

クランプ装着によるケーブル損傷のシミュレーション解析

東北大学 学生員 ○岩井 有人
 東北大学 正 員 岸野 佑次
 (財)電力中央研究所 正 員 清水 幹夫

1. はじめに

送電線ケーブルは、鋼製の芯線とこれを取り巻くアルミ製より線とで構成され各々複数個の素線を束ねたよった構造となっている。一般にケーブルにはねじれ防止ダンパーが取り付けられているが、このダンパーの電線把持部近傍においてより線が切れる「素線切れ」と呼ばれる事故が頻発している。

本研究は、ねじれ防止ダンパーを取り付けるためのクランプ部がどのような力学的影響を与えるかを粒状要素法¹⁾を用いて調べることを目的とし、考察する。

2. 解析方法

本解析で用いる粒状要素法は、粒状集合体に対する離散的平衡条件式を直接的に解くための解析手法であり、各要素の位置データおよび要素間の構成則に基づいて剛性行列を構成し、接触力が釣り合うように各要素の位置を収束計算するものである。

図-2に示すようなねじれ防止ダンパー把持部におけるケーブル断面を図-1に示されるような5層からなる粒状体モデルで考える。本解析では鋼心耐熱アルミ合金より線(TACSR240mm)のケーブル断面を用いた。諸元を表-1に示す。このモデルの境界に設けた2個の半円弧は図-2のクランプをモデル化したものである。

粒状集合体の弾性は要素間に設定した法線方向ばね(ばね定数 k_n)および接線方向ばね(ばね定数 k_t)によりモデル化される。同じ種類の材料であれば一定の k_n 、 k_t を用いて解析を行うことができるが、ケーブル断面の場合は前述の通り鋼線、アルミ線の2種から構成されている。そのため、さまざまな接触の組み合わせに応じてばね定数を与える必要がある。ばね定数を定めるに当たって、2つの等方弾性体円板の接触理論を利用する。載荷力とそれによって生じる変位の関係を利用することとする。法線方向について、ヘルツ理論によると、2つの完全に滑らかな円板の圧縮力 P と接触面の長さ a との関係は

$$P = \frac{4E^*a^3}{3R^*} \quad (1)$$

で表される。ここで、 E^* 、 R^* はそれぞれ以下の関係にある。

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{(1-\sigma_1^2)}{E_1} + \frac{(1-\sigma_2^2)}{E_2}$$

R_1 、 R_2 は円板の半径、 E_1 、 E_2 はヤング率、 σ_1 、 σ_2 はポアソン比を表す。

一方、接線方向についてはMindlinが2つの円板において生じるせん断変形と変位の間の関係を与え、それをもとにThorntonとRandallが再吟味したせん断力 T と変位 δ の関係は

$$\delta = \left(\frac{3\mu P}{16G^*a} \right) \left[1 - \left(1 - \frac{T}{\mu P} \right)^{2/3} \right] \quad (2)$$

で表される²⁾。ここで、 G^* は以下の関係にある。

$$\frac{1}{G^*} = \frac{(2-\sigma_1)}{G_1} + \frac{(2-\sigma_2)}{G_2}$$

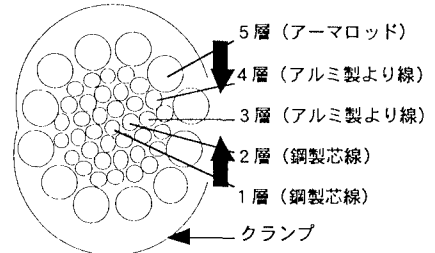


図-1 ケーブル断面構成の概念図

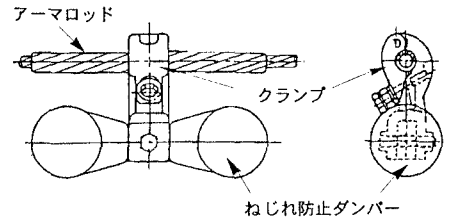


図-2 ねじれ防止ダンパー把持部

表-1 ケーブル断面の諸元

線種：鋼心耐熱アルミ合金より線 (TACSR240mm ²)			
	素線本数 (本)	素線材質	素線外径 (mm)
1層	1	鋼線芯線	3.2
2層	6	鋼線芯線	3.2
3層	12	アルミ製より線	3.2
4層	18	アルミ製より線	3.2
5層	12	アルミ製より線	6.7

表-2 ばね定数

材質	k_n (N/m)	k_t (N/m)
アルミ線1 アルミ線1	6.46×10^6	5.63×10^6
アルミ線1 アルミ線2	7.47×10^6	6.51×10^6
アルミ線2 アルミ線2	5.84×10^6	5.09×10^6
アルミ線2 鋼線	7.60×10^6	3.11×10^6
鋼線 鋼線	1.19×10^7	1.11×10^7
アルミ線1 クランプ部	1.16×10^6	1.02×10^7

(注) 「アルミ線1」は $R=3.35\text{mm}$
 「アルミ線2」は $R=1.6\text{mm}$
 「鋼線」は $R=1.6\text{mm}$

ずれ弾性率を G_1 、 G_2 、 μ は摩擦係数である。この2つの関係式を直線近似することにより本解析で用いるばね定数を表-2 のようにとることとする。

その他の定数として、要素間摩擦角は 25° 、 10° 、 0° の3通りについて解析を行ない、重力はないものとする。2つの半円弧が互いに近づき、1つの円となった状態を初期状態（締め付け開始状態）とする。そしてこの状態より、2つの半円弧を左側の交点を支点として図-1の矢印方向に徐々に締め付けていく。1stepで 0.05° の締め付け角とし、50stepまで締め付けを行なう。

3. 解析結果と考察

1) 接触力分布

ケーブル断面を微視的な立場で見たとき接触力分布が不均一であると素線切れ等が起こる原因になりうると考えられる。そこで締め付けによる接触力分布の標準偏差の変化を調べた。標準偏差が小さくなるということは接触力ベクトルの絶対値が均等に分布しており、大きな接触力が偏在することが少なくなると思われる。図-3に接触力の標準偏差の値を示した。摩擦係数の値が小さくなるほど標準偏差の値も小さくなる傾向にあることがわかる。

2) 変位の分布

粒状体の変形には内部要素の不均一な変位が伴う。この変位の不均一性を表す指標を不均一な要素の変位と等方的な締め付けにより期待される平均的な変位とのずれにより定めることとする。ケーブル断面の中心を原点にとり、変形前の要素の位置座標を $\mathbf{x}$ とすると、平均的な変位 $\bar{\mathbf{u}}$ は次式で与えられる。

$$\bar{\mathbf{u}} = c\mathbf{x} \quad (3)$$

ここに c は等方変位勾配であり次式で算定される。

$$c = \frac{\sum \mathbf{u} \cdot \mathbf{x}}{\sum \mathbf{x} \cdot \mathbf{x}} \quad (4)$$

実際の要素の変位 $\mathbf{u}$ とし、各要素の変位の偏差を次のようにおく。

$$\Delta \mathbf{u} = \mathbf{u} - \bar{\mathbf{u}} \quad (5)$$

ここで、等方的変位度 R を次式で定義する。

$$R = \frac{\sum \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} - \sum \Delta \mathbf{u} \cdot \Delta \mathbf{u}}{\sum \mathbf{u} \cdot \mathbf{u}} \quad (6)$$

図-4に R とstep数の関係を示す。 R の値が1に近ければ変位は等方的に生じたといえる。いずれの摩擦角の場合も締め付けていくと安定な構造に近づいていることがわかる。

3) 締め付け有効断面積

クランプ締め付け部ケーブル断面において、締め付け力が接触力を介して有効に伝達されている要素の面積を締め付け有効断面積と称する。ここでは接点数が3以上の要素と、接点数が2の要素で接触力がある基準値以上となるものを有効要素と見なし、それらの面積の和を締め付け有効断面積とした。図-5に締め付け有効断面積とstep数の関係を示す。いずれの摩擦角の場合も締め付けていくと締め付け有効断面積が大きくなっていくことが分かる。締め付け有効断面積が大きいと振動する際に各々の要素の拘束が大となり、締め付け部における素線切れの一因になると考えられる。

4. おわりに

以上クランプを装着によるケーブル損傷について調べた。接触力分布、変位の偏差、有効断面積からケーブル断面での素線束の力学特性や変形を検討した。今後さらに詳細な検討を加えたい。

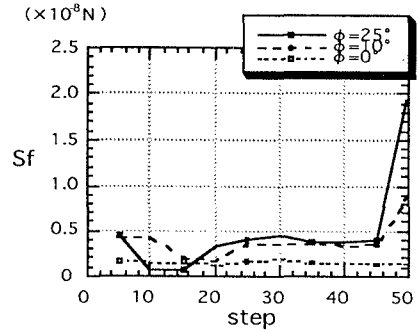


図-3 接触力の標準偏差とstep数の関係

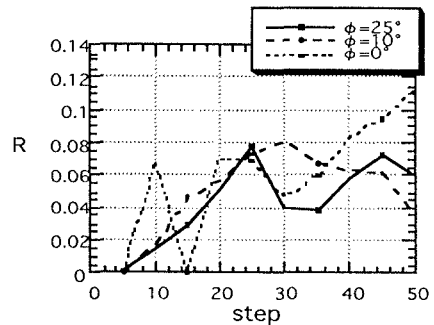


図-4 等方的変位度Rとstep数の関係

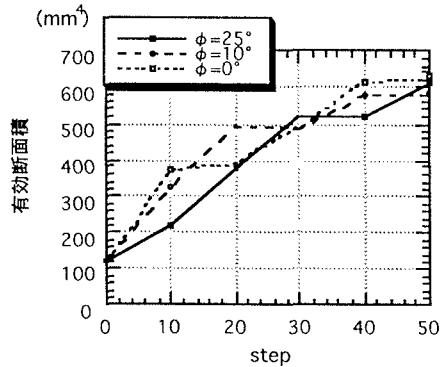


図-5 締め付け有効断面積とstep数の関係

(参考文献)

- 1) 岸野佑次: 新しいシミュレーション法を用いた粒状体の準静的挙動の解析, 土木学会論文集, No.406, pp.97-106, 1989.
- 2) C.Thornton and W.Randall: Applications of Theoretical contact mechanics to solid particle system simulation, M. Satake&J.T.Jenkins (eds.) Micromechanics of Granular Materials, pp.133-142, Elsevier, 1988