

## 2009 年度に観測された送電線風振動の解析と考察

### Analyses and discussions on wind-induced vibrations in transmission lines measured in the 2009

山口宏樹<sup>1\*</sup>, 熊谷 啓<sup>1</sup>, 栗田 健<sup>2</sup>, 磯崎正則<sup>2</sup>  
H. Yamaguchi<sup>1\*</sup>, K. Kumagai<sup>1</sup>, K. Kurita<sup>2</sup>, M. Isozaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 埼玉大学 大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

<sup>2</sup> 東京電力株式会社 技術開発研究所

Research and Development Center, Tokyo Electric Power Company

#### Abstract

The wind-induced vibrations measured in the 2009 in three different types of transmission lines with different numbers of bundled conductors are analyzed in order to discuss their characteristics and possible mechanisms. It is concluded that the field-measured vibrations even in the 2009 could be the gust responses, whose characteristics are dominated by the different structural as well as wind characteristics.

**Key Words:** transmission lines, field measurement, eigenvalue analysis, ERA, short-time Fourier transform

#### 1. はじめに

本共同研究では、強風箇所位置する大型多導体送電設備において一部に発生している電線振動現象の解明を目的として、3年前より観測データを用いた電線振動解析を実施してきた。2010年度も引き続き、既に回収した新たなデータについて電線振動解析を行うことを主たる目的とした。と同時に、振動対策として2導体ルーズスペーサが設置された区間においてもガスト応答が発生していることに鑑み、これをシミュレートするための解析手法を検討することも目的としている。

#### 2. 対象とした送電線と計測システムの概要

本研究では3つの実送電線において2009年度

(2009年12月から2010年5月)に計測された観測データを研究対象とした。A線は鉄塔No.36~39間の3径間2導体送電線で径間長は249m + 439m + 421m, B線は鉄塔No.3~5間の耐張2径間(624m + 407m)4導体送電線で、鉄塔No.4位置でのジャンパーの振動も計測している。また、C線は8導体送電線で、鉄塔No.58~59間の耐張1径間を対象としており、径間長は615mである。

風速の計測には3軸の超音波風速計を用い、サンプリング周期は0.02 secで連続計測している。したがって計測された風応答振動に対応した風速記録は存在している場合が多い。これに対して、電線振動は加速度計により水平、鉛直、送電線軸方向の並進3成分と、角速度計によるねじれ成分が計測されている。なお、観測データはセンサーごとのトリガー条件により自動計測されたもの

\* 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255  
電話・FAX: 048-858-3552  
Email: hiroki@mail.saitama-u.ac.jp

であるため、多点同期計測が行われているものは、B線のごく一部に過ぎない。多点計測によって電線振動応答の卓越モード形状を知ることができることから、今後、トリガー条件による自動計測の見直しをすることが望ましい。

### 3. 送電線で観測された現象の解釈・評価

風向・風速特性、電線振動応答 RMS 値の平均風速に対する変化、時系列、スペクトルなどから考察を行い、これと固有振動解析結果とによって、応答に支配的なモード、連成振動の可能性を考察した。また、ERA 解析結果からの減衰評価や STFT 変換結果からの非定常性チェックにより、ギャロ

ッピングの可能性についても考察している。

#### (1) 風速特性（平均風速と平均風向）

Fig. 1 に、全データに対して算出した水平方向平均風速（主流方向成分）と平均風向の関係を風向分布として示した。図には、衛星写真から決定した近似的な送電線軸線の方角も示してある。前年度データと比較して、風向がややずれているものの、A線では風速が比較的低く、大きな振動が観測されたデータ数も少ないことなど、どの送電線についても風向・風速特性は同様の傾向である。

#### (2) 風応答の RMS 値と風速との関係

計測された加速度データを数値積分することによって得られた変位の時系列波形から、RMS

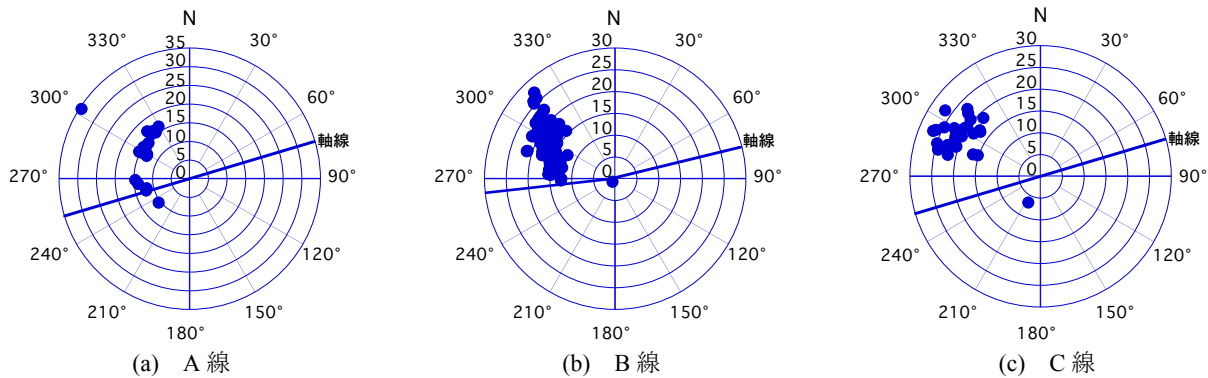


Fig. 1 2009 年度に観測された風の平均風速 (m/sec)・平均風向

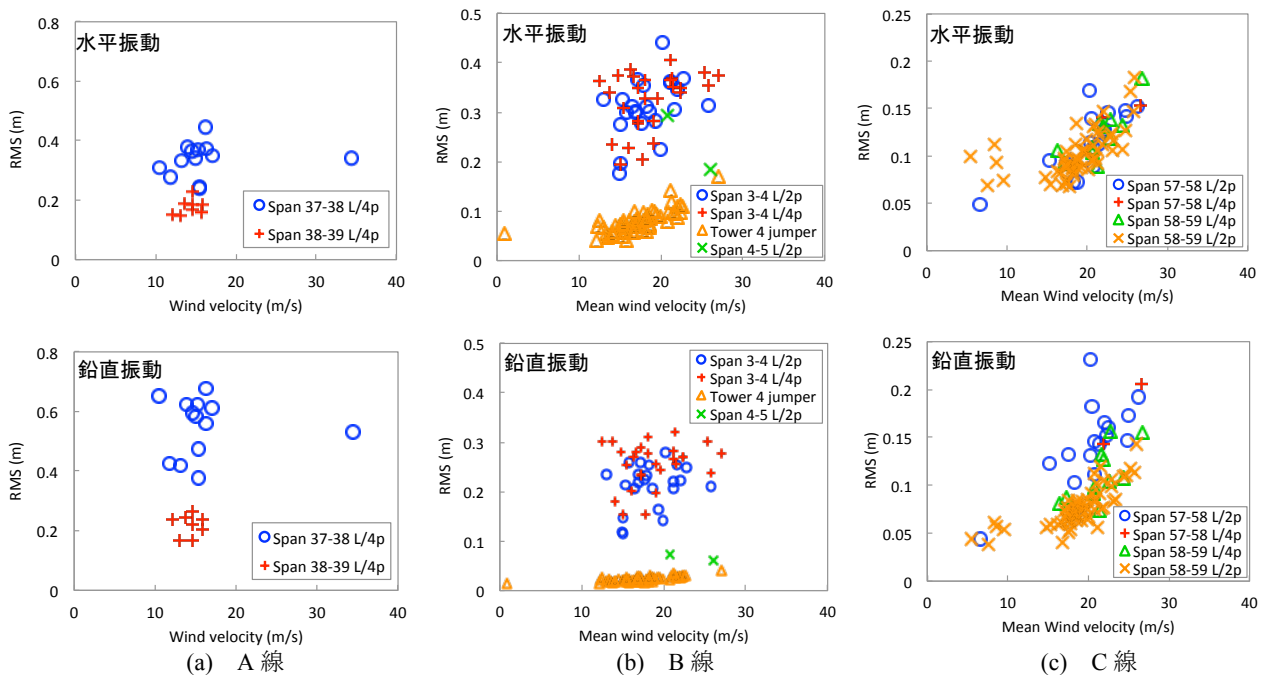


Fig. 2 2009 年度に観測された風応答特性：応答変位 RMS 値と平均風速との関係

(Root Mean Square) を計算し、平均風速の送電線軸直角方向成分に対してプロットした。

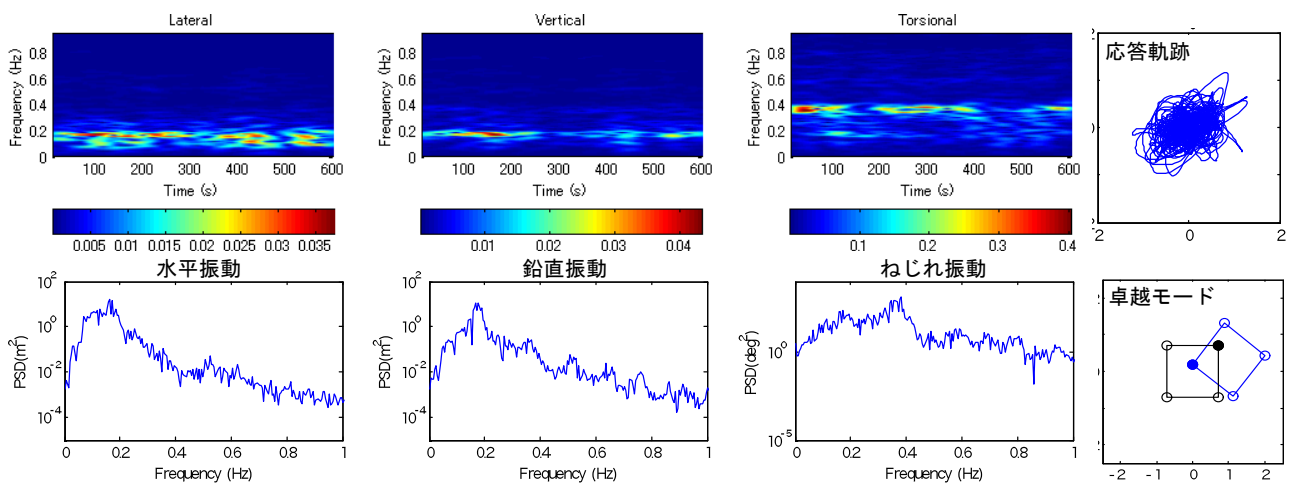
Fig. 2 に A 線, B 線, C 線における風応答の RMS 値と軸直角方向平均風速との関係を示す。水平振動 (面外応答), 鉛直振動 (面内応答), 径間 1/2 点, 1/4 点を問わず, RMS 値の大きさは風速とともに増加し, ほぼ放物線分布をしているようである。このことは観測された風応答の多くはガスト応答の可能性が高いことを示唆している。ただし, 特に A 線の 37-38 鉄塔径間 1/4 点の鉛直振動は値も大きく, やや様相が異なるように見えるが, 非定常性からギャロッピングではないと判断した。

### (3) ジャンパー風応答のメカニズム

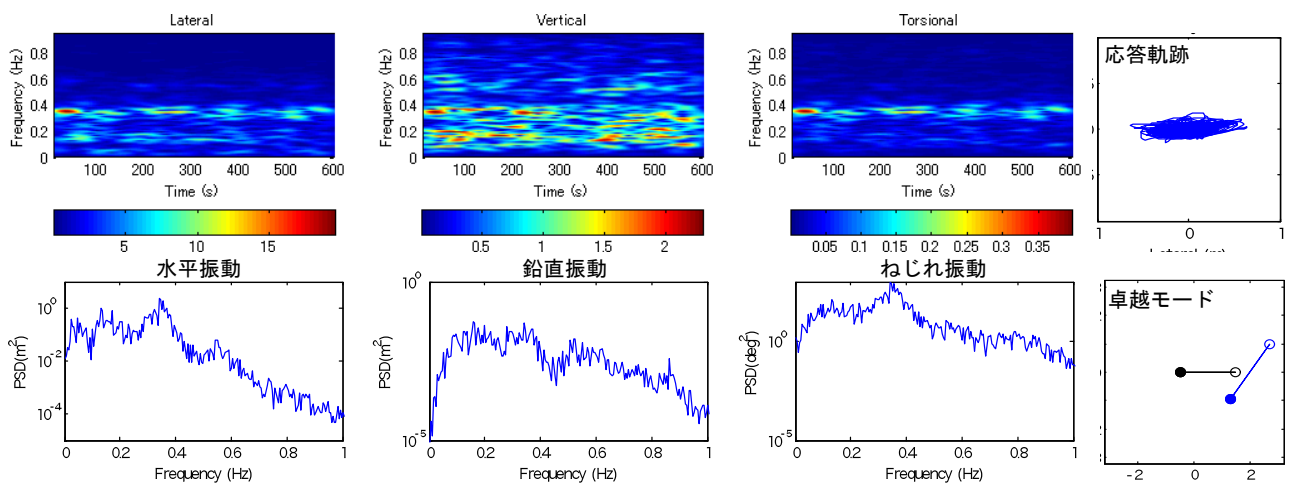
B 線ではジャンパーの損傷が発見され, その後, ジャンパー装置の風による振動を, 径間内の送電

線風振動とともに計測している。ここでは, 送電線システムの全体振動 (径間内送電線振動: スパン振動) と局所振動 (ジャンパー振動) との関連で, そのメカニズムを考察する。

Fig. 3 に, B 線で計測されたスパン振動とジャンパー振動の時間周波数特性 (STFT) およびパワースペクトルを比較して示した。図より明らかなように, 観測された風応答では, スパン振動 (No.3-No.4, 1/4 点) においてねじれ振動が極めて大きく, その卓越振動数は 0.37 Hz 程度であって, 比較的定常な応答となっている。一方, ジャンパー振動でも 0.37 Hz 付近に水平振動およびねじれ振動の卓越ピークが存在しており, スパン内送電線のねじれ卓越振動数とほぼ一致していることが分かる。また, ERA 解析結果として同定さ



(a) スパン振動 (No.3-No.4, 1/4 点)



(b) ジャンパー振動

Fig. 3 B 線におけるスパン振動とジャンパー振動の連成および応答軌跡/卓越モード

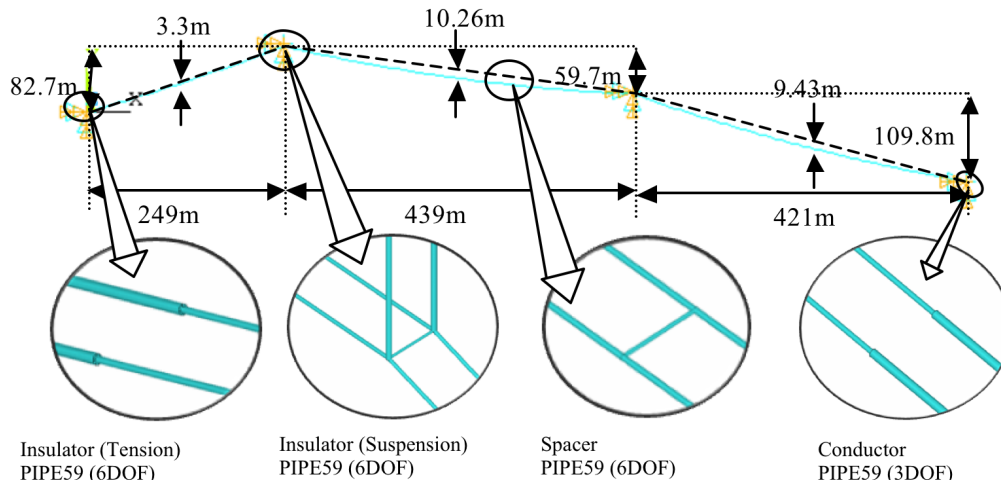


Fig. 4 A線の有限要素モデル

れた卓越振動数0.374 Hzに対応する振動モードを図に示したが、この振動がねじれスパン振動に連成した、水平・ねじれ連成タイプのジャンパー振動であることが明確である。このような実測データからの考察は、固有振動解析結果からも裏付けられ、B線では固有振動数0.373 Hzに対応する振動モードで、スパンのねじれ振動にジャンパーの水平・ねじれ振動が大きく連成していた。

以上より、B線のジャンパー装置で観測された大きな風応答は、径間内送電線の風振動（ガスト応答）に連成して生じたものであると考えられる。

#### 4. ルーズスペーサの効果検証に向けた検討

振動対策を施してある2導体送電線;A線では、他に比べて観測された電線振動データ数が少なく、ある程度の制振効果が働いているとも考えられる。しかし、それなりの大きさのガスト応答が発生していることから、この現象をシミュレートするための手法を検討する必要がある。

Fig. 4に示すように、送電線システムの有限要素法によるモデル化で最も重要なのは導体のモデル化であるが、3次多項式を変位関数としたケーブル要素を用いるのが一般的である。つまり、導体は1節点並進3自由度を有する、曲げ剛性のない曲線要素としてのケーブル要素でモデル化する。碍子については、モジュラーキャップをピン連結した構造であって曲げ剛性は極めて小さ

いことから、曲げ剛性のないロッド要素（初期軸力考慮）でモデル化する。さらに、各導体はスペーサーの腕の端部でクランプされるが、その接合条件はクランプの程度に依存して回転自由条件と完全固定条件の間にあると考えられ、多導体送電線としてのねじれ剛性に少なからず影響する。これまでは、この接合条件を剛結と仮定し、導体スペーサーの腕をはり要素でモデル化したが、ルーズスペーサでは、この接合条件を適切に変更することとなる。一つの方法として、接合力を回転変位比例型+回転速度比例型と仮定し、回転バネ+回転ダッシュポットでモデル化することが考えられるが、いずれにしても、導体とルーズスペーサとの取り合いや力学挙動に関する要素試験を実施するなど、実挙動の把握が不可欠である。

#### 6. まとめ

平成22年度共同研究においても、前年度までと同様に、強風箇所位置する大型多導体送電設備において一部に発生している電線振動現象の解明を目的として、新たに回収したデータにつき電線振動解析を行うとともに、ジャンパー共振の可能性評価を行った。一連の研究により、実送電線で観測されたほとんどの振動がガスト応答に起因したものであることが明らかとなった訳で、今後は、ガスト応答をいかに軽減するかの振動対策に特化した研究へと展開していく必要がある。