

送電線不平均張力荷重に及ぼす吹上風の影響：径間長差を有する場合

劉，暢達

九州大学大学院人間環境学府都市共生デザイン専攻博士課程

首藤，康之

九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門受託研究員

前田，潤滋

九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/26769>

出版情報：都市・建築学研究. 22, pp.65-70, 2012-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

バージョン：

権利関係：

送電線不平均張力荷重に及ぼす吹上風の影響 — 径間長差を有する場合 —

Effects of Uplift Wind on Unbalanced Tension Load of Conductors

劉 暢達*, 首藤康之**, 前田潤滋***

Changda LIU, Yasuyuki SHUTO and Junji MAEDA

This paper reports on the displacement of conductors that have different lengths between adjacent spans, under strong winds with an uplift component. Our findings were mainly as follows: (1) in the case of a conductor without inclined spans, an uplift wind with a uniform wind profile in height does not affect the unbalanced tension of conductors in spite of the uplift angle wind; however (2) in the case of uplift wind work on only one side of adjacent spans, as the angle of an uplift wind increases, the unbalanced tension of conductors increases.

Keywords: *Transmission tower, Unbalanced tension, Wind response, Uplift wind, Different distance between adjacent spans*

送電鉄塔, 不平均張力荷重, 強風応答, 吹上風, 径間差

1. はじめに

送電線に発生する風圧荷重が不均一な風速分布や鉄塔両側の径間長差などのほかに、吹き上げ風によっても生じることが考えられるが、多くの報告が水平風のみを想定している¹⁻⁵⁾。文献⁶⁾では、送電線風圧に及ぼす吹き上げ風に着目し、吹き上げ角 30° までの吹き上げ風が電線張力と碍子の接合部変位に与える影響を検討した。その結果、耐張型および懸垂型鉄塔のいずれに対しても、吹き上げ風は鉄塔頂部変位にそれほど影響しないが、電線張力の減少による電線部剛性の低下を招くために、懸垂碍子と送電線の接合部変位を増大させることがわかった。ただし、これは等径間長の送電線を支持する鉄塔を対象にしている。本論では、両径間長が等しくない場合の鉄塔に作用する吹上風に着目し、このような状況下での鉄塔に作用する送電線不平均張力が鉄塔の変形挙動に及ぼす影響を検証する。

2. 1 モデル概要

図1に鉄塔—送電線連成系の簡略図を示す。連成系は3基2径間とし、3基の鉄塔とも塔高60mの220kV耐張鉄塔の規模を想定した。また、送電線の水平角度と高低差はともに無いものとする。本論での風向は、送電線風圧力が最大となる、送電線直角方向とし、両端の鉄塔と送電線とはピン支持とし、中央鉄塔の送電線方向と送電線直角方向の両方向変位に着目したモデルを構築した。また、送電線は本来複数本架線するが、ここでは、特に吹き上げ風の影響を選出しやすいように、送電線を1条として、図2に示す1基2径間の単純モデルを作成した。すなわち鉄塔No.1とNo.3をピン支持に、鉄塔No.2を立体モデルと同じ等価剛性を持つ棒要素のモデルとして、その先端に送電線を接続した。耐張鉄塔は懸垂鉄塔に比べて線路方向の剛性が高く、2径間以上の場合のモデルとしても、中央鉄塔の変位挙動にはほとんど差が見られないことを確認している。径間長は若番側(No.1~No.2間)を400mとし、老番側(No.2~No.3間)を300mから600mの範囲で100m毎に変化させた。なお、送電

* 都市共生デザイン専攻 博士課程

** 都市・建築学部門 受託研究員

*** 都市・建築学部門

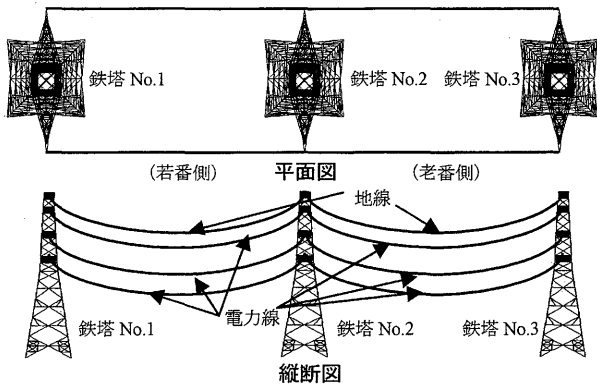


図1 送電線連成系簡略図

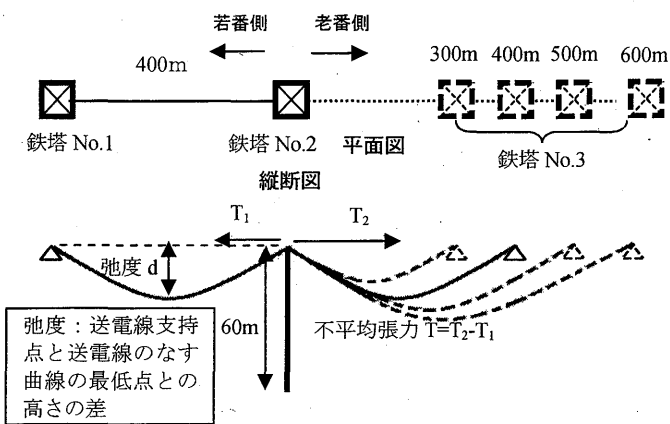


図2 解析モデルの概要

表1 送電線諸元

項目	条件
電力線	鋼心アルミより線410mm ² (ACSR410)
ヤング係数	8.2×10^{10} (N/m ²)
断面積	480.8×10^{-6} (m ²)
単位質量	16.40653 (N/m)

表2 弛度とサグ比

径間長(m)	300	400	500	600
弛度d(m)	6.8	12.8	20.5	29.9
サグ比(弛度/径間長)	0.023	0.033	0.040	0.050

表3 初期張力

老番側 径間長	No.2支持点水平張力(N)		不平均張力(N) $T_2 - T_1$
	若番側 T_1	老番側 T_2	
300m	25801	27046	1244
400m	25746	25746	0
500m	25719	25096	-623
600m	25704	24750	-954

表4 解析ケース

風速の鉛直分布	径間条件	支持点 高低差	水平 角度	風速範囲
一様分布	若番側400m 老番側	0m	0°	10m/s~60m/s
上空通増分布 (高度10mを基準)	300m~600m			

線はリンク要素によって近似し、若番側の送電線(400m)を30分割として、老番側の径間300mと400mの場合の送電線を30分割、径間500mの場合の送電線を50分割、径間600mの場合の送電線を60分割した。この分割数は藤村らによる検討結果⁷⁾を参考にし、送電線の動的応答解析に於いて、その挙動を十分表現できる分割数として決定した。

2.2 送電線の初期設定

送電線諸元を表1に示す。送電線は220kV送電線に多用されている鋼心アルミより線410mm²とした。

送電線のサグ比を表2に示す。気温15°Cにおいて送電

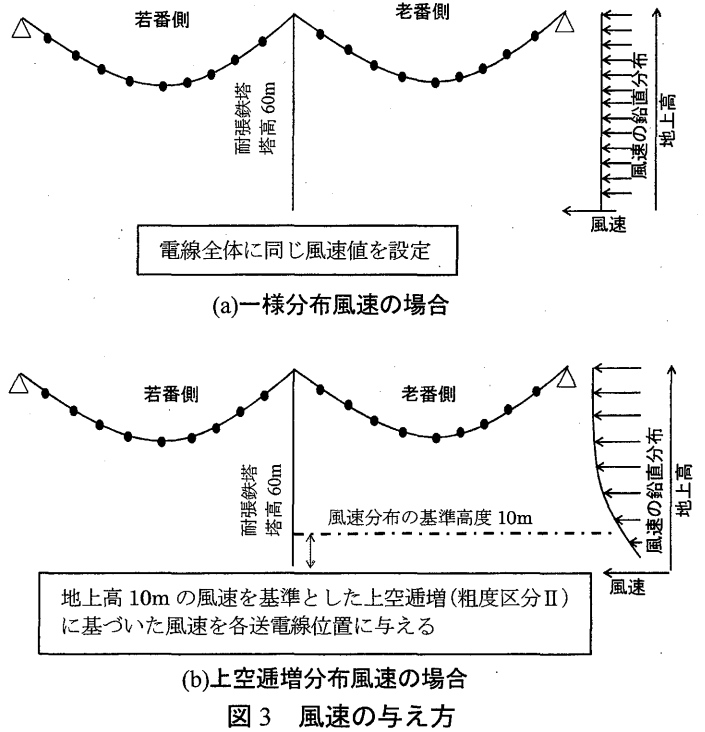


図3 風速の与え方

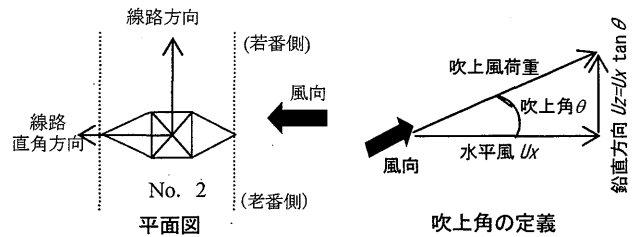


図4 水平風向角と吹上角の定義

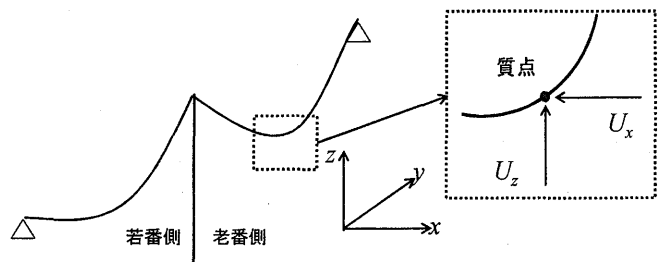


図5 風荷重の作用点と作用方向

線に風速 40m/s の風荷重が作用した際に、前後径間の水平張力差がゼロになるよう弛度 d (送電線支持点と送電線のなす曲線の最低点との高さの差) を設定した。検討モデルの初期形状は、風速 0m/s の時の形状とするため、径間長が異なった場合、その時の送電線の水平張力は異なり、初期条件すなわち風速 0m/s の時に既に送電線不平均張力が発生していることになる。

このように設定した本解析モデルの初期張力値は表 3 に示すとおり、若番側と老番側の初期水平張力が異なり、径間差により約-1,000N~1,200N の不平均張力が発生している。本論では、風速と吹き上げ角の増加に伴う、これら不平均張力の変化を追跡検証する。

3. 風荷重の概要

3.1 風速場の生成方法

わが国の現行の送電線路の構造設計は電気設備に関する技術基準およびその解釈⁸⁾に基づいており、必要に応じて送電用支持物設計標準(JEC127-1979)⁹⁾及び電力各社の基準によって実施されており、以下の2つの考え方に要約される。

(1) 電気設備に関する技術基準及びその解釈

本基準は日本全国一律に設定した最大想定荷重として、10分間最大平均風速 40m/s に設定し、送電線全体に一律にその風速により計算された風圧力を与える。

(2) 送電用支持物設計標準(JEC127-1979)

上記(1)が全国一律の風速を定めているのに対し、本標準は確率論的手法を一部導入して地域別に風速を変える。したがって、台風襲来頻度の高い九州では北日本や東日本と比べて設定風速が大きい地域が多い。さらに、風速は基準高度を 10m に設定し、べき指数 1/8 にて上空逡増させ、送電鉄塔毎にその送電線支持点の高さに応じた風速を設定して、この風速で送電線全体に一律の風圧力を作用させる。

上記の風速設定の考え方を参考にして、本論では以下の2つの風速設定を用意した。まず、水平風速の高さ方向分布を一様分布として、図 3(a)に示すように送電線全体に同じ風圧力を作用させ、風速を 10m/s 毎に 60m/s まで設定する。次いで、図 3(b)に示すように風速の上空逡増を考慮するが、上記(2)とは異なり、径間内の送電線のたわみに応じた各節点位置の地上高に応じた風速による風圧力を設定し、一様分布との比較を行う。上空逡増風速分布を定めるために、べき指数を建築物荷重指針・同解説(2004)⁹⁾の地表面粗度区分Ⅱに準じて定め、基準高度 10m における水平方向の平均風速を 60m/s まで 10m/s 毎に設定する。表 4 に解析の組み合わせを示す。

3.2 吹上風の設定

吹き上げ風には、水平風速を一定とする方法と風速ベクトルの絶対値を一定とする考え方があるが、現行の設計風速が水平風を定めている点を考慮して、以下では、

図 4 に示すとおり、水平方向の風速 U_x に対して、吹き上げ風 U_z を式(1)で定め、各吹き上げ角での鉛直方向の風荷重を付加することで風荷重を設定した。前述のように風向は線路直角方向とした。

$$U_z = U_x \cdot \tan \theta \quad (1)$$

3.3 風荷重の作用点と作用方向

図 5 に風荷重の作用点と作用方向を示す。なお、送電線部の吹き上げ風の影響をより抽出しやすいように鉄塔部では風荷重を 0 と設定した。また、送電線部では、送電線の各分割点に水平成分と鉛直方向成分で構成した吹上風荷重を作用させた。

3.4 吹上風の分布条件

送電線に与える風荷重は水平成分と鉛直成分の二つを組み合わせた。水平成分を常に両側径間に作用させるが、鉛直成分はその分布の違いによる不平均張力の変化を把握するため、両径間、あるいは若番側径間のみ、さらに老番側径間のみ、の3ケースとし、それぞれの結果を比較検証する。

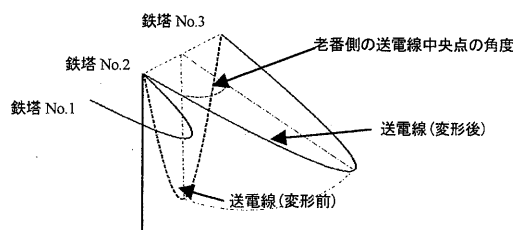


図 6 老番側の送電線中央点の角度の概要図

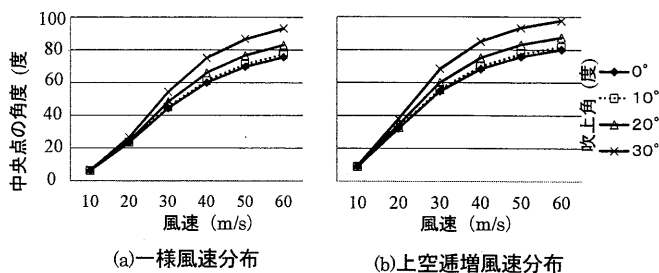


図 7 各風速における老番側の送電線中央点の角度変化例 (若番側径間長 400m, 老番側径間長 600m)

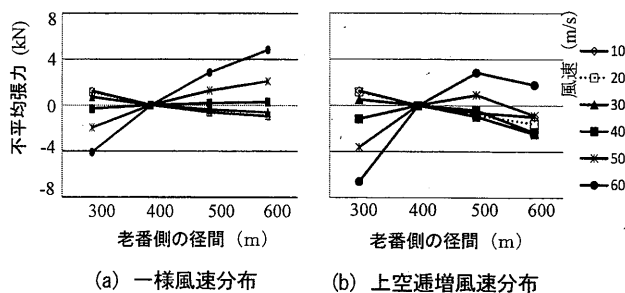


図 8 吹き上げ角 0° の時の不平均張力

4. 解析結果

4.1 各風速での送電線老番側中央点の角度変化

図6 老番側送電線中央点の角度の概要図を、図7に風速、吹上角毎の角度変化のグラフを示す。一樣風速分布と上空逡増風速分布とも、吹上角の増加に伴って、中央点の角度が増大することが分かる。なお、一樣風速分布では風速 60m/s で、上空逡増風速分布では風速 50m/s ~60m/s で、吹上角 30° の時に老番側中央点は鉄塔頂部より上に移動している。

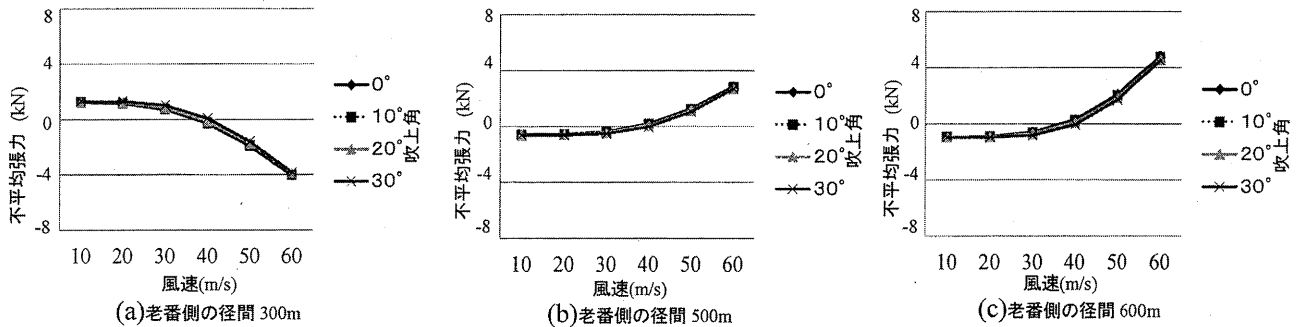


図9 各風速における各吹上角の不平均張力 (一樣風速分布)

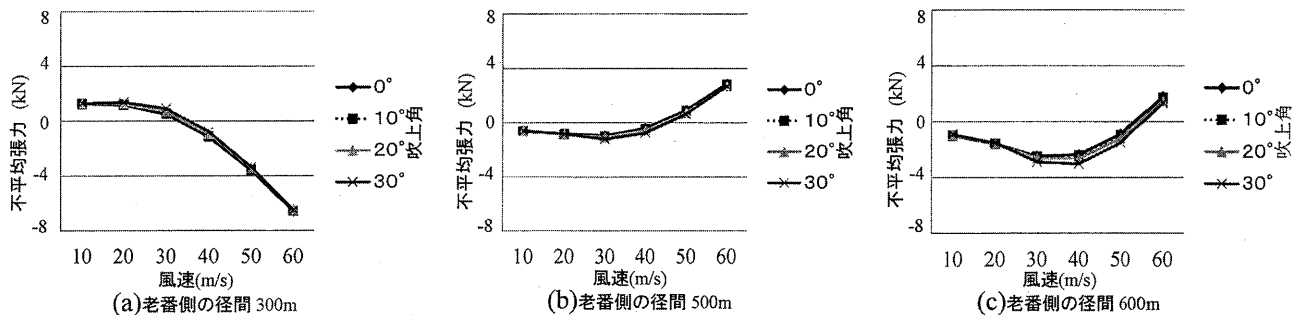


図10 各風速における各吹上角の不平均張力(上空逡増風速分布)

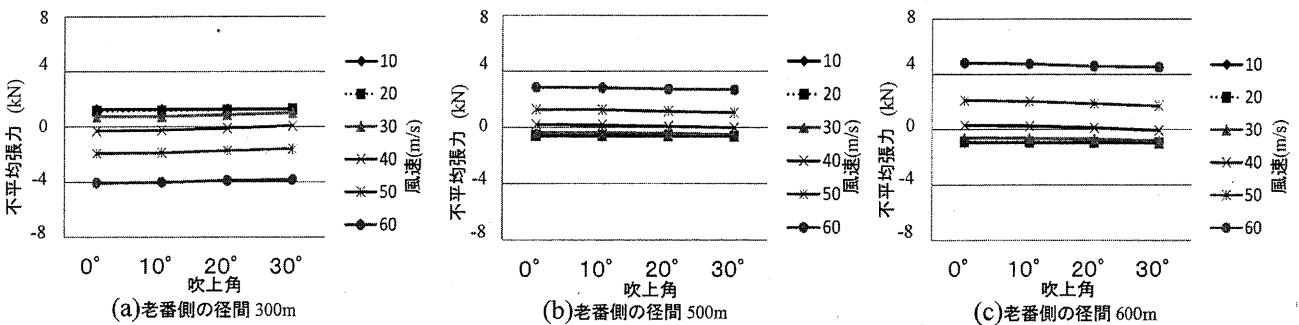


図11 各吹上角における各風速の不平均張力 (一樣風速分布)

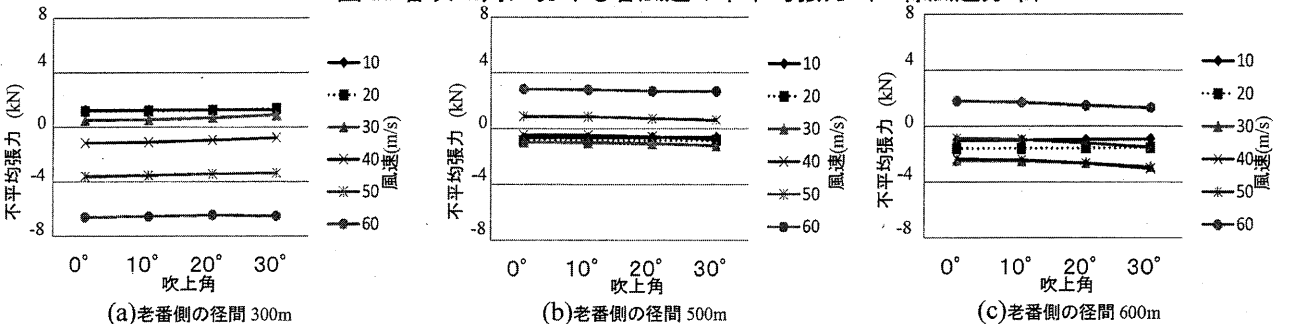
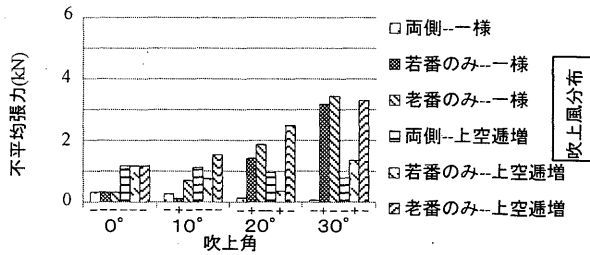


図12 各吹上角における各風速の不平均張力(上空逡増風速分布)

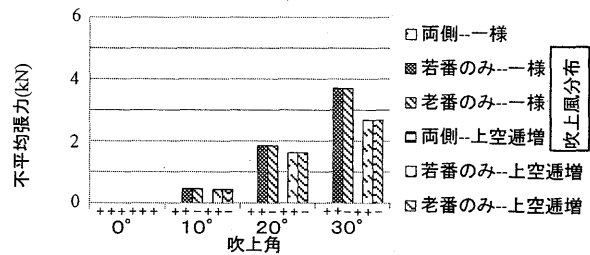
4.2 吹上角 0° の場合の不平均張力

吹上角 0° の場合の不平均張力を一樣風速分布と上空逡増風速分布に分けて、それぞれ図8(a)と図8(b)に示す。一樣風速分布の図8(a)では、老番側の径間長が 500m と 600m のときの不平均張力は 300m に比べて正負が逆転している。また、上空逡増風速分布の図8(b)では、風速 40m/s~60m/s 付近から正の不平均張力が減少し、負の不平均張力が増大することが分かる。

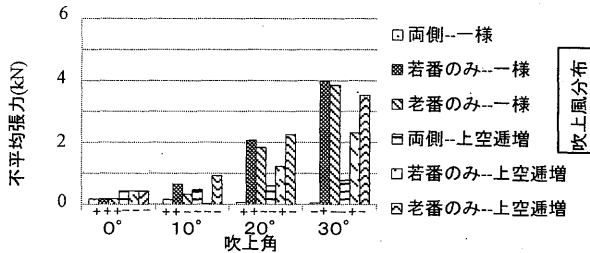
なお、図8(a)に示すように、風速 40m/s の時には、不平均張力は概ね 0 となり、設計値と解析値の整合が図れ



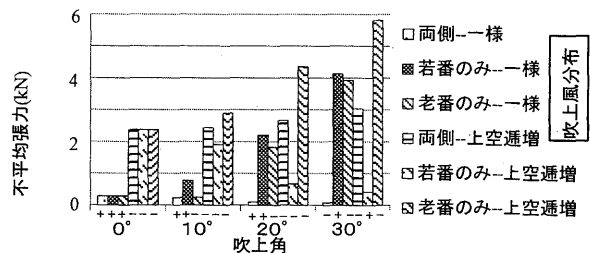
(a) 若番側 400m, 老番側 300m の場合



(b) 若番側 400m, 等径間の場合



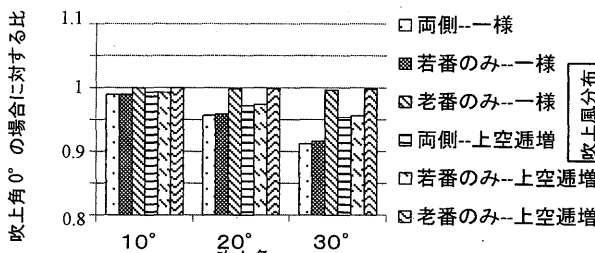
(c) 若番側 400m, 老番側 500m の場合



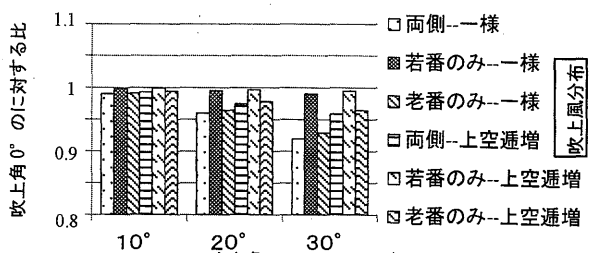
(d) 若番側 400m, 老番側 600m の場合

十の符号は不平均荷重の向き(老番側か若番側か)を示す

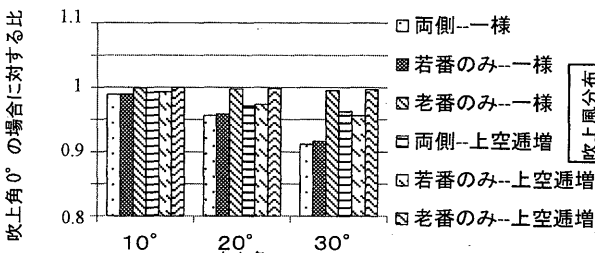
図 13 吹上風分布による不平均張力 (風速 40m/s)



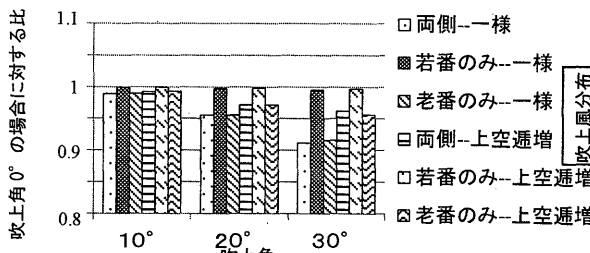
(a) 若番側 400m, 老番側 300m の場合



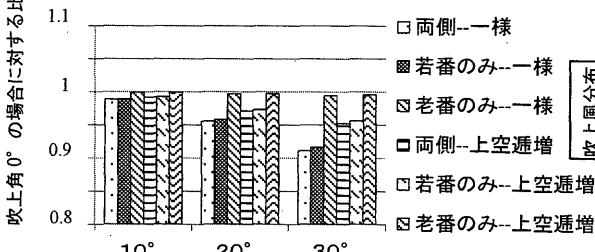
(a) 若番側 400m, 老番側 300m の場合



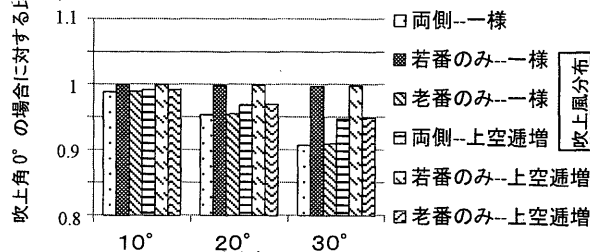
(b) 若番側 400m, 等径間の場合



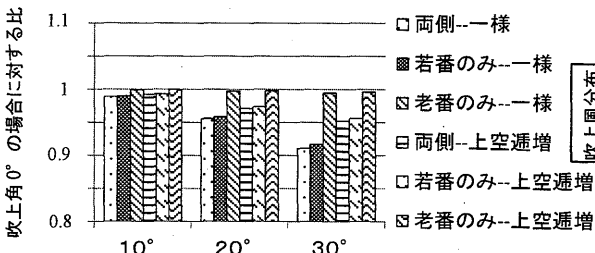
(b) 若番側 400m, 等径間の場合



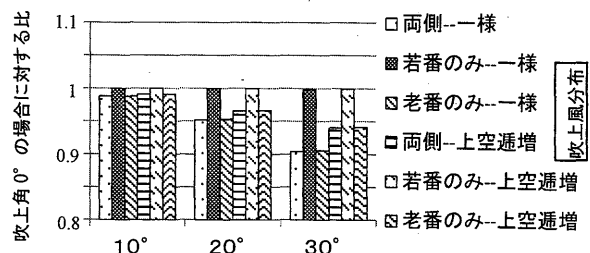
(c) 若番側 400m, 老番側 500m の場合



(c) 若番側 400m, 老番側 500m の場合



(d) 若番側 400m, 老番側 600m の場合



(d) 若番側 400m, 老番側 600m の場合

図 14 吹上角 0° の場合の水平張力に対する比 (若番側, 風速 40m/s)

図 15 吹上角 0° の場合の水平張力に対する比 (老番側, 風速 40m/s)

ている。一方、上空逡増風速分布の場合(図8(b))では、高度10mで設定した風速30m/sの時に、送電線位置での風速が37m/sと40m/sに近いので、初期設定通り、不平均張力は概ね0になっている。

4.3 設定風速に対する吹上角ごとの不平均張力

図9と図10に各風速での各吹上角別の不平均張力を示す。吹上角の増大にかかわらず、図9の一樣風速分布では風速40m/s~60m/s付近から不平均張力は正負に逆転している。図10の上空逡増風速分布では、老番側の径間300mのときに、風速30m/s~40m/sで不平均張力は正負に逆転する。老番側の径間500mでは、風速40m/s~50m/sで不平均張力が正負に逆転する。老番側径間600mでは、風速50m/s~60m/sで不平均張力は正負に逆転する。これは、中央鉄塔の線路方向変位の向きが変わることを意味する。

4.4 吹上角に対する風速ごとの不平均張力

各吹上角における各風速の不平均張力を一樣風速分布と上空逡増風速分布に分けて図11と図12に示す。老番側径間300mと500mでは、吹上角の影響は小さい。両側の径間差が大きい老番側の径間600mの場合(図11(c), 図12(c))では、吹上角の増加に伴う不平均張力の変化がわずかながら見られる。

4.5 吹上風の径間分布状況の不平均張力への影響

40m/sの水平風を両径間に作用させたままで、鉛直方向成分の吹上風荷重を両径間に、あるいは若番側径間のみに、さらに老番側径間のみに作用させた場合の不平均張力を吹き上げ角別に整理して図13に示す。なお、図中の「一樣」は一樣風速分布を、「上空逡増」は上空逡増風速分布を意味する。いずれの場合でも、片側径間にのみ吹き上げ風が作用する場合は、吹上角の増加に伴って、不平均張力の値が急激に増大することが分かる。図14と図15に、吹上角0°の時の水平張力そのものに対する各ケースでの水平張力との比を示す。若番側か老番側かいずれか片方の径間のみに吹上風を作用させると、吹上角の増加に伴って、吹き上げ風荷重を受けた径間の送電線張力が減少している。この影響により上記のような不平均張力の急激な増大が発生するものと考えられる。

5. まとめ

本論では鉄塔間の水平角度と高低差が無く、径間差がある場合の送電線不平均張力に及ぼす吹上風の影響に着目して、吹上角に対する送電線連成系の単純モデルの静的解析によって検討した結果、以下の所見を得た。

- (1) 吹上角の増加に伴って、送電線中央点の横振れ角が増大する。
- (2) 不平均張力荷重は、風速の鉛直分布の設定条件(風速の一樣分布か上空逡増か)により異なる。
- (3) 吹上風が両側径間に作用する場合、吹上角の大小に

かかわらず、不平均張力への影響は小さい。

- (4) 両側径間に同じ水平風を作用させた状態で、吹上風を片側径間に作用させると、吹上角の増加に伴う不平均張力荷重は顕著に増大する。

本論では、吹上角による静的風荷重のみ検討したが、風速変動を考慮した検討が必要である。

謝辞 本研究は九州電力株式会社との共同研究で行われたものである。

参考文献

- 1) Momomura, Y., Marukawa, H., Okamura, T., Hongo E. and Ohkuma T.: Full-scale measurements of wind-induced vibration of a transmission line system in a mountainous area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 72, 241-252, 1997. 11.
- 2) 石田伸幸, 森本康幸, 鶴則生, 本田誠, 岡延夫, 前田潤滋: 静的風荷重における送電線不平均張力の基本特性に関する研究(その1)-不平均張力測定実験-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 221-222, 2001. 7.
- 3) 石田伸幸, 森本康幸, 鶴則生, 本田誠, 岡延夫, 前田潤滋: 静的風荷重における送電線不平均張力の基本特性に関する研究(その2)-混合法による不平均張力解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp. 223-224, 2001. 7.
- 4) Maeda, H., Ebihara, S., Fujimura, M., Maeda, J., Imamura, Y. and Honda, M.: Vibration Tests of a Transmission Tower Focusing on the Tensile Forces of its Transmission Line Cables, *Proceedings of 16th Conference on Electric Power Supply Industry*, 1579-1588, 2006. 11.
- 5) Takeuchi, M., Maeda, J., Ishida, N.: Aerodynamic Damping Properties of Two Transmission Towers Estimated by Combining Several Identification Methods, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 98, 12, 872-880, 2007. 7.
- 6) 劉暢達, 首藤康之, 前田潤滋: 鉄塔-電線連成系の応答性状に及ぼす吹き上げ風の影響, 都市・建築学研究, 九州大学大学院人間環境学研究院紀要, 第20号, 27-32, 2011. 7.
- 7) 藤村真弓, 森智治, 石田伸幸, 森本康幸, 前田潤滋: ケーブルの面内振動特性に及ぼす要素分割数の影響, 日本建築学会九州支部研究報告, 第44号, pp. 525-528, 2005年3月
- 8) 経済産業省原子力安全・保安院: 解説電気設備の技術基準, 第15版, 2011年3月
- 9) 電気学会: 電気規格調査会標準規格「送電用支持物設計標準(JEC-127-1979)」, 1979年11月
- 10) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2004), 2004.

(受理:平成24年6月7日)