

複導体送電線の電気力による Sticking 現象並びにコロナ等による機械的振動

(そのⅡ 実験)

武藤三郎・津田一男・渡辺高宏

The Sticking Phenomona of Double Conductor-Transmission Lines By Electrical Forces And Their Mechanical Vibrations By Corona.

(Ⅱ. Experiments)

by Saburo Muto, Kazuo Tuda, Takahiro Watanabe

Abstracts. We made some experiments about the sticking phenomena, and the mechanical vibrations by corona of double conductor-transmission line, which showed theoritical treatments I.

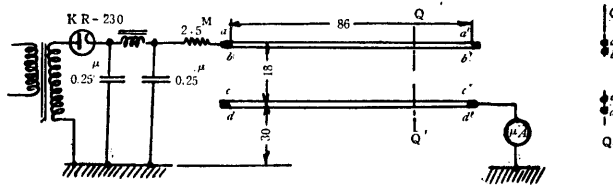
1. 緒言

(そのⅠ)に述べた複導体独自の各種固有振動が電線に働く外力と共振する場合は顕著なる振動を認める事となる。熊谷氏は寺田、中谷両氏によつて理論づけられた「一定の固有振動を有する振動体に乱雑なる衝撃を連続的に加へるときは固有振動に近い振動を呈する」と云う事実によつてコロナによる電線の機械的振動を説明している。コロナがこの様な乱雑な衝撃源となる機構は問題であるとしてもその振動数が固有振動数と非常に接近している事実は熊谷氏の多くの実験及

び筆者等が行つた測定に於いても明瞭である。複導体送電線模型に於いて行つた以下述べる如きコロナによる機械的振動に関する一連の実験も上述の如き一種の共振現象として説明出来るのである。

2. 実験装置

第9図及び10図に示す如き大小2種類の複導体送電線模型を作り先づ第9図小型の模型で上部に水平に張つた数本の導体を所要の幾何学的配置に保ち直流及び交流によつてコロナを発生せしめ平板電極に流れる電流を従来報告したものと同様の方法で測定、同時に電



第9図 複導体コロナ振動に使用した模型

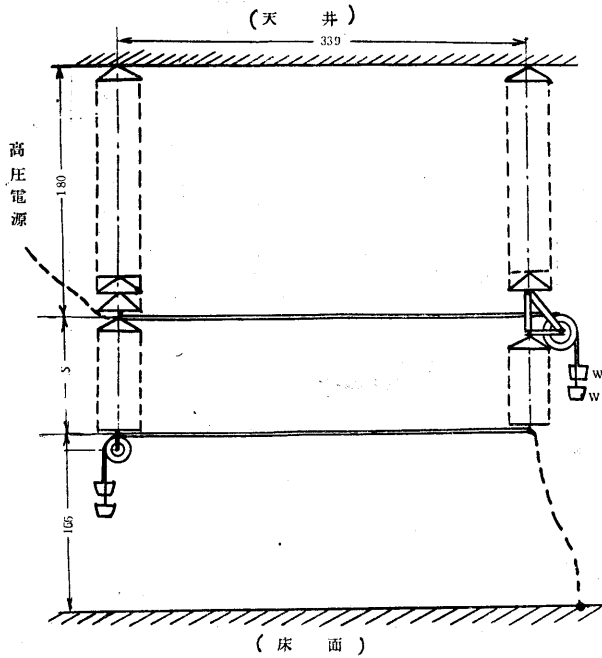
(その1小型)

線に発生する機械的振動をストロボスコープを透して観測し、静止状態に認められるときの有孔円板回転数と孔数の積より振動数を直読した。又第10図のやや大型模型にて同様の方法で主として A.C. 140 kv までに就き実験した。尚電源容量により負荷電流による電磁力と静電力との共存するときの振動状態に就いては実験不可能であつたので以下述べる結果はコロナ電流のみ電線を通ずる殆ど無負荷に近い状態に行つたも

のである。コロナ放電に伴う機械的振動の発生は従来電線に対する負イオンの衝突と考えられてきたが筆者等は 2.3. の実験をこころみてコロナによる導体周辺の空間電荷と導体間の静電気力によつてこの様な機械的振動をなし得る事を実験的に説明する事が出来た。

3. 実験と理論との対照

3-1 複導体送電線模型に認められた各種コロナ振動
第9図及び第10図の装置でコロナにより発生した各



第10図 複導体コロナ振動に使用した模型 (その2大型)

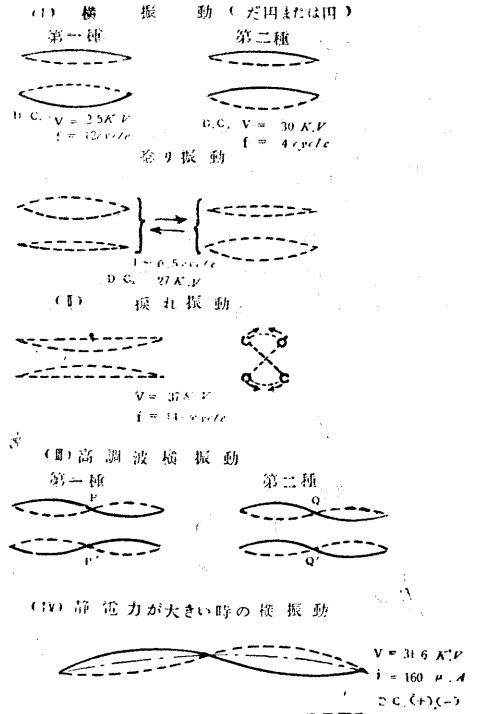
種振動状態の代表的なものを一括図示したものが、第11図である。図に明らかな如く基本振動としては(i)

の横振動と(ii)の振れ振動に大別されるが多くの異つた振動状態が現われるのであつてこれ等はすべて先に(その1)で詳述した如き複導体の固有振動の姿態と一致する事は興味深い。しかしてこの様な振動は単独に存在する場合もあるがむしろその中の数種を混合した振動を認める場合が多い。

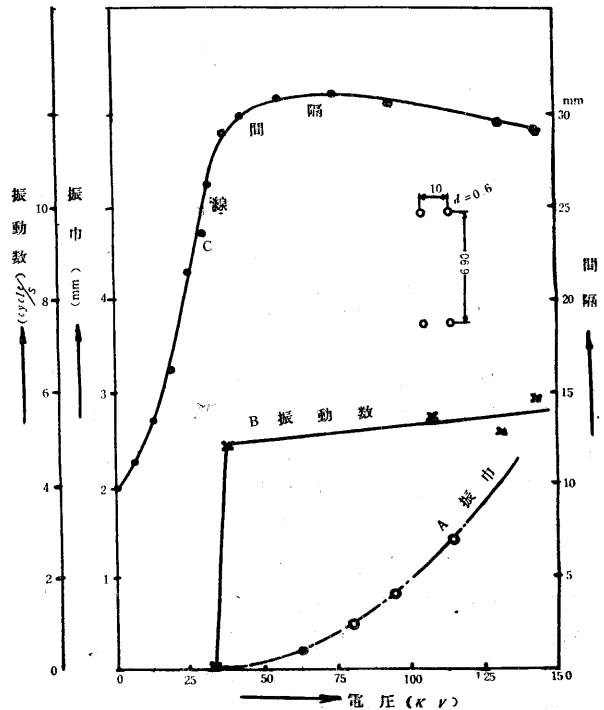
3-2 横振れ並びに導体間隔の変化

第11図に於いて明かな如く横振れとしては(i)に示した第1種、第2種並びに唸り振動を認めたがこの事は既にそのI(3-1, 3-2)に述べた固有振動の振動姿態と全く一致して複導体の固有振動がコロナによる機械力によつて共振している事を裏づけるものである。この場合振巾は電圧上昇に従つて大体増加する傾向であるが振動数は殆ど一定である。この様な横振れが高周波振動として認められる場合は第11図の(iii)の如くであつてやはり第1種、第2種の姿態が認められる。

又Iの(3-1)で述べた如く複導体に於いては無負荷に於いても静電電力が作用して導体間隔は中央部で大となり従つて横振れも



第11図 複導体模型に於けるコロナによる機械的振動の各種振動姿態 (第9図模型による実験結果)



第12図 複導体電圧(AC)と振巾、振動数、及び導体間隔との関係 (第10図模型において)

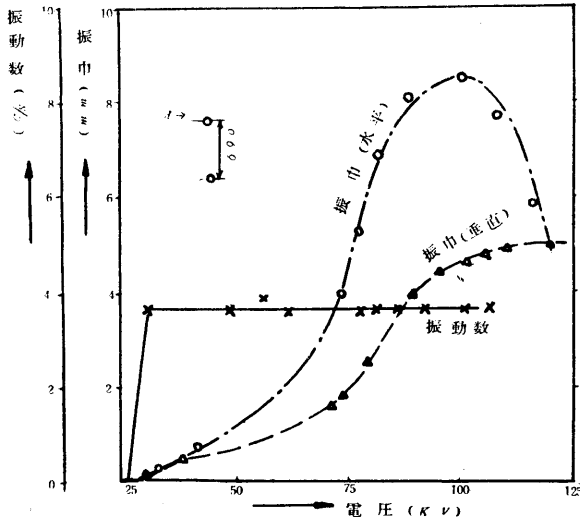
(iv) の如き振動が認められる。第12図は第10図の大型の模型に於いて交流電圧を上昇するにつれてコロナ振動の振巾振動数及び導体間隔の静電力により変化する状態を示す。

又比較の為に等価断面単導体を複導体にかえた場合のそれを第14図に示した。第12図の振動は第1種の横振れで振巾は A 曲線の如く電圧と共に増大するも振動数は振動開始と同時に B 曲線の如く殆ど一定となる。又ク



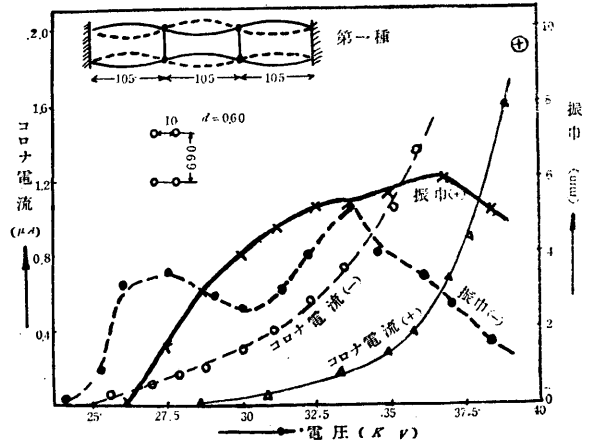
第13図 電圧増加により中央部が逆に近接した状態

ーロン力により反撥されて導体間隔は曲線 C の如く変



第14図 単導体電圧とコロナ振動の振巾振動数 (第10図模型)

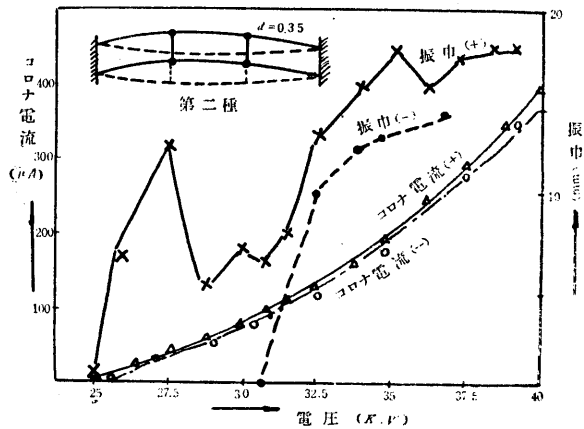
化する。C 曲線と第3図とは最初の部分は大体一致した傾向であるが後半が第3図は増加する一方であるのに第12図 C 曲線は 75 kv 附近に最大値がありそれより減少する傾向にある。この事は第3図の理論では導体の撓みによる復元力を考慮していない為であつてこれを考慮して理論を立てるならば第3図 D 端線の如くなり又、更に電圧が上昇するに従つてクーロン反撥力は導体が近接している両曲附近に強く作用する為第13図実線の如く変形された導体が更に点線の如き形をとり中央



第15図 電圧とコロナ電流振巾との関係 (第10図模型に於てセパレータを有する場合)

部では或る電圧以上になると導体間隔は逆に減少する傾向が現われるものと考えられる。

第14図の単導体に於いては振動は楕円振動を呈するのが普通であつて従つて水平、垂直2種の振巾を認めるが電圧が非常に高くなると次第に円運動に移行してゆく。この場合振動数は前と同様電圧により変化しない。複導体方式に於いては適当な間隔毎に2導体間をセパレータにて結合してつとめて導体間隔を一定に保持している。セパレータは先に述べた静電力、電磁力の外風力等による導体間隔の変化を無くする為に欠くことの出来ないものである。しかしてこのようなセパレータの挿入は機械的振動の自由度を非常に少なくする上にも又効果がある。第15図



第16図 電圧とコロナ電流、流振巾の関係 (第9図模型に於いてセパレータを有する場合)

は大模型第16図は小型模型に於いて中間にセパレータ 2 個を設けた場合の直流コロナによる機械的振動の状態を示したもので第 15 図の振動姿態は第 1 種の横振動で電圧上昇に従つて各曲線が示す如く正負共にコロナ電流が認められる直後より振動は発生し 30 kv 附近に最大振巾の点がありそれ以上電圧を上昇すると多少減少する傾向も認められる。この様な振動はやや再現性を欠き且振動を確立するまでには数10秒の時間を要する事も熊谷氏の単導体に於ける実験と一致する。

第15図の例につき先に述べた固有振動の理論より振動数を計算してみると第(22)式に於いて

$$\begin{aligned}
 l &= 3 \text{ mm} & r &= 0.3 \text{ mm} \\
 W &= 0.02 \text{ gr/cm} & D_0 &= 0.6 \text{ cm} \\
 V_n &= 15 \times 10^3 \text{ Volt} & S &= 690 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

とすれば

$$S = K_1 V^2 D_0 = \frac{10.6 \times 10^{-11} \times (15 \times 10^3)^2}{0.6 \times [\log(690/0.3 \times 0.6)]^2}$$

$$= 1.73 \times 10^{-8} \text{ kg/m} = 17 \text{ dyne/m}$$

従つて

$$\begin{aligned}
 f_1 &= (1/2\pi) \sqrt{g/l + 2S/WD_0} \\
 &= (1/2\pi) \sqrt{(980/0.3) + 17 \times 2/0.02 \times 0.6} \\
 &= 11.9 \text{ 回/秒}
 \end{aligned}$$

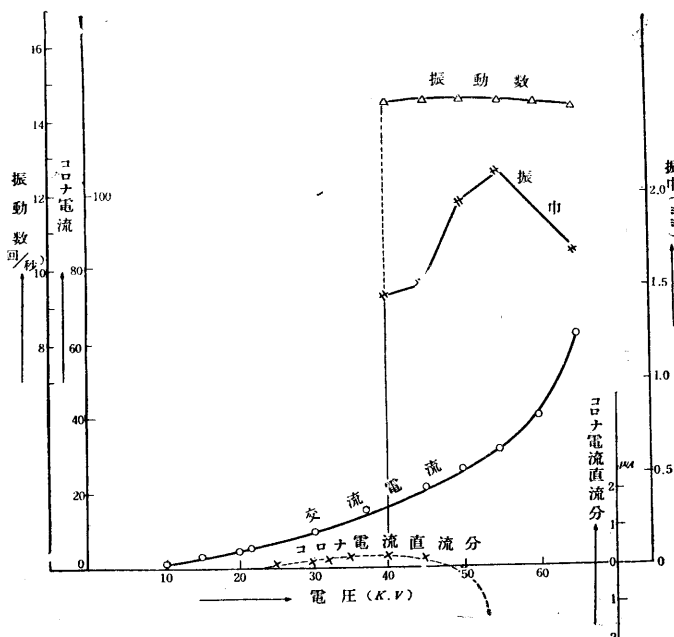
ストロボスコープにて実測した結果第 1 種振動の振動数は12回/秒であつた。従つて理論的に導いた固有振動と実際の振動はかなり近いものである。第 2 種の振動は上と同様

$$f_2 = (1/2\pi) \sqrt{980/0.3} = 9.1 \text{ 回/秒} \quad \text{実測値では } 10.5 \text{ 回/秒}$$

ゆり振動の周期は実測によれば 2回/秒であつたが計算は $f_1 - f_2 = 2.8$ 回/秒である。

3-3 振れ振動

先に述べた如く複導体模型に於いては振れ振動を認める場合がある(第11図参照)しかしこの場合の復元力には(その1)に論じた如く撓みによるものが含ま



第 17 図 振れコロナ振動の特性 (AC)
(第 9 図模型の場合)

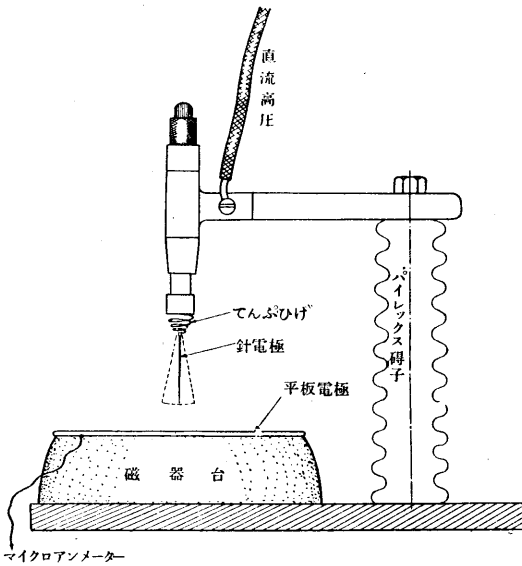
れるので正確には振れ振動と縦振動との合成されたものとするのが至当である。今小型模型を使用して(第 9 図) 実験した際に認められたこの種の振動の周期を測定した処 $f = 14.5$ 回/秒を得た。これを第34式にて計算してみると

$$\begin{aligned}
 \rho &= 8.9 \text{ g/cm}^3 & D_0 &= 1.0 \text{ cm} & W &= 0.0088 \text{ g/cm}^3 \\
 H &= 143 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\delta = 92 \text{ cm} \quad d = 0.035 \text{ cm} \quad G = 4 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = (1/2\delta) \sqrt{d^2 G / 2\rho D_0^2 + Hg/W} = 35 \text{ 回/秒}$$

計算値と実験値とは必ずしも良い一致ではない。この原因は中央部にセパレータを挿入したがこの重量が約 0.05g 位のものでこの細い電線の振動には大きく影響しているものと考えている。AC の場合の振れ振動の 1 例につき先と同様電圧と振動数との関係を図示したも

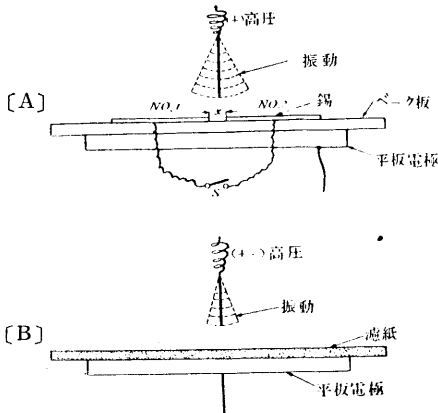


第18図 コロナ振動子と電極装置

のが第17図である図に於ける直流電流は交流コロナに於ける直流分を示すもので交流電流は Capacitive current を多分に含んでいるのでこの場合は直流分の存在し始める処よりコロナが開始していると考えるのが至当である。電圧上昇に対する振巾振動数、等の関係は横振動と大差は無いのでその説明を省略する。

4. コロナに依る機械的振動の生成について

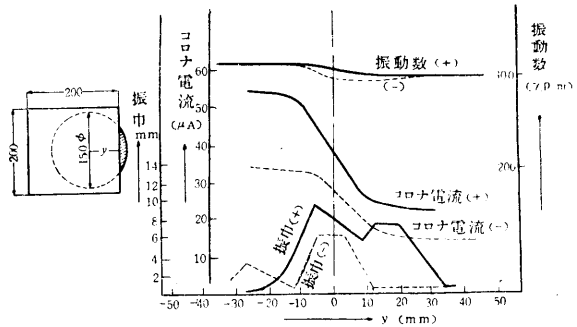
以上述べた如くコロナに依る複導体送電線模型の各種機械的振動は複導体の固有振動とコロナによる外力との共振現象ではあるがこの様な外力がコロナにより電線に与えられる原因について従来の見解によれば



第19図 コロナ振動子の各種振動状態

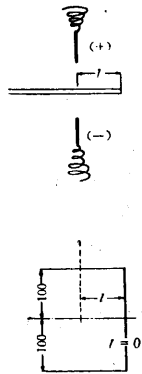
飛来する負イオン群が⊕線に与える衝撃によつて振動が発生しこれが⊖線の振動を静電的に誘起すると結論している。しかし筆者等が行つたこれに関する実験によつてむしろこれに反する様な事実をあげる事が出来た。即ち上下に張つた2線に於いてコロナ振動が起きている場合上側の線の正負を問わず振動中下側線を停止せしめても上側線はやはり振動を続け何らの変化を認めない。

これ等の点よりコロナ振動の機構を一層明確にするにはより単純化されたモデルを採用する必要がある。第18図は針電極を時計の「ひげぜんまい」で支持し上下左右に自由に振動し得る如くなし直流及び交流にて針端コロナを発生せしめてその際の針の運動をストロボスコープにて観測し周波数を測定した。この装置では針端が非常に僅な電流例えば 0.1 μA 以下でも振動を明瞭に示す。



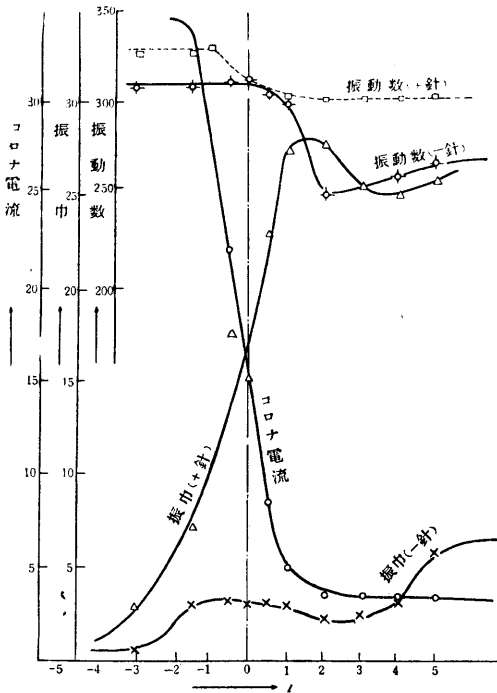
第20図 コロナ振動子の放電路中にベーク板を挿入した程度により振動の模様

この様な装置で種々実験した結果を要約すると次の如きである。(i) 放電の形式がコロナより払子、グロー放電に変位すれば振動状態は影響されるがその影響は不規則的であつて振巾が急に大きくなつたり小さくなつたりする。コロナ電流の脈動性と振動数、振巾は直接関係を認め難い。(ii) ギャップ長が小さくなつて数 mm 以下では振動はし難くなる (iii) 負針の場合はコロナ点が移動すれば振動状態が変化し停止したりする。(iv) 側面にコロナ点が移るとその反対側に振れる事も認められた。第19図 [B] の如く平板上に濾紙等の絶縁物を置けば振動は急に盛となり 3cm~5cm の振巾の振動を認める。この場合コロナ電流は逆に減少する。濾紙を水でぬらすとコロナ電流は増加するも振動振巾はその1/10程度に小さくなる。第19図 [A] の如く平板電極を一枚のベーク板で覆いその上面に半面の錫箔を距離 x 離して対立位置せしめると振動は活潑に行うが両者を短絡すると同時に振動は停止する。

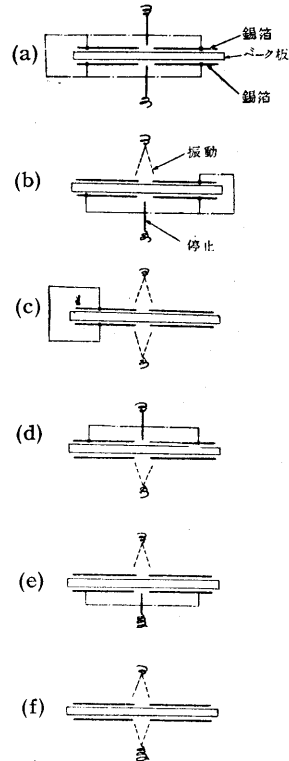


第21図 針-針コロナ振動子の放電路中にベーク板を挿入した状態。

若し S に僅かの間隙を有する場合 S には振動開始に応じ火花の発生を認める。この現象は次の如く説明される。先づ No 1 の電極の方向に針が僅か振れたとすれば No 1 の錫箔並びにその附近に \oplus charge が蓄積される。この charge と針とに反撥力が作用して針は No 2 の方向に振れるすると No 2 の附近で上と同様の charge による反撥力が作用して No 1 の方向に振



第22図 ベーク板の件置によるコロナ電流、振動数、振巾の変化 (第21図の模型に於いて)



第23図 針-針振動子の中間にベーク板を挿入して錫箔を両面により接続を変化した場合の振動状態

される様な力が働く。この間 No 1 の charge は漏洩しているからこの様な機構で振巾は次第に助長される。 S を短絡するとこの様な現象は生じ難くなつて振動しないものと推論出来るのである。これ等は針端の正負に無関係である。 x を変化しても極端に大きくしたり小さくしない限り振巾は殆ど変化ない。

又第20図左の如く平板電極の一部を絶縁物で次第に覆つてゆくと同図右の如く y の変化に従つてコロナ電流、振巾に大きな変化が見られ約半分覆つたときが正負共に最大振巾となる：又コロナ電流の減少の際に振巾は増大している等の事実も認められる。次に上下の電極を針にして振動し得る如くひげぜんまいで支持した針-針電極のコロナによる振動特性を第21図に示す。第22図は電極の状態、特に両電極の中間にベーク板を置き放電路を一部遮断すると振動が非常に旺になる。

第 22 図は l を変化した時コロナ電流、振巾、振動数等の変化を示したものであつて今放電路の中央断面の一部を色々の割合で遮断した場合、約 $\frac{1}{2}$ の断面を遮

断した $l=0$ 附近を境として振巾, コロナ電流, 及び振動数に相当の変化を認める事を示すものであつて特にコロナ電流が l の大なる程減少するにもかかわらず振巾は上下共に増加している事は放電路中に存在する絶縁板面に蓄積された charge と針との間の静電的作用により振動が助長されるものと解されるのである

又第21図は同じく針—針コロナによる放電路の中央部をベーク板で遮断してその上下面に第19図〔A〕と同様錫箔の一組を 5 mm 程度離してはりつけ第23図

(a) → (f) の如く電線にてその錫箔を互に幾通りか短絡接続すればその振動状態は図に明かな如く振動状態が色々に変つて, 上下針共に振動したり上又は下の針のみ振動したりする事が出来るがこれ等の事柄は第19図〔B〕の場合よりすべて推定し得るものである

5. 結 言

以上述べた複導体に作用する静電力, 電磁力及び固

有振動に関する計算並びにそれ等についての実験等をまとめてみると (i) 複導体送電線のコロナ等による機械的振動は静電力及び電磁力等による複導体独特の固有振動と殆ど一致する。

(ii) 複導体送電線の固有振動には大別して横振れと振り振動の2種が存在するが横振れの中の第1種第2種が主要なものである。(iii) コロナによる機械的振動源はコロナによる空間電荷と電線間の静電力に帰因する如くであるがこの点については更に検討する必要がある。以上の実験にあつては学生高橋久男君及び内地留学生岐阜市立工高林隆氏等の協りに負うところが多い。(以上)

。 文 献

- (1) 武藤, 林, 津田, 電気3学会連大 342(昭28.5)