

カーボンファイバ心アルミより線の開発

Development of Aluminium Conductor Carbon Fiber Reinforced

佐藤 文哉* 蛭子 洋年
Fumiya SATO Hirotoshi EBIKO

送電線の弛度抑制対策として、線心部にカーボンファイバを用いたカーボンファイバ心アルミより線を開発した。この新型の電線は、従来のACSRに比べて軽く、高温時の伸びが小さいため、平常時から高温での運用時に亘って弛度を低減することができる。地上高や線下物との離隔の懸案を抱えた既設送電線において、この電線を採用することにより、鉄塔の建替や改造を回避することが可能である。今回、TACSRと同一の電流容量を確保した耐熱タイプの新型電線も併せて開発しており、既設送電線がACSRの場合、この耐熱タイプの電線に張り替えることにより、弛度抑制と送電容量の増加を図ることができる。

Aluminium conductors carbon fiber reinforced which used carbon fiber for the core part have been developed as the way of reducing the conductor's sag. This new conductors have advantages of lighter weight and less linear expansion than conventional ACSR, which makes it possible to reduce the sag. For existing overhead transmission lines with the problem of the clearance under conductors, the reconstruction or remodeling of the steel tower can be evaded by adopting this conductors. If the new conductors with thermal resistant property is used, not only the sag reduces but also it works for the increase in transmission capacity as well.

1. はじめに

架空送電線路において、その周辺環境の変化により、電線と線下物との離隔が不足するケースがある。対応策として、鉄塔の移設や建て替えあるいは改造により離隔を確保する方法が用いられている。しかしながら、用地上の制約や鉄塔に関わる建設費の観点から電線の張り替えだけで離隔の不足を解消できれば、最も効果的である。

そこで、従来のACSRと外径、強度ともに同等で、特殊な工具、工法の必要がない低弛度電線：カーボンファイバ心アルミより線を開発した。この低弛度電線は、従来ACSRの鋼心部をカーボンファイバを使用した複合材ケーブルに置き換えたもので、軽量かつ線膨張が少なく弛度特性に優れた画期的電線である。

2. 低弛度電線の構造

開発した低弛度電線は、表1に示すように、カーボンファイバ心アルミより線（以下、ACFRという）と耐熱タイプの耐熱カーボンファイバ心耐熱アルミ合金より線（以下、TACFRという）の2種類で、アルミ断面積が160 mm²に相当する。既設送電線路での使用を考慮して、電線構造および外径寸法は従来のACSRと同一としている。

3. 複合材ケーブルの性能

従来電線の鋼心部に相当する複合材ケーブルは、主に炭素繊維と熱硬化性樹脂から構成されている。

複合材ケーブルの製造工程を図1に示す。PAN系炭素繊維を原料とした直径7 μのフィラメント、12000本束にマトリックスとなる未硬化状態の熱硬化性樹脂を含浸させたもの（プリプレグと呼ぶ）を所定本数より合わせ、さらに有機繊維を巻き付け被覆する。これがACSRの鋼素線に相当する。次にこの素線を7本より合わせ、最終工程の熱処理を経てマトリックス樹脂を完全硬化させることによって複合材ケーブルが完成する。

複合材ケーブルの特性を表2に示す。従来の鋼より線と比較して、質量で約1/5、線膨張係数では約1/12となっている。また、複合材ケーブルは使用するマトリックス樹脂の耐熱グレードにより2種類に区分されている。しかし、耐熱性を除く、引張特性、線膨張特性、疲労特性、クリープ特性、耐腐食性等は同等の性能を有している。以下におもな性能評価結果を述べる。

3.1 引張特性

CF 7.8 mm及びTCF 7.8 mmの引張強さは、表3に示す引張試験結果から分かるように、ACSRに使用される同サイズの亜鉛メッキ鋼より線（外径7.8 mm [構成：7本/2.6 mm]）よりも上回っており十分な強度がある。複合材

* 東北電力株式会社電力システム部

表1 低弛度電線の諸元

種類	低弛度電線			標準電線		
	ACFR	TACFR	ACSR (参考)	TACSR (参考)		
記号						
公称断面積 (mm ²)	160	160	160	160		
断面図						
より線構成 (本/mm)	導電部	AL 30/2.6	TAL 30/2.6	AL 30/2.6	TAL 30/2.6	
	線心部	CF 1/7.8	TCF 1/7.8	ST 7/2.6	ST 7/2.6	
最小引張荷重 (kN)	68.9	68.9	68.4	68.4		
最高使用温度 (°C)	連続	90	150	90	150	
	短時間	120	180	120	180	
参考値	計算断面積 (mm ²)	196.5	196.5	196.5	196.5	
	外径 (mm)	18.2	18.2	18.2	18.2	
	計算質量 (kg/km)	502.5	502.5	732.8	732.8	
	直流電気抵抗 (20°C) (/km)	0.182	0.185	0.182	0.185	
	弾性係数 (N/mm ²)	遷移点以下	76,000	76,000	89,100	89,100
		遷移点超	137,000	137,000	206,000	206,000
	線膨張係数 (× 10 ⁻⁶ /°C)	遷移点以下	15.5	15.5	18.0	18.0
遷移点超		1.0	1.0	11.5	11.5	

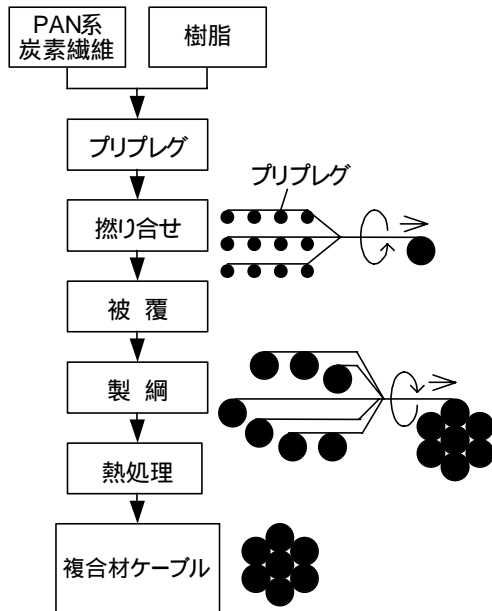


図1 複合材ケーブルの製作工程

表2 複合材ケーブルの特性

項目	諸元		
	複合材ケーブル		鋼より線
種別	普通	耐熱	-
耐熱グレード	普通	耐熱	-
記号	CF	TCF	-
より線構成 (本/mm)	7/2.6		7/2.6
計算断面積 (mm ²)	37.16		37.16
外径 (mm)	7.8		7.8
質量 (kg/km)	61.0		291.3
引張荷重 (kN)	57		44
弾性係数 (N/mm ²)	137,000		206,000
線膨張係数 (× 10 ⁻⁶ /°C)	1.0		11.5

表3 複合材ケーブルの引張強さ

種類	引張強さ (破断荷重)[kN]
CF (普通型) 7.8mm	69.4, 65.9, 66.9, 70.0, 69.4 [平均68.3 (n=5)]
TCF (耐熱型) 7.8mm	68.6, 66.1, 64.5, 66.2, 65.7 [平均66.2 (n=5)]
(参考) Stより線 (7.8mm)	54.9, 55.5, 54.8, 54.6, 54.1 [平均54.7 (n=5)]

ケーブルの常温における応力 - 伸び特性を図2に示す。破断時の伸びは1.6%程度と鋼線に比べて小さくなっている。また、破断に至るまでほぼ弾性体としての特性を示し、塑性変形領域が見られない。応力 - 伸びの勾配から得られる弾性係数は約137GPaである。

3.2 耐熱性

複合材ケーブルの耐熱性能は、以下に示す加速熱劣化試

験により評価した。加熱による強度残存率の許容限界値をアルミ線と同様に90%として、温度と各温度における限界値に到達するまでの時間の関係をプロットしたのが図3である。同図より、外挿法によって電線寿命(36年)及び400時間に対する温度は表4のように示される。

これらの許容温度は、硬アルミ線及び耐熱アルミ合金線と同等である。

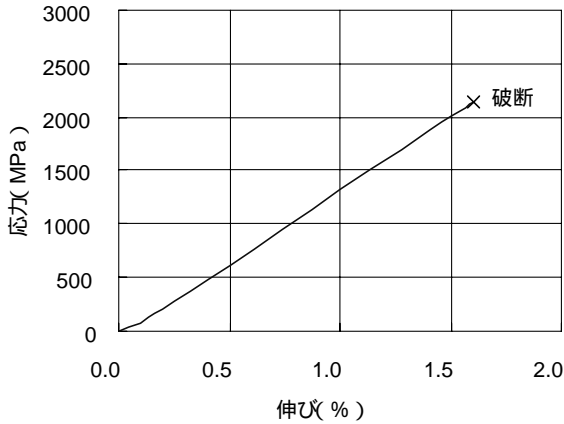


図2 複合材ケーブルの応力 伸び特性

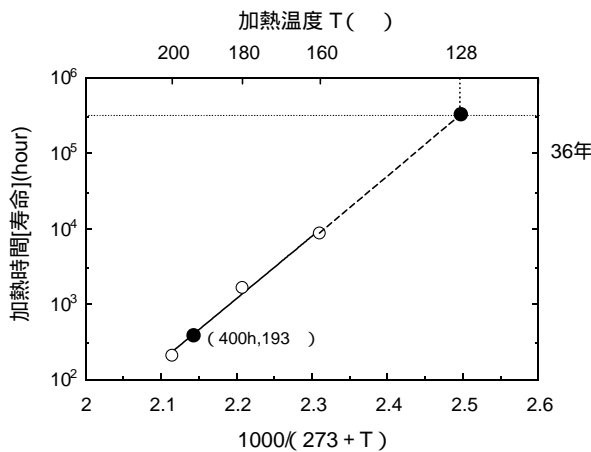
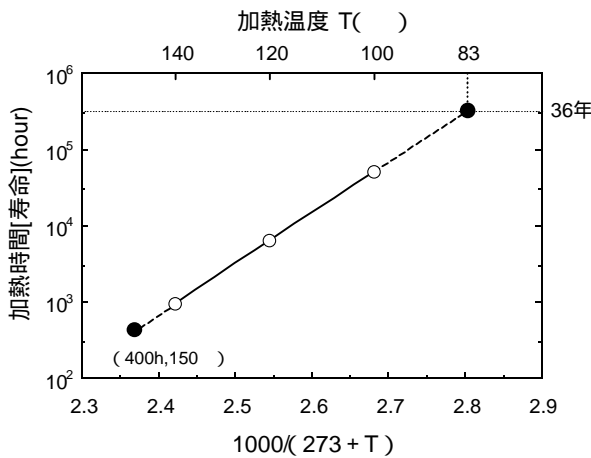


図3 複合材ケーブルの耐熱性能

表4 複合材ケーブルの寿命と温度

種類	引張強さが10%低下する温度(°C)	
	CF	TCF
加熱時間		
連続(36年)	83	128
短時間(400時間)	150	193

3.3 線膨張係数

複合材ケーブルの線膨張係数は20 ~ 200 の温度範囲において $0.5 \sim 0.6 \times 10^{-6}/$ 程度である。図4に温度 - 伸び特性の測定結果を示す。

4. 低弛度電線の性能

低弛度電線の主な性能試験結果を表5に示す。ここでは、温度 - 弛度特性及びフィールド試験の結果について述べる。

4.1 温度 - 弛度特性

低弛度電線の弛度低減効果を確認するため、実規模径間における温度 - 弛度特性を調査した。試験径間は径間長が約172 mで、TACFR160 mm²及びTACSR160 mm²を並列に架線し、通電回路をループ状に設置した。通電による温度と弛度の測定結果を図5に示す。弛度はアルミの分担張力が全て複合材ケーブルに移行する遷移点温度付近も含め計算値と良く一致しており弛度低減効果が確認された。

4.2 フィールド試験

実証試験として、ACFR及びTACFRを気象条件の厳しいむつ試験線(青森県下北郡横浜町)に約2年間架線し、自然環境下での張力変動、着雪状況及び電線付属品との適合性などを検証した。架線条件を表6に、気象条件及び電線張力を表7に示す。また、試験終了後の特性調査結果を表8に示す。なお、引留クランプには後述するACFR用に開発した圧縮型クランプを使用した。

架線中、電線には異常な着氷雪、振動による動揺及び過大なクリープ伸び等は観測されなかった。また、試験後の特性調査結果より、電線の性能劣化は認められなかった。

5. 金具及び付属品

複合材ケーブルは鋼心と比較して圧潰力に弱いため、ACSR用の圧縮形引留クランプや直線スリーブなどのよう

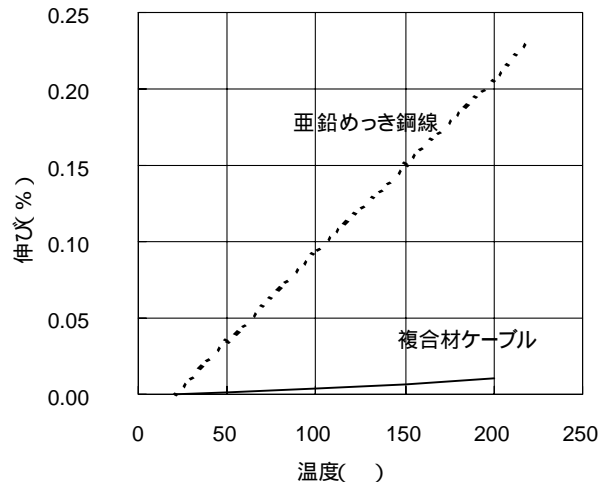


図4 複合材ケーブルの温度 伸び特性

表5 低弛度電線 (ACFR 160 mm²) の性能

試験項目	試験内容	結果
引張荷重	試料長 1000 mm 以上	118.6 ~ 127.6%UTS (n = 5)
クリープ	室温, 20%UTS	ACSR と同等。
振動疲労	室温, 20%UTS	疲労限は ACSR と同等。 破断状況は, ACSR と同様に初めにアルミ線が破断。解体後の複合材ケーブルには異常はない。
金車通過	金車: 450 張力: 20%UTS 抱角: 60度 通過回数: 20回	外觀, ニッキング等異常なし。 20回通過後の強度低下ほとんどなし。
耐腐食性	塩水噴霧 (濃度 5%, 温度 35 , 時間 1000h) SO ₂ (濃度 100 ppm [RH: 96 ~ 98%], 温度 40 , 時間 1000h)	ACSR では鋼線に接するアルミ線の強度が低下しているのに対し, ACFR では強度低下がなく耐腐食性に優れている。

表6 フィールド試験の架線条件

電線種類	ACFR160 mm ²	TACFR160 mm ²
径間長 (m)	297	282
最大使用張力 (kN)	25.5	
高温季荷重	980MPa, 15	
低温季荷重	490MPa, - 15 , 9mm スリット (0.9)	

表7 フィールド試験中の気象条件と電線張力

気 温 ()	最大 33.0, 最小 - 13.1	
風 速 (m/s)	(最大瞬間) 最大 32.9, (10分間平均) 最大 20.3	
電線張力 (kN)	最大 11.2	最大 14.1
	最小 6.1	最小 6.3

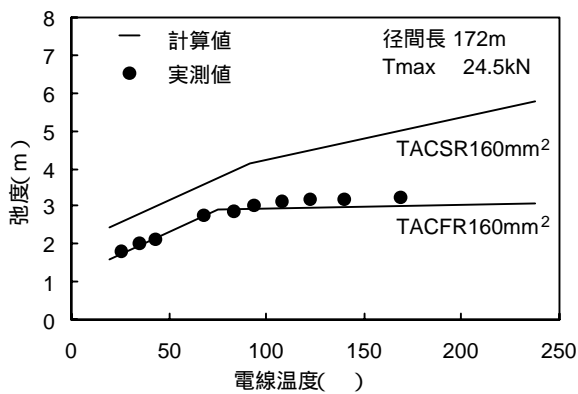


図5 低弛度電線の温度 弛度特性測定結果

表8 フィールド試験後の性能調査結果

電線種類	ACFR160 mm ²	TACFR160 mm ²
電線外觀	異常なし	異常なし
付属品把持部の状況	異常なし	異常なし
引留クランプ内部の状況	異常なし	異常なし
アルミ素線の残存強度 ^(注)	98.6%	100.3%
複合材ケーブルの残存強度 ^(注)	107.4%	102.4%

注) 残存強度は架線前の引張荷重に対する比率を表す。

に鋼心部を単独で圧縮するような付属品は使用できない。

5.1 引留クランプ

複合材ケーブルへの圧潰力を軽減するため、スリーブの構造は複合材ケーブルとアルミ線部を一度に圧縮するワンピース型とした。電線の把持力とアルミスリーブの強度を高めるためにスリーブの長さを ACSR 用よりも長くしている。その分、電流密度は十分に確保されている。図6に ACFR 用圧縮形引留クランプの構造を示す。なお、直線スリーブも同様の考え方で設計している。

5.2 ダンパ

ACFR に従来の ACSR 用ダンパを取り付け、強制振動試験を実施しダンパ取り付け部の電線強度を確認したが、異常は認められなかった。ただし、電線自身の振動吸収エネルギーが ACSR に比べ小さいため、取り付け個数は個別に検討が必要である。

5.3 その他の付属品

懸垂クランプおよびアーマロッドについては ACSR 用のものが使用できる。

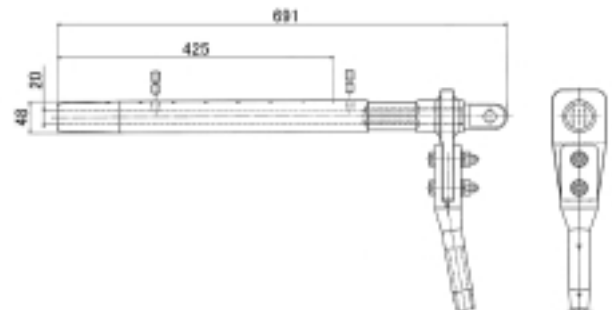


図6 ACFR 用圧縮型引留クランプの構造

6. 施 工

6.1 工 法

従来の張力延線工法を適用する場合、延線クランプ端部で電線に生じる曲げを考慮して、表9に示す延線条件を満足する必要がある。なお、延線クランプは圧縮形構造で引留クランプ同様に従来の ACSR 用のものに比べて若干大きなものとなっている。抱角が30度を越える場合には ACSR 用クランププロテクタを装着することにより表10に示す従来と同様の架線条件を適用することができる。

6.2 工 具

カムアロングは従来の ACSR 用のものが使用できる。

表9 低弛度電線の延線条件

項目	条件
延線張力	最大20%UTS
金車径	600 mm
抱角	最大30度
金車通過回数	最大20回

表10 ACSR用クランププロテクタを装着した場合の延線条件

項目	条件
延線張力	最大20%UTS
金車径	450 mm
抱角	最大60度
金車通過回数	最大20回

7. あ と が き

既設架空送電線路の地上高や離隔不足に関する問題に対して、既存の鉄塔はそのまま、電線の張り替えだけで対策可能な低弛度電線（ACFR及びTACFR）を開発した。本電線は基本的構造が従来のACSRと同等であることから、既設のがいし装置および付属品も流用することが出来、また従来工具での施工が可能である。ACSRからTACFRへの張り替えでは弛度の低減と送電容量の増加が期待できる。さらに、鋼心の代わりに複合材ケーブルを使用しており、ACSRよりも耐腐食性の面で優れていることが確認できた。すでに、離隔確保を目的として実線路への適用が検討されており、今後の普及が期待される。

最後に、研究・開発に多大なご協力を頂いた東京製綱株式会社及び三和テッキ株式会社の関係各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

1) "Technical Data on CFCC", Tokyo Rope Manufacturing Co., Ltd. Oct. 1993



佐藤 文哉(さとう ふみや)
東北電力株式会社 電力システム部(送電)
1988年入社
送電設備の計画業務に従事



蛸子 洋年(えびこ ひろとし)
電力ユニット 架空電線部 技術課 主査
1988年入社
電線の設計および開発業務に従事