低風圧絶縁電線の開発

Development of Low Wind-Pressure Insulated Wires

松村俊朗*

Toshio Matsumura 竹内 均*4

由良俊樹*

Toshiki Yura

菊池 直志*2 Naoshi Kikuchi

松本鉄男*3 Tetsuo Matsumoto

岩崎邦男*5 Hitoshi Takeuchi Kunio Iwasaki

冨永康博*5 Yasuhiro Tominaga

概 要 支持物の設計荷重低減や電線張替時の支持物建替による工事費の抑制方策の一つとして, 電線表面に凹凸を設けた低風圧絶縁電線を開発した。低風圧絶縁電線は,通常電線と比較して約 15%以上風圧荷重が低減可能であり,かつ優れた難着雪特性を有していることを確認した。また, 電線としての基礎特性(電気特性,架線作業性,付属品適合性)についても通常電線と同等であるこ とを確認している。

1. はじめに

電力需要の増大に伴い支持物の装柱が輻輳し,支持物の設計 強度も大きくなり設備費上昇の一因となっている。

支持物の設計荷重は,架線される電線の風圧荷重が大きな要 因となるため,電線の風圧荷重を低減することで,支持物の設 計荷重を小さくでき,設備費用の抑制が期待できる。

これまで,電線の低風圧化に関する研究は主に架空送電線を 対象に実施されており,有効な形状が見いだされている1)-3)。 架空送電線では,外径が27~38mmの電線について設計風速 域で風圧荷重低減効果が得られる形状が検討されているが,そ れよりも外径が小さい架空配電線(外径10~25 mm)におい ては,十分な検討がなされていない。

本報告では、比較的外径が小さい架空配電線である絶縁電線 を対象に,風圧荷重低減効果が得られる形状を検討した結果, 実用可能な低風圧絶縁電線を開発したので,その特性について 報告する。

2. 電線断面形状の検討

2.1 風圧荷重低減メカニズム

風圧荷重低減のメカニズムは,ディンプルがついたゴルフボ ールの例がよく知られており^{4),5)},電線に際してこれを応用し た。図1に電線の風圧荷重低減メカニズムを示す。表面に凹凸 を設けた形状にすることで,凹凸の内部で渦が発生する。これ により,風の境界層底部に働くせん断力が減少し,境界層の減 速が軽減され,剥離点が電線の後流側に移動する。剥離点が移

* 関西電力株式会社 総合技術研究所

*2 送電エンジニアリング事業部 技術部

*3 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

動することで後流側に発生する渦が減少し,電線前後の圧力差 が小さくなり風圧荷重が低減する。

2.2 電線モデルの風洞実験

2.2.1 電線モデル試料

架空送電線では,電線表面に電線長手方向に捻られた複数の 溝を設けた形状が,風圧荷重低減効果が大きいことが報告され ている¹⁾。しかし,この形状では,外径が小さい電線について は設計風速40 m/sでの風圧荷重低減効果が十分ではない。ま た,絶縁電線の押出被覆を考えた場合,捻れた溝を形成するに は特殊な設備が必要となる。今回,架空配電絶縁電線(例えば 6 kV OC-I 80 mm² 外径 15.6 mm)を対象に, 押出成形性を考慮 し,電線表面に電線長手方向に平行な複数の凹凸を設けた形状 について検討を行った。まず,風圧荷重低減効果が大きい形状 を確認するために、アルミ削出し電線モデルを作成し、風洞実 験を実施した。

図2に実験に用いた電線モデルの断面形状を示す。表面の山 の数を変えた試料で山の数が抗力係数に及ぼす影響を調査する



図1 風圧荷重低減メカニズム Mechanism of wind pressure load reduction

- 39 -

^{*4} ファイテル製品事業部 光製品部

^{*5} 電力事業部 技術部



Cross sections of models for wind tunnel test



Equipment for wind tunnel test

とともに24山モデル及び30山モデルについては,山高さを変 化させて,その影響を調査した。

また,電線の架線状態を模擬して,斜風時及び2相配置での 風圧荷重低減効果の確認を実施した。

2.2.2 風洞実験方法

実験装置を図3に示す。風洞実験は,風洞吹出口後方に密閉 型測定胴を配置し,3分力検出器により実施した。測定結果は, レイノルズ数により,6kV OC-I 80 mm²相当の外径15.6 mm で の風速(標準状態15,1013 hPa若しくは高温季台風時)に 換算した。

2.2.3 電線モデル試料の風洞実験結果

a)山数の影響

図4に各電線モデルの抗力係数 風速の関係を示す。いずれのモデルも,風速40 m/s近傍では通常電線と比較して抗力係数の低下が認められ,16山,24山,30山の順で小さくなっている。

このときの抗力係数の低下率は,30山モデルで約40%程度と 十分な抗力係数低減効果が認められる。山数が多くなると,抗 力係数の低下し始める風速及び最小値となる風速が低風速側に シフトし,抗力係数の最小値が低下する傾向が伺える。以上の 結果から,外径15 mm程度の電線を対象とした場合,40 m/s を含む広範囲な風速で抗力係数が低下している30山モデルが 望ましい形状であると考えられる。

b) 山高さの影響

図5に24山モデル,図6に30山モデル各々の山高さと谷底 半径Rを変化させた場合の抗力係数 風速の関係を示す。24 山モデルでは,山高さが高レベル,中レベルの場合には抗力係







図5 24山モデルの山高さの影響 Effects of crest height on 24-crest model



図6 30山モデルの山高さの影響 Effects of crest height on 30-crest model

数の大きな差は無いが,山高さが低レベルになると抗力係数の 低下し始める風速が高風速側にシフトすることが認められる。

30山モデルでも24山モデルと同様な傾向があるが,山高さ が抗力係数に及ぼす影響は比較的小さいことが確認された。こ のことから,絶縁被覆押出時の寸法変化や,電線架線後のゴミ 付着による形状変化等の実用上の問題を考慮した場合,30山 モデルのほうが,安定した風圧荷重低減効果が期待できると考 えられる。



Wind pressure load on models

c) 実電線における風圧荷重低減率

実際に電線の絶縁被覆表面に凹凸を設ける場合,通常電線と 同等の絶縁被覆厚を確保するため,通常電線より外径を大きく する必要がある。この外径増大を考慮して,各モデルについて 6 kV OC-I 80 mm²相当で高温季台風時(960 hPa,23)の風 圧荷重を算出した結果を図7に示す。通常電線の風圧荷重を 100%とすると,16山モデルで79%,24山モデルで68%,30 山モデルで65%である。このように外径増大を考慮しても, 十分な風圧荷重低減効果が得られることが確認できた。また, 風圧荷重低減効果としては,30山モデルが最も大きい。

d) 斜風時の抗力係数測定

30山モデルにおいて,斜風時の風圧荷重低減効果を確認す るために,試料に対して風向角度を変化させながら,抗力係数 の測定を実施した。

一般に斜風による電線の風圧荷重の電線直角方向の成分は風 向角をとするとsin² に比例するとして評価されている[®]。図 8に風速40 m/sでの30山モデルの風向角に対する電線直角方 向の抗力係数の変化を示す。

図中に通常電線のsin² 計算値と30山モデルのsin² 計算値 及び実測値をプロットしている。

30山モデルの抗力係数において, sin² 計算値と実測値は一 致しており,斜風時に関して従来計算手法が適用可能であるこ とが確認された。また,風向角が変化した場合も,30山モデ ルは通常電線と比較して抗力係数が小さく,斜風時においても 風圧荷重低減効果が得られている。

e)2相配置の影響評価

30山モデルの2本の試料を用いて,風下側に位置した試料の 風圧荷重低減効果を確認した。実験は2本の試料を平行に間隔 550 mmで風洞内に設置し,前方試料,後方試料の各々の抗力 係数測定を実施した。図9に測定結果を示す。いずれも前方電 線よりも後方電線のほうが,抗力係数が低下しているのが分か る。

30山形状により電線後方の流れが乱れ,後方電線の空力特性に悪影響を及ぼすことは無いことが確認された。

後方電線の抗力係数が低下しているのは,前方電線が風を遮 るため,後方電線が受ける見かけ上の風速が低下した効果であ ると考えられる。







図9 30山モデルの2相配置時抗力係数 Drag coefficient on two 30-crest models

表1 電線種類 Cables for tests

電圧	電線種類	サイズ	
600 V	OW-I	38 mm ²	
600 V	OW-I	60 mm ²	
600 V	OW-I	100 mm ²	
6 kV	OC	5 mm	
6 kV	OC-I	80 mm ²	
6 kV	OC-W	150 mm ²	
22 kV	OC-W	150 mm ²	

3. 試作電線の特性評価

3.1 試作電線

アルミ削出モデルによる実験結果において,30山の形状が 風圧荷重低減効果が大きかったため,この形状について,実製 造設備を用いて各種サイズの電線を試作した。表1に試作した 電線の一覧を示す。

写真1に試作した低風圧絶縁電線6 kV OC 150 mm²を示す。 得られた各々の電線について 風洞実験及び降雨時の抗力測定, 難着雪特性評価を実施した。

3.2 風洞実験

試作電線の風洞実験は,図3に示した装置を用いた。風洞実



写真1 低風圧絶縁電線 Low wind pressure insulated wire

験用の試料は剛性を確保するために,一度絶縁体被覆を剥ぎ取 り,その被覆をステンレスシャフトに再度接着させたものを試 料とした。

図10に600 V OW-I 38 mm²,図11に22 kV OC-W 150 mm²の 風速-風圧荷重の関係を示す。

いずれの電線サイズにおいても,低風圧絶縁電線はアルミ削 出しモデルとほぼ同様な風圧荷重変化を示している。このこと は,実製造した電線における表面状態,寸法精度でも,アルミ 削出しモデルと同等以上の風圧荷重低減効果が得られることを 示しており,本形状が,実際の絶縁電線に十分適用可能である ことが確認された。

他の電線でアルミ削出しモデルと同等以上の風圧荷重低減効 果が得られていることを確認している。6 kV OC 5 mm につい ては,電線試料の剛性不足から風圧荷重の測定が不能であった が,アルミ削出しモデルと同等の風圧荷重(72%)が得られ ていると考えられる。

3.3 降雨時の抗力係数測定

降雨が低風圧電線に及ぼす影響を明らかにするために,降雨 を模擬して水滴を噴霧した状態で抗力係数測定を実施した。実 験は図3に示した風洞実験装置の測定洞風上側に水滴発生用パ イプを設置し,規定の降雨量を噴霧しながら,風速40 m/sで の抗力係数測定を実施した。図12に600 V OW-I 38 mm²,図 13に22 kV OC-W 150 mm²の降水量 抗力係数の関係を示す。

いずれの電線においても降水量1 mm/10分程度の降水量で 抗力係数が大きく増加し,その後降水量が増加に伴い,抗力係 数が緩やかに増加する傾向が伺える。降雨による抗力係数の増 加は,外径が小さい600 V OW-I 38 mm²のほうが大きい。降雨 時に抗力係数が増加するのは,電線表面に水滴が付着すること により,見かけ上表面形状が変化したのと同様となり,風圧荷 重低減効果が小さくなったためと考えられる。

1994 ~ 1999年のアメダス地点の10分間雨量データからする と,風速40 m/s時降雨量としては15 mm/10分を考慮すれば 十分であり,降雨量20 mm/10分で風圧荷重評価を行えば,実 際の台風時を想定しても裕度があると考えられる。

表2に降雨有無の風速40 m/sにおける風圧荷重を示す。降 雨無しの状態では,試作電線は通常電線と比較して約30%の 風圧荷重低減が可能であるが,降雨20 mm/10分の状態では, 約15%程度の風圧荷重低減となる。

3.4 難着雪特性評価

難着雪特性実験装置を図14に示す。電線試料にファンから 送風を行い,ふるい上から落とされた雪に噴霧器からの水分を 適度に含ませることにより,着雪現象を模擬する実験設備であ



図10 600 V OW-I 38 mm² 試料の風速 風圧荷重の関係 Relationship between wind pressure load and wind speed on 600 V OW-I 38 mm² samples



図11 22 k V OC-W 150 mm² 試料の風速 風圧荷重の関係 Relationship between wind pressure load and wind Speed on 22 kV OC-W 150 mm² samples



図12 600 V OW-I 38 mm² 試料の降水量 抗力風速の関係 Relationship between precipitation and drag coefficient on 600 V OW-I 38 mm² samples

る。着雪状況をビデオカメラで撮影し,電線試料の表面に付着 した雪が落下する頻度で,難着雪特性の評価を行った。

表3に各種電線の難着雪特性評価結果を示す。降雪10分間 に電線表面に付着した雪の落下回数(10分降雪実験4回の平均 値)で,難着雪特性の評価とした。

通常電線は,電線表面の雪が落下せず,筒雪状に成長したの に対し,低風圧絶縁電線及び難着雪ヒレ付電線は,雪が落下し,



- 図13 22 kV OC-W 150 mm² 試料の降水量 抗力風速の関係 Relationship between precipitation and drag coefficient on 22 kV OC-W 150 mm² samples
- 表2 試作電線の40 m/sでの風圧荷重(通常電線を100%とした場合)

Wind pressure load at 40 m/s on various insulated wires

電圧	電線種類	サイズ	降雨無し 風圧荷重(%)	降雨20 mm/10分 風圧荷重(%)
600 V	OW-I	38 mm ²	67	85
600 V	OW-I	60 mm ²	62	76
600 V	OW-I	100 mm ²	65	79
6 kV	OC	5 mm	測定不能	測定不能
6 kV	OC-I	80 mm ²	65	77
6 kV	OC-W	150 mm ²	62	73
22 kV	OC-W	150 mm ²	70	79

電線表面の雪が成長することは無かった。低風圧型と難着雪ヒ レ付電線の雪の落下回数を比較すると,低風圧絶縁電線が落下 回数が多い。このことは,低風圧絶縁電線は,従来の難着雪ヒ レ付電線と同等以上の難着雪特性を有することを示しており, 電線表面に設けた凹凸に雪の回転成長を抑制する効果があるた めと推定される。

また,径間長45mの実フィールドに試作電線を架線して, 着雪状況を評価したところ,低風圧絶縁電線は,通常電線より も難着雪特性が優れていることを確認した。

3.5 電線としての基礎特性評価

電線の表面形状を変えたことが,通常の電線としての基礎特 性に影響を及ぼさないことを確認するために,試作電線の各種 基礎特性の評価を実施した。

3.5.1 電気特性評価

すべての試作電線の絶縁抵抗測定,商用周波耐電圧試験,商 用周波破壊電圧試験,耐トラッキング試験(OCのみ)を実施 した結果,通常電線と同等の特性を有していることを確認し た。

3.5.2 架線作業性評価

試作電線の架線作業性評価として,6 kV OC 150 mm²及び6 kV OC 80 mm²を用いて,皮剥治具,ホットプラー,シメラー等の装注金具の適合性評価及び実際に架線作業を実施した結果,通常電線と同等の取り扱いが可能で有ることを確認した。



図14 難着雪特性実験装置 Equipment for snow resistant property test

表3 各種電線の難着雪特性評価結果

Test result of snow resistance tests on various insulated wires

	電圧	電線種類	サイズ	10分間での 雪落下回数		
低風圧 絶縁電線	6 kV	OC	5 mm	2.5回		
	6 kV	OC-I	80 mm ²	1.5回		
	6 kV	OC-W	150 mm ²	2.0回		
難着雪ヒレ付	6 kV	OC	60 mm ²	0.8回		
通常	6 kV	OC	5 mm	落下せず*		

*通常電線は雪が落下せず。筒雪状に成長した。

3.5.3 付属品適合性評価

22 kV OC 150 mm²及び6 kV OC 80 mm²及び5 mmの試作電 線と融着ジョイントカバー,収縮ジョイントカバー等の架空用 付属品の適合性を評価した結果,ほとんどの部品は現行のまま で適用可能であることを確認した。

4. フィールド検証試験

6 kV OC 150 mm² 及び6 kV OC 80 mm²の試作電線及び通常 電線を用いて,フィールド検証試験を和歌山県潮岬にて実施し た。

写真2にフィールド検証試験状況を示す。

平成12年から13年にかけての12月~1月で風速約25 m/sの 風(電線直角方向成分)を観測した。図15に最大風速を観測 した時刻近傍について,6kV OC 150 mm²の試作電線と通常電 線における風速と最大張力の関係を示す。低風圧形状による張 力の低減効果は,風速18~20 m/s以上から確認でき,最大張 力で約5%の低減効果が図られている。

低風圧効果が現れ始める風速域は,風洞実験とほぼ一致して おり,試作電線の風圧荷重低減効果をフィールド実験により確 認できた。

5. まとめ

電線表面に凹凸を設けた種々の形状について空力特性を評価 した結果,架空配電線である絶縁電線に適用しても風圧荷重低 減効果が大きい形状を見出した。実際の製造設備で低風圧絶縁



図15 風速と最大張力の関係 Relationship between wind velocity and maximum tension of insulation wires



写真2 フィールド検証試験状況 Field inspection test

電線を試作し、空力特性評価と難着雪特性評価を実施した結果, 通常電線と比較して15%以上の風圧荷重低減効果を有してい ることを確認した。また,本電線は難着雪特性も優れているこ とが確認された。一部のサイズの電線については,電線として の基礎特性(電気特性,架線作業性,付属品適合性)が通常電 線と同等であることを確認している。

参考文献

- 石窪等、「架空送電線の低風圧化に関する検討」、平成7年度電気学会・エネルギー部門大会、p580(1995)
- 2) 石窪等,「架空送電線の低風圧化に関する検討(その3)」,平成 8年度電気学会・エネルギー部門大会, p753(1996)
- 3)石窪等、「架空送電線の低風圧化に関する検討(その3)」平成9 年電気学会電力・エネルギー部門大会、p776(1997)
- 4) 鳶原等,「表面に円弧状の溝がある円柱まわりの流れ」,可視化 情報, Vol.10, No.1, p73 (1990)
- 5) 江口等,「水流動試験による電線の風圧荷重低減化のメカニズ ム解明」電力中央研究所報告U96050(1997)
- 6) 電気学会電気規格調査委員会:送電用支持物設計標準JEC-127-1979

— 44 —