

発電所主幹ケーブルの経済的計画

田中照敏* 石橋作五郎** 橋本博治*** 橋本清隆**** 加子泰彦*****

Economical Planning for the Installation of Main Cables for Power Station Service

By Terutoshi Tanaka and Sakugorō Ishibashi
Kyushu Electric Power Co.

Hiroji Hashimoto
Hitachi Wire Works, Hitachi, Ltd.

Kiyotaka Hashimoto and Yasuhiko Kako
Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

When main cables are to be laid at a power station, the first item coming in economical consideration should be how to increase the effective current capacity of the cable. The use of segmental conductor is just one method that accords with this purpose, it being positively effective in the decrease of skin effect. The decrease of current unbalance ratio through a proper cable arrangement provides another method, no less important than the former.

In the planning as well as in actual installation of main cables for the No. 2 generating unit at Chikujō Power Station, Kyushu Electric Power Co., full consideration was given in this direction. To mention briefly, nine 15 kV 850 mm \times 1 c (segmental conductor) paper insulated cables are laid in parallel to serve the generator rated at 13 kV, 64,700 kVA, and these cables were installed in the triangular three-group arrangement with central group double-transposed at 120 degrees. By this type of arrangement, the current unbalance has decreased to 5.3 per cent, and the effective resistance was decreased by about 20 per cent. As a result, the temperature rise of the cable conductor under rated load was decreased to 15.3 degrees centigrade at maximum.

〔I〕 緒 言

発電所用主幹ケーブルは、主発電機と主変圧器とを接続するために使用されるケーブルである。この主幹ケーブルについては一般に電流容量の大きい単心ケーブルが使用され、特に発電機容量の大きい場合にはケーブルを数条並列に接続するのが通例である。近来発電機の単位出力は増大の趨勢にあり、これに伴って主幹ケーブル

においても多条布設の傾向はますます顕著となり、850 mm² あるいは 1,000 mm² 程度の導体サイズのケーブルが各相2条あるいは3条並列に用いられる場合が非常に多くなってきた。

また経済的見地からみれば、適切な布設計画のもとに最も合理的なケーブルを使用することによつてこれらに要する費用の軽減を計る必要がある。すなわち、同一寸法のケーブルを用いる場合でも布設方法の改善によつて実効電流容量をできるだけ大きくとることが必要である。この目的のためには分割導体の採用⁽¹⁾、ケーブルの強制通風による冷却⁽²⁾、あるいは支持クリート間隔の短

* ** 九州電力株式会社

*** 日立製作所日立電線工場

**** ***** 日立製作所日立研究所

縮によつて鉛被の伸縮疲労に対する安全性を増加するなどの方法⁽³⁾が提案され、一部にはこれらの方法が実際に行われている。また、従来種々検討はされてきたが今日迄あまり切実な問題としてはとりあげられなかつた多条布設時の各条の電流の不均衡を軽減する方策も、有効電力増大の一環として大きくとりあげなければならない問題である。9条布設の場合にその電流不平衡率が10%以上になつた例⁽⁴⁾もあることに鑑み、これについて筆者(橋本)が先に行つた研究⁽⁵⁾によれば9条布設の場合においても適当な配列方法を採用することによつてこの値を2%程度に止めることができることが確められている。

昭和28年4月、九州電力築上発電所2号機の主幹ケーブルを計画布設するにあつては、ケーブルの合理的使用をたてまえとし上記の諸点について理論的検討を試み、これによつて施工したその結果を現地試験によつて確かめることができた。この報告でこれらの検討結果および二、三の実測結果について述べることにする。

〔II〕 主幹ケーブルの設計

(1) 築上発電所2号機の計画

九州電力築上発電所2号機は既設の1号機(出力35,000kW, 電圧13,200V, 力率80%)と共に北九州地帯における基底負荷に電力を供給するために計画されたもので発電機は次の仕様のものである。

出 力	55,000 kW
電 圧	13,200 V
力 率	85%
回 転 数	3,600 rpm

(水素冷却方式)

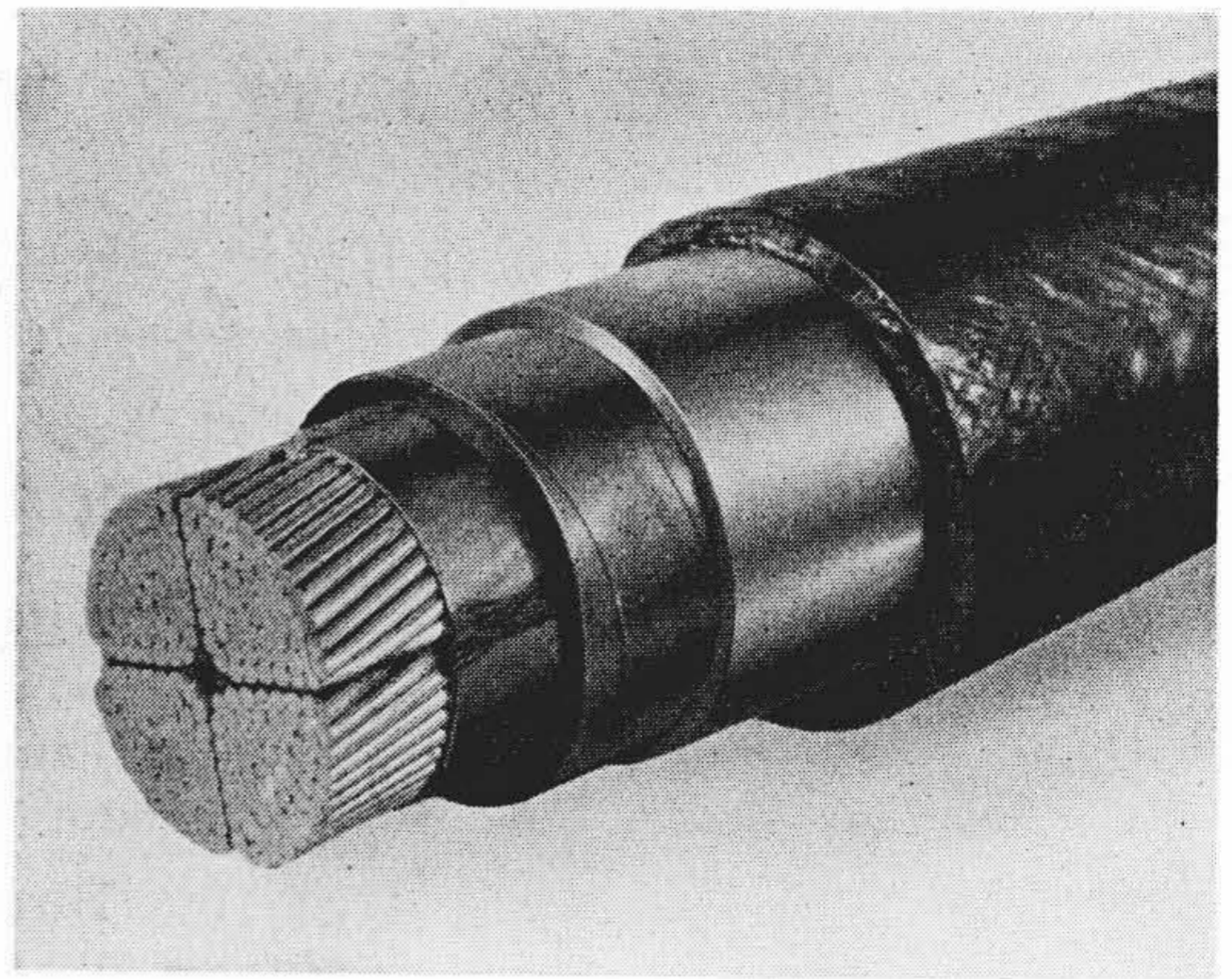
主変圧器は屋外に設置され、こゝで110kVに昇圧して送電する。主発電機と屋外主変圧器との間の連絡には、後に詳述するように全長約36mのダクト内に布設されたケーブルを使用する。

(2) ケーブルの構造

ケーブルの導体サイズ決定にあつては、発電機容量64,700kVAとして送電電流は2,841Aとなるので、後に述べる考察の結果にもとづいて各相850mm²のケーブルを3条並列に用いることにした。主幹ケーブルの仕様は第1表の通りで、第1図にこのケーブルの構造を示した。導体は実効抵抗を少なくするために4分割導体とし、またケーブルの温度変化によるコンパウンドの膨張量を少なくして、温度上昇時のケーブル鉛被に加わる圧力を小さくするために、導体を圧縮して導体素線間隙のコンパウンド量の減少を計つた構造のケーブルである。

(3) 実効抵抗

分割導体ケーブルが表皮効果低減に対して有効である



第1図 15 kV 1c x 850 mm² 分割導体紙ケーブル
Fig.1. 15 kV 1c x 850 mm² Segmental Conductor Paper Insulated Power Cable

第1表 15 kV 1c x 850 mm² 分割導体紙ケーブルの構造

Table 1. Structure of 15 kV 1c x 850 mm² Segmental Conductor Paper Insulated Power Cable

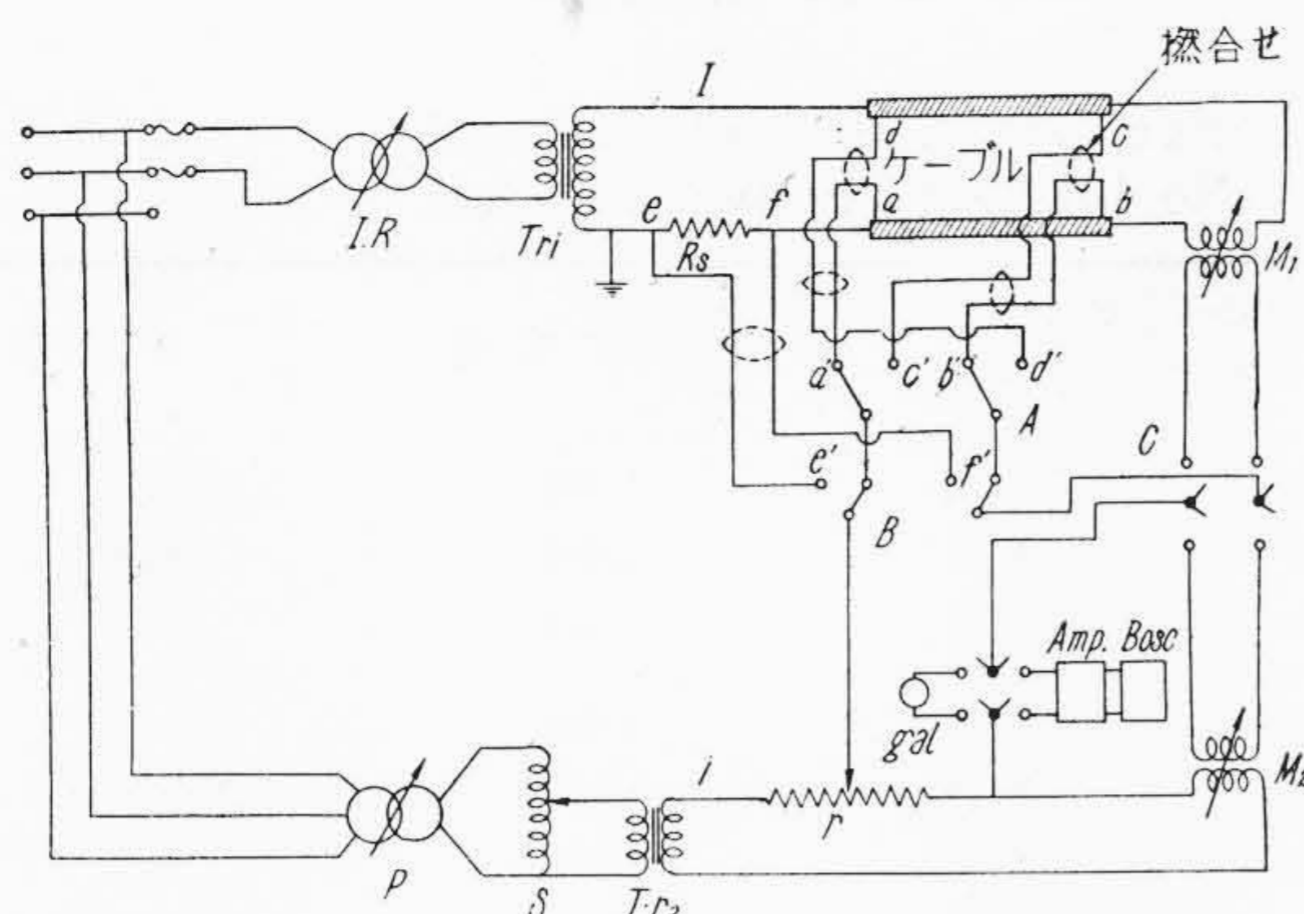
導 体	850 mm ² (63/2.1 x 4 分割)
導 体 外 径 (mm)	37.4
絶 縁 厚 (mm)	4.6
絶 縁 体 外 径 (mm)	47.8
鉛 被 厚 (mm)	2.5
鉛 被 外 径 (mm)	52.8
ジ ュ ー ト 厚 (mm)	2.5
ケーブル外径(概算) (mm)	63.0

ことは最近一般に認められているところであるが⁽¹⁾、日立研究所においては微小交流抵抗の精密測定法を確立してこのケーブルと非分割の同サイズのケーブルとについてその実効抵抗を測定し、導体分割効果の検討を行つた。

第2図はこの測定回路を示したもので、以下にその測定法について若干説明することにする。先づ切替スイッチ③をe'f'に入れておいて④をM₁側、M₂側交互に接続し、電圧平衡を求めることにより、ケーブル電流と測定器電流の位相を一致させる。次に④をM₁側にして③を切替えることにより、ケーブルの電圧降下と、標準抵抗の電圧降下を比較してケーブルの抵抗値を求める。

a-b, c-dは同一寸法、同一直流抵抗のケーブルで両者の電圧降下の測定値の平均をもつて、実際の電圧降下とし、リード線による誤差を除く。いま

$$\begin{aligned} \text{標準抵抗} &= R + j\omega L \\ \text{ケーブルの抵抗} &= R' + j\omega L' \\ \text{ケーブルの電流} &= I \\ \text{測定器の電流} &= i \end{aligned}$$



- I,R: 誘導電圧調整器
- Tr₁: 変圧器
- Tr₂: 絶縁変圧器 (一次, 二次巻線間静電容量 60 P.F.)
- P: 移相器
- S: スライダツク
- Rs: 標準抵抗
- r: 無誘導分圧抵抗器
- M₁: 可変相互誘導器
- M₂: 可変相互誘導器 (±25 mH ブレックス型)
- Amp.: 増幅器(ブラウン管オツシロに附属するものも含めて 90db)
- B, Osc.: ブラウン管オツシログラフ
- gal: 振動型検流計

第2図 分割導体ケーブル実効抵抗測定回路
Fig. 2. Measurement Circuit Diagram of Effective Resistance of Segmental Conductor Cable

第2表 850 mm² ケーブル (同心撚導体) 実効抵抗実測値
Table 2. Measurement Data of Effective Resistance of 850 mm² Cable (Concentric Stranded Conductor)

試料	周波数 (Hz)	ケーブル間隔 (cm)	温度 (°C)	直流抵抗(R _{dc}) ×10 ⁻⁴ Ω	実効抵抗(R _{ac}) ×10 ⁻⁴ Ω	$\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ 実測値	$\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ 計算値
有効長 9m	60	25	8.5	1,770	2,235	1,262	(1.2459)*
		15	8.3	1,768	2,242	1,268	
		10	11.2	1,792	2,305	1,286	
鉛被有	50	25	8.5	1,770	2,110	1,192	(1.1819)*
		15	8.0	1,766	2,110	1,196	
		10	11.0	1,790	2,164	1,210	
有効長 9m	60	25	10.5	1,788	2,230	1,246	1.2445
		15	10.3	1,786	2,246	1,258	
		10	8.9	1,773	2,280	1,283	
鉛被無	50	25	9.8	1,780	2,097	1,180	1.1863
		15	9.8	1,780	2,110	1,185	
		10	9.3	1,777	2,150	1,207	

* 計算値は鉛被の無い場合。

第3表 850 mm² 分割導体ケーブル実効抵抗実測値 (各区線間絶縁有り)

Table 3. Measurement Data of Effective Resistance of 850 mm² Segmental Conductor Cable (Insulated between Cores)

試料	周波数 (Hz)	ケーブル間隔 (cm)	温度 (°C)	直流抵抗(R _{dc}) ×10 ⁻⁴ Ω	実効抵抗(R _{ac}) ×10 ⁻⁴ Ω	$\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ 実測値	$\frac{R_{ac}}{R_{dc}}$ 計算値
有効長 9m	60	25	9.5	1,728	1,840	1,065	(1.0565)*
		15	9.0	1,726	1,840	1,067	
		10	9.0	1,726	1,851	1,073	
鉛被有	50	25	9.5	1,728	1,812	1,050	(1.0396)*
		15	9.5	1,728	1,812	1,050	
		10	9.0	1,726	1,817	1,057	
有効長 9m	60	25	11.0	1,740	1,832	1,055	1.0558
		15	11.0	1,740	1,830	1,054	
		10	11.7	1,742	1,850	1,062	
鉛被無	50	25	11.0	1,740	1,815	1,043	1.0394
		15	11.0	1,740	1,812	1,042	
		10	11.0	1,740	1,820	1,046	

* 計算値は鉛被の無い場合。

第 4 表 850 mm² 分割導体ケーブル実効抵抗実測値
(各区線間絶縁無し)

Table 4. Measurement Data of Effective Resistance of 850 mm² Segmental Conductor Cable (No Insulated between Cores)

試料	周波数 (Hz)	ケーブル間隔 (cm)	温度 (°C)	直流抵抗(R _{dc}) ×10 ⁻⁵ Ω	実効抵抗(R _{ac}) ×10 ⁻⁵ Ω	R _{ac} /R _{dc} 実測値	R _{ac} /R _{dc} 計算値
有効長 4m 鉛被有	60	25	9.2	7.67	8.31	1.082	(1.0570)*
		15	9.2	7.67	8.35	1.086	
		10	9.5	7.69	8.63	1.121	
有効長 4m 鉛被無	60	25	11.3	7.73	8.36	1.081	1.0568
		15	11.7	7.75	8.41	1.086	
		10	11.5	7.74	8.62	1.113	
	50	25	11.3	7.73	8.18	1.059	1.0395
		15	11.5	7.74	8.21	1.061	
		10	11.5	7.74	8.38	1.081	

* 計算値は鉛被の無い場合。

とすると次式から R' が求められる。

$$I(R + i\omega L - j\omega M) = ir$$

$$I(R' + i\omega L' - i\omega M') = ir'$$

$$\therefore R' = R \frac{r'}{r} \dots\dots\dots (1)$$

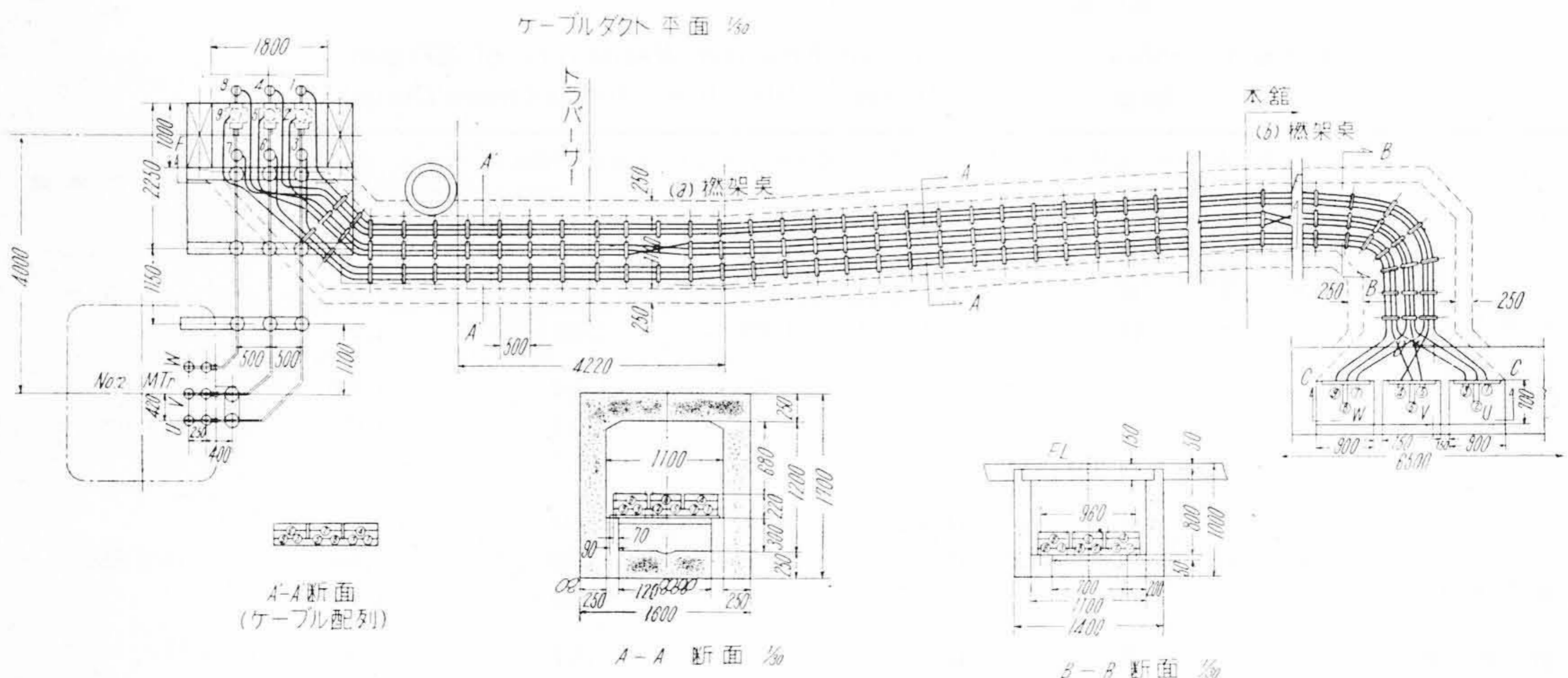
すなわち、この測定法によれば(1)式からあきらかなように本質的に高い測定精度が得られ、かつ、電源の微小の変動、あるいは、微小の高周波の存在にかゝらず安定な測定が可能である。

測定結果を示すと第 2 表～第 4 表の通りである、分割したケーブルでは 20% 近くの実効抵抗の減少を示している。

〔III〕 経済的布設法の吟味

(1) 布設要領

ケーブルは発電所主建家内発電機から、屋外変圧器に至る間に設けられたダクト内部に布設される。ダクトはほとんど水平であつて、第 3 図のケーブル布設要領の平面図にみられる通りである。ケーブルの支持方法としては、木製クリートの間にケーブルを挟み、その両端をボルトで締めつける。クリート間隔は鉛被の伸縮疲労に対する安全度を考えれば、できるだけ短い方がよいわけであるが、諸種の点を考慮して通常行われているものよりはやや短い程度の 500 mm とした。



第 3 図 ケーブル布設図

Fig. 3. Laying Diagram of Cables

第5表 布設ケーブルの実長
Table 5. Measurement Lengths of Laid Cables

ケーブル番号	条長 (m)	ケーブル番号	条長 (m)	ケーブル番号	条長 (m)
U ₁	44.65	V ₄	44.20	W ₇	44.80
U ₂	45.80	V ₅	44.05	W ₈	44.30
U ₃	43.15	V ₆	42.65	W ₉	43.30

中央群ケーブルは途中において2回撚架するので(第3図参照)その部分だけクリートを1箇所省いて1m区間とした。第4図は撚架点のケーブル支持状態を示したものである。各ケーブルの布設実長は第5表に示す通りで、これら各条のケーブル条長の間にはかなりの差があるのは、両端末ケーブルヘッド立上り部の配置関係の都合によつて生じたものである。

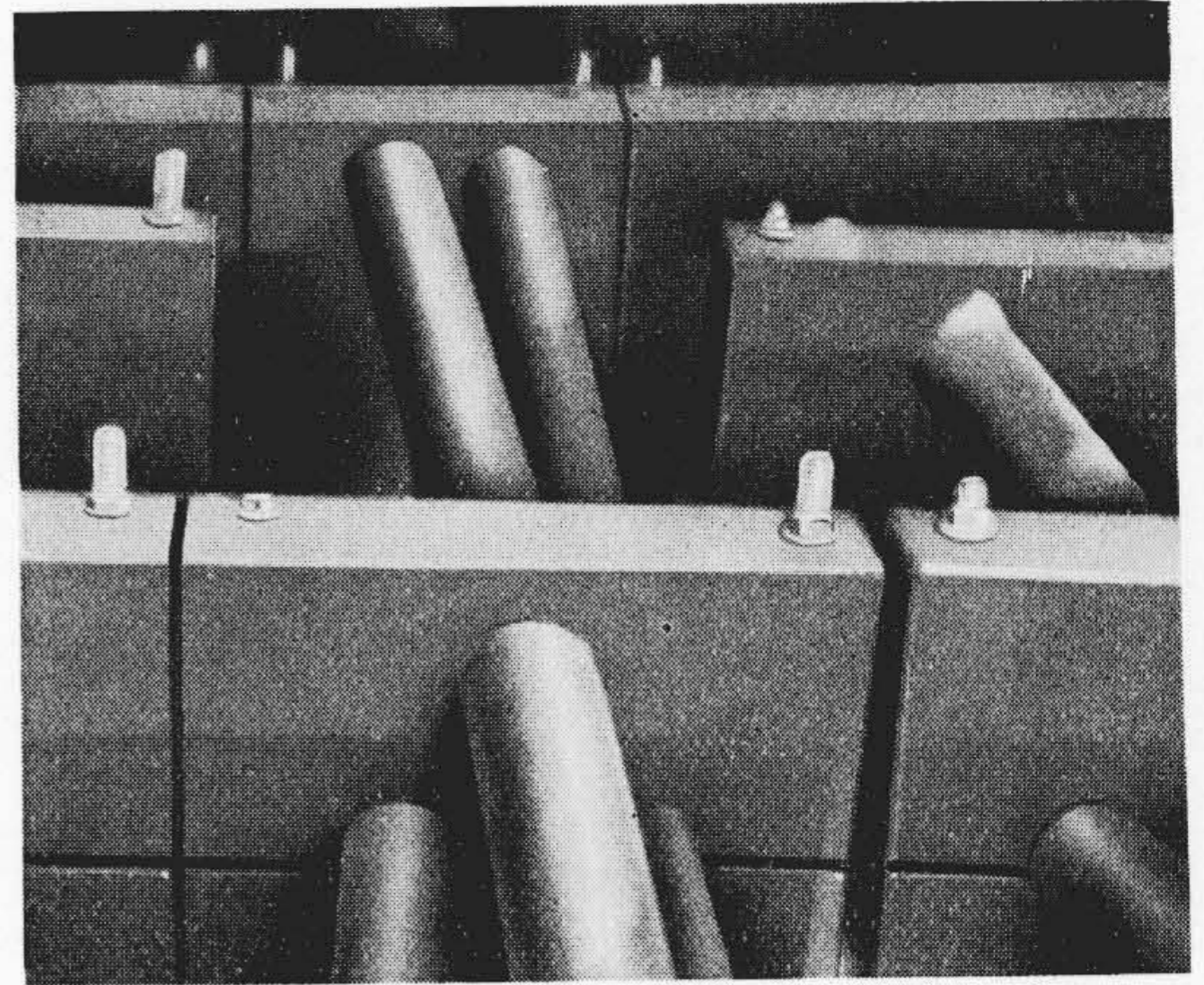
ダクトの変圧器側端末は屋外にある関係上密閉されているが、この近くに設けられたマンホールおよびダクトの発電機側端末は開放されているので、ダクト内の通風はかなり良好であると考えてよい。

(2) 配列方式と電流不平衡率

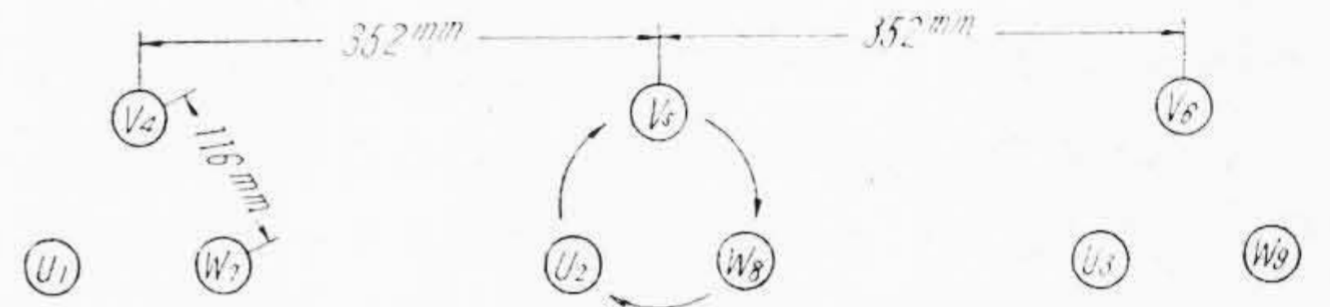
主幹ケーブルのように導体抵抗の小さいケーブルが数条並列に布設された場合には、ケーブル相互関係位置の非対称のために生ずる相互誘導リアクタンスの不平衡が直ちに各ケーブルの電流配分に影響することになる。

6条および12条布設の場合には完全対称配列が可能であるが、今回のように9条布設ではこれが不可能である。したがつて筆者等が200mm²、25mのモデルケーブルを使用して、9条布設の場合の種々の配列方法をとつた場合におけるそれらの電流配分を測定した結果によると、第5図の配列方法が最も不平衡率が少く最大電流不平衡率は5.2%であつた。この測定結果は第7表に示したように同時に行つた近似計算の結果とほぼ一致しており、実際に任意条数の並列布設を行つた場合のケーブルの電流配分を予め計算によつて推測の可能であることが確かめられた。今回の布設ケーブルは全長約43mで、そのうち端末ケーブルヘッドの部分では、同相のケーブルヘッドを短絡する必要上、ダクト内と同様の配列を行うことができないことと両端末のケーブル立上り部の長さが各3mであるので、この部分の配列方法によつてケーブルインピーダンスにかなり影響をおよぼすことになる。したがつて両端末における配列方法の無理を、ケーブル長を調整することによつて補償し、ケーブル全長のインピーダンスを同じ値に揃えた。

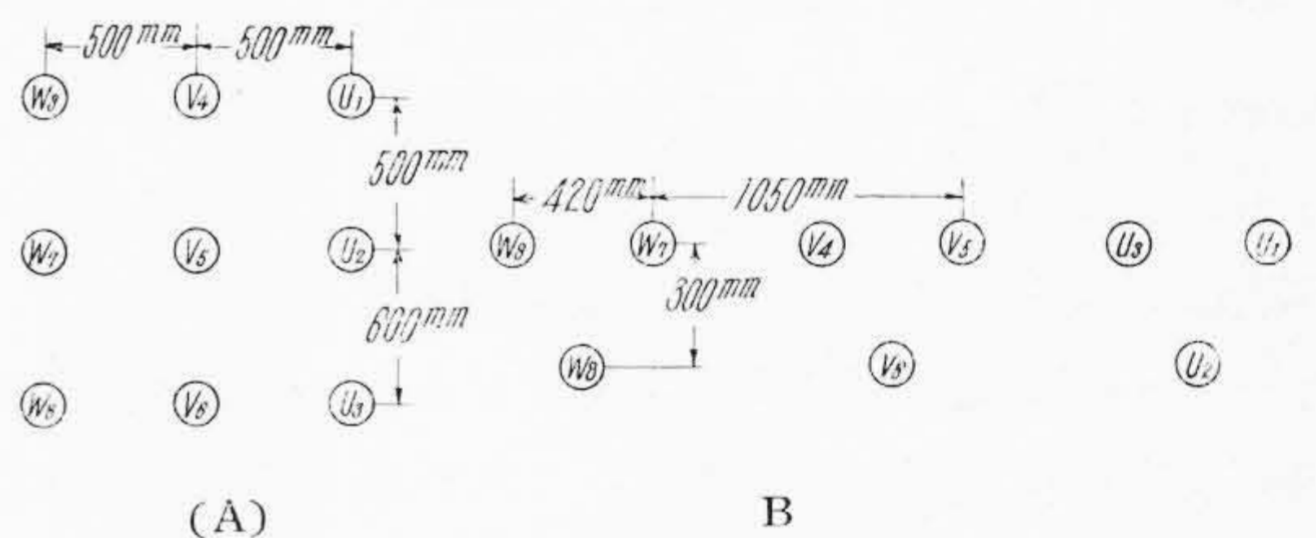
実際のケーブル布設に当つては、ケーブル全長の大部分を占めるダクト内において、第5図の方法を採用し、第3図に示すようにaおよびbの2点において中央群



第4図 ダクト内撚架点のケーブル
Fig. 4. Transposed Cables in Duct



第5図 ダクト内配列方法
Fig. 5. Cable Arrangement in Duct



第6図 ケーブルヘッド配列
(A) 変圧器側 (B) 発電機側

Fig. 6. Arrangement of Cable Heads
(A) Transformer Side
(B) Generator Side

ケーブルをそれぞれ120°撚架した。したがつて、途中の各区間の配列は同図A-AおよびB-Bに示すようになる。なお両端末ケーブルヘッド立上り部の配列はそれぞれ第6図に示す通りである。

このケーブルについての電流配分近似計算結果では(第7表参照)最大7.4%程度の電流不平衡がありうることが予想されたのであるが、実測結果の最大不平衡率はこの値よりやゝ低く5.3%であつた。

(3) ケーブルの安全電流および許容最大不平衡率

ケーブルの安全電流は許容導体温度75°Cとして(2)式から求めることができる。

$$I = \sqrt{\frac{1}{nR'} \left(\frac{T_1 - T_2}{Rth} - w_2 \right)} \text{ (A)} \dots\dots\dots (2)$$

ただし

- I = 安全電流 (A)
- n = ケーブル心線数
- R' = 導体実効抵抗 $\left(\frac{\Omega}{m} \right)$
- T_1 = 許容導体温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 = 外気温度 ($^{\circ}\text{C}$)
- Rth = ケーブル全熱抵抗 $\left(\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{watt} \cdot \text{cm}} \right)$
- w_2 = 絶縁体の誘電体損 $\left(\frac{\text{watt}}{\text{cm}} \right)$

(2)式中外気温度 T_2 は、ダクト内空気温度であるがケーブルから放散する熱のためにダクト内大気温度は当然上昇する。一方大地温度は、地面からの深さおよび四季によつても異なるけれども $9^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$ の範囲にあることが確められている。それ故ダクト内ケーブルに発生する熱量が、ダクト壁および土壌を通じて放散されるものとして、ダクト内空気の温度を求めることができる。一般に発表されている土壌およびコンクリートの熱抵抗からダクト内空気温度を求めると、土壌温度が 23°C の場合、空気温度は 38°C となるので、 T_2 としては 40°C を採用した。

本ケーブルについての計算においては $n=1$, $R' = 2,597 \times 10^{-7} \frac{\Omega}{\text{cm}}$, $Rth = 84.17 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{watt} \cdot \text{cm}}$ および $w_2 = 0.0024 \frac{\text{watt}}{\text{cm}}$ となるので、安全電流は $1,263 \text{ A}$ となる。これは一本のケーブル布設の場合であつて、多条布設の場合は多条布設による電流通減率(0.85)を考慮すると、ケーブルの安全電流は $1,073 \text{ A}$ となる。一方発電機の定格負荷電流は $2,841 \text{ A}$ であり、これが並列に接続されたケーブル 3 条に均等に流れるとすれば 947 A となる。すなわち多条布設の場合に許容することができる電流不平衡率 (U_{max}) は (3)式によつて求められる。

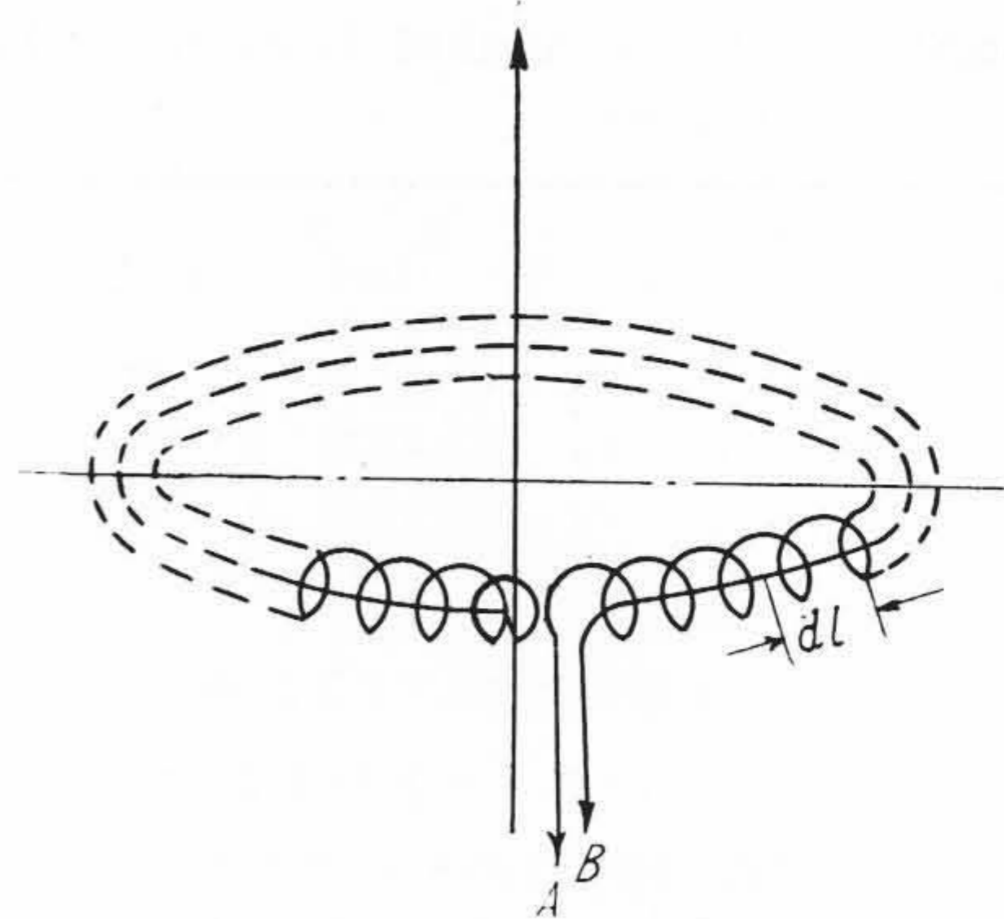
$$U_{max} = \frac{1,073 - 947}{947} \times 100 = 13.3(\%) \dots\dots\dots (3)$$

結局 1 相当り 3 条並列に接続されたケーブルについて 13.3% の電流不平衡を許容することができることになる。

〔IV〕 布設ケーブルについての実測結果

(1) ケーブル電流の測定法

既設のケーブルあるいは電線などの電流を、回路を変更することなく (C. T. を接続することなく) 簡便に測定する方法としては、組立式の C. T. が用いられ、簡易電流測定器として一般に市販されている。しかしながらこれは被測定ケーブルあるいは電線が一本のみで近くに干渉するような電流が存在しない場合にだけ概略の電



第 7 図 可 撓 C. T. 原 理 図
Fig. 7. Principle Diagram of Flexible C.T.

流値を求めることができるが、主幹ケーブルのように多条数のケーブルが密接して布設され、しかも各条の被測定電流が大きい場合には誤差が大きくて使用できない。これは鉄心の磁束が近接した電流の影響をうけるためであると考えられる。また今回のようにケーブルリアクタンスの僅かの変化によつて電流配分が左右されるような場合には、鉄心を使用した C. T. を設置することによりケーブル自体のリアクタンスが変化するので、これを使用することは望しくない。このために筆者らは可撓トロイダルコイル (以下可撓 C. T. と略す) と称すべき特殊の測定器を製作し、これを較正して測定に使用した。

一様な媒質中において無限長に電流 i があるとき、その電流による磁界に関しては (4) 式の法則が成立することは衆知のところである。

$$\oint Hsdl = 0.4 \pi i \dots\dots\dots (4)$$

Hs : 積分路に沿う接線方向の磁界の強さ

いま積分路を第 7 図に示すように、電源と直角な面にあるトロイダルコイルの中心線にとると、コイルの dl なる部分に発生する電圧は

$$de_s = A \times n \times dl \times \frac{dHs}{dt} \times 10^{-8} \text{ (V)} \dots\dots\dots (5)$$

となる。故にコイル一周に発生する電圧は、

$$e_s = \oint de_s = A \times n \times \oint \frac{dHs}{dt} \times dl \times 10^{-8} \text{ (V)} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 A : コイルの断面積 (mm^2)

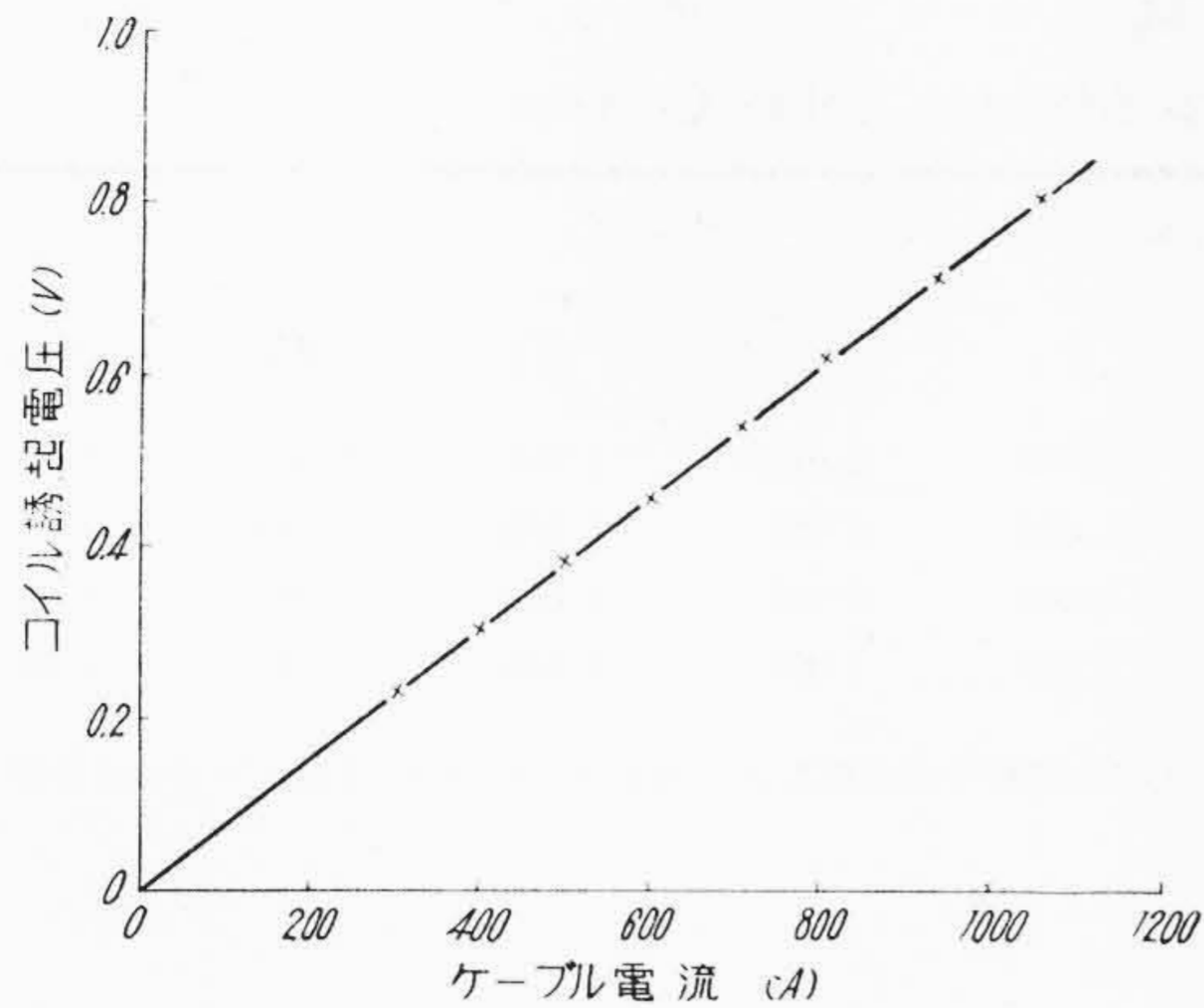
n : コイル単位長当りの巻回数 $\left(\frac{\text{回}}{\text{cm}} \right)$

一方

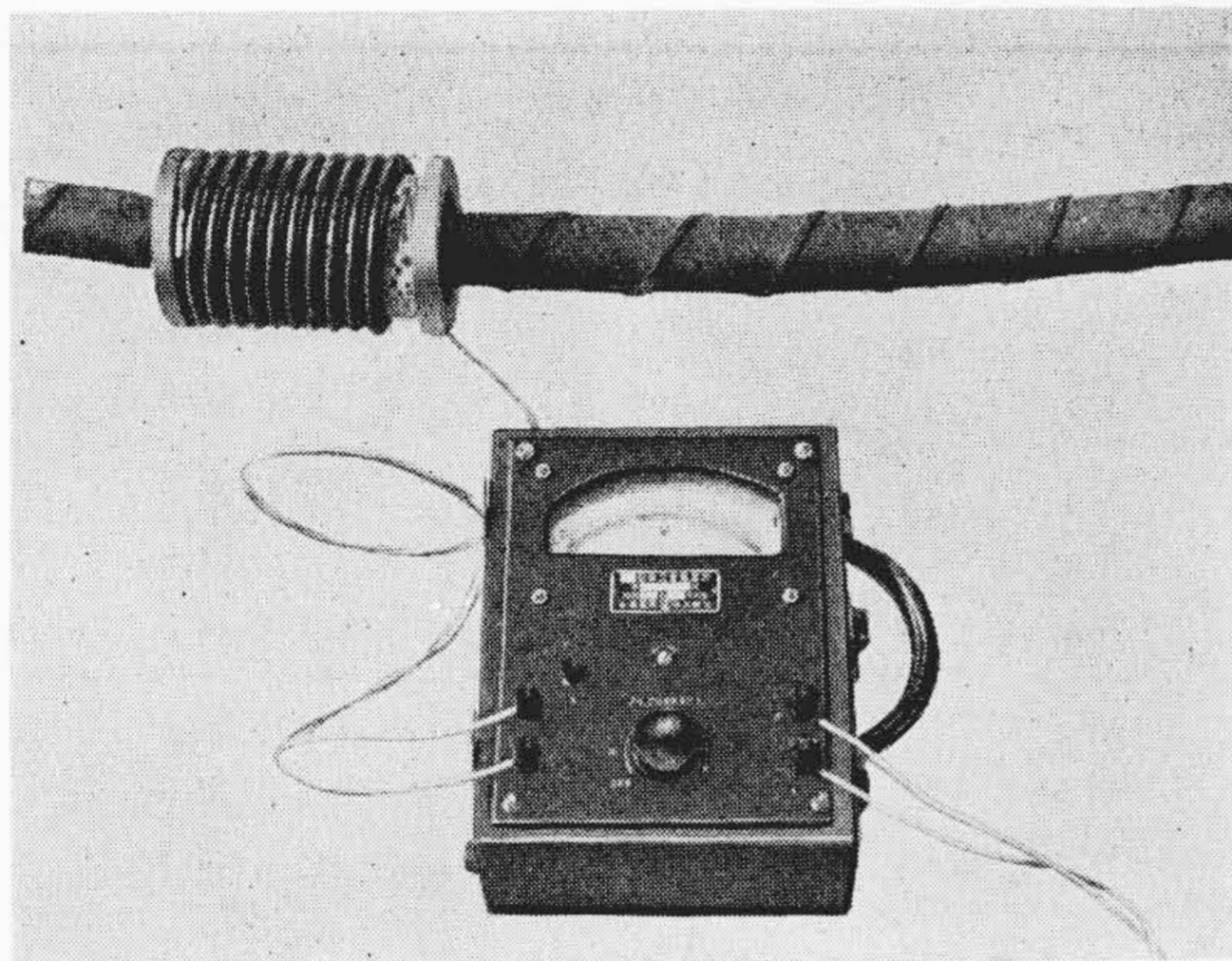
$$\oint \frac{dHs}{dt} dl = \frac{d}{dt} (0.4 \pi i) \dots\dots\dots (7)$$

であるから (6) 式は (8) 式として表わされる。

$$e_s = A \times n \times 0.4 \pi \times \frac{di}{dt} \times 10^{-8} \text{ (V)} \dots\dots\dots (8)$$



第8図 可撓 C.T. の特性 (48.5 \sim)
Fig.8. Characteristic of Flexible C. T. (48.5 \sim)



第9図 可撓 C.T. および電圧計
Fig.9. Flexible C.T. and Voltmeter

(8)式から判るようにコイル一周に発生する電圧は、コイルの断面積、単位長当りのコイル巻回数および電流の時間的变化のみに関係し、コイルの形状長さなどに無関係である。また外部電流の影響について考えてみると、コイル面と直角でない電流による磁束とコイルの中心線とは鎖交するので、これが誤差の原因となることがある。これを消却するためにコイルの一端Bを第7図に示すように、コイルの中心線を帰路としてA端と同一方向からとり出し、コイルの線がつくる閉回路の面積をできるだけ小さくした。コイルの発生電圧測定器としては、コイルにおける内部インピーダンス降下をできるだけ小さくするためにA型真空管電圧計を使用した。以上が電流測定用可撓 C.T. の原理であつて、実際に製作された本測定器の特性を示すと第8図のようである。第9図はケーブル電流測定状況を示す。なお、実験の結果によれば、本測定器の誘起電圧におよぼす近傍の大電流の影響はほとんど無視しうる程小さいことが確められた。

第6表 ケーブル電流測定結果
Table 6. Measurement Data of Cable Current

ケーブル番号	C.T. 誘起電圧 (V)	ケーブル電流 (A)	不平衡率 (%)	周波数 (\sim)
U ₁	0.775	810	-2.90	59.8
U ₂	0.780	815	-2.40	
U ₃	0.835	880	+5.30	
U ₄	0.800	835	-0.20	59.8
U ₅	0.790	830	-0.80	
U ₆	0.805	840	+1.00	
W ₇	0.800	835	+1.83	59.5
W ₈	0.800	835	+1.83	
W ₉	0.755	790	-3.65	

(2) ケーブル電流測定結果

ケーブル電流の測定には同一特性の9箇の可撓 C.T. を使用し、*u*, *v*, *w* の各相ケーブル電流をそれぞれ、ほとんど同時刻に測定した。第6表は二の測定結果であるが、これによると電流不平衡率は最大 5.3% であり、本ケーブルの安全電流から求められた許容最大不平衡率 13.3% よりはかなり小さい値となつている。

本測定の結果を前報において報告⁽³⁾したモデルケーブルによる実測結果、および近似計算法によつて求めた電流配分計算結果と比較して示すと第7表(次頁参照)となる。計算値と実測値とでは、*v* 相を除いて電流の大きさの順序は一致しており、その値も大体一致している。*v* 相において、計算値と実測値との間に差があるのは、不平衡率が非常に小さく、また両端ケーブルヘッド立上り下部のケーブルリアクタンスを計算において省略したためであると考えられる。

(3) ケーブルの温度上昇

ケーブル表面温度の測定には、銅-コンスタンタン熱電対および温度計を使用し、発電機側立上り部、ダクト内中央部、および変圧器側立上りダクト内の3箇所において同時測定した。測定時における2号発電機の出力は次のごとくで、a.m. 9.00~p.m. 3.00 の間ほぼ一定であつた。

2号発電機出力.....	55,000 kW
2号発電機電圧.....	12.8 kV
周波数.....	59.8 \sim
力率.....	0.9
<i>u</i> 相全電流.....	2,610 A
<i>v</i> 相全電流.....	2,630 A
<i>w</i> 相全電流.....	2,630 A

測定は p.m. 10.00~a.m. 3.00 にわたつて行われたが、その間ケーブル表面温度はほとんど一定であつた。一例として変圧器側立上りダクト内における測定結果は第10

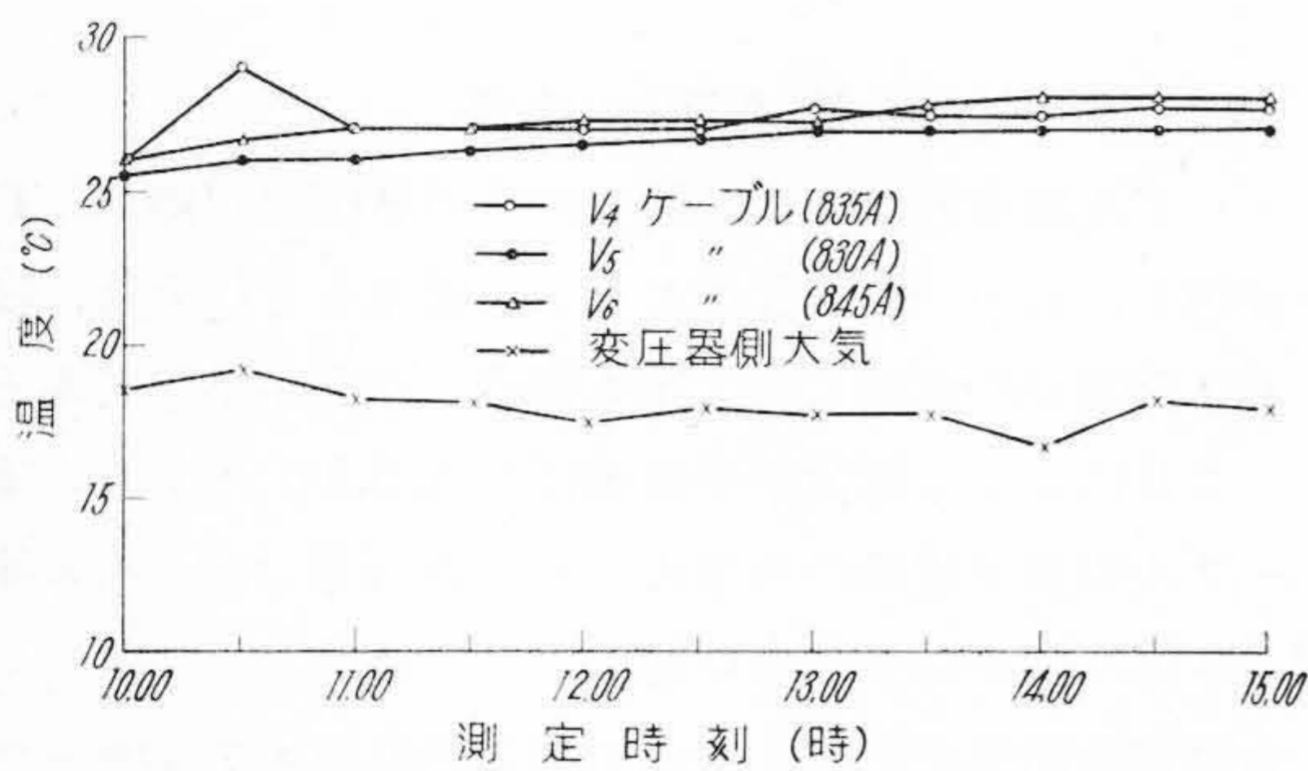
第 7 表 ケーブル電流の平均電流に対する比

Table 7. Ratio of Cable Currents to Average Cable Current

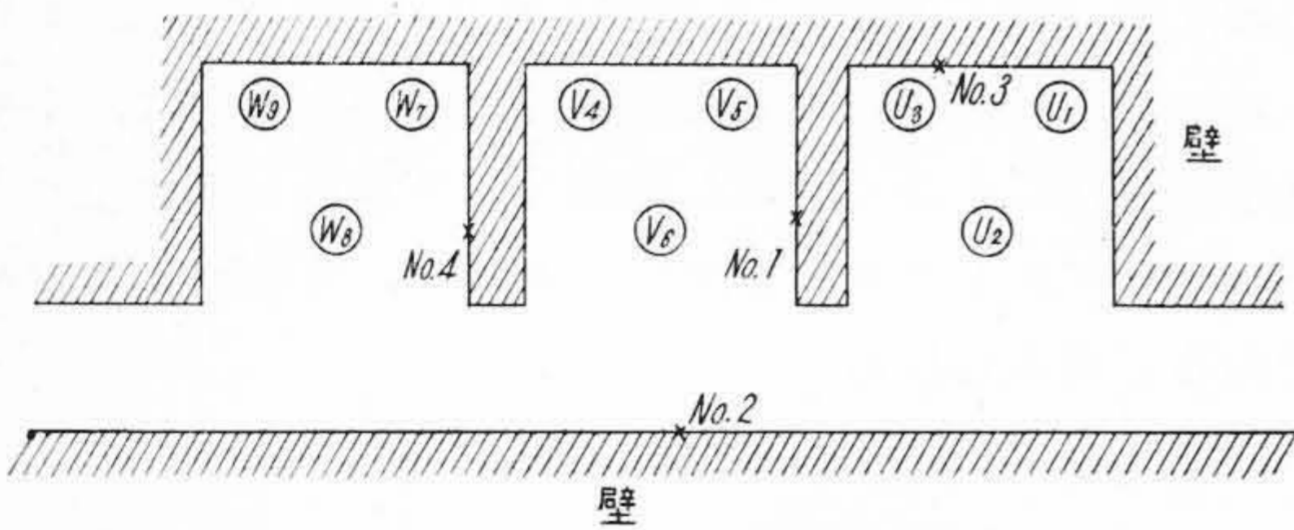
算 出 方 法	ケ ー ブ ル 電 流 / 平 均 電 流								
	U ₁	U ₂	U ₃	V ₄	V ₅	V ₆	W ₇	W ₈	W ₉
実 測 値	0.971	0.976	1.053	0.998	0.992	1.010	1.018	1.018	0.963
計 算 値	0.959	0.975	1.074	1.000	1.006	0.992	1.050	0.989	0.967
モデルケーブル実測値	0.974	0.981	1.045	0.952	1.045	1.005	1.052	0.965	0.982
モデルケーブル計算値	0.950	0.980	1.067	0.910	1.045	1.050	1.030	0.985	0.985

ただし、モデルケーブルの計算値および実測値に関して既報⁽³⁾のデータは実際の布設の場合と相回転を逆に考えていたので、上記データは前報の次のケーブル番号に相当する。

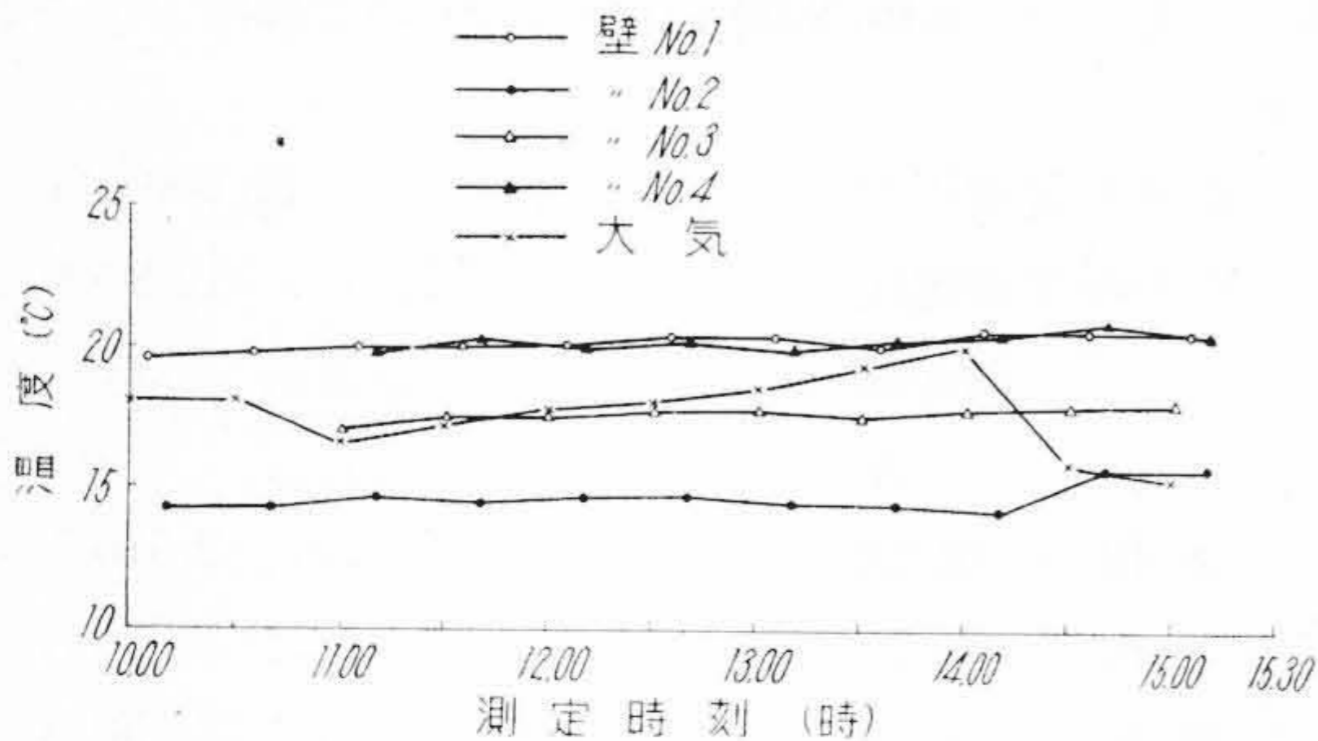
A₁→W₉ B₁→V₆ C₁→U₃
 A₂→W₈ B₂→V₅ C₂→U₂
 A₃→W₇ B₃→V₄ C₃→U₁



第 10 図 変圧器側 v 相ケーブル表面温度
 Fig. 10. Surface Temperature of v-Phase Cables (Transformer Side)



第 11 図 発電機側各測定点位置
 Fig. 11. Temperature Measuring Points at Generator Side



第 12 図 発電機側壁温度
 Fig. 12. Wall Surface Temperature in Generator Side

第 8 表 ケーブル電流とケーブル表面温度との関係

Table 8. Relation of Cable Currents and Cable Surface Temperature

ケーブル番号	ケーブル電流 (A)	ケーブルジュート表面温度 (°C)
U ₁	810	23.1
U ₂	815	22.7
U ₃	880	24.0
V ₄	835	25.0
V ₅	830	24.5
V ₆	840	23.8
W ₇	835	25.5
W ₈	835	23.5
W ₉	790	23.9

ただし温度は測定中の平均温度である。

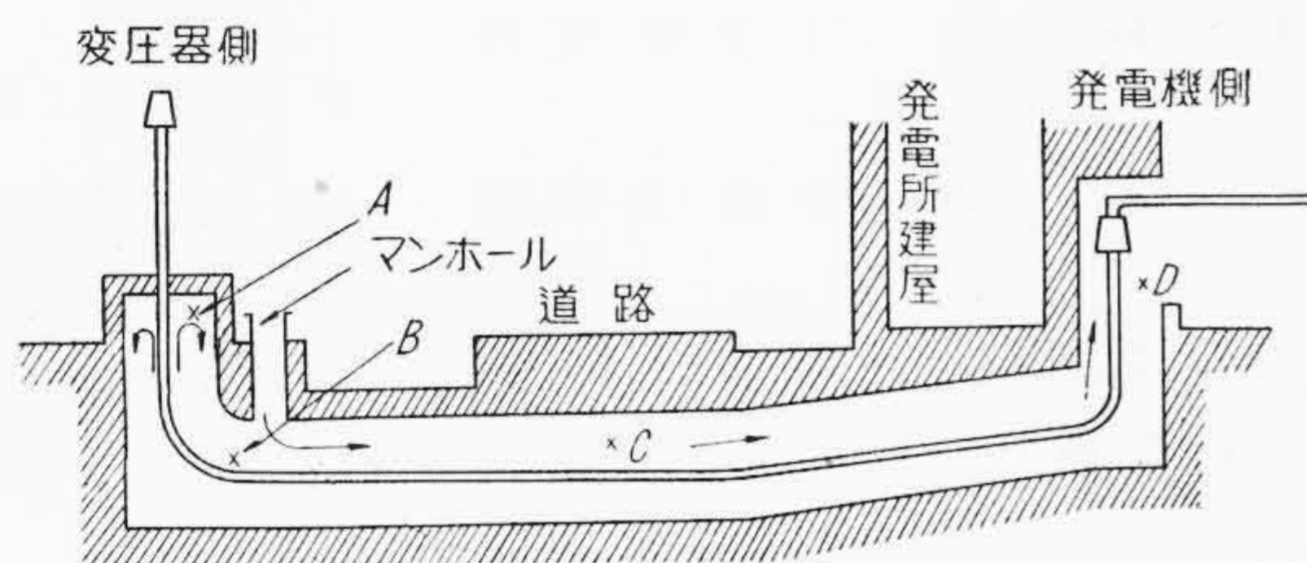
図の通りである。第 8 表は発電機側におけるケーブル電流とケーブル表面温度の関係であるが、それらの間には画一的な関係は見られない。すなわち、ケーブルの温度は電流よりむしろそのケーブルの熱放散状態に左右されることを意味している。第 11 図および第 12 図は発電機側ケーブルヘッド周囲の壁温度および大気温度の測定点およびその変化を示すものであるが、No. 1 および No. 4 測定点がもつとも高く、No. 3, No. 2 の順となっている。大気温度はこれらの値の中間を示している。すなわち、No. 1 および No. 4 測定点の壁はケーブルの影響を受けているものと考えられる。

第 9 表はケーブル表面温度、計算より求めた導体温度およびケーブル表面放熱比抵抗を示すものである。v 相ケーブルの各測定点における温度を比較すると、変圧器側立上りダクト内における温度がもつとも高い。またダクト内各点の大気温度は第 13 図に示した通りである。すなわち、空気は図の矢印の方向に流通しているが、A 部には空気の流通がないため特に温度上昇が大きかつたものと考えられる。アメリカにおいては主幹ケーブルの

第9表 ケーブルの温度および表面放散熱比抵抗
Table 9. Temperatures and Surface Thermal Resistivities of Cables

ケーブル番号	表面温度 (°C)			導体温度 (°C)			放散熱比抵抗 (°C/watt/cm ²)		
	発電機側	ダクト内	変圧器側	発電機側	ダクト内	変圧器側	発電機側	ダクト内	変圧器側
U ₁	23.1	—	—	28.7	—	—	555	—	—
U ₂	22.7	—	—	28.3	—	—	507	—	—
U ₃	24.0	—	—	30.6	—	—	550	—	—
V ₄	25.0	20.3	27.4	30.8	26.1	32.2	705	416	910
V ₅	24.5	23.4	26.6	30.3	29.2	32.4	666	723	841
V ₆	23.8	21.6	27.3	29.8	27.6	33.3	576	528	880
W ₇	25.5	—	—	31.3	—	—	755	—	—
W ₈	23.5	—	—	29.3	—	—	562	—	—
W ₉	23.9	—	—	29.2	—	—	668	—	—

大気温度: 発電機側 17.7°C ダクト内 16.0°C 変圧器側 18.0°C



大気温度 A: 22.3°C, B: 18°C, C: 16°C, D: 17.7°C
矢印は空気の流通方向を示す。

第13図 ケーブル布設略図
Fig.13. Laying Sketch of the Cable

電流容量を増すために強制通風冷却を行つている例もあるが、ダクトの空気取入口を適当に設計すればある程度この目的に近接することができるものと考えてよいと思う。

またこの種ケーブルの事故の大半は鉛被の伸縮疲労によるものであることが多くの資料から知られているが、今回の布設ケーブルにあつては、上記測定結果から算出される導体の温度上昇は最大 15.3°C であり、また支持クリート間隔も 500mm で通常の半分であり、さらにこのケーブルは特殊合金鉛被を用いているので、この種の事故に対してはかなり安全な状態にあるものと推察される。

〔V〕 結 言

発電所主幹ケーブルの計画および布設に当つては、経済的見地からケーブルの実効電流容量の増加と事故の軽減を計ることが肝要である。この対策として分割導体の採用による実効抵抗の減少、適正なケーブル配列による電流不平衡の減少、およびその他の 2, 3 の方法が考えられた。

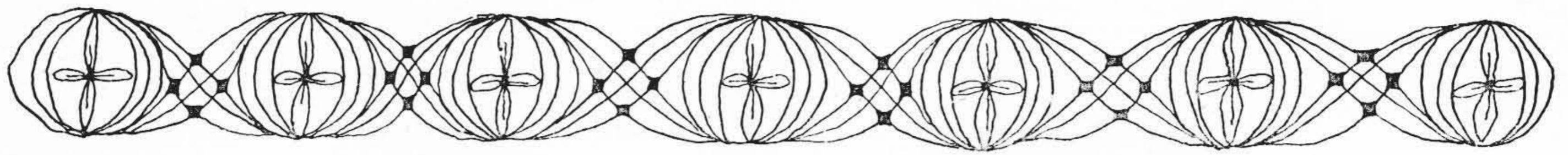
築上発電所2号機主幹ケーブルの布設においては、まず多条布設による電流配分の不平衡を減少させることに重点をおき、ケーブル配置と電流不平衡率について種々理論的検討を行つた後、最大約7%の不平衡率が予想される最良の配列を選んで施工した。本ケーブルの実負荷使用中の測定結果によれば、電流不平衡率は最大 5.3% 以下、ケーブル導体温度上昇は 15.3°C 以下であることが確められ、予想よりもかなり低い温度上昇に止めることができた。これは実際の負荷電流が当初の計画値よりやや低かつたことにもよるが、分割導体の採用および適正な配列方法の効果が大きくあらわれたことによるものである。

なお、運転中のケーブルの実負荷電流の測定には特殊の測定器を使用した。この方法は非常に実用的であり、この種現場測定には非常に有力な手段であることがわかつた。

本研究に当り、終始関心をもたれて御激励戴いた築上発電所天本次長に厚く御礼を申し上げますと共に、日立製作所ケーブル研究会の各位に感謝の意を表す。また現地布設ならびに測定中熱心に協力された築上発電所の関係各位に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) L. Meyerhoff, G. S. Eager: T.A.I.E.E. 68 (II) 816 (1949)
- (2) F. H. Buller: A.I.E.E. 72 35 (1953)
- (3) 高橋, 外: オーム 40 (I) 79 (昭 28. 1)
- (4) 高橋: 電気学会第27回東京支部連合大会 6. 27 (昭 27. 10)
- (5) 橋本, 加子: 日立評論 別冊 No. 4 123(昭28. 10)
- (6) 電線工業会: JCS-168 (電力ケーブル許容電流電線工業会規格)



日立製作所社員社外寄稿一覧 (昭和29年3月分受付) (その1)

投稿先	題名	執筆者所属	執筆者
(軽金属協会) チタン懇和会	チタニウムおよび鉄ロダン錯塩の分析化学的研究	中央研究所	北川 吉人 相本 吉人
日本規格協会 電気公論社	最近の工具鋼材について 丸山発電所用 70,000 kW フランス水車および 72,500 kVA 傘型発電機について	冶金研究所 本社	小柴 定雄 加藤 清
Schriftleitung der optik	Zur Messung der Farbfchlerkonstante von Mag- netischer Linse	中央研究所	渡森 辺戸 宏望
電気書院 日本印刷出版株式会社	継電器の種類とその適用 ステンレス鋼熔接棒	多賀工場 日立研究所	猿渡 房吉 小野 健二 渡 辺 二潔
生産技術協会	寿命試験	中央研究所	高田 昇平 島田 正三
日本石炭協会 インド Commerce	深坑開発と強力ワイヤロープの必要性 日本における車輛メーカーとしての日立製作所	亀有工場 本社	石橋 重遠 河合 輝
日本機械学会 東大工学部冶金教室	大流量測定 匍匐曲線の型について	日立研究所 中央研究所	山崎 卓弥 大原 秀晴
日本経済新聞 郵政省電波監理局	超遠心機 国産受像管の現状	中央研究所 茂原工場	須藤 卓朗 橋本 一二
熔接学会	不銹鋼の熔接研究 (熱処理と耐触性との関係)	日立研究所	小野 健二 渡 辺 二潔
アグネ出版社	試作経験から見たシエルモード鑄造の特質	多賀工場	丹江 浩平 刺 清 夫
WF 日本支部 家庭電気文化会	WF 法実施の諸問題 扇風機の速度調整について	多賀工場 多賀工場	真鍋 典男 山家 正道
仏国真空技術者協会	長寿命酸化物陰極	中央研究所	高田 昇平 藤野 清一郎
日本科学技術連盟	一点チャートについての考察 (補)	中央研究所	島田 正三
The Journal of Applied Physics	Ultra Thin Sectioning of Industrial Materials for Electron Microscopy	中央研究所	土倉 秀次
日本金属学会	高速度鋼の恒温処理と残留オーステナイトの挙動につ いて (第一報)	冶金研究所	小柴 定雄 田中 和夫 稲 朝 雄
日本金属学会	高速度鋼の恒温処理と残留オーステナイトの挙動につ いて (第二報)	冶金研究所	小柴 定雄 田中 和夫 稲 朝 雄
日本化学会	珪酸エステルの研究 (第七報) 加水分解生成物について 正珪酸メチルおよびエチ ルエステル	中央研究所	高谷 通
産業機械協会	ダクタイル鑄鉄製品	亀有工場	西山 太喜夫