

普通電線の着雪特性に関する実験的検討

大浦 久到 ・ 守護 雅富 ・ 岡本 誠 (北海道電力)

1. まえがき

北海道電力は、昭和40年代に発生した電線着雪による鉄塔倒壊以降、鉄塔の設計条件に5 kg/m を基本とした着雪条件を付加し、「難着雪リング+捻れ防止ダンパー」等の対策を併用しながら、電線着雪による鉄塔重大事故を防止してきた。

しかしながら、5 kg/m を基本とする着雪条件は、電線サイズに関わらない一定の値であること、設備規模の増大とともに、電線サイズ仕様もさまざまなものが使われていることから、電線サイズ間での着雪量の違いの有無、および着雪設計条件の最適化の可能性について確認しておく必要がある。今回、最悪時を想定した筒雪を再現するため、把持部を回転自由とさせた場合の人工着雪実験を行った。その結果について報告する。

2. 目的

本研究の目的は、普通電線における着雪重量の電線サイズの影響を評価することであり、今年度は、筒雪条件下で電線サイズによる着雪重量を比較評価する。

3. 人工着雪実験方法

着雪実験は、総合研究所内恒温恒湿実験室において実施した。

(1) 実験装置の基本配置

図1に実験装置の基本配置を示す。降雪装置は紙面前後に連続的にスライドするふるいで、上部から地上に積もった雪を載せ、水噴霧スプレーで水分を与え、人工的に湿雪を作ることができる。また、電線サンプルの端部は回転自由とするためベアリングを用いている。

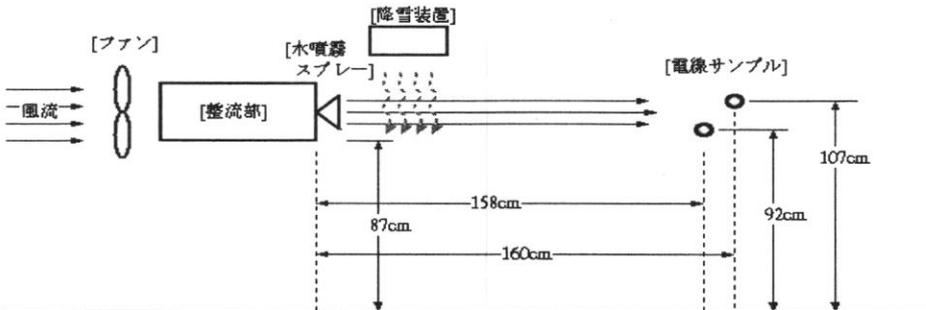


図1 実験装置の基本配置

(2) 供試電線

今回の着雪実験に供試した電線サンプルは、610mm²(以下610SQと記す)および160mm²(以下160SQと記す)ACSR電線である。

(3) 実験条件

実験条件は、室温0～2℃、風速は使用雪が電線サンプルに適切に付着する風速に調整しおよそ5m/s。(サンプル後方の降雪は、着雪密度0.25g/cm³前後、含水率は最大20%程度)

(4) 実験要領

610SQおよび160SQのACSR電線の組合せについて、以下の手順で実験を行った。

- ・人工着雪実験開始後、着雪外径が10cm程度になった時点で実験を終了する。
- ・測定項目は、着雪密度(降雪捕捉ケース：体積5cm×5cm×4cm=100cm³)、含水率(円心分離器)、最大・最小着雪厚さ(ノギス値)、着雪重量(小型ロードセル)、断面形

状(写真撮影)、捻回角度、室内温度である。なお、降雪強度は測定していないが、電線サンプル後方での積雪量から試算すれば 60mm/h 程度となる。

・ 1 ケースが終了後、サンプル配置を入れ替え、繰り返す。

4. 実験結果と考察

(1) 610SQ 普通電線と 160SQ 普通電線の着雪重量推移

この組合せは配置入れ替えを含み合計 8 ケース実験を行ったが、その内 2 ケースにおける着雪重量推移を図 2～図 3 に示す。また、筒雪発達状況を図 4 に示す。

図 2 と図 3 はそれぞれサンプル電線を前後入れ替えたケースであるが、前方に配置した電線の方が着雪重量が高くなる。これは、降雪量、風速条件が前後の配置で異なることが原因である。

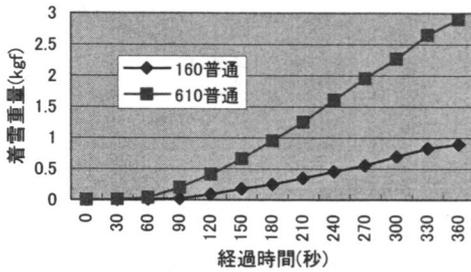


図 2 着雪重量の推移(ケ-1)

このため、サンプル電線の前後の入れ替えによる“平均化”を行うことが必要となる。今回、着雪重量の推移勾配が大きい、前方に配置したサンプル電線の着雪重量がある一定値に達した時の後方のサンプル電線の着雪量を比較することで、二つの着雪重量を評価することとした。

表 1 にこの評価手法による着雪重量検討結果を示す。平均で 610SQ は 160SQ に比べ 1.5 倍の着雪重量となる (参考：外径比は 1.88 倍)

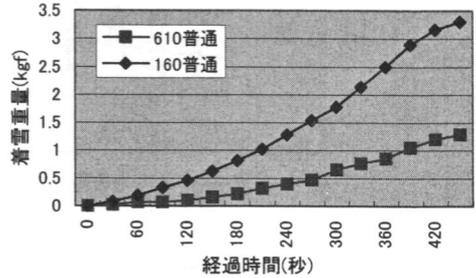


図 3 着雪重量の推移(ケ-2)

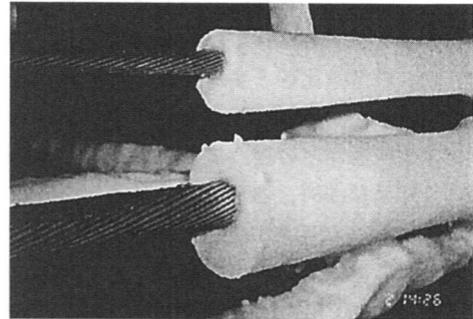


図 4 筒雪発達状況(上:160SQ、下:610SQ)

表 1 610SQ と 160SQ の着雪重量比較検討

実験ケース	前方電線： 着雪重量	後方電線： 着雪重量	(b)/(a)	平均
1 (図 2)	610 : 2kgf	160 : 0.6kgf(a)	1.25	1.50
2 (図 3)	160 : 2kgf	610 : 0.75kgf(b)		
3	160 : 2kgf	610 : 0.8kgf(b)	1.14	
4	610 : 2kgf	160 : 0.7kgf(a)		
5	610 : 1kgf	160 : 0.5kgf(a)	1.6	
6	160 : 1kgf	610 : 0.8kgf(b)		
7	610 : 1.4kgf	160 : 0.65kgf(a)	2.0	
8	160 : 1.4kgf	610 : 1.3kgf(b)		

* 610 : 610SQ 普通電線(b) 160 : 160SQ 普通電線(a)

(2) 着雪外径と捻回角度からみた電線サイズ間の着雪重量比較

電線把持部を回転自由とした場合、610SQと160SQの組合せの実験結果から、着雪重量は太い電線ほど多くなる傾向を確認できた。このことは降雪が吹き付ける電線の投影面積が大きいほど着雪は成長することを示している。

しかし、実際の電線は電線把持部はクランプで固定されていることに加え、電線径間部は電線捻れの度合いが電線サイズ毎に異なることから、単純に太サイズになれば電線着雪量は増大するとは言えない。このため、今回の着雪実験で得られた着雪外径と捻回角度の関係から、実際の想定着雪量の検討を行なった。図5、図6に610SQと160SQの着雪外径と捻回角度の相関特性図を示す。

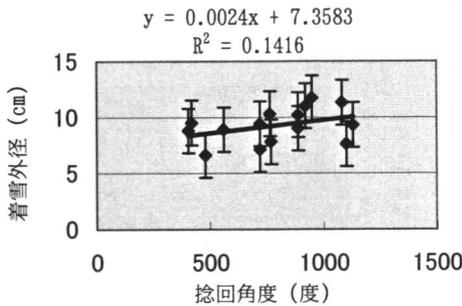


図5 610SQの着雪外径と捻回角度

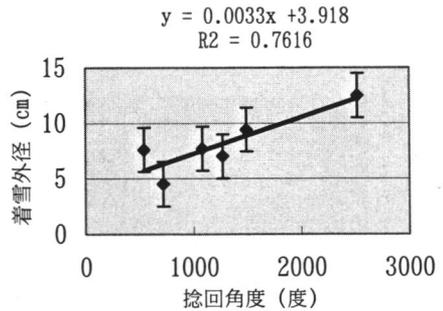


図6 160SQの着雪外径と捻回角度

図5に示す610SQの着雪外径と捻回角度の相関関係は良いとは言えないが、正の傾きのため実際の現象範囲にはあるものと考えられる。上記の結果は電線サンプルの把持部を自由(ベアリング使用)にしており、電線サイズ間で捻回モーメントも異なり、重量の単純比較はできない。着雪量比較をするための一種の“正規化”が必要となる。

そこで、電線の捻れ剛性値(回転のしやすさ)から、610SQの任意の捻回角度時に160SQの捻回角がどの程度になるか推定し、今回の実験で得られた着雪外径と捻回角の相関式から着雪外径を求め、さらに着雪密度から着雪重量を算出し比較評価する。

文献2に示された捻れ剛性の式($GIP = 0.34 \cdot d^{3.8}$ 、但しGIP:捻れ剛性 $[kg \cdot m^2 / Rad]$ 、 d :電線外径 $[cm]$)から、610SQと160SQの捻れ剛性をGIP(610)、GIP(160)とし、その比を求めると、 $GIP(610) / GIP(160) = 36.37 / 3.3$ となる。このGIPは1ラジアン当たりの捻回モーメントに等価であることから、この逆数は任意の捻回力を加えた場合の捻回角を意味する。610SQと160SQのGIPの逆数、Rad(610)とRad(160)の比を求めると、 $Rad(610) / Rad(160) = 0.03 / 0.3 = 1 / 10$ となる。つまり、610SQと160SQに同じ捻回力を与えた場合、160SQは610SQの電線よりも10倍捻回することを示す。

しかし、実際には任意経過時間での着雪量は電線投影面積、捕捉率などの要素で決まることから、二つの電線の捻回力は同一条件下では同一量とならない。

仮定として、610SQと160SQの捻回力比が電線外径比の2乗に比例する(着雪量を考慮)として、先に算定した捻回角の比率を補正する。この仮定の根拠を図7に示すが、610SQ電線と160SQ電線の捻回モーメントの比は、 $(R1/R2)^2$ となる。

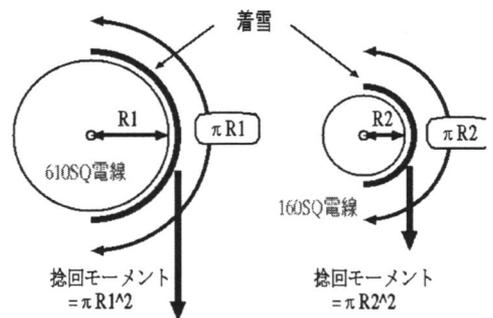


図7 捻回モーメントを過程した根拠

これを求めると、 $(610SQ電線の半径/160SQ電線の半径)^2 = (3.42cm/1.82cm)^2 = 3.53$ と

なる。ゆえに、二つの電線の捻回角比は、 $\text{Rad}(610)/\text{Rad}(160)=0.03 \times 3.53/0.3=1/3$ となる。つまり、同じ着雪条件下では、160SQ は 610SQ の電線よりも約 3 倍捻回することになることを示す。

ここで、160SQ の着雪外径と捻回角の相関式で、5 回転(1800 度)した場合の着雪外径 y_1 を求めると、 $y_1=0.0033 \times 1800+3.918 \div 9.86$ [cm]

この時、610SQ の捻回角は、1800 度/(0.3/0.11)=660 度であり、610SQ の着雪外径と捻回角の相関式で、着雪外径 y_2 を求めると、 $y_2=0.0024 \times 660+7.3583 \div 8.94$ [cm]

着雪外径 y_1 、 y_2 から着雪厚さ d_1 、 d_2 を求めると

$$d_1=(9.86-1.82)/2=4.02 \text{ [cm]}, \quad d_2=(8.94-3.42)/2=2.76 \text{ [cm]}$$

また着雪外径 y_1 、 y_2 から、任意の着雪密度における着雪重量を求めることができる。

今、着雪密度を $0.25[\text{g}/\text{cm}^3]$ とした場合の 160SQ と 610SQ の各着雪重量 w_1 、 w_2 を求めると、

$$w_1=(\pi/4) \cdot (9.86^2 - 1.82^2) \times 100[\text{cm}] \times 0.25[\text{g}/\text{cm}^3]=1844[\text{g}/\text{m}]=1.84[\text{kg}/\text{m}]$$

$$w_2=(\pi/4) \cdot (8.94^2 - 3.42^2) \times 100[\text{cm}] \times 0.25[\text{g}/\text{cm}^3]=1340[\text{g}/\text{m}]=1.34[\text{kg}/\text{m}]$$

以上のように“正規化”した場合の着雪重量比較では、160SQ は 610SQ の $1.37(1.84/1.34)$ 倍の電線着雪となる。この事は、例えば 160SQ の使用送電線で $5\text{kg}/\text{m}$ の着雪条件とした場合、同一地域で 610SQ を使用する場合の着雪重量は、 $5[\text{kg}/\text{m}]/1.37=3.65 \div 4.0[\text{kg}/\text{m}]$ となり、現行の着雪条件 $5\text{kg}/\text{m}$ と有意な差はなく、現設計の妥当性を示す結果が得られた。

5. まとめ

以上の結果をまとめると次のとおりである。

- ・電線把持部の回転を自由にさせた場合、610SQ 電線の着雪量は 160SQ 電線よりも多くなる。
- ・実験で得られた着雪外径～捻回角度の相関式と実送電線の電線捻れ剛性を考慮して、着雪重量を計算すれば、610SQ 電線の着雪重量は 160SQ 電線と同等レベルになる。

6. あとがき

人工着雪実験は、定量的に測定したとしても、降雪装置、自然雪の性状変化等の影響のため、その再現した着雪は自然の電線着雪と完全に同じとは言えないが、定性的に着雪量比較を行う場合は有用と考えられる。

電線サイズ毎の着雪量の検討は、電線着雪の原点に近い課題であるが、このような検証事例は少なく、今回、実験により一部結果を得たことは意味があると考えている。

電線捻れ剛性を加味した電線サイズ毎の着雪特性については、仮定条件を一部含むことから、今後、電線把持部を実際の捻れ剛性値に近くなるような治具を取り付け、今回評価した結果を確認することを予定している。

なお、今回の検討にあたり、有益なご助言を賜った北海道大学名誉教授の若濱五郎氏に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 大浦, 守護, 岡本, 菅原: 捻回楕円電線およびスパイラルロッド巻き付け電線の着氷雪特性, 北海道の雪氷第 19 号, 2000 年 8 月
- 2) 前沢, 五藤, 山岡: 送配電線の難着雪化技術の問題点とその解決方法について, 北海道電力(株)総合研究所研究報告第 245 号, 昭和 52 年 8 月