

論文

ザイルモデルによる高圧送電線ギャロッピング現象 の逓減実験

Dumping of Galloping Phenomena on High Voltage Cables
by Zaile Method

小竹茂夫, 小林嘉, 鈴木泰之, 妹尾允史
Shigeo KOTAKE, Yoshimi KOBAYASHI, Yasuyuki SUZUKI and Masafumi SENOO
(機械工学科 Department of Mechanical Engineering)

(Received September 12, 1997)

Abstract

Galloping of high voltage electric cables is one of serious problems during winter time. Since ice block along the cable works like wing for lift under the strong wind, self-excited vibration will be caused into galloping of cables. To lower the cost for electric transportation, researching for dumping method for galloping phenomena is important subjects. In this study we propose zaile method, connecting flux of cables with insulator chains, to lower vibration of cables. Models experiments for dumping effect of galloping have been done, with several zaile patterns. From the results, to reduce vibration, connection in vertical direction is the most effective one. Since, with the zaile connection, vibration dumping was five times smaller than free galloping, it has been proved that zaile method is effective to reduce galloping vibration.

Key words: galloping, zaile method, vibration dumping, electric cable

1. 序論

送電線のギャロッピングは、冬期における寒冷地での着雪や着氷が原因となって、強風時に送電線が振動を起こす現象であり[1],[2]、送電線同士が短絡した場合、停電の原因となる。一方、近年、電力輸送の効率化から高圧電力線の多配線化[3]が、また土地の高騰化から用地面積の縮小化が要求され、送電線の間隔を減少させる試みがなされてきた[4]。送電線間の距離の縮小は、送電線同士の接触による被害を増大する可能性があるため、ギャロッピング時の振幅を逓減させる必要がある。従来、送電線のギャロッピングを逓減させる試みとして、ダンパーによる振動の減衰や、電線の間隔に振り子を設置することによる共振点からのエネルギー移動が試みられてきた。しかしこれらの方法では、ギャロッピングを十分に逓減できず、さらなる工夫が必要とされてきた。

同一の太さ、同一の張力で張られている複数本の独立な送電線は、同じ周波数でギャロッピングをおこなうが、送電線ごとに振動の位相は異なる。そのため送電線間に、絶縁材による力学的結合を持たせた場合(以後、この結合をザイル(モデル)と呼ぶ)、互いの振動に影響を与え、ギャロッピングの逓減に有効な効果を持つ可能性がある[5]。従来、送電線のギャロッピング逓減の目的で、ザイルモデルを考察した研究例は見当たらず、それらの効果について正しく予想する事はできなかった。一方、通常の高圧送電は、グラウンド線も含め8本以上の電線からなり、それらの結合には、使用するザイルの素材や取付位置、取り付けパターンを含め多くの組み合わせが存在する。そのため送電線間を結合するザイルモデルは複雑であり、ギャロッピングの逓減に向く組み合わせを予想する事はできなかった。また、振動形態を正しく評価するには、8本それぞれの送電線の振動を解析する必要があるが、ギャロッピング下での送電線全ての振動形態や相関について議論した研究例は少なかった。

今回, 我々は, 送電線のギャロッピング現象での振幅を減減させる事を目的として, ザイルモデルによる抑制の効果について検討をおこなった. そのため, 全長7mのワイヤーからなる高圧送電線(旭電機(株)最上試験線)の1/50のモデルを作製し, 人工着雪や人工送風によるワイヤーの振動実験をおこなった. 特に, ワイヤーの振動が長手方向とは垂直な平面上に生じる事から, 振動形態を2次元であらわし, 各線の振動を同時に記録できるよう工夫をおこなった. これらの工夫により, 各ワイヤーの振動の2次元軌跡や周波数解析が可能となった. 特に, 各ザイルパターンによるワイヤーの振幅の変化を中心に, 実験および考察をおこなった.

2. 実験方法

2.1 高圧送電線のモデル

高圧送電線におけるギャロッピング現象を想定し, 旭電機(株)保有の高圧送電試験線の1/50の縮尺モデルを作製した. 送電線のモデルには, $\phi 2.5\text{mm}$, 1x19のステンレス製のワイヤーを用い, 長さは6.5mとした. 鉄塔には, Lead(株)製のRack OR-1(幅505, 奥行き650, 高さ2104mm)を用い, 地表からグラウンド線までの高さを1.5mとした. 各ワイヤーの片端は, 定滑車に接続し, 一定・均一な張力を付加するために, 1kgfの荷重をほどこした. また各ワイヤーの残りの一端には, ワイヤーの中心位置からのずれ(以下, 振幅)を計測するためにアルミ板からなるセンサー部に固定した.

今回作製した試験線の寸法の概略をFig. 1に示す. 各ワイヤーの取付位置は, 実際の高圧送電線の間隔を元に算出した. 図に示したように上方のグラウンド線の2本を左から順に, G1, G2, グラウンド線以外の6本のワイヤーを上側, 左側から順番に, No. 1~No. 6と名付けた. 今回, No. 1~No. 6のワイヤーについて, 変位センサーを取り付け, 変位の測定をおこなった. 滑車およびセンサーの取付位置は, 各ワイヤーが平行になるように, 同じ高さ, 同じ間隔に設置した.

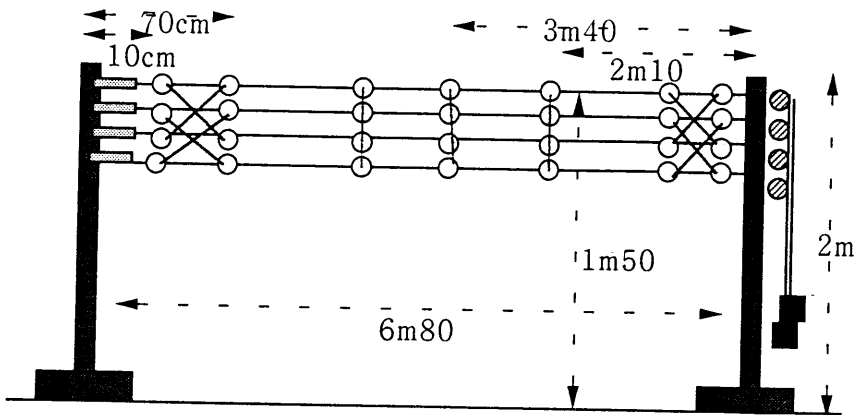


Fig. 1 Schematic figure of experiment for zaille method

今回, 各ワイヤーの中心位置を原点とする相対座標をほどこした. 各ワイヤーの線の方向にそってセンサーから滑車の方向を正にしてZ軸, それと垂直で地表に水平な方向に扇風機の方を正にしてX軸, 鉛直方向に上方を正にしてY軸とした.

2.2 着雪および送風器

ギャロッピングの原因となる着氷, 着雪のモデルとして, 12x7.5x0.2cmのポリスチレン製の板を用いた. 着雪は, 長手方向をZ軸に平行に, もう一方を水平方向に対して45度に傾けて設置し, ワイヤーをゴム系ボンド(コニシ(株)製G17)およびステイプルにより固定した. 着雪は, 50cm間隔に, 中央部分, 5m60cmの範囲に設置した. 一方, ワイヤーからX軸正の方向, 1mの距離に扇風機を設置した. 扇風機は, 中心部から対称に1m30cm, 2m80cmの位置に4台置き, 中風および強風の風を発生させた. 扇風機は, 風速を一定とし首を固定して用いた.

2.3 ザイルモデル

各種のザイルモデルに従って, ワイヤー両端部とワイヤー中央部での各素材による取り付けをおこなった. 各ワイヤーには, ザイルを取り付けるために, 圧着端子を所定の位置に取り付けた.

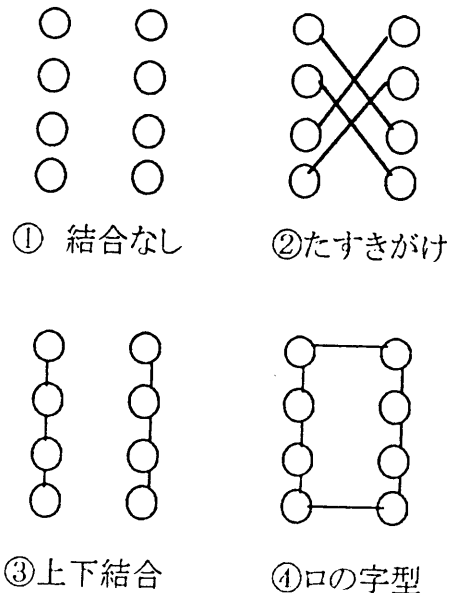


Fig. 2 Connecting pattern for zaille.

端部での結合には、ワイヤーの端部から10cmの Fig. 2 Connecting pattern for zaile. 位置と70cmの位置に、Fig.1に示すような”たすきがけ”状の結合をおこなった。ワイヤーの結合には、φ2mmのゴムひもを用いた。また、中央部の結合は、ワイヤー中央とその両側1m30cmの位置に、施した。ワイヤーの結合は、Fig. 2に示す4通りの方式(①結合なし、②たすきがけ、③上下連結、④口の字型)からなり、これらを組み合わせることにより、8通りの結合をおこなった(Table 1)。ワイヤーの結合には、両端部で用いものと同じゴムひもおよびφ2mmのプラスチック製の鎖を用いた。以上、中央部と両端部および材質におけるザイルの組み合わせから、計14種類のザイルモデルについて、強風及び中風下、それぞれ2回づつ、ワイヤーの振動実験をおこなった。

Table.1 connection pattern for zaile method.

pattern	a	b	c	d	e	f	g	h	i
middle	①	①	③	④	②	②	③	③	③
side	①	②	②	②	②	①	①	①	②

(①結合なし、②たすきがけ、③上下連結、④口の字型)

2.4 振動検出器

振動を測定するセンサーは、6本のワイヤーのX,Y各軸の変位を計測する必要がある。そのため、長さ100幅25厚さ2.5mmの2枚のアルミニウム板を直角に配置し、ねじった金属ツにより固定した。センサーの根元は、直角アングルにより、Rack上のアルミニウム板に固定し、片持ち梁とした。2枚の板は、その板面の法線方向を垂直および水平になるように取り付け、それぞれをY軸およびX軸の変位計とした。センサーの先端には、ワイヤーをかしめつけた圧着端子をネジ止めした。直角に配置された2枚のアルミ板は、それぞれの面の法線方向に変位する片持ち梁とみなされ、固有振動数1000Hzとなるように設計された。センサー部の固有振動数は、ギャロッピングの数Hz程度の振動とは、大きく離れているため、ワイヤーのセンサー部の端は、固定端とみなされる。

一方、センサーの各板の両面には、圧電素子を絶縁性の両面テープにより張り付けた。センサーが板の曲げの情報を検出するように、圧電素子の極性に注意して、バイモルフを作製した。2枚の圧電素子を直列にする事により、アルミ板の引っ張り方向の変位をキャンセルさせた。計12個のセンサーの電圧は、X、Y各軸とも正の方向に、正の電圧が発生するよう調整した。

2.5 データー記録部

12個の各センサーからの出力は、振動の変位に対してmV程度の出力になる。これをアンプ内臓のA/D変換器(intelligent instrumentation社製 DASport)に接続し、voltオーダーに増幅した。これらのデーターを12bitでデジタル化後、パラレルポートによりDOS/Vコンピューターに取り込んだ。サンプリング周波数は、2000Hzとし、5秒間、12チャンネルのデーターをASCII形式にてコンピューターに記録した。データー収集プログラムは、intelligent instrumentation 社製 Visual Designerを用いて作製した。また、ワイヤー中央部の振動の様子を、水平および垂直方向に設置させたVideo Camera(水平方向:Sony製 HandyCam, 垂直方向:Panasonic製 パットル)により撮影をおこなった。各画像は、Video Capture board (miro社製 miroVideo DC20)により、320x200 pixel, 15fpsでデジタル化をおこない、コンピューターに記録させた。今回、画像情報は、振幅や振動状況を判断する試料としてのみ用い、変位の定量的な解析には用いなかった。

2.6 解析方法

記録した圧電素子からの電圧は、DOS/Vコンピューター上の数学ソフトMathematicaを用いて解析をおこなった。それぞれのワイヤーの各軸の変位について、フーリエ変換をほどこし、振動の周波数を決定した。また不可避なノイズとして混入する商用電源60Hzの信号をフィルタリングする事により、ワイヤーの振動固有の情報を明らかにした。またXおよびY軸の信号からワイヤーの変位の軌跡を示し、Videoによる画像情報と合わせて振動の形態について議論した。

一方、ザイルモデルによる各ワイヤー間の影響を考慮するため、0.5secのサンプリングに対して、No. 1のワイヤーの信号の自己相関関数およびNo. 1, No. 5, No. 6間の相互相関関数とそのパワースペクトラムについて計算をおこなった。これらのデーターの詳細は、以下の実験結果の章および別紙のデーター集にて示した。

3. 実験結果

3.1 目視観察による振動形態の評価

各ザイルにより, ワイヤーの振動は大きく変化した. 目視及びVideo画像の観察結果から, やや主観的, 定性的ではあるが, ザイルによる振動形態への影響が理解される.

ザイルをほどこさないワイヤー(以下, ザイルパターンa)は, 強風下で, 約4cmの振幅を示し, 風によるギャロッピングが観察された. 一方, ザイルにより, 振幅が, 数分の1以下に減少し, これによる振動の逓減が観察された. また, ザイルパターンbの結果から, 端部のザイルはワイヤの振動を逓減するには有効ではないことが分かった.

一方, ザイルパターンc, dでは, 結合されたワイヤー全体がまとまった振動を示すことから, ねじり方向の振動が押さえられることなどが観察された. ザイルパターンe, fで示すように”たすきがけ”されたワイヤーでは, ザイルパターンaと変わらず, 大きな振幅を示した. 以上の結果から, 送風を受け, 着雪を施したワイヤーは, 各ザイルパターンにより異なった振動形態を示すことが分かる. 以下, ワイヤーの振幅, 振動数およびザイル素材, 風力の影響に分けて, ワイヤーの変位による圧電素子の信号を中心とした半定量的な解析をおこなう.

3.2 ワイヤーの変位と圧電素子の電圧の関係

圧電素子の電圧からワイヤーの振幅を見積もるため, ワイヤーを手で変位させて, その時の圧電素子の電圧を測定した. 圧電素子の出力はワイヤーの変位の速度や加速度にはよらず, 振幅に対して一定であった. また, ワイヤーの振動を圧電素子の電圧の測定とVideoによる撮影について同時におこなう事により, これらの関係を明らかにした. その結果, ワイヤーの中央部で5cmの変位に対して, 約1Vの出力を測定した.

3.3 着雪によるワイヤーのギャロッピング現象

ザイルパターンaについてギャロッピングの発生を確認した. 弦の1次のモードにおけるワイヤーの振動とワイヤーのねじりによる振動が観察された. Fig. 3(a,b)に, 強風下でのNo.1のワイヤーについて, X, Yの2次元による軌跡およびパワースペクトラムを示す. ワイヤーの振動には, 2.7Hzと5.5Hzの二つの共振周波数が存在し, X, Y平面2次元の軌跡およびVideoの画像から, 前者は, 約5cmの大きな振幅を持つワイヤー弦のモード1の振動であると考えられる. また後者は, 1cmに相当する小さな振幅を持つ弦の2次のモードの振動とワイヤーのねじれによる振動が, 複雑にからみあったものと考えられる.

次に, Fig. 4(a)に強風下でのNo.1のワイヤーのY軸方向の自己相関関数のパワースペクトラムを, Fig. 4(b)にNo.1とNo.5の間の相互相関関数のパワースペクトラムを示す. ザイルパターンaの振動の場合, 自己相関関数のパワースペクトラムは3Hzあたりにピークを持つのに対し, 相互相関のパワースペクトラムはピークを示さないことから, 各ワイヤーは独立に振動をしていると考えられる.

3.4 ザイルによる振幅の変化

各ザイルによるワイヤーの振幅について述べる. Fig. 5に, 強風下, 鎖によるザイルパターンdにおけるY方向の振幅のパワースペクトラムを示す. ザイルパターンaの場合, ワイヤーは2.7Hzで5.3Vのピークをもつ. 一方, ザイルパターンdの場合, パワースペクトラムは, 0.4V付近で, 明確なピークはもたない. これは, Video画像による振幅の結果と一致する. ザイル

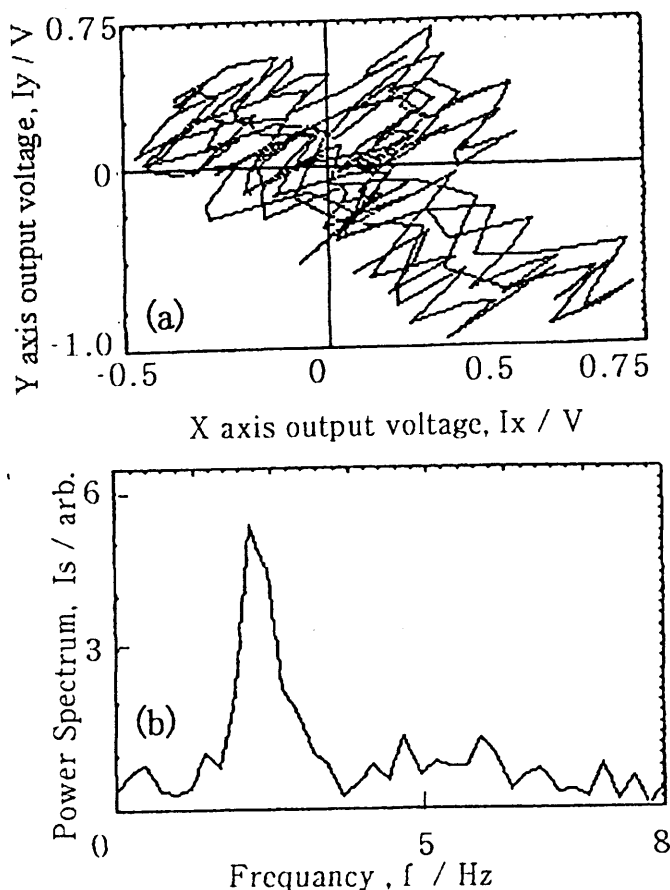


Fig. 3 (a) 2 dimensional trace and (b) Power spectrum density of X axis sensor at No.1 wire with pattern A zaille under strong wind.

パターンaに比べて、ザイルパターンdでは、X,Yの方向ともに振幅は半減し、ザイルにより振動が抑制される事が確認された。

Fig. 6に、強風における各ザイルパターン下でのNo. 1のワイヤーにおけるX方向のパワースペクトラムのピーク電圧の変化を示す。各ザイルパターンによってワイヤーの振幅に与える効果が異なる。ザイルパターンbでは、ザイルパターンaと比べ振幅が変化しない事、他の中央部のパターンへの端部のザイルの取り付けが振幅に影響しない事から、端部のザイルはワイヤーの振動の通減効果が低いことが分かる。一方、各ワイヤーを上下方向に結合させたザイルパターンcでは、電圧比で、ザイルパターンaの1/2、またワイヤーと上下および左右に結合させたザイルパターンdでは、1/4の振幅の減少が観察された。これらのザイルにより振動が大きく通減されたことが分かった。一方、各ワイヤーを”たすきがけ”状に結合させたザイルパターンe, fでは、ワイヤーの振幅はむしろ増幅した。これらの結果から、中央部分のザイルの効果は、端部に比べて大きくあらわれるが、結合のしかたに大きく依存することが分かる。

3.5 ザイルによる振動数の変化

線密度0.038kg/mのワイヤーを張力1kgfで張った送電線のモデルは、単純な両端固定の弦の振動の式から、固有振動数2.5Hzのモード1の振動や5Hzのモード2の振動が期待される。一般に、連続体の振動では、外部からの減衰や相互作用により、共振点の移動が知られており、ザイルの取り付けにより振動の振幅だけでなく振動数にも変化が期待される。実験の結果、各ワイヤーは、ほぼ2.5Hz付近のモード1の振動と、その倍の周波数を持つモード2の振動が観察された。これは、弦の振動の理論値と一致する。全般的に共振周波数の変化は大きくなく、ザイルの影響による系統的な変化も観察されなかった。ザイルパターンfおよびeにおいては、ゴム素材のザイルではより高い方向に、プラスチックの鎖ではより低い方向に共振周波数が変化したが、これは”たすきがけ”状のザイルにより別モードの振動が発生されたものと考えられる。

3.6 ザイルの素材による振動への影響

ザイルパターンのみならずザイルの素材によっても、ワイヤーの振動に対する影響は異なる。Fig. 7に、No. 5のワイヤーのY方向における各素材、各ザイルパターンにおける振動数と周波数の変化の関係を示す。

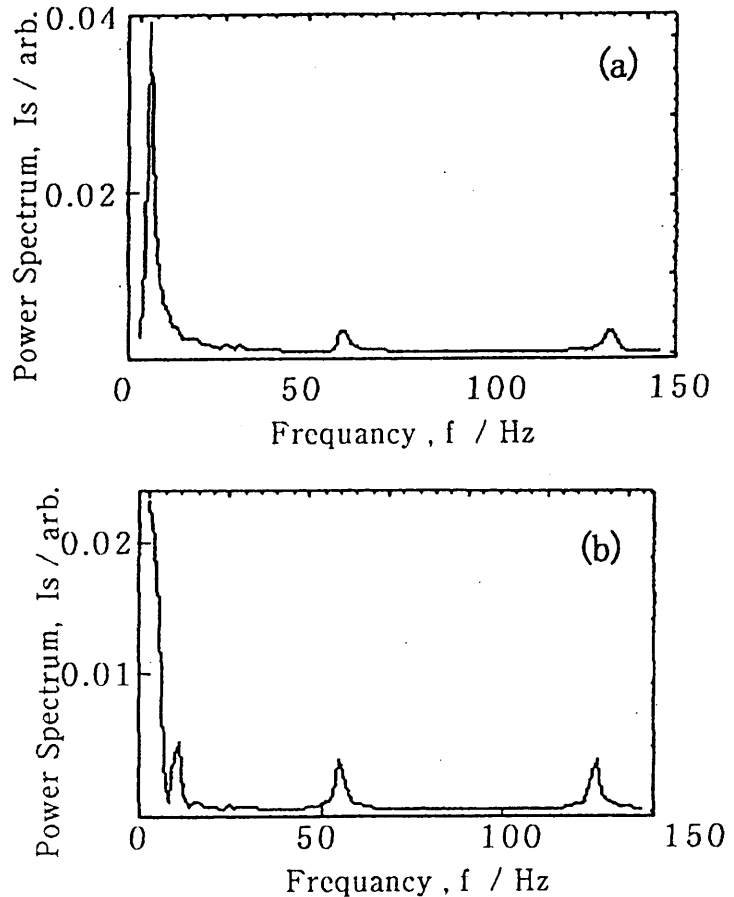


Fig.4 Power spectrum of (a) auto-correlation and (b) cross-correlation function in Y axis sensor at No.1 wire with pattern D zaile under strong wind.

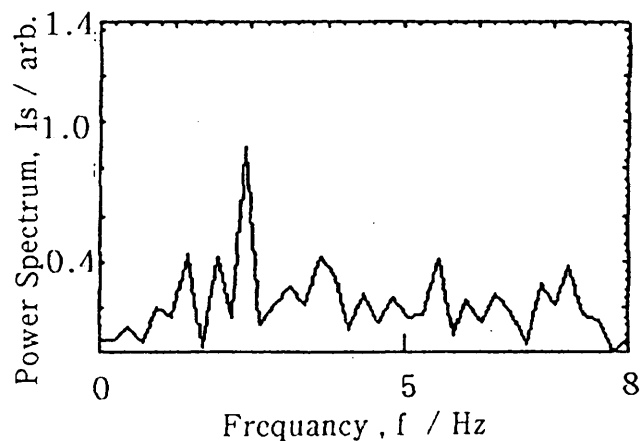


Fig.5 Power spectrum density of Y axis sensor at No.1 wire with pattern D zaile under strong wind.

これにより、鎖によるザイルは、ゴムによるザイルに比べ、低周波数側に共振点がずれる傾向にあることが分かる。一方、共振ピークの電圧の値からは、ザイルの素材による系統的な変化は読みとれない。しかし、目視およびVideo画像による振動観察の結果から、鎖よりゴムの素材の方が、ワイヤーの振動速減に効果があるとの印象を受けた。これらの結果から、ワイヤーの振動は素材にも依存するが、ザイルパターンによる影響ほど顕著ではないことが分かる。

3.7 風の強度による振動への影響

風量の強度の変化により、No.1のワイヤーのY軸方向の振幅は約2倍に増加した。一方、ワイヤーのX軸方向の振幅は、あまり変化しなかった。これは、風量が主としてワイヤーに揚力として働き、Y軸方向の振幅に影響を与えるためと考えられる。また、No.5の振幅はNo.1の振幅ほどは変化を見せない。これは、扇風機による風に広がり少なく、幅246mmの送電線モデルにたいして、局部的に作用するためと考えられ、実際の送電線からの相違となる。

3.8 ザイルによる相関関数の変化

ザイルによる結合の結果、各ワイヤーが相関を持って振動する様子が観察された。これを定量的に評価する目的で、自己・相互相関関数を求め、そのパワースペクトルのピークの値および周波数から、各ワイヤーの相関の度合を評価した。Fig.8に、各ザイルパターンにおける、No.1の自己相関関数およびNo.1,5,6の相互相関関数による、ピークの電圧の変化を示す。

ピークの電圧は、それぞれの信号強度に比例するため、振幅の少ないザイルパターンほど相関強度が小さい。しかし、単位信号強度で比較した場合、ザイルによる結合により、より大きな相関が存在していると考えられる。また、ザイルパターンaでは、自己相関強度が相互相関強度より大きいものに対して、ザイルによる結合を受けた場合、相互相関強度の方が自己相関強度より大きくなる様子が分かる。一部、相関強度が極端に大きくなるザイルパターンが存在するが、サンプリング時間も十分ではなかったことから、はっきりとした根拠は見当たらなかった。一方、相関ピークを持つ周波数は、各ワイヤーの共振周波数に等しく、ザイルによる大きな変化は見当たらなかった。

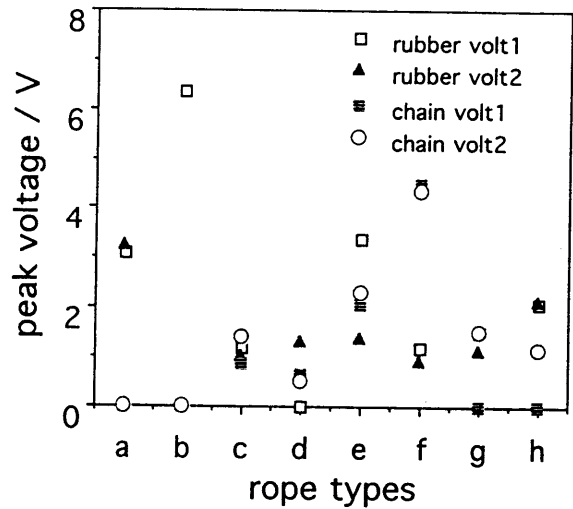


Fig.6 Peak voltage of power spectrum of No.1X wire signal with each zaile pattern signal under strong wind.

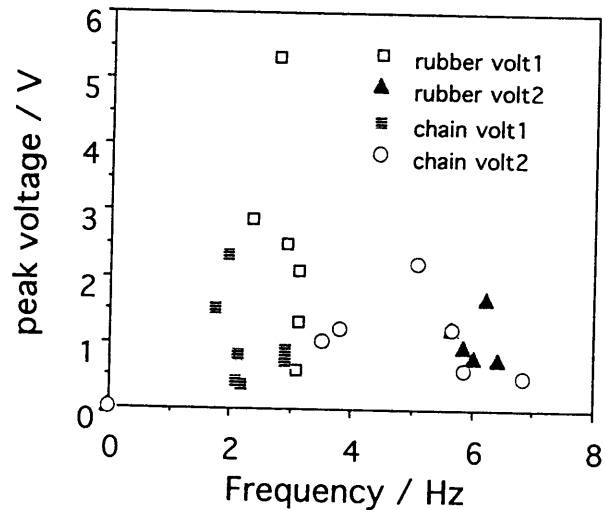


Fig.7 Relation between peak voltage of power spectrum and frequency of No.1Y wire signal with each zaile pattern under strong wind.

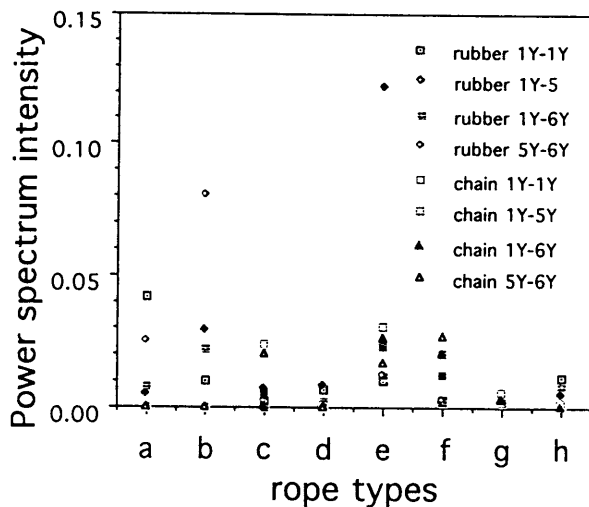


Fig.8 Peak voltage of power spectrum in correlation function of each zaile pattern at No.1Y wire under strong wind.

4. 考察

4.1 ワイヤーのギャロッピング現象

今回の送電線モデルは、実際の高圧送電線の1/50のスケールを想定して作製されたが、一般の振動実験の場合、振動の速度は、ワイヤーの線密度および張力に依存するため、長さのディメンジョンによるミニチュアモデルでは、現実の適切なシミュレーションとはなりえない。今回のモデルでは、実際の送電線のギャロッピング周波数(約1Hz)に近づけ、張力を1kgfと現実的な物にするため、ワイヤーの太さを直径2.5mmと実際の送電線の長さに対する比よりも、太めに設定した。

一方、 ϕ 2.5mmのステンレス線の物性値から、 $G=100\text{MPa}$ 、 $\rho=7.8 \times 10^3\text{kg/m}^3$ とした場合、弦のねじり方向の固有振動数は、約15Hzとなる。しかし、今回のワイヤーは、片方の端がねじりに対して固定されていないこと、ワイヤーがステンレスの寄り線からなることから、ワイヤーのねじり方向の固有振動数は、さらに下がり数Hzとなり、長手方向の振動との相互作用が発生しやすくなる。よって今回の振動実験では、ワイヤーのねじり振動が無視できなくなった。一方、実際の送電線では、線の長さが50倍になることから、ねじり方向の固有振動数は、約0.1Hzと極端に小さく、ギャロッピングに対するねじり方向の振動の影響は少ない。

電線のギャロッピングは、送風による揚力と重力による電線の位置エネルギーとの関係から定まることが知られている[1]。線密度が実際の送電線の1/50の今回のモデルに、送電線と同等なギャロッピングを発生させるには、実際の送電線の1/50程度の揚力を発生させる必要がある。今回用いた扇風機による送風は、実際に送電線がギャロッピングを起こす風力よりもはるかに小さい。かりに風力が、1/50程度であったとすると、送電線モデルの着雪の単位長さ当たりの面積は、実際の送電線と同程度である必要がある。今回のモデルでは、十分な面積を得るために、単位長さあたり180cm²/mの着雪を施した。着雪は、50cm間隔に幅7.5cmの広いプレートを取り付けたため、大きなトルクがかかり、ねじり振動が顕著となった。今回のワイヤーでは、固有振動数、数Hzのねじり振動が発生し、これがワイヤーの長手方向のモード1の固有振動に近いと、これらの異なる振動の間で、エネルギー授受がおこなわれ、複雑な振動形態を呈した。

Fig. 4(c)の振動変位のX, Y平面の軌跡から分かるように、本実験でのワイヤーは、数Hzの振幅の細かい振動をともなった、約2.5Hzの斜め直線方向の振動を示した。高次の共振周波数は、ワイヤーの弦の振動の2次のモードとねじりのモードが、複雑に相互作用しあったものと考えられる。今回の振動実験では、ワイヤーが、X, Y平面で回転することはなく、X, Y両軸の振動の位相差は等しかった。これは、ワイヤーの片端が、センサーに固定され、回転にたいする抗力が大きかったためと考えられる。

4.2 ザイルによる振動数の変化と原因

ザイルの接続によりワイヤーの共振周波数が大きく変化することはなかった。これは、ザイルの総重量(数十g)が、ワイヤーの総重量(2kg)に比べて極端に小さいためと考えられる。ザイルによる共振周波数の変化には、あまり法則性が見当たらなかった。

4.3 ザイルの接続法による振幅の通減への効果

ザイルによる振動形態の変化は、ワイヤーの中央部を垂直方向に接続した、ザイルパターンcおよびdにおいて顕著にあらわれた。送電線のギャロッピングは、揚力とバランスする重力方向の変位から生まれるため、垂直方向の変位を制限するこれらのザイルは、振動の抑制に効果があると考えられる。端部に接続したザイルは、この部分におけるワイヤーの振幅が小さいため、各振動を押さえる効果が小さい。また、ザイルを”たすきがけ”にした場合、垂直方向の変位の抑制には効果がなく、ギャロッピングは押さえられなかった。

4.4 ザイルの素材による振幅の通減への効果

一般に目視による振動形態の観察結果から、プラスチック鎖よりもゴムひもによるザイルの場合に振動の抑制効果があらわれた。これは、ゴムの場合、振幅の引っ張り・圧縮両方向に応力が生じること、ゴムには大きな内部摩擦が存在し、ダンパーの役目を果たすことが原因と考えられる。自己相関関数のパワースペクトラムの原点付近での変化から、振動の減衰係数(ダンピングの効果)が得られるが、ゴムのザイルほど大きな減衰を示す傾向にあった。目視による印象とは異なり、圧電素子の信号からは、素材による抑制効果に大きな差が生じなかった。

4.5 風力によるザイルの振動通減の変化

実験の結果から、風力を変化させることにより、ザイルによるワイヤーの振幅の通減効果が

変化することはなかった。今回の振動実験では、激しいギャロッピングが観察されなかったが、ザイルによる振動の逓減効果は、強振動の場合でも変化しないものと考えられる。

4.6 ザイルによるワイヤー間の振動の相関への影響

各ワイヤーの振動は、ザイルパターンにより相互間の影響が大きく異なる。ザイルパターン c, dでは、上下方向にワイヤーを結合させることにより、各ワイヤーが、まとまった振動を示す。一方、ザイルパターン b, e, fでは、ザイルにより各ワイヤーの振動が影響を受けず、相関は少ないままであった。これらの関係は、電線の振動の逓減効果と同じ傾向を示すことから、ザイルによる振動の相関と振動の逓減には、密接な関係があると考えられる。自己・相互相関係数について、より精密な議論をするには、より長いサンプリング時間のデータについて、パワースペクトラムの位相の値や、原点近傍での減衰率について定量的な解析をおこなう必要があると考えられる。

5. 結論

今回我々は、送電線のギャロッピング現象に対して、1/50スケールのモデル実験をおこない、ザイルの及ぼす効果について考察をおこなった。特に、ワイヤー6本それぞれのX,Y軸の変位を同時に測定することにより、振動の定量的評価をおこなった。

これらの実験の結果から、明らかになった点を以下に記す。

- (1) ザイルモデルは、送電線のギャロッピングの逓減に効果があり、それらの度合は、ザイルの素材よりも、ザイルのパターンに大きく依存する。
- (2) 特に、送電線の中央部分において上下方向に結合するザイルパターン c, dにより、振幅は大きく逓減する。
- (3) 中央部でのたすきがけによるザイルの結合や端部でのザイルの結合は、送電線の振幅の逓減にあまり影響を示さない。
- (4) ザイルにより振動の逓減は、送電線間の結合を強めることにより相関を大きくすることと関係がある。
- (5) ザイルパターンは、共振周波数に大きな影響を与えなかった。
- (6) 風力による影響は、振幅の増加に見られたが、振動の逓減効果には変化がなかった。

この研究をおこなうにあたり、三重大学工学部修士2年、八幡篤志氏、森沢史郎氏、中部電力(株)中央研究所絶縁グループ、旭電機(株)、(株)スターシップに大変お世話になりました。またワイヤーの振動の測定法および解析法について、三重大学工学部 水谷教授、沢井技官に有益な助言をいただきました。

参考文献

- [1] 木下仁志, 石原啓司: 電力伝送工学, コロナ社, 1983.
- [2] 宅間薫, 柳父悟: 高電圧大電流工学, 電気学会, 1988.
- [3] 高田一志: 大電力需要時代の多導体送電線, 新電気, 7, 1996, 17.
- [4] 中部電力(株)中央研究所絶縁グループ: 送電線の小型軽量化に関する研究, 1995.
- [5] 谷口修: 振動工学ハンドブック: 養賢堂, 1976.