(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5962443号
(P5962443)

(45)発行日　平成28年8月3日(2016.8.3)　(24)登録日　平成28年7月8日(2016.7.8)

(51)Int.Cl.			F I		
G01N	***3/34***	***(2006.01)***	G01N	3/34	C
G01N	***3/32***	***(2006.01)***	G01N	3/32	E
			G01N	3/34	K

請求項の数 3　(全 11 頁)

(21)出願番号　特願2012-244434(P2012-244434)
(22)出願日　平成24年11月6日(2012.11.6)
(65)公開番号　特開2014-92512(P2014-92512A)
(43)公開日　平成26年5月19日(2014.5.19)
審査請求日　平成26年11月21日(2014.11.21)

(73)特許権者　000005083
日立金属株式会社
東京都港区港南一丁目２番７０号
(74)代理人　100068021
弁理士　絹谷　信雄
(72)発明者　三浦　剛
東京都千代田区外神田四丁目１４番１号
日立電線株式会社内
(72)発明者　江島　弘高
東京都千代田区外神田四丁目１４番１号
日立電線株式会社内
(72)発明者　岡　史人
東京都千代田区外神田四丁目１４番１号
日立電線株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】ケーブルの屈曲断線寿命予測方法および装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を予測する方法であって、
前記ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の前記導体素線に生じる初期の応力振幅と平均応力を求め、
前記ケーブルを屈曲した際の前記導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、
当該求めた断面積と前記導体素線の初期の断面積の比、および初期の応力振幅と平均応力から、屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力を求め、
当該屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力と、前記導体素線の材料特性とを基に、屈曲回数ごとの疲労損傷度を求め、
当該屈曲回数ごとの疲労損傷度を累積することで、前記導体素線が破断する屈曲回数を求め、当該求めた屈曲回数を前記ケーブルの屈曲断線寿命として予測し、
予め求めておいた前記ケーブルの曲げ半径に対する導体素線間の接触荷重の関係、および曲げ半径に対する導体素線間の摺動距離の関係と、前記ケーブルの屈曲条件である曲げ半径とから、前記導体素線間の接触荷重および摺動距離を求め、
当該求めた導体素線間の接触荷重および摺動距離と、予め求めておいた接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係とから、屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係を求め、

当該屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係から、屈曲回数ごとの摩耗痕の深さを求め、当該求めた摩耗痕の深さから前記導体素線の断面積を求めることで、屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、
前記接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係を、
前記導体素線を模した試験線同士を接触させ前記接触荷重に相当する荷重を印加した状態で摺動させることにより、
求める
ことを特徴とするケーブルの屈曲断線寿命予測方法。
【請求項２】
前記導体素線の半径をｒ、屈曲回数ｎ回目の摩耗痕の深さをh_nとしたとき、屈曲回数ｎ回目の前記導体素線の断面積S_nを、下式（１）

$$S_n = r^2(\pi - \theta_n) + r(r - h_n)\sin\theta_n \quad \cdots (1)$$

但し、$\theta_n = \cos^{-1}\{(r - h_n)/r\}$

により求める
請求項１記載のケーブルの屈曲断線寿命予測方法。
【請求項３】
複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を予測する装置であって、
前記ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の前記導体素線に生じる初期の応力振幅と平均応力を求める初期応力演算部と、
前記ケーブルを屈曲した際の前記導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求める導体素線断面積演算部と、
当該導体素線断面積演算部で求めた断面積と前記導体素線の初期の断面積の比、および前記初期応力演算部で求めた初期の応力振幅と平均応力から、屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力を求める屈曲回数毎応力演算部と、
当該屈曲回数毎応力演算部で求めた屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力と、前記導体素線の材料特性とを基に、屈曲回数ごとの疲労損傷度を求める疲労損傷度演算部と、
当該疲労損傷度演算部で求めた屈曲回数ごとの疲労損傷度を累積することで、前記導体素線が破断する屈曲回数を求め、当該求めた屈曲回数を前記ケーブルの屈曲断線寿命として予測する屈曲断線寿命予測部と、
を備え、
前記導体素線断面積演算部は、
予め求めておいた前記ケーブルの曲げ半径に対する導体素線間の接触荷重の関係、および曲げ半径に対する導体素線間の摺動距離の関係と、前記ケーブルの屈曲条件である曲げ半径とから、前記導体素線間の接触荷重および摺動距離を求め、
当該求めた導体素線間の接触荷重および摺動距離と、予め求めておいた接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係とから、屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係を求め、
当該屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係から、屈曲回数ごとの摩耗痕の深さを求め、当該求めた摩耗痕の深さから前記導体素線の断面積を求めることで、屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、
前記接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係は、
前記導体素線を模した試験線同士を接触させ前記接触荷重に相当する荷重を印加した状態で摺動させることにより、
求められていることを特徴とするケーブルの屈曲断線寿命予測装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命予測方法および装置に関するものである。

【背景技術】
【０００２】
複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命予測方法として、ケーブルの屈曲条件と導体構造から導体素線に作用する歪振幅（あるいは応力振幅）を求め、導体素線単線の屈曲疲労寿命データベース（所謂ＳＮ線図）を参照して、求めた歪振幅（あるいは応力振幅）に対応する導体素線が破断するサイクル数（寿命）を求めることで、当該サイクル数をケーブルの屈曲断線寿命として予測する方法が知られている（例えば、特許文献１，２参照）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２００２－２６０４５９号公報
【特許文献２】特開２００４－１９１３６１号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
しかしながら、繰り返し屈曲を受けるケーブルでは、屈曲疲労だけでなく導体素線同士の摩耗によって早期断線に至るケースがある。上述の従来のケーブルの屈曲断線寿命予測方法では、導体素線同士の摩耗を考慮していないため、実際よりも長い危険側の屈曲断線寿命を予測してしまう場合があり、導体素線同士の摩耗を考慮したケーブル屈曲断線寿命の予測が望まれる。
【０００５】
本発明は上記事情に鑑み為されたものであり、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を精度よく予測することが可能なケーブルの屈曲断線寿命予測方法および装置を提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明は上記目的を達成するために創案されたものであり、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を予測する方法であって、前記ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の前記導体素線に生じる初期の応力振幅と平均応力を求め、前記ケーブルを屈曲した際の前記導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、当該求めた断面積と前記導体素線の初期の断面積の比、および初期の応力振幅と平均応力から、屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力を求め、当該屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力と、前記導体素線の材料特性とを基に、屈曲回数ごとの疲労損傷度を求め、当該屈曲回数ごとの疲労損傷度を累積することで、前記導体素線が破断する屈曲回数を求め、当該求めた屈曲回数を前記ケーブルの屈曲断線寿命として予測し、予め求めておいた前記ケーブルの曲げ半径に対する導体素線間の接触荷重の関係、および曲げ半径に対する導体素線間の摺動距離の関係と、前記ケーブルの屈曲条件である曲げ半径とから、前記導体素線間の接触荷重および摺動距離を求め、当該求めた導体素線間の接触荷重および摺動距離と、予め求めておいた接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係とから、屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係を求め、当該屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係から、屈曲回数ごとの摩耗痕の深さを求め、当該求めた摩耗痕の深さから前記導体素線の断面積を求めることで、屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、前記接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係を、前記導体素線を模した試験線同士を接触させ前記接触荷重に相当する荷重を印加した状態で摺動させることにより、求めるケーブルの屈曲断線寿命予測方法である。
【０００８】
前記導体素線の半径をｒ、屈曲回数ｎ回目の摩耗痕の深さをh_nとしたとき、屈曲回数ｎ回目の前記導体素線の断面積S_nを、下式（１）

$$S_n = r^2(\pi - \theta_n) + r(r - h_n)\sin\theta_n \quad \cdots (1)$$

但し、$\theta_n = cos^{-1}\{(r-h_n)/r\}$
により求めてもよい。
【０００９】
また、本発明は、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を予測する装置であって、前記ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の前記導体素線に生じる初期の応力振幅と平均応力を求める初期応力演算部と、前記ケーブルを屈曲した際の前記導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求める導体素線断面積演算部と、当該導体素線断面積演算部で求めた断面積と前記導体素線の初期の断面積の比、および前記初期応力演算部で求めた初期の応力振幅と平均応力から、屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力を求める屈曲回数毎応力演算部と、当該屈曲回数毎応力演算部で求めた屈曲回数ごとの応力振幅と平均応力と、前記導体素線の材料特性とを基に、屈曲回数ごとの疲労損傷度を求める疲労損傷度演算部と、当該疲労損傷度演算部で求めた屈曲回数ごとの疲労損傷度を累積することで、前記導体素線が破断する屈曲回数を求め、当該求めた屈曲回数を前記ケーブルの屈曲断線寿命として予測する屈曲断線寿命予測部と、を備え、前記導体素線断面積演算部は、予め求めておいた前記ケーブルの曲げ半径に対する導体素線間の接触荷重の関係、および曲げ半径に対する導体素線間の摺動距離の関係と、前記ケーブルの屈曲条件である曲げ半径とから、前記導体素線間の接触荷重および摺動距離を求め、当該求めた導体素線間の接触荷重および摺動距離と、予め求めておいた接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係とから、屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係を求め、当該屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係から、屈曲回数ごとの摩耗痕の深さを求め、当該求めた摩耗痕の深さから前記導体素線の断面積を求めることで、屈曲回数ごとに前記導体素線の断面積を求め、前記接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係は、前記導体素線を模した試験線同士を接触させ前記接触荷重に相当する荷重を印加した状態で摺動させることにより、求められているケーブルの屈曲断線寿命予測装置である。
【発明の効果】
【００１０】
本発明によれば、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を精度よく予測することが可能なケーブルの屈曲断線寿命予測方法および装置を提供できる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】本発明の一実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測方法のフロー図である。
【図２】図１のケーブルの屈曲断線寿命予測方法において、初期の応力振幅と平均応力を求めるステップを説明する図である。
【図３】（ａ）は曲げ半径に対する導体素線間の接触荷重の関係、（ｂ）は曲げ半径に対する導体素線間の摺動距離の関係の一例を示すグラフ図である。
【図４】（ａ）は接触荷重ごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係、（ｂ）は屈曲回数に対する摩耗痕の深さの関係の一例を示すグラフ図である。
【図５】本発明で用いる導体素線摩耗試験装置の斜視図である。
【図６】図５の導体素線摩耗試験装置で試験を行った後の試験線の断面図である。
【図７】（ａ）は屈曲回数に対する応力振幅の関係、（ｂ）は屈曲回数に対する平均応力の関係の一例を示すグラフ図である。
【図８】導体素線のＳＮ線図の一例を示すグラフ図である。
【図９】屈曲回数に対する疲労損傷度の関係の一例を示すグラフ図である。
【図１０】本発明の一実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測装置の概略構成図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
以下、本発明の実施の形態を添付図面にしたがって説明する。

【００１３】
図１は、本実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測方法のフロー図である。なお、本実施の形態で屈曲断線寿命の予測対象となるケーブルは、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルである。導体素線は撚り合わされていてもよいし、撚り合わされていなくてもよい。
【００１４】
図１に示すように、本実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測方法では、まず、ステップＳ１にて、ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の導体素線に生じる初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}を求める。
【００１５】
ケーブルの曲げ半径をＲ、ケーブルの外径をａ、導体全体の外径をｂ、導体素線の外径をｃとすると、下式（２）

$$\varepsilon = (b - c) / (2R + a) \quad \cdots (2)$$

により導体素線に生じる歪εを求めることができ、さらに、導体素線の材料特性である歪－応力特性を用いて歪εを応力σに換算することができる。図２に示すように、ケーブル２１を曲げ半径R_{min}～R_{max}間で繰り返し屈曲する場合、最大曲げ半径R_{max}に対応する歪・応力が初期の最小歪ε_{min}・最小応力σ_{min}となり、最小曲げ半径R_{min}に対応する歪・応力が初期の最大歪ε_{max}・最大応力σ_{max}となる。
【００１６】
初期の最小応力σ_{min}と最大応力σ_{max}を求めれば、下式（３），（４）

$$\sigma_{a0} = (\sigma_{max} - \sigma_{min}) / 2 \quad \cdots (3)$$

$$\sigma_{m0} = (\sigma_{max} + \sigma_{min}) / 2 \quad \cdots (4)$$

により、初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}を求めることができる。
【００１７】
ステップＳ１にて初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}を求めた後、ステップＳ２～Ｓ４にて、ケーブルを屈曲した際の導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ｎごとに導体素線の断面積S_nを求める。
【００１８】
まず、ステップＳ２にて、ケーブルの屈曲条件と導体構造から、導体素線間の接触荷重および摺動距離を求める。
【００１９】
導体素線間の接触荷重および摺動距離を求める際には、予め、図３（ａ）に示すケーブルの曲げ半径Ｒに対する導体素線間の接触荷重Ｗの関係、および、図３（ｂ）に示す曲げ半径Ｒに対する導体素線間の摺動距離の関係を予め求めておき、これらの関係を用いて、ケーブルの屈曲条件である曲げ半径Ｒ（R_{min}，R_{max}）から、導体素線間の接触荷重および摺動距離を求める。図３（ａ），（ｂ）の関係は、事前に試験やシミュレーションを行うことにより得ることができる。
【００２０】
なお、図３（ａ）の関係を用いて曲率半径R_{min}，R_{max}に対応する２つの接触荷重Ｗを得ることができるが、本実施の形態では、安全側の評価とするため、最小曲率半径R_{min}に対応する最大接触荷重W_{max}を接触荷重として用いる。
【００２１】
また、図３（ｂ）の縦軸はケーブルを直線状態から曲げたときに生じる導体素線間の摺動距離を示しており、最小曲げ半径R_{min}に対応する最大摺動距離L_{max}から、最大曲げ半径R_{max}に対応する最小摺動距離L_{min}を減じた値が、ケーブルを曲げ半径R_{min}～R_{max}間で屈曲した際の摺動距離Ｌとなる。
【００２２】
ステップＳ２にて導体素線間の接触荷重W_{max}および摺動距離Ｌを求めた後、ステップＳ３にて、接触荷重W_{max}および摺動距離Ｌから屈曲回数ｎに対する摩耗痕の深さｈの関係を求める。

【００２３】
屈曲回数ｎに対する摩耗痕の深さｈの関係を求める際には、予め、図４（ａ）に示す接触荷重Ｗごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さｈの関係を求めておき、この関係を用い、ステップＳ２で求めた接触荷重W_{max}に対応する総摺動距離に対する摩耗痕の深さｈの関係（図４（ａ）における実線）を求める。この関係における横軸の総摺動距離は、つまり（屈曲回数ｎ）×（１回の屈曲での摺動距離Ｌ）と等しいので、総摺動距離をステップＳ２で求めた摺動距離Ｌで除すれば、図４（ｂ）に示すような屈曲回数ｎに対する摩耗痕の深さｈの関係を得ることができる。

【００２４】
なお、図４（ａ）の関係は、図５に示すような導体素線摩耗試験装置５１を用いて事前に試験を行うことにより得ることができる。導体素線摩耗試験装置５１は、導体素線を模した２本の試験線５２が交差した状態で載置される第１試験線固定治具５３と、第１試験線固定治具５３との間で両試験線５２を挟み込み、両試験線５２に接触荷重を印可する第２試験線固定治具５４と、第１試験線固定治具５３を水平方向にスライドさせることで、両試験線固定治具５３，５４で両試験線５２に接触荷重を加えた状態で両試験線５２を互いに摺動させるアクチュエータ５５と、を備えている。

【００２５】
図５の導体素線摩耗試験装置５１により試験を行ったときの試験線５２の断面形状は、図６に示すように、円形状の一部を切り欠いた形状となる。この切り欠きの半径方向に沿った深さが、摩耗痕の深さｈである。つまり、摩耗痕の深さｈとは、屈曲断線寿命の予測対象となるケーブルの導体素線に形成される実際の摩耗痕の深さではなく、屈曲断線寿命の予測対象となるケーブルの導体素線と同じ応力状態で導体素線摩耗試験装置５１により試験を行ったときに、試験線５２に形成される摩耗痕の深さを意味している。以下、ｎ回屈曲後に相当する摩耗痕の深さをh_nと表示する。

【００２６】
その後、ステップＳ４にて、ステップＳ３で求めた屈曲回数ｎに対する摩耗痕の深さｈの関係から、屈曲回数ｎごとの導体素線の断面積S_nを求める。

【００２７】
図６に示すように、導体素線の半径をｒ、屈曲回数ｎ回目の摩耗痕の深さをh_nとしたとき、屈曲回数ｎ回目の導体素線の断面積S_nは、下式（１）

$$S_n = r^2(\pi - \theta_n) + r(r - h_n)\sin\theta_n \quad \cdots (1)$$

但し、$\theta_n = \cos^{-1}\{(r - h_n)/r\}$

により求めることができる。屈曲回数ｎ回目の導体素線の断面積S_nは、導体素線の初期の断面積S_0（$=\pi r^2$）よりも減少する。

【００２８】
その後、ステップＳ５にて、ステップＳ４で求めた屈曲回数ｎごとの導体素線の断面積S_nから、断面積減少により増加する屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}を求める。

【００２９】
より詳細には、ステップＳ４で求めた屈曲回数ｎごとの導体素線の断面積S_nと導体素線の初期の断面積S_0の比（S_0/S_n）、および初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}から、下式（５），（６）

$$\sigma_{an} = (S_0/S_n)\cdot\sigma_{a0} \quad \cdots (5)$$

$$\sigma_{mn} = (S_0/S_n)\cdot\sigma_{m0} \quad \cdots (6)$$

により屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}を求める。

【００３０】
屈曲回数ｎに対する応力振幅σ_{an}の関係、および、屈曲回数ｎに対する平均応力σ_{mn}の関係は、図７（ａ），（ｂ）のようになる。図７（ａ），（ｂ）に示すように、屈曲回数ｎが増えるほど、導体素線に生じる応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}は増加する。

【００３１】

その後、ステップＳ６にて、ステップＳ５で求めた屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}から、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を求める。

【００３２】

より詳細には、ステップＳ５で求めた屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}と、導体素線の材料特性であるＳＮ線図を基に、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を求める。

【００３３】

図８に示すように、ＳＮ線図は、応力振幅σ_aに対する破断サイクル数（寿命）Ｎｆの関係であり、この関係は平均応力σ_mによって変化する。上述のように、屈曲回数ｎごとに平均応力σ_{mn}は変化するので、屈曲回数ｎごとに、ステップＳ５で求めた平均応力σ_{mn}に対応するＳＮ線図を用いて、応力振幅σ_{an}に対応する破断サイクル数Ｎｆ$_n$を求め、この破断サイクル数Ｎｆ$_n$の逆数をとることで、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を求める。なお、低サイクル数におけるＳＮ線図は下式（７）

$$\sigma_a = C \cdot Nf^{-\alpha} \quad \cdots (7)$$

のＣｏｆｆｉｎ－Ｍａｎｓｏｎ則の弾性項で表すことができる。この式（７）におけるＣとαは平均応力σ_mにより決定される係数であり、事前に平均応力σ_mと係数Ｃ，αの関係を求めておけば、式（７）を用いて各平均応力σ_{mn}に対応するＳＮ線図を作成することができる。

【００３４】

その後、ステップＳ７にて、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を累積することで、導体素線が破断する屈曲回数n_{cable}を求め、当該求めた屈曲回数n_{cable}をケーブルの屈曲断線寿命として予測する。

【００３５】

屈曲回数ｎに対する疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）の関係は、図９のようになる。この疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）の累積値が１となる屈曲回数n_{cable}が、導体素線が破断する屈曲回数、すなわちケーブルの屈曲断線寿命となる。つまり、［数１］に示す式（８）の関係を満たすn_{cable}がケーブルの屈曲断線寿命となる。ケーブルの屈曲断線寿命n_{cable}を求めた後、処理を終了する。

【００３６】

【数１】

$$\sum_{n=1}^{ncable} \frac{1}{Nf_n} = 1 \quad \cdots (8)$$

【００３７】

次に、本実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測方法を実施するケーブルの屈曲断線寿命予測装置について説明する。

【００３８】

図１０に示すように、ケーブルの屈曲断線寿命予測装置１００は、ケーブルの屈曲条件や導体構造などを入力する入力部１０１と、ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の導体素線に生じる初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}を求める初期応力演算部１０２と、ケーブルを屈曲した際の導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ｎごとに導体素線の断面積Ｓ$_n$を求める導体素線断面積演算部１０３と、導体素線断面積演算部１０３で求めた断面積Ｓ$_n$と導体素線の初期の断面積Ｓ$_0$の比、および初期応力演算部１０２で求めた初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}から、上述の式（５），（６）により屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}を求める屈曲回数毎応力演算部１０４と、屈曲回数毎応力演算部１０４で求めた屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}と、導体素線の材料特性（ＳＮ線図）とを基に、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を求める疲労損傷度演算部１０５と、疲労損傷度演算部１０５で求めた屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Ｎｆ$_n$）を累積することで、導体素線が破断する屈曲回数n_{cable}を求め、当該

求めた屈曲回数n_{cable}をケーブルの屈曲断線寿命として予測する屈曲断線寿命予測部１０６と、屈曲断線寿命予測部１０６で求めたケーブルの屈曲断線寿命をモニタ等の表示器１０８に出力する出力部１０７と、を備えている。

【００３９】

また、ケーブルの屈曲断線寿命予測装置１００は、図３（ａ）の曲げ半径Ｒに対する導体素線間の接触荷重Ｗの関係，図３（ｂ）の曲げ半径Ｒに対する導体素線間の摺動距離の関係、図４（ａ）の接触荷重Ｗごとの総摺動距離に対する摩耗痕の深さの関係、図８のＳＮ線図、その他演算に必要な材料パラメータ等を記憶する材料特性等記憶部１０９を備えている。

【００４０】

導体素線断面積演算部１０３は、材料特性等記憶部１０９に記憶した図３（ａ），（ｂ）および図４（ａ）の関係を用いて、屈曲回数ｎごとの導体素線の断面積S_nを求めるように構成される。また、疲労損傷度演算部１０５は、材料特性等記憶部１０９に記憶したＳＮ線図を用いて、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Nf_n）を求めるように構成される。

【００４１】

これら入力部１０１、初期応力演算部１０２、導体素線断面積演算部１０３、屈曲回数毎応力演算部１０４、疲労損傷度演算部１０５、屈曲断線寿命予測部１０６、出力部１０７、および材料特性等記憶部１０９は、パーソナルコンピュータ等の演算装置に搭載され、ＣＰＵ、ソフトウェア、インターフェイス、メモリ等を適宜組み合わせて実現される。

【００４２】

以上説明したように、本実施の形態に係るケーブルの屈曲断線寿命予測方法では、ケーブルの屈曲条件と導体構造から、摩耗していない初期の導体素線に生じる初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}を求め、ケーブルを屈曲した際の導体素線同士の摩耗を考慮して屈曲回数ｎごとに導体素線の断面積S_nを求め、求めた断面積S_nと導体素線の初期の断面積S_0の比、および初期の応力振幅σ_{a0}と平均応力σ_{m0}から、屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}を求め、当該屈曲回数ｎごとの応力振幅σ_{an}と平均応力σ_{mn}と、導体素線の材料特性とを基に、屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Nf_n）を求め、当該屈曲回数ｎごとの疲労損傷度（１／Nf_n）を累積することで、導体素線が破断する屈曲回数n_{cable}を求め、当該求めた屈曲回数n_{cable}をケーブルの屈曲断線寿命として予測している。

【００４３】

つまり、本実施の形態では、導体素線同士の摩耗による導体素線の応力状態の変化を考慮し、その上で累積損傷則（修正マイナー則）を適用してケーブルの屈曲断線寿命を予測している。

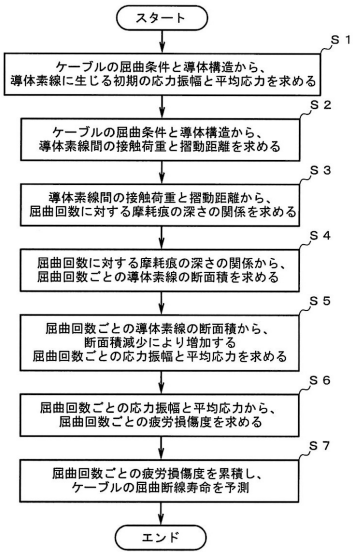
【００４４】

導体素線同士の摩耗を考慮することにより、複数の導体素線からなる導体を有するケーブルの屈曲断線寿命を精度よく予測することが可能となる。その結果、顧客要求に応じた耐屈曲ケーブルを適切に、かつ、短期間で開発することが可能になる。また、開発期間の短縮により、コスト低減、サービス向上を図ることが可能になる。

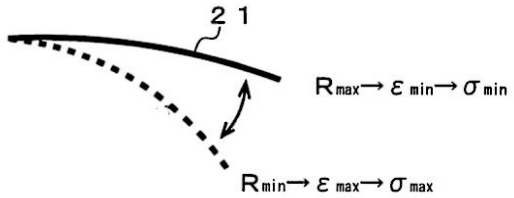
【００４５】

本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々の変更を加え得ることは勿論である。

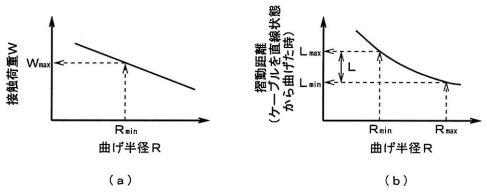
【図１】



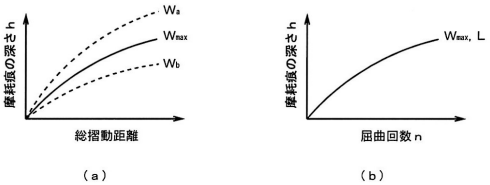
【図２】



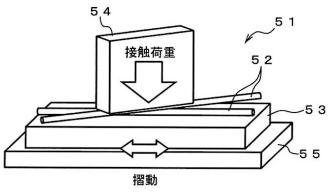
【図３】



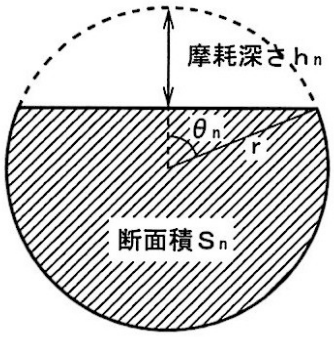
【図４】



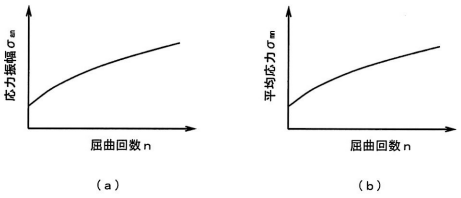
【図５】



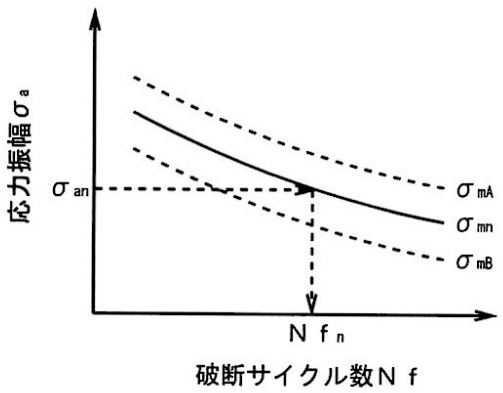
【図６】



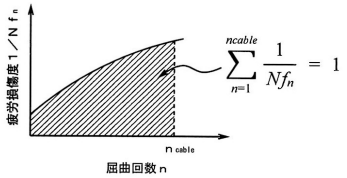
【図７】



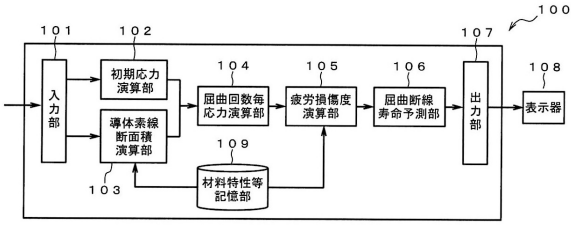
【図８】



【図９】



【図１０】


１００
１０１
１０２
１０７
１０８
１０４
１０５
１０６
１０９
１０３
入力部
初期応力演算部
導体素線断面積演算部
屈曲回数毎応力演算部
疲労損傷度演算部
屈曲断線寿命予測部
出力部
表示器
材料特性等記憶部

フロントページの続き

審査官　野田　洋平

(56)参考文献　特開２０１２－１４１２５７（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－３２９８３７（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２６０４５９（ＪＰ，Ａ）
特開２００４－１９１３６１（ＪＰ，Ａ）
特開2013-64717（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｎ　　３／００－３／６２