

風車騒音測定用防風スクリーンの開発について

環境衛生科学研究所 ○小田祐一

1 概要

風力発電施設から発生する騒音は平成 10 年頃から問題視され、環境省では平成 25 年度から検討会の設置を、平成 29 年度には指針や測定マニュアルを策定したが科学的知見が不足している状況である。風力発電施設の騒音を測定するためには、臨海地域等の強風条件下で測定をする必要があることから、極力風由来の雑音（以下「風雑音」）の影響を排除する必要がある。なおこの際、風雑音の発生は極力低減しつつ、測定対象の音を極力遮蔽しない（挿入損失が極めて少ない）防風スクリーンが必須である。本研究は、当職が令和元年度の新成長戦略研究チャレンジ研究に採択された「低周波騒音測定用防風スクリーンの開発について」において、開発に成功した風雑音を優位に低下できる防風スクリーン性能を更に向上させるために行った。流体力学的観点からスクリーン形状、素材等を検討した前年度の研究では、「梅ザル」に不織布を被覆させた試作品は風雑音低減試験の成績が最もよく、挿入損失もほとんどないことがわかった。これは、梅ザルに多種の防風ネットを被覆し検討した結果、「騒音計受音点への風速の低減」「防風ネットへの風衝突時発生音の高周波数域へのシフト」の要因により、被覆素材は不織布の性能が最もよいという検討結果から結論付けられた。今回は、前回試作品の性能を更に改善するため、「スクリーン高さ、大きさ等形状の変化」、「スクリーン内部への残存風圧の低減」の 2 方向から検討を行った結果、2 重スクリーンにやや良好な結果がみられた。本 2 重スクリーンは屋外実験でも良好な結果が得られた。

2 目的

風車騒音に係る科学的知見の集積のため、高性能の風車騒音測定用防風スクリーンを開発する。また、国の測定マニュアルには防風スクリーンの具体的規格が示されていないため、性能に寄与する重要なパラメーターを探索し、スクリーン規格及びスクリーン自体の製品評価の手法の確立も併行して目指す。

3 方法

本研究では、風雑音が①風のスクリーン衝突、②スクリーンを透過した風の騒音測定器（マイクロホン）への衝突、③スクリーンの膜振動、④スクリーンまわりの剥離渦（一定の周波数を持つ空気の流れ）の 4 つに起因すると仮定し（図 1）、スクリーン高さ、大きさ、被覆素材等を再度、検討した。風雑音低減試験は環境衛生科学研究所にて予試験を行い、工業技術研究所無響室で確定試験を行った。挿入損失試験は同所無響室で実施した。

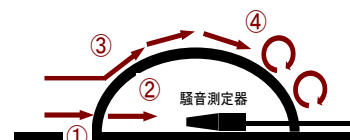


図 1 風雑音の発生推定

4 結果と考察

(1) 性能改善のための検討

7 形状及びサイズ比較実験

前回試作品の梅ザルは半球状であるため（図 2）、空気抵抗の影響を低減させる目的で、これをより扁平状とした場合の風雑音との関係性を検討した。本実験では、金属性のフレームでドーム状の骨組みを作成し、その上に不織布を被覆したものを試験対象とした。本試験対象に、強風発生器により風速約 11m/s の強風を当て、ドーム内部にマイクロホンを設置の上、10 秒間の Z 特性等価騒音レベル（ L_{zeq} ）※ 5 回の結果を評価した（図 3）。また、同様な手法で、形状は相似とし、サイズを変化させた際の音圧レベルも評価した（図 4）。



図 2 不織布被覆の梅ザル

当初予想では、扁平状にさせ空気抵抗を低減させた方が図 1 ①～④いずれも低減し、性能が改善するものと思われたが、実験の結果、スクリーン高さを減少させ、より扁平上になるに従い音圧レベルの増加がみられ、スクリーンのサイズは大きくなるに従い音圧レベルの減少がみられた。これら原因について、
i 高さ及び大きさの減少により、スクリーン表面とマイクロホンの接近による吹込み風圧の増加
ii 風雑音発生源となるスクリーン表面とマイクロホンとの距離減少による音圧レベルの増加 の 2 点

いずれかと仮定し、検討を行った。まず i について、今回実験を行ったドーム（テント状）の断面図を三角形に近似し、底辺の長さを $2a$ 、高さを b とし、地面と平行な風圧ベクトルをマイクロホン方向へ分解したときの式は(1)のとおりとなった。

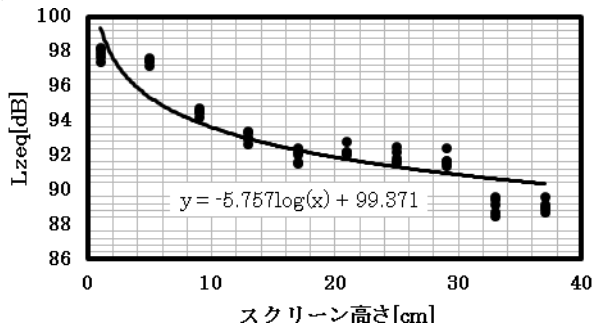


図3 スクリーン高さと言圧レベルの関係

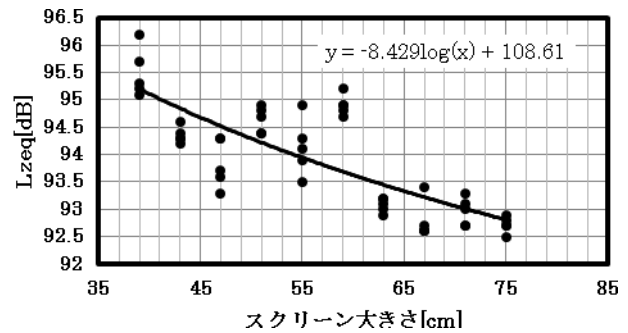


図4 スクリーンサイズと言圧レベルの関係

(1)式について、底辺の長さを固定し、高さのみ変化させた場合 (a を定数、 b を変数)、グラフは図5で示されるように直線性を示す。また、風速と言圧レベルの関係は、図6のように対数関数的挙動を示すが、グラフの形状が $y=\log(x)$ 型を示し、図3のように $y=-\log(x)$ 型を示していない。図5及び図6のグラフの挙動から、風速の変化が本現象の主たる要因でないことが推察された。

$$p \cos \theta = f(a, b) = p \frac{\sqrt{a^6 + 4a^4b^2 + 4a^2b^4 + b^6}}{a(a^2 + b^2)} \quad (1)$$

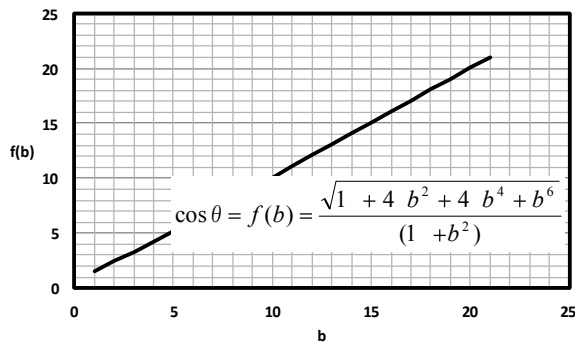


図5 (1)式で $a=1$ を代入したグラフ

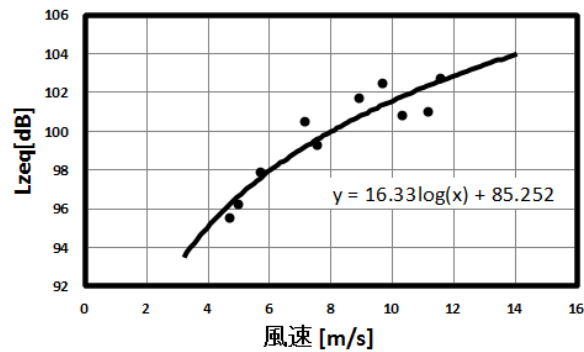


図6 風速と言圧レベルの関係

次に ii について、室内での音圧レベルの観測は、 L_w を音源の音響パワー [dB]、 r を音源からの距離 [m]、 R を室定数、 Q を方向係数とした場合、(2)の式で表される。図3及び図4のグラフは、対数関数的であり、(2)式は展開により $y=-\log(x)$ 型のグラフとなることから、本現象は(2)式により説明がなされると考えられた。

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \quad (2)$$

イ 2重スクリーン検討実験

図7及び8に、風車騒音測定専用の市販品（市販金属 WS）及び梅ザルに各被覆素材を被せたものの風雑音低減試験、挿入損失試験の結果を示す。図7にあっては、各周波数域帯で観測される音圧レベルが低い程、図8にあっては、スクリーンがある場合とない場合でのマイクロホンへの受音の損失が少なく、値が0に近い程高性能と評価される。

昨年度、スクリーンに被覆させる素材を4mm（メッシュ）、1mm、0.75mm、0.6mm、不織布、ビニールシートとの6種とし検討したが、スクリーン被覆時、最も音圧レベルの低かった不織布でも、風速低減率が約88%であった。このため今回、12%分の残存風速の影響を完全に排除するため、梅ザル内部に不織布を被覆した金ザルを設置した、「2重スクリーン」の検討を行った。実験の結果、ほとんどの周波数域帯で音圧レベルの微減がみられ（図7）、2重スクリーンの挿入損失もほとんど観測されなかった（図8）。

このことから、2重スクリーンの音圧レベルの低減は挿入損失由来ではなく、風速の低減によるものと考えられた。これらの結果から、2重スクリーンは純粋に性能の改善がなされたとみなされた。

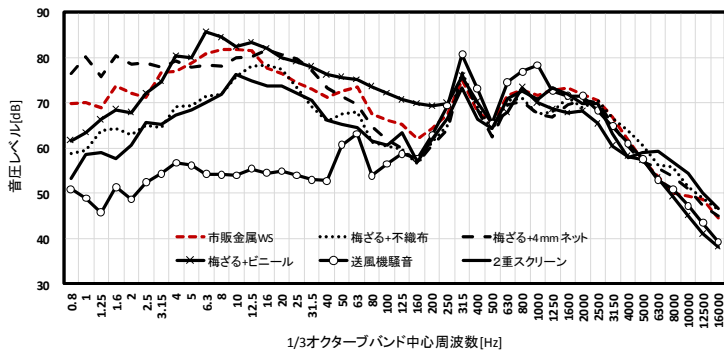


図7 2重スクリーンの風雑音低減試験

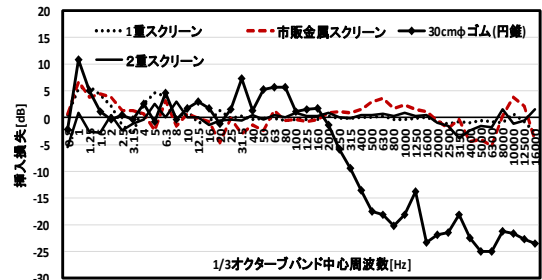


図8 2重スクリーンの挿入損失試験

(2) 屋外における性能検証

今回試作の2重スクリーン（2重WS）と、騒音計に標準装備されているウレタン製ウィンドスクリーン（一般WS）について、一定の風速下で自動車騒音を同時測定した（図9、図10）。風速はデータロガー付きデジタル風速計を用い、騒音は風速計と同期させた3秒間のLzeqで評価した。結果、2重WSを装着した場合、風速が増加しても観測されるLzeqの上昇が緩やかであった。

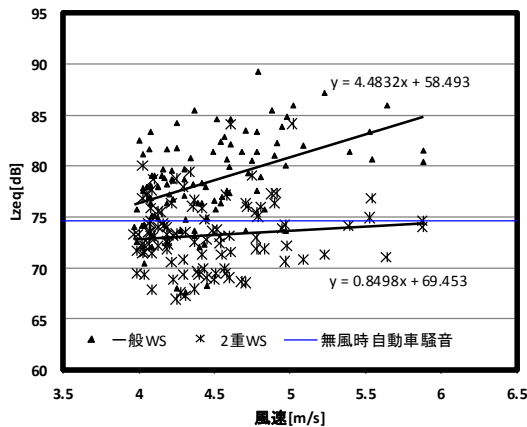


図9 2重WSと一般WSの性能比較

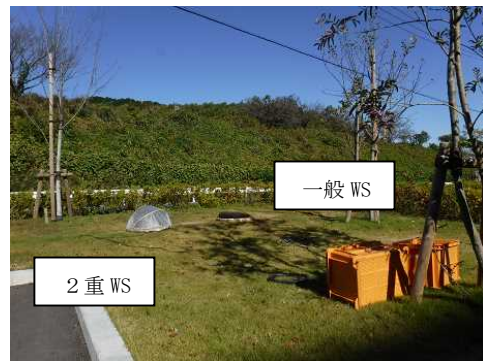


図10 測定状況

5 結論

今回の実験で、空気抵抗低減のためスクリーンを扁平状にすることは逆に音圧レベルの増加を招き、スクリーンサイズを大きくすることは音圧レベルの低下につながったが、これらは(2)式により説明されると推察された。また、1重不織布の残存風速を2重目のスクリーンでカットすることにより、若干の性能改善が達成された。今回試作の2重スクリーンは、現時点の性能でも、強風条件下の風車騒音測定にも使用可能と考えられた。

6 今後の課題等

今回の研究で、スクリーンサイズに関し、操作性を犠牲にしない程度の最適値の模索が今後の性能改善の方向性の一つとして定まったが、更なる性能改善として、風洞実験等を行い、剥離渦由来の風雑音に着目し、渦の破碎のため、容易に乱流境界層を生じる素材、形状を検討していきたい。

また、今後、さらなる高性能スクリーンを開発の上、風車騒音測定のための最適規格を確立し、その結果を国マニュアルに反映していくことをもって研究結果を世に還元していきたい。

謝辞

無響室における音響計測と解析をしていただいた、工業技術研究所照明音響科の木野科長に感謝致します。

※騒音曝露量のエネルギー平均値を指す。本指標で、試作品が暴露した単位時間あたりの音のエネルギーが評価できる。