

# 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

東北大学大学院工学研究科 学生員 鈴木 孝夫  
 東北大学大学院工学研究科 正会員 岸野 佑次  
 電力中央研究所 正会員 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線の素線が束ねられた、より線構造となっている。送電線にはねじれ防止ダンパーが取り付けられるが、このダンパーの送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<sup>1)</sup>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送電線に装着されている。図-2に送電線断面構成の概念図を示す。解析に用いた送電線断面の構成を表-1に示す。この構成は鋼芯耐熱アルミ合金より線(TACSR240mm<sup>2</sup>)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<sup>1)</sup>を用いた断面内の2次元接触力分布解析<sup>2)</sup>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有限要素法を用いた解析を行い、素線間の長手方向の相対すべりの解析を行った。長手方向のすべ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

送電線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、対称点を外して設置したクランプ周辺の送電線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すべりに対しては、送電線断面内の素線間すべりと同様にMohr-Coulomb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

送電線を構成する素線を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送電線の長さを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つの素線に関する剛性関係は、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。

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

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すべ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。

$$\begin{matrix} 2k+R & -k & -R & u_2 & f_2 + ku_1 \\ -k & 2k & & u_3 & f_3 + ku_4 \\ -R & & 2k+R & -k & u_2 & f_2 + k u_1 \\ & -k & 2k+R & u_3 & f_3 + k u_4 \end{matrix} = \quad (3)$$

ここに、 $R$ を付した量は2本目の素線に関する量であり、 $R$ 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。すべ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<sup>2)</sup>に基づいて決定する。ある解析ステップにおいてすべ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。なお $R$ は $k$ に比して十分大きな値を仮定することとする。

### d) 解析データ

解析に用いたデータを表-1および表-2に示す。また要素間摩擦角を $10^\circ$ 、接触素線間における長手方向の剛性 $R = 6.51 \times 10^6$  (N/mm)に定め、重力は無視した。

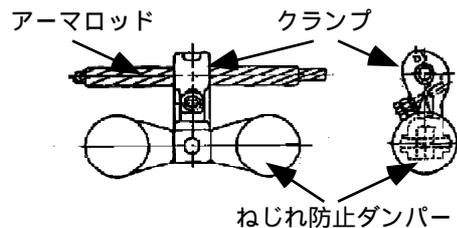


図-1 ねじれ防止ダンパー把持

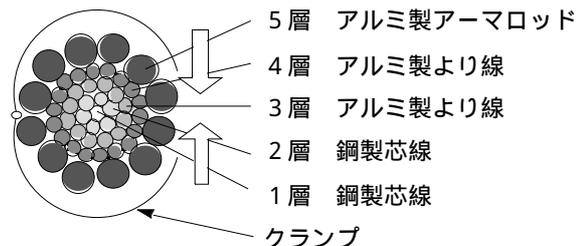


図-2 送電線断面構成概念図

キーワード：送電線ケーブル, 素線切れ, 粒状要素法, 有限要素法

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉東北大学大学院工学研究科土木工学専攻

TEL 022-217-7425

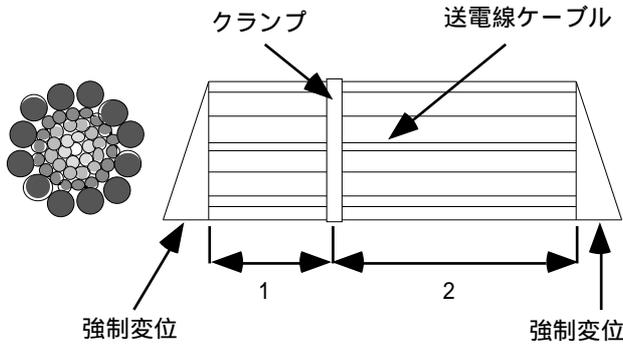


図-3 送電線端部に付与する強制変位

表-1 送電線断面の諸元

	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

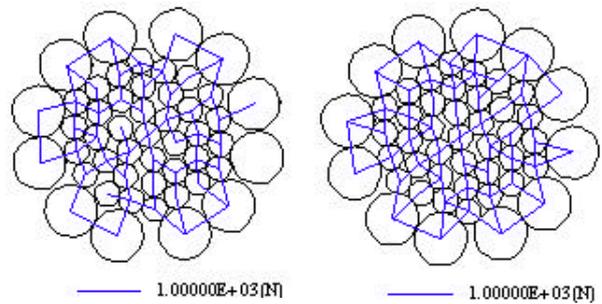
	ヤング率(N/mm)	断面積(mm <sup>2</sup> )	要素長(mm)
1層	$2.10 \times 10^6$	8.04	10
2層	$2.10 \times 10^6$	8.04	10
3層	$7.03 \times 10^5$	8.04	10
4層	$7.03 \times 10^5$	8.04	10
5層	$7.03 \times 10^5$	35.2	10

### 3. 解析結果と考察

図-4(a), (b)に、締め付け角 $3.5^\circ$ および $4.5^\circ$ における接触力法線方向成分の分布図を示す。これより、締め付け角が $3.5^\circ$ を越えると急激に接触力が大きくなることが確認できる。図-5は、すべての接触点にすべりを生じさせた際の最大強制変位の変化である。図より、締め付け角が $4.0^\circ$ を越えると外乱に対してすべりが発生しづらくなるといえる。そこで、全接触点のうち20%においてすべりを生じるまでに発生した摩擦エネルギーのうち、大きな値となるもの上位3接触点を図-6に示す。同図には、大きな摩擦エネルギーが生じた締め付け角 $5.5^\circ$ の場合について示した。締め付け角 $4.5^\circ$ 以下の場合の摩擦エネルギーの値は、同図の2層-3層の場合と同程度またはそれ以下であった。いずれの締め付け角においても第4層の関与する接触点が含まれている。この結果から、第4層の関与する接触点で摩擦エネルギーが大きな値となる傾向にあるといえる。従来素線切れが報告されている素線は第4層に属しており、以上の結果から、素線切れのメカニズムとは表面摩擦によるものであると考えることができる。

### 4. おわりに

本研究ではクランプ締め付け後の素線に与える摩擦の影響について考察した。本研究は外乱の繰り返しに対応したものではないが、実際の送電線においても素線間の相対変位は発生しうるものであり、第4層の素線が表面摩擦を繰り返し受けることにより疲労破壊に至ると予想される。



(a) 締め付け角 $3.5^\circ$  (b) 締め付け角 $4.5^\circ$

図-4 断面内接触力法線方向成分

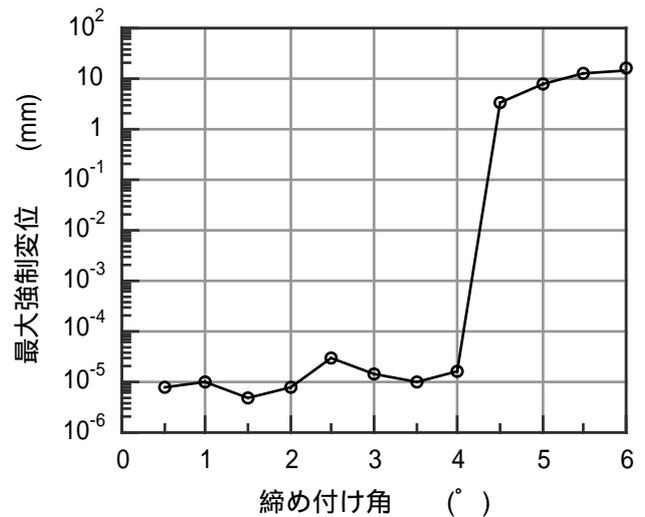


図-5 最大強制変位

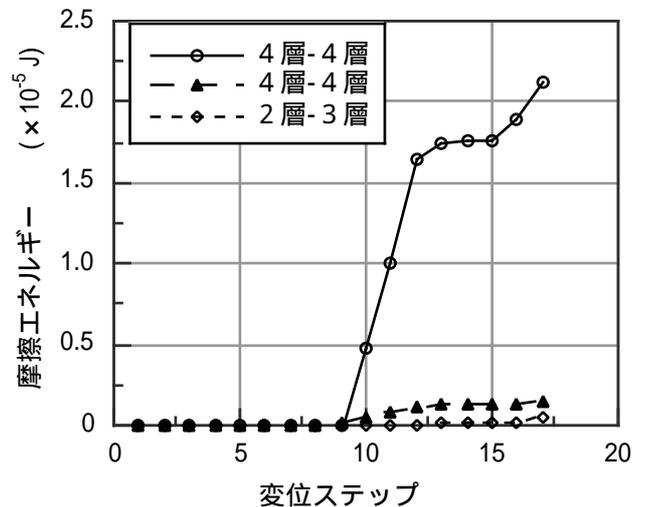


図-6 摩擦エネルギー

### (参考文献)

- 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．
- 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．