

送電線架線張力決定に関連した二、三の問題

Some Problems Concerning the Determination of Stringing Tension of the Transmission Lines

金子 喜八郎*
Kihachirō Kaneko

緒 方 清 一*
Seiichi Ogata

八 田 達**
Tōru Hatta

内 容 梗 概

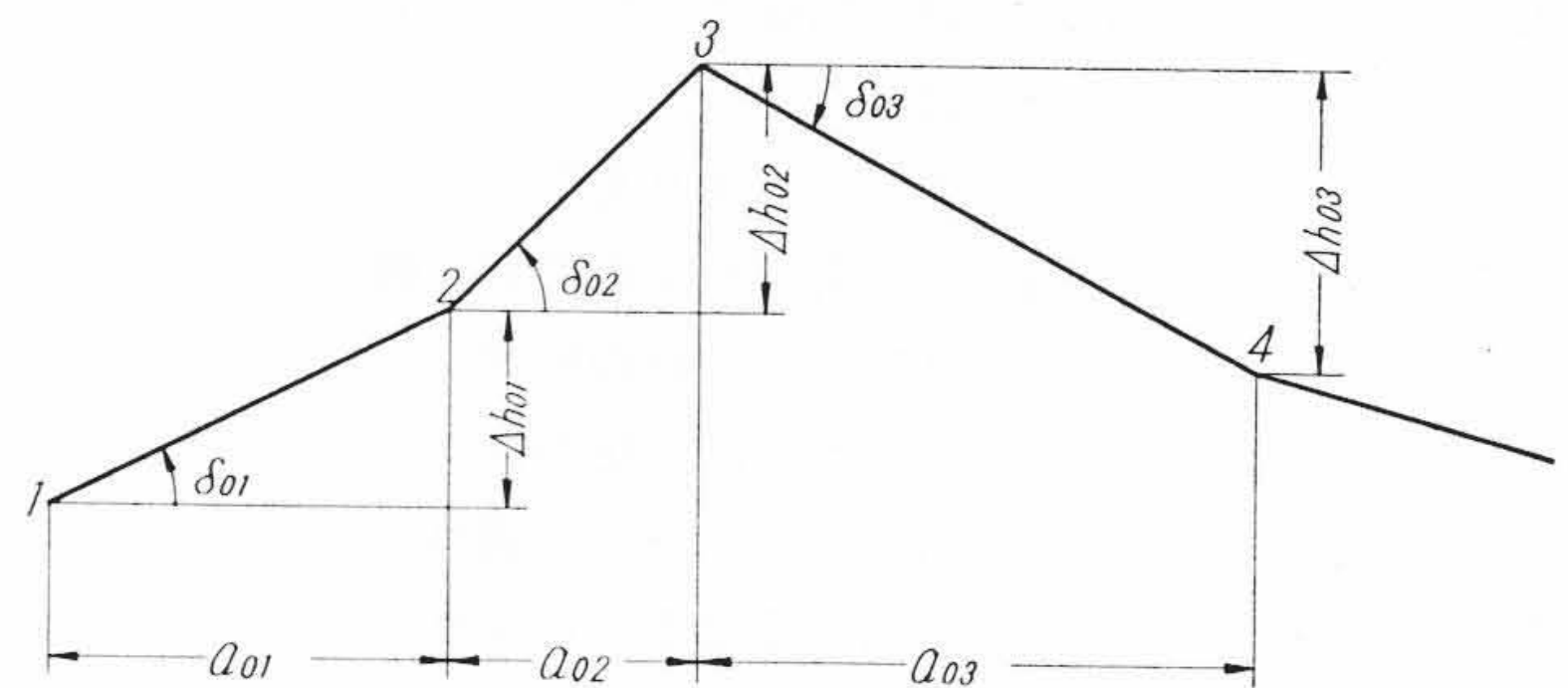
従来、送電線の架線張力は、支持点の高低差を無視し連続径間を等価径間におきかえる方法によって計算されてきた。この方法は支持点高低差のはなはだしい場合、または風圧による電線の流れが著しい場合には不合理が多く、実用上いろいろ不安がもたれるようになってきた。筆者らはこの欠点を排除するため等価径間法に代る新方法を提案し、すでに電子計算機に 응용して送電線の架線設計を行っているが、この方法では臨界径間、電線の安全率より定まる使用限界などについて従来よりもさらに立ち入った考えが必要となる。すなわち、支持点高低差、風圧による電線の流れなどの要素が関連し、問題が複雑化されるためである。本文ではこれらの観点から上記の問題に検討を加え、さらに設計の便宜を計るため各種の図表を作成した。

1. 緒 言

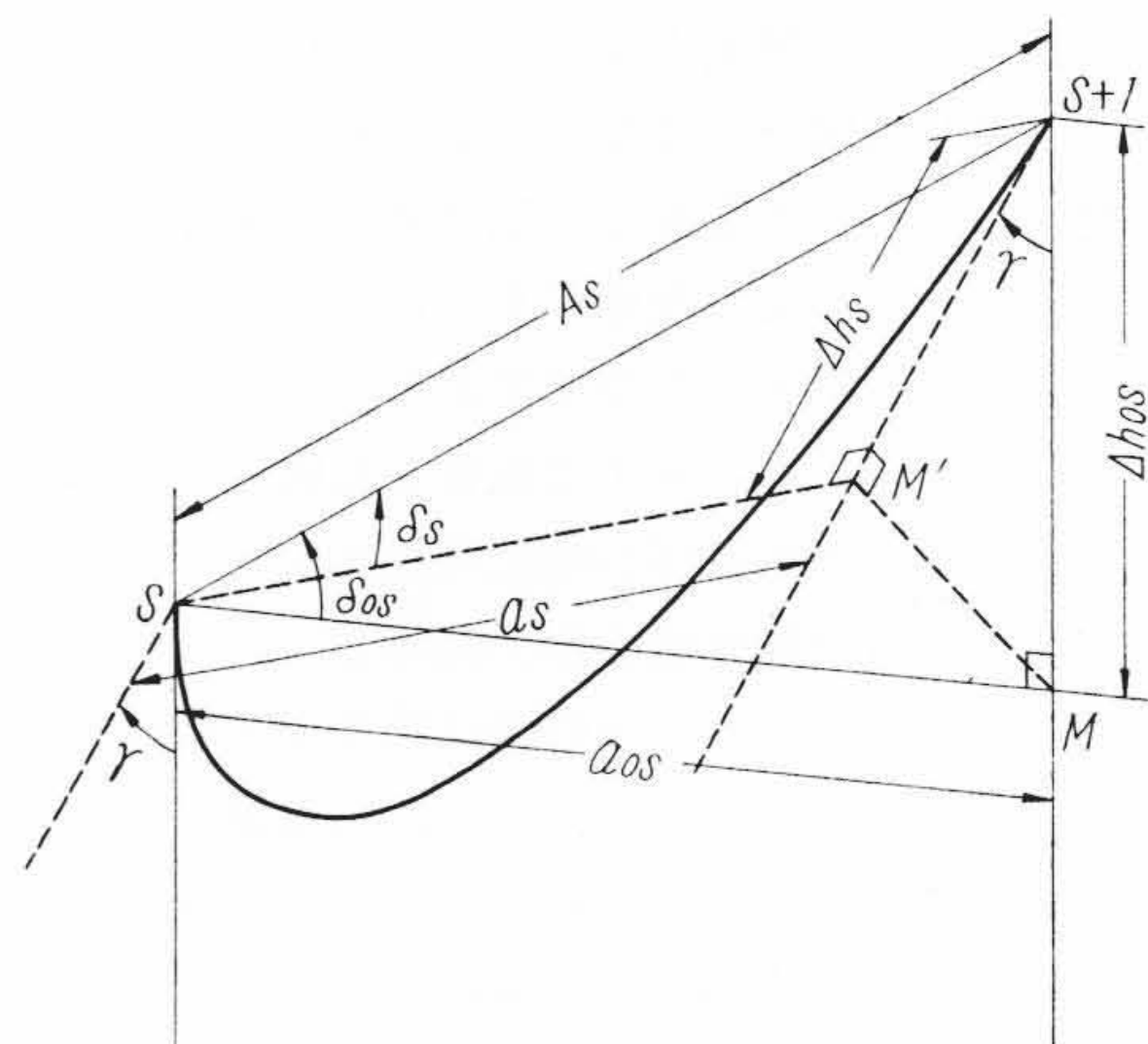
送電線の張力、弛度の設計において、架線張力の決定は最も基本的な問題であるが、この計算は伝統的に等価径間法により処理されてきた。この方法は連続径間の力学的性質を等価径間で代表させ、これを基準として設計を行うもので、きわめて簡便で実用性に富む点から多年にわたり標準的な方法として認められてきたものである。しかし、この方法は支持点高低差を無視して水平径間として取り扱い、また、風圧による電線の流れも無視するのが普通であるから、わが国で常に問題となるように、線路の地形がしゅん険で、風圧荷重の著しく大きな場合には、従来の等価径間法にはいろいろの不満がもたれるようになり、根本的な再検討が必要となってきた。筆者ら⁽¹⁾⁽²⁾はすでにこの立場から等価径間法に代る新方法を提案し、さらにこれを電子計算機に 응용して長距離送電線設計の合理化と能率化への道をひらいた⁽²⁾。この方法では連続径間の性質を単独径間で代表させる試みを放棄し、各径間の最悪時水平張力を規定値に等しく保つための電線の無張力時長さ（伸びる前の長さ、Unstretched Length）に基礎をおくもので、連続径間の取扱いを極力合理化したものである。架線張力を求める計算そのものはすでに文献(1)および(2)で詳述したとおり、原理的にも実用的にもおおむね解決したが、ほかに二、三の付随的問題が存在する。

たとえば、与えられた連続径間の架線張力を高温季および低温季の両条件のうち、いずれの条件で設計すればよいか問題となることがある。従来はこの判定の規準として臨界径間⁽³⁾が用いられ、等価径間長と比較するだけで簡単に判定することができた。しかし、筆者らが使用している方法のように、支持点の高低差および風圧による電線の流れを考慮に入れる場合は、従来の臨界径間法にも疑念がもたれるのは当然であり、さらに進んだ考察が必要となる。

また、架線張力は最悪時の水平張力が規定値に保たれ、鉄塔にかかる不平衡張力を小さくするように計算されるものであるが、支持点高低差が著しく大きな場合は、水平張力が規定値に等しくても電線の支持点張力が過大となって安全率を割る可能性が生じ、このような径間については一般の場合とは異なった配慮が必要となるのは当然である。このような付随的な問題はほかにもいろいろあるが、本稿では取りあえず上記の二点に問題を絞り、これらに関する筆者らの考えを述べたいと思う。



第1図 連続径間の一例（径間水平距離と支持点高低差）



第2図 風圧による電線の流れ

2. 最悪時の水平張力と電線の長さ

本稿において用いられる記号は筆者らがかねがね用いているものと変りないが、便宜上繰り返して説明する。いま、第1図に示す n 径間連続の緊線区間を考え、この中の任意の径間 s について次の記号を定める。

a_{0s} : 径間水平距離 (m)

Δh_{0s} : 支持点高低差 (m)

A_s : 径間斜距離

δ_{0s} : 仰 角

ここで、次の初等的関係が成立する。

$$A_s = \sqrt{a_{0s}^2 + \Delta h_{0s}^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\tan \delta_{0s} = \Delta h_{0s} / a_{0s} \dots \dots \dots (2)$$

* 電源開発株式会社

** 日立電線株式会社電線工場

いま、最悪荷重条件時を考え、風圧により傾斜した面内で次の記号を定める(第2図)。

a_s : 径間水平距離 (m)
 Δh_s : 支持点高低差 (m)
 δ_s : 仰角
 γ : 風圧による電線流れ角

さらに、

T_o : 使用電線最大水平張力 (kg)
 E_o : 同 弾性係数 (kg)
 α : 同 熱膨脹係数 ($^{\circ}\text{C}$)
 w_c : 同 自重 (kg/m)
 w_i : 最悪時被氷荷重 (kg/m)
 w_w : 同 風圧荷重 (kg/m)
 w_o : 同 合成荷重 (kg/m)
 w_v : 同上 鉛直成分 (kg/m)

とすれば、

$$w_v = w_c + w_i$$

$$w_o = \sqrt{w_v^2 + w_w^2}$$

$$\cos \gamma = w_v / w_o, \quad \sin \gamma = w_w / w_o$$

の関係がある。また、静止面と風圧による傾斜面内で定義された量の間には次の基本的関係がある。

$$\sin \delta_s = \cos \gamma \sin \delta_{os} \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta h_s = \cos \gamma \Delta h_{os} \dots\dots\dots (4)$$

$$a_s = \cos \delta_s A_s = \sqrt{1 - \cos^2 \gamma \sin^2 \delta_{os}} \sec \delta_{os} a_{os} \\ = \sqrt{m_s} a_{os} \dots\dots\dots (5)$$

ここで m_s は次のように定義される。

$$m_s = 1 + \sin^2 \gamma \tan^2 \delta_{os} \dots\dots\dots (6)$$

いま風圧により傾斜した面内で径間の水平張力が設計値 T_o に等しいとすれば、このときの電線の「無張力時長さ」 l_{os} は近似的に

$$l_{os} = A_s + \frac{1}{24} c^2 \cos \delta_s a_s^3 - \lambda \sec \delta_s A_s \dots\dots\dots (7)$$

から求められる⁽⁴⁾。ここで c および λ はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} c &= w_o / T_o \\ \lambda &= T_o / E_o \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

により定義される。

3. 臨界径間法の一般化

さて、現行の電気工作物規定では架線設計の基準となる最悪状態のとり方について次のように規定されている。

(1) 氷雪の多くない地方では、その地方の平均温度で電線の重量と電線の投影面積 1 m^2 につき 100 kg/m^2 (ただし、直径 18 mm 未満のものは 110 kg/m^2) の水平風圧との合成荷重を支持することができるよう計算したものとする。

(2) 氷雪の多い地方では前号によるのほか、さらにその地方の最低温度で電線の周囲に厚さ 6 mm 以上比重 0.9 の氷雪が付着した場合、電線および氷雪の重量と、被氷電線の投影面積 1 m^2 につき 55 kg の水平風圧の合成荷重を支持することができるよう計算したものとする。

(1)は夏季の台風時を目安として、また(2)は冬季の季節風時を目安として設計条件を定めたものである。(1)は高温季荷重、(2)は低温季荷重と呼ばれている。実際にはいずれの荷重条件に対しても安全であるように架線張力を定めなければならないが、いずれがより過酷かということは温度および風圧による電線の流れ角が両荷重条件につき異なるため、単に合成荷重の大小だけで判断するわけにはゆかない。

最初に単独径間の場合から考えてみることにしたい。最悪時の水

平張力が設計値 T_o に等しくなるための電線の長さは(1)に与えられているが、高温季および低温季荷重のうち、いずれが酷であるかはそれぞれに対応する l_{os} のいずれが大きいかによって判断すればよい。もとより l_{os} の大小の比較は同一の温度に換算して行わなければならない。いま、高温季および低温季荷重に対応する量にはそれぞれ h および l の添字をつけることにして次の記号を定める。

	高温季	低温季
単位長当り合成荷重	w_{ho}	w_{lo}
風圧による電線の流れ角	γ_h	γ_l
傾斜面内における仰角	δ_{hs}	δ_{ls}
最悪時温度	t_h	t_l
電線の無張力時長さ	$l_{os}^{(h)}$	$l_{os}^{(l)}$

ここで(3)と同様に

$$\sin \delta_{hs} = \cos \gamma_h \sin \delta_{os} \dots\dots\dots (9)$$

$$\sin \delta_{ls} = \cos \gamma_l \sin \delta_{os} \dots\dots\dots (10)$$

(7)から明らかなとおり

$$l_{os}^{(h)} = A_s + \frac{1}{24} c_h^2 \cos \delta_{hs} a_{hs}^3 - \lambda \sec \delta_{hs} A_s \dots\dots (11)$$

$$l_{os}^{(l)} = A_s + \frac{1}{24} c_l^2 \cos \delta_{ls} a_{ls}^3 - \lambda \sec \delta_{ls} A_s \dots\dots (12)$$

また

$$c_h \equiv w_{ho} / T_o, \quad c_l \equiv w_{lo} / T_o$$

径間 s だけを単独に考えれば、(11)および(12)右辺の大小を同一温度に換算して比較すればよい。いま、温度 t_h で比較することとし、(12)の長さを t_h に換算すれば

$$\{1 + \alpha(t_h - t_l)\} l_{os}^{(l)} \\ = A_s + \frac{1}{24} c_l^2 \cos \delta_s a_{ls}^3 - \lambda \sec \delta_{ls} A_s + \alpha(t_h - t_l) A_s \\ \dots\dots\dots (13)$$

となる。(12)、(13)を比較すれば明らかなとおり、

$$w_{ho} < w_{lo} \quad (c_h < c_l)$$

であれば

$$\{1 + \alpha(t_h - t_l)\} l_{os}^{(l)} > l_{os}^{(h)} \dots\dots\dots (14)$$

と考えてよい。すなわち、低温季荷重が酷となることが明らかである。最も(14)の不等式は $\cos \delta_{ls} a_{ls}^3$ および $\cos \delta_{hs} a_{hs}^3$ の大きさがおおむね相等しいと考えて導かれたものであるから、仰角が異常に大きな場合は後述するように(14)の不等号の向きが反対となる(高温季荷重のほうが酷となる)可能性もある。しかし、実用上問題となる範囲ではこのようなことはまず無いといってよく、低温季合成荷重のほうが大きい場合は常に低温季荷重条件がきびしくなると考えてさしつかえない。

逆に

$$w_{ho} > w_{lo}$$

であれば趣きが異なってくる。すなわち、ある径間長を境としてそれ以上では高温季荷重が酷となり、それ以下では低温季荷重が酷となる。この限界の径間長を臨界径間とよぶこととする。これは従来からも存在していた考えであるが、径間の仰角や電線の流れ角を考慮に入れると従来とはかなり異なった結論が導かれる。(5)から明らかなように

$$\cos \delta_{hs} = a_{hs} / A_s = \sqrt{m_{hs}} \cos \delta_{os} \dots\dots\dots (15)$$

$$\cos \delta_{ls} = \sqrt{m_{ls}} \cos \delta_{os} \dots\dots\dots (16)$$

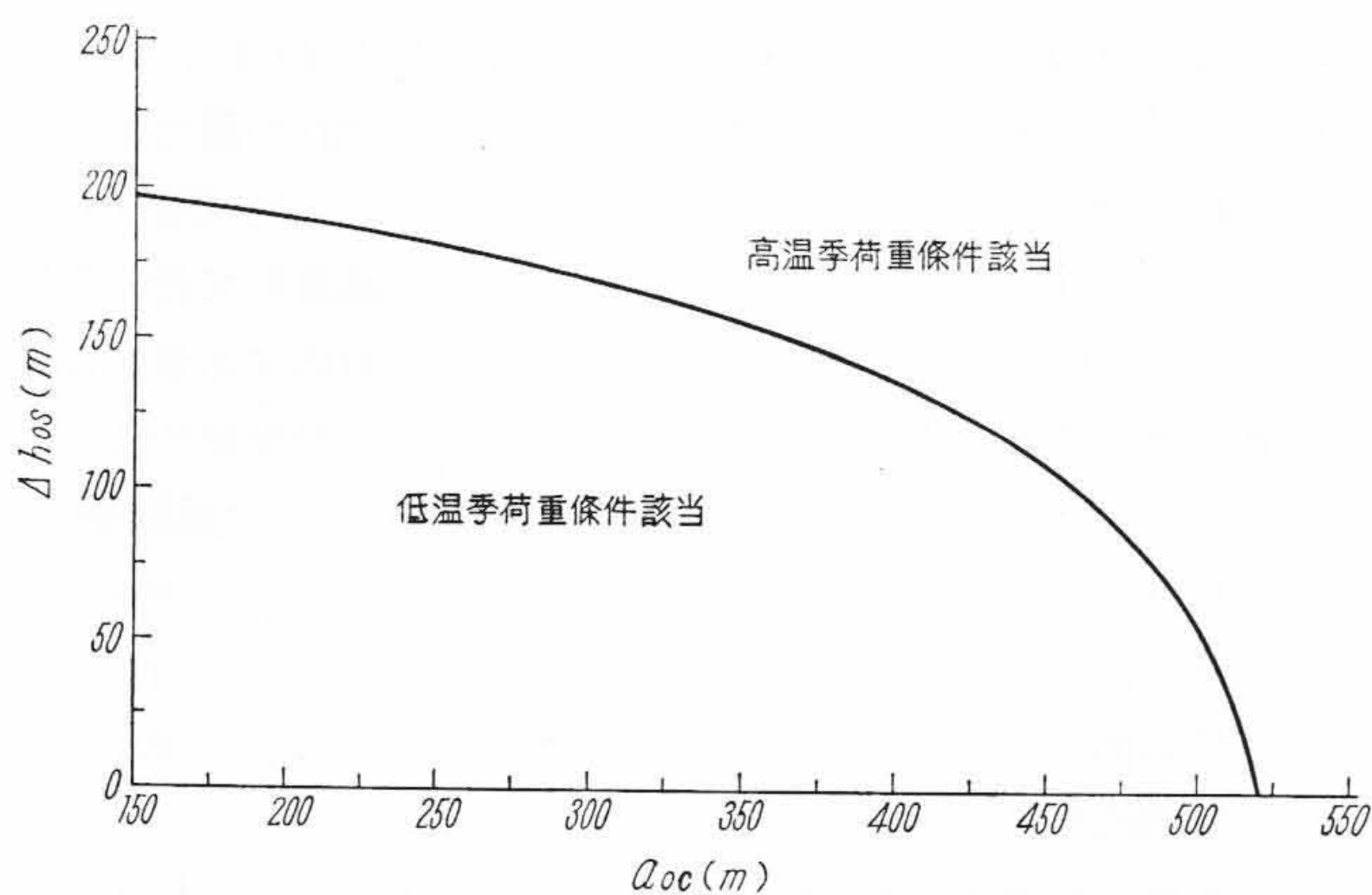
ここで m_{hs} , m_{ls} は(6)同様

$$m_{hs} = 1 + \sin^2 \gamma_h \tan^2 \delta_{os} \dots\dots\dots (17)$$

$$m_{ls} = 1 + \sin^2 \gamma_l \tan^2 \delta_{os} \dots\dots\dots (18)$$

で定義される。また(5)、(15)、(16)から明らかなとおり

$$\cos \delta_{hs} a_s^3 = m_{hs}^2 \cos \delta_{os} a_{os}^3$$



第 3 図 臨界径間と支持点高低差との関係

$$\cos \delta_{ls} a_s^3 = m_{ls}^2 \cos \delta_{os} a_{os}^3$$

また

$$\sec \delta_{hs} = \sec \delta_{os} / \sqrt{m_{hs}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\sec \delta_{ls} = \sec \delta_{os} / \sqrt{m_{ls}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

いま,

$$\{1 + \alpha(t_h - t_l)\} l_{os}^{(v)} = l_{os}^{(h)} \quad \dots\dots\dots (21)$$

を満足する a_{os} を特に a_{oc} で記号することにし, (21) を解いて a_{oc} を ($\tan \delta_{os}$ の関数として) 求め, (15) ~ (20) の関係を利用して整理すれば

$$a_{oc} = \sec \delta_{os} \left\{ \frac{24}{c_h^2 m_{hs}^2 - c_l^2 m_{ls}^2} \left\{ \alpha(t_h - t_l) + \sec \delta_{os} \lambda \left(\frac{1}{\sqrt{m_{hs}}} - \frac{1}{\sqrt{m_{ls}}} \right) \right\} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

が得られる。これからも明らかなとおり, 臨界径間長 a_{oc} は w_{ho} , w_{lo} , $\alpha(t_h - t_l)$ のほか, γ_h , γ_l , δ_{os} によっても変化する。(22) において $\delta_{os} = 0$ とすれば,

$$a_{oc} = \sqrt{\frac{24 \alpha(t_h - t_l)}{c_h^2 - c_l^2}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

となり, これは仰角を無視して導いた従来の計算式にほかならない。

第 3 図は 330 mm² ACSR について

高温季荷重	低温季荷重
$w_{ho} = 2.635 \text{ kg/m}$	$w_{lo} = 2.500 \text{ kg/m}$
$t_h = 15^\circ\text{C}$	$t_l = -15^\circ\text{C}$
$\cos \gamma_h = 0.50095$	$\cos \gamma_l = 0.74040$
$T_o = 3,700 \text{ kg}$	$\lambda = 1.1679 \times 10^{-3}$
$\alpha = 18.97 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$	

(電発只見幹線における実例)

として a_{oc} と Δh_{os} の関係を示したものである (Δh_{os} は a_{oc} に $\tan \delta_{os}$ を乗じて求められる。 $a_{oc} \sim \tan \delta_{os}$ の関係で示すよりも第 3 図のように $\Delta h_{os} \sim a_{oc}$ の関係で表示するほうが便利と思われる)。与えられた径間の a_{os} , Δh_{os} の値によって定まる点が第 3 図の曲線の上側に落ちる場合は高温季荷重が酷, 下側に落ちる場合は低温季荷重が酷となる。第 3 図の曲線が横軸と交わる点が (23) の計算値に対応し, これからも明らかなように支持点高低差の小さいうちは従来の計算法でも格別の不合理はないが, 高低差の増大に伴って急速に誤差が増大することがわかる。

以上述べたとおり, 単独径間の場合は, 高温季および低温季荷重のいずれが酷かは簡単に判定することができるが, 連続径間の場合は簡単にはゆかない。従来のように支持点高低差を無視し, 連続径間を等価径間 (水平径間) で代表できると考えれば単に等価径間が臨界径間の範囲内にあるかどうか当てはめるだけで簡単に判定でき

第 1 表 4 径間連続の緊線区間の一例

径間番号	径間 1	*径間 2	径間 3	径間 4
水平距離 (m)	324	584	235	290
支持点高低差 (m)	0.3	-59.7	-60.6	-56.2

(只見幹線の実例 * 臨界径間を超過したもの)

るが, 等価径間法を用いない筆者らの立場から考えればおのずと別個の方法を考えなければならない。緊線区間内の全径間が臨界径間以内にあれば低温季荷重が酷となることは明らかであるが, 一つでも臨界径間をこえるものがあれば (11) または (13) で求めなれた l_{os} の総和をとり, 全体としての大小を比較する必要がある。すなわち,

$$\{1 + \alpha(t_h - t_l)\} \sum_{s=1}^n l_{os}^{(v)} > \sum_{s=1}^n l_{os}^{(h)} \quad \dots\dots\dots (24)$$

であれば低温季荷重が酷, 逆の場合には高温季荷重が酷となることは明らかであるが, (24) の両辺に 24 を乗じて整理すれば

$$\begin{aligned} & \sum_{s=1}^n \{c_l^2 \cos \delta_{ls} a_{ls}^3 - 24 \lambda \sec \delta_{ls} A_s + 24 \alpha(t_h - t_l) A_s\} \\ & > \sum_{s=1}^n \{c_h^2 \cos \delta_{hs} a_{hs}^3 - 24 \lambda \sec \delta_{hs} A_s\} \quad \dots\dots\dots (25) \end{aligned}$$

となる。(25) の両辺は文献 (1) で述べた三次方程式の係数 p の分子そのものであり⁽⁵⁾, 各項の数値は, ノモグラフを用いて容易に求めることができる (これについては機会を改めて報告したい)。たとえば, 第 1 表に示す 4 径間連続の緊線区間において, 径間 2 だけについて考えれば臨界径間をこえているから高温季荷重が酷であるが全体として考えてみると,

$$\sum_{s=1}^n \{c_l^2 \cos \delta_{ls} a_{ls}^3 - 24 \lambda \sec \delta_{ls} A_s + 24 \alpha(t_h - t_l) A_s\} = 103.2 (\text{m})$$

$$\sum_{s=1}^n \{c_h^2 \cos \delta_{hs} a_{hs}^3 - 24 \lambda \sec \delta_{hs} A_s\} = 98.5 (\text{m})$$

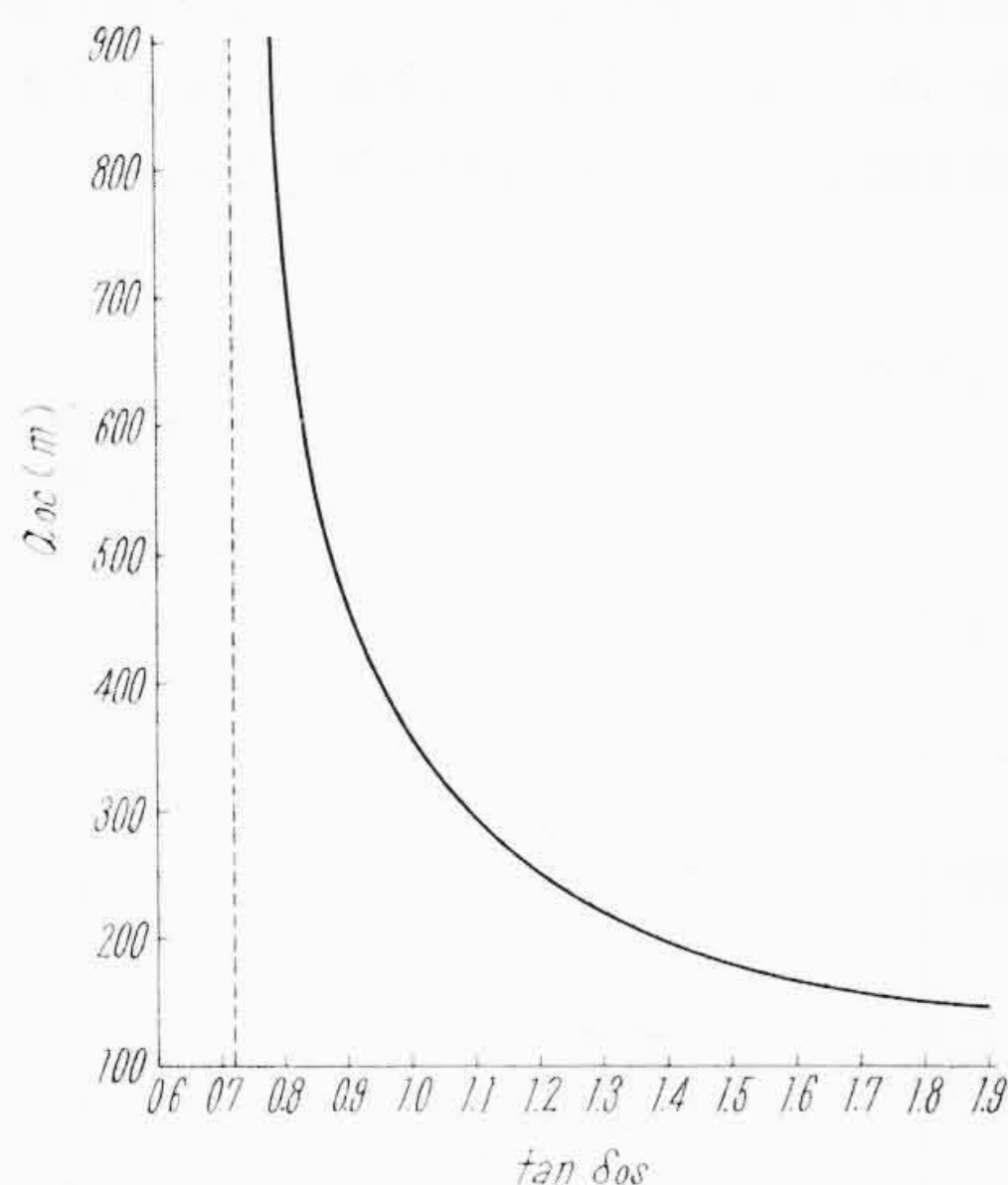
となって, 緊線区間全体としては低温季荷重が酷であるから, この条件で設計しなければならない。このとき, 径間 2 に対しては高温季荷重が酷であるから, 緊線区間が高温季荷重に遭遇した場合はこの径間の高支持点張力が弾性限界を上回る不安がある。しかし, 実際には懸垂が子づの流れによって径間相互の不均衡張力は緩和され, 各径間の水平張力は設計値 (最大水平張力 T_o) に近づくものであるから, 上記の不安は事実上無視してもよい。これに関する厳密な解析は機会を改めて報告したい。

(25) の不等式の数値計算を実行するのは少々やっかいであるが, 電子計算機を利用する場合はいずれの荷重が酷か不明な緊線径間については高温季および低温季の両荷重条件につき重複して架線設計の計算を行い, 架線張力が小さく出たほうのデーターを採用するほうがより实际的である。事実, このようなことが問題となる緊線区間は線路の全体から見ればごく一部であるから, 電子計算機による重複計算は大した手数ではない。

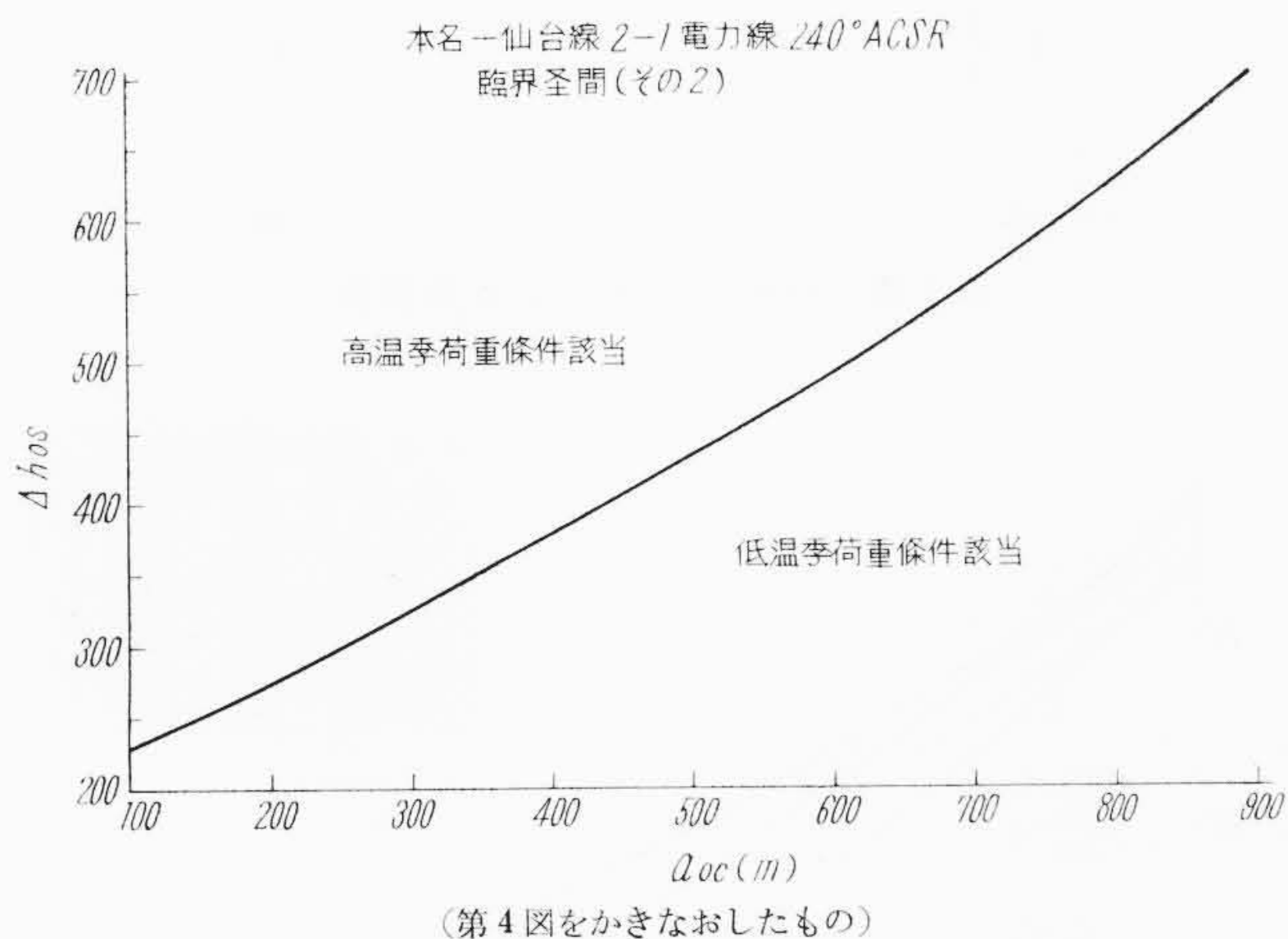
4. 低温季の合成荷重が大きい場合

前節で述べたように, 低温季合成荷重の大きさが高温季のそれよりも大きな場合には, 低温季の荷重条件が常に過酷になると考えて実用上はさしつかえないが, 仰角が異常に大きな場合には $w_{ho} > w_{lo}$ でも (22) の根号内の値が正となることがあり, 臨界径間が数学的に存在するようになる。いま一例として使用電線 240 mm² ACSR とし,

高温季荷重	低温季荷重
$w_{ho} = 2.4999 \text{ (kg/m)}$	$w_{lo} = 2.7791 \text{ (kg/m)}$
$t_h = 10^\circ\text{C}$	$t_l = -20^\circ\text{C}$
$\cos \gamma_h = 0.44402$	$\cos \gamma_l = 0.68676$



第4図 低温季合成荷重が大きい場合の臨界径間と仰角との関係



第5図 低温季合成荷重が大きい場合の臨界径間

$T_0 = 3,800 \text{ kg}$, $\lambda = 1.4063 \times 10^{-3}$, $\alpha = 17.97 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ として, a_{oc} を $\tan \delta_{os}$ の関数として図示したものが第4図である。(22)の形から明らかとなり, この式の右辺は

$$c_h^2 m_{hs}^2 - c_l^2 m_{ls}^2 = 0 \quad (26)$$

となる位置で極をもち, a_{oc} の値は無限大となる。極の位置は(26)の関係からただちに

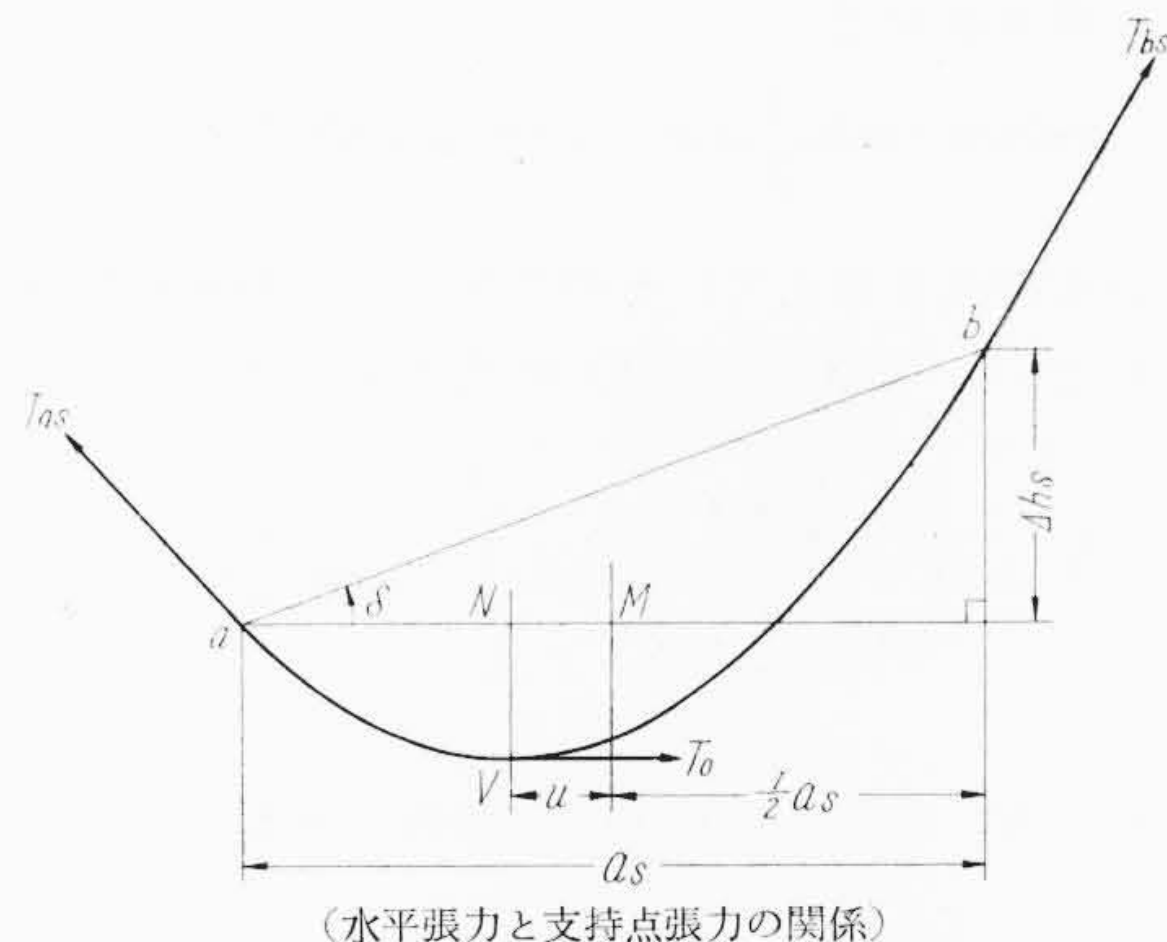
$$\tan \delta_{os} = \sqrt{\frac{c_l - c_h}{c_h \sin^2 \gamma_h - c_l \sin^2 \gamma_l}} = \sqrt{\frac{w_{lo} - w_{ho}}{\sin \gamma_h w_{hw} - \sin \gamma_l w_{lw}}} \quad (27)$$

として求められる。ここで w_{hw} , w_{lw} はそれぞれ高温季および低温季の最悪時風圧荷重 (kg/m) を意味する。(27) 右辺の根号内の分母は正と考えてよいから, (27) は常に正の実数として存在する。上記の数値例では極の位置は

$$\tan \delta_{os} = 0.720$$

であって, こう配がこれ以下の場合, a_{oc} は虚数となるが, この値をこえると a_{oc} は正の実数となり, 物理的意味をもつようになる。しかし, $\tan \delta_{os}$ の値が 0.7 をこえるような急こう配は事実上考えられないから, 常に低温季荷重条件が過酷となると見なして問題はない。第5図は第4図の関係を $\Delta h_{os} \sim a_{oc}$ の表示にかき直したものである。

上記の傾向はほかの線種または荷重条件についても大同小異であるが, 合成荷重 w_{ho} および w_{lo} の値がきわめて近く, さらに γ_l が著しく小さいような場合には (27) の値が小さくなり, 第4図また



第6図 単独径間のカテナリ曲線

は第5図に与えられた臨界径間が実際に問題となることがあるから注意を要する。

5. 電線の安全率

本節ではさらに新しい問題を考えてみたい。文献(1)または(2)で詳述した方法によって架線張力を定めれば, 最悪時の径間水平張力を規定値(T_0)に近い値に保ち, 鉄塔にかかる不平衡張力を小さくすることができるが, 支持点高低差が極端に大きな場合には(水平張力が規定値に等しくても)最悪時の高支持点張力が弾性限界をこえることがある。電線の最悪時の安全率は鋼心アルミより線(ACSR)の場合は2.5, 銅より線の場合は2.2にとるのが普通であるから, 最悪時の電線張力が弾性限界をこえることがただちに断線の危険に連なるわけではないが, 電線には永久伸びが現われ, 最悪条件をくぐるごとに次第にこれが蓄積して弛度および張力が当初の設計値より次第にずれ, 各種障害の原因となる。

このように, 高低差が著しい場合には弛度をゆるめて最悪時水平張力を T_0 以下に下げ, 電線の安全率を確保しなければならない。しかし, 鉄塔にかかる不平衡張力は増大するから, 鉄塔の強度設計については再検討が必要となるのは当然である。また, このようなことが問題となるほど仰角が大きな径間では, その両端を耐張鉄塔とし, これを単独径間として切り離すのが普通であるから, 以下の考察も単独径間に限ってさしつかえない。

いま, 径間 s が最悪荷重に遭遇し, 電線が第2図に示すとおり風圧により傾斜した平面の中にあり, また, 電線の水平張力は規定値 T_0 に等しいものとする。いま高支持点 b の張力を T_{bs} とすれば, カテナリ理論より

$$T_{bs} = T_0 \cosh c \left(u + \frac{1}{2} a_s \right) \quad (28)$$

で与えられる(第6図参照)。ここで

$$\sinh cu = \frac{\frac{1}{2} a_s c}{\sinh \frac{1}{2} a_s c} \tan \delta_s \quad (29)$$

また, c は(8)で定義されたとおり, w_0/T_0 の意味に用いられている。(28)において T_{bs} を a_s および $\tan \delta_s$ (または Δh_s) の関数と考え, a_s を一定に保ち, $\tan \delta_s$ (または Δh_s) を次第に増加させてゆけば T_{bs} もこれとともに増加する。いま電線の最大使用張力(弾性限界値)を $T_{\max}$ とし, ちょうど

$$T_{bs} = T_{\max}$$

となるとき仰角(または高低差)を限界仰角(または限界高低差)と呼び, $\tan \delta_c$ (または Δh_c) で記号することにする。いま(28)において T_{bs} を $T_{\max}$ でおきかえ

$$T_{\max}/T_0 = S$$

としてこれを書き直せば

$$S = \cosh cu \cosh \frac{1}{2} a_s c + \sinh cu \sinh \frac{1}{2} a_s c \dots\dots\dots (31)$$

いま b を高支持点と考えているのであるから $\tan \delta_s$ を正と考えて一般性を失わない。(29) を (31) に代入すれば

$$S = \sqrt{1 + \left(\frac{\frac{1}{2} a_s c}{\sinh \frac{1}{2} a_s c} \tan \delta_s \right)^2} \cosh \frac{1}{2} a_s c + \frac{1}{2} a_s c \tan \delta_s \dots\dots\dots (32)$$

無理方程式 (32) を解いて $\tan \delta_c$ を求めてみると

$$\tan \delta_c = \frac{\sinh \frac{1}{2} a_s c}{\frac{1}{2} a_s c} \left(-S \sinh \frac{1}{2} a_s c \pm \sqrt{S^2 - 1} \cosh \frac{1}{2} a_s c \right) \dots\dots\dots (33)$$

いま、 δ_c が正の場合を考えているのであるから、(33) 右辺の負の根号に対応する根は無縁根である。いま

$$S = \cosh \varphi \dots\dots\dots (34)$$

とおいて (33) を整理すれば

$$\tan \delta_c = \frac{2}{a_s c} \sinh \frac{1}{2} a_s c \sinh \left(\varphi - \frac{1}{2} a_s c \right) \dots\dots\dots (35)$$

が得られる。限界高低差 Δh_c は

$$\Delta h_c = \frac{2}{c} \sinh \frac{1}{2} a_s c \sinh \left(\varphi - \frac{1}{2} a_s c \right) \dots\dots\dots (36)$$

となる。

以上は風圧により傾斜した平面内の議論であったが、(35)、(36) で計算された量を大地に対する垂直平面内の値に換算しておいたほうが便利である。 a_s 、 Δh_c 、 $\tan \delta_c$ に対応する値を垂直平面内で a_{os} 、 Δh_{oc} 、 $\tan \delta_{oc}$ と記号すればこれらは

$$a_{os} = \sqrt{1 - \tan^2 \gamma} \tan^2 \delta_s a_s \dots\dots\dots (37)$$

$$\Delta h_{oc} = \sec \gamma \Delta h_c \dots\dots\dots (38)$$

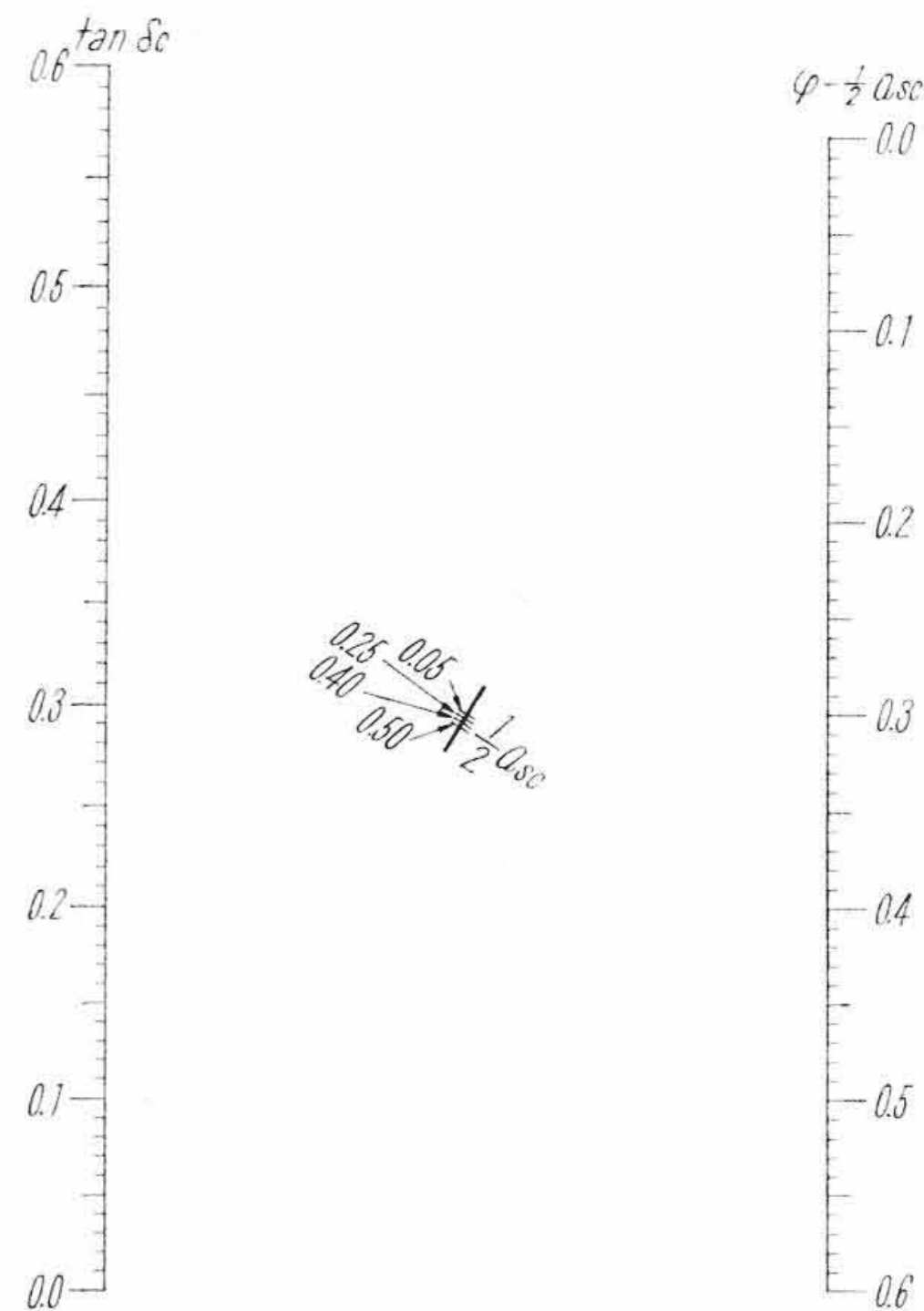
$$\tan \delta_{oc} = \frac{\sec \gamma}{\sqrt{1 - \tan^2 \gamma} \tan^2 \delta_s} \tan \delta_c \dots\dots\dots (39)$$

の関係から求めることができる。

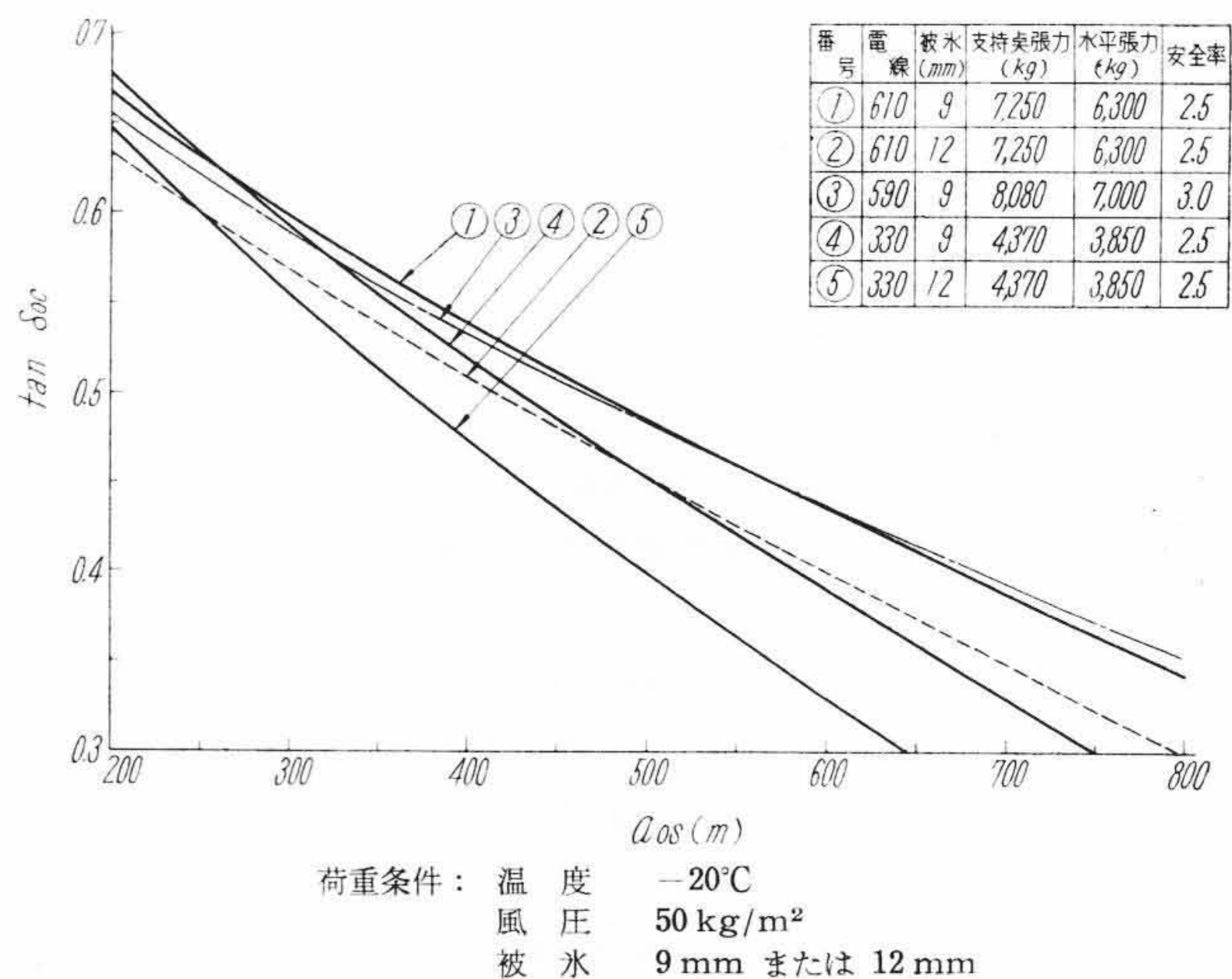
仰角または支持点高低差が (39) または (38) の計算値以内であれば、文献 (1) または (2) で述べた方法で架線張力の決定を行ってもなんらさしつかえはない。したがって弛度設計に先立って与えられた資料の高低差がこの範囲内にあるかどうかを検定する必要がある、特に山岳地帯ではこれに関する配慮は重要である。

φ の値は電線の種類によって差異があり、また鉄塔の強度設計にも関係する量であるから、設計者によっても多少異なった数値が用いられることがあるが、その一例を示したものが第 2 表である。 $a_s c$ および φ の値が指定されれば第 7 図 (35) の関係を図表化したものよりただちに $\tan \delta_c$ の値を読みとることができ、さらに (37) ~ (39) の関係を利用すればこれを $\tan \delta_{oc} \sim a_{os}$ または $\Delta h_{oc} \sim a_{os}$ の関係に書き直すことができる。第 8 図はその一例であるが、このようなグラフは、電線の種類、荷重条件が変わるごとに新しく作り直さなければならないから、ノモグラフ第 7 図のような普遍性は

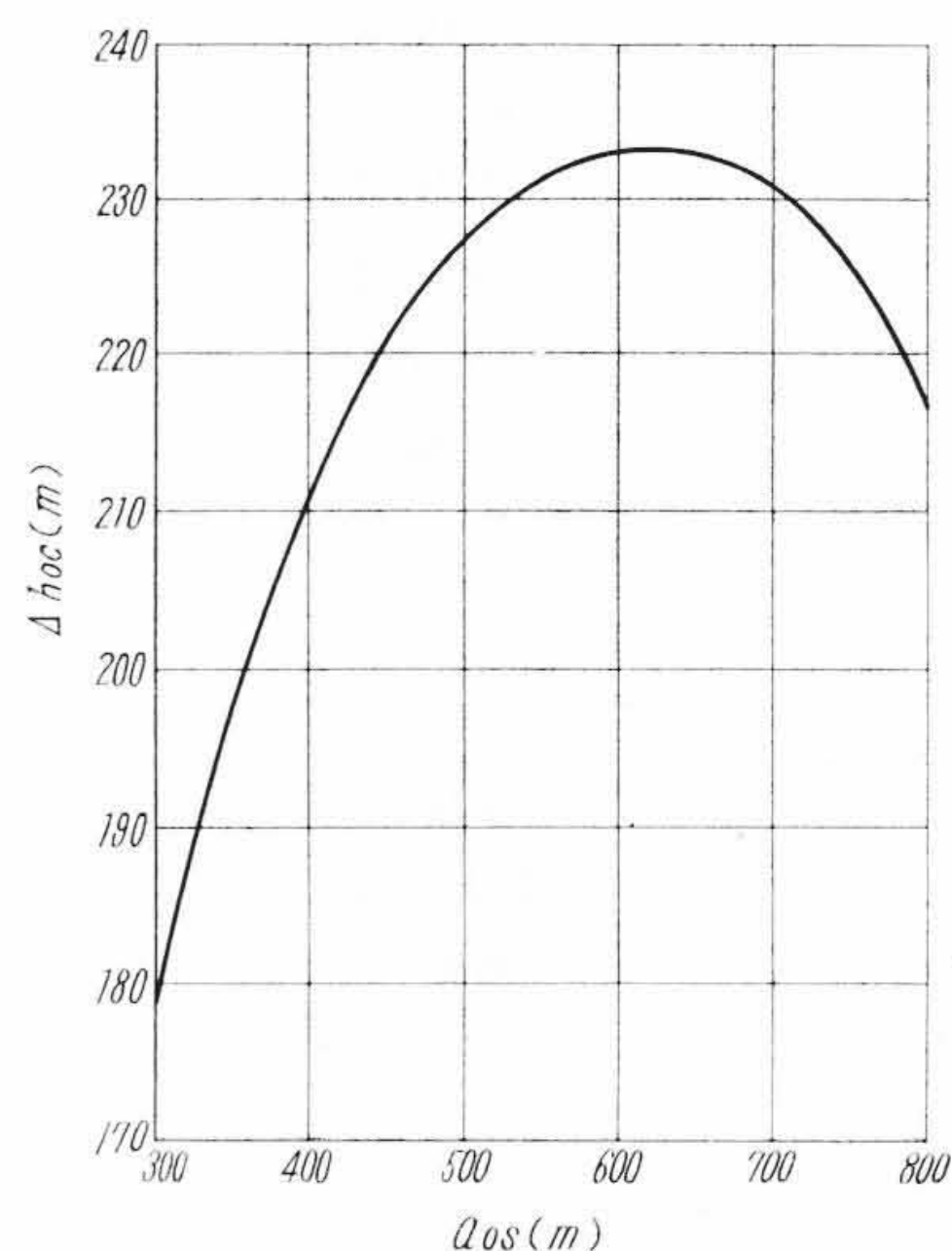
ないが、実用上はきわめて便利なグラフである。第 9 図は第 8 図の曲線のうち④を $\Delta h_{oc} \sim a_{os}$ の関係に描き直したものであるが、この表示のほうが第 8 図よりもさらに便利と考えられる。



第 7 図 $\tan \delta_c$ を求める計算図表



第 8 図 各種の電線における a_{os} と $\tan \delta_{oc}$ との関係



(第 8 図のうちの④曲線をかき直したもの)

第 9 図 電線の使用限界

第 2 表 各種電線の荷重条件と S 、 φ の数値

電線	被氷厚さ (mm)	w_o (kg/m)	$\tan \gamma$	T_o (kg)	$T_{\max}$ (kg)	S	φ
330mm ² ACSR	9	3.105	0.97743	3,850	4,370	1.1351	0.51414
330mm ² ACSR	12	3.572	0.95358	3,850	4,370	1.1351	0.51414
590mm ² ACSR	9	4.639	0.69590	7,000	8,080	1.1543	0.54858
610mm ² ACSR	9	4.303	0.76293	6,300	7,250	1.1508	0.54250
610mm ² ACSR	12	4.858	0.74807	6,300	7,250	1.1508	0.54250

(35) または (36) において、 δ_c , Δh_c はいずれも正の範囲だけを考えているのであるから、 a_{sc} の値が著しく大きく δ_c , Δh_c が負になるようになれば、数値結果は物理的意味を失うようになる。すなわち、このような長径間では限界高低差は存在せず、最悪時の支持点張力は高低差のいかんにかかわらず常に $T_{\max}$ をこえるようになる。このような長径間の場合はさらに抗張力の大きな電線を使用するか、または T_0 を普通よりも下げて使用しなければならない。いま、使用しうる最大の径間長を $a_{\max}$ とすれば、この値は (35) または (36) の右辺を 0 とする条件より

$$a_{\max} = \frac{2}{c} \varphi$$

として求められる。この値は第 8 図の曲線が横軸と交わる位置に対応する。

与えられた径間の仰角または高低差が (39) または (38) の計算値を超過する場合は、(28) において

$$T_{bs} = T_{\max}, \quad \delta_s: \text{既知}$$

として逆に水平張力を求め、この値を T_0 と見なして架線設計を行えばよい。支持点張力既知として水平張力を求める計算は従来のカテナリ法によればよく、たとえば文献(6)に示された方法は便利なものである。

6. 結 言

以上、送電線の架線張力決定に付随した問題として、支持点の高低差、風圧による電線の流れを考慮に入れた場合の臨界径間の考え方、および電線の使用限界などにつき解説を行ってきたが、本稿の論旨は次のように要約される。

(1) 最初に単独径間を考え、高温季合成荷重のほうが低温季のそれよりも大きな場合について、臨界径間を仰角の関数として計算し、いずれの荷重条件が過酷となるかを簡単に判定するグラフを作成した。

仰角が大きい場合には、従来の支持点高低差を無視した臨界径

間とはかなり異なった値が得られる。一般に仰角が大きいほど臨界径間長は短くなる。

(2) 連続径間の場合は上記のような簡単な判定はできないが、電子計算機を使用する場合には、緊線区間内に臨界径間をこえるものがあればこの区間は高温季および低温季の両荷重条件について重複して架線設計の計算を行い、架線張力の小さく出たデータを採用する方法がよい。

(3) 低温季の合成荷重が大きい場合には、常に低温季荷重条件が酷となる（臨界径間は存在しない）と考えて実用上さしつかえない。

しかし、仰角が極端に大きな場合には臨界径間が数学的に存在するようになる。しかし、このように極端なこう配は実際の線路には存在しないといってよい。

(4) 次に新しい問題として、安全率より定まる電線の使用限界につき考察を行った。仰角が非常に大きな径間では最悪時の水平張力が規定値に保たれても、支持点張力が規定の安全率を超過する可能性がある。この場合は電線の水平張力を規定値以下に下げ、安全率を確保しなければならない。この必要の有無を簡単に判定できるようグラフを作成した。山岳地帯の架線設計にこの配慮は重要である。

最後に本研究に対し、有益なご指導ご助言をいただいた電源開発株式会社および日立電線株式会社の関係者各位、また研究の取りまとめにご協力をいただいた日立電線工場第一研究課赤津氏に厚くお礼申しあげる。

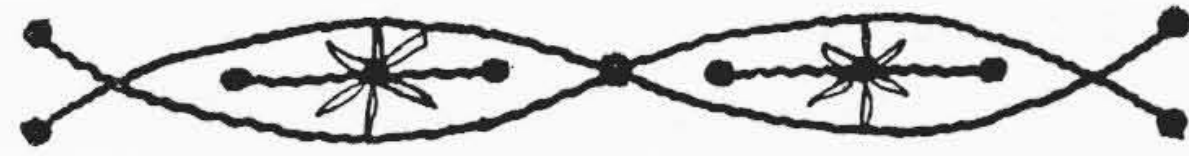
参 考 文 献

- (1) 八田：電学誌 78, p. 1347 (昭 33. 10)
- (2) 金子, 八田, 島田：日立評論 別冊 No. 28 p. 25 (昭 33. 12)
- (3) 竹下：架空送電線の弛度 (昭 28 電力社)
- (4) 文献 (1) p. 1351 参照
- (5) 文献 (1) p. 1352 参照
- (6) G. Silva: CIGRE No. 223, 1954



実用新案公告昭 33-16049 号

新 案 の 紹 介



宮 沢 定 雄 ・ 高 橋 一 雄

ポ リ エ チ レ ン 絶 縁 鉛 被 電 線

この考案は導体に設けたポリエチレン絶縁体の周上に機械的強度大きく耐熱性に富むポリエチレンテレフタレートテープ巻層を介して鉛被を施した電線の構造に関するものである。すなわち、ポリエチレン絶縁体の周上に鉛被を施す作業の際の熱によって、そのポリエチレン絶縁体が熔融変形するのを防止するため、断熱用として耐熱性にすぐれているポリエチレンテレフタレートテープ巻層を

介在させたものである。

この電線は従来のゴム絶縁鉛被電線に比べて仕上がり外径が小さく、しかも電気的特性がすぐれているので、通信機器内部配線用として適し、現在まで多くの納入実績をもっている。

(斎藤)

