113 地表設置板上の音圧分布に影響する因子

Factors affecting measurements of acoustic noise using a ground board

○正 二井義則(産総研)

Yoshinori NII

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

AIST Tsukuba Eastern Office, Namiki 1-2-1 Tsukuba, Ibaraki, 305-8564 Japan

The acoustic noise measurement standard for wind turbines provides to use a hard board placed on the ground to minimize the influence of different ground type as well as to reduce wind-induced noise. It also requires to report measurement uncertainty. Since ground surfaces of wind turbine site are believed to be variant from bare soil to grass covered with unevenness, it is necessary to acquire information concerning the ground type effects on measurements to improve measurement results. This report describes results of the tests on sound pressure level distributions due to obliquely incident sound over 1.5m diameter ground board on four different ground surfaces of cut-lawn, bare sandy soil and grown grasses. It was found that the board carefully placed on the bare soil surface avoiding making gap between the board and soil surfaces gives minimum spectrum error. Also effects of gap of the 1.0m diameter split board for acoustic measurements were examined.

Key words: Wind turbine, noise measurement, ground board, field test

1. まえがき

「風力発電システムの騒音測定法」に関する規格⁽¹⁾では、風雑音の影響と地表面の違いによる測定値への影響を小さくするため、マイクロホンを地表面上に設置した規定寸法以上の大きさの円形もしくは矩形板上に取り付けるよう規定している。また、結果の報告には、測定の不確かさも記述するよう規定している。

しかしながら、板を設置する場所の地表面の状況は測定結果に影響するものと思われるが、これらがどのように測定値に影響するのか明らかでない上、測定の不確かさに関しては推測するデータも見られない。今後、再現性のある、精度よい測定を可能とする基礎的なデータの収集、解析が必要とされることから、これまでに著者は、円形及び正方形板を対象とし、スピーカを音源として風車の騒音測定を模擬し、地表面が平坦な剛及び刈り込んだ芝生の2種類のサイトで地表設置板表面の音圧分布を調べた結果を報告してきた⁽²⁾⁽⁴⁾。本報告では、直径が1.5mの円形板を対象とし、板を設置する条件を、芝生面、山砂面、伸びた雑草面と変えて、これらの条件の違いが測定値にどのように影響するかを調べると共に、運搬に都合よい、直径1.0mの分割した円形板を対象として板の隙間の影響を調べた試験結果等を紹介する。

2. 試験方法と試験サイト

試験は既報⁽²⁾⁽⁴⁾と同じく、音源のスピーカ(SP)をリフターによって12.0mの高さに上げて板上のマイクロホン(M2)方向に向け、ホワイトノイズを放射する方法とした。SP面から115cmの位置に基準用のマイクロホン(M1)を配置した。SPの鉛直下の地表面の位置から $d=18.3\text{m}$ の位置(基準距離と呼ぶ)に板の中心点を置いた。これによって、SPから板中心に入射される音波の反射板に対する角度は、平均的な風車の騒音測定時におけるロータ中心からマイクロホンへの入射角度と概略等しくなる。

試験に使用した板は合板製で、マイクロホン設置側の面に化粧板を張り付け、全体の厚さを21mmとした。地表面の影響を調べる試験には直径1.5mの円形板を用いた。また、分割した板の隙間の影響を調べる試験には、直径1.0mの板の中心から10cmの位置で直線状に分割し、任意の隙間幅で固定できるようにした。

Fig.1に xy 座標と板上のマイクロホンM2の設置点を示す。図示のように、SPの鉛直下の地表面の位置から音波の進行方向に x 軸を持つ xy 座標を地表面上に設け、その原点を板の中心に一致させ、かつ板の一边が x 軸と並行になるよう板を置いた。測定は、 xy 座標上を順次M2マイクロホンを移動させながら行った。但しこれまでの試験から、M2への影響は x 軸方向に沿って変動が強く現れることが分かっているので、 x 軸方向の結果を主として紹介する。この他、板面上の音圧分布のコンターも得たが、この場合には、図中の実線の全ての交点にM2を移動させてデータ収集を行った。なお、図中の s はマイクロホンの設置位置間隔で、1.5m径の一体板の

Fig.1 x - y coordinate and microphone positions on the board.

場合には $s=20\text{cm}$ 、 1.0m 径の分割板の場合には $s=13\text{cm}$ とした。

測定データは、反射板上の任意位置のマイクロホンレスポンス M_2 の基準マイクロホンレスポンス M_1 に対する比 M_2/M_1 の、 xy 座標の原点の位置のアスファルト面上にマイクロホンを直接設置して測定して得た $(M_2/M_1)_0$ に対する比 $(M_2/M_1)/(M_2/M_1)_0$ として整理した。以下、この比を dB 表示したものを相対レスポンスと呼ぶ。サイトでデータレコーダに記録したデータを後に再生して $1/3$ オクターブバンド分析 (1 分間の時間平均) を行った。

試験サイトは、産総研北事業所内の衝突広場である。このサイトの地表面は数 cm に刈り込まれた芝生面で、表面下の数 cm には、枯れ草が堆積し、それ以下は、横波速度が 100m/s 程度の盛土となっている。山砂を地表面とする試験では、 $10\text{m} \times 10\text{m}$ の広さの芝生部分を根と共に剥がし、山砂を入れて平坦に締め固めた。砂表面に板を設置する場合には、板底面と砂表面の間に隙間ができないよう注意して行った。伸びた雑草の影響は、同じ衝突広場で雑草の伸びている部分に板を置いて試験を行った。雑草の伸び具合は均一ではないので、その高さ表示は、板を置いた周辺の高さの平均値で表した。

3. 試験結果と考察

3.1 板周辺の条件の違い

Fig.2 (a)-(d)は、種々の地表条件における x 軸に沿った各位置での $1/3$ オクターブバンド周波数の各レベルの相対レスポンスを示す。板を置く環境によって、レベル変動の周波数依存性が違って見えることができる。

芝生面(図(a))の場合、中心周波数が 125Hz 以上で、 M_2 の位置によって違いがあるが、レベルが大きく変動している様子を見ることができる。中間の周波数帯域の $x=60\text{cm}$ (板の後端)における大きなレベル変動は、板後端における音波の強い散乱、 $x=-60\text{cm}$ (板の前端)における高周波数域の変動は前端からの散乱に起因し、板底面と地表面の間にできる隙間が音波の散乱を強くしているものと考えられた⁽⁴⁾。地表面が山砂の場合の同図(b)では、図(a)で見られた、中間の周波数帯域のレベル変動が極めて小さくなっていることが分かる。このことから、上述の板底面と地表面下の隙間が、板上の音圧に強く影響することを示唆している。板周辺が雑草に覆われている場合、雑草の高さによって若干の違いがあるが、板の前端、後端部の散乱の影響は、芝生面に比較して抑制されている様子を見ることができる。なお、特に $4\text{kHz} \sim 5\text{kHz}$ の帯域で相対レベルが高くなっているのは、周囲の雑草による音波の散乱波が各位置のマイクロホンに入っているためと考えられる。

規格で規定しているマイクロホンの位置(基準位置)は、 1.5m 径の円板では y 軸上の $x=25\text{cm}$ であるが、これらの4つの条件が基準位置に近い $x=20\text{cm}$ のレスポンスどのように影響するかを、Fig.3 に示した。明らかに、山砂表面の結果が変動が少なく、設置条件として優れていることを指摘できる。この条件を実際の測定で実現できない場合、逆に背の高い雑草に覆われて板を置くのがよい、ということになる。

(a) Cut-lawn

(b) Sandy soil

(c) 20cm height grass

(d) 60cm height grass

Fig.2 Effects of surroundings of the ground board to the measurements of the sound pressure levels.

Fig.3 1/3 octave band SPL for various surroundings at $x=20\text{cm}$ of the board.

(a) Along x -axis

(b) Along y -axis

Fig.4 Relative responses at center of 1.0m diameter one-piece board placed on the cut-lawn surface.

2.2 板の分割

Fig.4 (a)及び(b)に、1m径の一体板上の x, y 軸方向の音圧分布を示す。前述のように、 y 軸方向の音圧変動は板端部の近くを除けばほぼ同じ変動傾向であるのに対し、 x 軸方向には位置によってレスポンスが大きく違っている様子を確認できる。

Fig.5は、Fig.4に示す一体板の板中心におけるレスポンスを基準として、同じ径の板で、中心から10cmの位置で分割した板上のレスポンスをプロットした結果である。同図(a)は、分割部の隙間 s を2mmとし、分割部分が xy 座標上の図に記入した位置でレスポンスがどう変わるか見たものであ

(a) $s=2\text{mm}$

(b) $x=10\text{cm}$

Fig.5 Responses at the center of 1.0m diameter split board relative to the one-piece 1.0m diameter board.

る。同じ隙間でも、分割部の位置によってレスポンスが変わっており、 $x=10\text{cm}$ の場合が、特に中間の周波数域において一体板との差が最も大きく、逆に、 $y=10\text{cm}$ の位置の場合が最も差が小さくなっていることが分かる。このことは、板上の音圧分布の変動は x 軸に沿って大きく現れ、 y 軸方向には変動幅が小さいことと関連しているように思われる。

Fig.5(b)は、同図(a)で最も大きな差を示した $x=10\text{cm}$ に分割部を置き、 s を0~4mmと変えた場合の差を示す。隙間の間隔が広がるほど、当然ながら差が大きくなる。逆に、 $s=0$ としても、必ずしも一体板と同じレスポンスとはならないことが分かるが、同図(a)で見たように、 y 方向に分割部を置けば、 $s=0$ で問題なく一体板と同じ結果が得られるものと思われる。

4. まとめ

風力発電システムのサイトの地表面の状況は、雑草で覆われている、剥き出しの土、アスファルト舗装面等様々であり、板寸法の範囲でも、平坦であることはなく、多少なりとも凹凸がある。著者に与えられた試験環境で実現可能な範囲で、実際の風車の騒音測定で想定される条件を作り、これらの条件が測定結果にどのような影響があるか実験的に調べた。雑草等のない、板と地表面間の隙間をなくすることのできる山砂の上に板を置く等、板下の隙間をなくする方法が精度よいスペクトル測定結果を与えることが分かったが、必ずしも実現できる条件ではない、といった問題が残る。

板の分割は、これによってできる隙間に注意すると共に、音波の伝播方向に隙間方向を置くようにすれば、測定上の影響はほとんどないことが分かった。

文献

(1) IEC 61400-11 Ed.1: Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques (1998).

(2) 二井、五反田、風力発電システムの騒音測定技術(3)、音響学会講論集、1998年3月、p.775.

(3) 二井、五反田、風力発電システムの騒音測定技術(4)、音響学会講論集、1999年3月、p.599.

(4) 二井、風力発電システムの騒音測定に用いる地表設置板について、第9回環境工学総合シンポジウム講論集、(1999), pp.102-104.

(5) Nii, Y., Ground effects upon sound pressure levels on a board for wind turbine noise measurements, Proc. InterNoise2000 (2000), pp.3798-3801.