慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	送電線における短絡電流によって生ずる電線の動揺(第1報, 静的問題)
Sub Title	Swinging of a wire of overhead transmission line due to short circuit current. I. (statical problem)
Author	鬼頭, 史城(Kito, Fumiki)
Publisher	慶應義塾大学藤原記念工学部
Publication year	1948
Jtitle	慶應義塾大学藤原記念工学部研究報告 (Proceedings of Faculty of Engineering, Keiogijuku University). Vol.1, No.2 (1948. 7) ,p.47(5)- 51(9)
JaLC DOI	
Abstract	When a short circuit occurs somewhere in a overhead 'transmission line, heavy current flows through the conductor. This current produces mutual attraction or repulsion between the conductors, due to electromagnetic force, and causes swinging motion of the conductor. If this swinging be large, it may cause the second short circuit between conductors. The Author studied this phenomenon theoretically. The present first report is a preliminary calculation, and treat only the statical problem, that is, the equilibrium of conductors under the influence of short circuit current.
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00010002-0005

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

送電線における短絡電流によつて生ずる電線の動搖（第1報，靜的問題）

昭和23年(1948) 5月11日受理

鬼　頭　史　城*

Fumiki Kitō: Swinging of a Wire of Overhead Transmission Line due to Short Circuit Current. I. (Statical Problem).

When a short circuit occurs somewhere in a overhead tranamission line, heavy current flows through the conductor. This current produces mutual attraction or repulsion between the conductors, due to electromagnetic force, and causes swinging motion of the conductor. If this swinging be large, it may cause the second short circuit between conductors. The Author studied this phenomenon theoretically. The present first report is a preliminary calculation, and treat only the statical problem, that is, the equilibrium of conductors under the influence of short circuit current.

緒　言　本研究は昭和20年11月25日および昭和21年6月5日京都府下の送電線におこつた事故にヒントを得て若干の計算を試みたものである。

架空送電線において，短絡電流が流れると，電線間に大きな吸引又は反撥力が働き，電線に動搖を與える。この動搖で電線と電線とが接近し，新たな短絡を起すおそれがある。

この問題に對する力學的計算を行つてこの報告を作つた。この第1報においては電線の運動を考えず，單に靜的な問題として一應解いて見た。勿論實際の現象は一種の過渡現象であるから，電線の運動を取入れねば完全と言えない。之は第2報でのべる。

尙この報告に示すと同じ計算がすでに行われているかも知れないが，今一切の文獻を見る機會がないから，單獨にこの計算を行つた。古くは Kirchhoff によつて

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=T\left[1+\frac{E}{2Tl}\int_0^l\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2dx\right]\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

なる形の糸の運動方程式が考えられているし，K. Schlesinger, Saitenschwingungen mit endlichen Amplitude, Z. f. Tech. Phys. 1932 のごとき文獻も存在する。

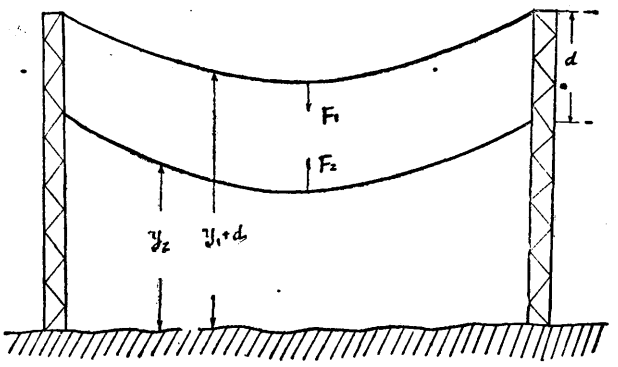

Fig. 1.

第1節　基本方程式及びその解　第1圖に示す如く同一の垂直平面内に2本の電線が d なる間隔を以て張られてあるものとする。實際には電線は同一垂

* 工博，慶應義塾大學教授，Dr. Eng., Prof. of Keio University.

直平面にはない。また兩支持點が同じ高度にあるとは限らない。しかしここでは簡單のためにこれ等の點は省略することとした。

すべて上の電線には "1", 下の電線には "2" なる附け字をつけることにし

T_1, T_2=電線の水平張力 kg, F_1, F_2=短絡によつてこれらに加えられる力 kg/m

L=經間 m

d=線間距離 m

とする。第 1 圖に示す如く電線の上の任意一點の高さを y_1+d, y_2 と名附け

w=電線の重量 kg/m, x=水平距離 m,

とすれば釣合の方程式は

$$\left.\begin{aligned}\frac{d}{dx}\left[T_1\frac{dy_1}{dx}\right]+F_1-w=0\\ \frac{d}{dx}\left[T_2\frac{dy_2}{dx}\right]+F_2-w=0\end{aligned}\right\}\qquad\cdots(1)$$

となる。これは電線の動きを考えず，卽ち靜的な問題とし且つカテナリー曲線の代りに投物線を用いるところの略近方程式である。

短絡によつて生ずる力 F_1, F_2 は第 4 節に示すところにより

$$-F_1=F_2=a/(d+y_1+y_2)\qquad\cdots(2)$$

となる。之は吸引力の場合である。もし反撥力の場合を考えるならば，d の代りに $-d$ をおけばよろしい。便宜上 T_1, T_2 は常數と假定し

$$y_1-y_2=-d\eta\qquad\cdots(3)$$

$$A=\frac{a}{d^2}\left(\frac{1}{T_1}+\frac{1}{T_2}\right),\quad B=\frac{w}{d}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)\qquad\cdots(4)$$

とすれば，方程式は (1) は

$$\frac{d^2\eta}{dx^2}+\frac{A}{1-\eta}+B=0\qquad\cdots(5)$$

となる。これは本問題の基本方程式である。その境界條件としては，兩支持點が $x=0$, $x=L$ にあるものとすれば $x=0$ 及び $x=L$ において $\eta=0$ なることを要する。

$d\eta$ は短絡によつて生じた電線の移動を表わし，η はその d に對する割合を示す。故に η は吸引力の場合には 1 よりも小である。反撥の場合は η が 1 以上になることを考えられないでもない。基本方程式 (5) を解くために，その兩邊に $d\eta/dx$ をかけて，積分すれば

$$\int_0^\eta\frac{d\eta}{\sqrt{B(\eta_0-\eta)+A\log\{(1-\eta)/(1-\eta_0)\}}}=\sqrt{2}\,x\qquad\cdots(6)$$

となる，この左邊の積分は簡單な形では表わせない。しかし第 2 圖に示すように $\log(1-\eta)/(1-\eta_0)$ なる函數は，少くとも $\eta_0<0.8$ に對しては，之を直線と考えても實用上差支ないであろう。このように考えて (6) 式を略近的にとくときは

$$\eta=(4\eta_0/L^2)x(L-x)\qquad\cdots(7)$$

となる。故に η は投物線の形となる。そして吸引力の値は (2) によつて次の形になる。

$$-F_1=F_2=\frac{a}{d}\,\frac{1}{1-\eta}=\frac{a}{d}\,\frac{1}{1-(4\eta_0/L^2)x(L-x)}\qquad\cdots(8)$$

以上により基本方程式 (5) を略近的にとくことが出來た。

第 2 節　實用上の計算　短絡によつて $d\eta$ なる移動が起るため，電線の張力は變つて來る。今

T_0=正常狀態における電線の張力 kg

T_1=短絡時における上部電線の張力 kg

T_2=短絡時における下部電線の張力 kg

とする。

$$T_1\left(\frac{dy_1}{dx}\right)=-\int_0^x[F_1-w]dx+c$$

そこで，F_1 に對しては (8) を用い，且つ一時的に $a=L$, $\beta=L^2/(4\eta_0)$ とおくと

$$T_1\frac{dy_1}{dx}=wx+c+\frac{aL^2}{4d\eta^0}\times\int_0^x\frac{dx}{x^2-dx+\beta}$$

$$\frac{dy_1}{dx}=\frac{w}{T_1}\left(x-\frac{L}{2}\right)+\frac{aL}{2T_1\eta_0 d}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\tan^{-1}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\left(\frac{2x}{L}-1\right)\quad\cdots(15)$$

となる。この式には

$$-\zeta=\frac{1}{\eta_0}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\tan^{-1}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\left(\frac{2x}{L}-1\right)\quad\cdots(16)$$

なる形の式がふくまれてをり，取扱いが複雜になる。このζをグラフに示せば第 3 圖の如くになり，これは實用上略近的に次の直線でおきかえてもよい。即ち

$$-\zeta=M_1\left(x-\frac{L}{2}\right)=M_1(x-\tfrac{1}{2}L)$$

$$M_1=f_1\frac{a}{T_1\eta_0 d}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\tan^{-1}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}$$

張力がかかつたときの電線の實長を計算し，それが彈性的の延びと釣合うものとす

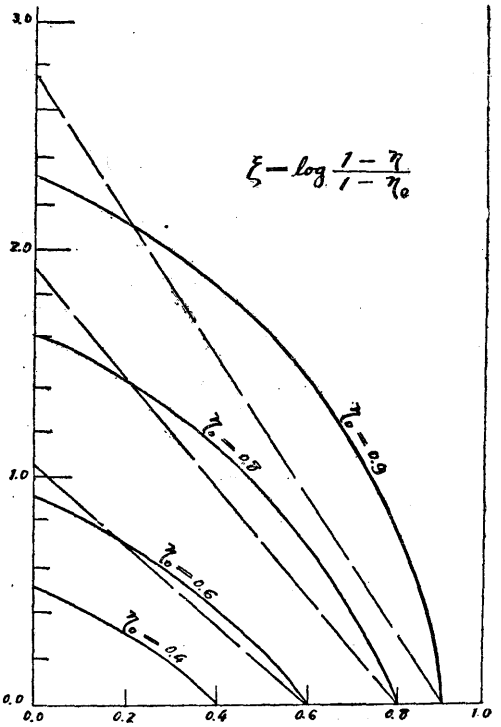

Fig. 2.

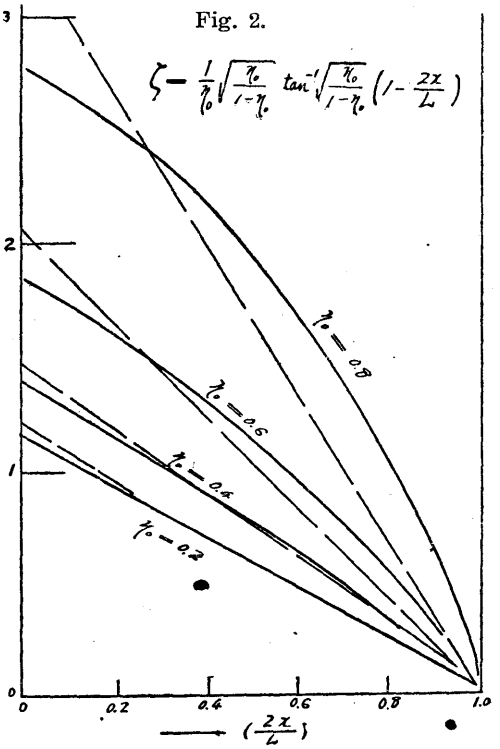

Fig. 3.

れば，若干の計算の後に次の方程式に到達する。

$$8\eta_0=\beta\left(\frac{1}{t_1}-\frac{1}{t_2}\right)+a\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right)\frac{1}{\eta_0}\log\frac{1}{1-\eta_0}$$

$$\{\delta(t_1-1)+1\}t_1^2=\{1+\gamma\varphi(\eta^0)\}^2$$

$$\{\delta(t_2-1)+1\}t_2^2=\{1-\gamma\varphi(\eta_0)\}^2$$

但し $\alpha=f\frac{aL^2}{d^2T_0}$, $\beta=\frac{wL^2}{dT_0}$ $\gamma=\frac{fa}{dw}$

$$\delta=24\left(\frac{T_0}{A_0E_0}\right)\left(\frac{T_0}{Lw}\right)^2$$

$$t_1=T_1T_0,\quad t_2=T_2/T_0$$

$$\varphi(\eta_0)=\frac{1}{\eta_0}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}\tan^{-1}\sqrt{\frac{\eta_0}{1-\eta_0}}$$

である。上記の3方程式を適當な方法（例えばグラフによる）よつて數字的にとけば，個々の問題に對する答がえられる。

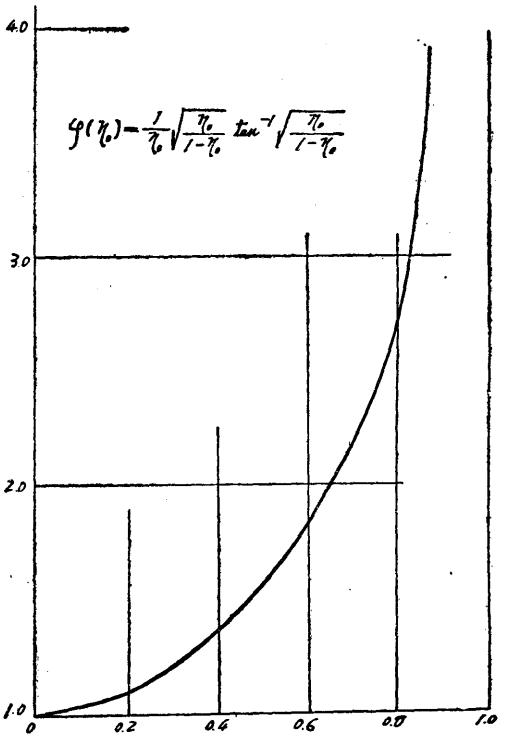

Fig. 4.

短絡によつて生ずる機械的力の値は，ごく大體でよいのであるから，古い書物 J. D. Justin—W. P. Greager, Hydro-electric Hand-book 等を參照して

$F=0.982I_0^2/(S\times10^7)$ kg/m

とし，從つて略近的に $a=0.10(I_0/1000)^2$ ととることにしよう。

數字例として $L=300$ m, $d=2.5$ m, $A_0=0.482$ cm², $w=0.43$ kg/m, $T_0=200$ kg, $E_0=1+10^9$ kg/cm² とした場合の計算結果を第 5 圖に示す。

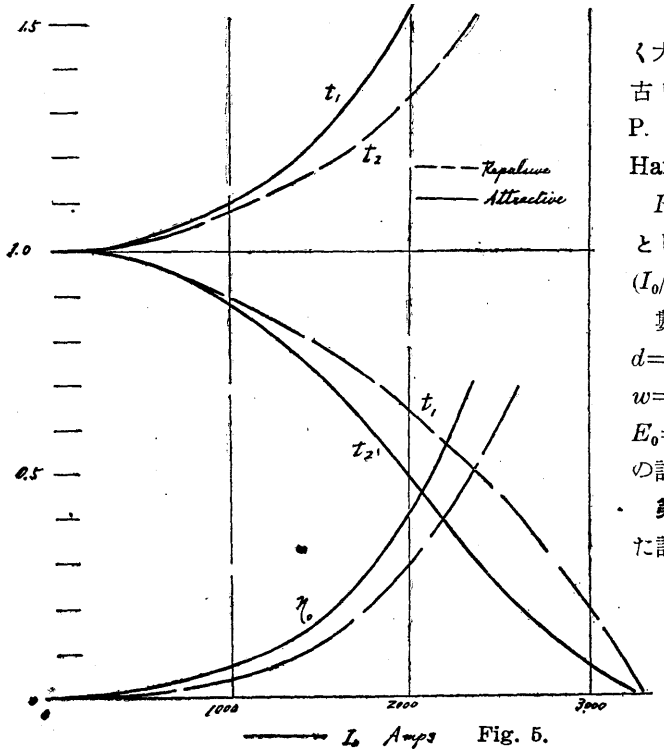

Fig. 5.

第 3 節 結言 以上に示した計算により，靜的問題としては略近的に解くことが出來た。前に示した數字例を一まとめにし，圖示すれば第 5 圖の如くになる。短絡電流が或る極限値に達すれば

いずれか一本の電線は完全に浮き上るであろう。

しかし，そのような極端な場合は除外し，極限電流の 2/3 以内のところ丈けを考えると，線間距離は吸引力の場合に 0.4 d 程度接近し，(即ち 0.6 d 位になり) 反撥力の場合には 0.3 d 位離されて，1.3 d 位になる。そして電線の張力は最大 5 割位の増減をするにすぎない。即ちこの程度の線間距離及び張力の變動を起して再び釣合を保つことが出來る。

實際には電線の運動を考えねばならない。電線の動搖のために極限電流以下の電流の場合でも或る瞬間に線と線とが極めて接近しないとは限らない。この問題は第 2 報に讓る。

又靜的問題について言つても，例えば高低差の影響などを調査せねばならない。經間が長いことは勿論頗る危險な要素となる。(殊に線間距離 d の小さいときに) 高低差があることは實効經間を增すことを意味するが，具體的に η_e に如何に影響を及ぼすかを計算によつて確かめる必要がある。事實上故障を起した地點は何れも可なりの高低差を有している。

以上にのべたのは本報告の摘要にすぎない。詳細については著者の作つた同一題名のプリントによつて見られたい。(希望者に配布する)

落下球法による粘性係數測定への一寄與

昭和 23 年 (1948) 5 月 10 日受理

笠　原　英　司*

Eiji Kasahara: A Contribution to the Measurement of Viscosity through the Use of the Falling Spheres Method. In this paper the author intends to treat with the motion of a falling body through viscous fluids by solving equations of motion of particle, in which the drag force plays a very important role. The first case, which corresponds to the Stokes' relationship, is that the resistance is proportional to the velocity. The second one is that the resistance involves the so-called inertia term and corresponds to the Oseen's formula which yields good results somewhat beyond that of Stokes.

In the result of analysis, the author concluded and proposed two things. First, at the measurement of fluid viscosity through the use of the falling spheres method the necessary data for the calculation of the final velocity are only two, that is, the fall distance from the rest and the time taken by falling, because the time until reaching the final velocity is practically negligible. The second is that the use of the Oseen's expression, in place of the Stokes' formula, can extend to some degree the region in which the falling spheres method has been applicable.

I. 緒　言　球が粘性流體中を運動する場合に流體から受ける抵抗は複雜な法則に從うものであるが一般に次元解析より

* 慶應義塾大學藤原記念工學部講師　Lecturer of Faculty of Eng., Keiogijuku University.