

北海道厚沢部町型式試験サイトの評価

SITE EVALUATION FOR TYPE TESTING IN ASSABU TOWN, HOKKAIDO

藤原 惇嗣* 細見 雅生* 小川 路加*
 Atsushi Fujiwara Masao Hosomi Ruka Ogawa

型式認証を取得する際の型式試験では、認証を取得しようとする風力発電機を建設し、荷重や挙動などが設計で想定している範囲内であることを確認しなければならない。型式試験では、風力発電機に作用する風と荷重や性能の関係を調査するため、基本的に平坦地形上で行うべきであるが、日本は複雑地形が多く地形による気流の影響を評価する必要がある。本稿では、北海道の厚沢部町で実施した型式試験サイト評価の一部の結果について報告する。

キーワード：型式認証, サイト評価, 風況観測

1. はじめに

型式試験を実施するサイトは、試験風車に対する流入風の地形による影響を最小にするため、平坦な地形で実施することが望ましい。しかし、日本は複雑地形が多く、評価範囲内の全ての領域に平坦な地形を選定することが難しい。その場合、試験前（風車建設前）にそれぞれの風向から流入する風について、どの程度地形の影響を受けているかを評価する必要がある。評価の結果によっては、風車への流入風と、型式試験時に風況観測マストで計測される風況の相関を得る必要がある。本稿では、現在開発中の 1MW 風車のために、北海道の厚沢部町にて実施した型式試験サイト評価の結果について報告する。

2. 試験サイト

型式試験を実施するサイトは、函館より北西に 50km 程度離れたところにある。サイトの西側 1km 程度離れたところに海岸線があり、東から南側には標高 60m~90m 程度の山が存在する。また、サイト周辺は起伏が激しい地形となっている。図-1 に試験サイト（風況観測マスト設置場所）を示す。



図-1 試験サイト（出典：国土地理院電子地形図）

3. 風評価

試験風車と風況観測マストの配置を検討する際、出現頻度の高い風向から流入する風が、地形や障害物の影響を受けないように配置することが重要となる。本節では風向と障害物の関係を考慮した風況観測マストおよび試験風車の配置検討の結果を示す。

図-2 はサイトの風配図である。本サイトは西~南西側、次いで東側から流入する風の出現頻度が高いことがわかる。また、高風速域の出現頻度としては、西側から流入する風の方が高いことがわかる。

これより、試験時に取得できる風データを多くすることを目的として、西側~南西側から流入する風が有効となるように、風況観測マスト（風況マスト1）および試験風車（風況マスト2）の配置を検討した。

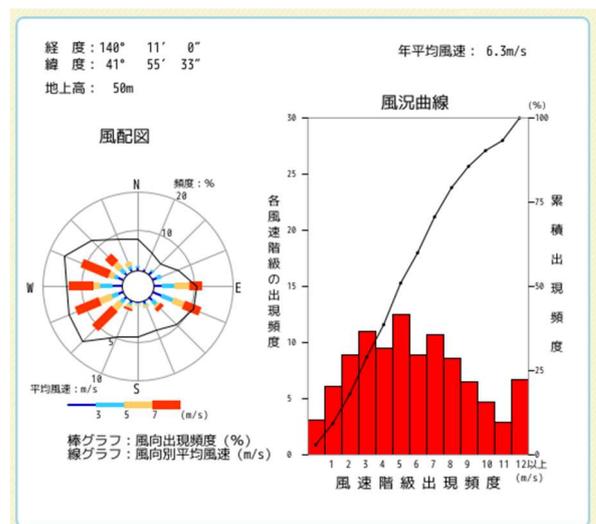


図-2 風配図（出典：NEDO 局所風況マップ）

* 環境インフラ本部 環境インフラ部



図-3 風況マストおよび試験風車配置

IEC61400-12¹⁾では、気流に影響を与える障害物として、近傍の風車・建築物・木々などを挙げており、これらの障害物がある一定の範囲内に収まっていなければ試験サイトとして不適合としている。図-3に、試験サイト近傍にある既設風車をNWT1、建築物などの障害物をRO1～4で示す。また、試験風車および風況マスト周辺には多数の木々があり、これらは型式試験における障害物として影響がある。流入風への影響をなくすためには、試験風車および風況マストのそれぞれを中心に半径約200m以内にある範囲内の木々を全て伐採する必要がある。そのため、伐採量が膨大になり環境への影響とコスト面への影響が懸念された。そこで、伐採量を可能な限り減らすため、高風速域の出現頻度の高い西～南西側の風のみを最大限使うこととし、図-3の赤ハッチに示す限定的な範囲のみ伐採することとした。

これらの障害物の風への影響確度はIEC規格¹⁾の式(1)により算出できる。

$$\theta = 1.3 \tan^{-1} \left(\frac{2.5 \cdot D_e}{L_e} + 0.15 \right) + 10 \quad (1)$$

ここに、

θ : 影響角度 [deg]

D_e : 等価ロータ直径 [m]

L_e : 試験風車または風況観測マストから障害物までの距離 [m]

また、等価ロータ直径は式(2)で定義される。

$$D_e = \frac{2 \cdot l_h \cdot l_w}{l_h + l_w} \quad (2)$$

ここに、

l_h : 障害物の高さ [m]

l_w : 障害物の正面投影幅 [m]

上式より、各障害物に対して評価を行った結果を表-1および表-2に示す。

表-1および表-2より、図-3の赤ハッチの部分すべて伐

表-1 風況観測マストに対する影響

障害物	高さ [m]	幅 [m]	等価ロータ直径 [m]	対マスト			
				距離 [m]	障害物方位 [deg]	除外風向角 [deg]	除外方位 [deg]
試験風車			67.0	167.5	113.0	73.7	76.2 ~ 149.9
NWT1			15.6	773.0	255.0	0.0	none
RO1	1.7	50.0	3.3	112.0	227.0	0.0	none
RO2	20.0	50.0	28.6	284.0	121.0	38.4	101.8 ~ 140.2
RO3	20.0	50.0	28.6	311.0	116.0	37.0	97.5 ~ 134.5
RO4	10.0	25.0	14.3	429.0	293.0	0.0	none

表-2 試験風車に対する影響

障害物	高さ [m]	幅 [m]	等価ロータ直径 [m]	対試験風車			
				距離 [m]	障害物方位 [deg]	除外風向角 [deg]	除外方位 [deg]
試験風車			67.0				
NWT1			15.6	912.0	262.0	0.0	none
RO1	1.7	50.0	3.3	267.0	279.0	0.0	none
RO2	20.0	50.0	28.6	121.0	133.0	57.5	104.3 ~ 161.8
RO3	20.0	50.0	28.6	144.0	121.0	52.7	94.7 ~ 147.4
RO4	10.0	25.0	14.3	596.0	293.0	0.0	none

表-3 地形変化の許容範囲

距離	方位区分	最大傾斜度 %	平面からの最大変化量
< 2L	360度	< 3	< 1/3 (H - 0.5D)
≧ 2L 及び 4L	計測方位区分	< 5	< 2/3 (H - 0.5D)
≧ 2L 及び < 4L	計測方位区分以外	< 10	適用されない
≧ 4L 及び < 8L	計測方位区分	< 10	< (H - 0.5D)
≧ 8L 及び < 16L	計測方位区分	< 10	適用されない

採し、木々の影響がないと考えると、RO2およびRO3の建築物のみ影響があることがわかった。その結果、北～東～南側より流入する風については試験に使用できないが、西側からの風は全領域にて使用できる位置へ風況観測マストを配置できた。

4. 地形評価

試験サイトの地形が平坦ではない場合、地形による影響を評価するためサイトキャリブレーションを実施する必要がある。本節では、試験サイト周辺の地形評価を行った結果を示す。

IEC61400-12 Annex Bでは、表-3に示す範囲であればサイトキャリブレーションを実施せずに型式試験が実施できるとしている。ここに、Lは試験風車と風況観測マストの距離、Dはロータ直径およびHはハブ高さである。

そこで、試験サイト周辺の地形評価を行い、サイトキャリブレーションの要否判断を行った。評価範囲は、試験風車と風況観測マストを中心に、IEC規格にしたがい16L = 3,301m以内について、北を0degとし10deg毎に評価を行い、各風向にて表-3の規定値以内に地形の変化が収まっているかの確認を行った。表-4～7に評価結果を示す。

表-4 最大傾斜度の評価（マスト2：試験風車中心）

風向	方位区分	<2L	≧2L and < 4L	≧4L and < 8L	≧8L and < 16L
0°	有効風向内	19.9%	NG	17.7%	NG
10°	有効風向内	19.5%	NG	13.7%	NG
20°	有効風向内	39.4%	NG	5.9%	NG
30°	有効風向内	19.1%	NG	6.8%	NG
40°	有効風向内	18.3%	NG	10.6%	NG
50°	有効風向内	14.1%	NG	9.4%	NG
60°	有効風向内	13.6%	NG	7.0%	NG
70°	有効風向内	12.5%	NG	4.9%	OK
80°	有効風向外	9.9%	NG	2.5%	OK
90°	有効風向外	9.9%	NG	3.6%	OK
100°	有効風向外	8.1%	NG	3.9%	OK
110°	有効風向外	9.6%	NG	6.1%	OK
120°	有効風向外	12.1%	NG	6.3%	OK
130°	有効風向外	17.5%	NG	3.2%	OK
140°	有効風向外	19.2%	NG	5.6%	OK
150°	有効風向外	18.8%	NG	8.6%	OK
160°	有効風向外	20.2%	NG	9.9%	OK
170°	有効風向外	20.7%	NG	10.9%	NG
180°	有効風向内	14.4%	NG	13.3%	NG
190°	有効風向内	23.6%	NG	17.3%	NG
200°	有効風向内	17.2%	NG	16.5%	NG
210°	有効風向内	9.5%	NG	12.8%	NG
220°	有効風向内	11.5%	NG	13.4%	NG
230°	有効風向内	5.7%	NG	13.3%	NG
240°	有効風向内	5.5%	NG	13.7%	NG
250°	有効風向内	8.6%	NG	12.8%	NG
260°	有効風向内	10.5%	NG	15.1%	NG
270°	有効風向内	12.0%	NG	15.6%	NG
280°	有効風向内	14.7%	NG	17.2%	NG
290°	有効風向内	15.9%	NG	15.5%	NG
300°	有効風向内	11.4%	NG	14.8%	NG
310°	有効風向内	21.1%	NG	18.0%	NG
320°	有効風向内	20.2%	NG	17.9%	NG
330°	有効風向内	19.1%	NG	19.3%	NG
340°	有効風向内	24.0%	NG	22.4%	NG
350°	有効風向内	21.4%	NG	22.0%	NG

表-6 最大変化量の評価（マスト2：試験風車中心）

風向	方位区分	<2L	≧2L and < 4L	≧4L and < 8L	≧8L and < 16L
0°	有効風向内	25.1 m	NG	22.9 m	NG
10°	有効風向内	25.1 m	NG	16.6 m	OK
20°	有効風向内	30.3 m	NG	15.4 m	OK
30°	有効風向内	25.1 m	NG	11.6 m	OK
40°	有効風向内	25.1 m	NG	5.1 m	OK
50°	有効風向内	25.1 m	NG	2.5 m	OK
60°	有効風向内	25.1 m	NG	6.4 m	OK
70°	有効風向内	25.1 m	NG	6.4 m	OK
80°	有効風向外	25.4 m	NG	6.4 m	OK
90°	有効風向外	25.1 m	NG	5.3 m	OK
100°	有効風向外	24.9 m	NG	10.6 m	OK
110°	有効風向外	25.4 m	NG	13.8 m	OK
120°	有効風向外	25.1 m	NG	12.7 m	OK
130°	有効風向外	25.1 m	NG	5.5 m	OK
140°	有効風向外	25.1 m	NG	3.8 m	OK
150°	有効風向外	25.4 m	NG	5.0 m	OK
160°	有効風向外	25.1 m	NG	6.4 m	OK
170°	有効風向外	25.1 m	NG	11.5 m	OK
180°	有効風向内	27.1 m	NG	18.7 m	NG
190°	有効風向内	25.1 m	NG	22.5 m	NG
200°	有効風向内	25.0 m	NG	20.6 m	NG
210°	有効風向内	26.4 m	NG	12.3 m	OK
220°	有効風向内	24.7 m	NG	5.0 m	OK
230°	有効風向内	25.1 m	NG	5.2 m	OK
240°	有効風向内	25.1 m	NG	6.4 m	OK
250°	有効風向内	26.0 m	NG	3.0 m	OK
260°	有効風向内	25.1 m	NG	1.3 m	OK
270°	有効風向内	25.0 m	NG	1.6 m	OK
280°	有効風向内	24.7 m	NG	5.0 m	OK
290°	有効風向内	24.7 m	NG	9.1 m	OK
300°	有効風向内	24.6 m	NG	7.7 m	OK
310°	有効風向内	25.1 m	NG	3.8 m	OK
320°	有効風向内	24.9 m	NG	9.9 m	OK
330°	有効風向内	24.7 m	NG	18.9 m	NG
340°	有効風向内	25.1 m	NG	24.3 m	NG
350°	有効風向内	25.1 m	NG	25.4 m	NG

表-5 最大傾斜度の評価（マスト1：風況観測マスト中心）

風向	方位区分	<2L	≧2L and < 4L	≧4L and < 8L	≧8L and < 16L
0°	有効風向内	19.5%	NG	14.7%	NG
10°	有効風向内	29.1%	NG	16.5%	NG
20°	有効風向内	28.5%	NG	15.0%	NG
30°	有効風向内	16.6%	NG	9.5%	NG
40°	有効風向内	19.9%	NG	17.8%	NG
50°	有効風向内	19.9%	NG	18.6%	NG
60°	有効風向内	17.9%	NG	13.6%	NG
70°	有効風向内	14.1%	NG	13.0%	NG
80°	有効風向外	8.4%	NG	16.5%	NG
90°	有効風向外	12.8%	NG	14.1%	NG
100°	有効風向外	11.0%	NG	8.0%	OK
110°	有効風向外	14.9%	NG	13.1%	NG
120°	有効風向外	15.8%	NG	15.2%	NG
130°	有効風向外	19.7%	NG	22.4%	NG
140°	有効風向外	22.1%	NG	25.5%	NG
150°	有効風向外	24.4%	NG	27.4%	NG
160°	有効風向外	29.1%	NG	32.1%	NG
170°	有効風向外	28.2%	NG	32.5%	NG
180°	有効風向内	32.9%	NG	33.7%	NG
190°	有効風向内	22.8%	NG	28.4%	NG
200°	有効風向内	27.6%	NG	32.0%	NG
210°	有効風向内	20.7%	NG	26.5%	NG
220°	有効風向内	23.4%	NG	18.7%	NG
230°	有効風向内	23.0%	NG	19.6%	NG
240°	有効風向内	20.5%	NG	18.4%	NG
250°	有効風向内	17.1%	NG	17.9%	NG
260°	有効風向内	22.1%	NG	18.4%	NG
270°	有効風向内	14.4%	NG	16.5%	NG
280°	有効風向内	16.0%	NG	16.2%	NG
290°	有効風向内	18.1%	NG	16.8%	NG
300°	有効風向内	17.7%	NG	14.5%	NG
310°	有効風向内	16.0%	NG	14.2%	NG
320°	有効風向内	14.6%	NG	13.2%	NG
330°	有効風向内	29.7%	NG	10.6%	NG
340°	有効風向内	12.2%	NG	10.4%	NG
350°	有効風向内	15.4%	NG	13.2%	NG

表-7 最大変化量の評価（マスト1：風況観測マスト中心）

風向	方位区分	<2L	≧2L and < 4L	≧4L and < 8L	≧8L and < 16L
0°	有効風向内	10.8 m	NG	2.1 m	OK
10°	有効風向内	8.6 m	OK	7.4 m	OK
20°	有効風向内	11.3 m	NG	8.3 m	OK
30°	有効風向内	16.0 m	NG	7.3 m	OK
40°	有効風向内	12.0 m	NG	13.5 m	OK
50°	有効風向内	12.0 m	NG	15.7 m	OK
60°	有効風向内	13.5 m	NG	15.9 m	OK
70°	有効風向内	10.7 m	NG	5.9 m	OK
80°	有効風向外	10.8 m	NG	7.6 m	OK
90°	有効風向外	11.3 m	NG	8.2 m	OK
100°	有効風向外	10.7 m	NG	9.0 m	OK
110°	有効風向外	11.5 m	NG	11.3 m	OK
120°	有効風向外	11.4 m	NG	15.0 m	OK
130°	有効風向外	11.4 m	NG	17.7 m	OK
140°	有効風向外	11.4 m	NG	23.2 m	OK
150°	有効風向外	11.3 m	NG	28.8 m	OK
160°	有効風向外	11.4 m	NG	28.0 m	OK
170°	有効風向外	11.9 m	NG	30.7 m	OK
180°	有効風向内	11.3 m	NG	29.1 m	OK
190°	有効風向内	14.9 m	NG	24.8 m	OK
200°	有効風向内	11.3 m	NG	22.8 m	OK
210°	有効風向内	11.3 m	NG	9.7 m	OK
220°	有効風向内	11.3 m	NG	6.0 m	OK
230°	有効風向内	11.3 m	NG	13.9 m	OK
240°	有効風向内	11.3 m	NG	12.5 m	OK
250°	有効風向内	11.3 m	NG	7.2 m	OK
260°	有効風向内	11.5 m	NG	7.3 m	OK
270°	有効風向内	11.3 m	NG	12.3 m	OK
280°	有効風向内	11.1 m	NG	13.1 m	OK
290°	有効風向内	11.4 m	NG	14.5 m	OK
300°	有効風向内	11.3 m	NG	11.2 m	OK
310°	有効風向内	11.1 m	NG	6.9 m	OK
320°	有効風向内	11.1 m	NG	1.7 m	OK
330°	有効風向内	11.6 m	NG	6.2 m	OK
340°	有効風向内	10.8 m	NG	5.3 m	OK
350°	有効風向内	10.8 m	NG	2.3 m	OK

表-4 および表-5 は、試験風車および風況観測マストを中心として、最大傾斜度を評価した結果である。最大傾斜度について、2L 以上では一部規定値内に収まっている方位があるものの、2L 未満では全領域にて規定値以上となっていることが

わかる。また、本サイトの主風向である 270 度付近においては、8L 未満では規定値以上の傾斜度であることがわかる。

表-6 および表-7 は、試験風車および風況観測マストを中心として、最大変化量を評価した結果を示す。最大変化量に



写真-1 風況観測マスト完成写真（マスト1）

ついても、2L以上では一部規定値内に収まっている方向があるものの、2L未満ではほぼ全領域にて規定値以上の変化量であることがわかる。

以上の結果より、全方位について最大傾斜度および最大変化量は規定値を超過しており、流入風が地形による影響を受けると判断できる。よって、本サイトでは型式試験を実施する前に、サイトキャリブレーションが必要なサイトであることがわかった。

5. 風況マスト

第4節より、本サイトではサイトキャリブレーションの実施が必要と判断されたため、型式試験実施前に、試験時の風況観測場所（マスト1）および試験風車設置場所（マスト2）の相関を確認するために、両方に風況観測マストの設置を行った。写真-1に風況観測マストの完成写真を示す。

本サイトでは、マスト1およびマスト2ともに、ハブ中心付近の風を計測するため、全長59.9mの支線式トラス型風況観測マストを使用した。両マストには、地表面より59.6mに三杯式風速計を2台、55.6mに三杯式風速計を1台と矢羽根式風向計を1台、55.0mに大気温度計、大気圧計および湿度計をそれぞれ1台ずつ、50.0mおよび26.5mに三杯式風速計を1台と矢羽根式風向計を1台設置している。

それぞれのマストで計測されたデータは10分平均処理を行い、風向については10deg毎、風速については1m/s毎で風向別風速別のデータセットを作成する。そして、IEC規格にもとづき、それぞれのデータセットにて98%以上の精度で相関を確認できた際にサイトキャリブレーションを終了する。

6. おわりに

厚沢部町で実施予定の型式試験サイトについて、サイト評価を実施した結果を以下にまとめる。

風評価の結果、西～南西側、次いで東側から流入する風の出現頻度が高いが、全方位に障害物となりうる木々が生えていること、また型式試験に影響を与える建築物（風車位置よ

り南東側）があることがわかった。そのため、北～東～南側を型式試験で使用しない風向とし、また西側の木々を伐採することで型式認証試験を実施するために必要な風向の風を確保した。

地形評価の結果、試験風車中心および風況観測マスト中心ともに、全方位について最大傾斜度と最大変化量は規定値を超過しており、サイトキャリブレーションが必要なサイトであることがわかった。

現在、試験サイトで2か所の風況観測マストの相関を把握するためにサイトキャリブレーションを実施している。前述のように、日本は複雑地形が多いため型式試験に適したサイトは少ない。しかしながら、サイトの風評価や地形評価を適切に行い、かつ試験に有効な風向を検討することで、サイトキャリブレーションは必要となるが、型式試験を実施することが可能となる。今回のサイト選定とサイト条件の設定に関して、その妥当性を確認し今後の合理的なサイト選定の提案に繋げていきたい。

参考文献

- 1) IEC61400-12: Ed.2 (2022)