

釜石広域ウインドファーム 風車破損事故について(2004年、2005年) (概要)

1. 釜石広域ウインドファーム(釜石 WF)と事故の概要

(1) サイトの概要

- ・所在地：岩手県釜石市橋野町第14地割13番5
- ・定格出力：42,900kW(1,000kW×42基+900kW×1基)
- ・運転開始：2004年12月1日

(2) 風力発電設備の概要

- ・風車：MWT-1000A
- ・定格出力：1,000kW
- ・回転数：19.8rpm
- ・ロータ：直径61.4m、取付位置地上68m

(3) 事故の概要

- ・日時：2004年11月27日(19号、22号)
2005年2月23日(19号、33号、36号)
- ・状況：ブレードの柁と外皮が分離し、折損・飛散が発生

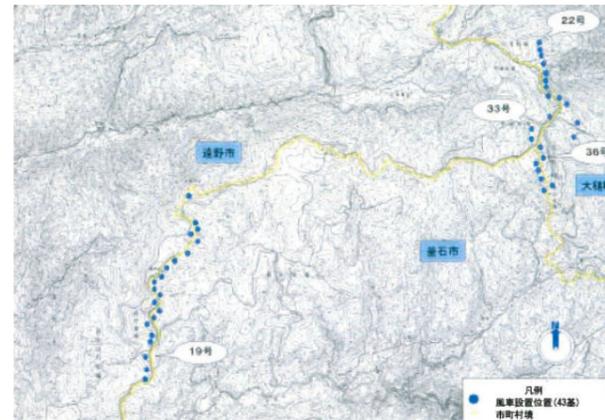


図-1 釜石 WF 風車位置

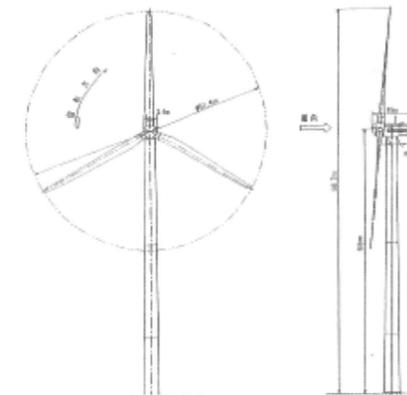


図-2 風車外形図

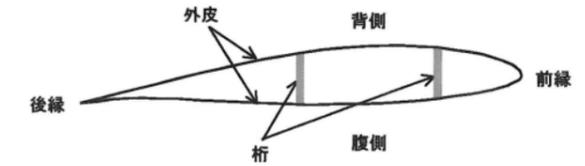


図-3 ブレード断面図

2. 事故状況

(1) 気象状況

①2004年11月27日

低気圧(960hPa)の影響により、北日本全域で強風を観測(釜石 WF の平均風速は30~45m/s、瞬間風速は40~60m/s)。

②2005年2月23日

低気圧(992hPa)の影響により、北日本全域で強風を観測(釜石 WF の平均風速は25~30m/s、瞬間風速は約40m/s)。

(2) 事故状況

①2004年11月27日

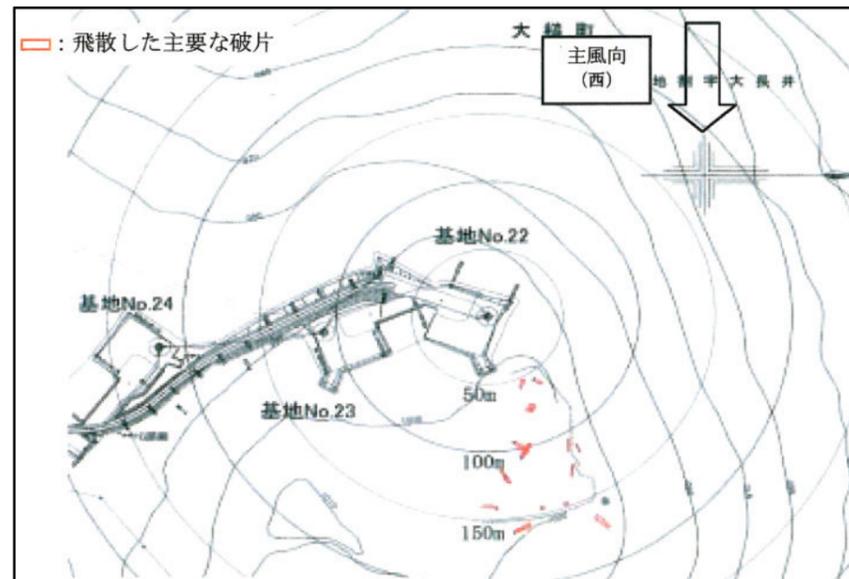
(19号)

- ・ブレード1枚の先端部(先端から約3m)が切り取られたように飛散。
- ・ナセル、タワーおよび他のブレードには損傷無し。

(22号)

- ・ブレード1枚の根元がもぎ取られたように飛散。
- ・他のブレードには損傷は無かったが、風向風速計が破損・落下(破損ブレードの影響と推定)

19, 22号とも、飛散したブレード破片には、落雷痕と推定される穿孔や黒変部あり。



a : ブレード破片飛散状況



b : ブレード破損状況



c : 落雷痕の状況

図-4 ブレード破損状況(22号)

②2005年2月23日

(19号)

- ・11/27に折損したブレードは12月に交換し、その後も19号は運転停止中であったが、別のブレード1枚が根元から約3mの位置で折れ曲がり、外皮の先端部(約5m)が折損。
- ・他のブレードには損傷は無かったが、ナセルカバー右側後部底面は破損。

(33号)

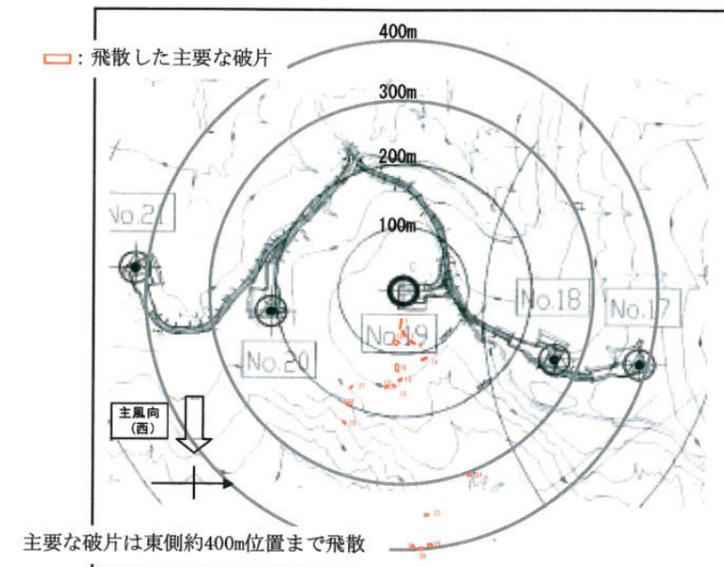
- ・ブレード1枚が根元から約3mの位置で折れ曲がり、外皮の先端部(腹側約5m、背側約6m)が折損。
- ・他のブレードには損傷は無かったが、ナセルカバー右側後部底面は破損。

(36号)

- ・ブレード1枚が根元から約3mの位置で折れ曲がり、外皮の先端部(腹側約7m、背側約7m)が折損。
- ・他のブレードには損傷は無かったが、ナセルカバー右側後部は破損。
- ・タワー塗膜の損傷(破損ブレードの影響と推定)

19, 33, 36号とも飛散したブレード破片には、落雷痕と推定される穿孔や黒変部あり。

(なお、釜石 WF の全風車にて、ブレード先端に落雷対策のレセプターは付いていなかった。)



主要な破片は東側約400m位置まで飛散

a : ブレード破片飛散状況



b : ブレード破損状況



c : 柁接着部の黒変状況

図-5 ブレード破損状況(19号)

3. ブレード破損の原因究明

当社は最初の事故発生（2004年11月27日）後、学識経験者を含めた事故調査委員会を組織し、以下のフローで原因究明と対策検討を実施した。

①事故状況調査(2章) ⇒ ②事故発生率調査(3-1章) ⇒ ③設計と製作の精査(3-2章) ⇒ ④接着剤の引張試験(3-3章) ⇒ ⑤接着剤の破壊靱性試験(3-4章) ⇒ ⑥分離域の進展評価(3-5章) ⇒ ⑦事故調査のまとめ(4章) ⇒ ⑧防止対策(5章)

3-1. 事故発生率調査

事故の偶発性を判定するために、事故発生率を定義し、調査を行った。

$$\text{事故発生率} = \frac{\text{事故発生回数(回)}}{\text{(期間(年) \cdot 台数(基))}}$$

調査結果(表-1)を整理すると、下記の通り。

- ・釜石 WF の事故発生率は、超過発生率*1)に対して非常に高い。
- ・同型機における他事例調査の結果、事故発生率は釜石に比べて極めて低く、顕著な差が見られる。

⇒当該破損事故は偶発的ではなく、ブレード自体の問題であることを示唆。

表-1 事故発生率

	A: 事故発生率 (回/年・基)	B: 超過発生率 (回/年・基)	倍率 A/B
ウインドファーム 全体	0.23	0.02	11.6
19号機のみ	4	0.02	200
(参考) 同型機に おける他事例	0.0044	0.02	0.22

* 1) IEC 規格のクライテリアを超える外部条件の50年再現期間における発生率

3-2. 設計と製作の精査

3-2-1. 強風に対する精査

下記理由により、今回の事故は強風が原因では無いと判断。

- ・風車の設計風速は、IEC クラス II 相当（10分平均風速：42.5m/s、瞬間風速：59.5m/s）。
- ・メーカー工場でのブレード強度試験やFEM（有限要素法）による強度解析結果より、設計仕様耐風速を満たすことを確認。
- ・11/27の事故発生時の風速は、設計を超過する風速（平均：～45m/s、瞬間：～60m/s）が計測されたが、国内他WFの同型機にて瞬間風速60m/sでもブレード破損が生じなかった実績あり。
- ・2/23の事故発生時の風速は、設計風速未満（平均：～30m/s、瞬間：～40m/s）。

3-2-2. 材料に対する精査

ブレード破片の調査結果より、外皮と桁の接着部の分離が確認されたため、接着剤に着目して調査した結果、釜石 WF 向けと他 WF 向けのブレードには異なる接着剤を使用していたことが判明(表-2)。(釜石 WF)：A工場、ビニルエステル系 (他 WF 向け)：B工場、メタクリレート系

表-2 ブレードに使用した接着剤

製造工場	接着剤
A工場（国内）	ビニルエステル系接着剤
B工場（海外）	メタクリレート系接着剤

3-3. 接着剤の引張試験

JIS K 7113（プラスチックの引張試験方法）に基づき引張試験を実施し、下記の結果を得た(表-3)。

(引張強度)
ビニルエステル系 > メタクリレート系
(破断歪)
ビニルエステル系 < メタクリレート系
(備考)

表-3 接着剤の引張試験結果

接着剤	引張強度 (MPa)		破断歪 (%)	
	室温	-40℃	室温	-40℃
ビニルエステル系接着剤	62	66	2.9	2.4
メタクリレート系接着剤	22	37	22.9	7.2

- ・メタクリレート系の引張強度は、設計仕様上の耐風速を満たすことを試験で確認。
- ・釜石 WF では、台風の影響を重視し、より強度の余裕を持たせるため、ビニルエステル系を採用。

3-4. 接着剤の破壊靱性試験

接着剤の破壊靱性試験を行い、接着剤の Mode I（開口型）と Mode II（面内せん断型）における接着界面破壊靱性値*2)を計測した。

* 2) 単位面積の剥離き裂を生じる際に必要なエネルギーの限界値

3-4-1. 試験方法

ブレードのFRP層と接着層の界面に長さ50mmの初期き裂を有する条件とし、そのき裂先端における破壊靱性値を下記試験にて求めた。

- ・Mode I 破壊靱性値：DCB (Double Cantilever Beam) 試験
- ・Mode II 破壊靱性値：CNF (Center Notched Flexure) 試験
ENF (End Notched Flexure) 試験

なお、初期き裂は接着時にテフロンフィルムを挿入して形成。

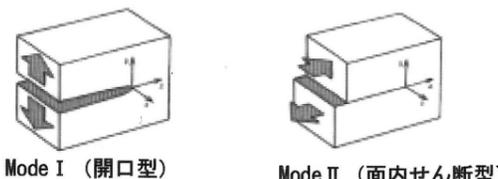


図-6 き裂の Mode

3-4-2. 試験結果

試験結果より、下記の結果を得た(表-4)。

(破壊靱性値)
ビニルエステル系 < メタクリレート系

(破壊状況)
ビニルエステル系：FRP母材との接着界面で剥離
メタクリレート系：FRP母材の内部破壊

表-4 接着剤の破壊靱性試験結果

接着剤	単位	破壊靱性値		
		Mode I		Mode II
		室温	-20℃	室温
ビニルエステル系接着剤	KJ/m ²	0.13	0.11	2.8
メタクリレート系接着剤	KJ/m ²	2.7	1.56	21.3

3-5. 分離域の進展評価

3-5-1. 評価方法

初期分離域（ブレードの外皮と桁の接着界面の一部分離）をモデル化して、FEM解析によるエネルギー開放率*3)と前述の破壊靱性値を用いて、分離域の進展を評価。



図-7 FEMモデル

* 3) 単位面積の剥離き裂を進展させようとするエネルギー

FEMモデルとして、ブレード先端部の接着部分離長さは1mまたは3mとした(2/23の19号風車にて、桁接着部に1.8mの黒変部確認を考慮)。

3-5-2. 評価結果

評価結果より、下記の結果を得た(表-5)。

表-5 FEMによる分離域進展評価結果

接着剤	ビニルエステル系	メタクリレート系
風車荷重条件	(横向き待機の風車荷重) 風向に対しロータ面を90度横向きにした待機状態で、風速60m/s時の荷重 (11/27の19号、22号を考慮)。 (アップウインド待機の風車荷重) 風向に対し正対した待機状態で、風速40m/s時の荷重 (2/23の19、33、36号を考慮)。	(横向き待機の最大荷重) 風向に対しロータ面を90度横向きにした待機状態で、風速60m/s時の荷重 (通常運転時の最大荷重) 定格出力運転時の最大荷重
分離域進展図		
評価	風車が横向き待機およびアップウインド待機のどちらのケースでも、分離が進展してブレード破損に至る可能性あり。	いずれの荷重条件でも解析結果は1未満であり、2m程度の初期分離が生じていたとしても、その分離は進展せず、ブレード破損には至らない。

4. 事故調査のまとめ

釜石 WF で使用されたビニルエステル系接着剤は、接着界面の分離に対する破壊靱性が小さく、落雷等により少なくとも1mの初期分離が生じた場合は、分離が進展してブレード破損に至る可能性があることが明らかになった。

よって、当該事故の原因は、接着剤の破壊靱性が不十分であったため、落雷等により接着界面に初期分離が生じて、その後分離が進展し、ブレード破損に至ったといえる。

5. 防止対策

釜石 WF では、メタクリレート系接着剤で製造したブレードに全基交換した（レセプターも全基装着）。それ以降、ブレード破損事故が発生することなく、現在(2014年3月)も順調に稼働している。