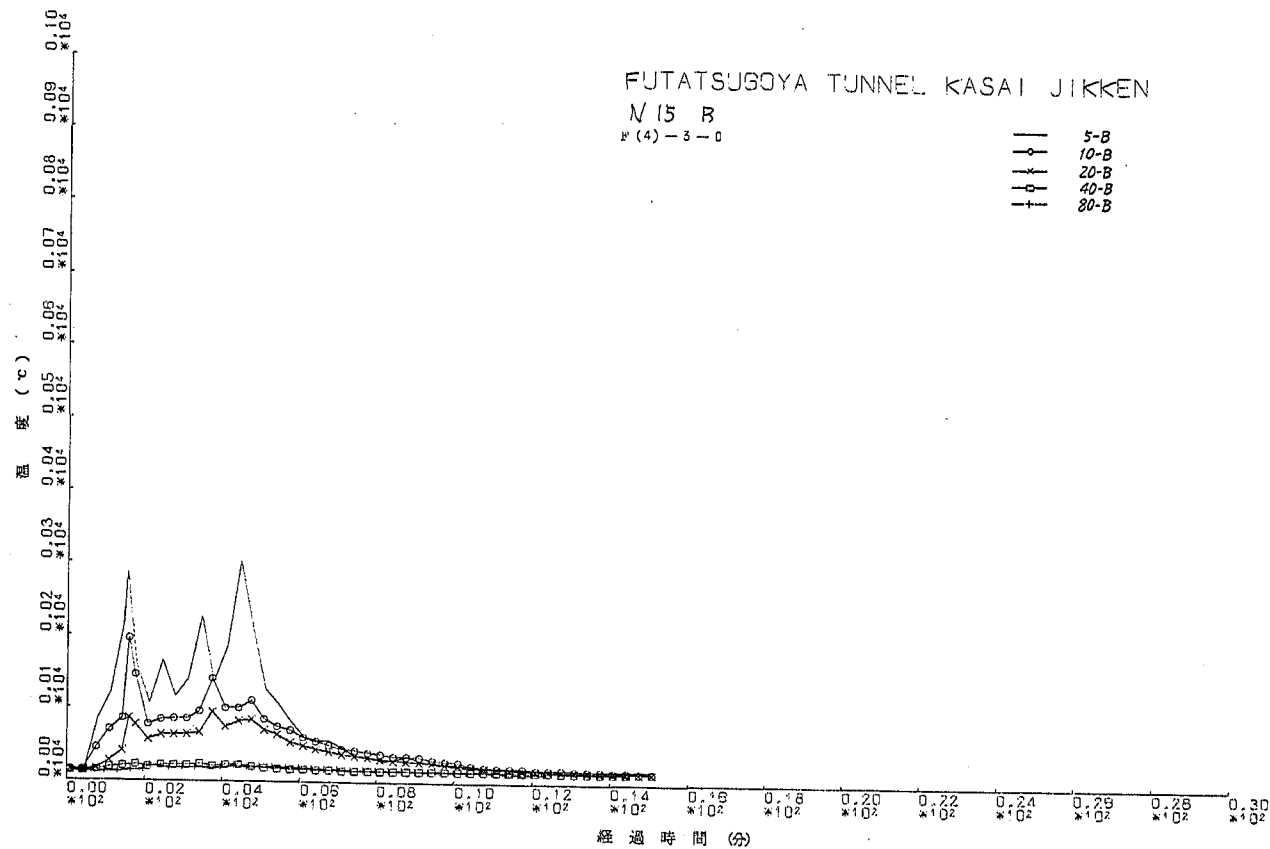
図~51 温度変化 (Test NO.14)



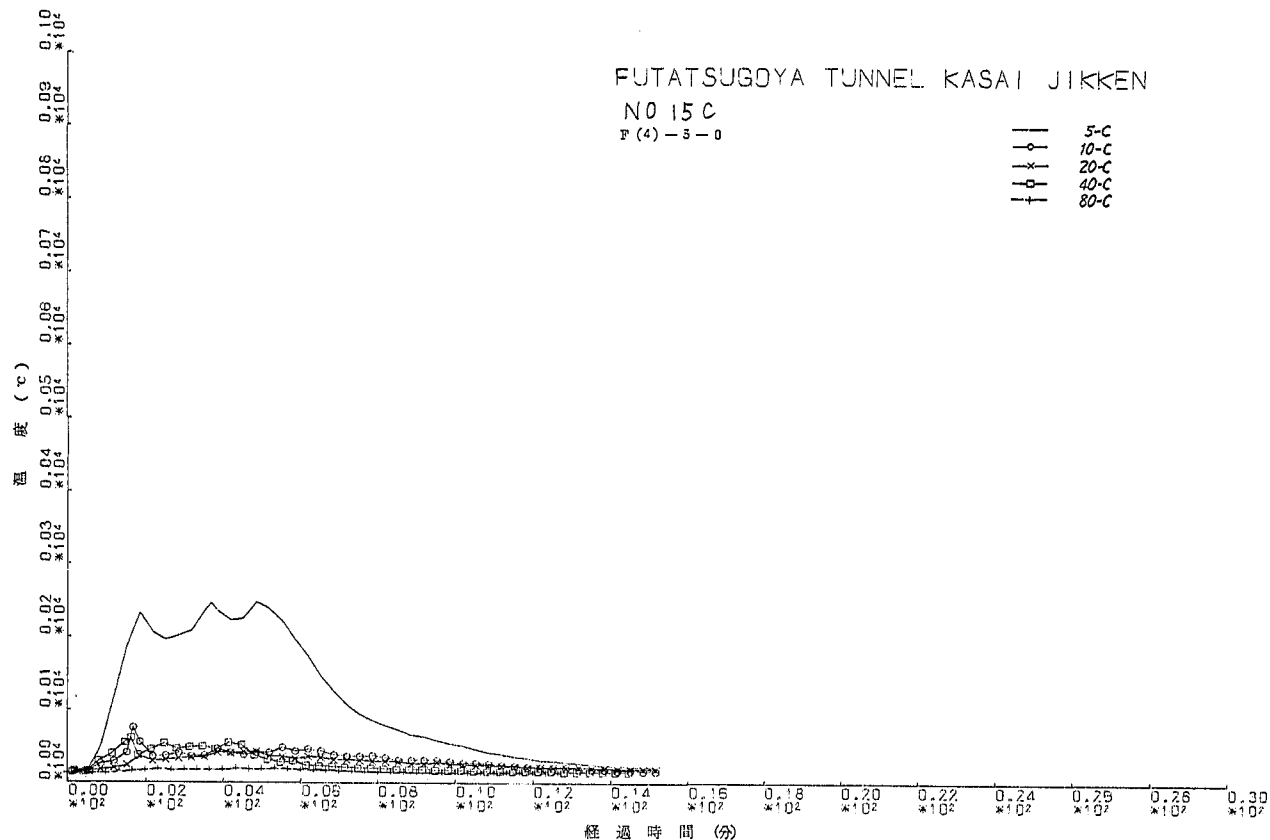
図~5.2 溫度変化 (Test NO.14)



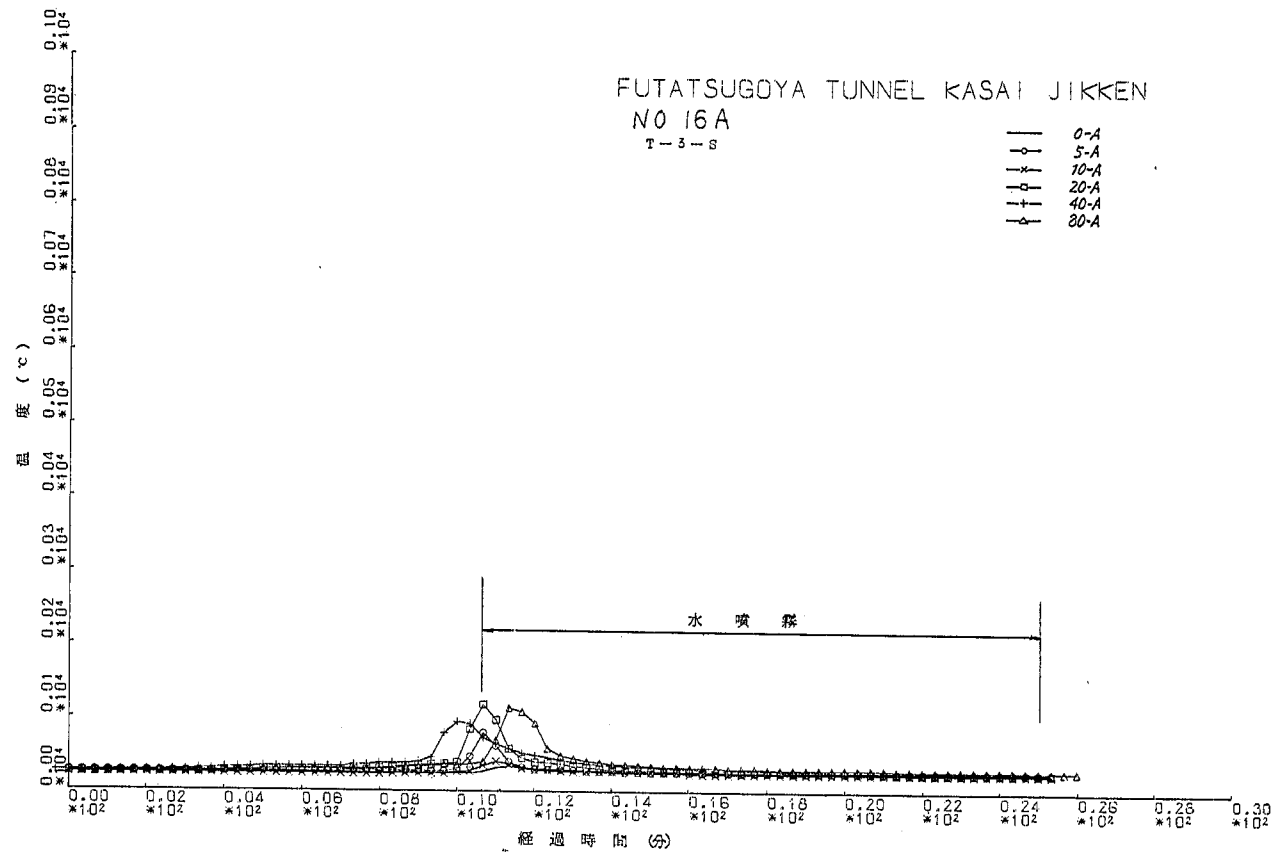
図~53 温度変化 (Test NO-15)



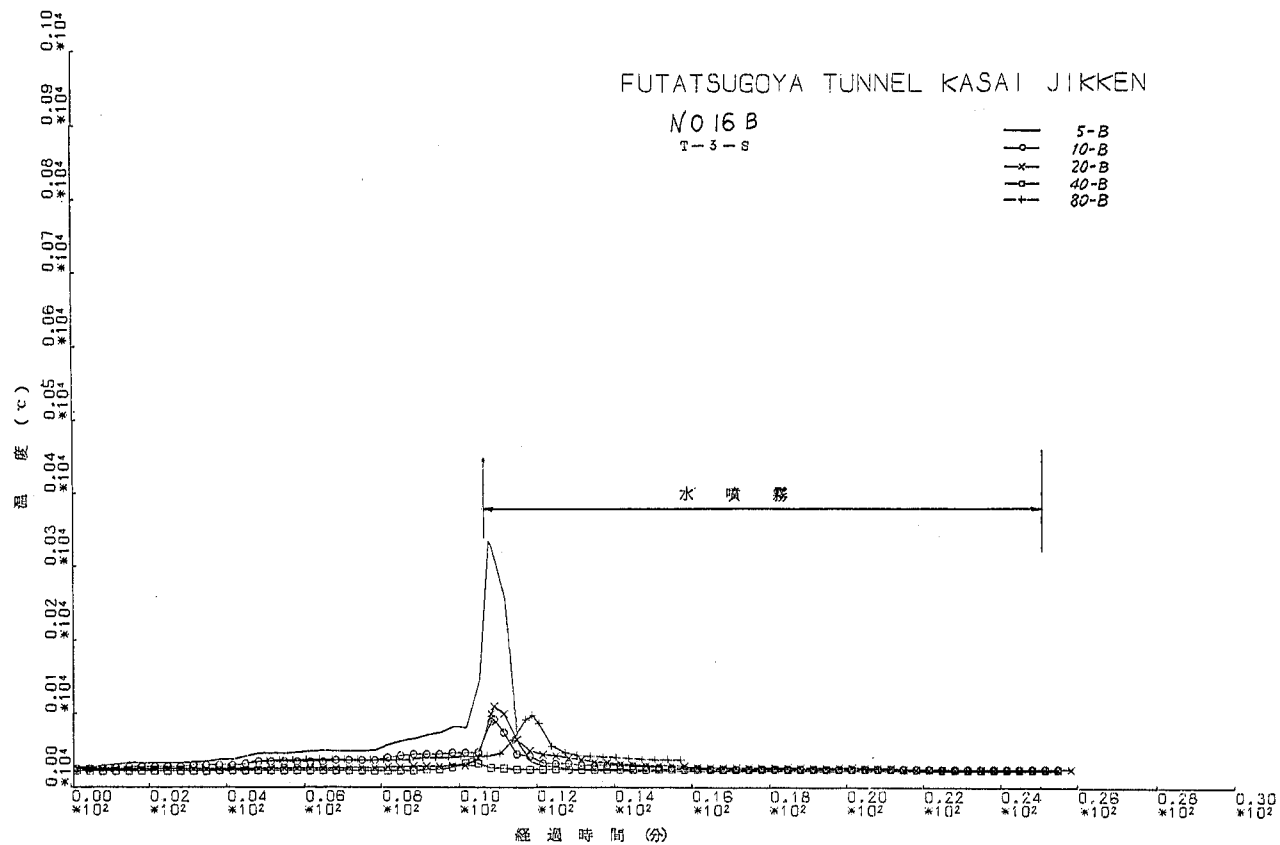
図~5 4 温度変化 (Test NO.15)



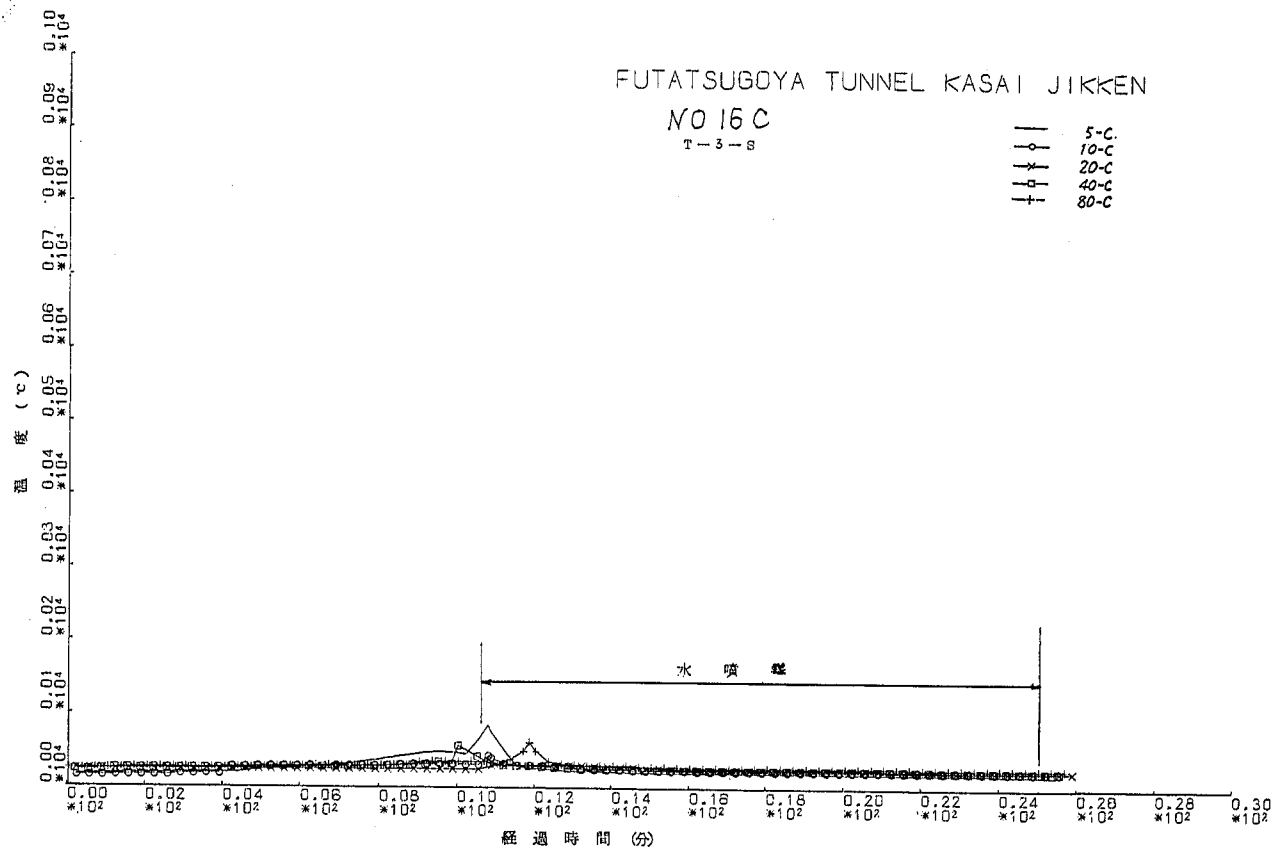
図~5 5 温度変化 (Test NO.15)



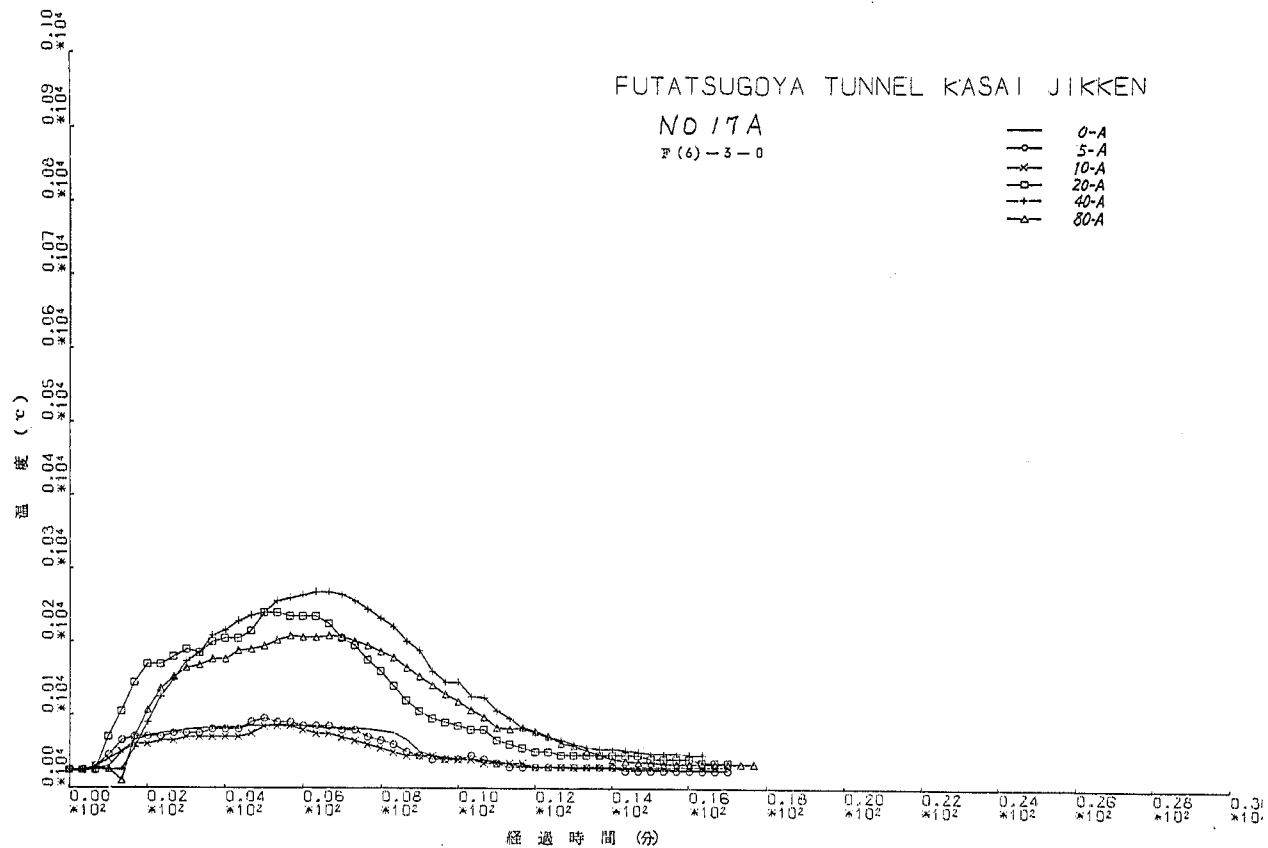
図~56 温度変化 (Test NO.16)



図~57 温度変化 (Test NO.16)



圖~58 溫度變化 (Test NO-16)

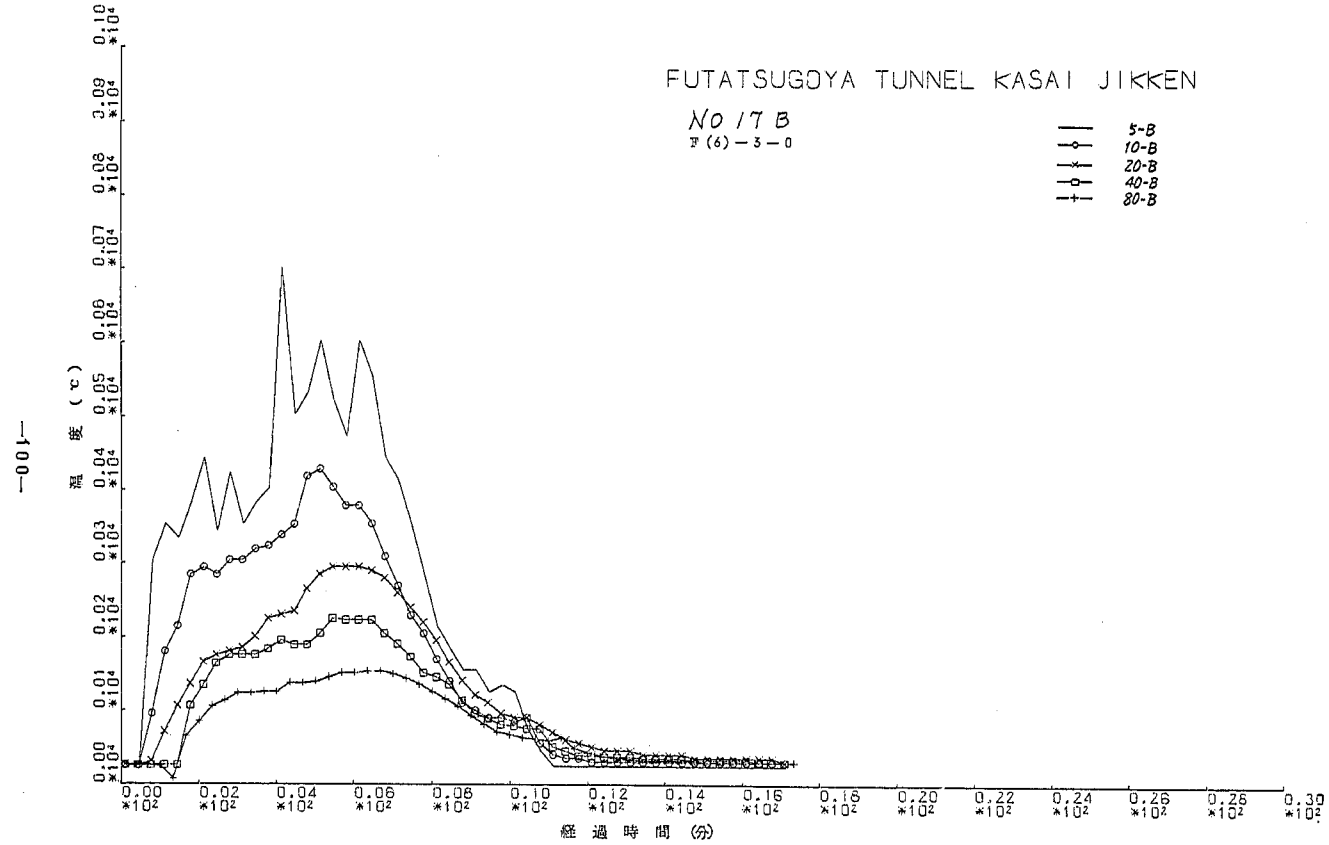


図~59 温度変化 (Test NO.17)

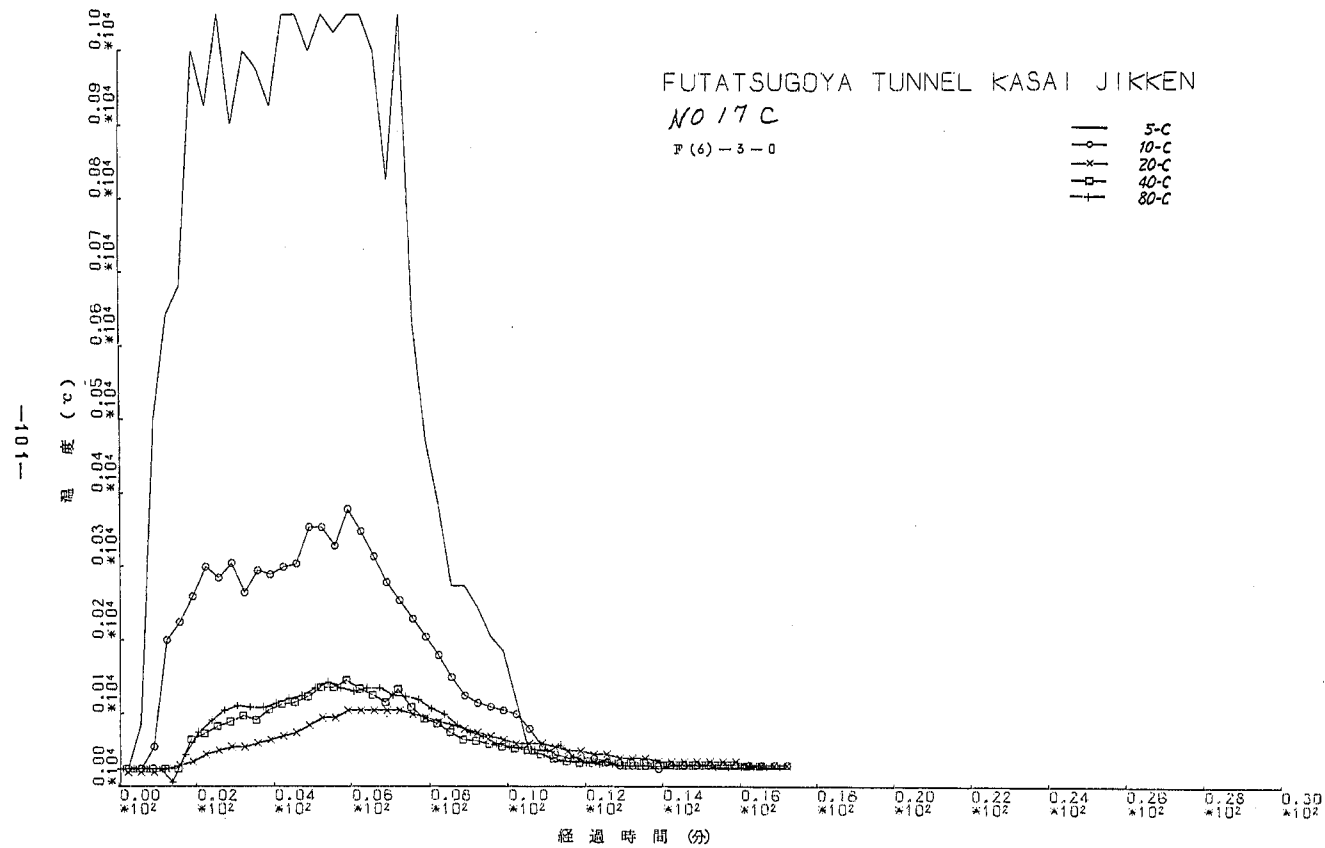
FUTATSUGOYA TUNNEL KASAI JIKKEN

No 17 B
F (6) - 3 - 0

— 5-B
—○— 10-B
—×— 20-B
—□— 40-B
—+— 80-B



図~60 温度変化 (Test NO.17)



図~6 1 温度変化 (Test NO.17)

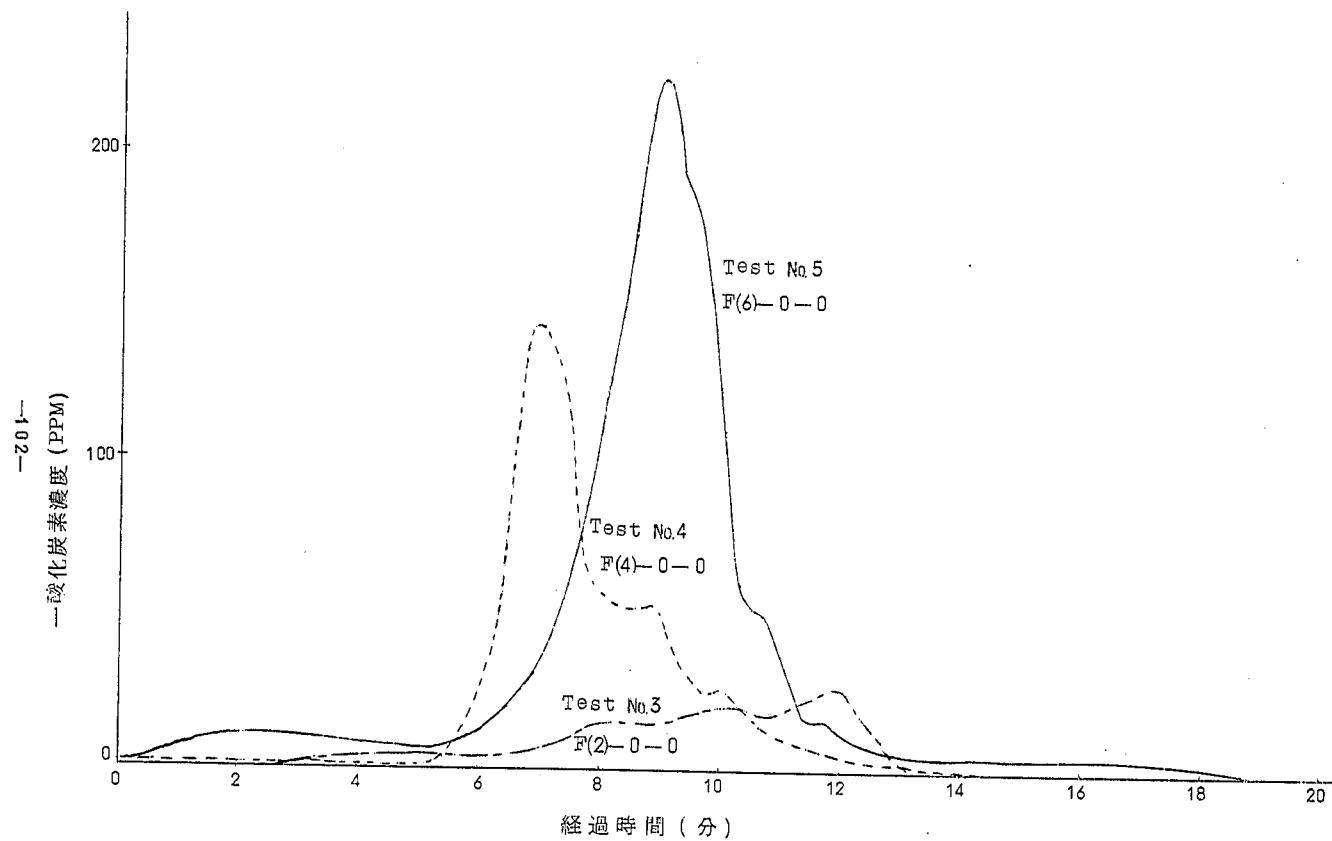


圖-62 一酸化炭素濃度 (風速 0 m/sec, 火皿)

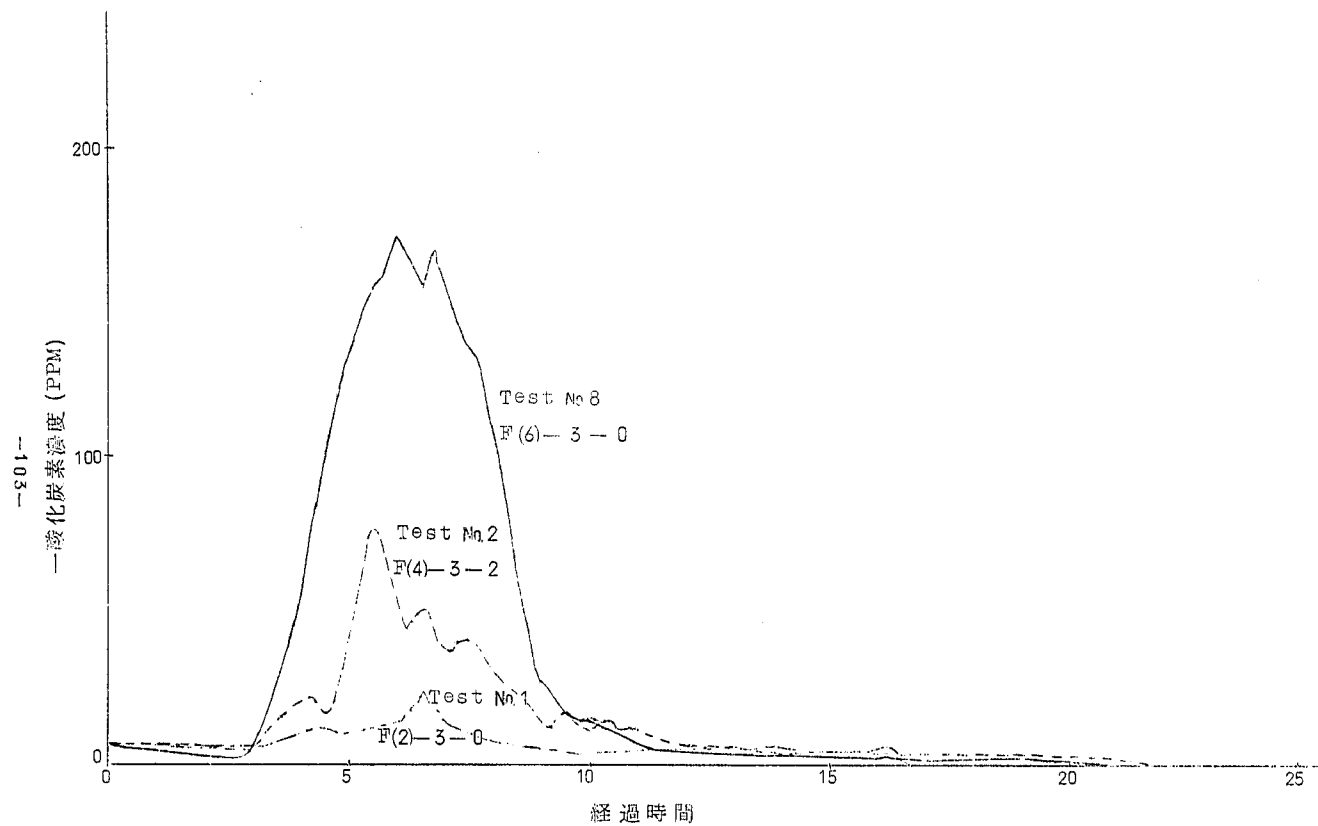


図-63 一酸化炭素濃度 (風速 3 m/sec, 火皿)

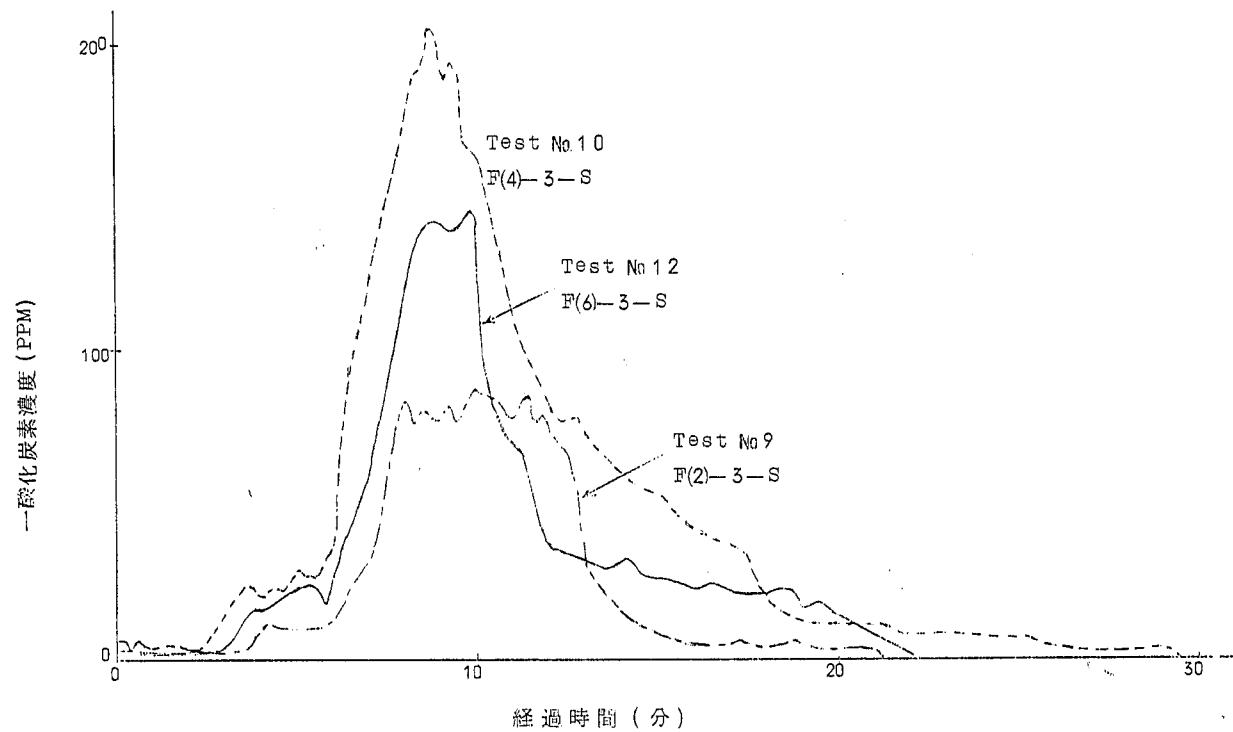


圖-64 一酸化炭素濃度 (風速 3 m/sec, 火皿, 水噴霧)

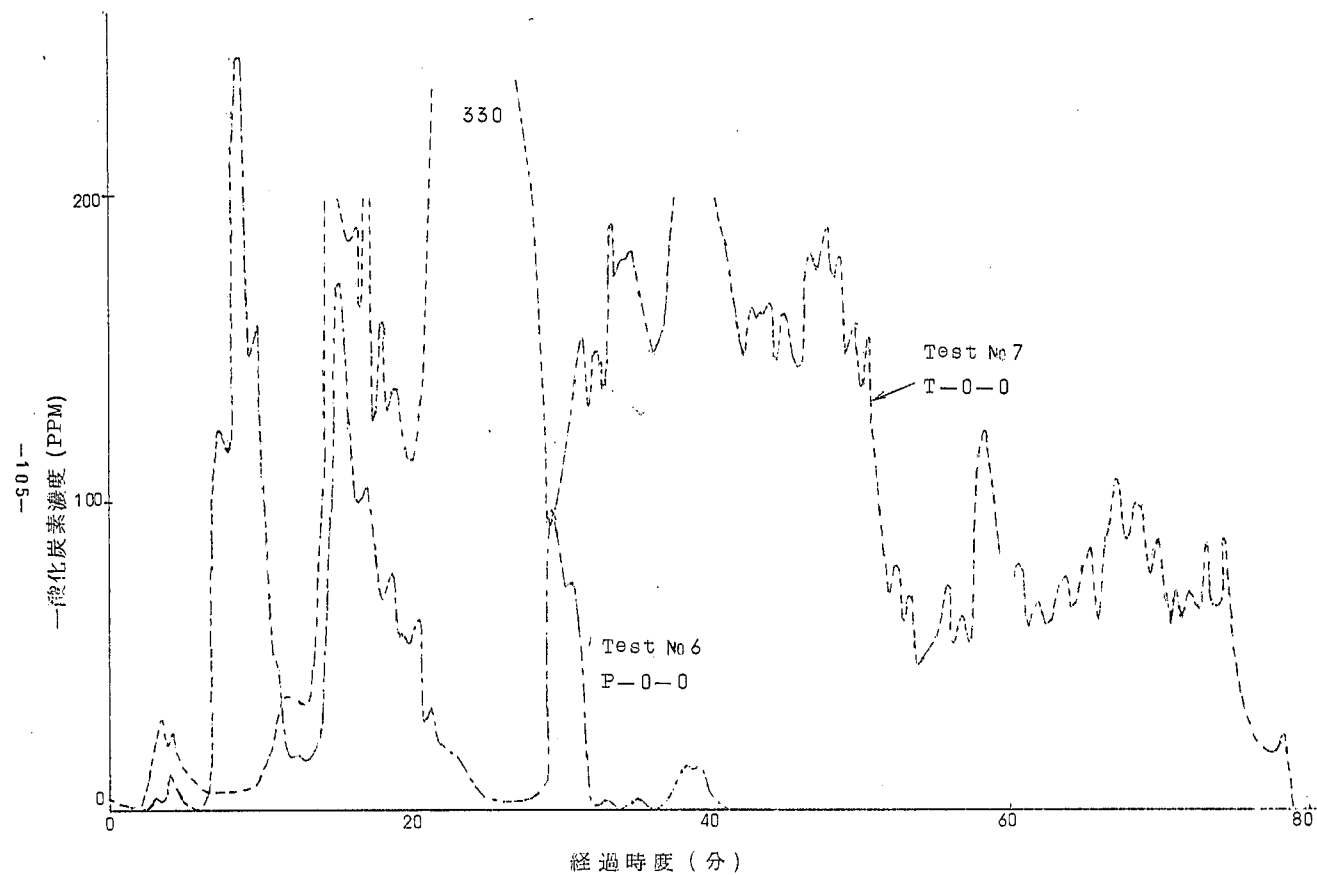


圖-65 一酸化炭素濃度 (風速 0 m/sec, 自動車)

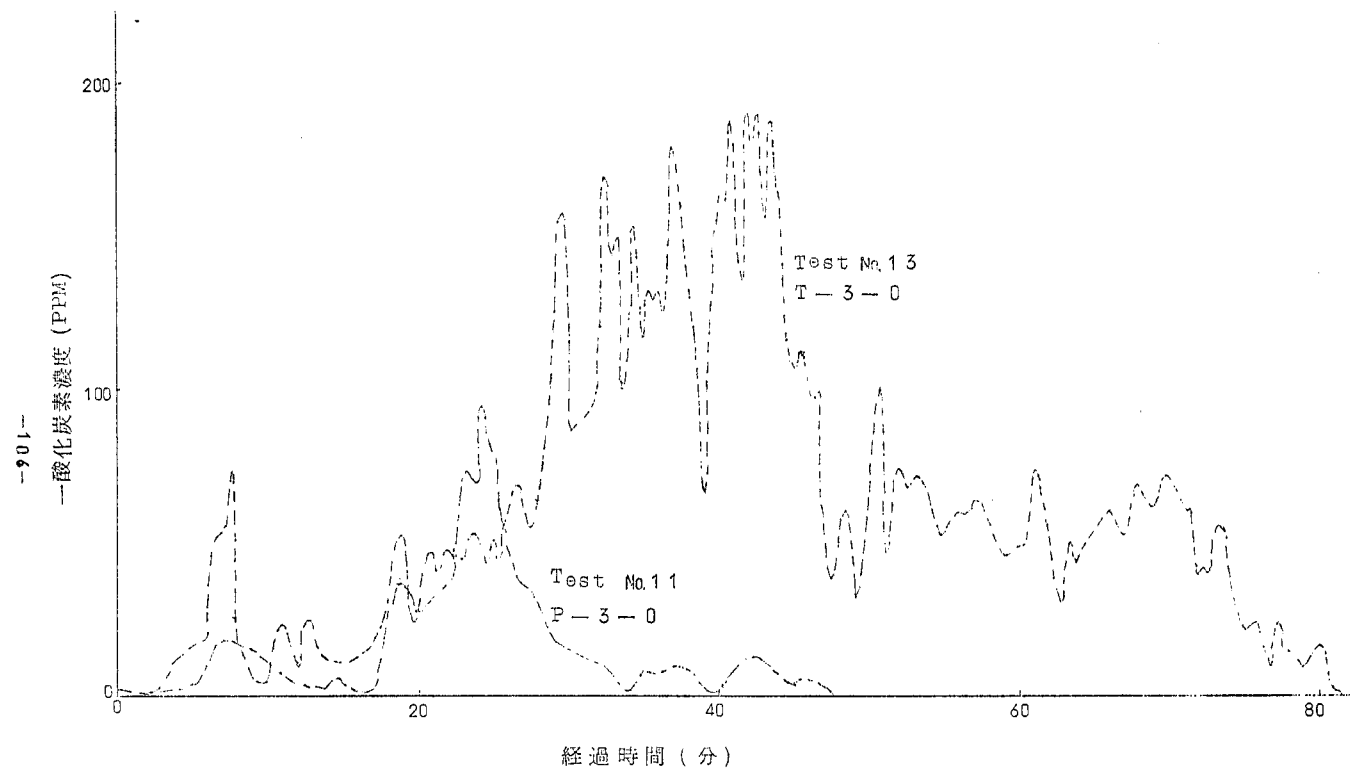


圖-66 一酸化炭素濃度 (風速3 m/sec, 自動車)

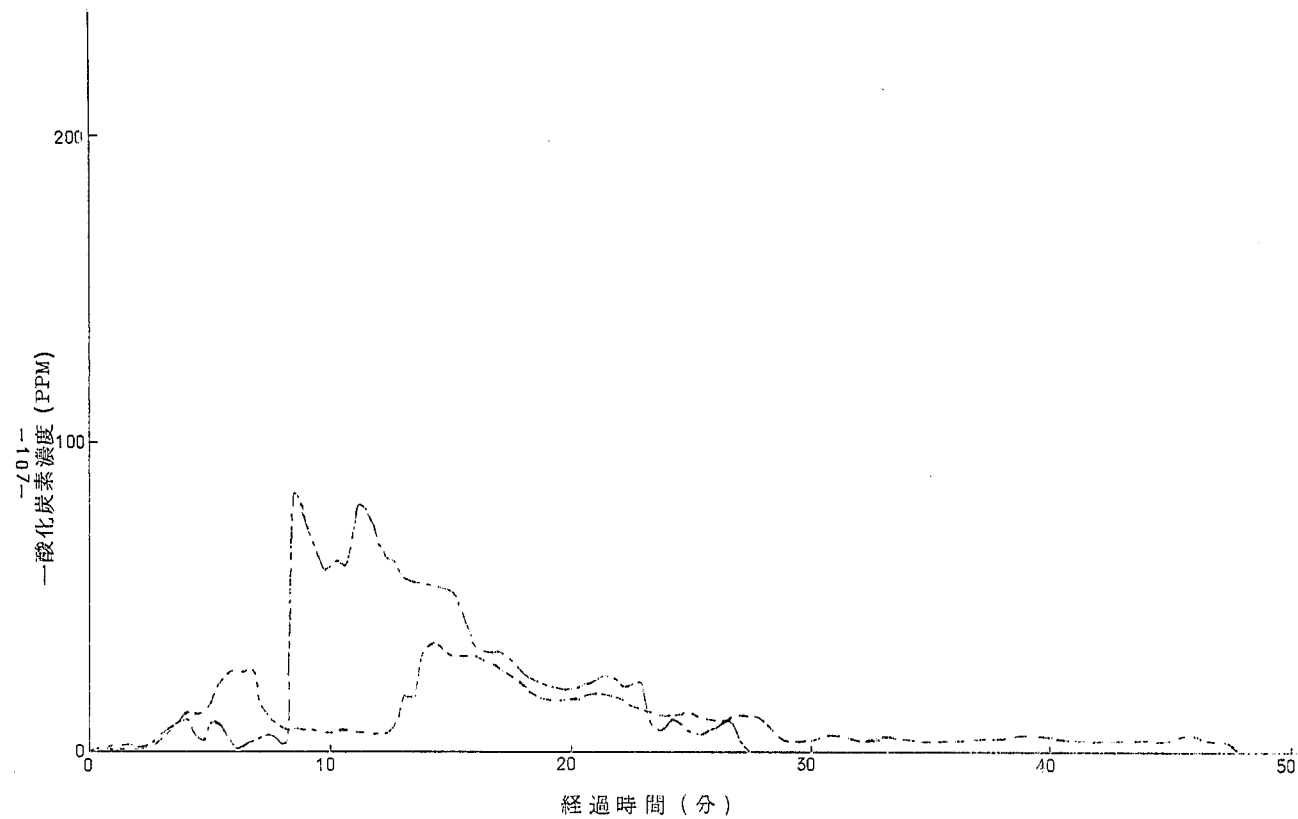


圖-67 一酸化炭素濃度 (風速 3 m/sec , 自動車・水噴霧)

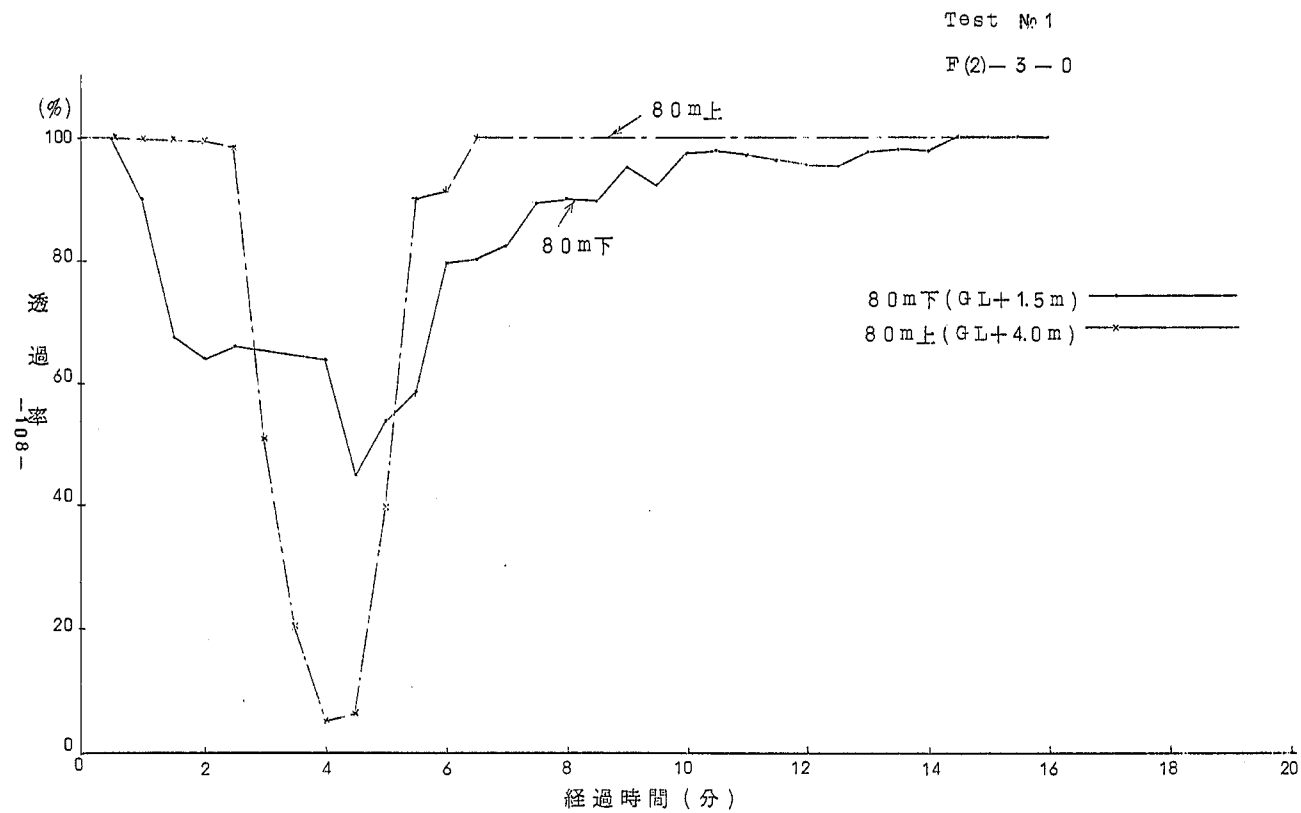


図-68 煙濃度 (Test No.1)

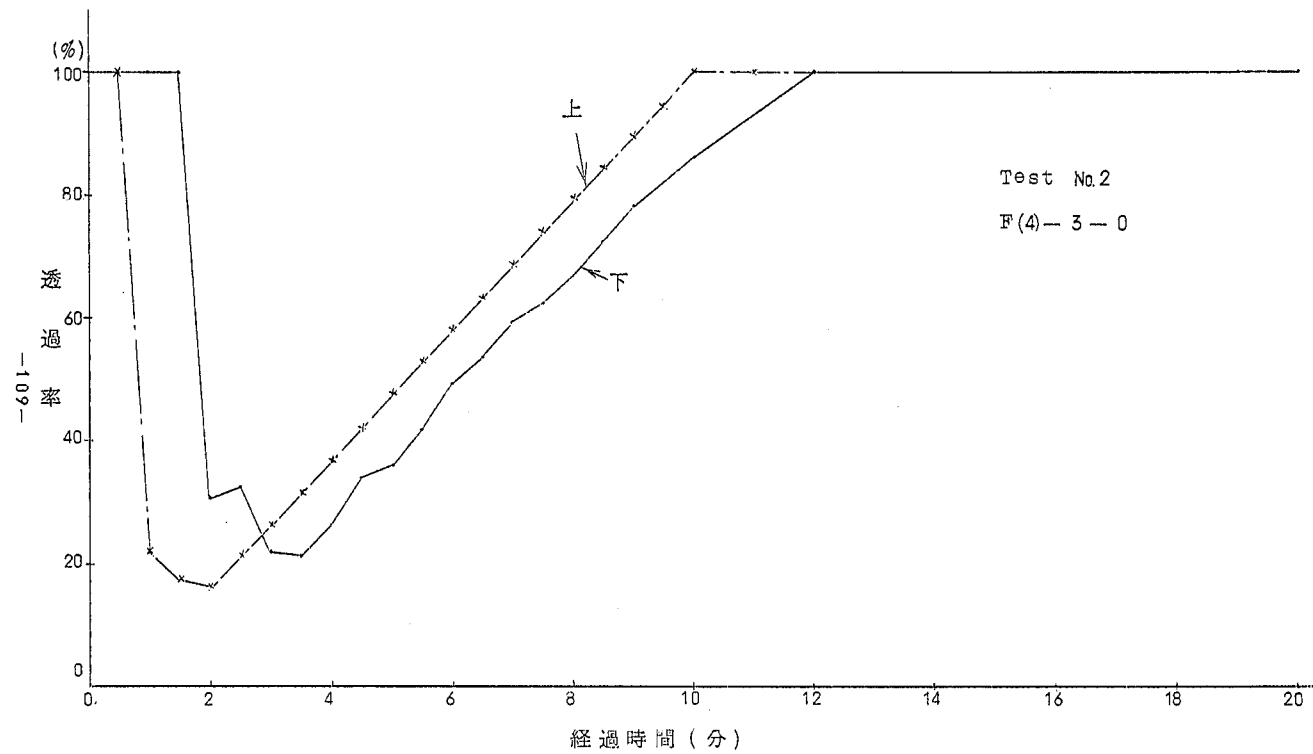


圖 — 6 9 煙濃度 (Test No 2)

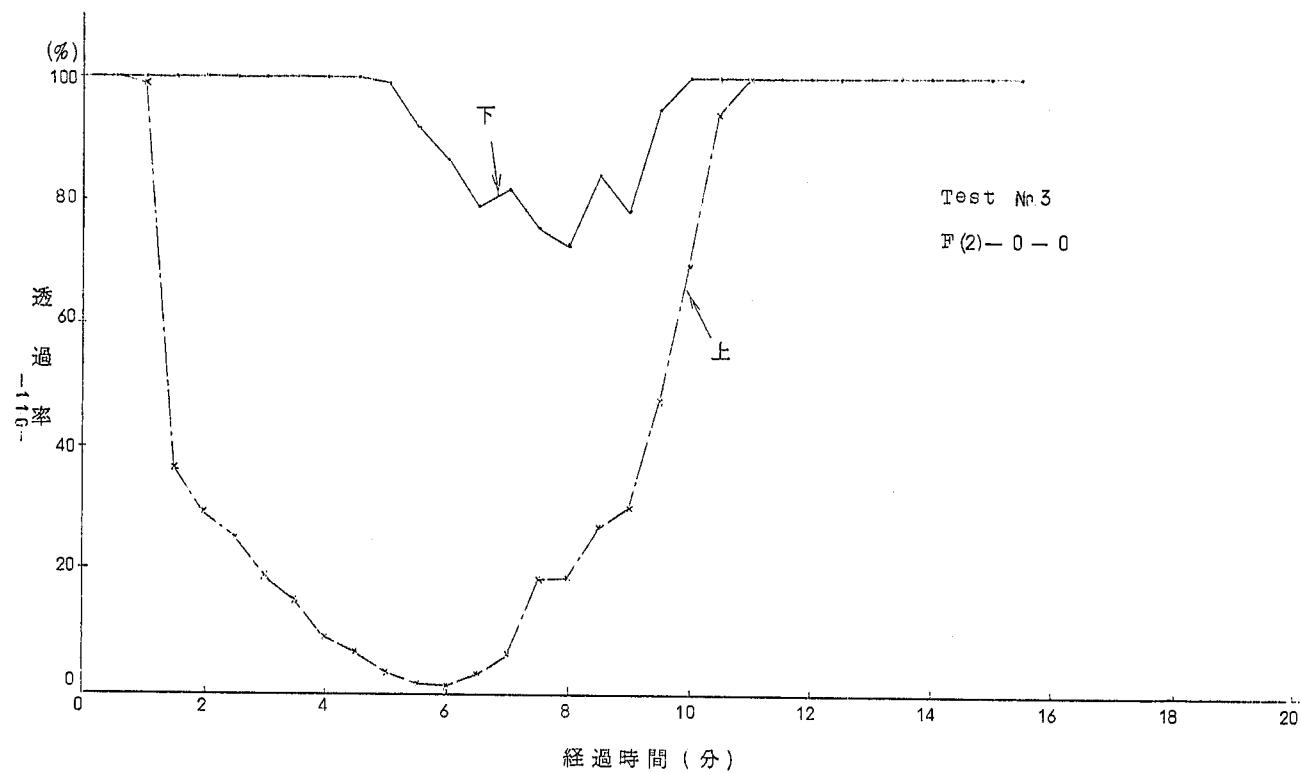


図-70 煙濃度 (Test No. 3)

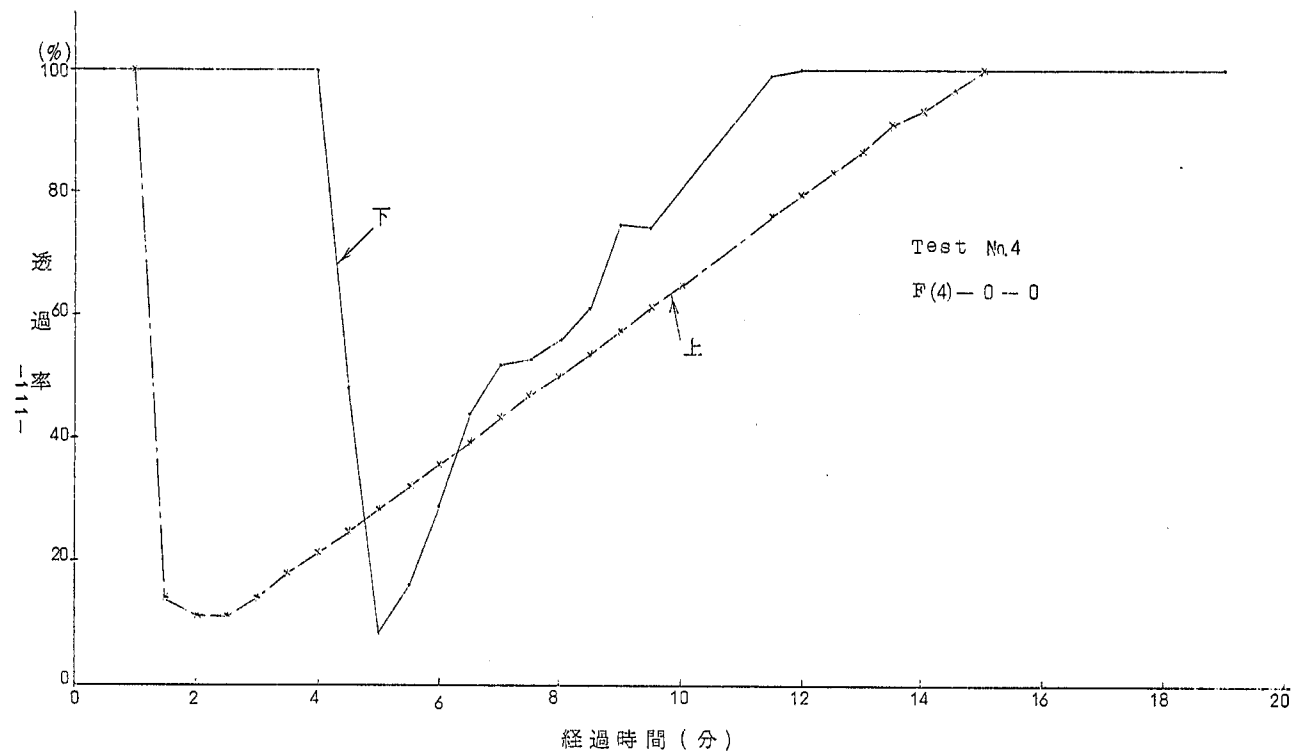


圖 - 7 1 煙濃度 (Test No. 4)

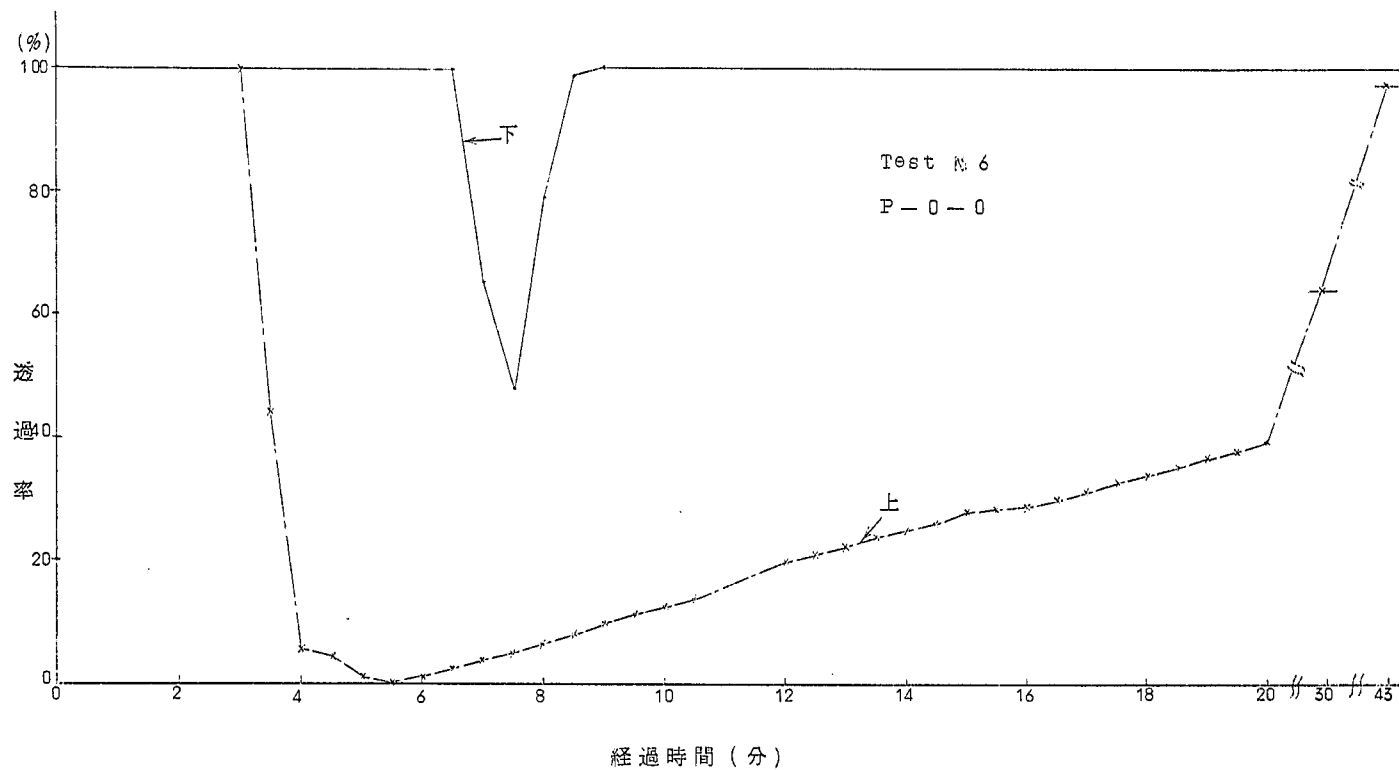


圖-72 煙濃度 (Test No. 6)

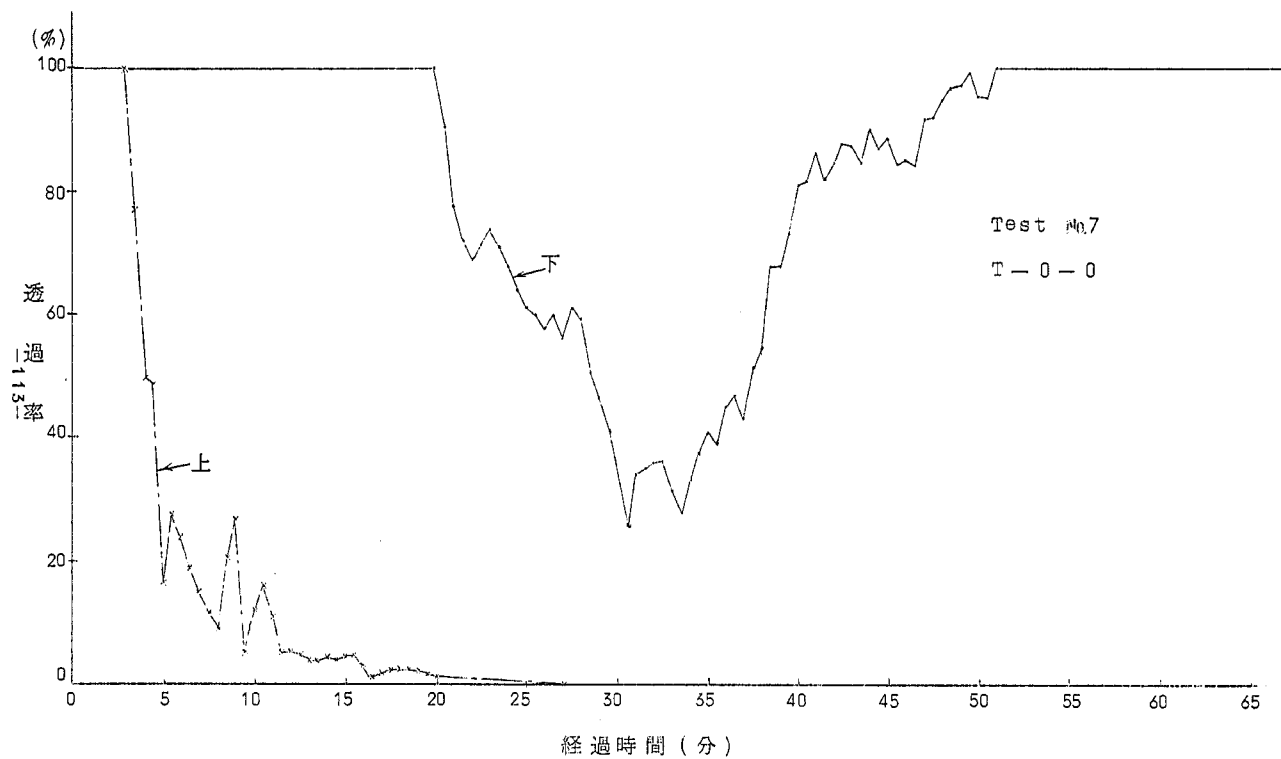


圖-73 煙濃度 (Test No. 7)

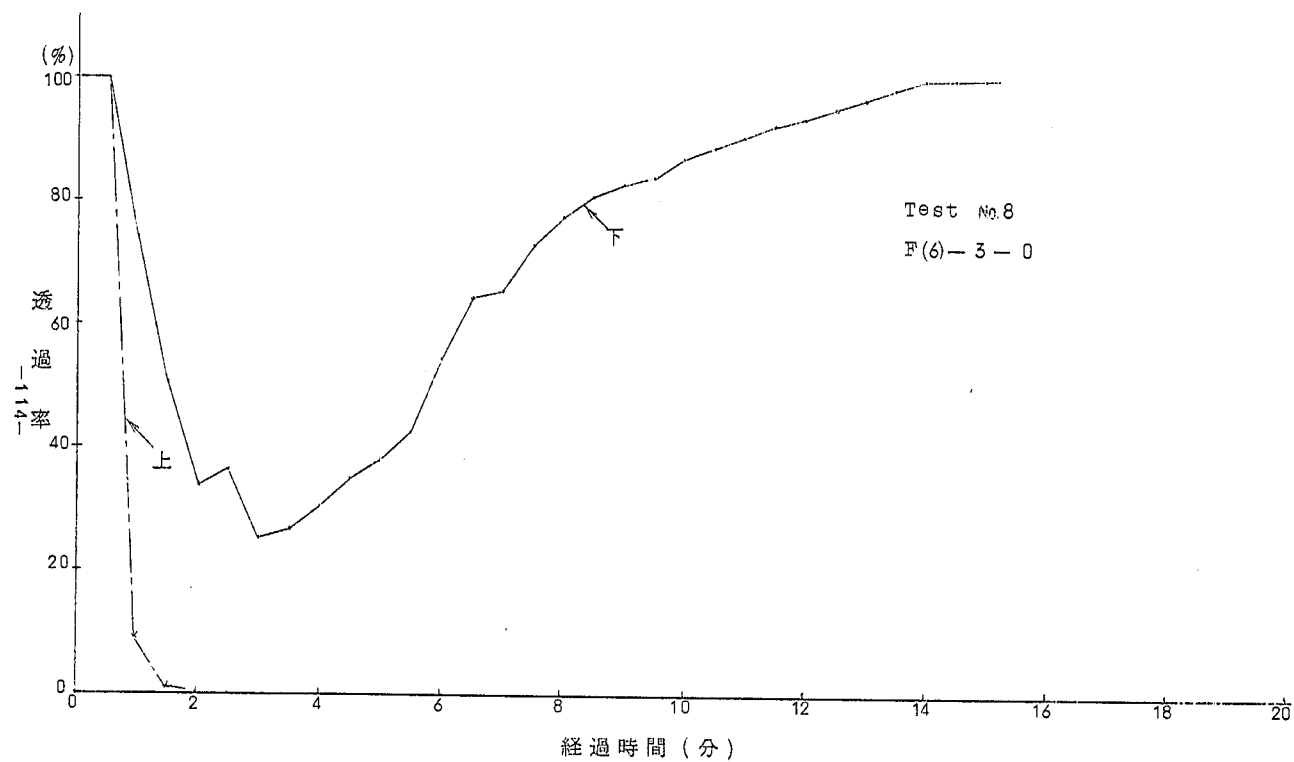


圖-74 煙濃度 (Test No. 8)

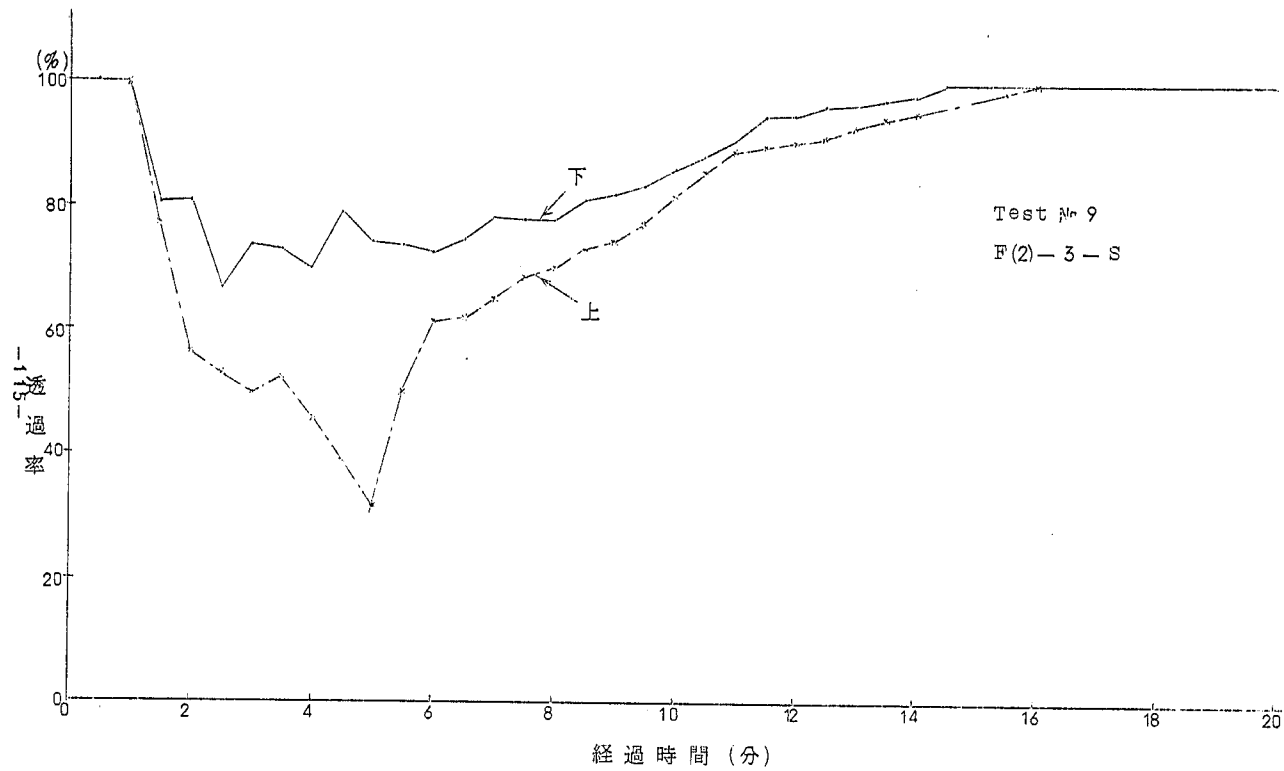


図-75 煙濃度 (Test No. 9)

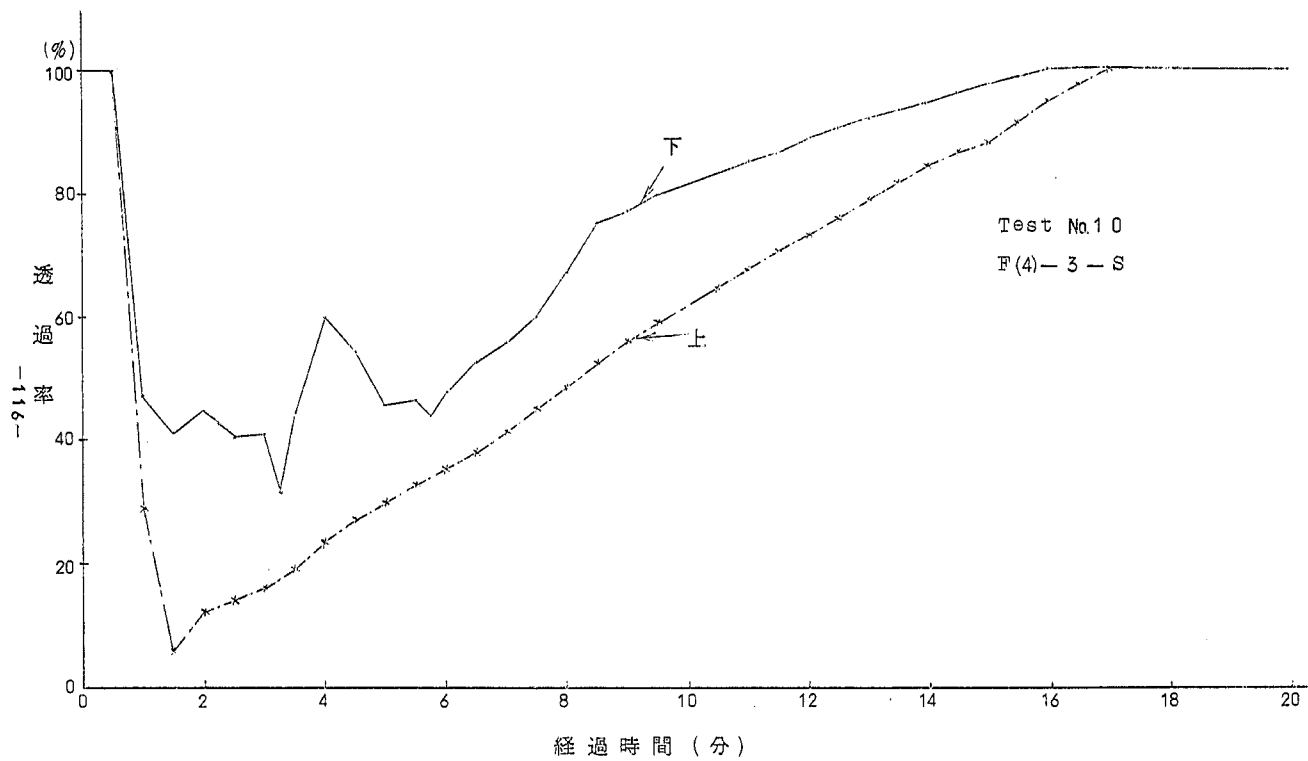


圖-76 煙濃度 (Test No 10)

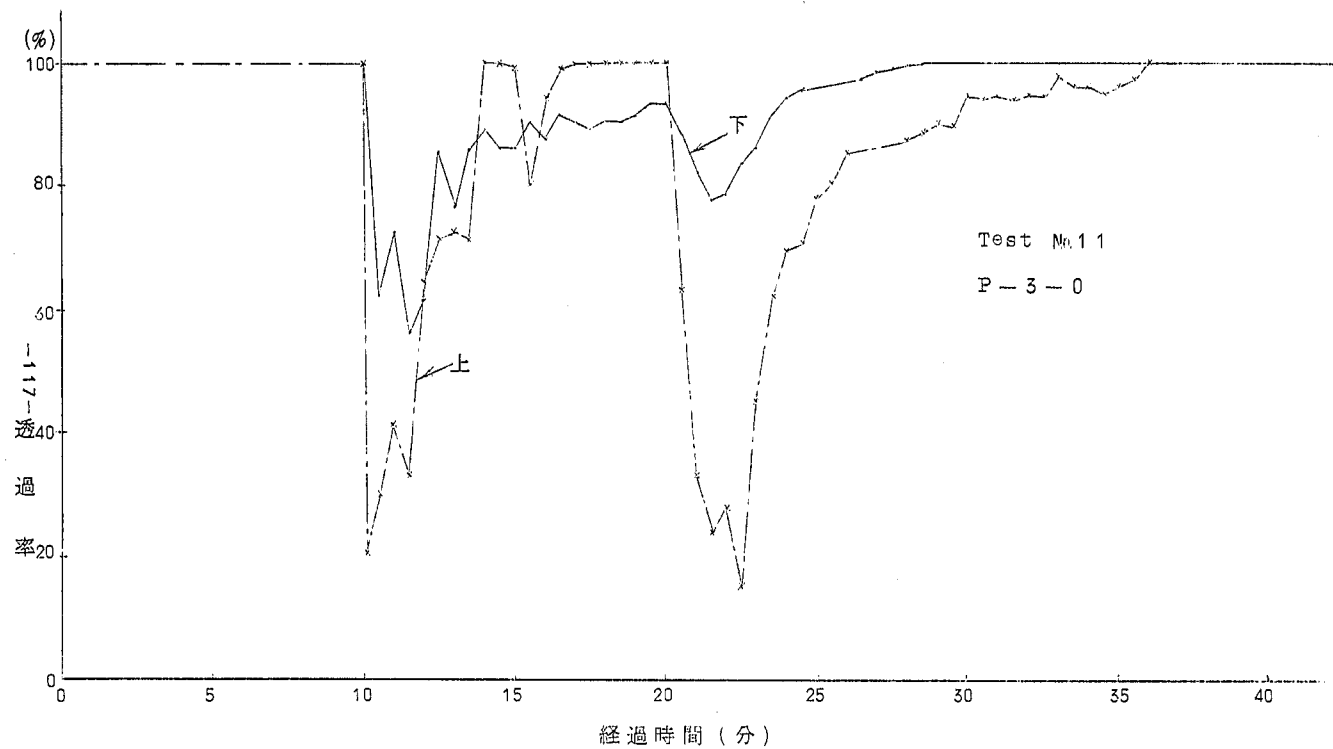


圖-77 煙濃度 (Tst No 11)

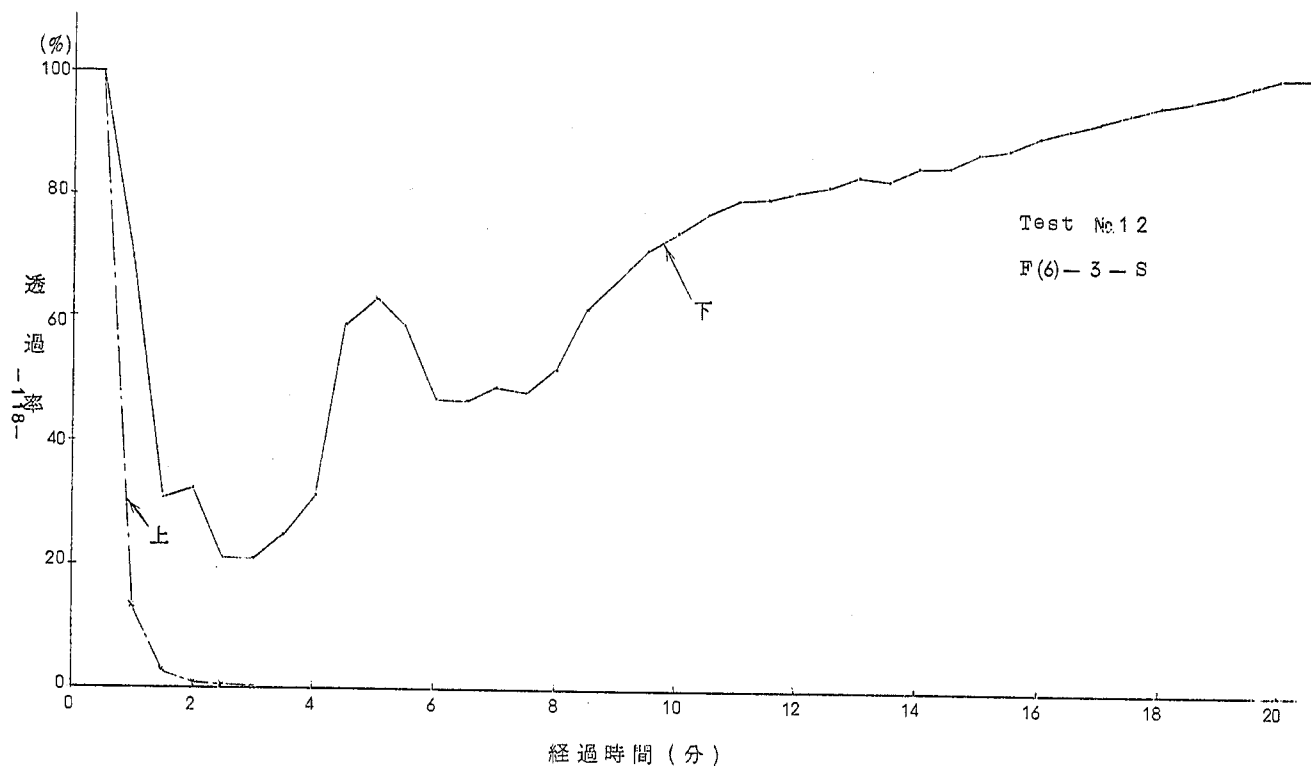


圖-78 煙濃度 (Test No. 12)

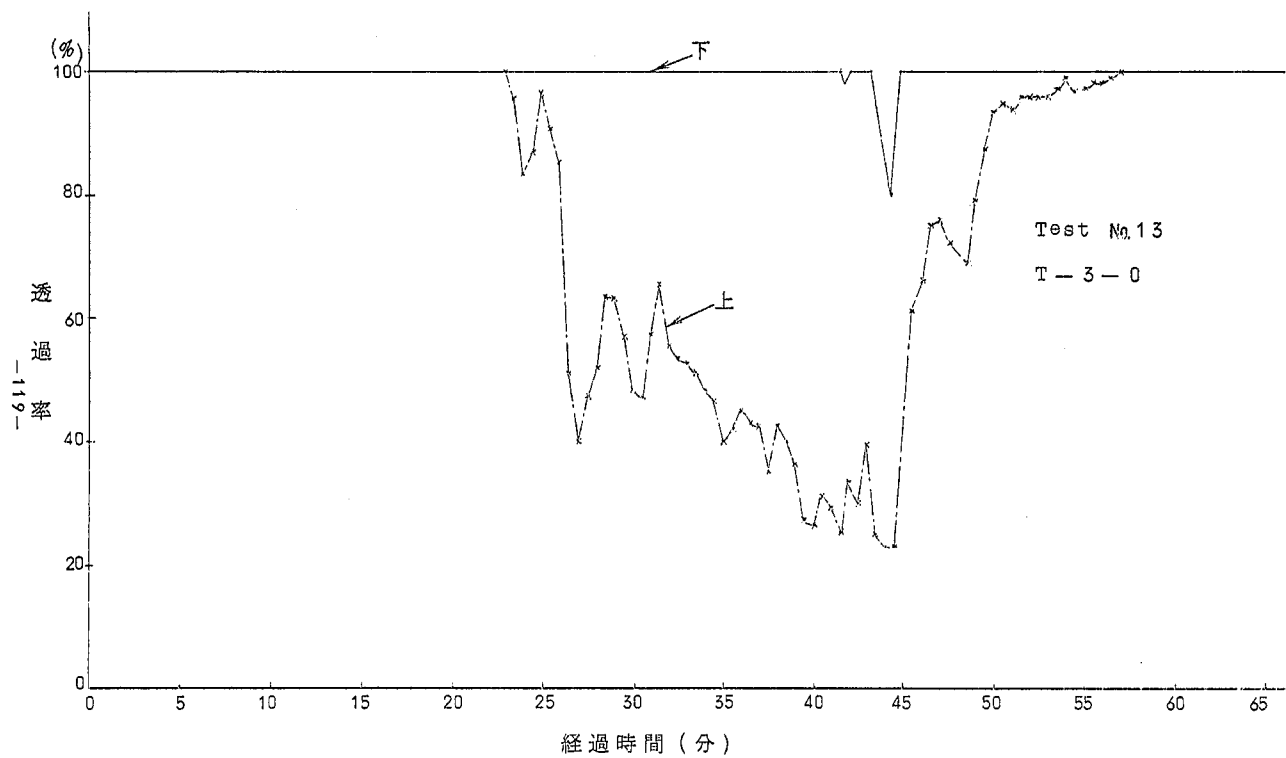


圖-79 煙濃度 (Test No. 13)

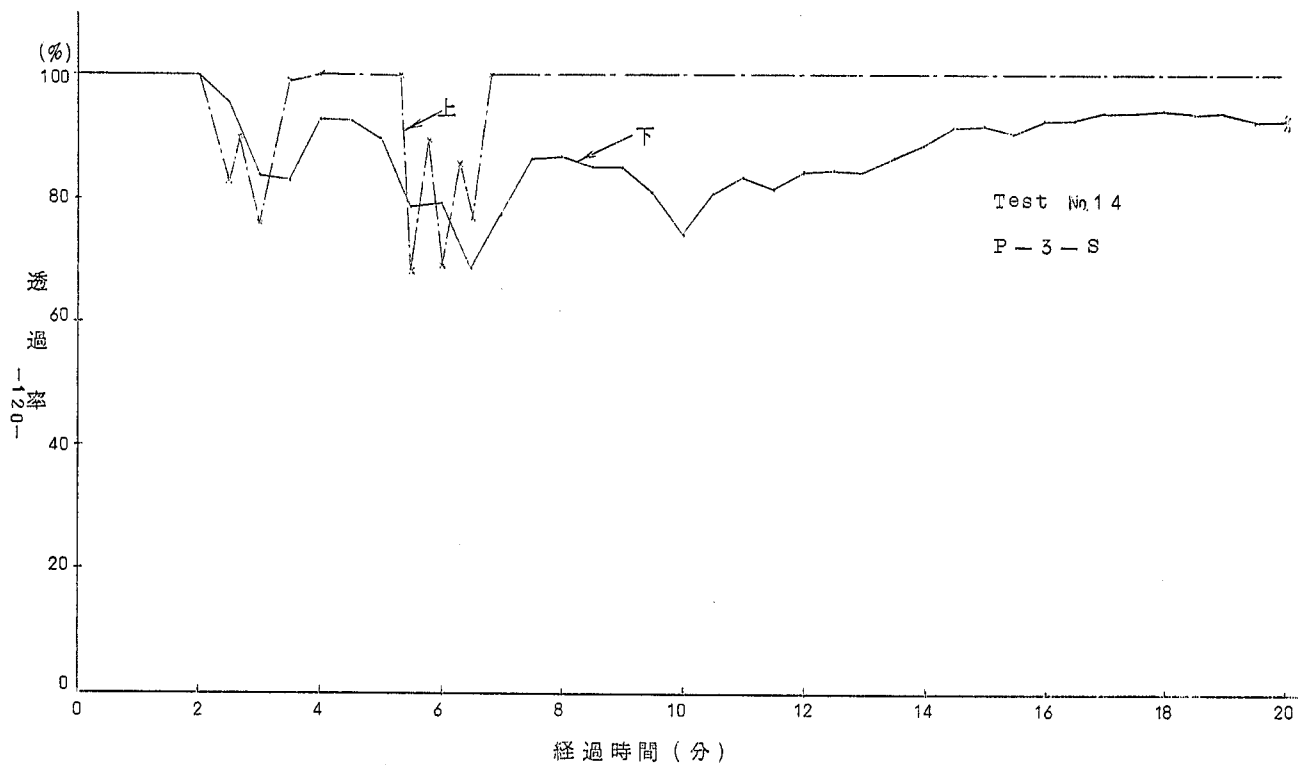


図-80 煙濃度 (Test No. 14)

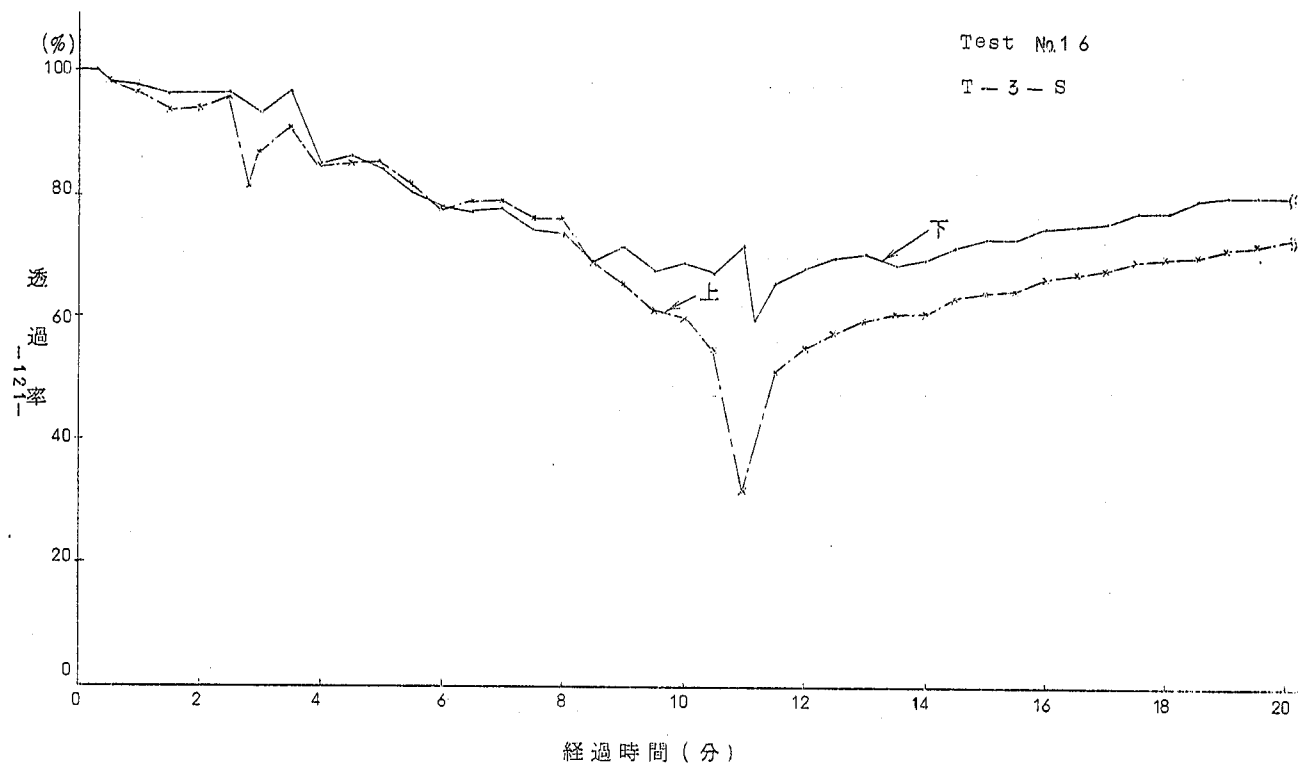
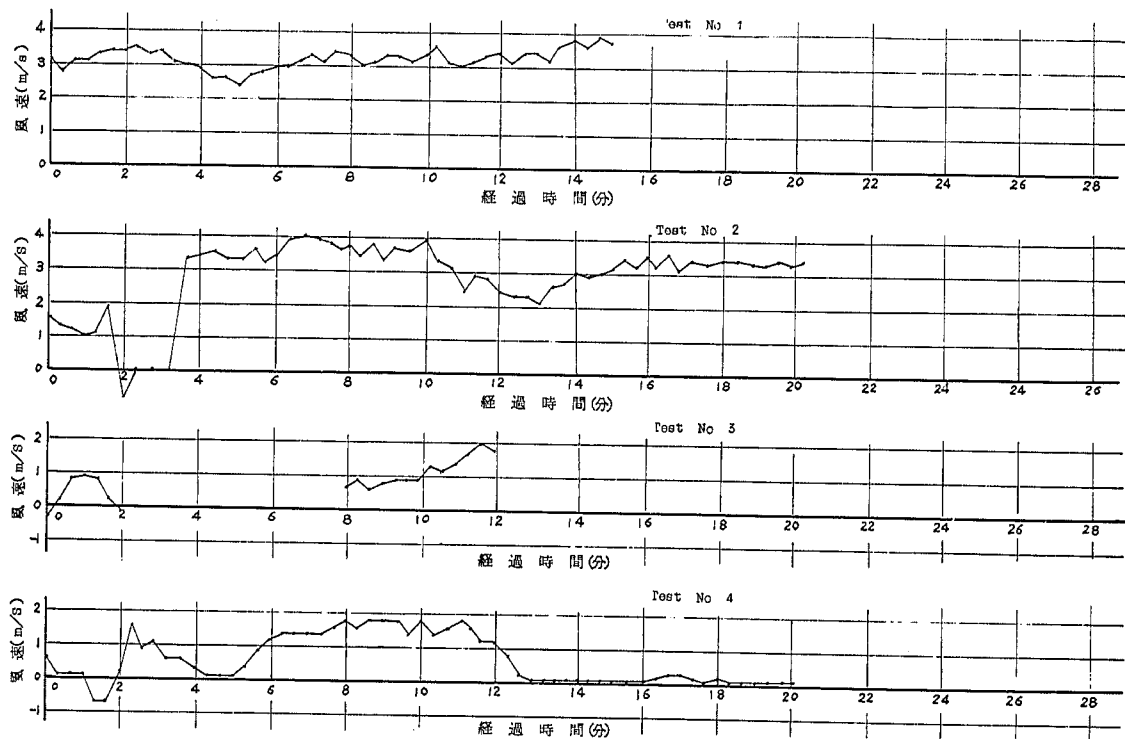
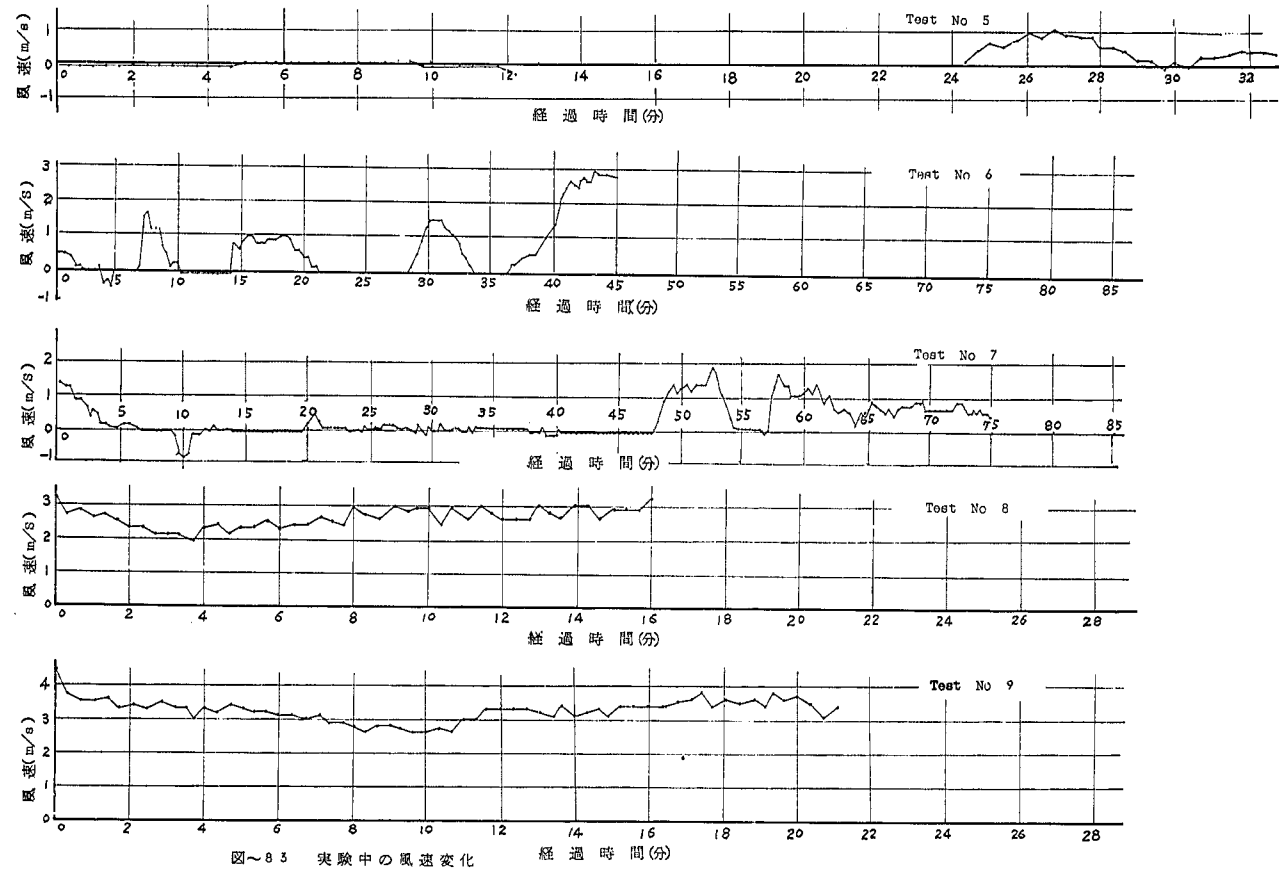


図 - 8 1 煙濃度 (Test No. 1 6)



図~82 実験中の風速変化 (イ)



図~83 実験中の風速変化

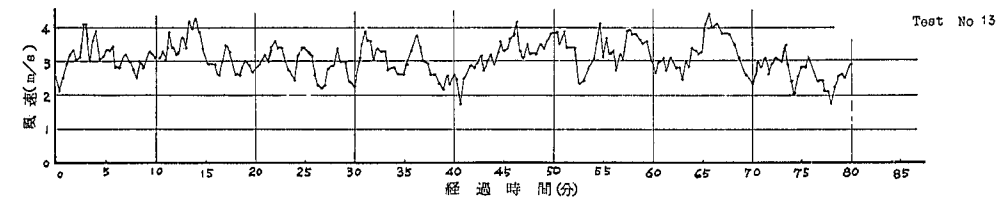
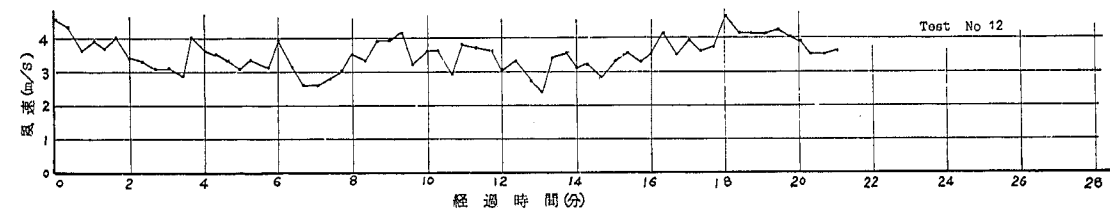
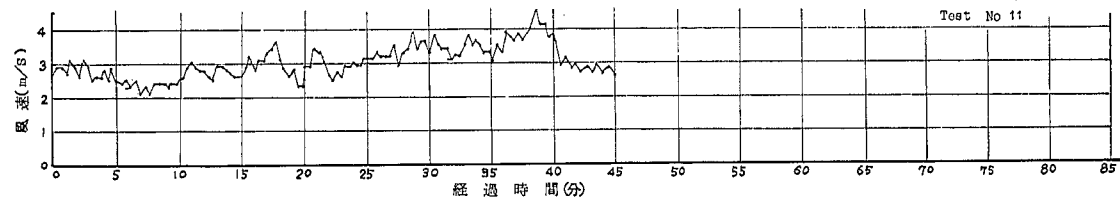
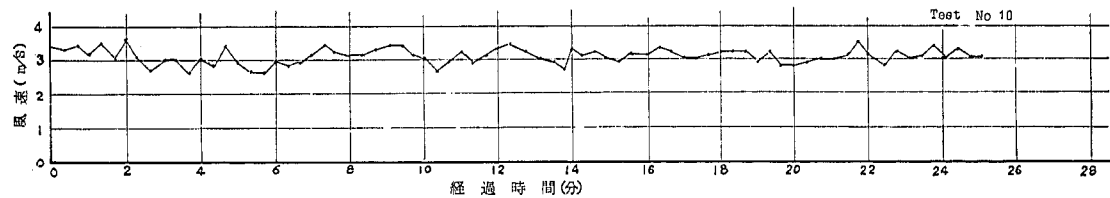
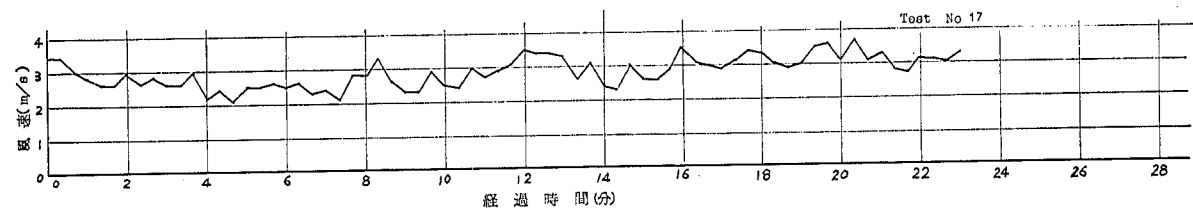
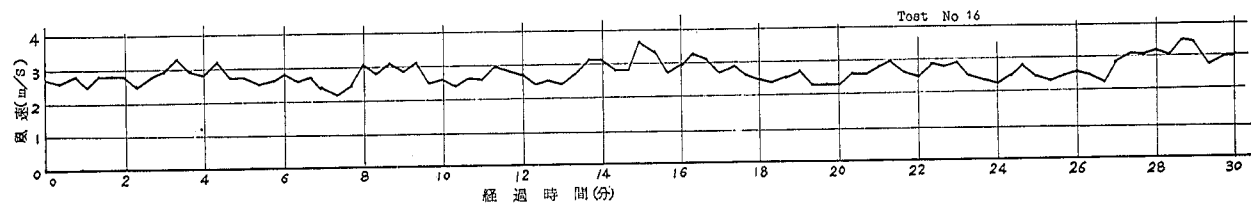
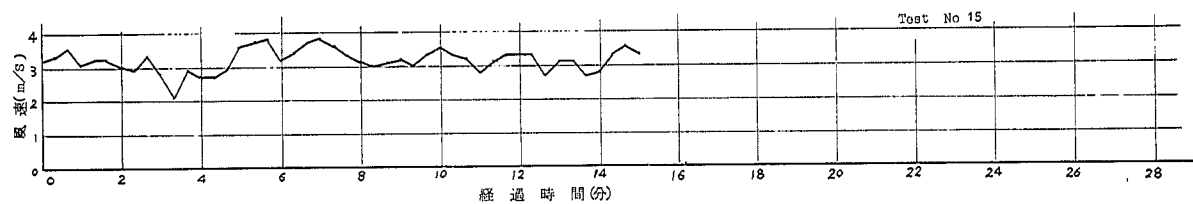
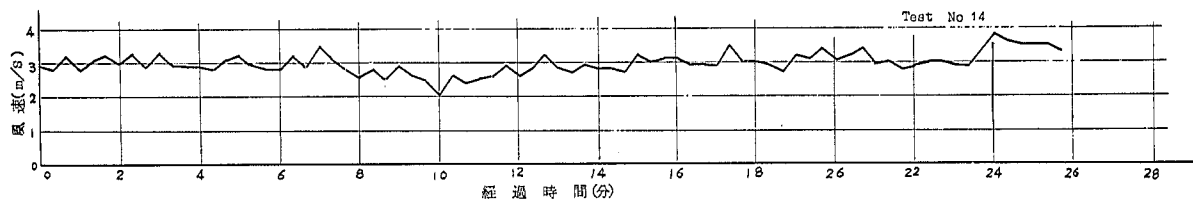


図-8.4 実験中の風速変化



図~85 実験中の風速変化

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 1 F(2)-3-0
TIME ELAPSED 1.63 MIN

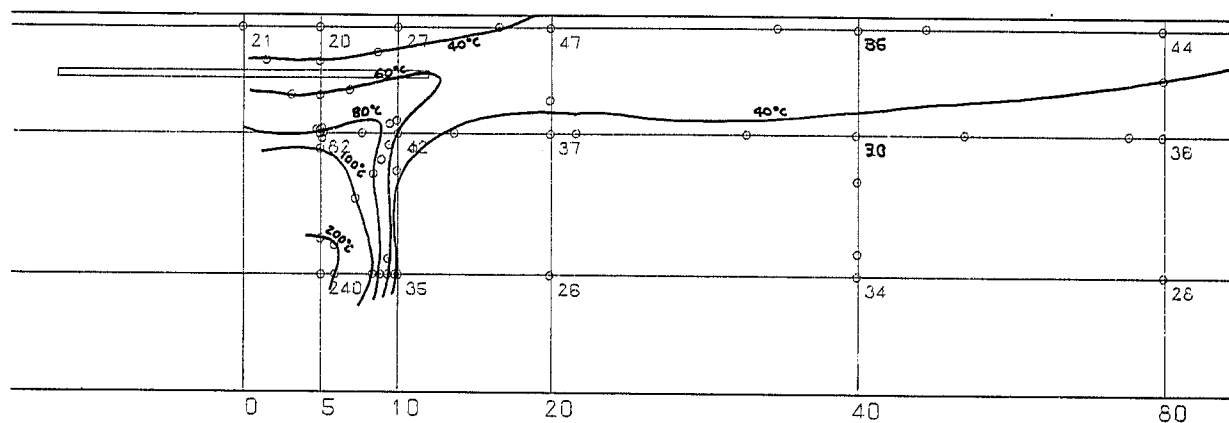
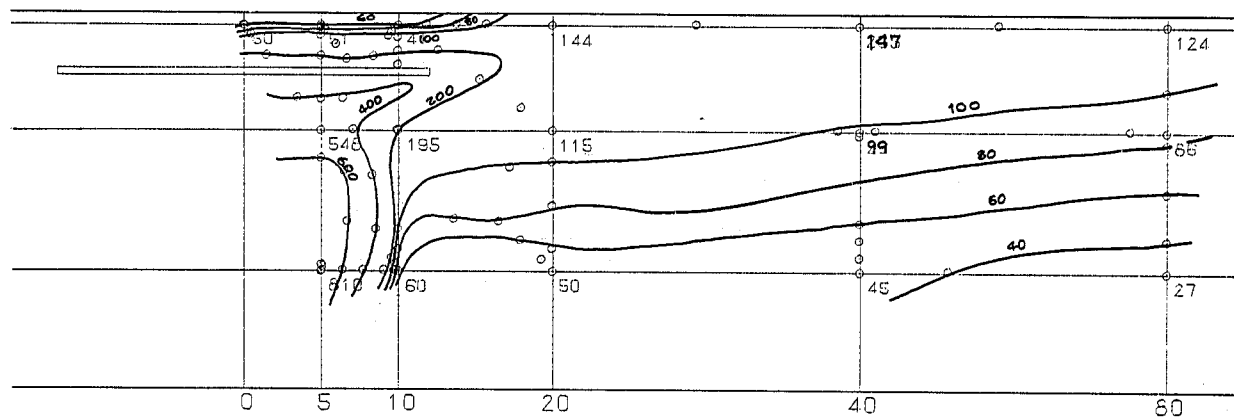


図 86 TEMPERATURE DISTRIBUTION

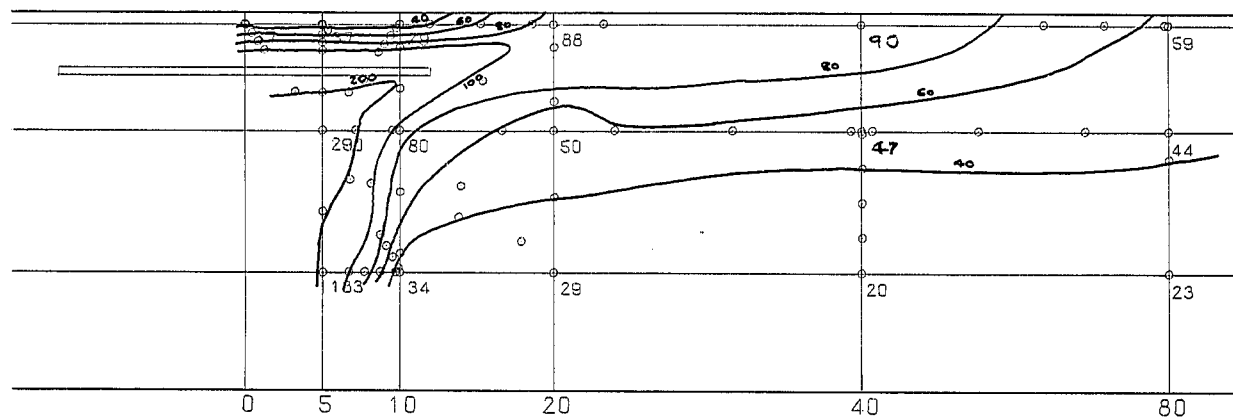
TEST NO 2 F(4)-3-0
TIME ELAPSED 2.47 MIN



☒ ~ 87 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

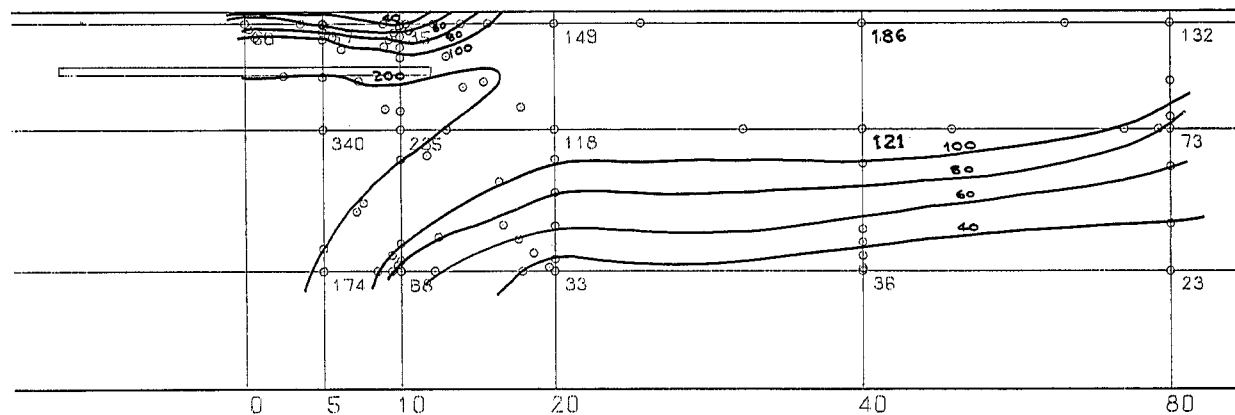
TEST NO 3 F22-0-0
TIME ELAPSED 2.54 MIN



図~88 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

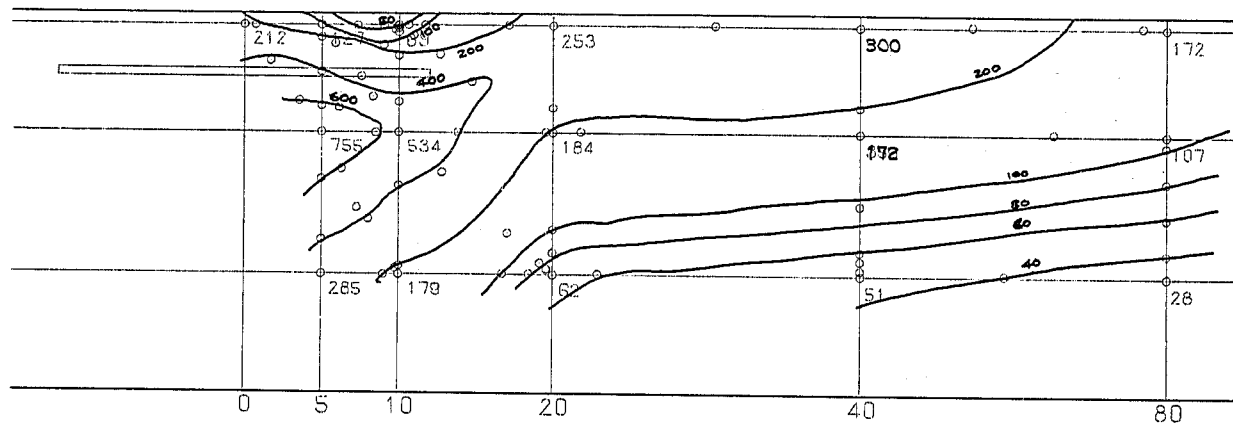
TEST NO 4 F(4)-0-0
TIME ELAPSED 2.20 MIN



図~89 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 5 F(6)-0-0
TIME ELAPSED 2.45 MIN



☒~90 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 6 P-0-0
TIME ELAPSED 4.54 MIN

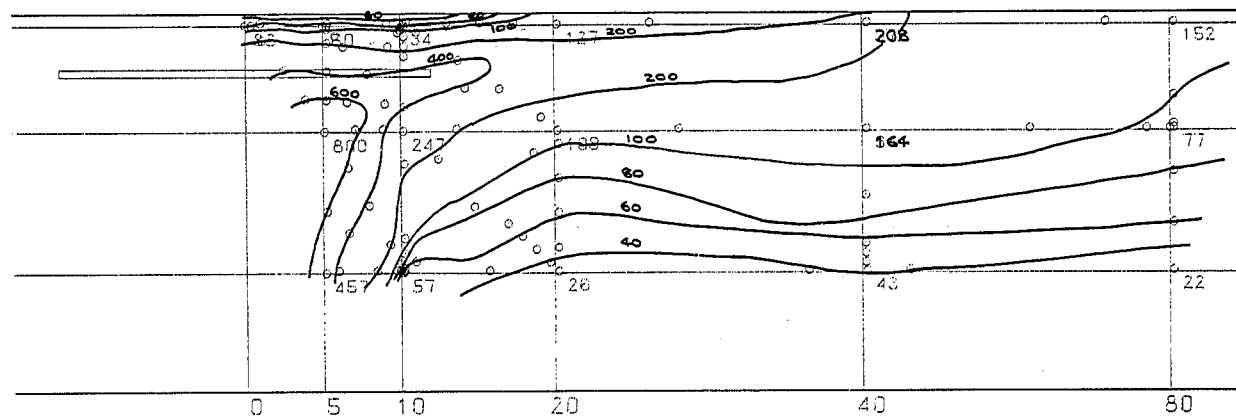


図 9-1 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 7 **T-0-0**
TIME ELAPSED 15.97 MIN

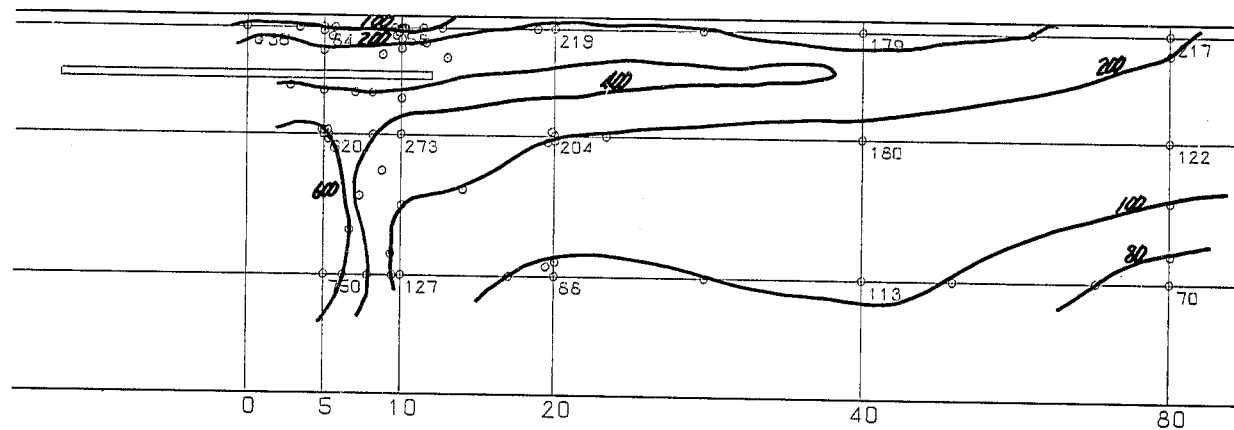


図 2 温度分布

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 8 **FA-3-0**
TIME ELAPSED 1.13 MIN

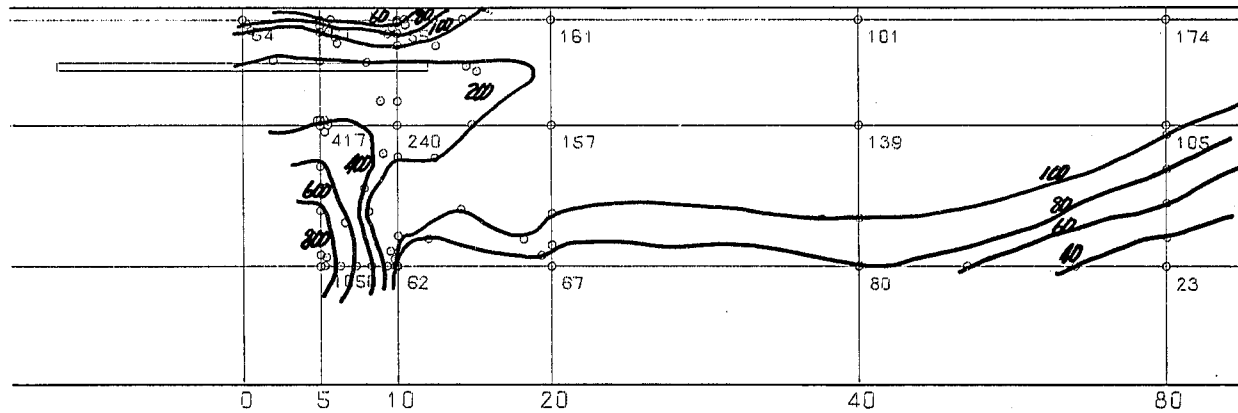
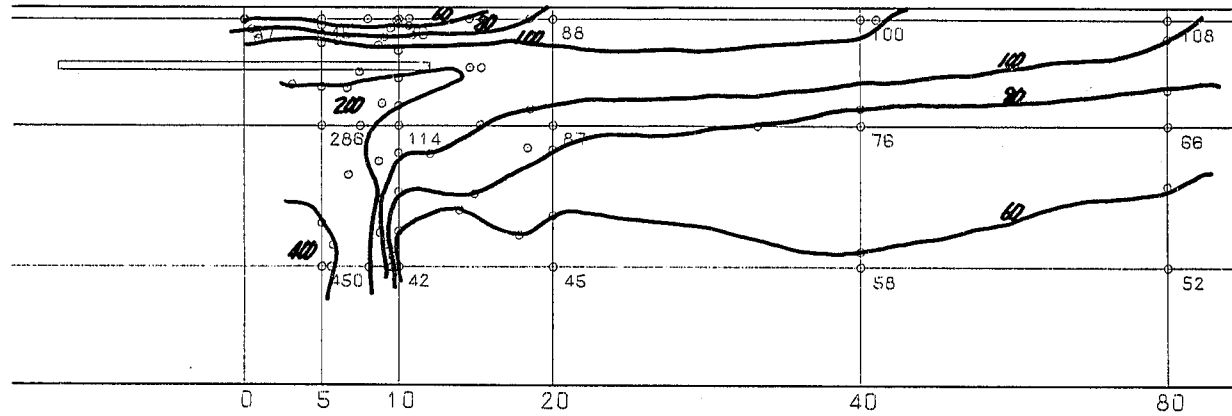


図-93 TEMPERATURE DISTRIBUTION

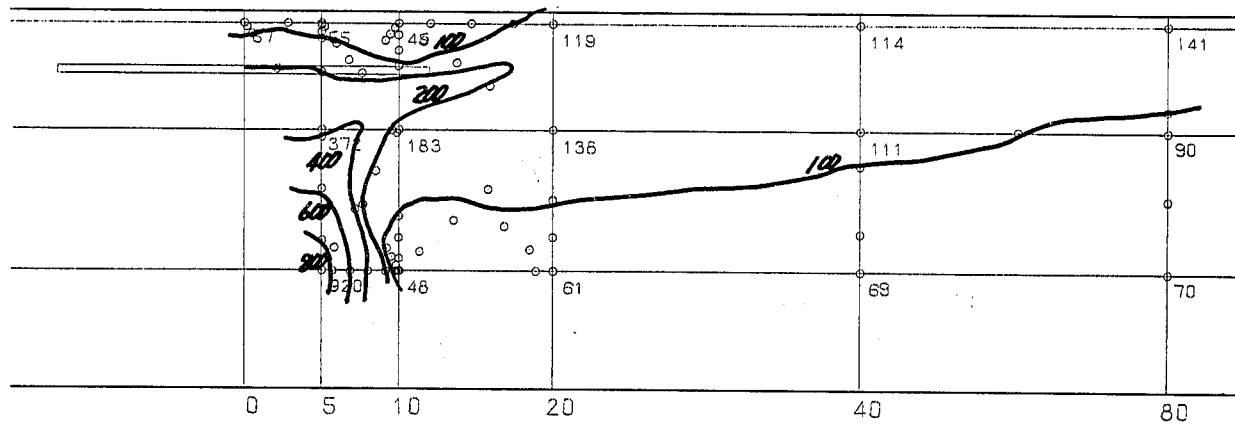
FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 9 F(2)-3-5
TIME ELAPSED 4.43 MIN



図~94 TEMPERATURE DISTRIBUTION

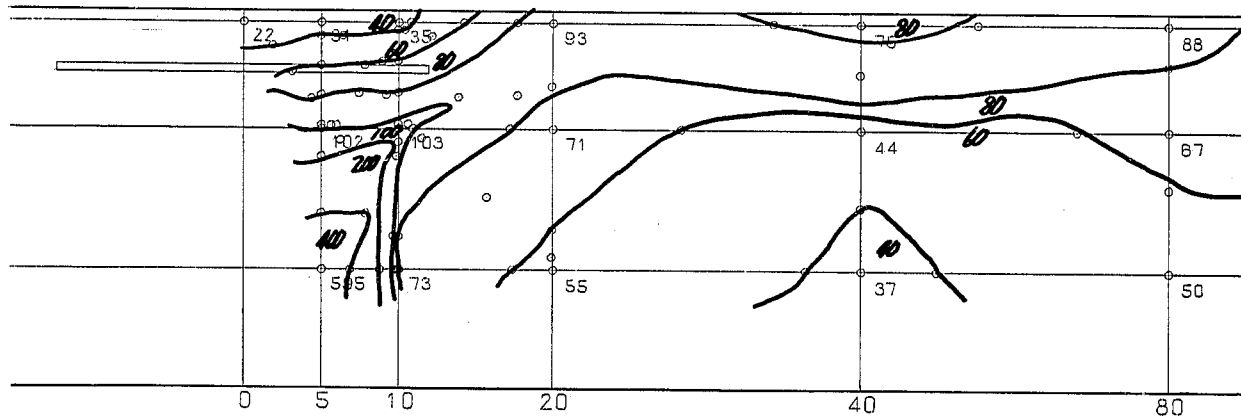
TEST NO 10 F(4)-3-5
TIME ELAPSED 3.63 MIN



☒ ~ 9 5 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST
 TEST NO 11 **P-3-0**
 TIME ELAPSED 21.30 MIN

-136-

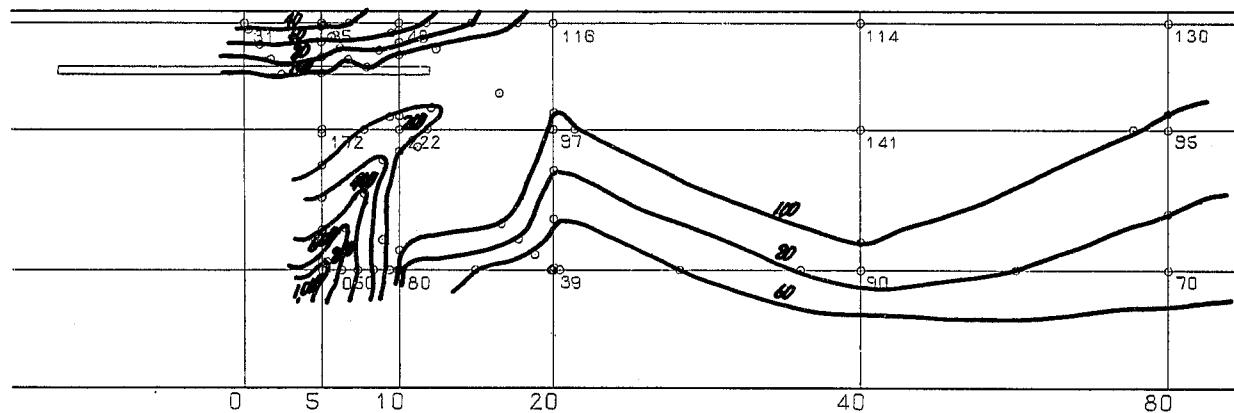


図~96 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 12 **F(6)-3-5**
TIME ELAPSED 1.80 MIN

-137-



図~97 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 13 T-3-0
TIME ELAPSED 26.37 MIN

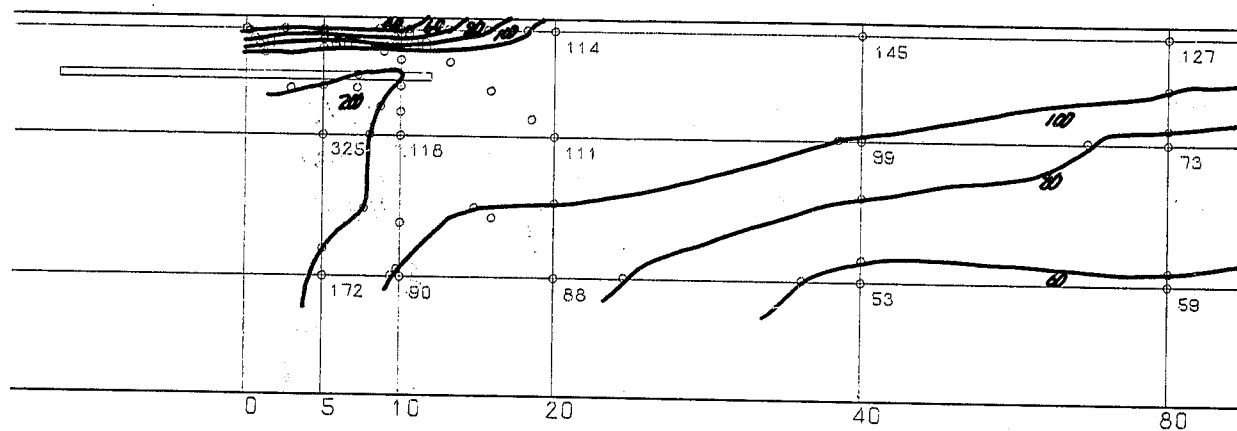
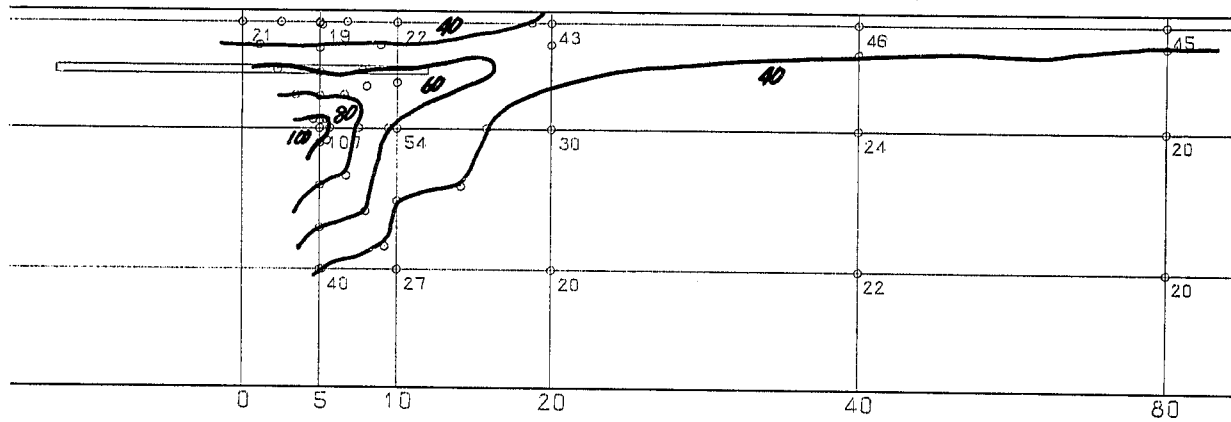


図 98 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 14 P-3-5
TIME ELAPSED 4.87 MIN



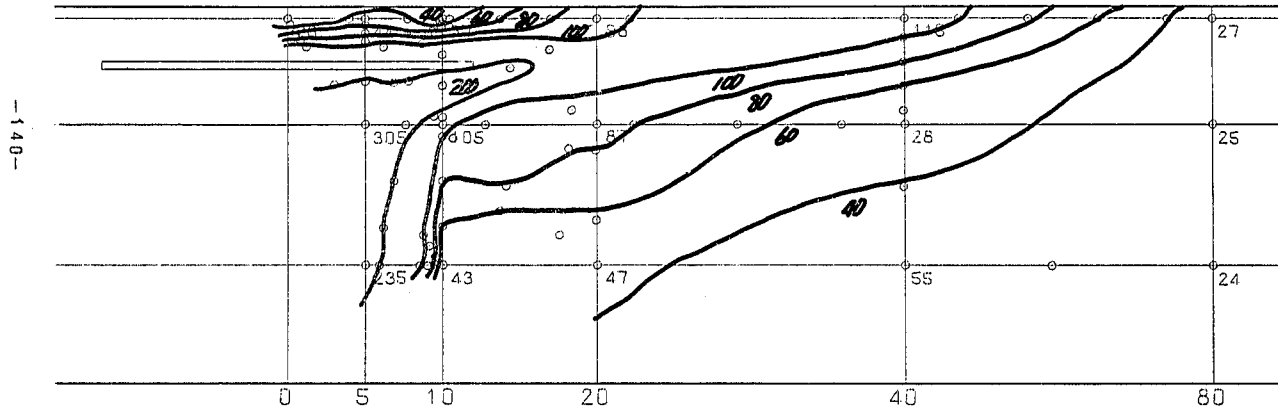
図~99 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 15

F(4)-3-0 (消火試験)

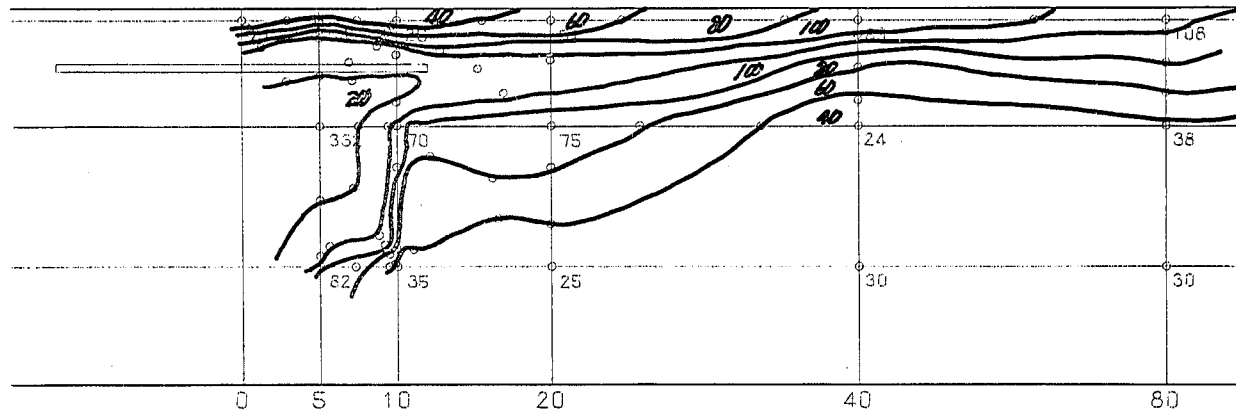
TIME ELAPSED 4.20 MIN



図~100 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

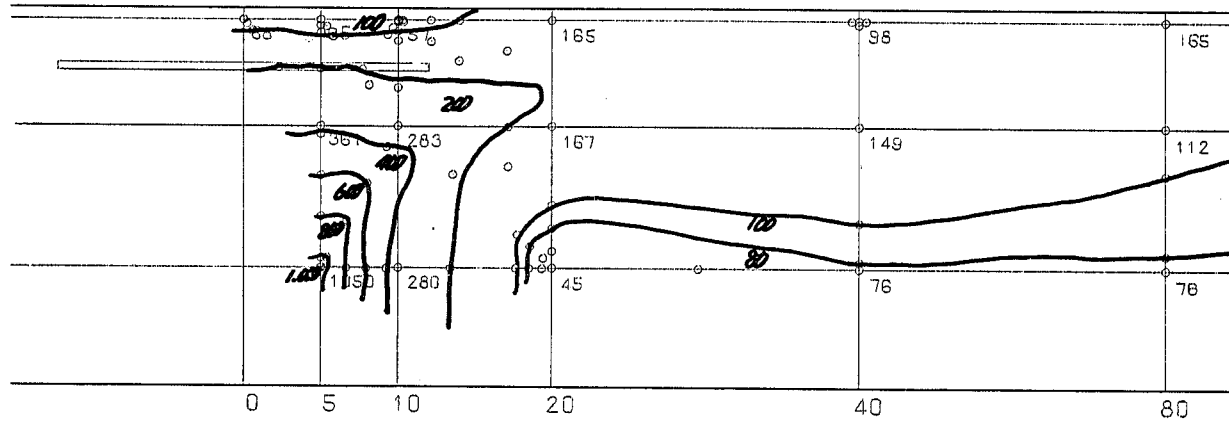
TEST NO 16 T-3-5
TIME ELAPSED 10.45 MIN



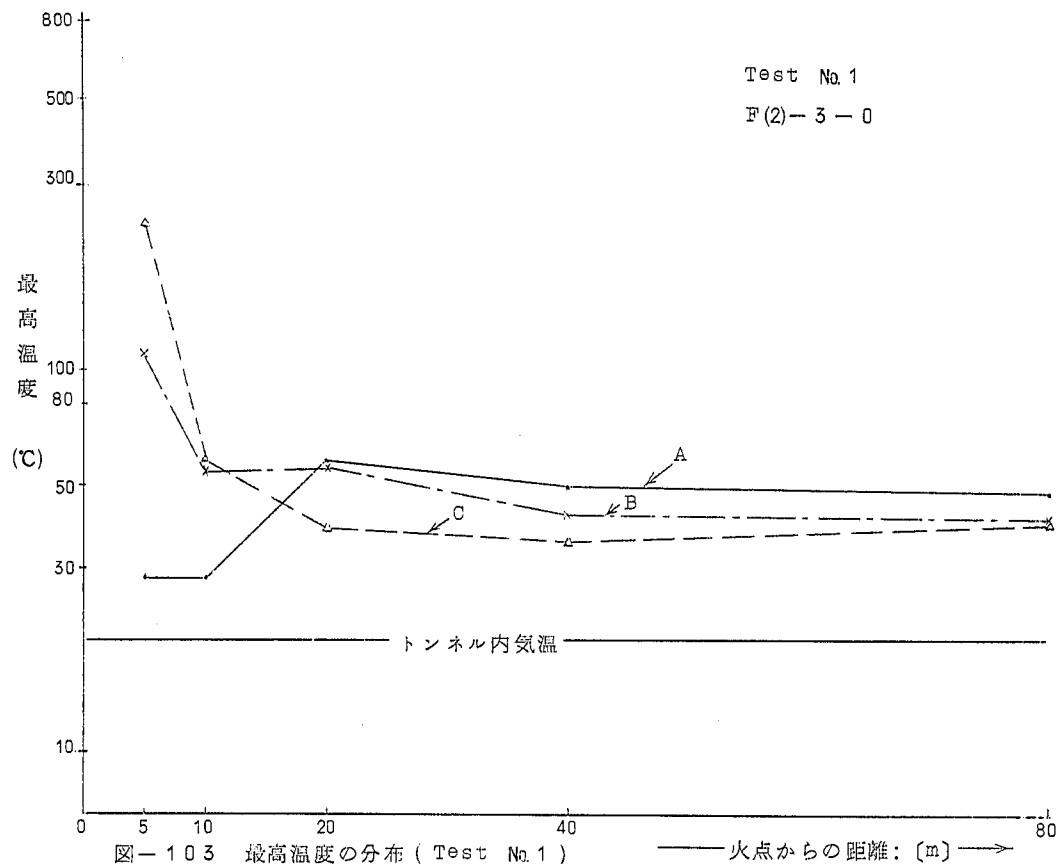
図~101 TEMPERATURE DISTRIBUTION

FUTATSUGOYA TEST

TEST NO 17 **F(6)-3-0**
TIME ELAPSED 2.13 MIN



☒~102 TEMPERATURE DISTRIBUTION



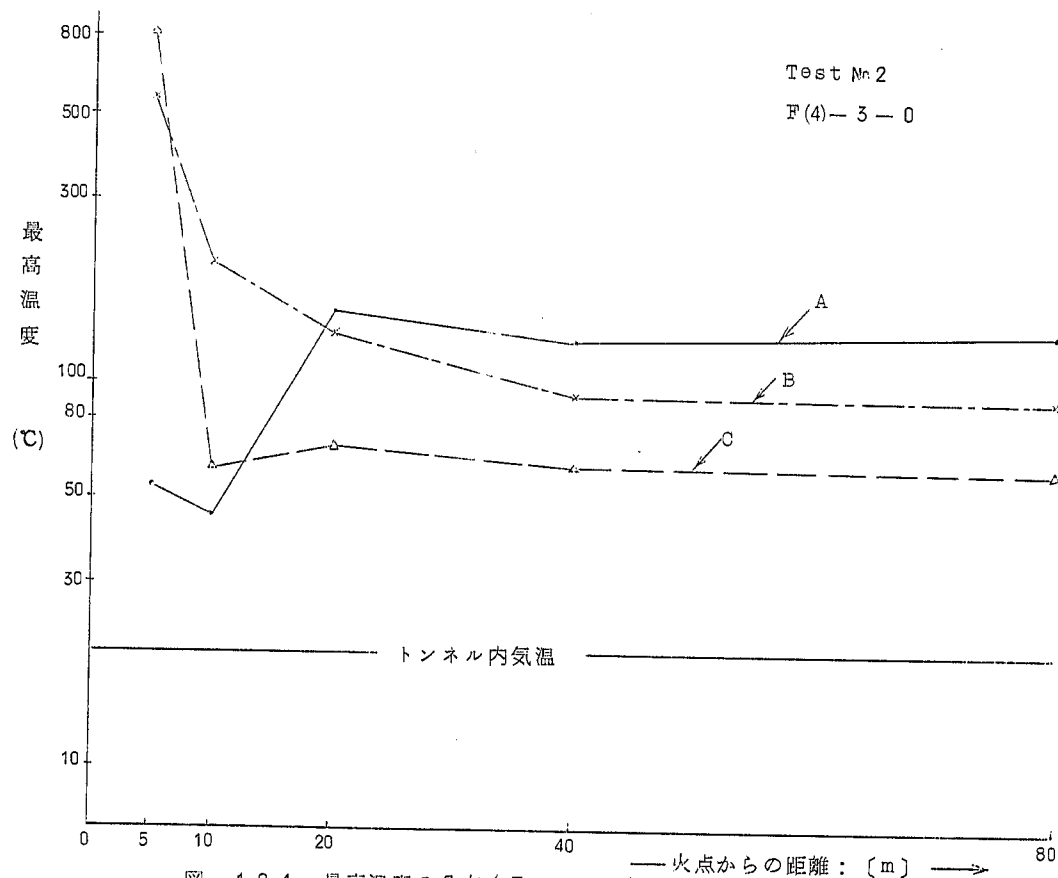


図-104 最高温度の分布 (Test No. 2)

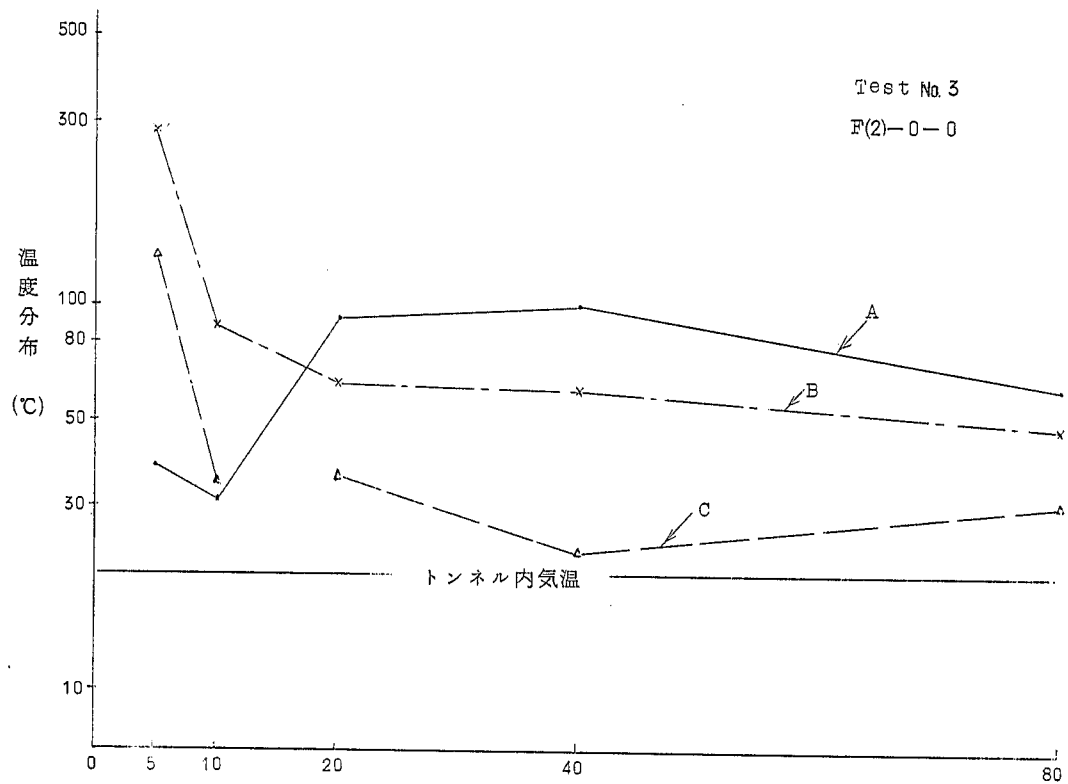


図-105 最高温度の分布 (Test No. 3) — 火点からの距離: [m] —

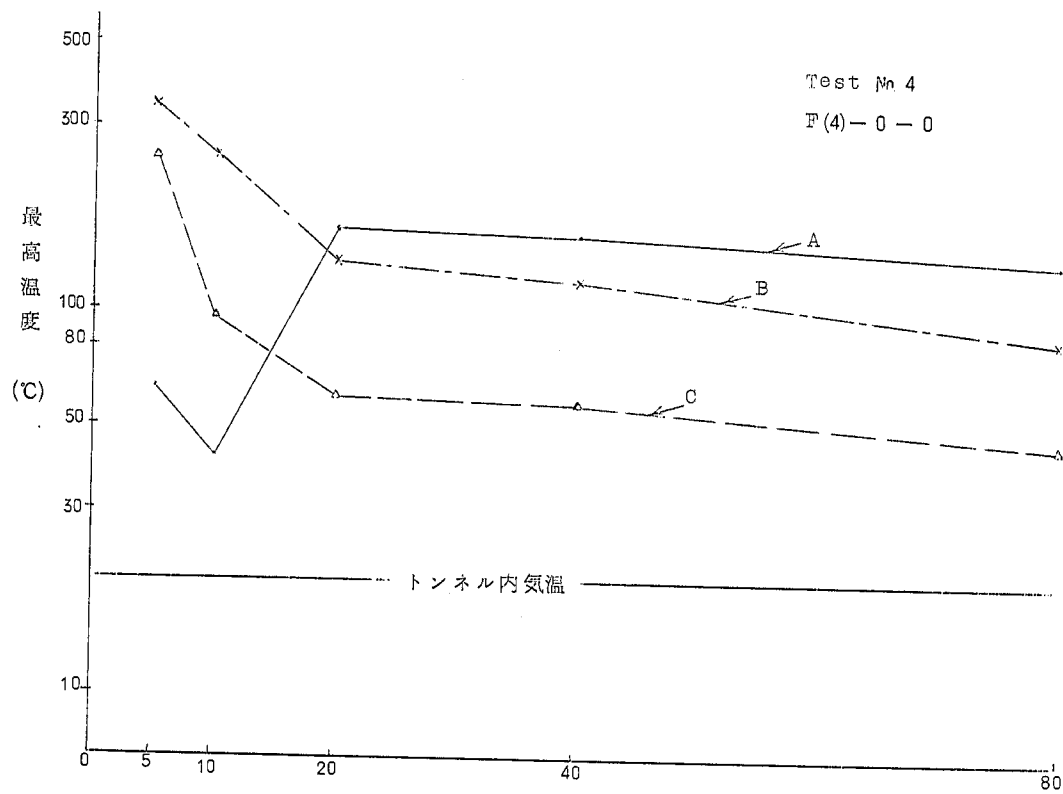
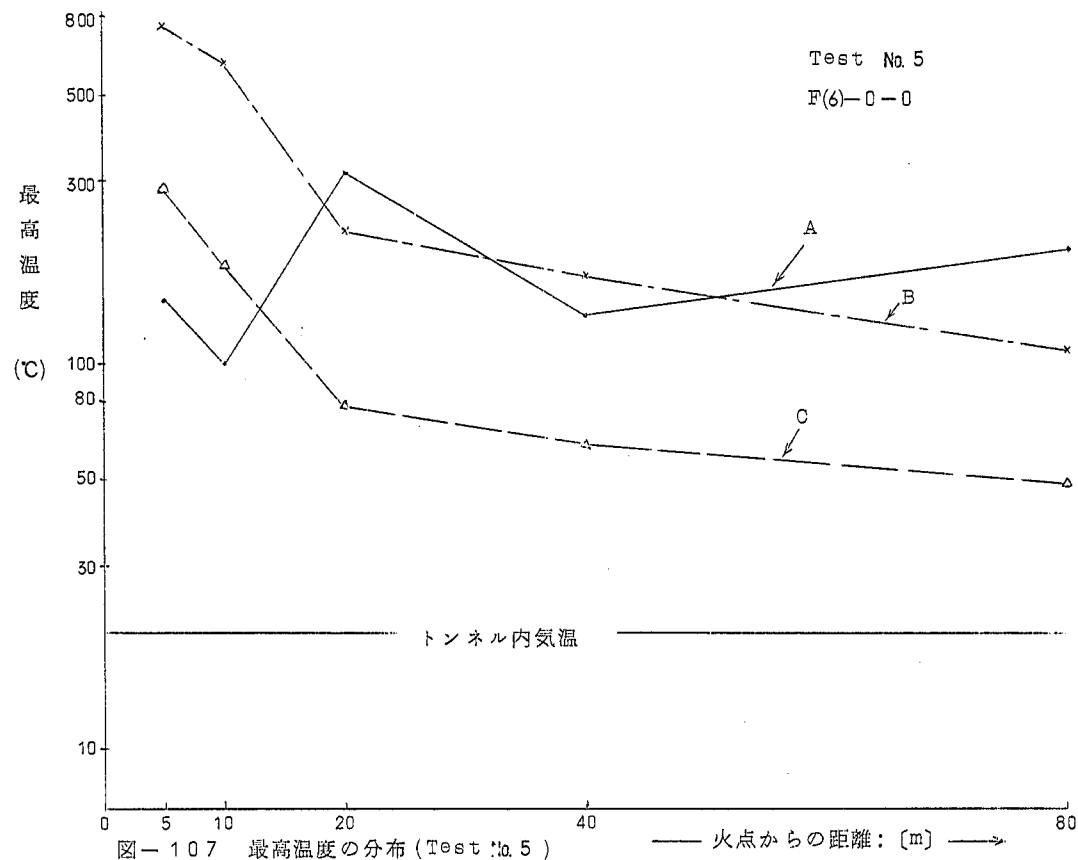


図-106 最高温度の分布 (Test No. 4)

火点からの距離: [m]



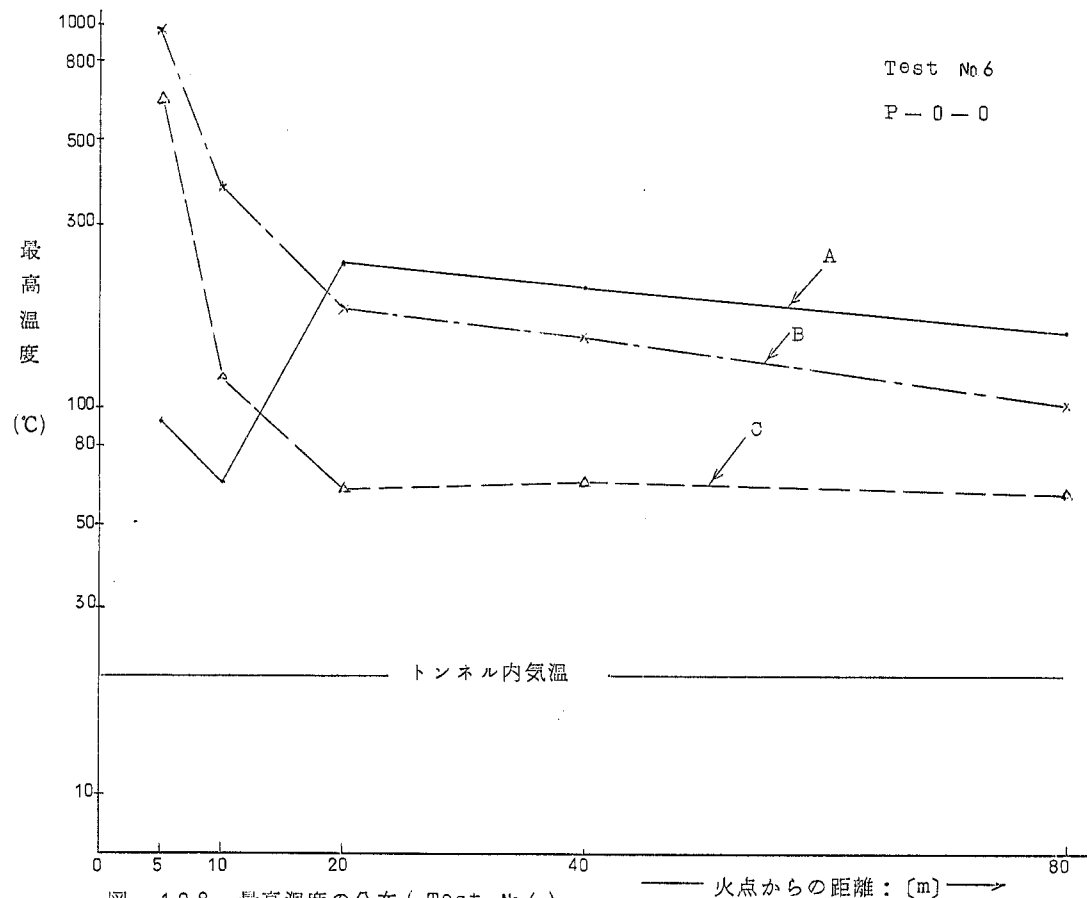
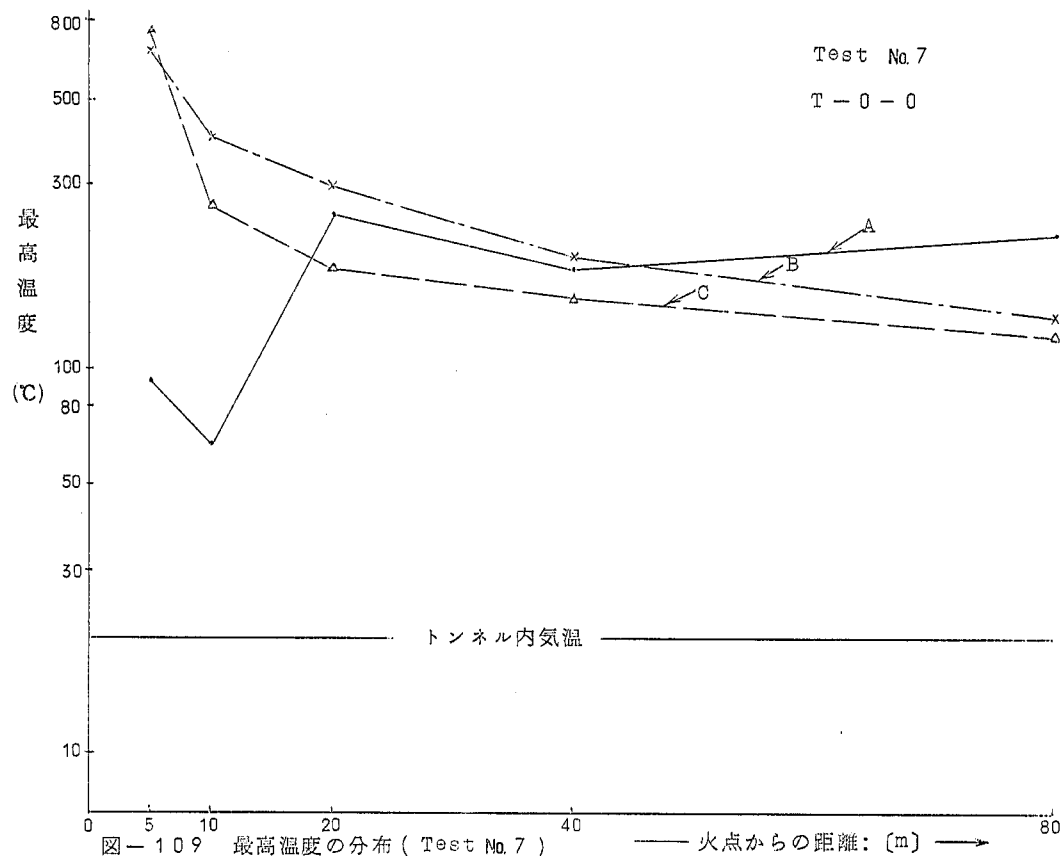


図-108 最高温度の分布 (Test No. 6)



-150-

