

着雪メカニズムの解明に関する研究

新屋 輝^{*1} 新谷 智弘^{*2} 太田 知輝^{*3}

1. まえがき

平成 17 年 12 月に、北陸電力管内の送電線において、記録的な大雪による鉄塔損壊や電線断線が多数発生した。事故は、電線サイズが 240 mm^2 以下の径の小さい架空送電線のうち非通電状態の線路で多数発生していることが分かった。

今回、電線種類、通電電流、降雪量、風速をパラメータとした着雪風洞実験による着雪メカニズムの解明を行ったので報告する。

2. 実験方法

(1) 実験装置

着雪風洞実験装置（第 1 図、第 2 図）を用いて、送電線位置での気温、風速、雪質などの着雪発達条件を再現し、電線に付着した雪が脱落するまで 1 分毎に着雪重量を測定した。

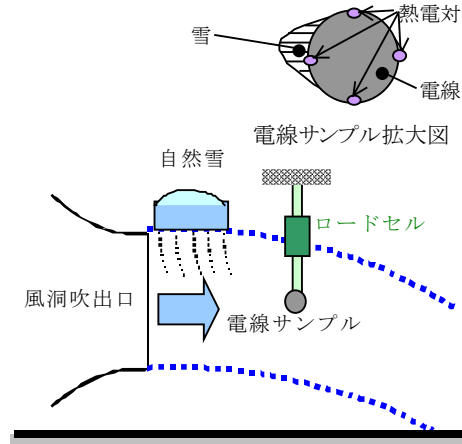
また、サンプル電線の両端に設置したロードセルにて着雪重量を測定し、熱電対により電線表面温度を測定した。

電線の捩れ剛性（回転しにくさ）は電線サイズごとに標準径間の値をバネを用いて模擬した。

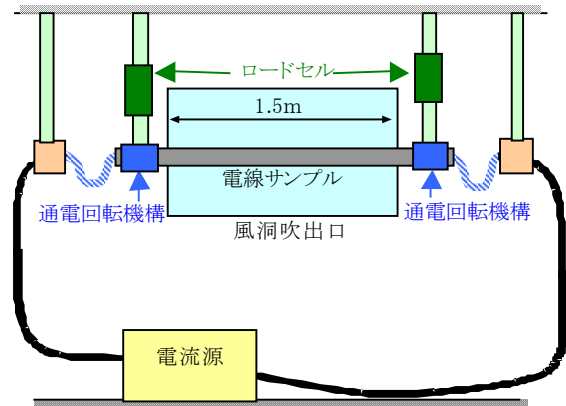
（第 3 図）

(2) 実験条件

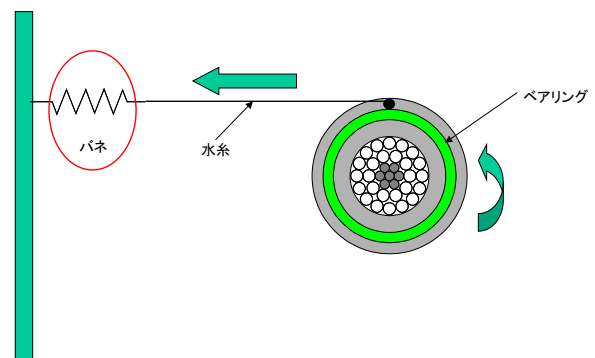
- a. 電線種類 鋼心アルミより線
120,240,330,410,610(mm^2)
- b. 通電電流 許容電流の 0, 5, 10, 20, 30(%)
- c. 降雪条件 異常着雪発達時の北陸の 29 アメダスポイントデータを解析し、送電線の電線位置での気温、風速、雪質を実験条件に反映
気温： 2°C
風速：2.5m/s, 5.0m/s, 7.5m/s
使用雪：自然降雪
降雪量：2cm/h [2mm/h], 4cm/h [4mm/h]
[]は降水量換算
含水率：7~10%



第 1 図 着雪風洞実験装置（側面図）



第 2 図 着雪風洞実験装置（正面図）



第 3 図 通電回転機構（断面図）

*1 富山支店技術部 送電工事チーム

*2 東京支社 原子力・技術チーム

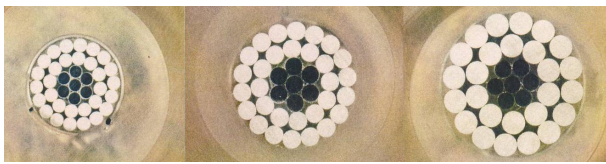
*3 電力流通部 送電チーム

第1表 通電電流

電線種類	許容電流 (A)	通電電流 (A)		
		10%	20%	30%
	100%			
ACSR120mm ²	439	44	88	132
ACSR240mm ²	669	67	134	201
ACSR330mm ²	802	80	160	240
ACSR410mm ²	931	93	186	279
ACSR610mm ²	1,165	117	233	350

第2表 電線諸元

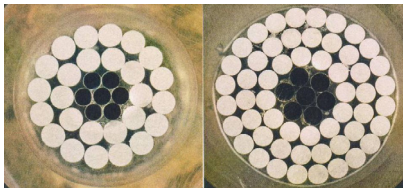
電線種類	外径 (mm)	抵抗 (Ω/km)	標準径間 (m)
ACSR120mm ²	16.1	0.233	250
ACSR240mm ²	22.4	0.120	300
ACSR330mm ²	25.3	0.0888	300
ACSR410mm ²	28.5	0.0656	350
ACSR610mm ²	34.2	0.0474	350



ACSR120mm²

ACSR240 mm²

ACSR330mm²



ACSR410mm²

ACSR610mm²

(3) 実験ケース

通電率，電線種類，降水量および風速による着雪量の違いを把握するため，通電率は0と10%，降水量2mm/h，風速5m/sをベースに第3表の全24ケースについて実験を行った。

第3表 着雪風洞実験ケース

電線種類	風速 (m/s)	通電率 (許容電流に対する比率)				
		0%	5%	10%	20%	30%
ACSR 120mm ²	2.5			○		
	5.0	○		○	○	○
	7.5			○		
ACSR 240mm ²	2.5			○		
	5.0	○	○	●	○	○
	7.5			○		
ACSR 330mm ²	2.5			○		
	5.0	○		○	○	
	7.5	●		●		
ACSR 410mm ²	5.0	○		○		
ACSR 610mm ²	5.0	○				

降水量：○：2mm/h ●：4mm/h

3. 実験結果

各実験ケースの着雪重量を第4表に示す。

なお，筒雪に発達した時点で異常着雪が判明するため，360°捻回した時点で実験を停止した。

第5表に第4表の着雪重量を電気設備の技術基準に定める着雪時設計で用いる比重0.6の円筒等価（円筒状に均等に着雪）に換算した着雪厚さを示す。

第4表 実験結果

電線種類	風速 (m/s)	通電率別の着雪重量[g/m]				
		0%	5%	10%	20%	30%
ACSR 120mm ²	2.5			167		
	5.0	<u>810</u>		119	95	83
	7.5			83		
ACSR 240mm ²	2.5			175		
	5.0	<u>1,443</u>	196	167 [196]	164	79
	7.5			123		
ACSR 330mm ²	2.5			326		
	5.0	326 [321]		152 [176]	152	
	7.5			109		
ACSR 410mm ²	5.0	407		302		
ACSR 610mm ²	5.0	616				

— : 筒雪に成長 [] : 降水量 4mm/h

第5表 円筒等価 (比重 0.6) 着雪厚さ

電線種類	風速 (m/s)	通電率別の着雪厚さ[mm]				
		0%	5%	10%	20%	30%
ACSR 120mm ²	2.5			4.3		
	5.0	<u>14.2</u>		3.3	2.7	2.4
	7.5			2.4		
ACSR 240mm ²	2.5			3.6		
	5.0	<u>18.7</u>	3.9	3.4 [3.9]	3.4	1.7
	7.5			2.6		
ACSR 330mm ²	2.5			5.6		
	5.0	5.6 [5.5]		2.9 [3.3]	2.9	
	7.5			2.1		
ACSR 410mm ²	5.0	6.2		4.8		
ACSR 610mm ²	5.0	7.8				

— : 筒雪に成長 [] : 降水量 4mm/h

4. 難着雪効果

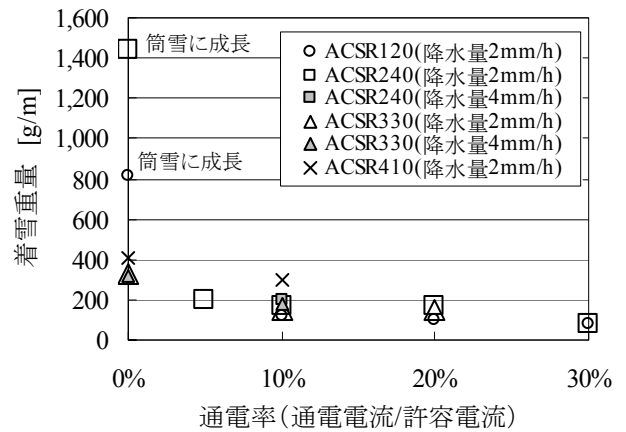
(1) 通電率や風速の影響

第4図に、風速 5m/s での通電率と着雪重量のグラフを示す。

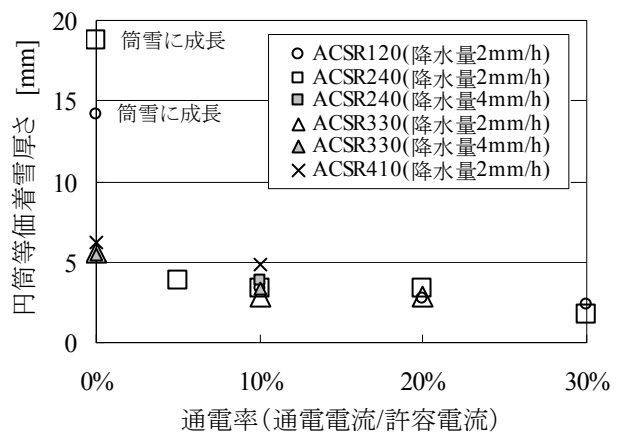
非通電状態では、細サイズ (ACSR120mm², ACSR240mm²) で筒雪に発達したが、通電率 10% 以上では全ての電線種類で筒雪に発達する前に落雪したことから、通電が難着雪に効果があることが分かった。

第5図に第4図の着雪重量を比重 0.6 の円筒等価着雪に換算した厚さを示す。

落雪したものは円筒等価厚さ 6mm 程度であったが、筒雪に発達した ACSR120mm² は 14mm, ACSR240mm² は 19mm に相当する着雪に発達した。実験は筒雪に発達した時点で実験を止めているため、さらに着雪が発達していたと考えられる。



第4図 通電率と着雪重量 (風速 5m/s)



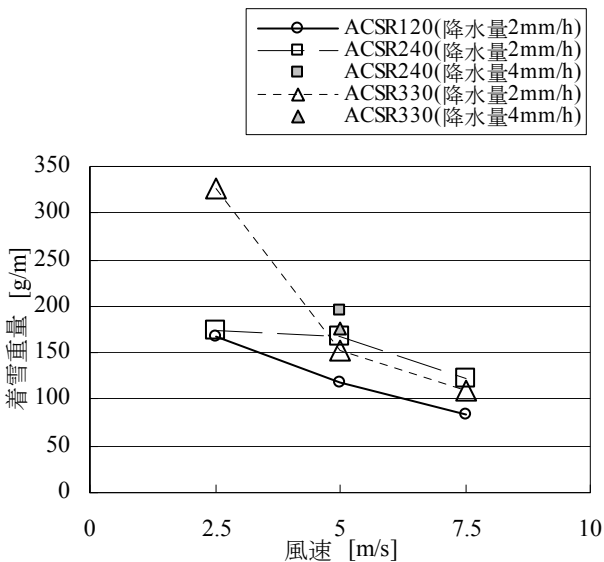
第5図 通電率と円筒等価 (比重 0.6) 着雪厚さ (風速 5m/s)

第6図に、通電率10%での風速と着雪重量のグラフを示す。

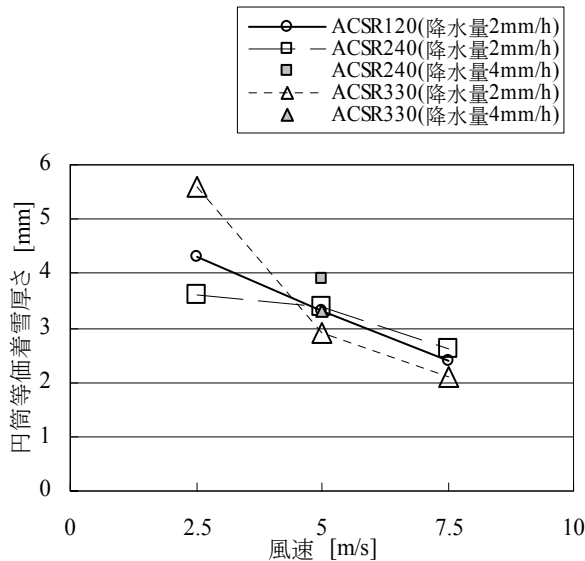
いずれの電線も、風速が大きくなるにつれ、着雪重量が小さくなった。これは、風により、雪が落ちやすい電線側面に着雪するためと考えられる。

ACSR240mm²とACSR330mm²において、降雪強度を2倍の4mm/h（北陸地方の最も強い降雪強度に相当）にして実験したところ、降雪強度2mm/hの場合に比べて約17%着雪重量が増加したものの筒雪に発達せず落雪した。

これは、降雪強度が高い場合でも、通電による難着雪効果が表れた結果だと思われる。



第6図 風速と着雪重量（通電率10%）



第7図 風速と円筒等価（比重0.6）着雪厚さ（通電率10%）

(2) 電線表面温度上昇の影響

第6表に着雪前の電線表面温度を示す。

無風時の非通電状態からの電線温度上昇は、通電率5%で0.5℃、通電率10%で1.4~1.6℃、通電率20%で4.6~5.1℃、通電率30%で9.3~10.3℃であった。

しかし、風速5m/sでは、無風時と比べ、熱放射の増大により電線温度上昇は少なくなり、通電率5%で0℃、通電率10%で0.1~0.2℃、通電率20%で0.6~0.9℃、通電率30%で1.3~1.5℃であった。

第6表 着雪前の電線表面温度

電線	通電率 風速	非通電		5%		10%			20%		30%		
		無風	5 m/s	無風	5 m/s	無風	2.5 m/s	5 m/s	7.5 m/s	無風	5 m/s	無風	5 m/s
ACSR120		2.0	2.0	-	-	3.5	2.3	2.2	2.0	7.1	2.6	11.3	3.5
ACSR240		2.0	1.9	2.5	2.0	3.5	2.1	2.1	2.0	6.6	2.8	12.3	3.2
ACSR330		1.9	1.9	-	-	3.5	2.2	2.0	2.0	6.6	2.8	-	-
ACSR410		1.9	1.9	-	-	3.3	-	2.0	-	-	-	-	-
ACSR610		2.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

単位:℃

第7表に着雪中の電線表面温度を示す。

通電による電線温度上昇は、通電率5%で0.1℃、通電率10%で0.1~0.3℃、通電率20%で0.2~0.4℃、通電率30%で0.4~0.8℃であり、この熱により電線表面に水膜が形成され、滑りやすい状態になって筒雪を防止したと考えられる。

風速を5m/sから2.5m/s、7.5m/sに増減させた場合や、降水量を2mm/hから4mm/hに増加させたいずれの場合でも、電線表面温度に大きな変化はなかった。これは着雪した雪が防風となり、熱放射が緩和されたためと考えられる。

第7表 着雪中の電線表面温度

電線	通電率 風速	非通電		5%			10%			20%	30%
		5 m/s	5 m/s	2.5 m/s	5 m/s	7.5 m/s	5m/s (4mm/h)	5 m/s	5 m/s		
ACSR120		0.1	-	0.2	0.2	0.2	-	0.4	0.9		
ACSR240		0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.3	0.3	0.5		
ACSR330		0.0	-	0.2	0.3	0.2	0.1	0.4	-		
ACSR410		0.0	-	-	0.3	-	-	-	-		
ACSR610		0.0	-	-	-	-	-	-	-		

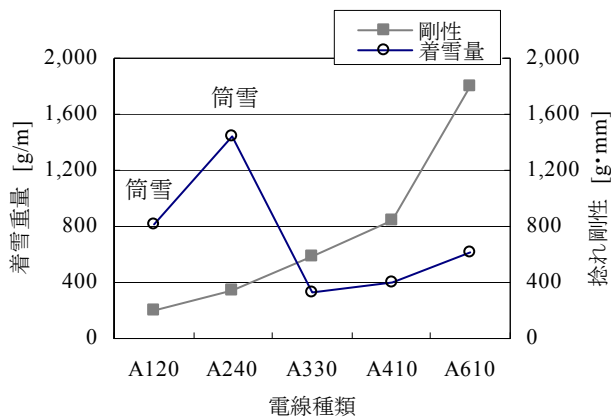
単位:℃

(3) 電線剛性の影響

第 8 図に、電線種類と着雪重量のグラフを示す。

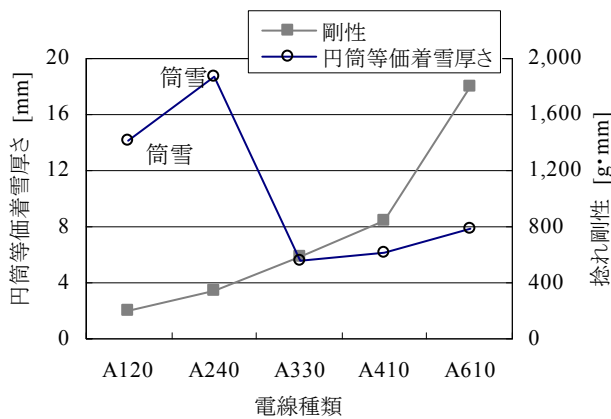
非通電状態において、ACSR120mm²,ACSR240mm² は筒雪に成長したが、ACSR330mm² 以上の電線では、筒雪に成長する前に落雪した。

これは、細いサイズの電線は捩れ剛性が低いため、着雪とともに電線が捩れ、筒雪に発達したものと考えられる。



第 8 図 電線種類と着雪重量

(降水量 2mm/h, 風速 5m/s, 非通電)



第 9 図 電線種類と円筒等価 (比重 0.6) 着雪厚さ

(降水量 2mm/h, 風速 5m/s, 非通電)

5. まとめ

- (1) 異常着雪を模擬した風洞実験を行い、筒雪に発達することを再現した。
- (2) 通電電流による難着雪効果を実験で確認し、通電率 10%以上で筒雪に発達しないことを実験で確認した。
- (3) 電線の捩れ剛性による難着雪効果を実験で確認し、ACSR330mm² 以上の電線サイズでは、筒雪に発達しないことを実験で確認した。

参考文献

- 1) 金子隆雄他:「桜ヶ丘線架空送電用新機能製品の開発」古河電工時報, 第 115 号(平成 17 年 1 月)88
- 2) 坂本雄吉他:「架空送電線の防雪電流(その 2)」電中研研究報告 T 89016
- 3) ジェイパワーシステムズ:「着雪メカニズムの解明人工降雪風洞実験(報告書)」平成 19 年 6 月

(本論文の一部は、2005 年度日本雪氷学会全国大会「北陸における架空送電線への異常着雪に関する考察(その 1)」および 2007 年度日本雪氷学会全国大会「北陸における架空送電線への異常着雪に関する考察(その 2)」より、許諾の上転載しております。)