

大 束 径 6 導 体 送 電 線 の 開 発

静岡支店 工務部長 (前工務部 次長)

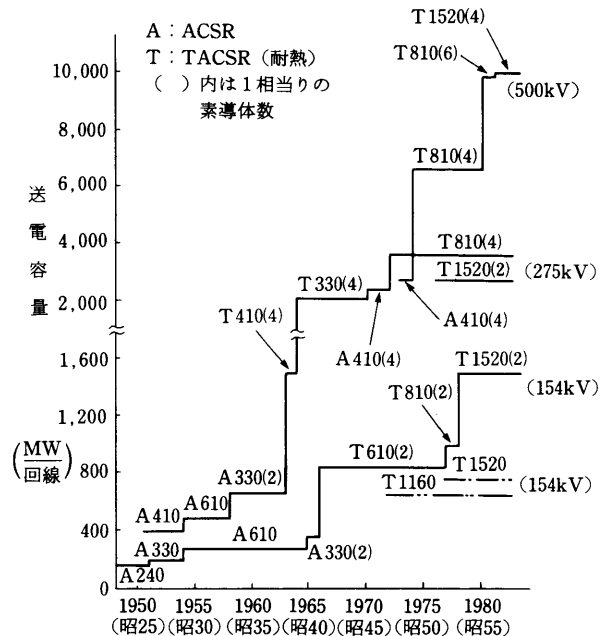
森下 正三



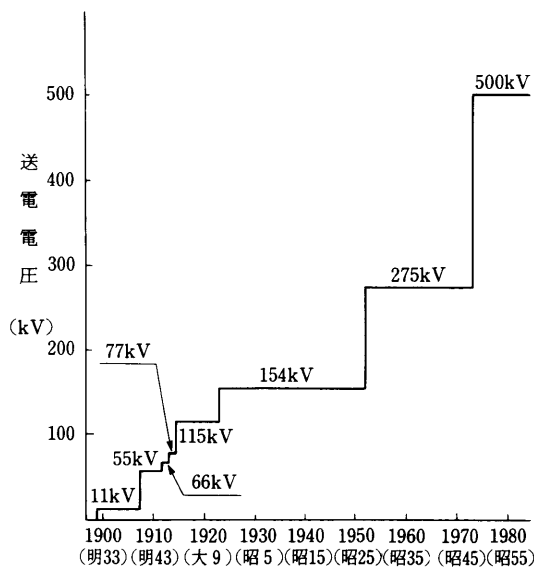
1 送電容量の増加

最近の基幹送電線は、電源の大容量化、遠隔化に伴い、大電力の長距離送電の必要性がますます高まってきている。

このために、第1図および第2図に示すように年々送電電圧が高電圧化するとともに電線規模も太線化、多導体化が図られ、現在は500kV送電線が北海道を除いて全国的に建設されている。



第2図 送電線規模の変遷 (熱容量)



第1図 送電電圧の変遷

一方、長距離送電線は、系統安定度によって送電容量が制限され、この安定送電容量Pmaxの大略値は次式により求めることができる。

$$P_{max} = \frac{E_1 E_2}{X} \sin \theta$$

E₁ : 送電端電圧

E₂ : 受電端電圧

X : 送受両端間のインダクタンス

θ : E₁ と E₂ の電圧位相差

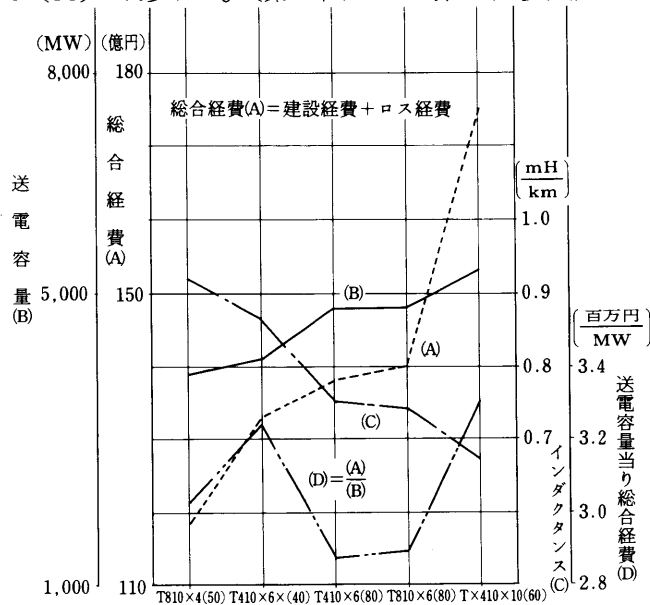
このため系統安定送電容量を増大させるために

- (1) 線路インダクタンスの低減
- (2) 直列コンデンサの設置
- (3) 中間開閉所の設置
- (4) 送電電圧の高圧化

などを総合的に検討し、より合理的な送電線を建設することが重要である。

このうち線路インダクタンスは、注(1)に示すように素导体径、素导体数および素导体間隔を大きくすることによって低減することができるが、これらは建設コストを増高する要因になるため、系統安定送電容量当たりの総合経費で判断する必要

がある。伊勢幹線の送電線規模を検討した結果、TACSR410mm² 6 導体、素導体間隔80cm（以降T410×6(80)と略記）、T810×6(80)およびT410×10(60)の3方式が考えられ、この中で送電容量当たりの総合経費が最も小さいものがT410×6(80)であった。（第3図および第1表参照）



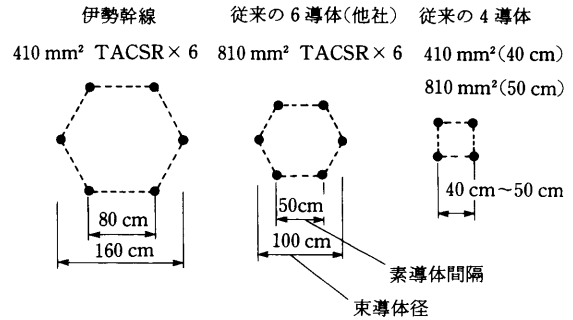
第3図 送電容量と総合経費

第1表 伊勢幹線の規模比較

電線規模	T 8 1 0 (4)		T 4 1 0 (6)	
	無し	有り	無し	有り
中間開閉所有無	無し	有り	無し	有り
線路インダクタンス (Ω/km)	0.317 (素導体間隔 50cm)		0.252 (素導体間隔 80cm)	
熱容量 (万kW)	100%		80%	
安定度面からの送電容量 (万kW)	660	530	480	650
建設費の比率	100%	136%	123%	167%
建設費 安定送電容量	100%	87%	100%	84%
導体配列				

この方式は、第4図に示すように、従来の4導体および他社の6導体の導体方式と比較して束導

体径が大きいことから、大束径6導体と称した。

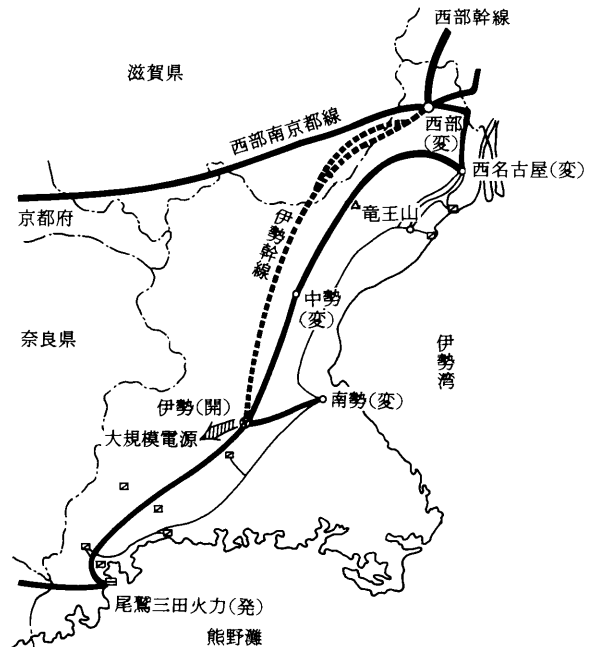


第4図 導体構成の比較

2 500kV伊勢幹線の概要

500kV伊勢幹線は、三重県南部方面に開発が予定されている大規模電源の発生電力を輸送するため、当社500kV基幹送電線の一環として計画された送電線で、57年4月に着工し、62年6月竣工目途に目下工事中である。

本送電線の工事概要を第5図および第2表に示す。



第5図 伊勢幹線の概要

第2表 工事概要

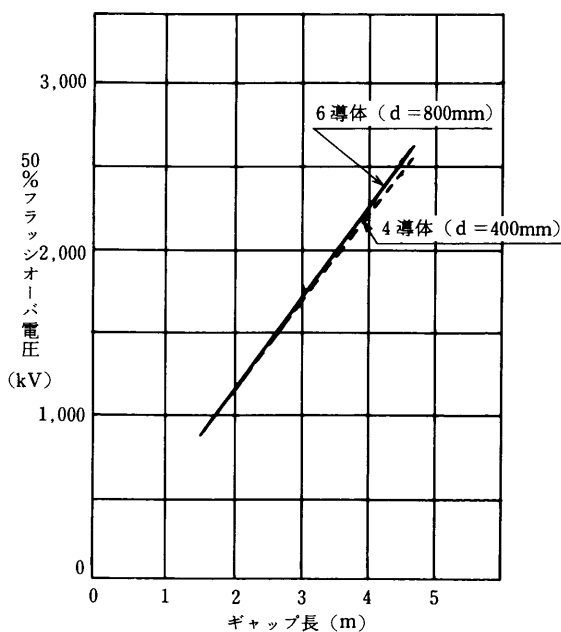
区 間	伊勢開閉所～西部変電所		
亘 長	94.3km (内2ルート区間は24.1km)		
電 圧	275kV (500kV設計)		
回線数	2回線 (一部1回線2ルート)		
支持物	鉄塔280基 (内1回線鉄塔112基)		
電 線	TACSR	410mm ²	6 導体
地 線	IACSR	150mm ²	2 条
がいし	280mm	懸垂がいし	25～32個/連
	320mm	懸垂がいし	22～29個/連
	340mm	懸垂がいし	21個/連

3 研究成果

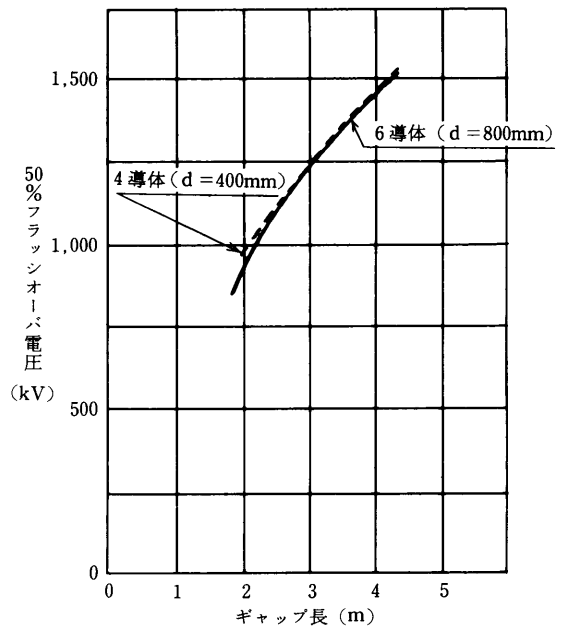
(1) 電気的特性

ア サージ閃絡特性

電中研UHV塩原実験場において、6導体の雷インパルスフラッシュオーバ特性および開閉インパルスフラッシュオーバ特性の実規模試験を実施し、6導体は、従来の4導体と同等の特性であることを確認し(第6図、第7図参照)、サージ閃絡特性に関しては従来と同様の考え方を適用できることが分かった。

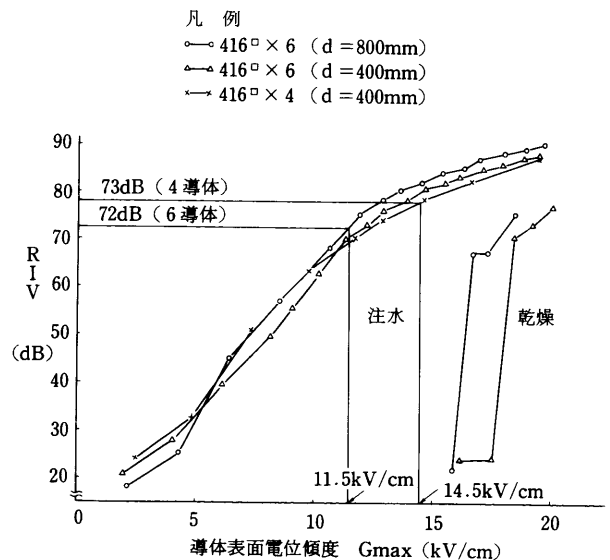


第6図 雷インパルスフラッシュオーバ電圧



第7図 開閉インパルスフラッシュオーバ電圧
イ コロナ特性

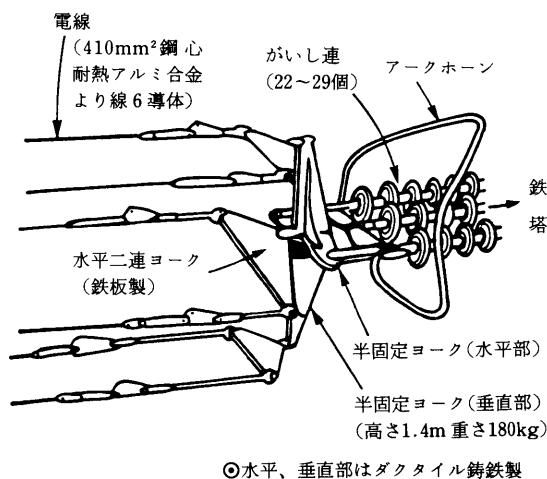
日本碍子㈱超高压ホールにおいて、6導体のコロナ雑音(RIV)特性および可視コロナ消滅電圧を測定し、6導体のRIVレベルは、従来の4導体に比べて低く、問題の無いことを確認した。



第8図 コロナ雑音レベル

(2) 機械特性

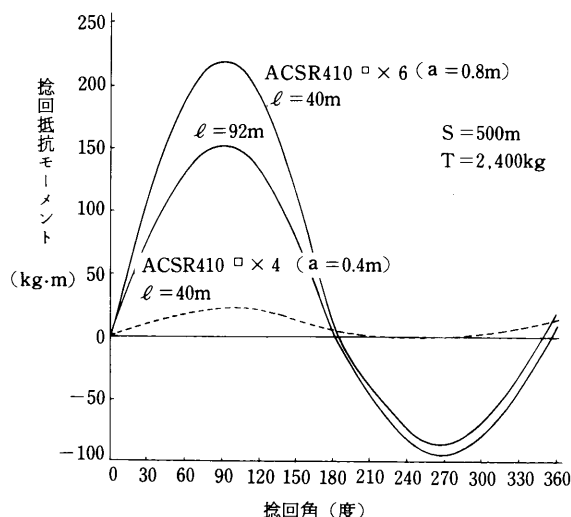
伊勢幹線では、第9図に示すようにライン側ヨークを固定式、可動式の利点を兼ね備えた半固定式とした大束径6導体3連耐張装置を開発するとともに、以下の事項について確認した。



第9図 半固定式ライン側ヨーク

ア 捻回復元特性

第10図は6導体の捻回特性の実規模試験結果を示したものである。6導体は捻回の発生する可能性がほとんど無いことから、スペーサ取り付け間隔については、従来の4導体と同等でよいことを確認した。



第10図 大束径6導体と4導体の捻回抵抗モーメント

イ 微風振動特性

6導体の微風振動状態を長期間観測し、6導体の微風振動レベルは単導体の1/5~1/6程度であること、スペーサ把持部および引留クランプロ元の電線歪みが許容値以内であることを確認した。従って、6導体は基本的に特別な防振対策は不要であるとの見通しを得た。

ウ ギャロッピング基本特性

6導体のギャロッピングは、D型断面人工着氷によるフィールド観測および模型(模型比1/1~1/3)を用いた風洞試験により従来の4導体以下となる見通しを得、竜王山試験線の実証試験で確認を得るに至った。

(3) 竜王山試験線における実証試験

大束径6導体送電線の実証試験ならびに電線異常振動現象の把握とその対策の確立を目的として伊勢幹線ルート付近で最も冬季気象条件の厳しい竜王山に実規模試験線を建設し、54年12月から58年4月までの4年間にわたり観測を実施した。

この観測の結果、大束径6導体は従来の4導体に比べギャロッピングは発生しにくく、かつその振動規模も小さいため、耐ギャロッピング設計面では有利であることが分かったが、反面サブスパン振動は、激しい振動が発生しスペーサ間隔およびスペーサ荷重設計の大きな決定要素となることが明らかとなった。

ア 試験項目

- 気象諸条件の観測と設計諸量の確認
- 電線異常振動現象の把握と対策
- 素導体配列、間隔の検討
- スペーサ構造、最適配置の検討
- がいし装置の構造と機械的諸特性の検討
- 鉄塔の発生応力の検討

イ 試験設備および観測項目

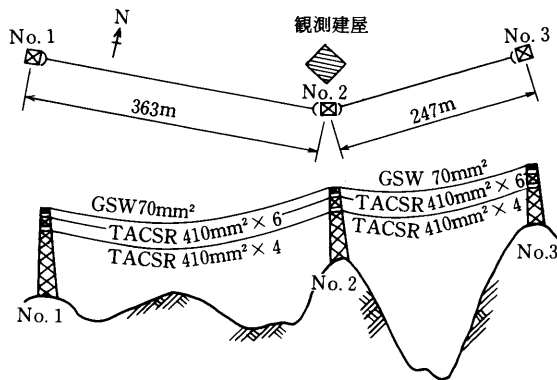
試験設備の概要を第3表、第11図に、観測項目を、第4表に示す。

観測は長期間にわたる多数のデータを迅速かつ確実に処理するため現地にミニコンピュータを導

入し、また電線の運動軌跡の追跡は、ITV 解析システムなど最新装置を採用した。

第3表 竜王山試験線設備概要

供試設備	設 備 概 要
支持物	鉄塔 (引留設計)
径間数	2 径間 (No.1 ~No.2 間363m No.2 ~No.3 間247m)
電 線	上相TACSR410mm ² 6導体×1相×2径間 下相TACSR410mm ² 4導体×1相×2径間
がいし装置	上相320mm (33t) がいし 3 連耐張装置 下相320mm (33t) がいし 2 連耐張装置
地 線	(IACSR150mm ² , GSW70mm ²) 1 条×2



第11図 竜王山試験線平面・縦断

ウ 観測結果

(ア) 気象と着氷

4年間の気象観測各項目の最大値を第5表に示す。観測結果は、架空地線の着氷量が当初の設計値 (3.18kg/m) を上回ったのみで、他の項目は設計値以内であった。

多導体の電線着氷は風上側に向かって海老のシッポ状に付着し、着氷量が多くなると偏心荷重や動揺により部分脱落し飽和する傾向を示す。

一方、架空地線のような単導体の着氷は樹氷型に付着した着氷の偏心荷重で電線が捻回し円筒状に発達することが分かった。(第12図、第13図、第14図参照)

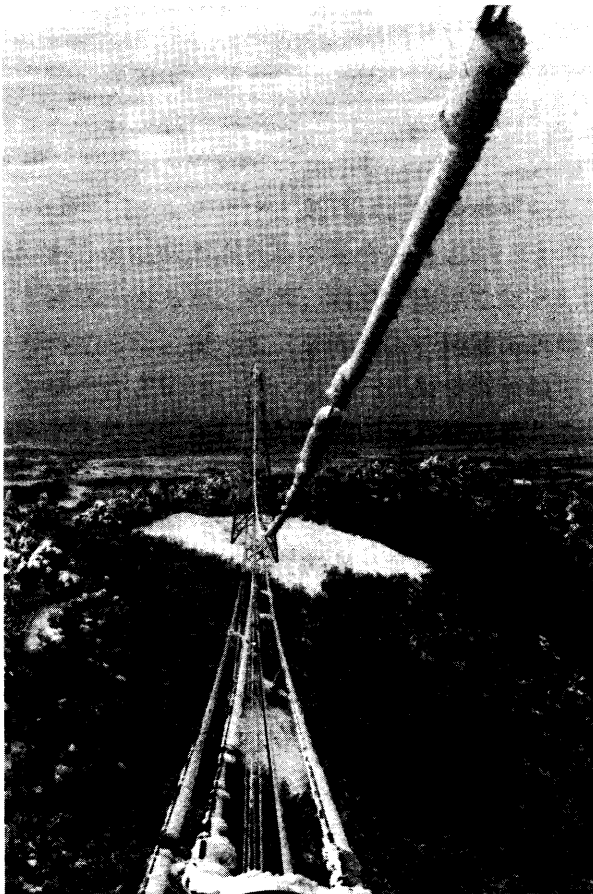
第4表 観測項目

観測項目	目 的
一般気象	<ul style="list-style-type: none"> ○ 一般気象条件の把握 ○ 異常振動などが発生する気象条件の把握 ○ 異常振動現象と気象との相関関係の把握 ○ 着氷現象の把握
電線	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異常振動現象の把握と対策 ○ 素導体配列、間隔の検討 ○ スペース設計条件の確立 ○ スペース間隔の検討
がいし・金具	<ul style="list-style-type: none"> ○ 異常振動現象の把握と対策 ○ がいし装置の構成の検討 ○ がいし装置の強度、疲労摩耗など設計条件の確立
鉄塔	<ul style="list-style-type: none"> ○ 鉄塔に発生する応力の解明

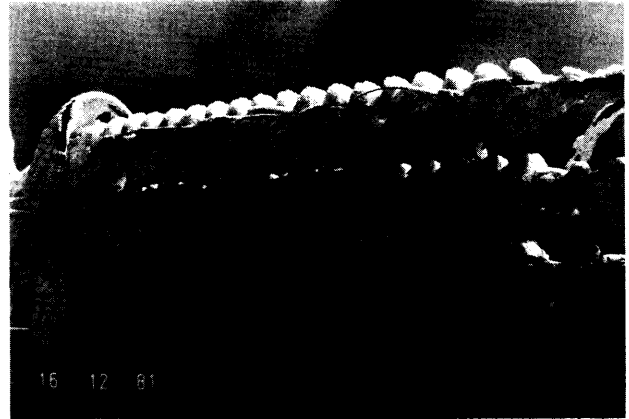
第5表 観測結果

項 目	観 測 値	
最低気温	-13.0℃	
主風向	NNW	
風 速 (10分間平均)	着氷時 16.5 m/s 無着氷時 29.1 m/s	
着 氷	総着氷時間	1,000 h
	サンプラー着氷量 (水平)	3.9 kg/m.
	雪線着氷量	3.5 kg/m
	地線着氷量	6.8 kg/m
	ギャロッピング発生可能時間 (V > 7 m/s)	150 h (4冬平均)

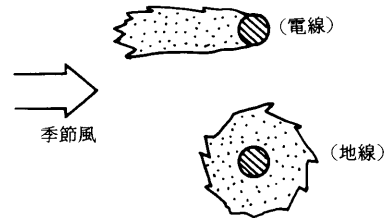
この架空地線の重着氷防止対策として捻回防止用ダンパーを取り付けて検証した結果、取り付けない場合に比べ着氷脱落時期が早まり、その効果を実証されたが、異常振動や強風時にダンパーの捻転が発生する場合もあることが分かった。



第12図 電線・地線への着氷



第13図 がいしへの着氷



第14図 着氷発達状況

第6表 ギャロッピングの運動軌跡

		自然着氷		人工着氷
		6 導体	4 導体	6 導体
気象	風速	平均最大 12.5m/s	11.5m/s	20.0m/s
		瞬時最大 14.3m/s	14.0m/s	25.0m/s
	着氷量	0.3kg/m	0.5kg/m	0.94kg/m
電線	最大張力	3,600kg/条	5,980kg/条	5,400kg/条
	最大張力変動	2,050kg/条	3,000kg/条	2,240kg/条
振動モード		擬似基本	擬基+2ループ	2ループ

(イ) ギャロッピング

電線が着氷等で断面が非対称となりこれが一様の風にさらされると電線に揚力が発生し、大振幅の電線振動となる場合がある。この現象をギャロッピングという。

自然着氷および人工着氷（海老のシッポ状）によるギャロッピング観測から、6導体のギャロッピングは従来の4導体に比べ発生しにくく、張力変動も小さいことが分かった。（第6表参照）

(ウ) サブスパン振動

ギャロッピングが径間全体の異常振動であるのに対して、サブスパン振動はスペーサ間での異常振動で、前者をスパンギャロッピング、後者をサ

ブスパンギャロッピングとも呼ぶ。

観測から、6導体のサブスパン振動は、従来の4導体より発生しやすい傾向にあり、激しい振動によるステッキング（素導体どうしの接触）を起こす場合もあることが分かった。

エ 伊勢幹線実施設計への反映

観測結果より次の事項を実施設計に反映した。

- (ア) 竜王山付近の架空地線着氷量が最大6.8kg/mとなり、当初の設計値を上回るため、一部区間の架空地線の着氷設計を見直した。
- (イ) 耐ギャロッピング特性では、6導体は従来の4導体より良好であるが、送電線の重要性、6導体の実績が無いこと等の理由から4導体相当の設計とした。
- (ウ) 6導体のサブスパン振動特性から、ステッキングの防止、電磁力による吸着防止および耐捻回性能を考慮して竜王山付近の最大スペース間隔を一般地区の60mから45m程度に抑制した。

5 あとがき

今後、電源立地の大容量、遠隔化からますます大容量長距離送電線の必要性が高まると思われ、今回大束径6導体送電線開発で得られた技術を土台としてさらに合理的、かつ信頼度の高い送電線の研究開発を進めたい。

注(1) 線路インダクタンスの計算式

$$L = 0.4605 \text{ LOG } \frac{D}{\text{Re}} + \frac{0.05}{n}$$

D : 導体配置による相関幾何平均距離

Re : 等価半径

$$\text{Re} = K \sqrt[n]{r \cdot a^{n-1}}$$

$$K = \sqrt[n]{\frac{n}{(2\sin(\pi/n))^{n-1}}}$$

n : 素導体数

r : 素導体半径

a : 素導体間隔

参考文献

- 1 研究報告書
6導体送電線の開発 (57.3)
中部電力株式会社 工務計画部
- 2 伊勢幹線6導体実証共同試験報告書 (58.7)
中部電力株式会社 中央送変電建設所
- 3 CIGRE (SC-22:1984) 大会提出論文
大束径多導体送電線におけるギャロッピング
の観測結果と実設計への反映
中部電力株式会社 森下他