

# 架空送電線の 振動及び最近の諸問題

森 太郎<sup>◎</sup>

## はじめに

架空送電線の振動問題は現象が発見されてから既に40年近く経過しております。

その間発表せられた論文の数は勿論百編を優に越しております。

然も尚、相変わらず問題にされているのであります。

これは現象が気象条件、地形に左右され、従って一部に統計的な問題をも含んでいるのであります。

従って物理的に統計的なマルコフ過程という概念を導入して説明せねばならぬような部分もあるのであります。

気象条件が入るという事自体、それが一筋縄では行かぬという事を示していると思われるのであります。

当社の研究部では一部の振動現象に就いて乱流振動と称する在来知られていない分野の振動現象を把握して、これを一昨年C I G R Eに発表し多大の反響を呼んだのであります。

これらを御説明申し上げるについては相当数式を使用する必要があるのでありますが、ここではこれを一切省いて現象の物理的意義をお話して見たいと思います。

そして又、架空送電線のHardware engineer が見た最近の架空送電線の問題点を拾ってこれに対する私の見解を述べてみたいと思います。

## 1. 架空送電線の振動及びダンパー

### (1) 架空送電線の4つの振動姿態

架空送電線の振動は大別して次の4つの振動姿態に分類できると存じます。

即ち

---

◎もり たろう 工博 代表取締役社長

- イ. 微風振動
  - ロ. 乱流振動
  - ハ. ギャロッピング (コロナギャロッピングを含む)
  - ニ. サブスパンギャロッピング (サブスパンオシレーション)
- この4つですが、以下これらについて説明致します。

## (2) 微風振動

通常一様な微風によって起る振動であり、ダンパーを取り付けて除去している振動であります。勿論地形にもよること大であります。一般的に朝風、夕風と称するような或は夜半、南北風向きが、入れ替わるときに起り易い振動であります。

これはKarman 渦と呼ばれる空気渦によって起る風向きと直角な電線の振動であります。

即ち、空気の極めて一様な流れの中に置かれた電線という円柱に空気がさえぎられてその背後に渦流を生じ、その上下の交替的な発生により惹起される振動であります。

他の自然現象でこれをあらわせば流れにさからう葎のゆらぎです。

このKarman渦による振動は、よく御存知の式

$$f = K \frac{V}{D}$$

$V$  : 風速 (m/s)       $D$  : 電線径 (mm)  
 $f$  : 周波数               $K$  : 常数 (185)

で求められます。

即ち、振動数は風速に比例し電線径に逆比例します。

でありますから、本線の振動数より架空地線の振動数ははるかに大きいのであります。

また、極めて風速が大きい場合にはKarman 渦の生成が妨げられるので振動は起りにくく通常の地形では風速は0.5m/s ~ 6m/s 程度であります。

しかし場所によっては10m/s 程度位まで起ります。

振動を防止するダンパーとしては原理的には皆同じで振動体を電線に付加することにより、その共振現象を利用して風のエネルギーを付加した振動体の共振に変換吸収する原理で同一であります。

但し、共振点の数が多し程その作用はよく、又その共振が余りシャープだと電線の振動に対して広く適応出来かねる事になり、起る周波数帯全体としての性能が低下することになります。

その点ダブルトーションアルダンパーは共振点の本線自体の捻り振動を入れて3ヶの共振点を有しております。

従って極めて良好な性能を示します。

これに反しストックブリッジダンパー、最近表われたバイブレスダンパーは共振点は2ヶ、スウェディッシュダンパーの共振点は1ヶ、現在は使用されておりませんが振動発見した初期に欧州で用いられたピストンダンパーは1ヶの共振点を持っております。

詳細は「送電線の振動とダンパー」を御覧願います。

### (3) 乱流振動

前述の如く当社研究部で発見した振動様式でありまして振動は何度も申します如く地形の影響が甚だ大であります、特に山からの吹き下し、或は吹き上げのような径間に起り易い振動であります。

風速からいえば比較的高い風速で起ります。

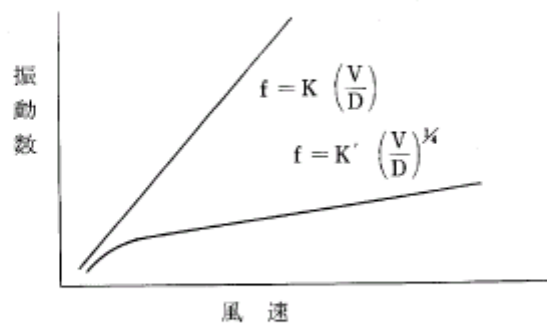
即ち、風速が高くなって層流中に“乱れ”を含むようになると流体中を動く物体の後側に出来る渦はレイノルズ数がある値以上になると小の渦が集ってある周期性を有する一種の集団渦が出来る事が最近の統計的研究から明らかになったが、この理論によって起されると考えられる電線の振動は

$$f = K' (V/D)^{K'} \text{ になります。}$$

ここに  $K' = 18.5$

即ち、前述の微風振動と比較して風速及電線径にあまり関係しない比較的低い振動が起ります。

この現象は当社がおこなった西相模線（十国峠付近）、背振山試験線等の振動測定によって確認せられたものであります。



ここに特に注意しなければならぬ事はこの振動は周波数が低く風による入力エネルギーが高いという結果になる事で、これはダンパーの破壊にまで至る可能性が多い事でありませう。

#### (4) ギャロッピング

ギャロッピングという現象は冬季電線にスリートが付着したときに起る現象であります。

付着したスリートが早く申せば航空機の翼のような作用を示し、一つの径間を1ループ或は2ループの定在波としての自励振動を生ずる現象であります。

これが起るきっかけとしては捻回を伴うのが普通といわれております。

日本では最近かかる振動の記録が数例あります。

一番最初のはっきりした記録は、北海道砂川発電所付近の径間に起きたものでありまして、朝8時頃におきて夕方5時頃まで継続いたしました。

場所は平地で物凄い音をたてて振動し続けたそうです。

そして線間ショートをして電線が切れて、臨にあった納屋を焼いてしまったのです。

私は現場を一年経ってから見に行き、その納屋の所有者の囲炉裏にあたって、その時の模様を聞いたのでした。

不思議な事にその送電線が出来て数年間及びその事故の後にも、一度も斯様な現象は起きたことがないそうです。

これはギャロッピングが発電所の付近に起きたため、その時の発電所の当直運転者が現象を目撃されたので、はっきり確認出来たのです。

普通は現象が人跡まれな場所に起きることが多く、目撃者が殆どなく、若しあっても振動状態を的確に報告出来ない場合が多いように思われます。

そして多くは簡単にスリートジャンプで片づけられてしまっているようです。

実際は相当多くの事例があったと想像されます。

また、これは例のタコマブリヂの破壊と同じ原理です。

ところが英国のセバン川横断の送電線で夏ギャロッピングが起った事が報告されております。

その防護措置として表面をテーピングして平滑な表面にして、これが避けられたとしております。

激しい上昇気流の呼吸現象でも考えなければ解釈出来そうもありません。

しかも場所は川横断です。

英国電気庁のPrest氏に会って、直接確かめて見たのです。

それはともかく、我々は、地形、気象が電線の振動現象に重大なポイントを感じるのであります。

更に、又、原因がコロナによるギャロッピングがあります。

コロナの特に出やすい状態では、ギャロッピングが起るのです。

その原因は、空間電荷にあるといわれます。

この現象はご存知の如く、新北陸幹線で発見せられ、七里先生によって詳しく測定されております。

私の知っている例では、信濃川の発電所近傍で、150KV送電線にも起きております。

今年の四月米国のBPAに参りました所、此処の500KVのSingle Expanded ACS Rを使用している区間では、このコロナギャロッピングになやまされております。

#### (5) サブスパン ギャロッピング (又はオシレーション)

多導体送電線でスぺーサー間にとじこめられた定在波であります。

即ちスぺーサー間隔によって夫々一定の固有振動周期を有するわけで、これに丁度一致した風が吹く時に起こります。

縦振動の場合と横振動の場合とあり、これを両方共サブスパンギャロッピングと称します。

しかし前述の Prest 氏は特に蛇行する振動をサブスパンオシレーションと称しております。

我国では275KV新加古川線4導体線に記録があり、東京南線でも観測されております。

斯様な場合には電線はミソをスルと申しましょうか、捻回を伴った楕円運動をしているのが普通です。

これに関しては後程ご説明申し上げます。

#### (6) 多動体の振動問題

500KV仕様の送電線は既に房総、安曇、若狭等実際に建設済であります。

我国の場合には、今迄のところACS R 410sq 4導体が一般的であります。東電に於ては、今回容量として1000万KWの50万V送電線を企画されて、TACS R 1520sq 4導体、810sq 6導体等を検討せられんとしております。

一方米国のBPAでは、ACS R 1780MCM (890sq相当) 2導体および3120MCM (1560sq相当)のExpanded ACS Rの単導体のものもあります。

又米国の一部では3導体方式のものもありソ連では500KVは3導体、750KVでは4導体方式になっております。

多導体の振動問題に関しては、初期の頃は先づ風の進行方向前面にある導体は、後部の導体に影響を及ぼし、Karman渦の生成をさまたげるであります。

また、各線が互に擾乱しあって、定在波が形成されにくいと考えられてきました。

欺様な観点から、多導体の振動は考慮の外にあるとせられていました。

これらの見解は一理あるのであって、実際に部分的に見ればその通りであります。

諸外国においても殆んど同様であります。特に我国にあつては、4線イコールテンションに緊線されていません。

少なくとも下線2本はゆるく、あたかも上線2本につり上げられているような感じであります。

従つて上下の2線は異なる固有振動数を持ち、丁度下線はベートダンパーの如き作用をしているとされました。

ここで問題をはなれて、ベートダンパーを考えて見ると、成程、ベートダンパーは相当の防振効果を持ち、本線の振動抑止に役立っています。

しかしベート自身は振動していることを忘れてはならないのであります。

4導体の下2導体は果してベートダンパーの役目を果すように、緊線されることが可能でありましょうか。

単に張力を少し上下変えてやるというだけでは、ベートの役をしません。

それはそれとして我々は4導体送電線に於いても、単導体と同様に微風によるKarman渦を生ずる入力エネルギーを考えなければなりません。

即ちその入力エネルギーは単導体の4倍であります。

風の進向方向前面にある2導体の存在による後方2導体に対するKarman渦を生ずる効果が如何程かは削減せられるであります。

張力の違いによる固有振動数の相異による擾乱も各線の固有振動数が甚しく異なっているとは考えられないので、そう大きく見込むわけにはいきません。

又、単導体に比較して、多導体はスペーサーの運動によつてもある程度のエネルギーの吸収は考えられます。(実際には相当大きい。)

その他碍子に関し、その振動エネルギー吸収率は単導体の場合に比し、同等と考えてもヨークは如何なる形式であっても、4線のあるバランスを持たせる機構を有する以上、振動の吸収機構となっています。

これらを総合して一本当りの実際の有効振動エネルギーは単導体の場合より少ないと考えられます。

しかしながら当社の実測例である新加古川線、東京南線等では、単導体に比肩し得る振動が測定せられています。

この事は、測定例としてはまだ少ないが、地形、気象或は架線条件によっては、4 導体線路に於ても単導体同様、防振装置の必要な事を示していると私は考えております。

しかし単導体においては、全線ほぼ一様と考えられる振動姿態を示しておりますが、4 導体ではスパーサー重量が、Hard spot になり比較的高周波数の振動に対してはこの点で波の反射を生じて、スパーサー間に定在波が生じます。

周波数が低いものは、スパーサーを乗り越えて電線支持点に達します。

即ち、多導体においては、低周波の振動姿態と高周波の振動姿態の二様に分けて考えられるのであります。

当社では現在スパーサー間に閉じこめられた振動に対してはスパーサー機構に組込まれたダンパー機構で対処しスパーサーを乗り越えて電線支持端に達する振動に対しては従来の単導体ダブルトーションアルダンパーを各線付或は複導体用トーションアルダンパーを上下に付けて処置する方針をとってきております。

4 導体の場合のダンパー取付実績は下記の通りであります。

東部幹線	ACSR 410sq	河川横断径間	
安曇幹線	IEACSR 410sq	} 200 m 以上全径間	
〃	TACSR 240sq		
阪奈線	ACSR 410sq	400 m 以上全径間	
若狭西線	ACSR 410sq	湾口横断径間 (617 m)	

英国はダンパーを全径間に使用しており、ソビエトの3 導体、4 導体も略全径間にダンパーを使用しております。

カナダにおいては、スパーサーにダンパー機構を組込ませております。

## 2. スパーサー

スパーサーに関しては、各国の考え方を二種類に分類することができます。

(i) スパーサーは固定に構成されていて(可動部分がない)電線との間には合成ゴムの如きものの介在に依ってその損耗を防ぐ。

(ii) 可動な機構を有し且つこれが種々予想される状態に対し破壊せぬ様に考案する。

前者は主として英国のPrest 氏によって主張されたものでありますが、その結果は余り面白

くなく一般的に後者の方向にむかっています。

又、振動問題を考えて

。(i) 吸収機構をスペーサーに内蔵せしめる。

(ii) 吸収機構は考えずこれに対処するものとしてダンパーを用いる。

前者はカナダのオンタリオハイドロ、ケベックハイドロの考え方であり、後者は英国及びソビエットによって代表される考え方であります。

又、形状の方からは

(i) 一つの構機から成立っているもの。

(ii) 2 導体スペーサーを 3 導体ならば 3 個、4 導体ならば 5 個使用する。

(i) は一般的なもの、(ii) の方式はソビエットで行われているものであります。

これらを要するにスペーサーは素導体間隔を所定の値に保持し発生の子想される如何なる事態に対してもその機能を失わず、且電線を損傷させぬことが必要であります。

そのためには次の如き条件を最小限具備せねばなりません。

(イ) 機械的強度

1. 短絡電流に対する強度。
2. 電線捻回に対する把持力。

(ロ) 耐磨耗性

ステッキング或は微風振動に対する関節部の耐磨耗性。

(ハ) 機構的に

1 導体相互の運動に対しガタがなく電線に有害な応力を発生させないこと。

(ニ) 電氣的に

1. コロナノイズレベルが電線より低いこと。
2. 導体とスペーサー間の電位差は300V以下であること。

(有害ノイズの見地より)

(ホ) 材質的に

耐久性、耐候性、耐オゾン性、耐塩性を有し腐食を生じない材料であること。

(ヘ) 作業性

取付け、取外しが容易であること。

当社はビストンダンパーを内蔵したものを製作しております。



### 3. 楔型引留クランプ

最近工事の省力化の推進にともない 500KV 4 導体工事に対しても楔型引留クランプが用いられております。

そのためには、在来のものよりナット或は端面のRとり等、コロナ防止の見地から検討され、また、ジャンパー線が下線にあたらぬようヨークを改良しました。

また、最近では地線(IACS R120sq)に対しても楔型引留クランプが採用されている状態です。

なお、ジャンパーの横振問題に対しても有利な点をもっていることも注目されています。

### 4. ジャンパー補強装置

ジャンパー補強装置に関して遺憾ながら目下これを考えなおさねばならぬ段階にあると私は考えております。

即ち、一般的に於いて在来の補強装置では、振れ角の減少は5°程度であり碍子連ごとに振れてしまうのであります。

しかし乍ら、これを応力の方から考えますと、補強をしないと口元の最大歪1000 $\mu$ をいくらか超す程度で安全歪ぎりぎりです。

補強がある場合には装置によっても異なるが、800 $\mu$ 以下におさえられるのであります。

問題は4導体の場合に実際にどの程度振れるか、歪はどの程度か、大きな振れ角度を生ずる頻度はどの程度か未だ全く判っていません。

実験により類推する程度であって、この実験が実際問題として果してシミュレートしていると考えてよいかどうか全々不明であります。

### 5. ジャンパーの熔接接続

工事の省力の問題に関連して、もしジャンパーを圧縮機なしの接続が出来れば電線の条長を特に指定することによって大巾の工数節約が出来ます。

それはジャンパーの熔着であります。

これはスイス、ドイツ等では既に10数年前から実施せられて居るのであります。

前前回渡欧した際にスイスの山嶽地帯の38万V送電線現場で実際に見たのであります。

ほんとにマッチ1本で出来るのです。

私は発熱体が、熔着すべき導体にとけこんでその導電率の低下を招来するのではないかという心配、それから張力の補強に問題を感じたのであります。

然し、今回見た方法は所謂Kerb Verbinderを採用することで押込工具でこれが作業が可能であり、且発熱体は導体から完全に隔離されていることがわかったので、上記二つの懸念は完全に解消されたことになると思うのであります。

楔型引留とジャンパー熔接を採用されれば全体としての省力は見るべきものがあると思うのであります。

以上、甚だ雑薄なお話して恐縮ですが御静聴有難く存じます。

以上

(44年8月 中国電力講演予稿)