

バインド線によって把持された配電線の疲労強度評価法に関する検討

電力中央研究所 正会員 ○早田 直広

1. はじめに

電柱間に架線される配電線の支持方法として、ピンがいしの環部に電線を沿わせ、被覆巻付バインド（以下、バインド線）と呼ばれる螺旋状の被覆付き亜鉛めっき鋼線で把持する方法が広く採用されている（図 1）. 風によって電線が振動することで、把持部の電線やバインド線が疲労破断することがあり、対策が検討されている^{1),2)}. 断面力から得られる公称応力によって疲労強度を評価できれば、梁要素やトラス要素を用いた風応答解析から疲労評価を行うことが可能となる. そこで本研究では、電線とバインド線の応力分担を踏まえた公称応力の評価法を提案する. また、公称応力範囲を用いて、様々な電線種別を対象とした疲労試験結果の整理を試みた.

2. 公称応力の評価法

電線の横振れによって発生する張力 T と曲げモーメント M に基づき、電線を構成する各素線の公称応力 σ_s とバインド線の公称応力 σ_b を次式によって算定する（図 2）.

$$M = \sqrt{T(EI + E_b I_b)} \cdot \theta \cdot \exp\left(-\sqrt{T/(EI + E_b I_b)} \cdot x\right)$$
 (1)

$$\sigma_s = \alpha \frac{E_s T}{EA} + \beta_s \frac{E_s M C_s}{EI + E_b I_b}$$
 (2)

$$\sigma_b = (1 - \alpha) \frac{E_b T}{E_b A_b} + \beta_b \frac{E_b M d_b / 2}{EI + E_b I_b}$$
 (3)

(1)式は、張力が作用した片持ち梁の変形後の力のつり合いによって得られる式である³⁾. (2),(3)式の第一項は軸応力成分、第二項は曲げ応力成分を表す. 電線とバインド線との間に生じる摩擦力により、張力の一部をバインド線が負担するため、電線の張力分担率として α を定義する. また、曲げに対する境界条件は、実際には完全固定とはならないため、 β_s, β_b によって曲げ応力を補正する. 電線の曲げ剛性 EI については、素線どうしの接触を考慮した有限要素解析によって次の推定式を導出した.

$$EI = (1 + b \cdot T / EA) EI_{min}$$
 (4)

ここで、 b は電線種別に応じた定数、 EI_{min} は電線の最小曲げ剛性⁴⁾である.

3. 静的载荷試験

張力と曲げが作用した電線の把持部周辺におけるひずみを計測し、 α, β_s, β_b を設定する. 試験方法の模式図を図 3 に示す. スパン中央にピンがいしを配置し、バインド線で電線を把持した. スパン中央の電線の被覆を部分的に剥ぎ、素線の表面にひずみゲージを貼付した. そして、電線に張力を与えた状態でピンがいしを電線直交方向に動かし、ひずみ

キーワード 風疲労、電線、ピンがいし、疲労強度、公称応力

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 TEL03-3201-6601

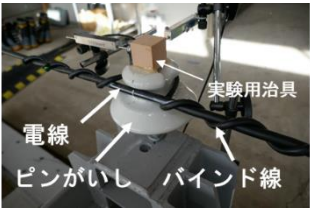
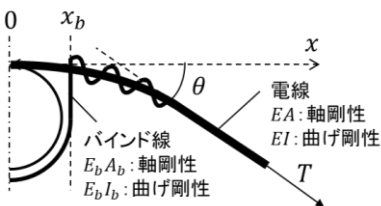
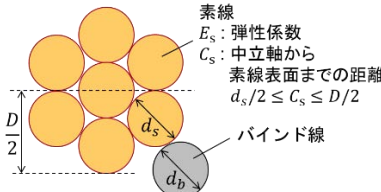


図 1 電線把持方法



(a) 把持部周辺の模式図



(b) 電線・バインド線の断面図
図 2 変数

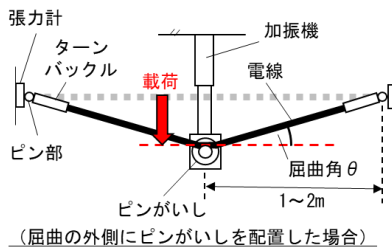


図 3 試験方法

表 1 静的载荷試験の载荷条件

張力 (kN)	1, 2, 3
屈曲角 (度)	0, ±2, ±3 内側配置：正 外側配置：負

表 2 試験体

電線	導体材質	断面積 A (mm ²)	より線層数 (素線本数)	バインド線 d _b (mm)
25sq	より線：アルミ 芯線：アルミ覆鋼	29.155	1 (7)	4.20
58sq		67.621	1 (7)	4.20
120sq		133.85	1 (7)	4.20
5mm	銅	19.640	単線	3.45
38sq		37.160	1 (7)	4.20
60sq		59.700	2 (19)	4.20

を計測した。張力と屈曲角の異なる 10 通りの载荷条件で実施した (表 1)。また、材質、断面積、より線の層数が異なる 6 種類の電線を試験体とした (表 2)。ひずみは、1kN の張力を与えた状態を基準とした。

図 4 には、屈曲角±2 度または± 3 度について、(2)式の曲げ応力成分と計測値との比較を示す。ピンがいしが電線の屈曲に対して内側にある場合に $\beta_s = 0.5$ 、外側にある場合に $\beta_s = 0.4$ とすることで、(2)式と計測値が概ね一致することがわかる。図 5 には、張力のみを与えた場合について、計測値と(2)式の軸応力成分との比から得られる張力分担率 α を示す。張力が高いほど、電線の張力分担が大きいことがわかる。なお、バインド線のひずみ計測から β_b の設定を試みたが、計測値のばらつきが大きく、傾向を得ることが困難であった。

4. 疲労試験

3 章と同じ試験設備を用いて疲労試験を実施した。試験条件を表 3 に示す。振動中心の張力と屈曲角を調整し、ピンがいしの位置制御による部分片振りの繰返し载荷を行った。電線の屈曲に対するピンがいしの配置および屈曲角の全振幅をパラメータとした。なお、繰返し载荷では電線の伸縮によって張力も変動するが、位置制御のため、試験中の張力の平均値と振幅は一定ではない。

疲労試験の結果、ピンがいしを屈曲の内側に配置した場合、電線が破断した。多くの場合、ピンがいしとの接点が破断箇所となるが (図 6(a))、25sq は 1 ケースを除いてバインド線との接点で破断した (図 6(b))。一方、ピンがいしを屈曲の外側に配置した場合、バインド線が電線と接する箇所で破断した (図 6(c))。

図 7 には、破断箇所別に公称応力範囲 (等価応力範囲, $m = 5$) と破断までの繰返し回数との関係を示す。応力評価位置 x は破断箇所とし、電線の場合は最外層の素線表面における応力を求めた。また、 α は $T = 2, 3\text{kN}$ に対する静的载荷試験結果の平均値、 β_s は 0.5、 β_b は 1.0 とした。同図より、同一の材質・破断箇所であれば公称応力範囲によって統一的に疲労強度を評価できると考えられる。なお、今回の検討では、電線種別ごとに平均応力の条件を概ね同一としているため、疲労強度に対する平均応力の影響を明らかにすることが今後の課題である。

謝辞 実験では (株) 鹿倉企画の市川英治氏の協力を得た。ここに謝意を表す。
参考文献 1) 中部電力, 技術開発ニュース, 147 号, pp.29-30, 2012. 2) 電気学会, 電気学会技術報告, 第 1469 号, 2019. 3) T. A. Wyatt, ASCE, ST7, pp.37-59, 1960. 4) 電気学会, 電気学会技術報告, 第 II-471 号, 1993.

表 3 疲労試験条件

電線	がいし配置	ケース数	振動中心初期張力(kN)	振動中心屈曲角(度)	全振幅屈曲角(度)
25sq	内側	8	1.92	5.42	0.74~2.32
25sq	外側	5	1.92	5.42	1.20~2.28
58sq	内側	3	3.05	4.87	0.96~1.50
120sq	内側	2	4.30	4.43	2.02~2.86
38sq	内側	4	2.73	4.45	0.84~1.38
38sq	内側	1	2.15	3.83	0.96
38sq	外側	1	2.90	5.88	1.48
60sq	内側	2	3.72	4.08	1.08~1.44

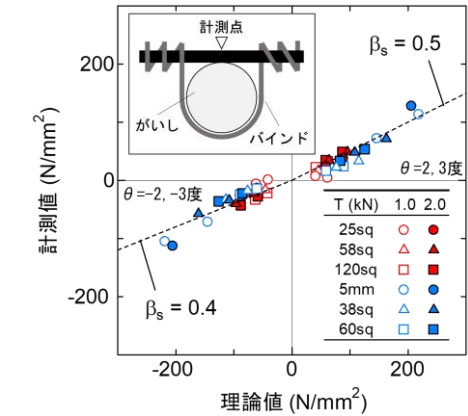


図 4 曲げ応力の比較

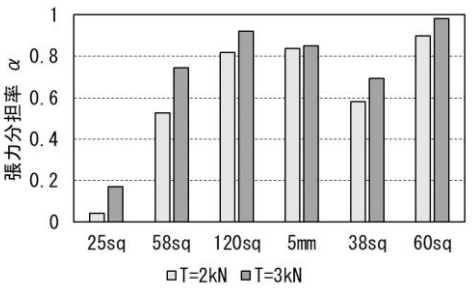


図 5 電線の張力分担率

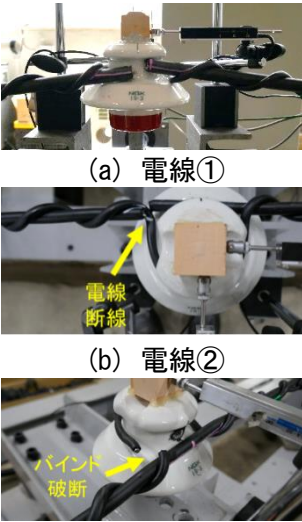


図 6 破断箇所

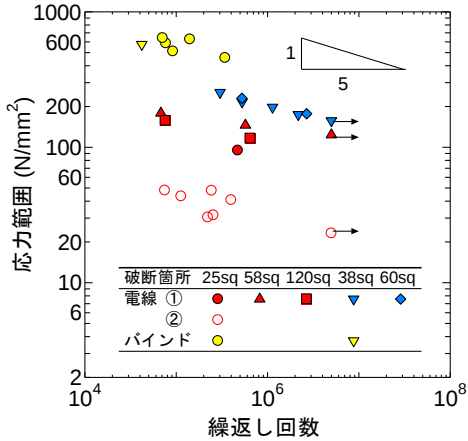


図 7 公称応力範囲と破断回数の関係