

架空送電線の不均一着雪時の張力決定法

Tension Determination of Overhead Transmission Line Conductors with Unequal Snow Loads

萩原 一 洋*
Kazuyoshi Hagiwara

加藤 隆 之*
Takayuki Katô

荒巻 重 明*
Shigeaki Aramaki

田 中 昭**
Akira Tanaka

八 田 達***
Tôru Hatta

要 旨

架空送電線に径間によって異なる着雪があった場合の張力・弛度を支持点の流れを考慮して合理的に求める方法をのべ、実際の送電線に対する計算例からこの方法が妥当であることを示し、最後に種々の径間長・高低差配列と着雪条件に対する計算結果から送電線の耐雪設計上考慮すべき点についてのべた。

1. 緒 言

架空送電線の設計にあたっては、風圧荷重、被氷荷重を想定して最悪条件を定め電線の最大使用張力や支持物に加わる力を計算している。しかし着雪が多い地方では上記の被氷荷重の規定値以上の着雪荷重を考慮する必要がある。このような場合の設計法については、先に送電専門委員会耐雪設計分科会の手によってとりまとめられている⁽¹⁾。しかしその報告書に示されている部分着雪時の弛度張力計算法は等価径間の考え方に基いているので、実際に事故が起こりやすい径間長や高低差が不平等な懸垂連続径間では誤差が大きい。本論文では支持点の流れを考慮した懸垂連続径間の張力決定理論⁽²⁾を応用して、不均一着雪時の各径間の張力、支持点の流れを合理的に求める方法をのべ、実送電線での計算例と耐雪設計上考慮すべき点について示した。

2. 計算法の概要

径間によって一様でない着雪がある懸垂連続径間では各支持点の水平張力に差を生じて支持点の流れる。この場合支持点の懸垂がいし連を棒状の剛体と仮定して力の平衡に関する連立方程式をとしてその流れ量を求め、それから各支持点での張力を決定できる⁽²⁾。

いま次のように記号を定める。

- n : 連続径間数
- a_{0s} : 第 S 径間の水平距離 (m)
- Δh_{0s} : 第 S 径間の支持点高低差 (m)
- Δa_{0s} : 第 S 径間の水平距離変化量 (m)
- $\Delta(\Delta h_{0s})$: 第 S 径間の支持点高低差変化量 (m)
- ζ_s : 第 S 支持点のがいし連長さ (m)
- ξ_s : 第 S 支持点の線路方向変位 (m) (老番側を正とする)
- η_s : 第 S 支持点の垂直方向変位 (m) (上方を正とする)
- V_s : 第 S 支持点の垂直方向の力 (kg) (上方を正とする)
- W_s : 第 S 支持点の合成力 (kg)
- I_s : 第 S 支持点のがいし連重量 (kg)
- H_s : 第 S 径間の水平張力 (kg)
- φ_{as} : 第 S 径間の若番側支持点のカテナリ角
- φ_{bs} : 第 S 径間の老番側支持点のカテナリ角
- l_{0s} : 第 S 径間の無張力時の電線長さ (m)
- l_s : 第 S 径間の着雪時の電線長さ (m)
- ΔH_s : 第 S 径間の水平張力の変化分 (kg)

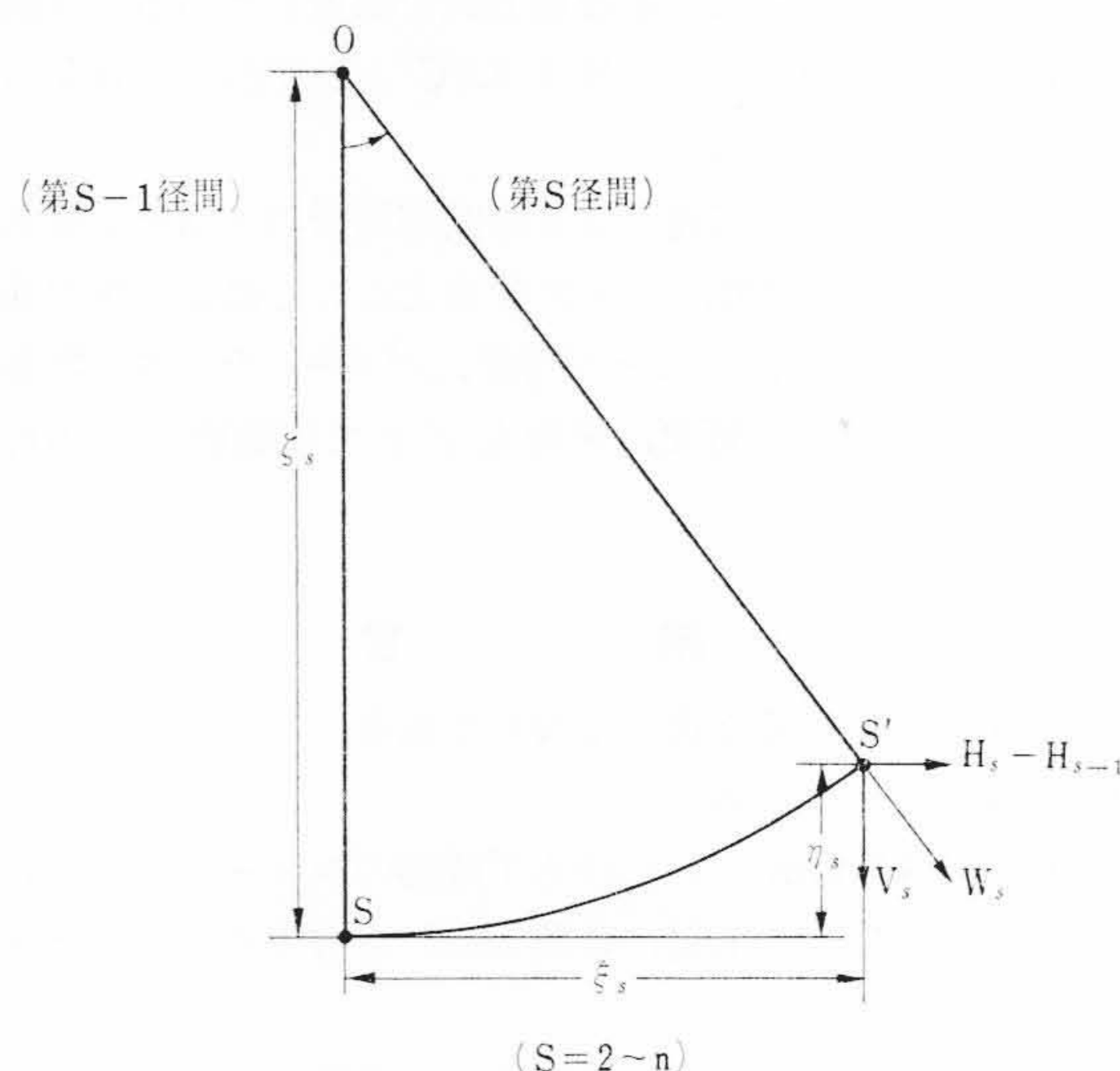


図1 第 S 支持点の変位と力の成分

第 S 支持点のがいし連の変位とこれに作用する力の成分を図1に示す。これより支持点の変位は

$$\Delta a_{0s} = \xi_{s+1} - \xi_s \quad (2 \leq S \leq n) \quad (1)$$

$$\Delta(\Delta h_{0s}) = \eta_{s+1} - \eta_s \quad (2 \leq S \leq n) \quad (2)$$

ただし、支持点 1, $n+1$ は引留めであるから変位はなく、

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= \xi_{n+1} = 0 \\ \eta_1 &= \eta_{n+1} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

また支持点における力の平衡条件より次式が成立つ。

$$\left. \begin{aligned} \xi_s &= (\zeta_s / W_s) (H_s - H_{s-1}) \quad (2 \leq S \leq n) \\ \eta_s &= (\zeta_s / W_s) (W_s + V_s) \quad (2 \leq S \leq n) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$W_s = \sqrt{(H_s - H_{s-1})^2 + V_s^2} \quad (2 \leq S \leq n) \quad (5)$$

なお V_s は次式で与えられる。

$$V_s = -(H_s \tan \varphi_{as} + H_s \tan \varphi_{bs} + I_s / 2) \quad (6)$$

各径間の電線の無張力時長さは架線時と着雪時で変わりはないから⁽²⁾,

$$l_{0s}(H_0, a_{0s}, \Delta h_{0s}) = l_{0s}(H_s, a_{0s} + \Delta a_{0s}, \Delta h_{0s} + \Delta(\Delta h_{0s})) \quad (7)$$

各径間の水平張力 H_s は上記諸式を満足しなければならない。これは複雑な連立方程式であって直接これを解くのはむずかしいが、逐次近似法を用いることができる。 H_s の第 i 次および第 $(i+1)$ 次近似をそれぞれ $H_s^{(i)}$, $H_s^{(i+1)}$ とすると、

$$H_s^{(i+1)} = H_s^{(i)} + \Delta H_s^{(i)} \quad (\Delta H_s^{(i)} \ll H_s) \quad (8)$$

これを(7)式に代入して変形すると、

* 九州電力株式会社

** 日立電線株式会社

*** 日立電線株式会社研究所 工学博士

表1 電線の諸定数

電 線		本 線	地 線
品 名 略 号		ACSR	GSC
公 称 断 面 積	mm ²	410	90
外 径	mm	28.5	12.0
重 量	kg/m	1.673	0.699
引 張 荷 重	kg	13,890	9,890
弾 性 係 数	kg/mm ²	8,360	17,500
計 算 断 面 積	mm ²	480.8	87.99
最 大 使 用 張 力	kg	5,400	2,680
着 雪 重 量	kg/m	2.3	3.3
着 雪 外 径	mm	90	103
支 持 点 長 さ	m	2.56	0.16
支 持 点 重 量	kg	100	5

(注) 支持点については、本線は懸垂がいし連、地線は懸垂クランプを示す。

$$l_{0s} = l_s^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial H_s} \right)^{(i)} \Delta H_s^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial a_{0s}} \right)^{(i+1)} \Delta a_{0s}^{(i+1)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial \Delta h_{0s}} \right)^{(i+1)} \Delta(\Delta h_{0s})^{(i+1)} \dots (9)$$

の関係が成立つ。ここで、

$$U_s = \zeta_s / W_s \dots (10)$$

とにおいて Δa_{0s} , $\Delta(\Delta h_{0s})$ の式に代入し, $(\partial l_s / \partial a_{0s})$, $(\partial l_s / \partial \Delta h_{0s})$, $\Delta(\Delta h_{0s})$ の変化が小さいことを考慮して(9)式を書き直すと、

$$l_{0s} - \left[l_s^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial a_{0s}} \right) \Delta a_{0s}^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial \Delta h_{0s}} \right) \Delta(\Delta h_{0s})^{(i)} \right] = \left(\frac{\partial l_s}{\partial H_s} \right)^{(i)} \Delta H_s^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial a_{0s}} \right) [U_{s+1}^{(i)} (\Delta H_{s+1}^{(i)} - \Delta H_s^{(i)}) - U_s^{(i)} (\Delta H_s^{(i)} - \Delta H_{s-1}^{(i)})] \dots (11)$$

上式の左辺は第 $(i+1)$ 次近似値を(7)式に代入したための誤差でありこれを $\Delta l_s^{(i)}$ とすると、

$$\Delta l_s^{(i)} = l_{0s} - \left[l_s^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial a_{0s}} \right) \Delta a_{0s}^{(i)} + \left(\frac{\partial l_s}{\partial \Delta h_{0s}} \right) \Delta(\Delta h_{0s})^{(i)} \right] \dots (12)$$

ここで、

$$\varphi_s^{(i)} = \frac{\Delta l_s^{(i)}}{(\partial l_s / \partial a_{0s})} \dots (13)$$

$$\psi_s^{(i)} = \frac{(\partial l_s / \partial H_s)^{(i)}}{(\partial l_s / \partial a_{0s})} \dots (14)$$

とおくと(11)式は次のようになる。

$$\varphi_s^{(i)} = U_{s+1}^{(i)} \Delta H_{s+1}^{(i)} + [\psi_s^{(i)} - (U_{s+1}^{(i)} + U_s^{(i)}) \Delta H_s^{(i)} + U_s^{(i)} \Delta H_{s-1}^{(i)}] \dots (15)$$

これをマトリクス表示すると、

$$[\varphi_s^{(i)}] = [M]^{(i)} [\Delta H_s^{(i)}] \dots (16)$$

ただし、

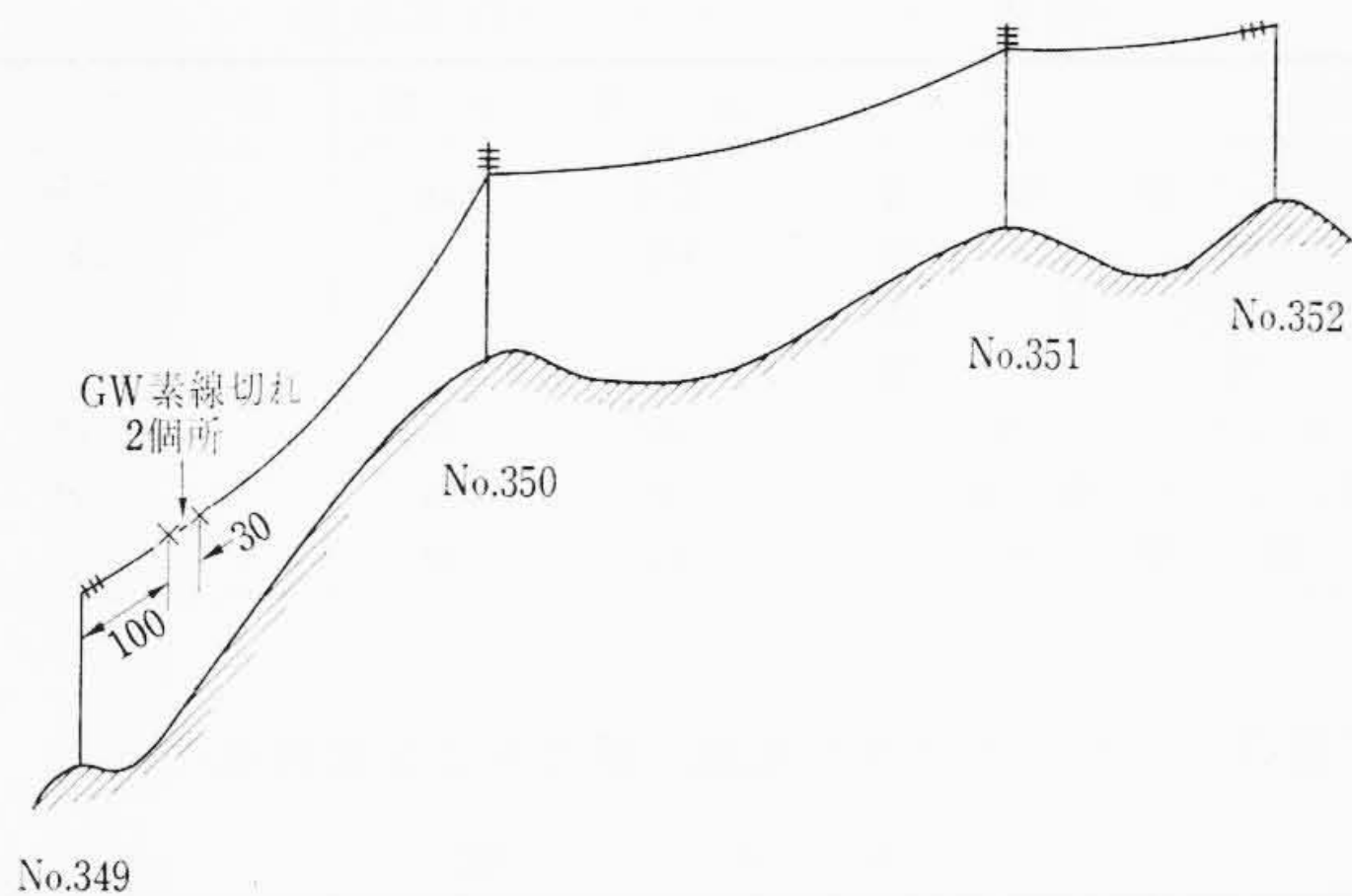
$$[M] = \begin{pmatrix} \phi_1 - U_2 & U_2 & 0 & \dots & 0 \\ U_2 & \phi_2 - (U_2 + U_3) & U_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \phi_n - U_n \end{pmatrix} \dots (17)$$

したがって ΔH_s の第 i 次近似値は次のマトリクスの解である。

$$[\Delta H_s^{(i)}] = [M]^{-1(i)} [\varphi_s^{(i)}] \dots (18)$$

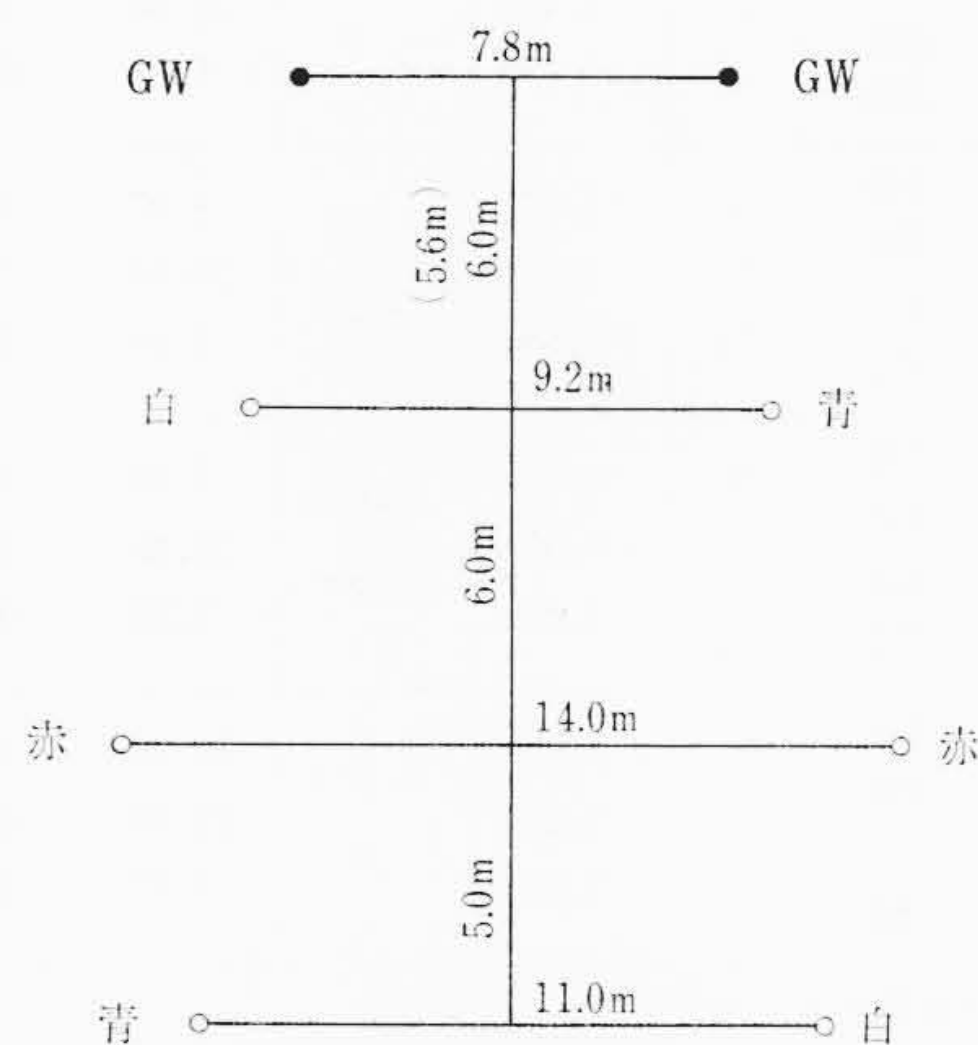
これより(8)式から H_s が求められ、くり返し計算を行なうことによって正しい値を得ることができる。また、これよりがいしの流れも計算できる。なお電線の長さはカテナリ理論より次式で与えられる⁽³⁾⁽⁴⁾。

$$l_{0s} = a_{0s} \left(1 - \frac{H_0}{EA} \sec \delta_{0s} \right) \sec \delta_{0s} + \frac{1}{24} \left(\frac{W_c}{H_0} \right)^2 a_{0s}^3 \cos \delta_{0s} \dots (19)$$



径間長(m)	461	595	297
高低差(m)	93.0	27.3	6.4

図2 中央幹線地絡区間縦断面図



(注) カッコ内はNo.349 LCC2の値。
カッコ外はNo.350 LA2の値。

図3 No. 349, 350 鉄塔電線配置

$$l_s = a_{0s} \left(1 - \frac{H_s}{EA} \sec \delta_{0s} \right) \sec \delta_{0s} + \frac{1}{24} \left(\frac{W_{0s}}{H_s} \right)^2 a_{0s}^3 \cos \delta_{0s} \dots (20)$$

ただし記号は次のとおりである。

H_0 : 架線時水平張力 (kg)

E : 電線の弾性係数 (kg/mm²)

A : 電線の断面積 (mm²)

W_c : 電線の自重 (kg/m)

W_{0s} : 電線の第 S 径間の着雪を含めた重量 (kg/m)

δ_{0s} : 第 S 径間の若番側支持点からみた仰角

3. 実際の線路での計算例

昭和43年2月14日から15日にかけて西日本を襲った大雪のため、九州電力株式会社の送配電設備は大きな被害をうけたが⁽⁵⁾、同社の220 kV 送電線のひとつである中央幹線でも着雪が原因の地絡事故を生じた。その概要は次のとおりである。

事故発生地点: 220 kV 2回線中央幹線 No. 349~350間

本線: 410 mm² ACSR (諸定数は表1のとおりである)

地線: 90 mm² GSC (諸定数は表1のとおりである)

着雪状況: 観測結果によると比重0.4の雪が外径90~100mm付着し、電線重量が約4 kg/mになったものと推定された。

表2 スリットジャンプ計算結果

項	目	記号	単位	計算値
等価弾性力		EA	kg	$6,863 \times 10^5$
線路定数		M_0		0.3240
弛度係数		η		1,117
低減係数		β		1.0
はね上り高さ		Id	m	18.14
風による横振れ		x	m	0.40
自励横振れ		x_s	m	0.00

表3 不均一着雪時の弛度、張力および支持点の流れ

(a) 本線								
条件	計算法	支持点No.	着雪	水平張力(kg)	不平均張力(kg)	斜弛度(m)	風による横振れ(m)	支持点流れ(m)
全径間着雪	I	349	○	6,449	63	16.39	0.60	0.051
		350	○	6,512		27.04	1.04	
		351	○	6,401	-101	6.85	0.26	-0.143
		352	○					
	II	349	○	6,495	0	16.32	0.60	0.0
		350	○	6,495	0	27.18	1.03	0.0
		351	○	6,495		6.77	0.26	
		352	○					
一径間脱落	I	349	×	4,955	946	8.97	0.26	0.957
		350	○	5,901	-20	29.84	1.14	-0.026
		351	○	5,881		7.46	0.29	
		352	○					
	II	349	×	4,910	1,007	9.08	0.26	0.893
		350	○	5,917	-89	29.85	1.14	-0.116
		351	○	5,828		7.52	0.29	
		352	○					
無着雪	I, II	349	×	3,090	0	14.38	0.41	0.0
		350	×	3,090	0	23.96	0.69	0.0
		351	×	3,090		5.97	0.07	
		352	×					

(注) 1. ○は着雪あり, ×は着雪なしを示す。
2. 計算法 I は本論文の方法を, II は送電専門委報告書の方法を示す。

(b) 地線								
条件	計算法	支持点No.	着雪	水平張力(kg)	不平均張力(kg)	斜弛度(m)	風による横振れ(m)	支持点流れ(m)
全径間着雪	I	349	○	5,680	590	18.65	0.81	0.031
		350	○	6,270		23.13	1.23	
		351	○	4,864	-1,406	9.04	0.39	-0.093
		352	○					
	II	349	○	5,930	0	17.92	0.78	0.0
		350	○	5,930	0	29.85	1.31	0.0
		351	○	5,930		7.43	0.32	
		352	○					
	III	349	○	5,750	630	18.50	0.80	—
		350	○	6,380		27.75	1.21	
		351	○	4,680	-1,700	9.42	0.41	—
		352	○					
一径間着雪	I	349	○	5,517	-3,835	19.20	0.84	-0.139
		350	×	1,682	27	18.38	0.53	-0.012
		351	×	1,655		4.66	0.14	
		352	×					
	II	349	○	5,080	-2,856	20.95	0.92	-0.355
		350	×	2,228	-297	13.90	0.37	-0.134
		351	×	1,931		3.99	0.11	
		352	×					
	III	349	○	5,750	-4,124	18.50	0.81	—
		350	×	1,626	0	19.05	0.51	—
		351	×	1,626		4.74	0.13	
		352	×					
無着雪	I, II	349	×	1,626	0	11.42	0.31	0.0
		350	×	1,626	0	19.02	0.51	0.0
		351	×	1,626		4.74	0.13	
		352	×					

(注) 1. ○は着雪あり, ×は着雪なしを示す。
2. 計算法 I は本論文の方法, II は送電専門委報告書の方法, III はおのおの引留径間と仮定した方法を示す。

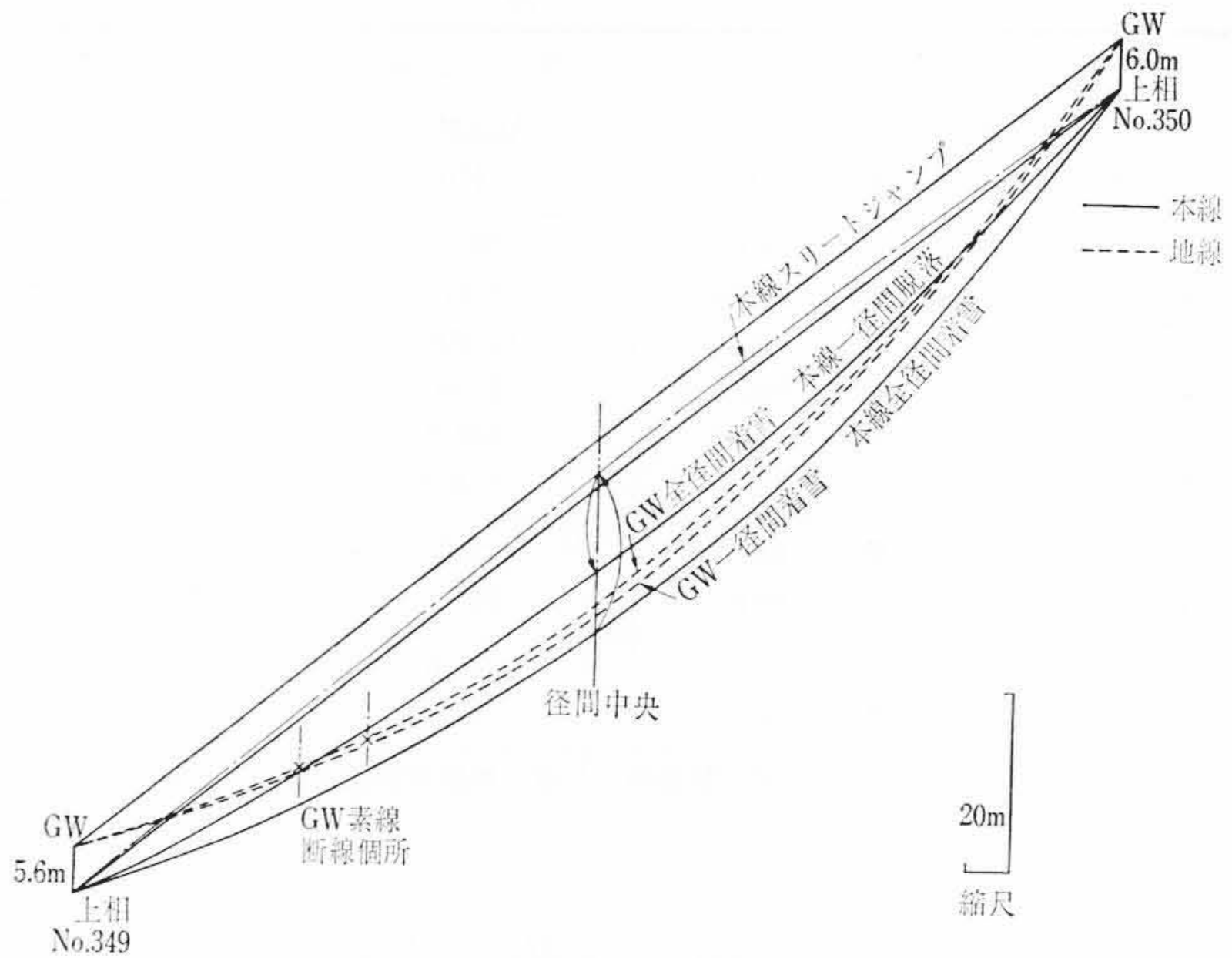


図4 着雪脱落前後の本線・地線の形状

事故状況： 気温 0℃, 風速 5m/s 程度の気象条件で 2 月 15 日 12 時より 17 時にかけて 1 号線, 2 号線とも十数回にわたってせん絡した。現地調査の結果, 事故径間の若番側から 100~150 m の個所の本線・地線にアークの痕跡(こんせき)が認められ, うち 1 号線の地線は 2 個所にわたって素線切れを起こしていた。また地線は No. 350 鉄塔で懸垂クランプから事故径間側に 30 cm 以上すべっていた。

径間縦断図： 図 2 に示すとおり

電線配置図： 図 3 に示すとおり

この事故の原因として本線がスリットジャンプして地線と混触したが, 本線と地線が事故径間で着雪の脱落に時間的なずれを生じて弛度が不同となり混触したということが考えられる。このため前節に示した方法により計算を行なってみた。

まず送電専門委員会耐雪設計分科会の手法⁽⁴⁾によりスリットジャンプ計算を行ない混触の可能性を調べた。計算にあたっては懸垂連続径間で耐張がいし連の長さ重量を考慮し, 全径間に着雪した雪が事故径間だけ脱落するとした。その結果を表 2 に示す。

次に前節の方法を用い着雪条件をいろいろ変えて張力, 弛度, がいしの流れおよび風による横振れを求めた。計算には電子計算機を用い水平張力の精度が 1 kg のオーダーになるまでくり返し計算を行なった。その結果を示したのが表 3 である。参考のため従来の方法⁽⁴⁾と, 地線では懸垂クランプが固定されている(すなわち引留径間)と仮定した場合の計算結果もあわせて示した。なお張力は水平張力, 弛度は斜弛度, 支持点の流れは線路方向成分で示した。また不平均張力と支持点の流れは老番側にむかう場合を正とした。これを見るとわかるように本論文の方法によれば全径間着雪時の不平均張力や支持点の流れを求めることができる。特に地線の場合には従来の方法では懸垂クランプの長さ 16 cm よりも支持点の流れが大きくなるが, ここに示した方法ではそのようなことはない。

表 3, 4 をみると本線, 地線とも全径間着雪時には両者の弛度には 2.3 m の差しかなく風速も 5 m/s 以下と想定されるため横振れも小さく両者が混触することがまず考えられない。しかし, もし本線が事故径間で雪が落ちると弛度は 7.4 m も減り全径間着雪の地線との弛度差は約 10 m に及ぶ。これを図 4 に示す。これを見るとちょうど断線箇所付近で本線と地線の高さが一致している。そこで若番側支持点から 100 m および 130 m の場所の風による電線の運動範囲と本線のスリットジャンプによる運動範囲を描くと図 5 のようになる。なおこの図では横振れ状況がはっきりわかるよう水平方向の縮尺は垂直方向の 5 倍とした。これを見ると本線と地線の素線断線個

所での垂直間隔は4m以上あり、220kVの異常時絶縁間隔0.56m⁽⁶⁾にくらべ7倍以上であるのでせん絡は起こらぬことがわかる。しかし上相本線の雪が落ちるとスリートジャンプを起こして10m以上はね上り、最終的には地線とほぼ同じ高さになる。なおスリートジャンプのさい地線が横振れすれば本線とせん絡する危険はあるが、スリートジャンプが終わればせん絡もなくなるので、今回の事故のように数時間のあいだ十数回にわたってせん絡をくり返す可能性は少ない。

地線が着雪し本線は無着雪の状態で風速5m/sで横流れする場合の周期は次式で与えられる⁽⁷⁾。

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{4d}{5g}} \dots\dots\dots (21)$$

ここで、 d ：弛度 (m)
 g ：重力加速度 (m/s)
 τ ：周期 (s)

上式から本線と地線の周期を求めるとそれぞれ5.38s、7.75sとなり差がある。したがって横振れに位相差を生じ、図5に示すように本線と地線がお互いに逆位相となると両者の間隔が0.56mより小さくなりせん絡が起こる。この現象は風が継続して吹けば何回もくり返され、数時間のうちに十数回のせん絡が起こることがじゅうぶん考えられる。

表4をみると一径間着雪時の事故径間の老番側支持点 (No. 350) の不平均張力は3,800kgをこえ地線用懸垂クランプの把持力1,800kgの2倍以上になる。したがって同支持点でクランプから地線がすべったのはこのように大きい不平均張力が生じたためと考えられる。なお事故時と同じように地線の支持点が約30cmすべると仮定した場合の計算結果を表4に示す。

以上の計算結果をとりまとめると今回のせん絡事故の推定原因としては、

- (1) 事故径間の本線の着雪が脱落し弛度が減って電線が張り上った。
- (2) 事故径間の地線の着雪は脱落せず、その老番側径間の着雪が脱落したため No. 350 支持点で懸垂クランプの把持力の2倍以上の不平均張力を生じ地線が事故径間側に30cmすべった。
- (3) こうして本線と地線間で10m以上の弛度差を生じて両者はせん絡箇所付近でもっとも接近し風による横振れのためせん絡事故を起こした。
- (4) このせん絡は地線の着雪が脱落してその弛度が減り、両者の間隔が大きくなるまで何回もくり返された。

という現象が起ったものと推定される。このように、ここに示した計算法により実際の送電線のせん絡事故原因を推定したところ、電線の形状と横振れからみて事故点付近でせん絡を生ずることがわかった。

4. 径間・高低差配列と不平均張力・弛度変化

前節に示した計算法を用いれば任意の条件での張力、弛度、支持点の流れなどを求めることができる。ここでは種々の径間・高低差配列と着雪条件に対するこれらの諸数値を計算し、送電線の耐雪設計の参考とすることを考えてみた。

計算に使った電線、がいし、着雪量などは表1の値をそのまま使い、径間長・高低差として次の条件を採用した。

- (1) 径間長 (A) 350, 350, 350m の3径間連続区間
 (B) 400, 350, 300m の3径間連続区間

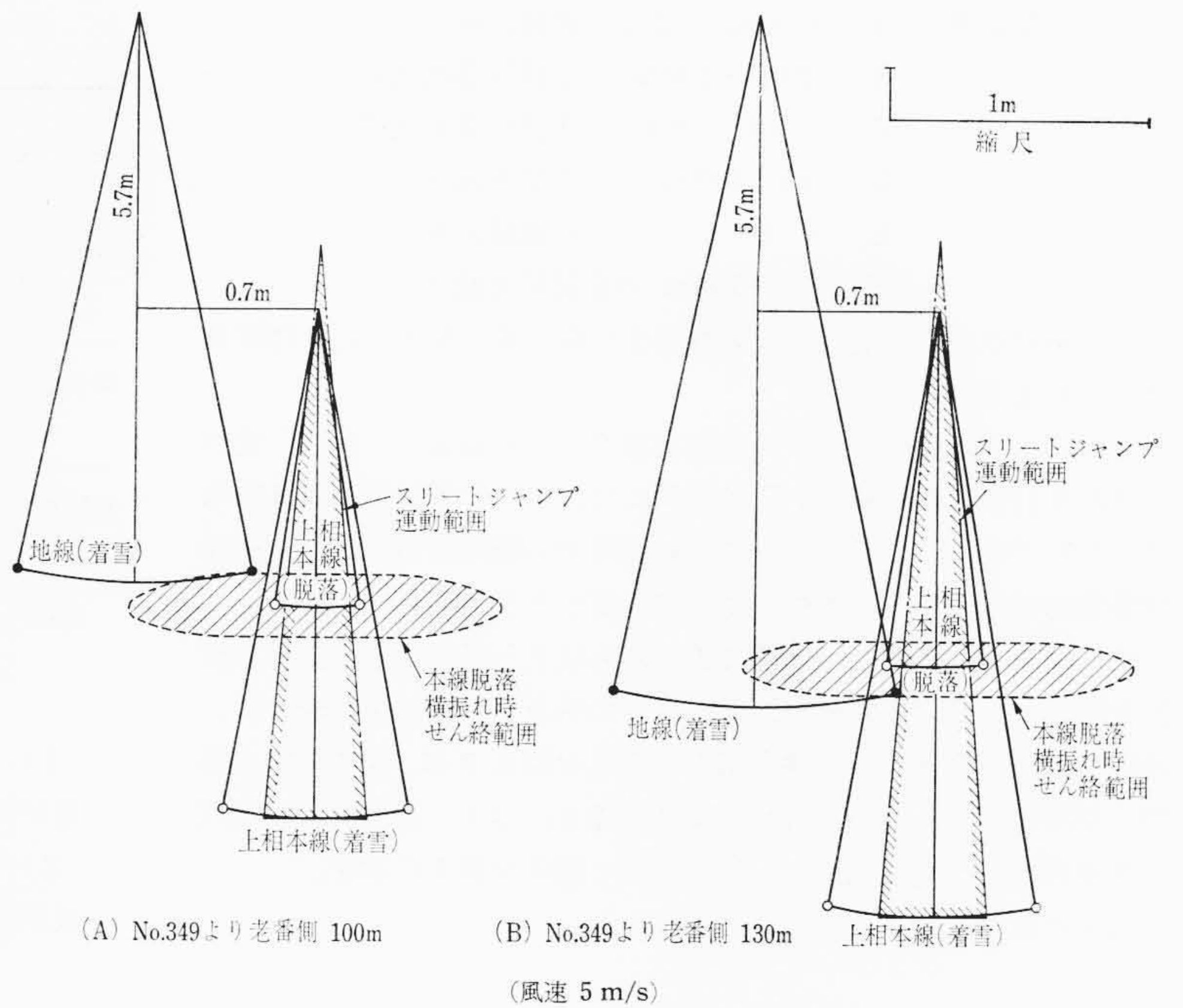


図5 地絡箇所の上相本線・地線の運動範囲

表4 本線が30cmすべった場合の弛度張力、支持点の流れ

支持点	着雪	水平張力 (kg)	不平均張力 (kg)	斜弛度 (m)	風による横振れ (m)	支持点流れ (m)
349	○	5,334	-3,567	19.85	0.87	-0.300
350	×	1,767		17.50	0.51	
351	×	1,728	-39	4.46	0.13	-0.043

(注) 1. ○は着雪あり，×は着雪なしを示す。
 2. 全径間無着雪時の水平張力は1,626kgである。

表5 350m3平等径間の着雪条件と平等径間と不平均張力、弛度、支持点流れ

着雪条件	着雪有無	本線 410mm ² ACSR				地線 90mm ² GSC			
		張力 (kg)	不平均張力 (kg)	がいし流れ (m)	弛度 (m)	張力 (kg)	不平均張力 (kg)	クランプ流れ (m)	弛度 (m)
全着雪	○	6,516	0	0	9.35	5,301	0	0	11.52
	○	6,516	0	0	9.35	5,301	0	0	11.52
	○	6,516	0	0	9.35	5,301	0	0	11.52
一径間脱落	×	5,623	177	0.431	4.56	2,273	2,816	0.154	4.71
	○	5,800	111	0.195	10.50	5,089	179	0.020	11.99
	○	5,911			10.31	5,268			11.59
	○	5,833	-91	-0.224	10.45	5,062	-2,356	-0.151	12.06
	×	5,742	91	0.224	4.46	2,706	2,356	0.151	3.95
	○	5,833			10.45	5,062			12.06
一径間着雪	○	5,023	-242	-0.580	12.13	5,057	-2,929	-0.154	12.07
	×	4,781	-70	-0.284	5.36	2,128	-94	-0.057	5.03
	×	4,711			5.44	2,034			5.26
	×	4,838	125	0.306	5.30	2,270	2,569	0.152	4.71
	○	4,963	-125	-0.306	12.28	4,839	-2,569	-0.152	12.62
	×	4,838			5.30	2,270			4.71
無着雪	×	3,514	0	0	7.29	1,908	0	0	5.61
	×	3,514	0	0	7.29	1,908	0	0	5.61
	×	3,514	0	0	7.29	1,908	0	0	5.61

(注) 1. 各項目とも上から順に若番側から老番側の3径間の値を示した。
 2. ○は着雪あり，×は着雪なしを示す。

(C) 500, 350, 200m の3径間連続区間

(D) 600, 350, 100m の3径間連続区間

なお高低差をいずれも0とし、配列は次の三とおりとした。

- (A) 長，短，中
- (B) 長，中，短
- (C) 短，長，中

- (2) 高低差 (A) 0, 0 m の2径間連続区間
(B) 100, -100 m の2径間連続区間
(C) -100, 100 m の2径間連続区間
(D) 100, 100 m の2径間連続区間
(E) 0, 100 m の2径間連続区間
(F) 0, -100 m の2径間連続区間

なお符号は老番側支持点が若番側より高い場合を正とし、径間長はいずれも350 mとする。

以上のような条件で種々の着雪状態での不平均張力、弛度、支持点流れを計算した。350 m 平等径間についての計算結果は表5に示すとおりである。これより全径間着雪時や一径間脱落時よりも一径間着雪時のほうが不平均張力や着雪弛度が大きいことがわかる。この傾向は不平等径間でも同様であるため以下一径間着雪の条件で検討を進める。まず径間長(C)の組合せの場合の計算結果を表6に、次に径間長配列・着雪条件と張力の関係を図6, 7に、径間長差と張力、不平均張力、支持点流れの関係を図8に示す。次に高低差配列と不平均張力・着雪弛度・支持点流れの関係を表7に示す。

以上の計算結果より次のことがわかる。

表6 径間着雪時の径間配列と最大不平均張力
着雪部弛度、支持点流れ

配列	着雪	本線 410 mm ² ACSS				地線 90 mm ² GSC			
		着雪部張力(kg)	最大不平均張力(kg)	がいし流れ(m)	着雪部弛度(m)	着雪部張力(kg)	最大不平均張力(kg)	クランプ流れ(m)	着雪部弛度(m)
長短中	○××	5,932	325	0.662	20.97	5,957	3,856	0.154	20.91
	×○×	3,605	71	0.208	5.52	3,171	1,279	0.146	6.26
	××○	4,642	270	0.726	13.13	4,949	2,890	0.155	12.33
長中短	○××	5,927	360	0.666	20.98	5,957	3,949	0.154	20.91
	×○×	4,580	313	0.664	13.31	4,744	2,845	0.153	12.87
	××○	3,659	76	0.289	5.44	3,507	1,563	0.152	5.68
短長中	○××	3,643	100	0.293	5.46	3,509	1,638	0.151	5.68
	×○×	58,99	271	0.507	21.08	5,823	3,755	0.153	21.39
	××○	46,16	354	0.743	13.20	4,950	3,066	0.154	12.33

(注) 径間長は 500, 350, 200 m であり、着雪の有無は若番側径間から見た順序で示した。

- (1) 本線の不平均張力は地線よりずっと小さい。これはがいし連が長く張力平衡効果が大きいためである。
(2) 着雪の有無による同一径間張力変化も同様の理由により本線が地線にくらべずっと小さい。

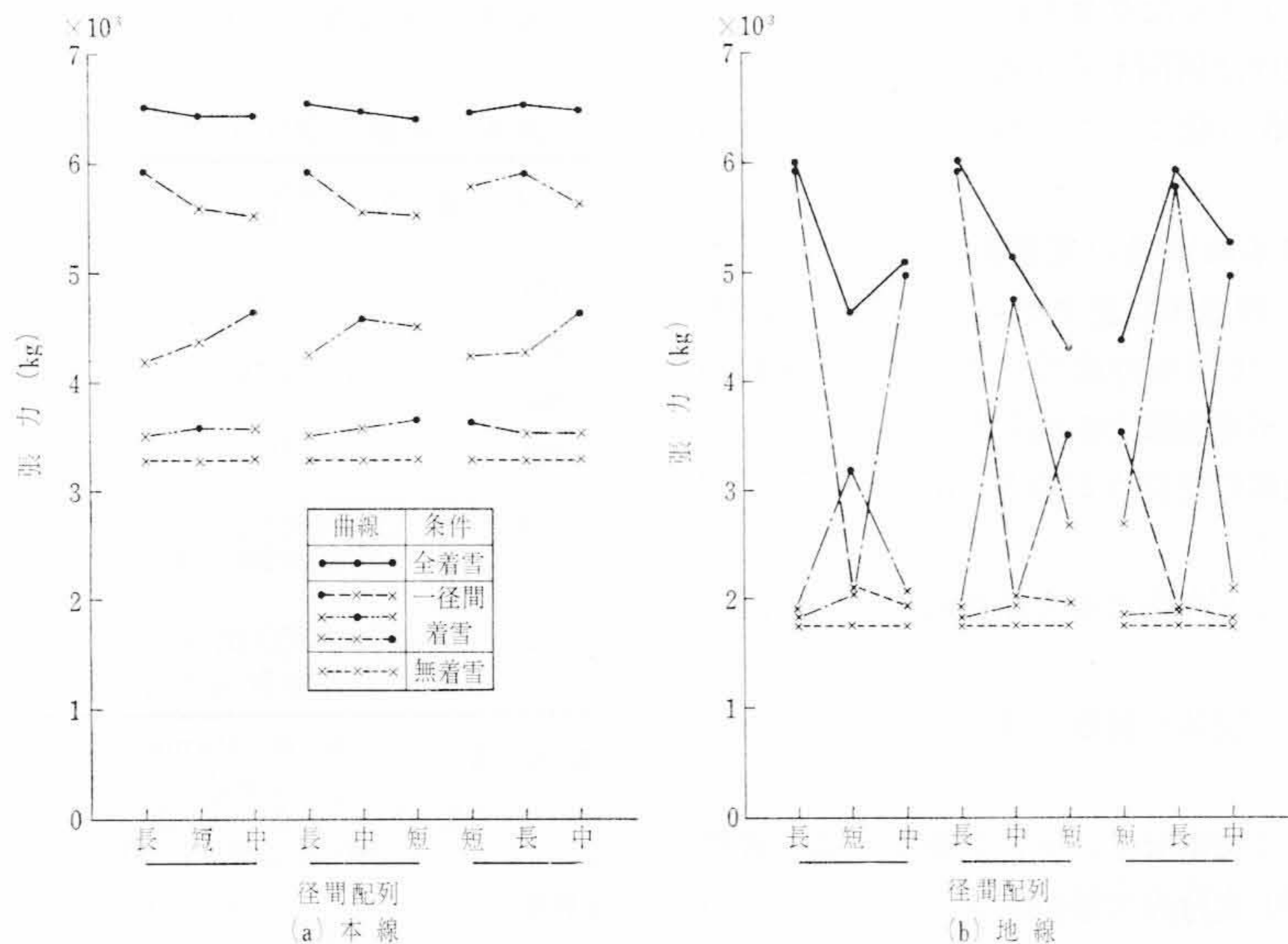


図6 着雪条件と張力 (500, 350, 200 m 径間)

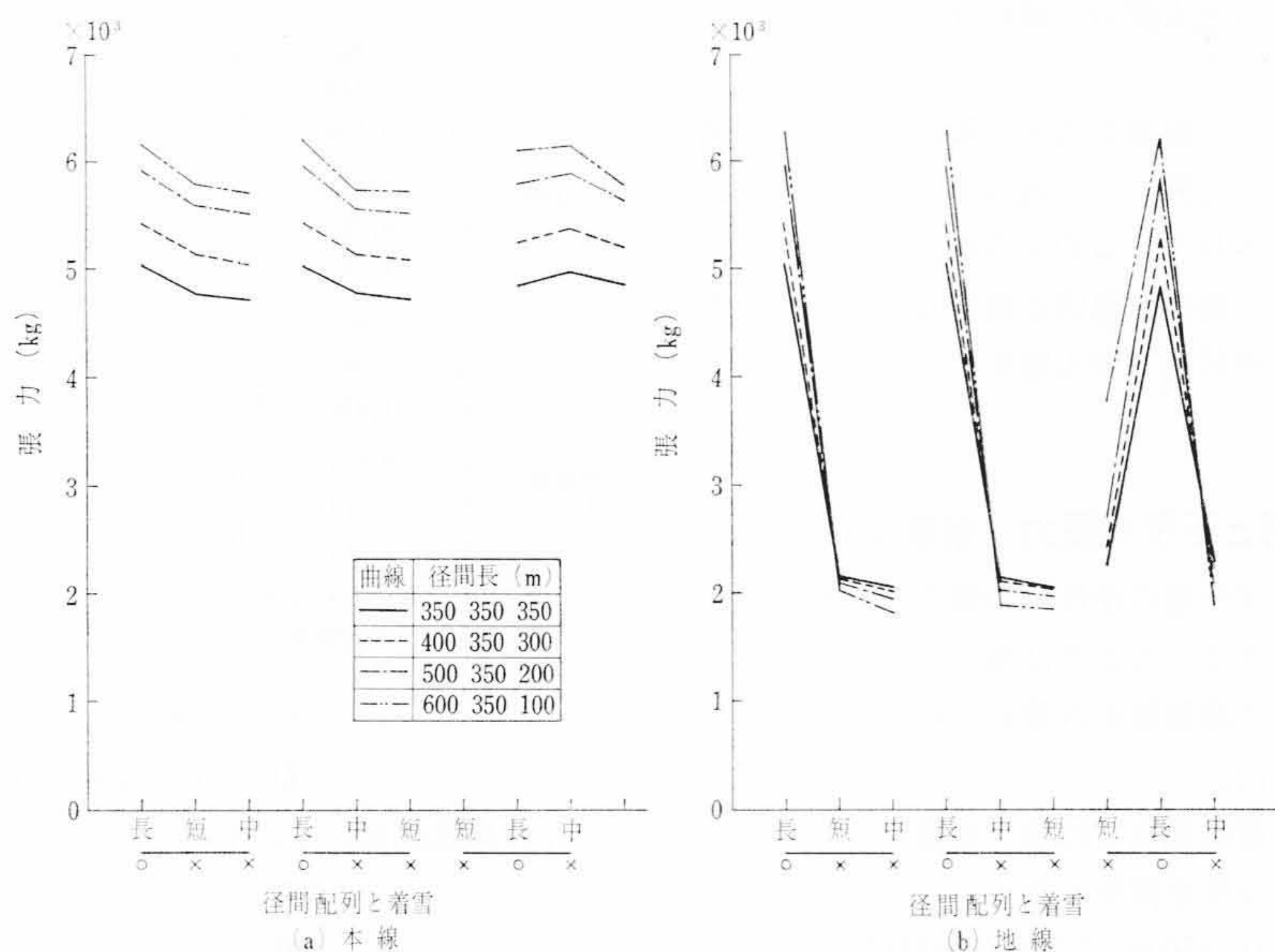


図7 径間配列と張力 (長径間着雪)

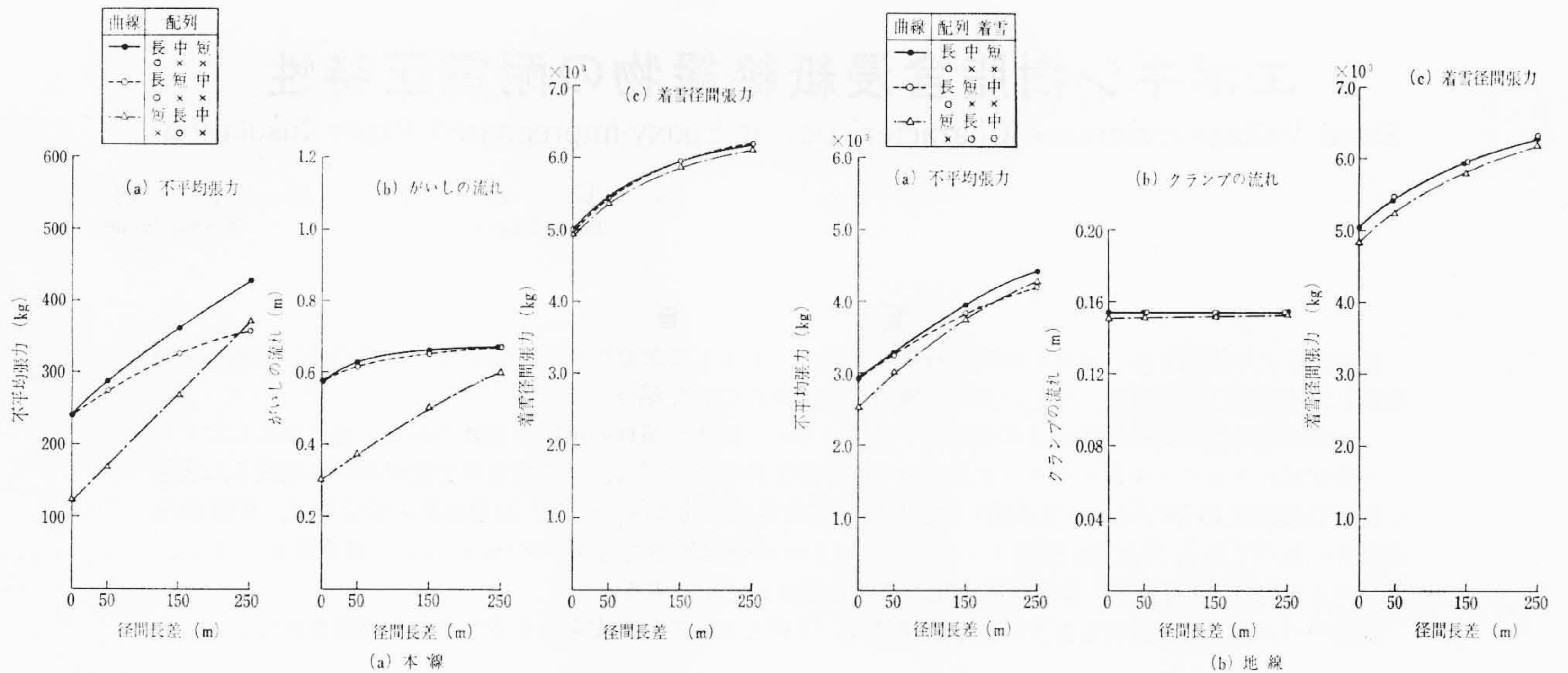


図8 径間長差と張力，不平均張力，がいの流れ（一径間着雪）

- (3) このため着雪の有無による弛度変化は地線より本線が大きい。
- (4) 三連続径間で一径間着雪時と一径間脱落時とを比較すると後者のほうが不平均張力が大きい。
- (5) 一径間着雪という条件では当然のことながら最長径間に着雪した場合が地線の不平均張力がもっとも大きくなる。しかしそれが中央にある場合も端にある場合もあり差がない。
- (6) 径間長差が大きくなるにつれ不平均張力が大きくなる。
- (7) 高低差の配列は地線の不平均張力にはあまり影響を及ぼさない。しかし本線の不平均張力は中央支持点が一段高い凸形の場合がもっとも大きい。

5. 結 言

本論文では径間によって一様でない異常着雪がある場合の弛度張力の新しい計算法とその応用例を示した。ここに示した実例は着雪条件としては非常に過酷であるが、数十年の耐用年数をもつ架空送電線の設計においてはこのような異常着雪についても考慮する必要がある。これまで示した結果を通じて耐雪設計上考慮すべき事項を列記すると次のとおりである。

- (1) 径間長差が大きい連続径間，あるいは長径間を含む連続径間は着雪条件が不平等な場合の不平均張力や弛度差が大きくなるので，中間に耐張鉄塔を入れることが望ましい。
- (2) 高位差が大きくでこぼこがある区間は一様な上り下りの区間に比べて不平均張力が大きくなるので，中間に耐張鉄塔を入れることが望ましい。
- (3) 不平均張力を減らすためには支持点の流れを大きくするのがもっとも有効である。したがって多雪地帯で径間長差や高位差が大きい場所では地線用懸垂クランプの移動量を大きくすることが考えられる。ただし移動による弛度増加を考慮しなければならない。
- (4) これまで装柱設計時のオフセットの決定はスリートジャンプ時の運動図形から行われてきた。しかし今回の計算結果では連続懸垂径間で長径間を含む場合や径間長差が大きい場合には，本線と地線それぞれの着雪が同一でないとわずかな風による横振れでせん絡事故を起こす危険性がある。したがってこの点も考えてオフセットを決める必要がある。

表7 350 m 2 平等径間の高低差配列と不平均張力，弛度，支持点流れ

高低差配列 (m)	着雪	本線 410 mm ² ACSR				着雪 90 mm ² GSC			
		着雪部張力 (kg)	不平均張力 (kg)	がいの流れ (m)	着雪部弛度 (m)	着雪部張力 (kg)	不平均張力 (kg)	クランプの流れ (m)	着雪部弛度 (m)
0, 0	○ ○	6,516	0	0	9.35	5,301	0	0	11.52
	○ ×	5,442	156	0.380	11.20	5,059	2,786	0.153	12.07
	× ○	5,442	156	0.380	11.20	5,059	2,786	0.153	12.07
	× ×	3,514	0	0	7.29	1,908	0	0	5.61
100, -100	○ ○	6,372	0	0	9.56	5,151	0	0	11.85
	○ ×	5,447	543	0.345	11.19	4,987	2,841	0.113	12.24
	× ○	5,447	543	0.345	11.19	4,987	2,841	0.113	12.24
	× ×	3,478	0	0	7.37	1,905	0	0	5.62
-100, 100	○ ○	6,372	0	0	9.56	5,151	0	0	11.85
	○ ×	5,376	191	0.377	11.34	4,941	2,716	0.146	12.35
	× ○	5,376	191	0.377	11.34	4,941	2,716	0.146	12.35
	× ×	3,478	0	0	7.37	1,905	0	0	5.62
100, 100	○ ○	6,372	0	0	9.56	5,151	0	0	11.85
	○ ×	5,342	168	0.393	11.41	4,952	2,746	0.138	12.33
	× ○	5,339	155	0.394	11.41	4,921	2,661	0.160	12.40
	× ×	3,478	0	0	7.37	1,905	0	0	5.62
0, 100	○ ○	6,443	2	0.016	9.46	5,235	23	0.040	11.66
	○ ×	5,368	76	0.407	11.35	5,048	2,787	0.160	12.09
	× ○	5,367	75	0.387	11.35	4,928	2,650	0.156	12.39
	× ×	3,496	0	0	7.33	1,907	0	0	5.61
0, -100	○ ○	6,451	17	0.013	9.45	5,289	127	0.007	11.54
	○ ×	5,449	365	0.371	11.18	5,074	2,855	0.143	12.03
	× ○	5,442	362	0.353	11.20	4,972	2,777	0.124	12.28
	× ×	3,496	0	0	7.33	1,907	0	0	5.61

最近スリートジャンプ時の電線の運動の電子計算機による解析や耐雪電線の開発⁽⁸⁾など架空送電線の耐雪設計に関する研究開発が盛んに行なわれているが，ここに示した方法が多少とも役だてば幸いである。最後に本研究に際してご協力をいただいた九州電力株式会社，日立電線株式会社の関係者各位に深く感謝する。

参 考 文 献

- (1) 架空送電耐雪線耐雪設計分科会：「送電線の耐氷雪設計」電気学会 (1965)
- (2) 阪部，八田，加藤：昭和35年電気四学会連合大会予稿 958 (1960)
- (3) 八田：電学誌 78, 10, 1347~1356 (1958)
- (4) 八田，星野，田中：電力 51, 6, 128~129 (1967)
- (5) 佐藤，伊藤：電力新報 43, (5), 39~42 (1968)
- (6) 送電線絶縁設計分科会：「架空送電線路の絶縁設計要綱」電気学会 (1966)
- (7) 竹下：「架空送電線の弛度」電力社 (1966)
- (8) 送電専門委員会小サイズACSRWG「送電線用小サイズアルミ電線」電気学会 (1968)