

# トロリ線の間歇負荷による温度上昇と 機械的特性の変化

久本 方\* 橋本 博治\*\*

## Intermittent Load Effects on Mechanical Properties and Temperature Rise in Trolley Wires

By Tadashi Hisamoto, D.S.E., and Hiroji Hashimoto  
Hitachi Electric Wire Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

On electric railway lines having incessant traffic, the trolley wire is subjected to so great an intermittent load that the problem arises where the tensile strength of the trolley line is reduced due to overheating. This report describes the results of temperature rise tests when a maximum of 2,200-ampere intermittent load is imposed on a 110 mm<sup>2</sup> trolley wire, which is the most commonly used wire at present.

According to the results of a continuous current test, it was discovered that the surface thermal radiation coefficient greatly varies according to the degree to which the trolley wire surface is blackened by soot, and to atmospheric and wind temperatures. Trolley wire blackened by soot has twice the thermal radiation coefficient of new wire, and the thermal radiation coefficient increases in parallel with the rise in the atmospheric temperature. Moreover, the thermal radiation coefficient increases at a wind velocity of 0-2 m/s, but increases more slowly with a further increase in wind velocity.

In case an intermittent load is imposed on a trolley line, its influence on the surface condition was small. Again, the decreasing effect on the temperature rise brought about by an increase in wind velocity was also smaller than when a continuous load was imposed, and the temperature rise during a wind velocity of 4 m/s was one-half of the value when there was no wind at all.

These facts indicate that the thermal radiation coefficient is affected only slightly by temperature rises caused by intermittent load. From these tests, it was confirmed that under present load conditions, the maximum temperature of the trolley wire would reach 145°C. Through studies on calculating methods for temperature rise effected by the intermittent load, the writers were able to obtain the true formula.

It was further discovered through intermittent load tests made on 2.6 mm model trolley wires that ordinary hard wires rapidly soften when the temperature rises to over 150°C, and that the mechanical properties of Cu-Ag hard wires undergo only small variations even at 280°C.

\* 日立製作所日立電線工場 工博      \*\* 日立製作所日立電線工場



〔I〕 緒 言

最近国鉄では主要幹線の電化を大きくとりあげ、現在東海道本線名古屋—京都間の電化工事を進めている。本工事にあたつては種々の技術的問題があるが、われわれの対象としているトロリ線のみについても、トロリ線架線から電車の運行するまでの防煤の問題および最近完成したEH形電気機関車のような大きな負荷電流を必要とする電車が間歇的に運転される場合のトロリ線の温度上昇などがあげられる。前者に対しては防煤トロリ線に関する日立独自の検討を進めており、一方後者に対しては、短時間ではあるが相当大きな負荷電流が流れるので、かなりの高温まで機械的特性の変化しない銀入トロリ線の研究と関連して、その温度上昇を検討する必要が痛感される。

実際に架線されたトロリ線では、架線されている箇所および負荷の性質によつて、非常に複雑な負荷電流が流れ、またその種類も種々雑多である。それゆえにわれわれの実験の対象とする負荷電流は2, 3の代表的な例に限定し、その他の負荷電流に対しては計算によつて求められるように、実際的な温度上昇計算式を確立したいと考えている。

勿論、現場の架線状態では、日射による温度上昇、煤煙によるトロリ線表面の黒化、および電車の通過によつて生ずる風による温度上昇の軽減などの現象をうけるわけであり、これらについては箇々の現象の温度上昇におよぼす効果を検討し、分析集計する。

最後の温度上昇計算式の検討においては、計算式によつてえた温度上昇曲線と同一条件の実測値とを比較して検討したいと考える次第である。

〔II〕 表面熱放散率

(1) 試料および実験方法

まず、トロリ線の温度上昇におよぼす表面状態および風の影響をしらべるためにつぎの2種類の試料を使用した。

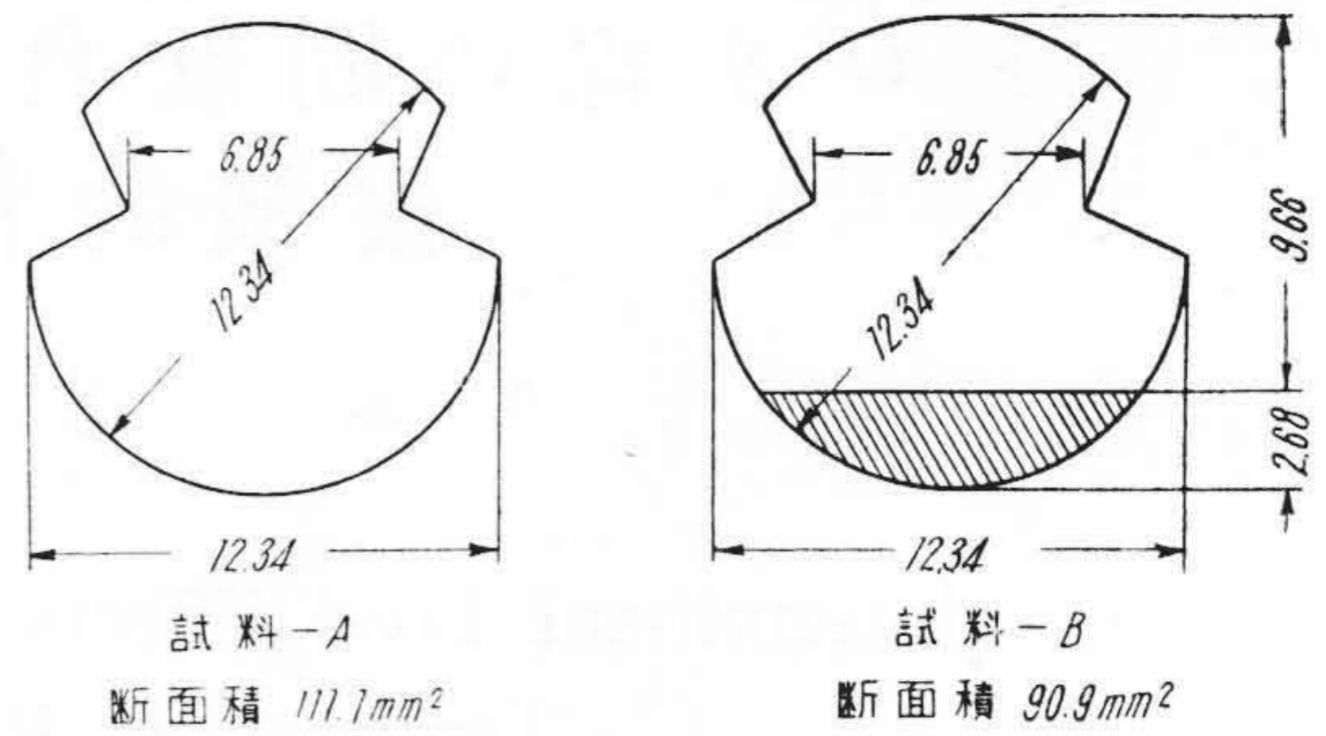
試料—A...110 mm<sup>2</sup> トロリ線 新品

実効断面積 111.1 mm<sup>2</sup>

試料—B...110 mm<sup>2</sup> トロリ線 1箇月使用後のもので表面が煤煙により黒化している。

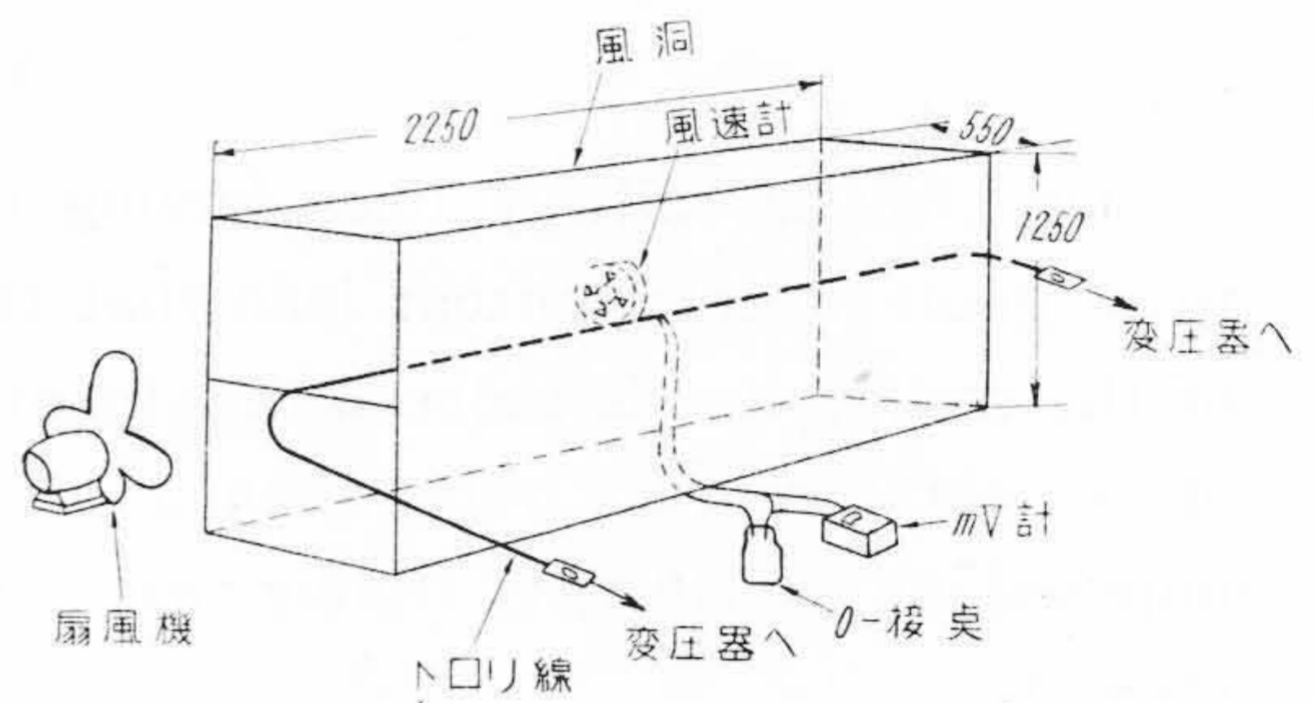
実効断面積 90.9 mm<sup>2</sup>

以上の各試料の断面図は第1図に示す通りであるが、図の斜線は磨耗した部分である。これらの試料を第2図に示す風洞内に水平に支持し、一定連続負荷電流を通電した。トロリ線温度の測定は、0.5 mm 銅—コンスタンタン熱電対を銀蠟で試料中央部にとりつけて行つた。風



第1図 トロリ線断面図

Fig.1. Sectional Diagram of Trolley Wire



第2図 通風試験装置

Fig.2. Apparatus of Windy Test

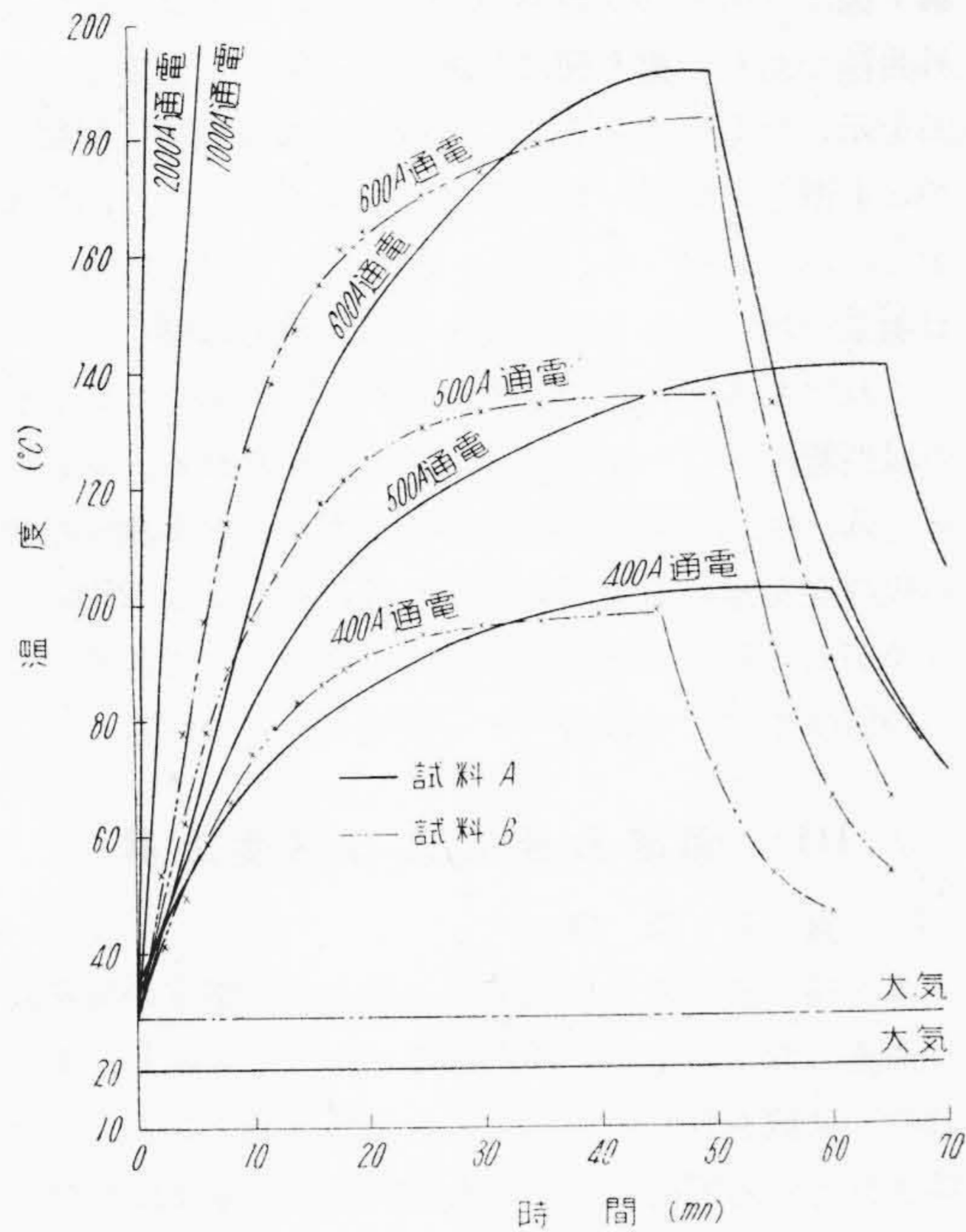
は風洞の入口にとりつけた大型扇風機で与え、風洞の中央部に風速計をとりつけ、扇風機の回転数を変えて風速を調整した。風洞内の各部分における風速を均一にすることはむづかしく、たとえば風速 4 m/s のとき、3.8~4.2 m/s の間のバラツキは避けられなかつた。

(2) 表面熱放散率

前記2試料の無風下における一定電流通電時の温度上昇を示すと、第3図に示す通りである。試料Bは試料Aよりも断面積において18.2% 少いにもかかわらず、同一電流による温度上昇が低く、時定数が小さい。これは表面が煤煙によつて黒化しているためと考えられるが、第4図の熱放散率と温度との関係においてもこの差があきらかである。なお第4図であきらかなように無風状態では熱放散率が温度差に比例して増加している。これを現象的に考えると、温度差の増加によつて対流による熱放散が良好となるためである。

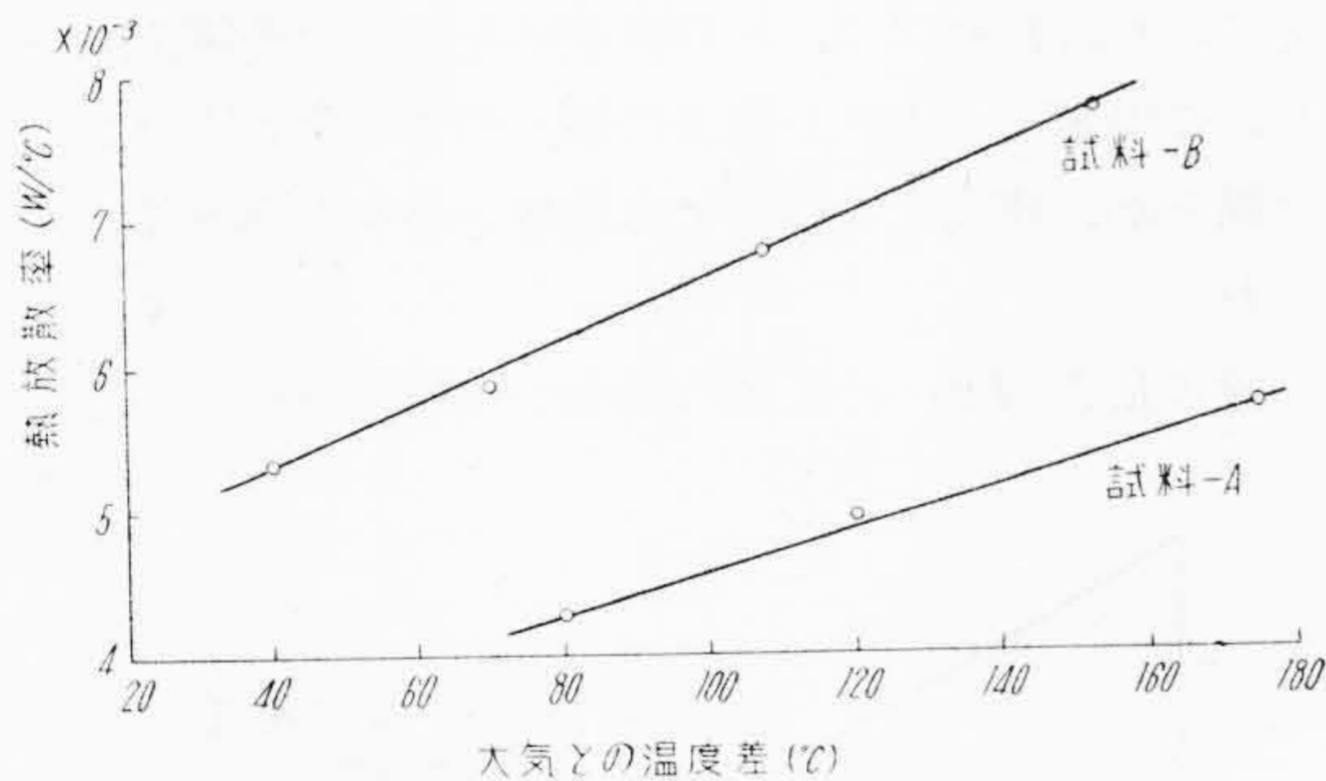
種々の風速の下における試料Bの温度上昇試験を行つたが、これらの結果から各風速における熱放散率と温度との関係を図示すると第5図の通りである。すなわち無風およびわずかの自然通風がある場合には熱放散率は温度差の増加とともに増加しているが、強制通風を行つた場合はあまり大きな変化はなく、むしろ減少している。これは強制通風によつて対流が強制的に行われ、温度差





第3図 連続負荷による温度上昇 (試料-A および B)

Fig. 3. Temperature Rise on Continuous Load (Sample-A and B)



第4図 熱放射率と温度との関係  
Fig. 4. Relation between Thermal Radiation Coefficient and Temperature Difference

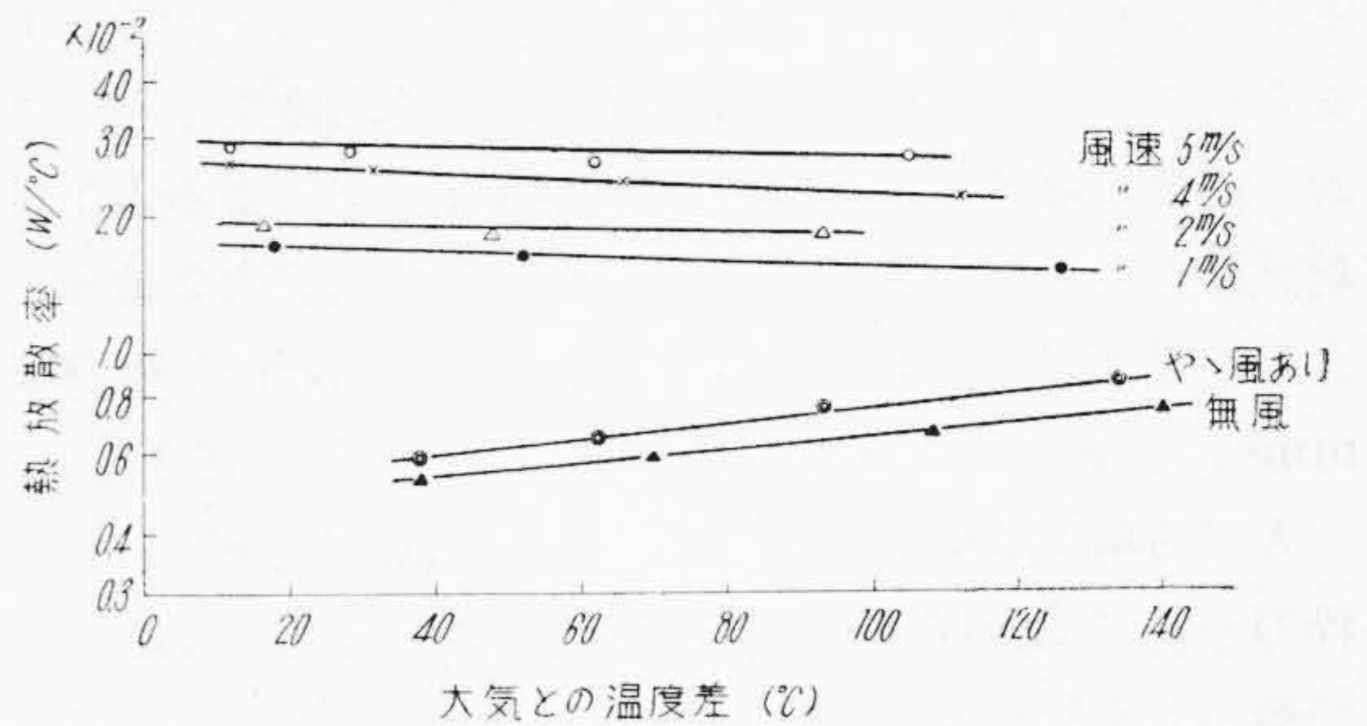
が増加しても対流による熱放射には変化がないためと考えられる。第6図は熱放射率と風速との関係を示すが、風速が 0~1m/s になると急速に熱放射率が増加するがそれ以上の風速の増加に対しては、その変化が比較的緩慢である。

第4図の関係を実験式に示すと、第(1)式となる。

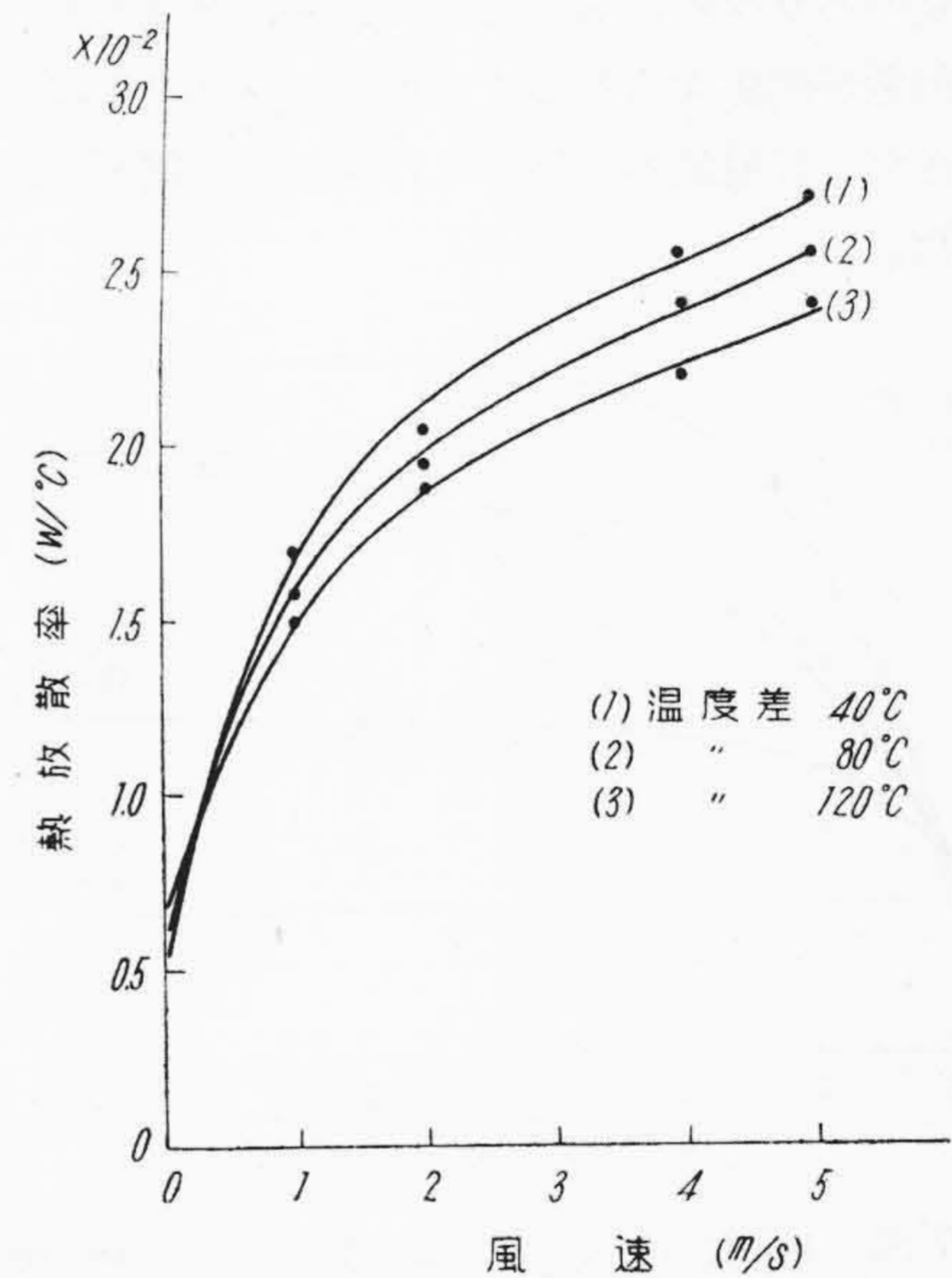
$$g_{th} = A + B\theta \dots\dots\dots (1)$$

ただし  $g_{th}$ : 熱放射率 (W/°C)

A: 試料-A  $2.89 \times 10^{-3}$  (W/°C)



第5図 熱放射率 (試料-B)  
Fig. 5. Thermal Radiation Coefficient (Sample-B)



第6図 熱放射率と風速との関係 (試料-B)

Fig. 6. Relation between Thermal Radiation Coefficient and Wind Velocity (Sample-B)

試料-B	$4.52 \times 10^{-3}$ (W/°C)
B: 試料-A	$1.705 \times 10^{-5}$ (W/°C)
試料-B	$2.07 \times 10^{-5}$ (W/°C)

また、風速と熱放射率の関係は第6図に示すように、温度差によっても変わるので一概に定義することは困難である。R.T.C. Wood<sup>(1)</sup>によれば熱放射率は風速の0.8乗に比例することが示されているが、(風速 0.5~1.5 m/sの間で、ACSRに関する実験) われわれのえた結果では風速の0.32乗に比例することが確かめられた。

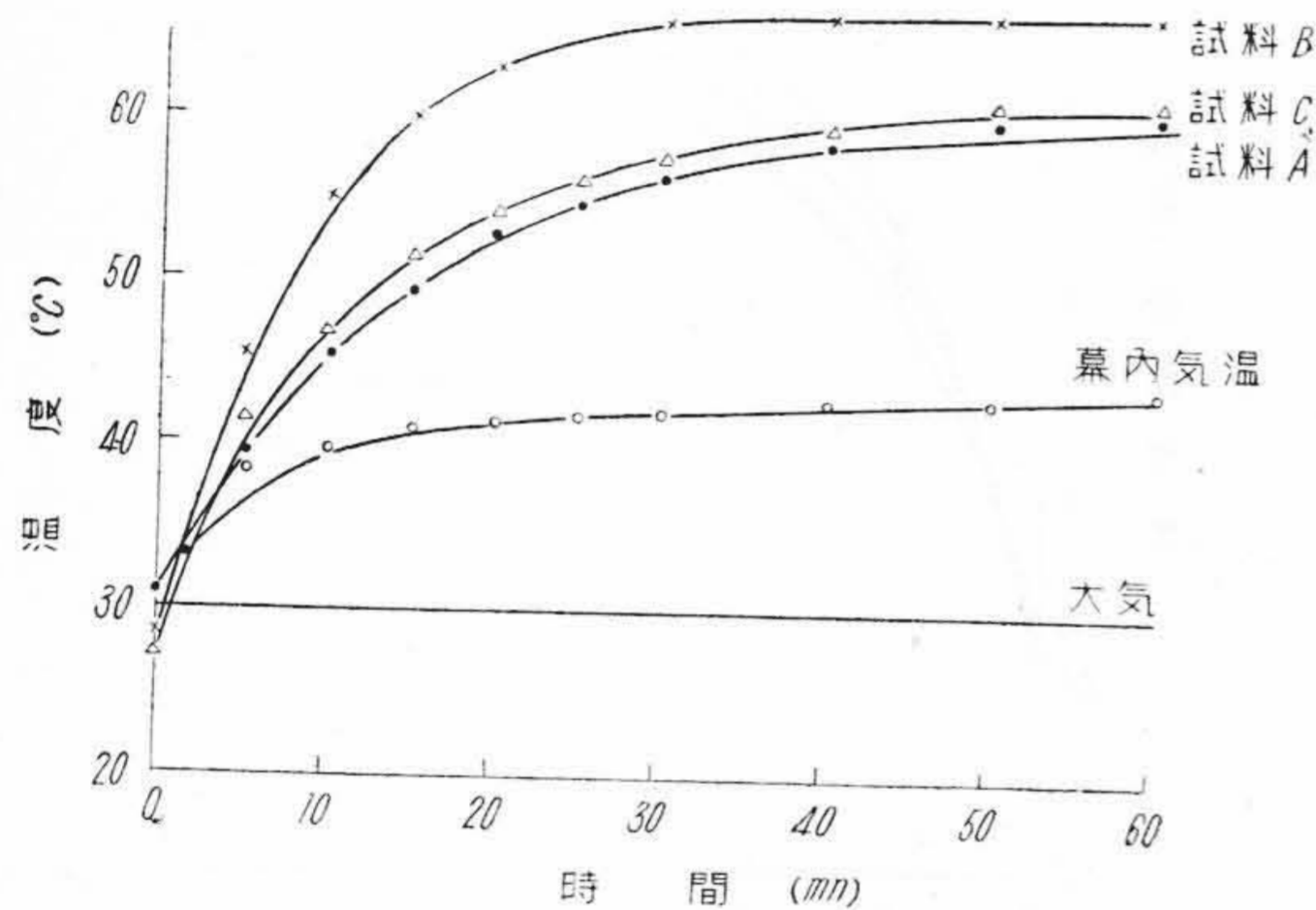
(3) 日射による温度上昇

屋外に架線されたトロッリ線では、日光の直射による温度上昇を無視できない。気象台の記録によれば関東地方の真夏における最大日射量は  $0.125 \text{ W/cm}^2$  となつてい



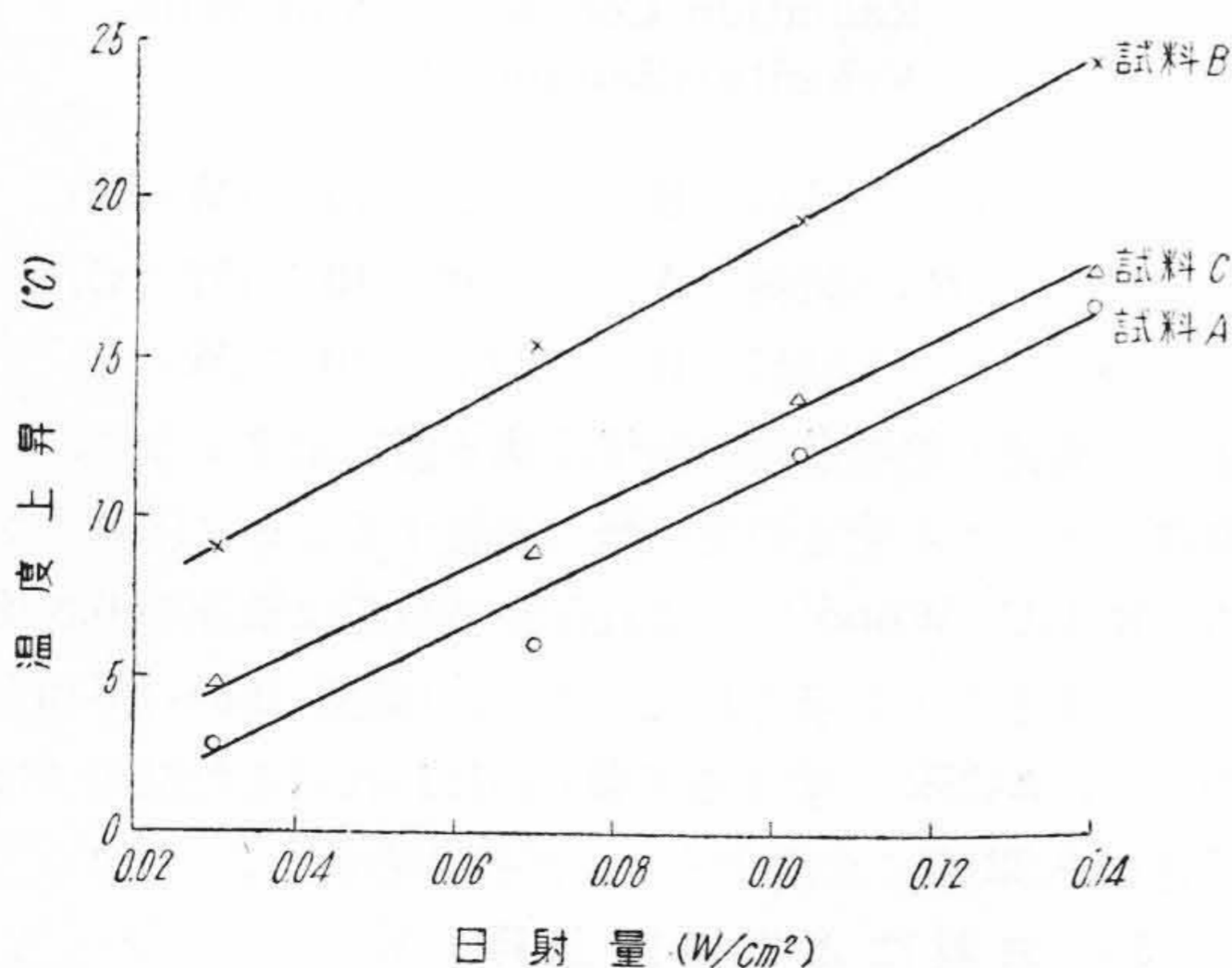
るので、われわれの対象とする日射量もこれで十分と考えられる。また、種々の日射量における温度をしらべておく必要が痛感されたので、赤外線ランプによる人工日射試験を行つた。実験に使用した試料は前記の2種類とさらに表面黒化の程度がBよりも少く、実効断面積  $90.2 \text{ mm}^2$  に磨耗したトロリ線(試料-Cとする)を使用した。

人工日射試験装置は幅 2m, 長さ 5m, 高さ約 1m の枠の上部に 200W の赤外線電球を 18 箇ならべ周囲を幕で覆つたものである。試料は床上 50 cm の高さに 3 本並列に水平に支持される。試料温度の測定は前述の連続負荷試験のときと同様であり、日射量の測定には熱電対型日射計を使用した。試料高さの各部分における日射量は約 8% のバラツキがあつたけれども、温度上昇には平均の日射量が関係するのでこの程度のバラツキは問題ないと考えた。日射量の調整は赤外線電球の電圧を変化して行つた。



第7図 日射による温度上昇曲線 (日射量  $0.125 \text{ W/cm}^2$ )

Fig. 7. Curves of Temperature Rise by Sun-Rays



第8図 日射量と温度上昇との関係  
Fig. 8. Relation between Strength of Sun-Rays and Temperature Rise

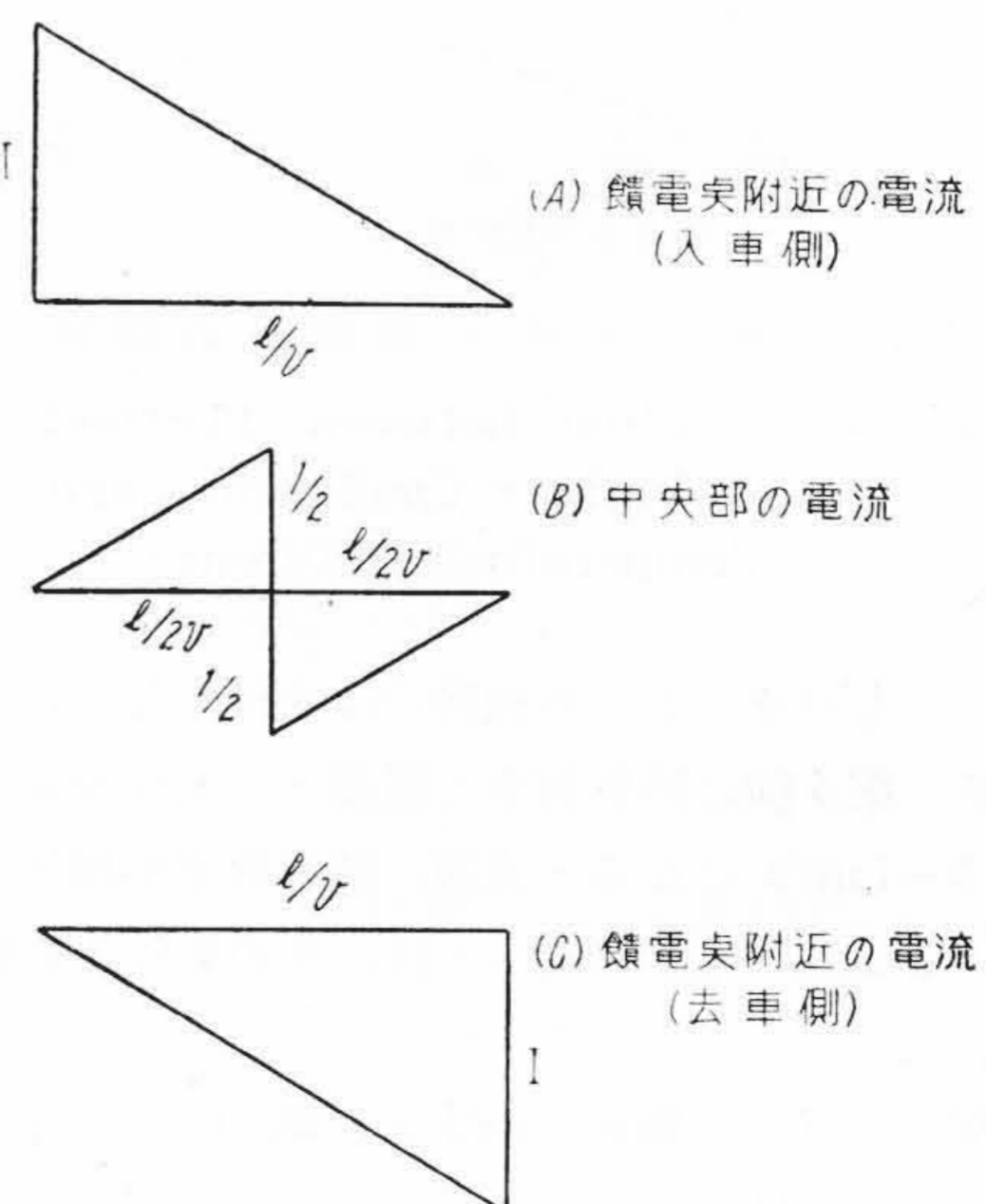
第7図は日射量  $0.125 \text{ W/cm}^2$  のときの各試料の温度上昇曲線であり、第8図は各試料の日射量と温度上昇の関係を示したものである。3試料のうち表面黒化程度のもつとも激しい試料-Bはもつとも温度上昇高く、 $25^\circ\text{C}$  を示し、以下試料-C, 試料-A の順となつている。また日射量の増加とともに温度上昇は比例的に増加している。これはある物体の吸収能はわれわれが考えている程度の温度範囲では一定であるためと考えられる。前述の試料-A, および試料-B の熱放散率の値と本測定結果から吸収能を求めると、それぞれ 77% および 27% という値がえられ、各日射量についてほぼ一定である。これらの値は木曾氏の報告<sup>(2)</sup>と一致するものである。

### 〔III〕 間歇負荷による温度上昇

#### (1) 負荷条件

トロリ線に流れる負荷電流は、通過する電車の種類、走行速度、および電車の通過間隔によつて変化し、ある一箇所に架線された線についても多種多様である。また架線されている場所によつても流れる負荷電流は非常に違う。たとえば駅附近の発車側では起動時の非常に大きな電流が流れるのに対し、電車が減速するような区間ではほとんど電流が流れない。これらのすべての負荷電流に対する実験を行うことは、装置の関係で不可能な場合もあるし、また非常に手数のかゝることでもある。それゆゑに、われわれは 2, 3 の代表的な間歇負荷電流を選択し、この電流が流れた場合の種々の外的条件下(たとえば風とか、使用する線種)の温度上昇をしらべることにした。

一般に長さ  $l \text{ m}$  の区間の両端から饋電されているト



第9図 トロリ線の負荷電流  
Fig. 9. Load Currents of Trolley Wire



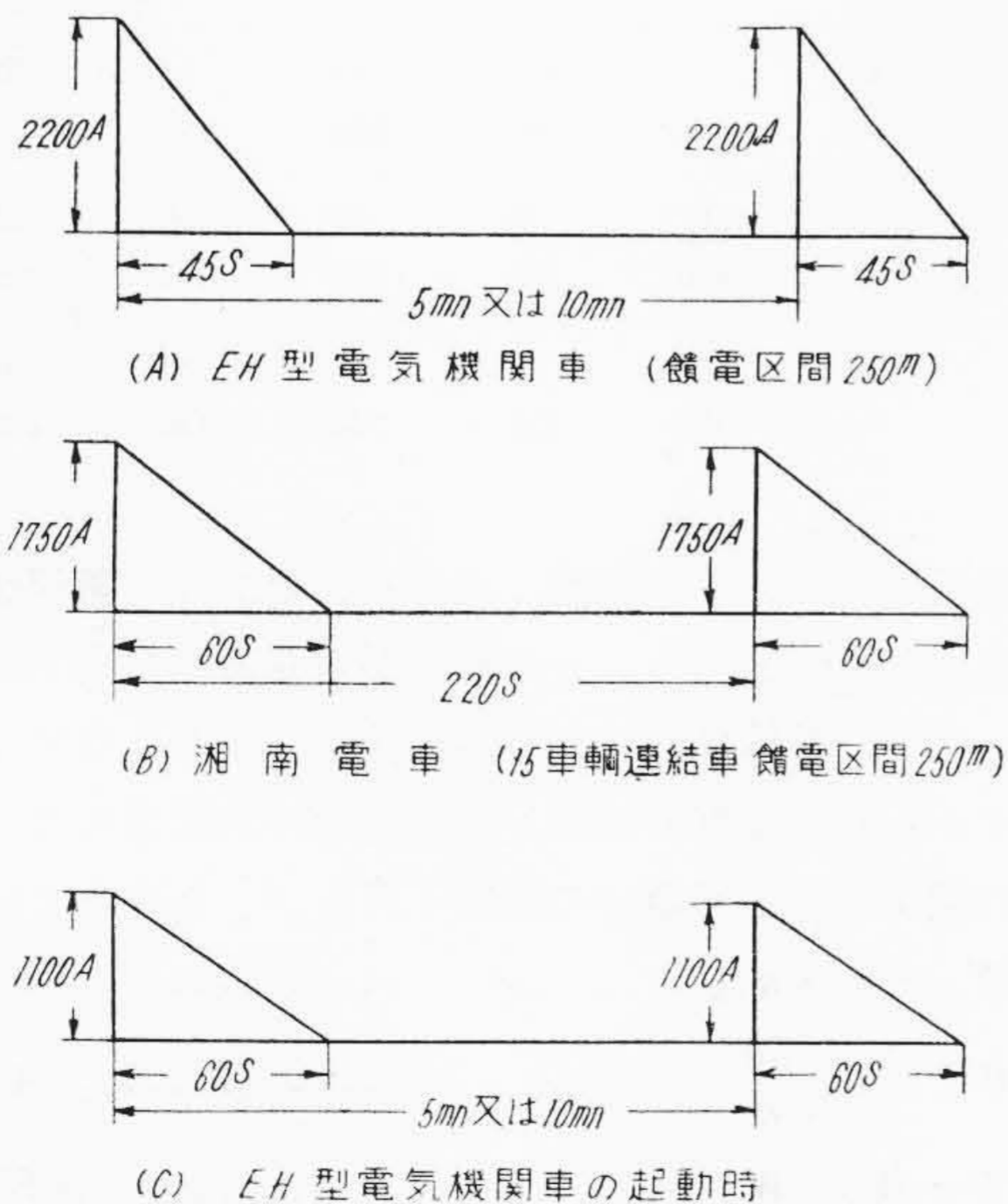
トロリ線上を  $IA$  の一定電流をとるパンタグラフが  $v$  m/s の一様な速度で走行している場合、最初にパンタグラフが通過する側の饋電点附近、饋電点中央部および反対側饋電点附近の3点におけるトロリ線に流れる電流は第9図(A), (B) および (C) の通りとなる。国鉄の調査によれば、国鉄の場合饋電区間は普通 250m で、代表的負荷電流は第10図に示す通りとなっている。

われわれが実験の対象としたのも上記3種類の負荷電流である。また電車が通過するときには、相当大的な風がトロリ線の長さの方向に生ずるが、前述の試料AおよびBの間歇負荷電流試験においては、通電時のみ通風を与えた。

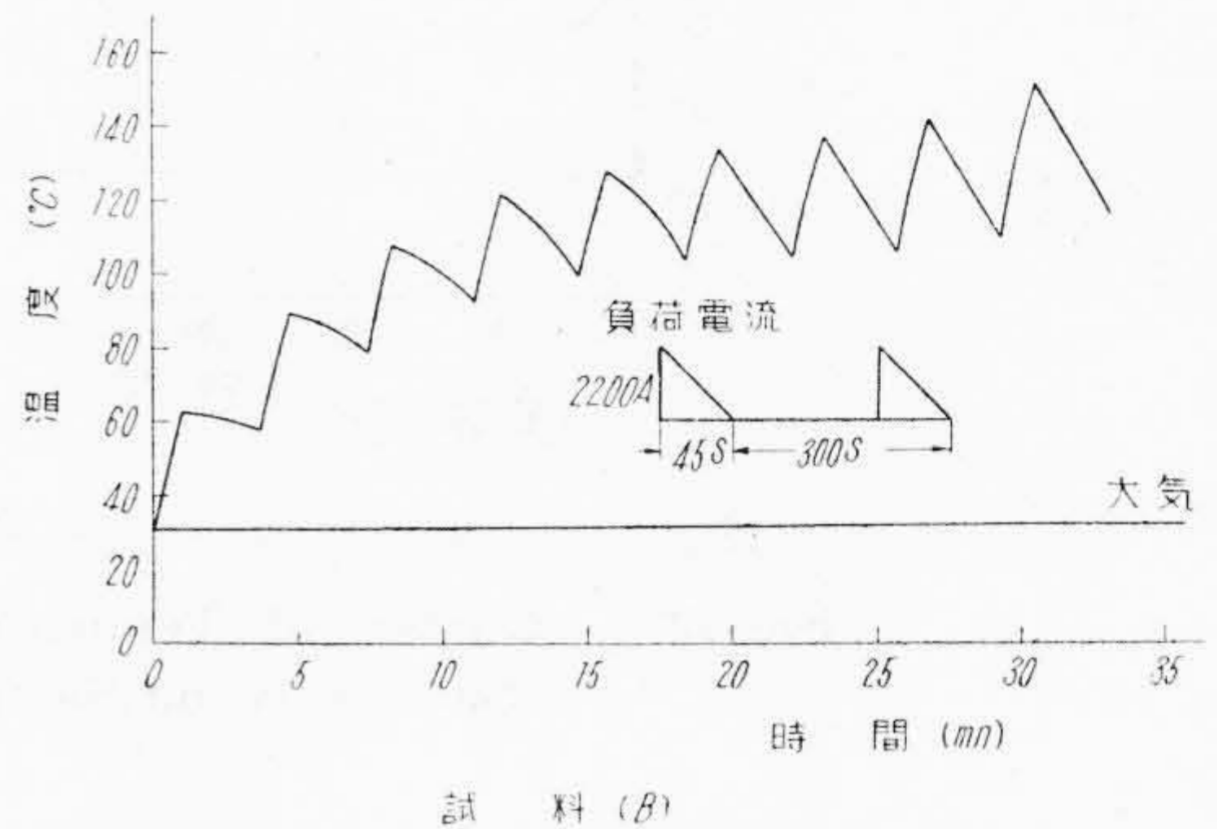
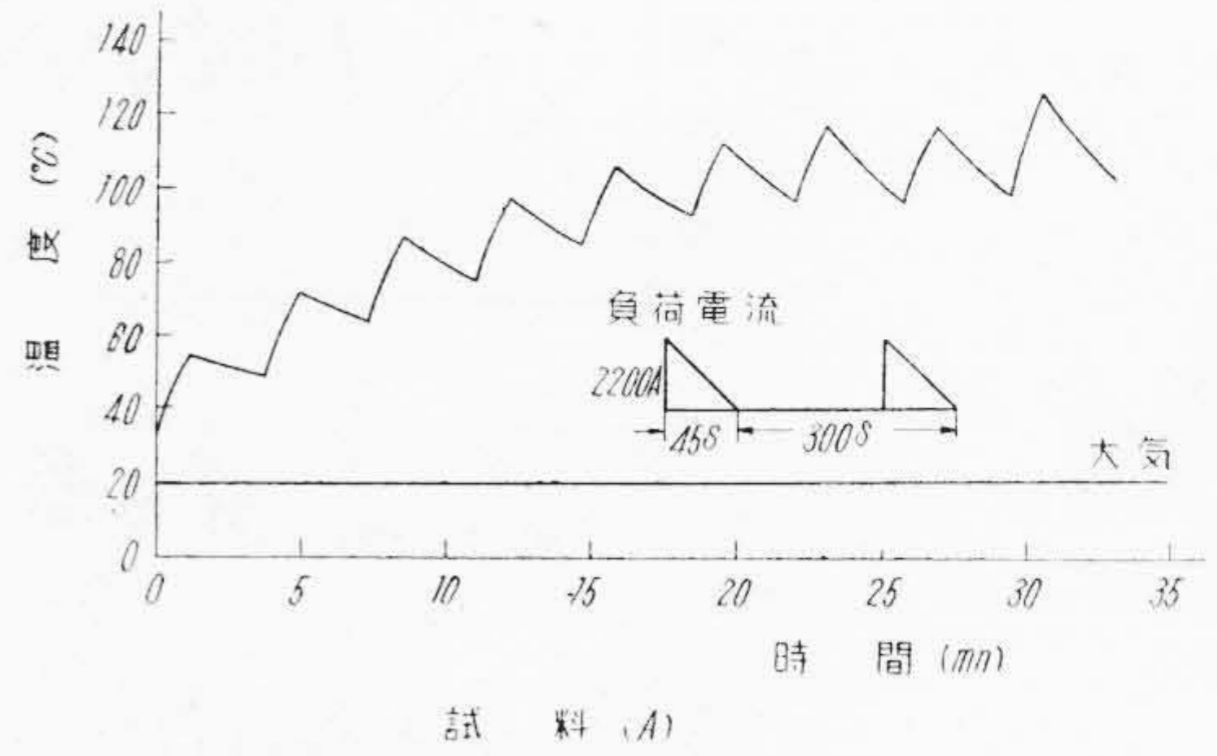
(2) 実験結果

試料AおよびBに前述の数種の間歇負荷電流(無風)を通電したときの温度上昇を測定したが、その一例を示すと第11図の通りである。すなわち同一負荷条件に対し、試料Bは温度上昇において約18%大きい。本結果は前述の一定電流通電の場合と反対の関係にあるが、つぎのような理由によるものと考えられる。すなわち、間歇負荷を与えたときは負荷時間が短いために、その温度上昇は表面熱放散率の影響を受ける事が少く、主として発生熱量(試料Bは断面積が小さく抵抗が大きい)に左右されることを示すものである。

第12図(次頁参照)は各負荷条件における風の影響をしらべる実験のうちから一例として 2,200A × 45s 負荷の場合をとり、比較して示したものである。風速が 0 m/s から増大するにしたがい温度上昇は減少するが、これを



第10図 種々の間歇負荷電流  
Fig.10. Various Type of Intermittent Load Current



第11図 間歇負荷電流による温度上昇 (試料AとBの比較)

Fig.11. Temperature Rise by Intermittent Load Current (Compared between Sample A and B)

一定電流通電の場合に比べると、その減少程度がはるかに少いことがあきらかである。これらの実験結果を表にまとめると第1表(次頁参照)の通りとなる。すなわち風速の増大に伴い、連続負荷の場合は温度上昇および時定数とも急速に減少しているのに対し、間歇負荷の場合は減少程度が約1/3である。

以上の実験結果から実際のトロリ線の最高温度上昇を推定できるわけであるが、いま周囲温度を  $\theta_a$  °C、日射による温度上昇を  $\theta_s$  °C、間歇負荷による温度上昇を  $\theta_e$  °C とすれば、トロリ線の温度  $\theta$  °C はこれの和としてあらわされる。

$$\theta = \theta_a + \theta_s + \theta_e \dots\dots\dots (2)$$

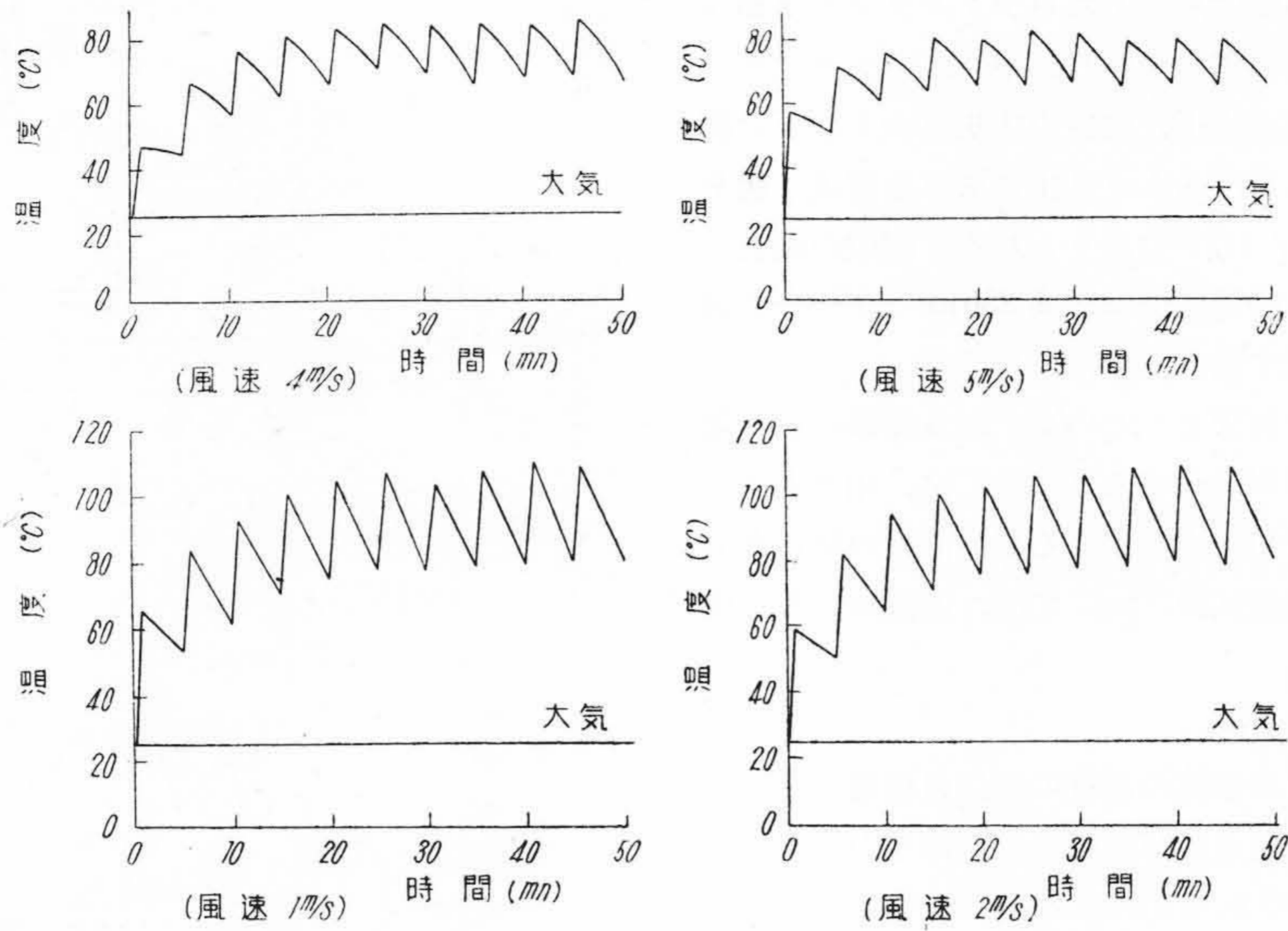
$\theta_a$  としては 35°C が最高であると考えられ、 $\theta_s$  は前述の実験によれば 25°C とすれば十分であるので、これらの値と第1表の値から最高と思われる温度上昇を求めると第2表(次頁参照)の通りとなる。

[IV] 温度上昇計算式

(1) 一定間歇負荷電流通電の場合

トロリ線のような裸線では電流通電によつて発生した熱量は表面から直ちに空気中へ放散され、放熱等価回路





第12図 各風速における温度上昇曲線 (試料-B, 負荷条件第11図と同じ)  
 Fig.12. Curves of Temperature Rise at Various Wind Velocities (Sample-B, on Sample Loading Condition with Fig. 11)

第1表 温度上昇および時定数

Table 1. Temperature Rises and Time Constants

負荷条件		試料 風速 (m/s)	A					B				
			0	1	2	4	5	0	1	2	4	5
連続負荷	400A	温度上昇 (°C)	81	19	14	11	7	80	24	17	11	2
		時定数 (s)	680	540	540	510	330	570	330	240	240	—
	600A	温度上昇 (°C)	172	56	45	24	16	165	53	49	28	19
		時定数 (s)	930	570	540	450	240	570	330	270	240	—
	800A	温度上昇 (°C)	—	111	88	41	33	—	125	95	66	58
		時定数 (s)	—	510	340	270	240	—	380	210	270	—
間歇負荷	1,750A×60 s 160 s 休止	温度上昇 (°C)	110	—	—	—	—	114	79	78	56	55
		時定数 (s)	585	—	—	—	—	450	360	255	165	120
	2,200A×45 s 255 s 休止	温度上昇 (°C)	112	—	—	—	—	131	85	82	59	57
		時定数 (s)	525	—	—	—	—	350	255	240	150	135

第2表 最高温度 (試料-B) °C

Table 2. Maximum Temperature (Sample-B)

負荷条件	風速 (m/s)				
	0	1	2	4	5
1,750A×60 s (三角波) 160 s 休止	174	139	138	116	115
2,200A×45 s (三角波) 255 s 休止	191	145	142	121	117

も絶縁電線<sup>(3)</sup>のように複雑に考える必要がなく第13図に示す簡単なものとなる。しかしながら非常に温度上昇が大きいので、導体抵抗および熱抵抗を一定とみなすことはむづかしく、温度の函数とみなさなければならない。

第13図から電流通電時の温度上昇を  $\theta_w$  とすると、

$$W_g = \theta_w \cdot g_{th} \dots\dots\dots (3)$$

$$W_c = C \frac{d\theta_w}{dt} \dots\dots\dots (4)$$

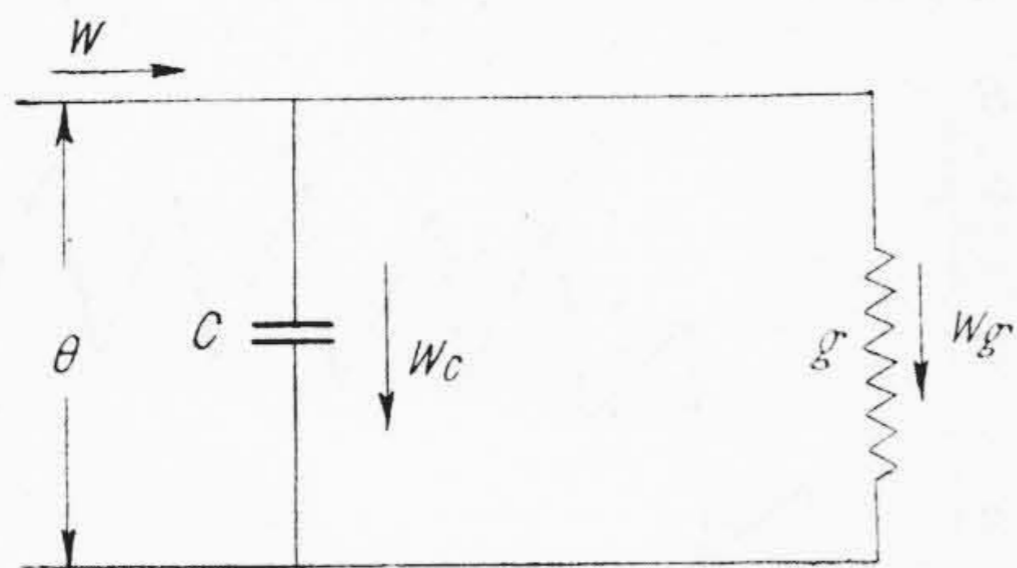
$$W = W_c + W_g \dots\dots\dots (5)$$

(1) 式から

$$g_{th} = A + B\theta_w$$

であるので (6) 式の微分方程式をうる。





$\theta$ : 温度上昇                       $\alpha$ : 抵抗の温度係数  
 $W$ : 発生熱量  $= I^2 r (1 + \alpha \theta)$      $C$ : 熱容量  
 $I$ : 電流                               $g$ : 熱放散率  
 $r$ : 導体抵抗

第13図 放熱等価回路  
 Fig.13. Equivalent Circuit of Thermal Radiation

$$W_0(1 + \alpha \theta_m) = \theta_m(A + B\theta_m) + C \frac{d\theta_m}{dt} \dots \dots (6)$$

いま

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{W_0\alpha - A + \sqrt{(W_0\alpha - A)^2 + 4BW_0}}{2 \cdot B} \\ Q &= \frac{W_0\alpha - A - \sqrt{(W_0\alpha - A)^2 + 4BW_0}}{2 \cdot B} \end{aligned} \right\} \dots \dots (7)$$

とおくと、(6)式の解は(8)式となる。

$$\theta_m = \frac{C_m P - Q \varepsilon^{-\frac{B(P-Q)}{C}t}}{C_m - \varepsilon^{-\frac{B(P-Q)}{C}t}} \dots \dots (8)$$

ただし、 $C_m$ は初期条件によつて定る定数であり、 $t=0$ において  $\theta_m = \theta_{m0}$  とすれば

$$C_m = \frac{Q - \theta_{m0}}{P - \theta_{m0}} \dots \dots (9)$$

で与えられる。

つぎに電流が遮断されて冷却される場合の外気との温度差を  $\theta_s$  とすれば、(6)式において  $W_0=0$  としてつぎの解がえられる。

$$\theta_s = \frac{A/B \varepsilon^{-\frac{A}{C}t}}{C_s - \varepsilon^{-\frac{A}{C}t}} \dots \dots (10)$$

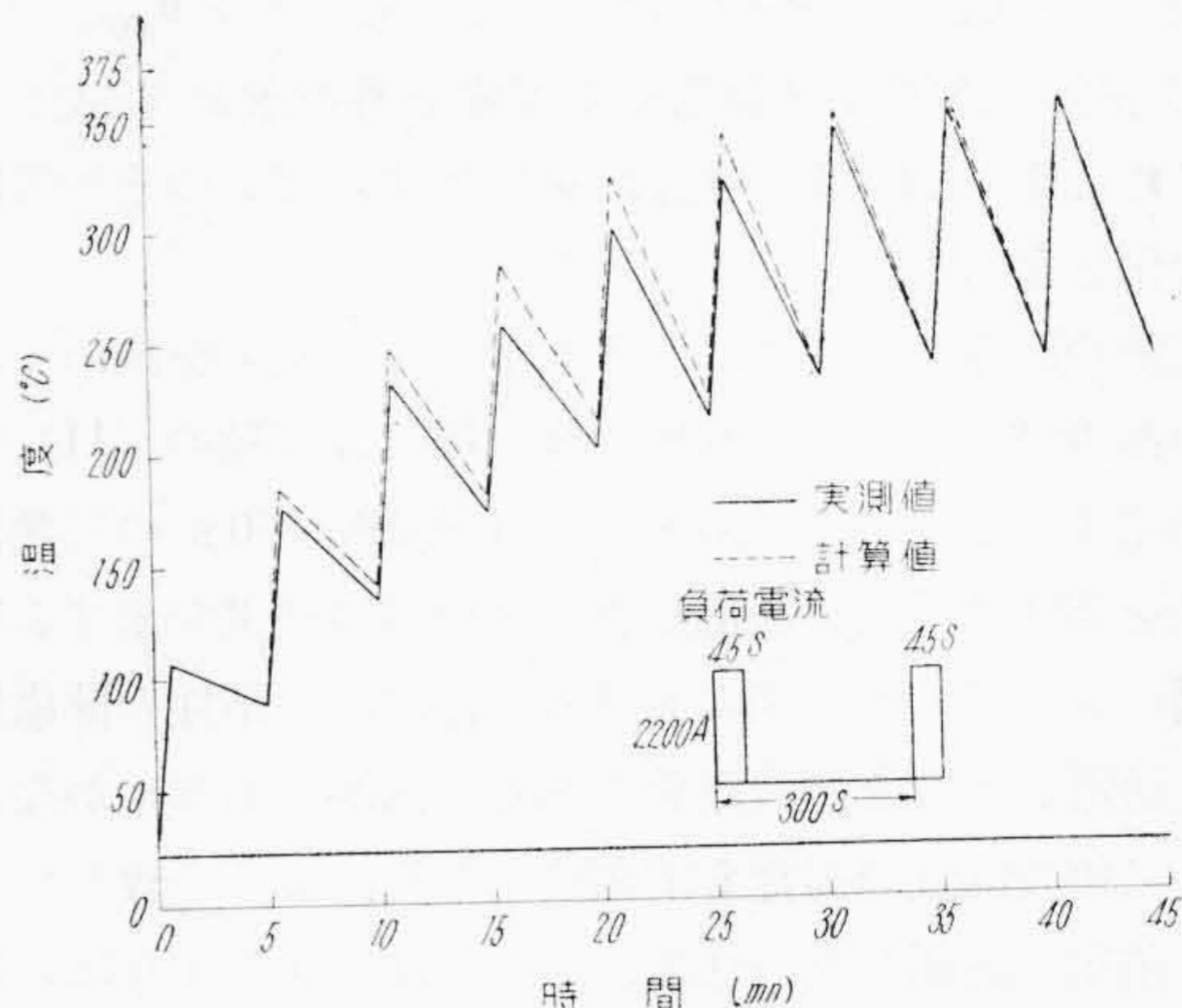
ただし、 $C_s$ は初期条件によつて定る定数で、 $t=0$ において  $\theta_s = \theta_{s0}$  とすれば

$$C_s = 1 + \frac{A}{\theta_{s0} \cdot B} \dots \dots (11)$$

であらわされる。間歇負荷の場合は、(8)式および(10)式の間係を図示しておけば、一定電流通電時間  $t_m$  と休止時間  $t_s$  とから図式的に温度上昇曲線を求めることができる。

一例として  $110 \text{ mm}^2$  トロリ線(新品)に  $2,000 \text{ A}$   $45$ 秒通電、 $225$ 秒 休止の一定間歇負荷を与えた場合の計算結果を示すと第14図の通りである。図中の実線は同一負荷条件による実測結果である。

これまでも間歇負荷による温度上昇計算式として簡単な式が発表されているが、本問題におけるような温度



第14図 一定電流間歇負荷による温度上昇の計算結果

Fig.14. Calculating Result of Temperature Rise on Intermittent Load of Continuous Currents

上昇の高い場合には前述の条件からえた式を使用するのが望ましいと考えられる。

(2) 三角波間歇負荷電流通電の場合

前項では矩形波の間歇電流通電の場合を求めたが、これらの計算をより実際的なものとするには、三角波電流が流れ、しかも通電時には風による温度上昇軽減効果を考える必要がある。

第5図の結果によれば風のある場合、熱放散率は温度に関し、一定とみなしても大差ない。また第9図の三角波電流を式であらわせば(12)式となる。

$$I_t = I \left(1 - \frac{t}{t_1}\right) \dots \dots (12)$$

ただし  $t$ : 電流が流れ始めてからの時間  
 $t_1$ : 電流が流れている時間  $= l/v$

これらの関係を(6)式に代入すれば、三角波電流に対する方程式がえられる。すなわち

$$I^2 r \left(1 - \frac{t}{t_1}\right)^2 (1 + \alpha \theta_m) = \theta_m \times A + C \frac{d\theta_m}{dt} \dots (13)$$

(13)式の特解は左辺=0としてつぎの通りとなる。

$$\theta_m = C_1 \varepsilon^{-\frac{A}{C}t} \dots \dots (14)$$

(14)式の  $C_1$ を  $t$ の函数として、微分を求め、また(13)式において  $\alpha$ を無視すると、(13)式は(15)式となり、

$$\begin{aligned} I^2 r \left(1 - \frac{t}{t_1}\right)^2 &= C \frac{dC_1}{dt} \varepsilon^{-\frac{A}{C}t} \dots \dots (15) \\ \varepsilon^{-\frac{A}{C}t} &= \left(1 + \frac{A}{C}t\right) \end{aligned}$$

とおいて(14)および(15)式から  $\theta_m$ を求めるとつぎの解をうる。

$$\begin{aligned} \theta_m = & \left\{ \frac{I^2 r}{C} \left( t + \frac{A}{2C} t^2 - \frac{t^2}{t_1} - \frac{2}{3} \frac{A}{C t_1} t^3 \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{t^3}{3 t_1^2} + \frac{A}{4 C t_1^2} t^4 \right) + C_2 \right\} \times \varepsilon^{-\frac{A}{C}t} \dots \dots (16) \end{aligned}$$



ただし、 $C_2$  初期条件によつて定まる定数  $=\theta_{\omega 0}$   
 (16) 式が三角波電流通電時の温度上昇を求める式であり、 $r$  として  $r_0(1+\alpha\theta_{\omega 0})$  を使用すればいつそう実際的な値となる。

実際の計算においては、各通電ごとに  $\theta_{\omega 0}$  を決めて、その都度  $\theta_{\omega}$  を求め、温度下降の場合は前項の (11) 式を使用すればよい。一例として  $1,750A \times 60s$  の三角波電流を 220 秒周期で通電したときの計算結果を示すと第 15 図の通りである。図における実線は同一条件の間歇電流を通電したときの実測値である。図からあきらかなように三角波電流の場合も実測値と非常によく一致しており、前項に説明した方法と、この方法を併用すれば、矩形波、三角波、いずれの場合でも、あるいはこれらが複合して間歇的に流れた場合にも計算によつて温度上昇を求めることが可能である。さらに正弦波あるいは他の複雑な波形の場合にも、矩形波および三角波に等価的に置換できるからすべての場合に計算可能である。

〔V〕 間歇負荷による機械的特性の変化

(1) 試料および試験方法

110 mm<sup>2</sup> トロリ線に 2,000A 程度の実負荷をかけ長時間間歇負荷試験を行うことは電源容量および自動電流遮断および投入装置の容量の点で困難である。またこれから問題にする銀入トロリ線と普通硬銅線の比較のためにはかならずしも 110 mm<sup>2</sup> のサイズのもので試験する必要がないのでつぎの試料によつて比較試験を行った。

- i) 2.6 mm 普通硬銅線
- ii) 2.6 mm 銀入り硬銅線

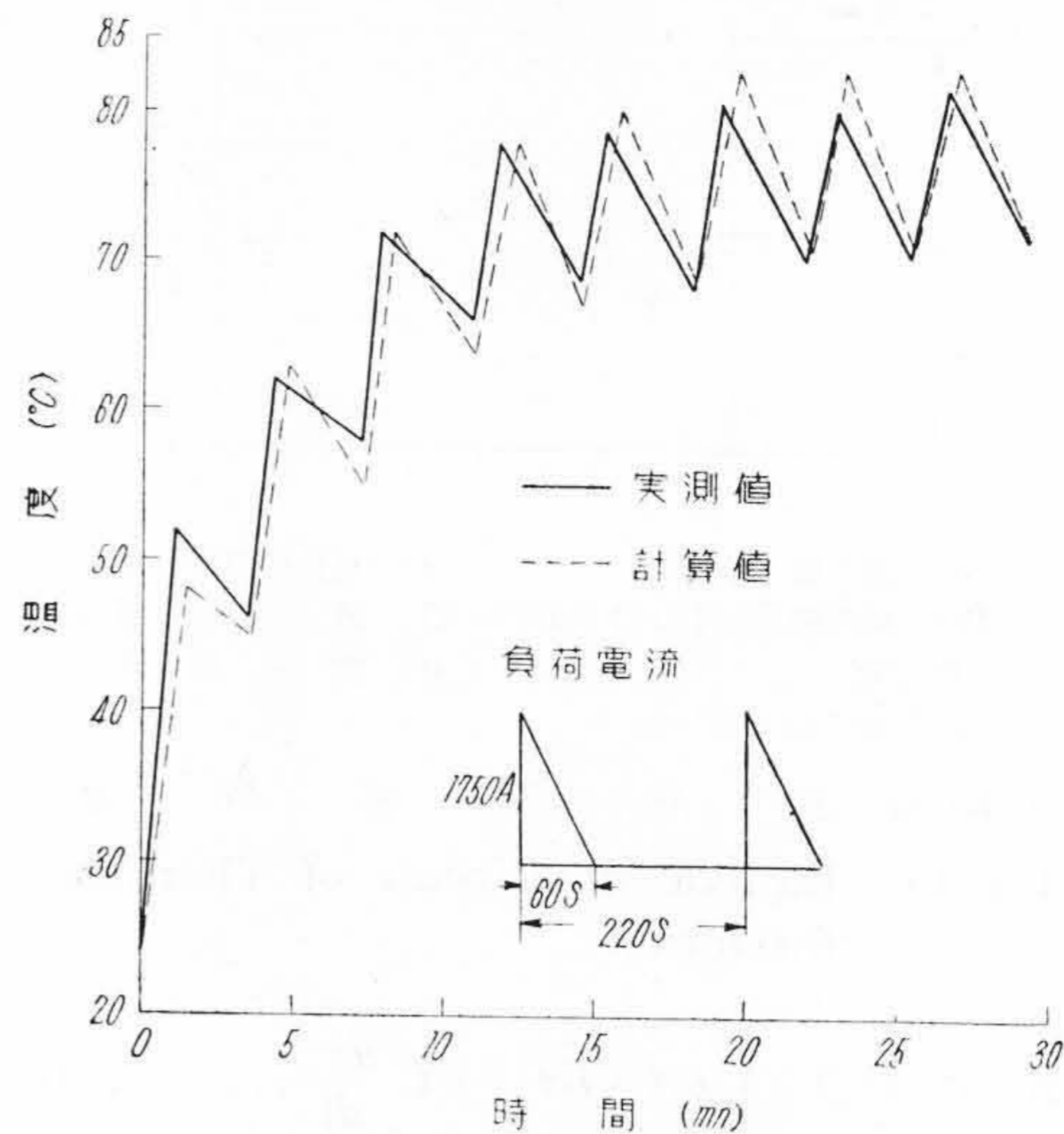
以上の 2 種類の試料を各 3m 直列に接続し、適当な大きさの電流を 37 秒通電し、264 秒休止するような間歇電流を通電した。電流の遮断および投入は上記の周期で開閉するロータリースイッチで行い、通電中の温度は 0.2 mm 銅-コンスタンタン熱電対で測定した。通電試験の終了した試料のうちから 5 箇の試片をとり、これらの機械的特性および導電率を測定した。次項に述べる数値はこれらの 5 箇の平均をとつたものである。

(2) 試験結果

通電試験時の各条件を列記すると第 3 表の通りであるが、通電々流は各条件とも大幅に変化している。これは温度の上昇によつて導体抵抗が増加するためである。

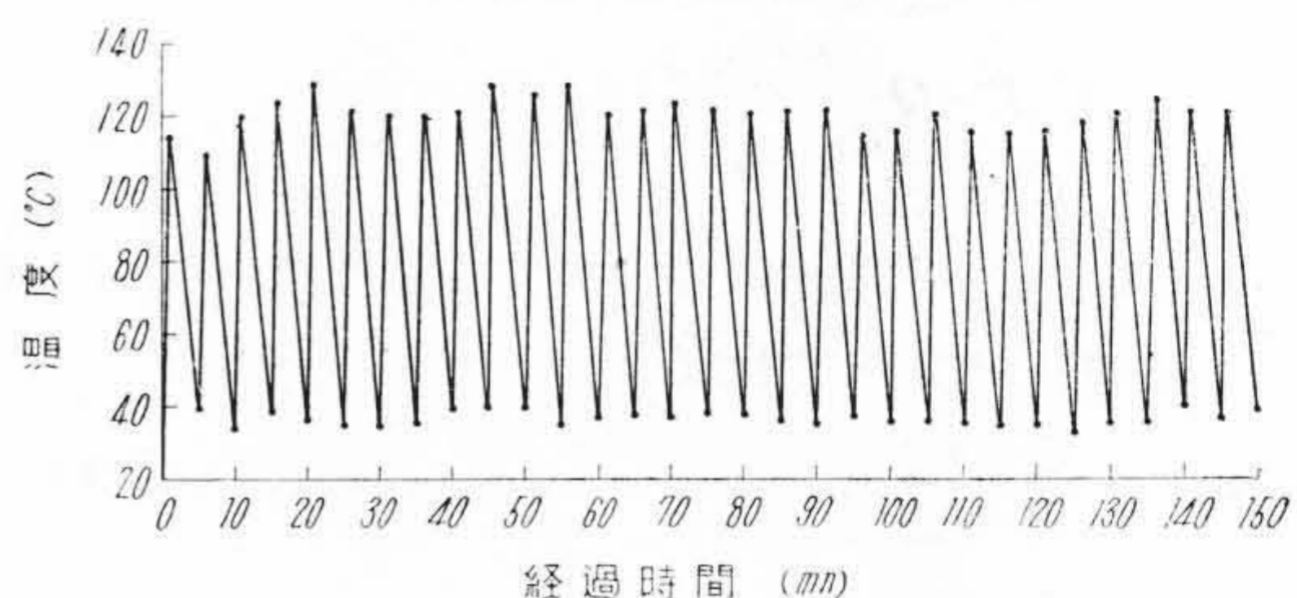
第 17 図 モデルトロリ線の間歇負荷による抗張力の変化

Fig. 17. Change of Tensile Strength of Model Trolley Wire on Intermittent Load



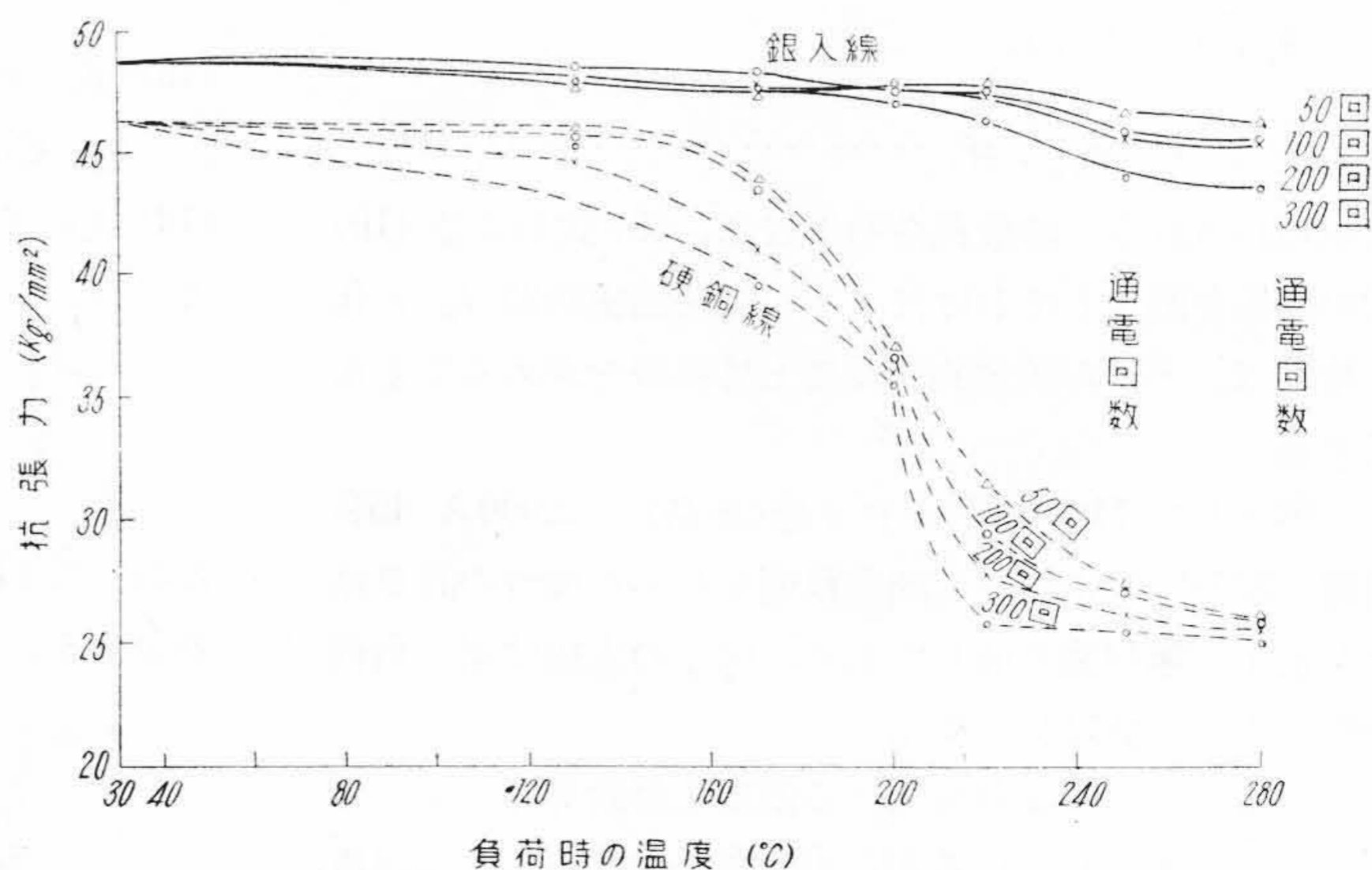
第 15 図 三角波間歇負荷による温度上昇の計算結果

Fig. 15. Calculating Result of Temperature Rise on Intermittent Load of Triangular Wave



第 16 図 2.6 mm モデルトロリ線間歇負荷通電時の温度変化 (通電々流 135A)

Fig. 16. Temperature Variation of 2.6 mm Model Trolley Wire During Intermittent Loading (Load Current: 135 Amperes)





第3表 モデルトロリ線負荷条件  
Table 3. Loading Conditions of Model Trolley Wire

試番	通電回数	通電々流 (A)	最高温度 (°C)	最低温度 (°C)	大気変化 (°C)
50-1	50	135~108	138~143	35 ~ 60	29 ~ 31
50-2	50	180~121	169~183	35 ~ 56	29 ~ 28
50-3	50	204~120	176~197	24 ~ 35	16.5~18.5
50-4	50	210~135	205~259	35 ~ 46	18 ~ 20.8
50-5	50	220~132	241~267	24 ~ 43	21 ~ 23.6
50-6	50	240~150	267~304	21 ~ 43	17.5~18
100-1	100	135~108	104~131	24 ~ 41	19.4~22.5
100-2	100	180~121	134~192	24 ~ 43	18.8~22.8
100-3	100	204~120	188~214	24 ~ 48	18.5~23.2
100-4	100	210~135	201~254	28 ~ 43	17 ~ 18.8
100-5	100	220~132	241~280	21 ~ 46	19 ~ 22
100-6	100	240~150	241~308	21 ~ 51	21.5~26.2
200-1	200	135~108	114~147	18 ~ 46	12.5~22.2
200-2	200	180~121	148~183	14 ~ 41	15 ~ 19.8
200-3	200	204~120	188~210	21 ~ 41	21.5~25.1
200-4	200	210~135	205~267	27 ~ 51	16 ~ 22
200-5	200	220~132	223~268	18 ~ 46	21.5~25.5
200-6	200	240~150	223~304	24 ~ 56	23 ~ 29
300-1	300	135~108	124~143	24 ~ 56	21 ~ 25
300-2	300	180~121	164~188	27 ~ 50	18.5~26.5
300-3	300	204~120	178~236	26 ~ 56	20 ~ 23
300-4	300	210~135	214~232	24 ~ 51	18.5~23
300-5	300	240~132	228~267	21 ~ 56	18.8~26
300-6	300	240~150	241~327	27 ~ 56	23.2~25.6

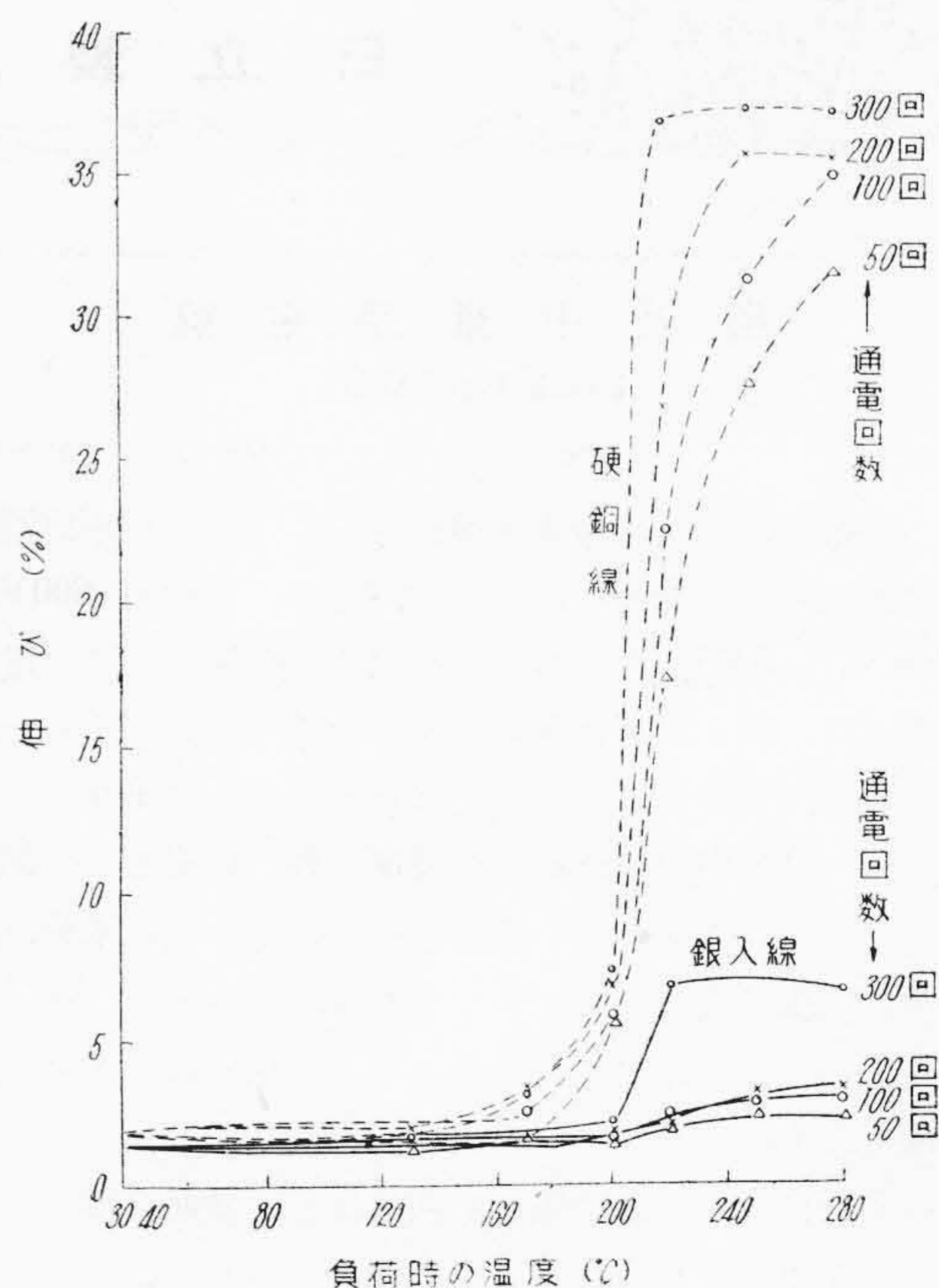
る。なお普通硬銅線と銀入り硬銅線に同一の電流が流れるが、導体抵抗の差による温度上昇の差はほとんど無視されるほど小さいものであつた。間歇負荷時の試料の温度変化の一例を示すと第16図の通りである。

試験後の各試料の抗張力および伸びと間歇負荷電流通電時の温度との関係を図示すると第17図および第18図に示すようである。以上の図から、普通硬銅線では150°C附近から急激に焼鈍されるに反し、銀入り硬銅線では280°Cにおいても大きな変化を示していないことがあきらかである。この特性は30分連続加熱試験の結果とほぼ同様である。間歇負荷の繰返し回数が増加すると、普通硬銅線では温度上昇の低い方でいくらか変化しており、銀入り硬銅線ではほとんど変化していない。

前述のトロリ線の温度上昇試験結果によると、現在の負荷条件でも最悪の場合は150°C以上に達するおそれ

第18図 モデルトロリ線の間歇負荷による伸びの変化

Fig. 18. Change of Elongation of Model Trolley Wire on Intermittent Load





があり、さらに負荷条件が悪化すると普通硬銅線の焼鈍温度以上になる可能性がある。このようなときには銀入りトロリ線の使用が望ましい。これらの結果から両者の許容温度としてつぎの値を推奨する。

普通硬銅トロリ線.....120°C

銀入り硬銅トロリ線.....200°C

すなわち銀入り硬銅トロリ線は無負荷時の最高温度を60°Cと考えれば、普通硬銅線の234%の温度上昇を許容しうるわけであり、これを電流で考えるならば153%の増加となる。

## [VI] 結 言

以上トロリ線の温度上昇および間歇負荷による機械的特性の変化についての検討を行つたが要約するとつぎの通りとなる。

(1) トロリ線表面の放散熱抵抗は、表面状態、温度および風の状態によつて大幅に変化する。表面が煤煙で黒化すると熱放散率は非常に良好となり、無風のときは温度差に比例して増加する。また風速が増大すると急速に熱放散が良くなるが2 m/s以上ではその効果は割合に少い。

(2) 2, 3の代表的な間歇負荷電流による温度上昇を検討したが、周囲条件によつては130°Cの温度上昇を示す場合もあり、風の影響は割合に少いことがあきらかとなつた。

(3) 任意周期の矩形波および三角波間歇電流による温度上昇を計算で求める方法が確立され、実測値とも比較した結果非常によく合うことが確められた。

(4) 2.6 mmのモデルトロリ線に実際と同様の間歇負荷電流を与えたところ、その機械的特性が、普通硬銅線では大幅に変化するのに反し、同様の試験を行つた銀入りトロリ線ではほとんど変化しなかつた。この結果、負荷が大きく、温度上昇の大きい場合には銀入りトロリ線の使用が推奨される。

なお、銀入りトロリ線に関しては耐摩耗性、耐振性などの特性についても検討しなければならないが、別の機会に報告したいと考えている。

終りに臨み、本研究に終始関心を寄せられ種々御意見を戴いた国鉄本庁の安藤氏、齋藤氏および杉本氏ほか国鉄の関係各位に厚く御礼申し上げます。また実験に当つては日立製作所日立電線工場の内藤部長に御指導を仰ぎ、その他関係各位から絶大なる御援助を戴いたことを附記し、改めて御礼申し上げます次第である。

## 参 考 文 献

- (1) R.J.C. Wood: Trans. AIEE, 1258 (1924)
- (2) 木曾: 電試研報, 第496号, 9 (昭24-3)
- (3) 久本, 橋本: 日立評論, 35, 586 (昭28-3)

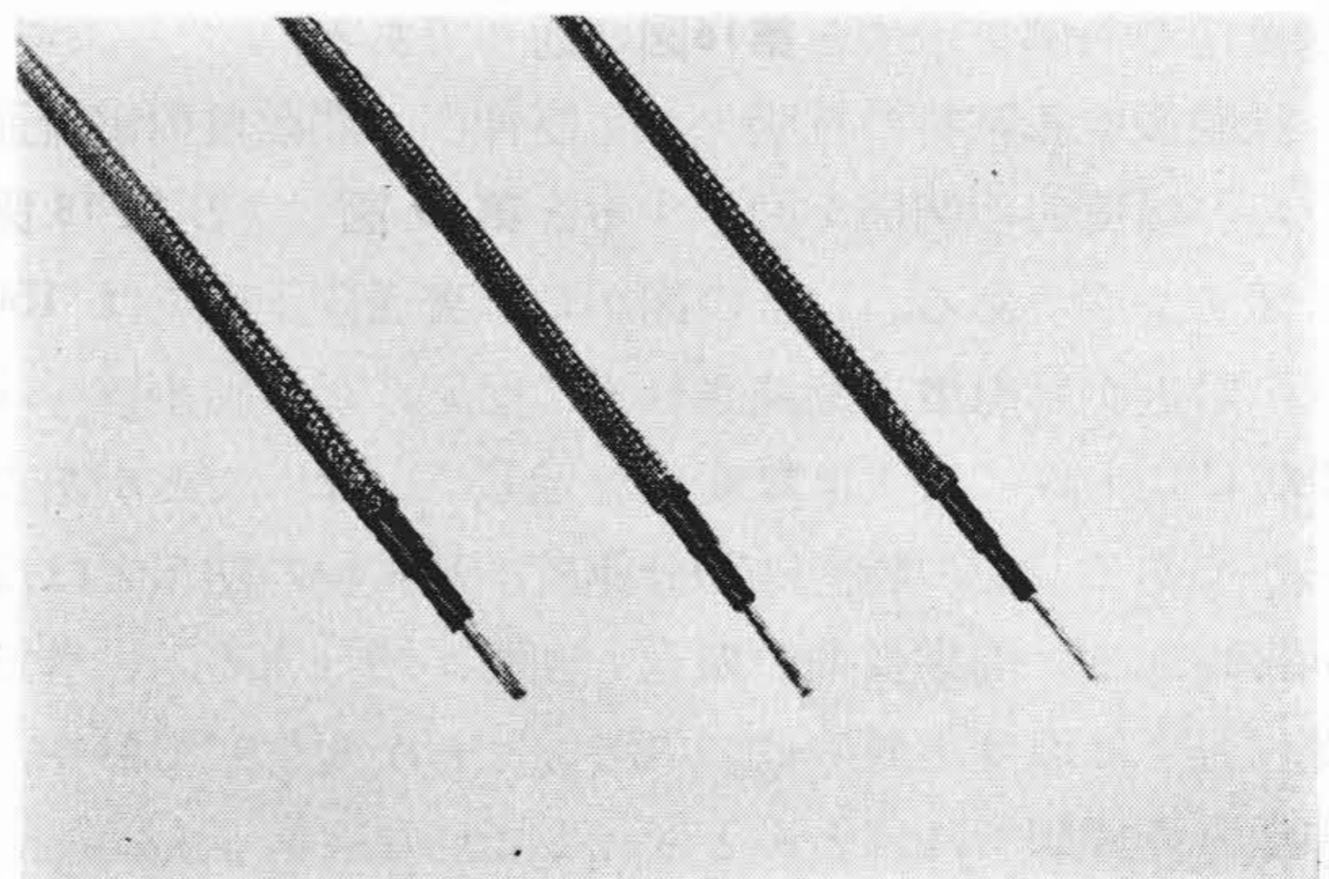


## 機 器 中 継 用 電 線

### Hook-Up Wire

この電線は米国陸海軍共通仕様書に定められ通信器その他電気機器の配線に使用する電線で、一般用(600V, 1,000V, 2,500V級)および高周波回路用がある。電線の構造は、錫メッキ軟銅線を撚合せ導体とし、その上に電線の使用目的に応じた塩化ビニル、またはポリエチレンなどの合成樹脂の絶縁体を被覆し外部被覆として綿、ガラスまたは人造絹糸の編組を施し、その上に水分、焰、細菌、害虫に耐えるラッカーまたは、ワニス塗布したものである。またワニスやラッカーの代わりにナイロンを被覆したものもある。

日立製作所では各種類とも共試作し、量産に移して多量の御要求に応じられるようになってきている。



第1図 機器中継用電線

Fig. 1. Hook-Up Wire

第1図の写真は某所に納入した電線で、特に要求により電線上に錫メッキ軟銅線で遮蔽した型のものである。