

電子計算機の送電線設計への応用

The Application of the Electronic Digital Computer to the Design of the Long Distance Transmission Line

金子喜八郎* 八田 達** 島田正三***
Kihachirō Kaneko Tōru Hatta Shozō Shimada

内 容 梗 概

送電線建設工事の基礎資料として、電線の張力、弛度、弛角などを各鉄塔支持点ごとに正確に計算する必要がある。この計算は相当に面倒であるうえ、量が膨大であるため、抜本的な対策の必要が痛感されてきた。

筆者らは手動計算による旧方式を一新するため、この問題に電子計算機を応用することを計画した。これに使用される電子計算機 HIPAC-Mk 1 は日立製作所中央研究所、日立電線株式会社の協力によりすでに完成し、本年初頭より稼動状態に入っている。

また、従来の設計理論は数学的にもあいまいな点が多く、実用上不合理を伴うことが多い。しかし、電子計算機を使用すれば多少複雑な計算でも簡単に処理することができるので、この特長を生かし、電子計算機の応用を念頭において送電線設計理論の再編成を行い、精密な設計法を確立した。

以上の本式はすでに実用の段階に入り、只見幹線の設計に応用されて所期の効果をおさめている。

1. 緒 言

送電線の建設工事における重要な問題の一つに電線の弛度および張力の調整の問題がある。これは与えられた最悪条件(風圧、被氷など最大)の場合に径間の水平張力が規定値になり、鉄塔に不平衡張力がかからず、電線の張力が規定の安全率を確保できるように架線張力を計算し、さらにこの条件が実現されるように架線工事を行うことである。設計計算の面からみれば次のような問題点が数えあげられる。

- (1) 現用の設計理論は著しく不備なもので、これに全面的な信頼を置きにくいこと。
- (2) 計算の量が膨大であるため、これに多数の優秀な技術者を長期にわたって割かなければならないこと。
- (3) しかも、計算の操作が複雑なため疲労倦怠を伴い、誤りの入る機会の多いこと。
- (4) 手数を省くため計算図表、弛度定規などを使用し、あるいは省略計算を行うため、精度は低下しさらに個人誤差が現われるおそれがあること。

などである。特に、長距離送電線の場合は鉄塔の数が500~700基程度に及ぶことは珍しくなく、これの設計を人力で処理するにはあまりに労力が大きく、工事の進行についていくのが精一杯といった状況であった。いきおい、上記のような不合理を忍んで手動による省略計算によってこれに対処してきたわけであるが、省略による誤差が実用上問題となる程度に大きくなる場合が多く、設

計理論にも再検討を要する問題が多い。

筆者らは、従来の方式を一新するため本問題に電子計算機を応用することを計画した。すなわち電子計算機に特有の驚異的な計算速度と精度とをもって大規模な数値計算を一挙に処理し、設計の能率を飛躍的に向上させようとするものである。電子計算機の計算速度をもってすれば多少の計算の煩雑さは問題でなく、しいて従来の不完全な設計理論に固執する必要はなくなる。筆者らはこれを機会に従来の設計理論に根本的な再検討を加え、より精密な設計法を確立することとした。

これに使用される電子計算機は日立製作所中央研究所および日立電線株式会社の協力により昭和32年12月下旬に完成、HIPAC-Mk 1 (Hitachi Parametron Automatic Computer, Mark 1) と呼ばれ、昭和33年初頭より稼動状態に入っている。

電子計算機による送電線の設計は現在すでに実用の段階に入り、電源開発只見幹線の建設に応用されて所期の効果をおさめているが、本稿ではその概要を取りまとめて報告する。

2. 電子計算機 HIPAC-Mk 1 の概要

電子計算機は大別して

- (1) 計数形 (Digital)
- (2) 相似形 (または計量形) (Analog)

に二分される。(1)は算盤に相当し、(2)は計算尺に相当するといえることができる。(2)は通常、アナコンと呼ばれるもので、定った形の微分方程式の解法などにはきわめて便利であるが、一般には使用目的が限定され、その精度も低いため、われわれの目的に対してはまったく無力である。

* 電源開発株式会社
** 日立電線株式会社電線工場
*** 日立製作所中央研究所 工博

計数形電子計算機は、戦後特に米国において目ざましい発展を遂げたものであるが、大規模なものは EDPM (Electronic Data Processing Machine) と呼ばれ、理工学の研究のほか、工業製品の設計、経営、行政の解析管理、統計事務などの各分野に広く応用され、膨大な数値データを驚異的な速さで処理している。米国に比べれば他国は相当に立ち遅れており、わが国もその例外ではない。しかし、わが国においても最近では小形の事務用電子計算機 (IBM-604, UNIVAC-60, 120 など) が相当数普及しており、注目すべき成果をおさめているが、何分にも規模が小さく、本格的な技術計算を処理することは望めない。

今般、日立製作所中央研究所で完成した電子計算機は演算制御部にパラメトロン、記憶装置に磁気ドラムを用いた中形計算機であり、富士フィルムの Fujic、電気通信研究所の M-1 などとともに数少ない実用機の一つに数えられる。HIPAC-Mk1 の使用パラメトロンは約 4,500 個、真空管およびゲルマニウムダイオードそれぞれ 400 本を使用し、桁数は 2 進法 38 桁 (10 進法 11 桁強)、演算速度は加減算 3 ミリ秒、乗算 8 ミリ秒、除算 150 ミリ秒である。記憶装置に用いられた磁気ドラムは回転数 5,600 rpm、書込み読出しの待合せ時間は平均約 5 ミリ秒、記憶容量は 1,024 語である。入力装置には穿孔テープを用い、出力装置にはページプリンタを使用して 6 字/秒の印刷能力をもつ。

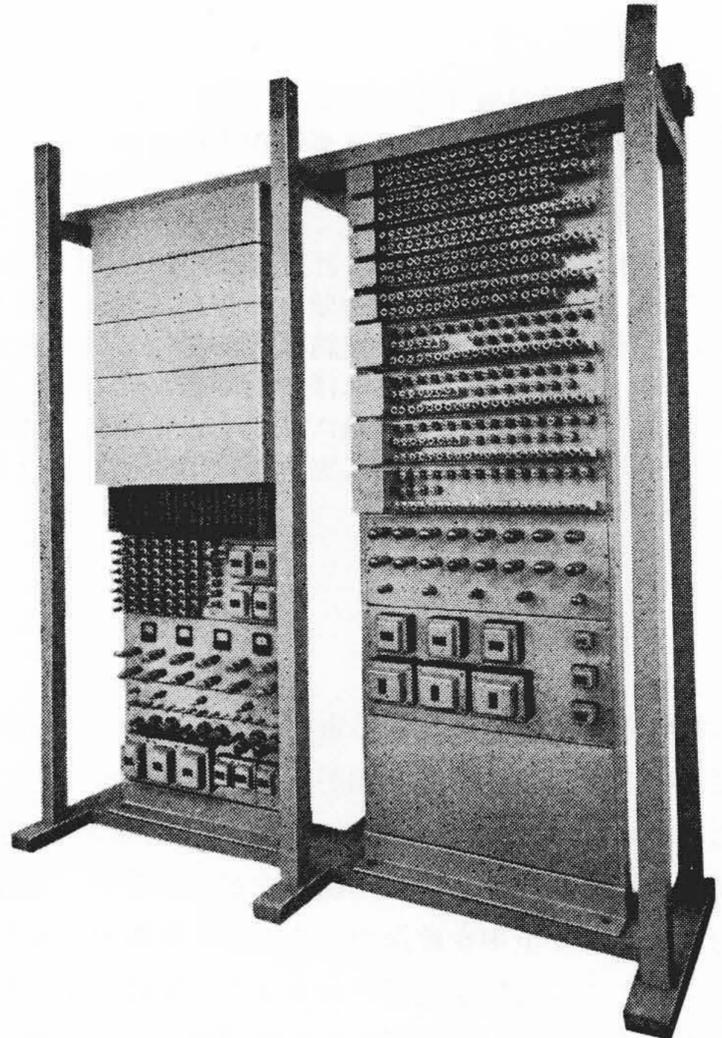
第 1 図は HIPAC-Mk1 の主要部分で、向って左側が演算制御部 (パラメトロン回路)、右側が磁気ドラム制御部 (真空管回路) で、その背面には第 2 図に示す磁気ドラムが取り付けられている。第 3 図は HIPAC-Mk1 の入出力装置、操作卓である。

電子計算機による数値計算は、手動計算のそれに比べてかなり趣を異にしている。すなわち、手動計算で用いられる数表、計算図表、弛度定規、または計算手の判断や勘がいっさい使用できなくなるため、計算機に適合するように数式を変形し、あるいは計算方法自体を根本的に変更する場合もある。以下述べられる設計理論もすべて電子計算機への応用を念願において構成されているので、手動計算には必ずしも便利でない箇所がある。

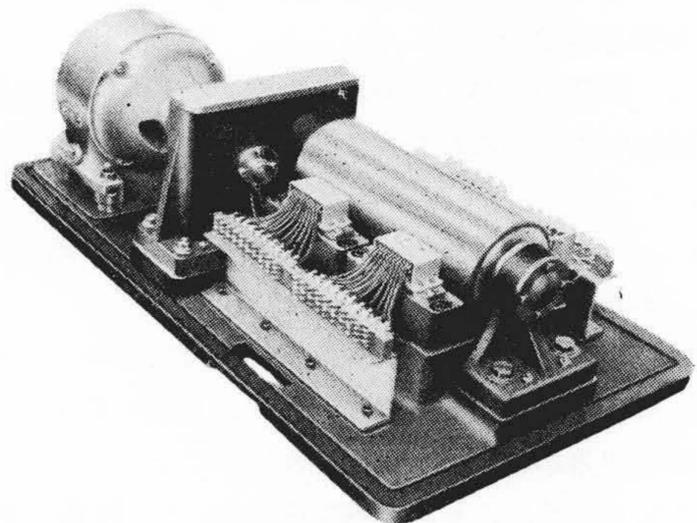
3. 等価径間の概念とこれに代る新方法

連続径間の電線の張力、弛度を定める計算は、概略次の三段階に区分される。

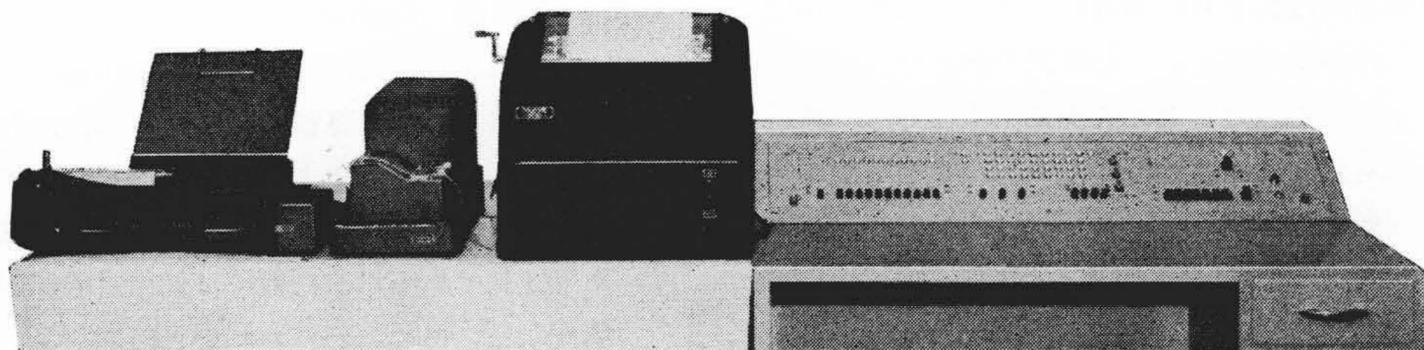
(1) 架線張力の決定



第 1 図 HIPAC-Mk1 の演算制御部 (左側) と磁気ドラム制御回路 (右側)



第 2 図 HIPAC-Mk1 の磁気ドラム



第 3 図 HIPAC-Mk1 の入出力装置と操作卓

- (2) 架線張力より各径間の緊線張力を求める計算
- (3) 緊線張力より各鉄塔支持点の張力, 弛角, 弛度を求める計算

ここで, 架線状態とは電線を碍子でクランプして, 緊線区間内の水平張力が相等しくなった状態をいい, 緊線状態とは電線が釣車の上にあつて, 各釣車の両側の電線の張力が相等しい状態をいう。以上の計算は架線温度を数段階に変化させて行わなければならないから, 計算の手数もそれに比例して大きくなるわけである。

さて, ここで最も重要なことは(1)の架線張力の決定方法である。架線張力は, 最悪条件(風圧, 被氷荷重最大, または温度最低)のもとで各径間の水平張力が設計値になり, 鉄塔に不平衡張力がかからないように定めなければならない。現在, 一般に行われている方法は緊線区間の力学的性質を代表する等価径間(Ruling Span)を仮想し, これを基準にとって架線張力を定める近似方法である。等価径間の決めかたについてはすでに数多くの議論が行われているが, 現在普通に用いられているのは次に述べる二つの方法である。すなわち, 緊線区間内の第 s 番目の径間の水平距離および斜距離をそれぞれ a_{os} , A_s , 等価径間の水平距離および斜距離をそれぞれ a_{om} , A_m とし, a_{om} または A_m を次のように計算する方法である。

$$a_{om} = \left(\frac{\sum_{s=1}^n a_{os}^3}{\sum_{s=1}^n a_{os}} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$A_m = \left(\frac{\sum_{s=1}^n A_s^3}{\sum_{s=1}^n A_s} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2)$$

(1)は従来から用いられている Still の式である。しかし(1)の誘導過程は数学的に正当なものとは思われず, 特に支持点高低差をまったく無視して全部を水平径間とし取り扱っている点は粗漏にすぎるといわなければならない。このため, 高低差の大きな山岳地帯で多くの不合理を伴うことは当然である。

(2)は吉野氏の式であつて, 高低差の影響を考慮し, (1)の水平距離を斜距離におきかえたものであるが, 等価径間にどのような仰角を与えればよいかという点が解明されていない。

しかし, 手動計算の場合はこれ以上に計算を複雑にすることは労力の点から好ましくないので, 不合理を忍んで(1)または(2)が用いられてきた。しかし, 振り返って考えてみると, 連続径間を単独径間で代表させようとする考え自体が果して合理的なものかどうかはきわめて疑わしく, 等価径間なるものが数学的に存在するかどうかも明らかではない。このように, 考えると, さらに正確な理論を構成しようとする場合, 果して従来の等価径間の概念に固執する必要があるかどうかはきわめて疑わ

しい。

筆者の一人⁽¹⁾は, すでにこの観点から従来の設計理論に再検討を加え, 伝統的な等価径間の概念を墨守することなく, 架線張力を合理的に計算する新方法を提案してきたが, 今回はこの方法を実用に供することとした。すなわち電線の「伸びる前の長さ」に基礎をおき, 連続径間の方程式を直接解く方法であるが, 詳細は文献(1)に記述されているのでここでは単に計算式のみを記すことにする。

4. 架線張力を定める代数方程式

いま第4図に示す緊線区間(n 径間連続)について次の記号を定める。

- s : 径間番号
- a_{os} : 径間水平距離(m)
- Δh_s : 支持点高低差(m)
- δ_{os} : 径間の仰角

ここで

$$\tan \delta_{os} = \Delta h_s / a_{os}$$

$$A_s = \sqrt{a_{os}^2 + \Delta h_s^2}$$

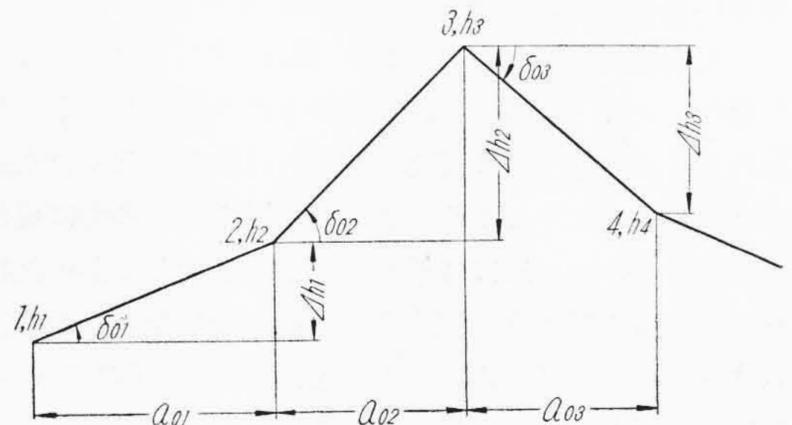
さらに, 使用電線の特長, 荷重条件などに関連して次の量を定義する。

- w_c : 電線自重(kg/m)
- w_i : 被氷荷重(kg/m)
- w_w : 風圧荷重(kg/m)
- w_0 : 合成荷重(kg/m)
- γ : 風圧による電線の流れ角
- E_0 : 電線の弾性係数(kg)
- T_0 : 電線の最大水平張力(kg)
- α : 電線の熱膨脹係数($1/^\circ\text{C}$)
- ϵ_p : 電線の永久伸び
- t_m : 最悪時の温度($^\circ\text{C}$)
- t_w : 架線時の温度($^\circ\text{C}$)

ここで

$$\sin \delta_s = \cos \gamma \sin \delta_{os}$$

$$a_s = \cos \delta_s A_s$$



第4図 連続径間

$$k = \frac{(w_c + w_i) w_c}{w_0^2}$$

$$c = w_0 / T_0$$

$$\lambda = T_0 / E_0$$

$$\mu = w_c / w_0$$

とすれば、この緊線区間の架線張力 H_0 は次に述べる方法で計算される。すなわち

$$x = T_0 / H_0 \dots\dots\dots (3)$$

とすれば、 x について次の代数方程式が得られる。

$$\begin{aligned} & \{1 + \alpha(t_w - t_m) - \varepsilon_p\} \sum_{s=1}^n l_{os} - \sum_{s=1}^n A_s \\ & x^3 - 24 \frac{\sum_{s=1}^n l_{os} - \sum_{s=1}^n A_s}{\mu^2 c^2 \sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3} x \\ & - 24 \lambda \frac{\sum_{s=1}^n \sec^2 \delta_{os} a_{os}}{\mu^2 c^2 \sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3} + \frac{1}{80} \mu^2 c^2 \\ & \cdot \frac{\sum_{s=1}^n \cos^3 \delta_{os} a_{os}^5}{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3} x^5 - 4 \lambda \frac{\sum_{s=1}^n a_{os}^3}{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3} x^2 = 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (4)$$

ここで

$$\begin{aligned} l_{os} &= A_s + \frac{1}{24} c^2 \cos \delta_s a_s^3 + \frac{1}{1920} c^4 \cos^3 \delta_s a_s^5 \\ & - \lambda \left\{ \sec^2 \delta_s a_s + \frac{1}{12} (1+k) c^2 a_s^3 \right\} \end{aligned}$$

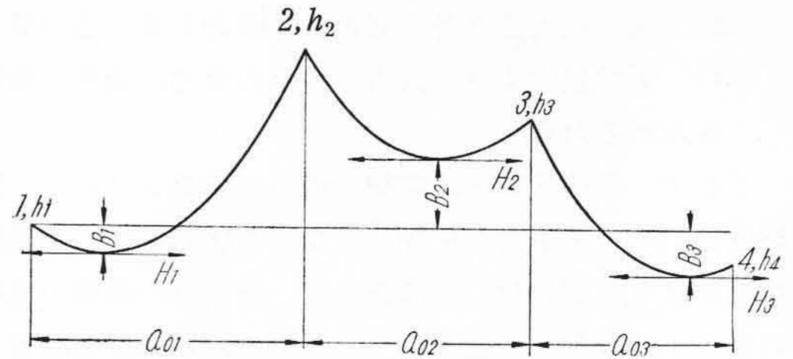
この方程式を代数的に解くことは不可能であるが、 x の値はおおむね定まった範囲内にあるから、これを Newton 近似で解くことができる。電子計算機を用いれば 3~4 秒程度でこの根を求めることができる。

この方法による計算結果の信頼性は高く、極度の長径間や高低差の大きな場合、または風圧による電線の流れが大きな場合でも常に合理的な架線張力の値が計算される。

5. 緊線張力の計算

実際の工事で問題となるのは、所定の架線張力を得るためにはどのような張力で緊線を行えばよいかという点である。架線状態では懸垂碍子連が垂直になるように工事されるから緊線区間内の各径間の水平張力は相等しく、その値は前節で計算された H_0 に等しくなければならない。一方、緊線は電線を釣車上に吊架した状態で行われるため、釣車の摩擦を無視すれば隣接する支持点張力は相等しくなり、このため、各径間の水平張力は異なった値をとる。一般には鉄塔に不平衡張力がかかった状態で張力および弛度を決定しなければならない。この計算で既知の量は各径間の水平距離、支持点高低差のほか、前節で計算された架線張力 H_0 である。

第 5 図において、第 s 径間の緊線時水平張力を H_s と



第 5 図 釣車上の電線

すれば一般に次の関係が成立する。

$$H_s = H_1 + w_c (B_s - B_1) \dots\dots\dots (5)$$

B_1 は第 1 径間の水平弛度、 B_s は第 s 径間のバーテックス (Vertex) の高さで第 5 図に示すとおり、支持点 1 の高さを基準にとっている。支持点 1, 2, 3, ... の高さをそれぞれ h_1, h_2, h_3, \dots とすれば

$$h_1 = 0$$

$$\Delta h_s = h_{s+1} - h_s$$

となる。従来のように、架線および緊線状態で電線の実長に変化がないと仮定すれば、 H_0 と H_s の間には次の関係が成立することが必要である。

$$H_0^2 = \frac{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3}{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3 / H_s^2} \dots\dots\dots (6)$$

従来は (6) の誘導において支持点高低差を無視し、仰角を零として ($\delta_{os} = 0$) いたが、(6) はこの意味においてはさらに合理的になったわけである。

第 s 径間の水平弛度 d_{as} は次式により計算される。

$$d_{as} = \frac{H_s}{w_c} (\sec \phi_{as} - 1) \dots\dots\dots (7)$$

(7) の ϕ_{as} は第 6 図からみられるとおり支持点 s の弛角であって、次のように与えられる。

$$\phi_{as} = \phi_s + \mu_s - \delta_{os} \dots\dots\dots (8)$$

$$\phi_s = gd \left(\cos \delta_{os} \frac{a_{os} w_c}{2 H_s} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$\mu_s = \frac{4}{3} (1 - \cos \phi_s) \tan \delta_{os} \dots\dots\dots (10)$$

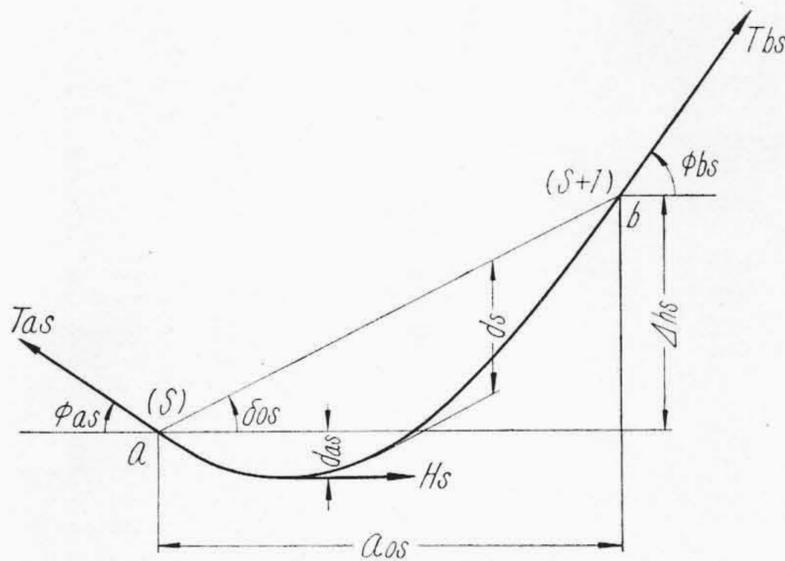
ここで $gd x$ は Gudermann 函数を示す記号である。第 5 図および第 6 図から明らかたとおり

$$B_s = h_s - d_{as} \dots\dots\dots (11)$$

(5), (6), (7), (8), (9), (10) より H_s を未知数とする代数方程式が得られるが、これを直接解くのは困難であるから架線および緊線状態で水平弛度の変化が無視できると仮定すれば (9) の H_s は H_0 に置換すればよく

$$\phi_s = gd \left(\cos \delta_{os} \frac{a_{os} w_c}{2 H_0} \right)$$

として計算すればよい。したがって (7) および (11) の d_{as} , B_s はいずれも既知となって方程式の形は著しく簡略される。



第6図 第s径間の張力, 弛角, 弛度

いま

$$H_1 = H_0 + \Delta H_1 \dots\dots\dots (12)$$

$$H_s = H_0 + \Delta H_1 + w_c(B_s - B_1) \dots\dots\dots (13)$$

とし,

$$\Delta H_1 + w_c(B_s - B_1) \ll H_0 \dots\dots\dots (14)$$

と仮定する。これは、架線および緊線状態の張力の変化が小さいことを意味し、物理的にも妥当な仮定である。

(13), (14)より

$$\frac{1}{H_s^2} = \frac{1}{H_0^2} - 2 \frac{\Delta H_1 + w_c(B_s - B_1)}{H_0^3} \dots\dots\dots (15)$$

(15)の関係を(6)に代入すれば

$$\Delta H_1 = -(\Delta_1 B - B_1) w_c \dots\dots\dots (16)$$

ここで

$$\Delta_1 B = \frac{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3 B_s}{\sum_{s=1}^n \cos \delta_{os} a_{os}^3} \dots\dots\dots (17)$$

したがって

$$H_s = H_0 + w_c(B_s - \Delta_1 B) \dots\dots\dots (18)$$

以上の計算は多少の省略はあるがおおむね合理的な結果が得られ、実用上支障を生ずる場合はきわめて少ない。これは、架線時および緊線時の張力の変化が小さく、比較的小さな補正で緊線張力が計算されるためである。

従来は、緊線張力を手動計算で求める適当な方法がなく、試索的な計算をくり返して正確な解を探し出すといった方法が用いられ、このため非常な苦勞があったが、(17), (18)を利用すれば単なる機械的な計算によって満足な数値が得られる。

しかし、上述の方法は数学的にみて多少すっきりしない点がありこれについては再度検討して別の機会に報告することとしたい。

6. 緊線の張力, 弛角, 弛度を求める計算

緊線時の水平張力は前節の計算によって求められたわけであるが、最後に各鉄塔支持点における張力, 弛角,

弛度などを求めれば計算が完了する。第6図において等価水平径間の弛角は

$$\phi_s = gd \left(\cos \delta_{os} \frac{a_{os} w_c}{2H_s} \right)$$

a, b における弛角を ϕ_{as}, ϕ_{bs} とすれば

$$\phi_{as} = \phi_s - \delta_{os} + \mu_s$$

$$\phi_{bs} = \phi_s + \delta_{os} - \mu_s$$

$$\mu_s = \frac{4}{3} (1 - \cos \phi_s) \tan \delta_{os}$$

a, b 点における支持点張力 T_{as}, T_{bs} は

$$T_{as} = H_s \sec \phi_{as}$$

$$T_{bs} = H_s \sec \phi_{bs}$$

となる。斜弛度 d_s は

$$d_s = Y_1(\phi_s) a_{os} \sec^2 \delta_{os}$$

ここで、 $Y_1(\phi_s)$ は次のように定義される。

$$Y_1(\phi_s) \equiv \frac{1 - \cos \phi_s}{2 \cos \phi_s g d^{-1} \phi_s}$$

$Y_1(\phi_s)$ の計算には次の級数を用いた。

$$Y_1(\phi_s) = \frac{1}{4} \phi_s \left(1 + \frac{1}{4} \phi_s^2 + \frac{31}{360} \phi_s^4 \right)$$

また、水平弛度 d_{as} は次の関係から求めればよい。

$$d_{as} = \frac{H_s}{w_c} (\sec \phi_{as} - 1)$$

以上の計算は、副命令 (Subroutine) を応用すれば格別の困難なしに処理することができる。

なお、単独径間の場合には緊線張力を求める必要がないから、[V]の計算は行う必要はなく、直接[IV]より[VI]へ跳べばよい。

7. 電源開発只見幹線設計への応用

電子計算機は俗に「電子頭脳」とか「考える機械」とか呼ばれているが、これは一面を誇張した表現であって、計算機単独では問題を解く能力はなく、計算の手順を詳細に演算指令の形に書き改めて機械に指示してやる必要がある。特に計算機の演算部分は初等的な四則演算を行う能力しかないから、各種の高等演算も四則演算の形にまで解きほぐしてやらなければならない。このような一群の演算指令をプログラム (Program) と呼び、プログラムの作成をプログラミング (Programming) と呼んでいる。電子計算機による数値計算で最も苦心を要するのはこのプログラミングであるが、一度これが確立されれば同種の問題についてはくり返して使用され、単なる機械的操作によって希望のデータを迅速に処理することができる。

次に、電子計算機による数値計算の概要を説明すれば次のとおりである。電子計算機のうちで中形以上の規模

をもつものは普通プログラム記憶方式 (Stored Program) が用いられており、最初に計算のプログラムを印刷電信のように符号化して鑽孔テープに打ち込み (命令テープと呼ばれる)、これを計算機に読み込ませる。命令はテープリーダー (Tape Reader) を通して計算機内部に入り、記憶装置 (HIPAC-Mk 1 の場合は磁気ドラム) の中に記憶される。すなわち、計算機は計算の要領を呑み込んだわけである。次に、ふたたび入力データを記した数値テープをテープリーダーにかけ、計算機がこの数値を読み終ると同時に、記憶装置に蓄積された計算のプ

048800	003790	000000	048947	996998	077664	077508
048200	-017690	003790	051344	938771	-367012	-351750
034068						
035942	046247	035959	000504	133606	036839	001938
032114	291141	036758	020001	-104514	032655	002242
033362						
035115	048124	035239	000535	135423	036119	001979
031431	292989	036041	019855	-102343	031939	002291
032695						
034423	049968	034559	000566	137207	035439	002018
030796	294805	035365	019720	-100204	031263	002339
032065						
033729	051700	033918	010596	119958	034793	002057
030176	296588	034726	019593	-998096	030624	002386
042700	-003490	000000	042842	996676	-081733	-081552
042600	-000630	-003490	042605	998691	-014729	-014788
035033						
035215	126145	036087	003757	034013	035277	001510
034851	089389	035280	001054	072670	035134	001514
034125						
034307	128318	039186	003784	036161	034376	001550
033941	091542	034379	001806	074534	034233	001555
033278						
033462	130349	034347	003811	038246	033537	001590
033093	091652	033240	001925	076957	033394	001595
032487						
032672	132338	033564	003839	040301	032753	001628
032301	095722	032757	001624	079039	032811	001634

第 7 図 只見幹線における数値結果の一例 (電子計算機の付属タイプライタにより印刷されたもの)

ロプログラムに従って計算が開始される。さらに具体的に説明すると、制御装置は記憶装置から命令を次々と読み出し、与えられた順序に従って演算回路を駆動して計算を行う。必要な計算データは記憶装置に書き込み、あるいはこれより読み出す。

プログラムが終了し計算が一段落すれば、数値結果は出力装置に送られ、自動的に印刷される。

送電線の設計の場合、必要となる数値データは次のとおりである。

(1) 使用電線の種類および荷重条件より定まる数値

w_c : 電線単位長当りの自重 (kg/m)

T_0 : 電線最大水平張力 (kg)

E_0 : 電線弾性係数 (kg)

α : 電線熱膨脹係数 ($^{\circ}\text{C}$)

ε_p : 電線永久伸び (%)

w_0 : 最悪時電線単位長当り荷重 (kg/m)

t_m : 最悪時の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

γ : 最悪時の風圧による電線流れ角

k : 負荷係数

t_w : 架線時の温度

(2) 径間の水平距離および支持点高低差

n : 緊線区間に含まれる径間の数

s : 緊線区間内における径間の番号

a_{os} : 径間水平距離 (m)

第 1 表 電源開発只見幹線における数値結果の一例 (第 7 図を架線台帳の形式に整理したもの)

整理番号	水平距離 (m)	高低差 (m)	25 $^{\circ}\text{C}$					15 $^{\circ}\text{C}$				
			H_0 (kg)	H_s (kg)	ϕ_{as}^{as} (kg)	ϕ_{bs}^{bs} (kg)	d_{as}^{as} (m)	H_0 (kg)	H_s (kg)	ϕ_{as}^{as}	ϕ_{bs}^{bs}	d_{as}^{as} (m)
M_2-15	488	37.9	3,206.5	3,377.9	5 $^{\circ}11'$ 3,391.8	13 $^{\circ}54'$ 3,479.8	5.96 20.57	3,269.5	3,442.8	5 $^{\circ}00'$ 3,455.9	13 $^{\circ}43'$ 3,543.9	5.66 20.18
	482	-176.9		3,017.6	29 $^{\circ}40'$ 3,472.6	-9 $^{\circ}49'$ 3,062.4	195.93 23.86		3,078.6	29 $^{\circ}29'$ 3,536.5	-10 $^{\circ}01'$ 3,126.3	197.20 23.39

整理番号	水平距離 (m)	高低差 (m)	5 $^{\circ}\text{C}$					-5 $^{\circ}\text{C}$				
			H_0 (kg)	H_s (kg)	ϕ_{as}^{as} (kg)	ϕ_{bs}^{bs} (kg)	d_{as}^{as} (m)	H_0 (kg)	H_s (kg)	ϕ_{as}^{as}	ϕ_{bs}^{bs}	d_{as}^{as} (m)
M_2-15	488	37.9	3,336.2	3,511.5	4 $^{\circ}49'$ 3,523.9	13 $^{\circ}33'$ 3,611.9	5.35 19.79	3,406.8	3,584.2	4 $^{\circ}37'$ 3,595.9	13 $^{\circ}22'$ 3,683.9	5.04 19.38
	482	-176.9		3,143.1	29 $^{\circ}18'$ 3,604.1	-10 $^{\circ}14'$ 3,193.9	198.55 22.91		3,211.4	29 $^{\circ}07'$ 3,675.8	-10 $^{\circ}27'$ 3,265.5	200.01 22.42

注: 使用電線: 610mm² ASCR
 荷重条件: 温度 -20 $^{\circ}\text{C}$ 風圧 50kg/m²
 被氷 9 mm 最大水平張力 6,300kg

Δh_s : 支持点高低差(m)

h_s : 支持点の高さ(m)

($h_1 \equiv 0$)

ここで、(1)に属する数値は設計条件としてすべての径間に共通して使用されるものであるから、プログラムの末尾に付加して命令の一部として記憶させる。(2)は架線台帳より与えられる。(2)の数値は一連の数値データとして数値テープに打ち込んでおけば、計算機は計算が一段落するたびに自動的に次の数値を読み出して計算をくり返す。

HIPAC-Mk 1 は昭和 33 年初頭より稼動状態に入り、現在すでに只見幹線の設計に使用されている。第 7 図は計算機に付属したタイプライタによって印刷された数値結果の一例であるが、電源開発只見幹線田子倉一尾瀬沼間(610 mm² ACSR 区間)における設計計算の一部分である。架線時の温度は 25°C, 15°C, 5°C-5°C の 4 段階にとり、おのおの場合について架線に必要な数値データ(張力, 弛角, 弛度など)が一括して印刷されている。第 1 表は第 7 図を架線台帳の形式に整理したものである。連続径間の場合、緊線時には釣車の両側で電線の支持点張力が相等しくなければならないが、この条件はおおむね満足されており、計算過程の正しさを裏書きしている。わずかの食い違いがあるのは[V]で行われた省略に起因するものである。これらの数値結果は本稿で述べた厳密な理論式によったものであるから、極度の長径間や、高低差のはなはだしい場合、荷重条件の異常に大きな場合にも常に信頼できる結果を与える。また、手動計算にありがちな計算の誤りもない。

HIPAC-Mk 1 による計算所要時間は 1 径間当り約 1 分弱、その他計算結果の印刷に約 50 秒を必要とする。もし、手動計算でこれと同様の精密計算を行うとすれば 1 径間当り約 7 時間は必要である。しかも、手動計算では計算手の疲労や倦怠によって誤りの入る機会はきわめて多く、これを発見することは不可能に近い。

送電線の弛度および張力の計算は従来の省略計算においてすら非常に大きな負担であり、送電距離が長大となるにつれていよいよその量も膨大となって工事の進行上大きな障害とされていたものであるが、本方式の導入によりこの困難は解消され、設計法は画期的に一新されたわけである。このため、工事計画のたびに動員されていた多数の優秀設計者は、数値計算の労苦より開放されてほかの分野に転用することが可能となり、人員配置の面もはるかに合理化することができる。

8. 結 言

以上、長距離送電線の設計に電子計算機を応用する問題、および設計理論の再検討などについて記述してきたが、その論旨は次のように要約される。

- (1) 送電線の設計に必要な大規模な数値計算を電子計算機を用いて一挙に処理し、設計の能率を飛躍的に向上させることを計画した。
- (2) これに使用される電子計算機は日立製作所中央研究所および日立電線株式会社の協力により完成し、すでに電源開発只見幹線の設計に利用されている。
- (3) 電子計算機は驚異的な計算速度をもち、多少複雑な計算でも簡単に処理することができる。このため、従来行われてきた省略計算は廃止し、厳密な理論式に立脚して正確な計算計画を確立した。
- (4) 特に、架線張力の決定に当っては従来の等価径間法に代る新しい方法を研究し、これを応用した。このため、高低差のはなはだしい地区でも架線張力が合理的に定められるようになった。
- (5) 電子計算機による送電線の弛度および張力の計算は 1 径間当り約 1 分弱、数値結果の印刷に約 50 秒を必要とする。入力でこれと同様の精密計算を行うとすれば 1 径間当り約 7 時間は必要である。
- (6) 本方式の導入によって多数の設計者を設計計算にさく必要がなくなり、ほかの分野に転用することが可能となる。

以上のように、この方式は従来の手動による省略計算に比べて、速度、精度、信頼性のすべての点において格段にすぐれており、特に、高精度のクリノメータ、張力計などの架線用計測器が発展してきた現在、張力、弛度などについて精密な数値結果を得ることはいっそう意義深いことと考えられる。

最後に、本研究に御指導をいただいた電源開発株式会社の関係者各位、御協力をいただいた日立製作所中央研究所、日立電線株式会社の関係者各位に対して厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 八田: 電学誌 78, 1347 (昭 33.10)
- (2) S. Noda: Mechanical Characteristics of Transmission Lines, Part I~II (Memories of the Ryojun College of Engineering Vol. I~V, 1927~1932)