

風荷重に対する配電線把持部の曲げ疲労強度に関する検討

電力中央研究所 正会員 ○早田 直広
電力中央研究所 正会員 石川 智巳

1. はじめに

風によって配電線が横振れする場合、把持部には張力と曲げによる繰返し応力が生じるため、疲労損傷の発生が懸念される。本研究では、配電線把持部の曲げ疲労試験を行い、公称応力に基づき疲労強度を評価した。

2. 公称応力の評価方法

図1、表1に対象電線の断面と諸元を示す。導体は1層のアルミより線と中心のアルミ覆鋼線(AC線)で構成される。AC線とアルミ線の公称応力 σ_{AC} 、 σ_{AL} は、導体に作用する張力 T と曲げモーメント M により次式で算出される。

$$\sigma_{AC} = \frac{E_{AC}T}{EA} + \frac{E_{AC}M}{EI} \cdot \frac{d_{AC}}{2}, \quad \sigma_{AL} = \frac{E_{AL}T}{EA} + \frac{E_{AL}M}{EI} \cdot y_{AL} \quad (1)$$

曲げ剛性 EI は断面2次モーメントによって決まる成分 EI_s と、張力の増大に伴う幾何剛性成分 EI_t に分けられる。 EI_s は素線間の摩擦力により、次の範囲で定義される。 $(\alpha_i$:各素線と導体全体の中立軸間の距離)

$$EI_{s,min} = \frac{\pi}{64} \sum_i E_i d_i^4 \leq EI_s \leq \frac{\pi}{4} \sum_i E_i \left(\frac{d_i^4}{16} + d_i^2 \alpha_i^4 \right) = EI_{s,max} \quad (2)$$

同様に、アルミ線の中立軸と素線表面の距離 y_{AL} も素線間の摩擦力によって変化し、 $d_{AL}/2$ から $D/2$ の値となる。ここでは、素線間の接触を考慮した解析により、以下のとおり EI と y_{AL} の推定式を構築した。

① EI の推定式

8節点ソリッド要素を用いた解析モデル(図2)に一定張力下の順曲げを与え、各張力の $M-\theta$ 関係の傾きを求めた(図3)。また、梁要素を用いた解析モデルに対し、曲げ剛性を变化させた無張力下の順曲げ解析を行い(図4、実線)、 $M-\theta$ 関係の傾きをソリッドモデルと対比し、 EI の推定式を得た(図5、実線)。無張力の梁モデルの場合、設定した曲げ剛性がモデルの曲げ剛性となる。

② y_{AL} と EI_s の推定式

y_{AL} と EI_s が比例関係にあると仮定し、次式により y_{AL} を推定する。

$$y_{AL} = \frac{D/2 - d_{AL}/2}{EI_{s,max} - EI_{s,min}} (EI_s - EI_{s,min}) + \frac{d_{AL}}{2} \quad (3)$$

EI_s については、張力と曲げ剛性を变化させた梁モデルの順曲げ解析を行い(図4、破線)、ソリッドモデルの結果との対比により、推定式を構築した(図5、破線)。梁モデルに張力を与えるため、設定した曲げ剛性は EI_s を表し、これに幾何剛性成分 EI_t を加えた値が実際の曲げ剛性となる。

キーワード 風疲労, 電線, 疲労試験, 曲げ剛性, 応力比

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL 03-3201-6601

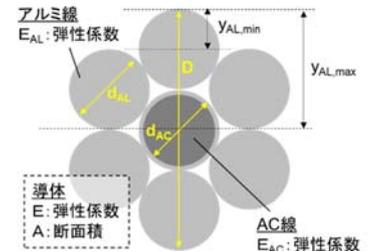


図1 対象電線の断面(導体)

表1 対象電線の諸元

電線種類	アルミ覆鋼心 アルミより線
E (N/mm ²)	75100
E_{AC} (N/mm ²)	158480
E_{AL} (N/mm ²)	61740
A (mm ²)	29.155
D (mm)	6.3
d_{AC} (mm)	2.3
d_{AL} (mm)*	2.3

*アルミ線を円形とみなして検討

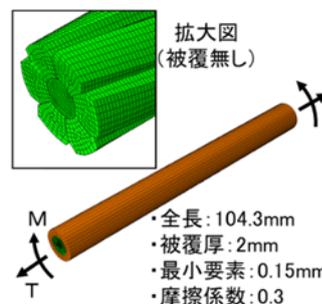


図2 ソリッドモデル

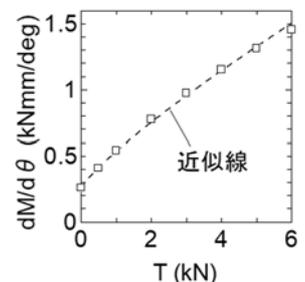


図3 解析結果(ソリッド)

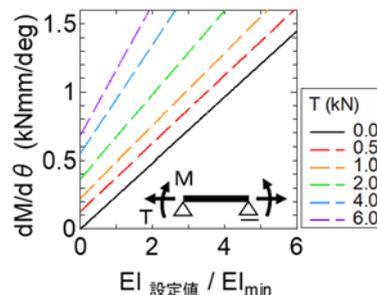


図4 解析結果(梁モデル)

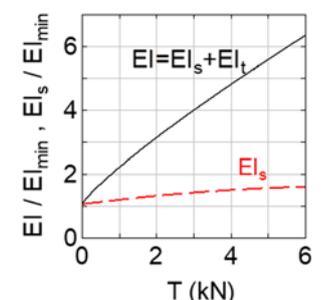


図5 曲げ剛性の推定式

3. 疲労試験方法

試験状況を図6に示す。水平に張った電線の1箇所をがいし上の金物によって把持し、把持部から1mの位置において電線直交方向の強制変位を繰り返し与えた。これにより、把持部には張力と曲げの変動が生じる。また、風荷重の場合、平均成分が変動成分に比べて大きい場合、振動中心位置のオフセットおよびターンバックルを用いた初期張力の付与により、応力比の高い条件で試験を実施した。繰返し载荷中に常時計測した張力および载荷位置の変位をもとに、次式により曲げモーメントを推定し、(1)式により公称応力を算出した。(θ: 把持部における屈曲角)

$$M = 850.2 \sqrt{T \cdot EI_s / EI_{s,min}} \tan \theta \quad (4)$$

(4)式は、 EI_s を曲げ剛性として設定した梁モデルに対し、張力をパラメータとした片持ち梁载荷の解析を行い、固定端の曲げモーメントと張力・屈曲角との関係から構築したものである。また、把持部から約200mm離れた位置の被覆を剥ぎ、素線にひずみゲージを貼付することで、ひずみの変化からアルミ線の破断を検知した。ひずみは張力0.5kN、屈曲角0度で0μとした。载荷速度は約250mm/sとした。試験ケースは表2に示すとおり、張力と曲げの比率や振動中心位置と振幅の比率を変えた5種類とした。なお、気温など加振以外の要因によって張力が変動するため、同表の試験条件に示す張力と公称応力は目標値を表す。

4. 疲労試験結果

図7にはケース4を例に張力およびアルミ線6本のひずみの各サイクルの最大値を示す。本ケースではひずみが最初に急変する約77万回をアルミ線の破断と判定した。また、張力が急激に低下する約132万回でAC線が破断し、電線が断線に至った。表2には計測結果から求めた公称応力の等価応力範囲 $\Delta\sigma_{eq}$ および破断までの繰返し数を示す。試験を打ち切りとしたケースでは試験終了後に被覆を剥ぎ、アルミ線の破断を確認した。

図8には、 $\Delta\sigma_{eq}$ と破断回数の関係を示す。また、疲労設計指針¹⁾におけるケーブルの応力比補正係数 C_R を適用した結果および各等級の疲労設計曲線を示す。(1)式と C_R によって求めた応力範囲により、AC線とアルミ線の疲労強度を評価でき、SN線の傾き m はK1等級からK5等級と同じ5程度となることわかる。

謝辞 本研究は電力会社7社のご協力のもと実施された。疲労試験では(株)セレスのご協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献 1) 日本鋼構造協会, 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 2012.

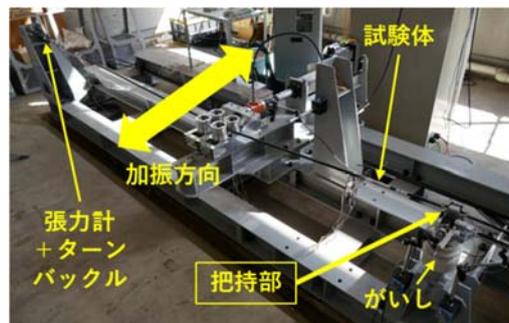


図6 試験状況

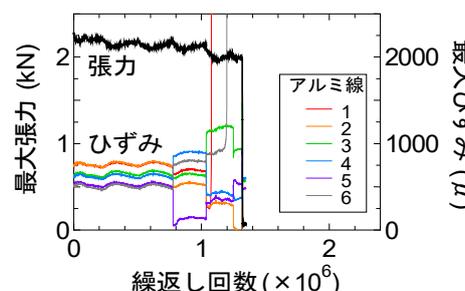
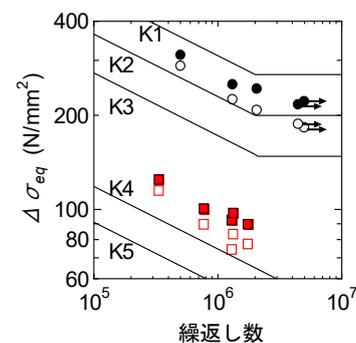


図7 各サイクルの張力とひずみ(ケース4)



応力比補正	AC線 アルミ	
	● ○	■ □
あり	● ○	■ □
無し	○ ○	□ □

図8 疲労試験結果

表2 試験条件と試験結果

ケース	試験条件					試験結果			
	振動中心				振幅 屈曲角 (deg)	アルミ線		AC線	
	目標張力 (kN)	屈曲角 (deg)	目標公称応力 (N/mm ²)			Δσ _{eq} (N/mm ²)	破断回数 (×10 ³)	Δσ _{eq} (N/mm ²)	破断回数 (×10 ³)
1	2.46	5.86	200.1	504.2	0.57	74.2	1303	182.8	>5000*
2	1.92	5.42	177.9	448.9	0.63	83.1	1336	207.6	2070
3	1.44	4.92	154.4	390.5	0.92	114.6	336	287.6	502
4	1.44	4.92	154.4	390.5	0.69	89.4	777	224.4	1320
5	1.44	4.92	154.4	390.5	0.63	77.3	1757	187.5	>4457*

※: ケース1, ケース5はAC線破断前に試験打ち切り