

I-18

送電線クランプ部における素線切れのメカニズムに関する研究

東北大学 学生員 ○鈴木 孝夫
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、銅製の芯線とこれを取り巻くアルミ線の素線が束ねられた、より線構造となっている。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。

本研究では、この素線切れの発生メカニズムについて、粒状要素法¹⁾と有限要素法の組み合わせによる3次元解析に基づいて考察を行った。本文ではその概要を示す。

2. 解析方法

a) 概要

ねじれ防止ダンパーは図-1に示すような構造のものであり、アーマロッドを介して束ねられた素線からなるケーブルに装着されている。図-2にケーブル断面構成の概念図を示す。解析に用いたケーブル断面の構成を表-1に示す。この構成は鋼芯耐熱アルミ合金より線(TACSR240mm²)を想定している。なお、図-2のクランプはねじれ防止ダンパーに付属している締め付け部をモデル化したものであり、一端をヒンジで結合した一対の半円弧よりなっている。本解析では、まず、粒状要素法¹⁾を用いた断面内の2次元な接触力分布解析²⁾に基づいて、素線間の接触状況の把握を行った。次に、この接触力分布を基に素線間の長手方向の相対滑りの解析を行うために、有限要素法を用いた解析を行った。前者の解析は既に発表している²⁾ので、ここでは省略する。長手方向の滑りの解析は以下のようにして行った。

b) 長手方向に付与する強制変位

ケーブルには風等の影響による曲げにより素線間の相対変位が生じることを想定し、ここでは、図-3に示すように、対象点を外して設置したクランプ周辺のケーブルの端部に図に示すような線形分布の強制変位を与えることとし、クランプ部の接触の効果で素線間に不均一な相対変位を生じさせた。クランプ部素線間接触点における滑りに対しては、ケーブル断面内の素線間滑りと同様にクーロンの摩擦則を導入することとした。長手方向には強制変位増分を逐次与えることとし、1解析ステップの変位増分の大きさは、それにより、新たな素線間滑動接触点加わるように定めた。

c) 剛性行列の構成

ケーブルを構成する素線を1次元有限要素に分割して剛性行列を構成する。本文で用いたクランプ部左右のケーブルの長さを1:2としているので、有限要素の長さを一定として、クランプ部の左側は要素1つ、右側は2つとして定式化を行う。したがって、各素線ごとに節点は4つとなる。1つの素線に関する合成関係は、節点番号1, 4をそれぞれ左右の強制変位を付与する節点として、次式のように示すことができる。

$$\begin{bmatrix} 2k & -k \\ -k & 2k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_2 + ku_1 \\ f_3 + ku_4 \end{Bmatrix} \quad (1)$$

ここに、 $u_n, f_n (n=1, 2, \dots, 4)$ は n 番目節点の節点変位と節点力、

$$k = \frac{EA}{L} \quad (2)$$

は素線の軸力に対する剛性で、 E, A, L はそれぞれヤング率、断面積、要素長である。

ここで、2本の素線がクランプ部で滑らずに拘束されたとして両者の相互作用を考慮した剛性行列を表すと次のようになる。

$$\begin{bmatrix} 2k+R & -k & -R \\ -k & 2k & \\ -R & & 2k'+R & -k' \\ & & -k' & 2k'+R \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ u'_2 \\ u'_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_2 + ku_1 \\ f_3 + ku_4 \\ f'_2 + k'u'_1 \\ f'_3 + k'u'_4 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここに、 $'$ を付与した量は2本目の素線に関する量である。また R は素線間の軸方向相対変位に対する剛性である。以下、全ての素線に対して同様の考え方で全体剛性方程式を構成する。素線間の滑りの条件はあらかじめ解析を行う断面内の粒状要素解析で求まる接触力に基づいて決定する。ある解析ステップにおいて滑りが生じない全ての接触点に対して剛性 R を考慮することとする。

d) 解析データ

データを表-2に示す。また要素間摩擦角を25°、剛性 $R=6.51 \times 10^6$ (N/mm)に定め、重力は無視した。なお断面内の接触力分布は、図-5の通りの分布をしているものとした。

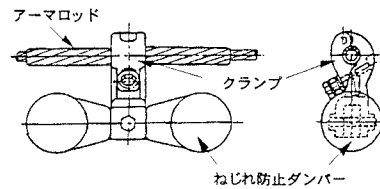


図-1 ねじれ防止ダンパー把持

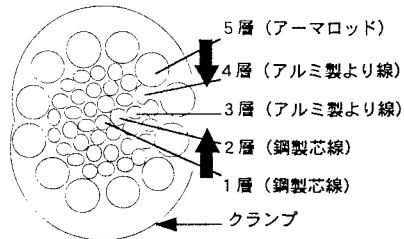


図-2 ケーブル断面構成の概念

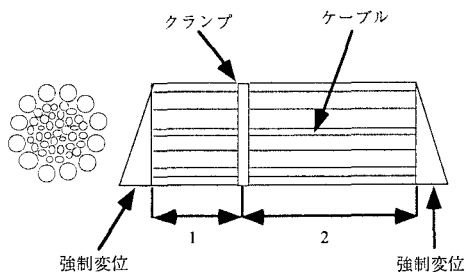


図-3 ケーブル両端の強制変位

表-1 ケーブル断面の諸元

	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 解析データ

	ヤング率(N/mm)	断面積(mm ²)	要素長(mm)
1層	2.10×10^6	8.04	10
2層	2.10×10^6	8.04	10
3層	7.03×10^5	8.04	10
4層	7.03×10^5	8.04	10
5層	7.03×10^5	3.52×10	10

3. 解析結果

本解析では、クランプの締め付けを行う直前の状態について解析を行った。クランプ装着部の断面内において滑動接触点が増えること、すなわち接触点が増えることを1変位ステップとしたときの、変位ステップと強制変位の最大値の関係を図-4に示す。また、各変位ステップにおける滑動接触点増加の様子を図-5に示す。数字は滑動接触点発生の順序である。

図-4より、28ステップ以降で傾きが急激に変化していることが確認できる。そこで、28ステップ以降にすべる接触点のうち、滑り時の接触力軸方向成分の大きいもの上位3つを図-6に示す。実際には、風などの影響により、ケーブルの両端は繰り返し変位を与えられることになる。そのため、接触力軸方向成分の大きい接触点において、素線切れが発生すると考えられる。

4. おわりに

以上、クランプ装着直後の素線切れメカニズムについての考察を行ったが、クランプを締め付ける過程における解析も必要であり、現在解析中である。

(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) 清水幹夫，岸野佑次，岩井有人：架空送電線の素線切れに関する数値的検討，構造工学論文集，Vol.45A，1999.

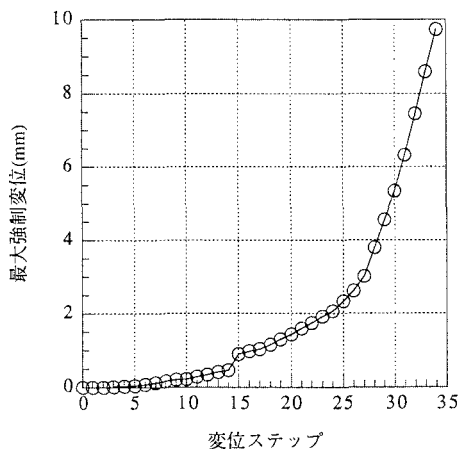


図-4 変位step-最大強制変位

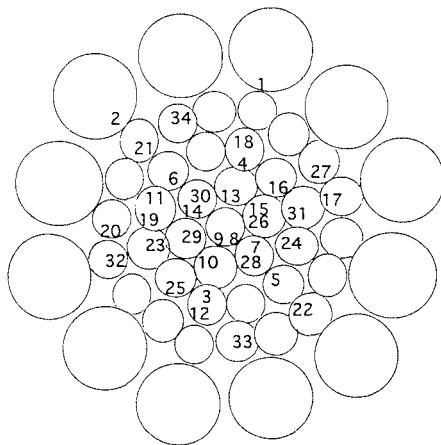


図-5 滑動接触点発生順序

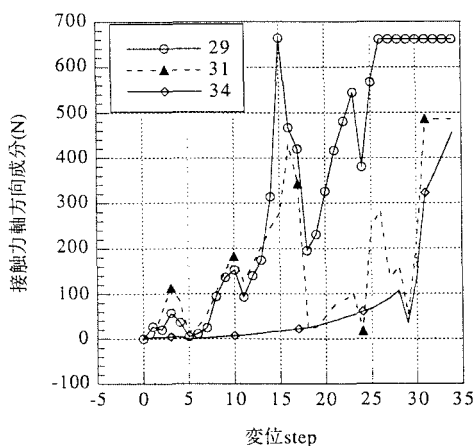


図-6 接触力軸方向成分