

響灘風力発電所 調速装置破損事故の原因及び対策について

1. 響灘風力発電所と事故の概要

(1) サイトの概要

- 所在地 福岡県北九州市若松区向洋町10番地の12(図1参照) ・総出力 15,000kW(1,500kW×10基)
- 運転開始 2003年(平成15年)3月



図1 位置図

(2) 風力発電設備の概要

- 風車メーカー GE Wind Energy社 ・風車型式 TW1.5s(現在1.5s)
- 回転数 11~20min⁻¹(可変速)

(3) 事故の概要

- 発生日時 2014年3月14日(金) 15時00分
- 状況 風車10号機ハブ内部ブレード1用ピッチギアのピニオンギアが脱落下し風車自動停止。



図2 ピッチギア

2. 事故時の状況

- (1) 気象/風況 晴れ/北西の風約12m/s
- (2) 風車状況
 - 15:00:42 風車10号機出力1,500kWで運転中、ブレード1の角度90° オーバーランにより停止。(ピニオンギアが脱落したためブレードがフリーの状態となり、角度90° 側に動きリミットスイッチが動作した。)
 - 15:00:55 ブレード2及びブレード3の角度が83° (フェザーリングポジション)へ動作。
 - 15:01:25 ロータブレーキ動作(通常ブレーキ)にて風車停止。

3. 事故状況調査

(1) 現場調査

- ① 脱落したピニオンギアがブレード3プラットホームに見られた。ピニオンギア自体には異常な傷は見られなかった。(写真1)
- ② ピニオンギア脱落したことにより、漏れたギアオイルがハブ内に見られた。(写真2) その他ハブ内部に外見上の損傷なし。

(2) ピニオンギア調査

- ① 脱落したピニオンギアは長さ:420mm、幅70~210mm、重量:38kgで、ギア部に破損、異常は見られなかった。
- ② シャフトを固定しているボルト3本が折れていた。また、3本中1本。(ボルト1)が手で緩む状態であった。(写真3)
- ③ 折損したボルトは、六角穴付ボルトM12×35、ボルトに10.9の刻印(日本ではJISB1051の強度区分10.9に相当)。折損箇所は3本ともボルト頭の根元であった。(写真4)



写真1 脱落したピニオンギア



写真2 ハブ内部状況



写真3



写真4

4. ボルト分析結果

(1) ボルト化学分析結果

ボルトの化学成分は表1の通りJISB1051の強度区分10.9のボルトで規定されている範囲内であった。

表1 ボルト化学分析結果									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	B
分析結果	0.24	0.11	0.91	0.010	0.005	0.02	0.31	0.01	0.003
JISB1051	0.20~0.55			≤0.035	≤0.035		≥0.30		≤0.003

(2) ボルト引張強さについて

ボルト硬さ測定(平均375HV0.5)からの引張強さ近似値換算(JIS鉄鋼HB)は1200MPa程度であった。(JIS規定の上限に近い値)

5. ボルト破断面調査結果

破断したボルトをピッチギアから取り出し、破断面の外観調査及び電子顕微鏡による破面観察、及びボルト1 に対してボルトネジ部の断面観察を行った結果、以下が判明した。

(1) 外観調査(写真5,6<何れもボルト3>及び別紙2参照)

- ① 破壊は3本とも首下のネジ底部を起点としている。
- ② 破面の様相は3本とも同様であり、平面的でなめらかな部分と立った部分(最終破断面)からなっている。
- ③ 破壊は軸方向に対して直角ではなく、ななめ(径方向に対し20°程度)に進展している。
- ④ 破壊起点側(破面写真下側)にはラチェットマーク(複数クラックの結合部段差)が見られる。
- ⑤ 最終破断面は擦られた状態(金属光沢)となっている。



写真5 破断ボルト外観



写真6 破断面外観

(2) 電子顕微鏡による破面観察(写真7<ボルト2>及び別紙3~6参照)

- ① 3本とも同様であり、粒界破壊と粒内破壊(羽毛状)が混在した破面を呈している。また、ストライエーションやリバーパターンは見られなかった。
- ② 最終破断面の立上り部も同様の破面であった。頂部は擦られているため観察不可であった。

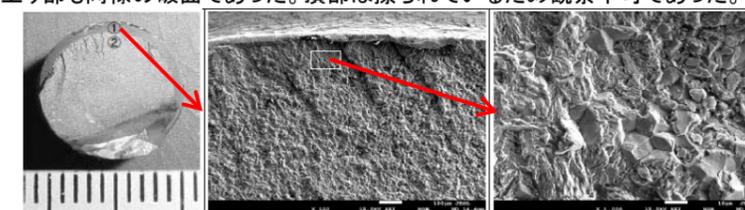


写真7 破面ミクロ(SEM)観察

(3) 光学顕微鏡によるネジ断面観察(写真8~9及び別紙7~9参照)

- ① マクロ組織の観察においてクラックが3か所発見された。
- ② クラックはボルト端から約8~10mmの範囲に発生している。
- ③ クラック1,2は両側のネジ底付近から別々に発生、進展しボルト径中央近傍で合体している。
- ④ クラック3は微細であるが、ねじ山の側面から発生している。

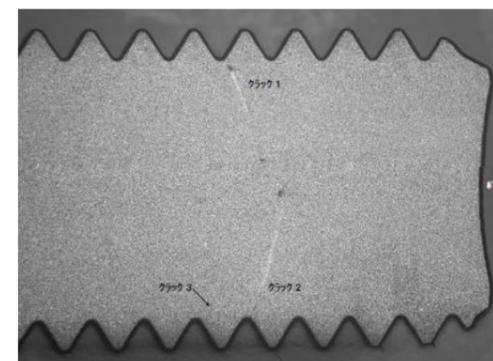


写真8 断面マクロ観察

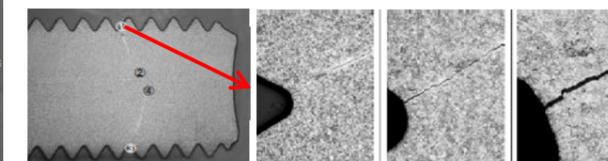


写真9 断面ミクロ観察(ネジ山底部)

6. 推定されるボルト破断形態

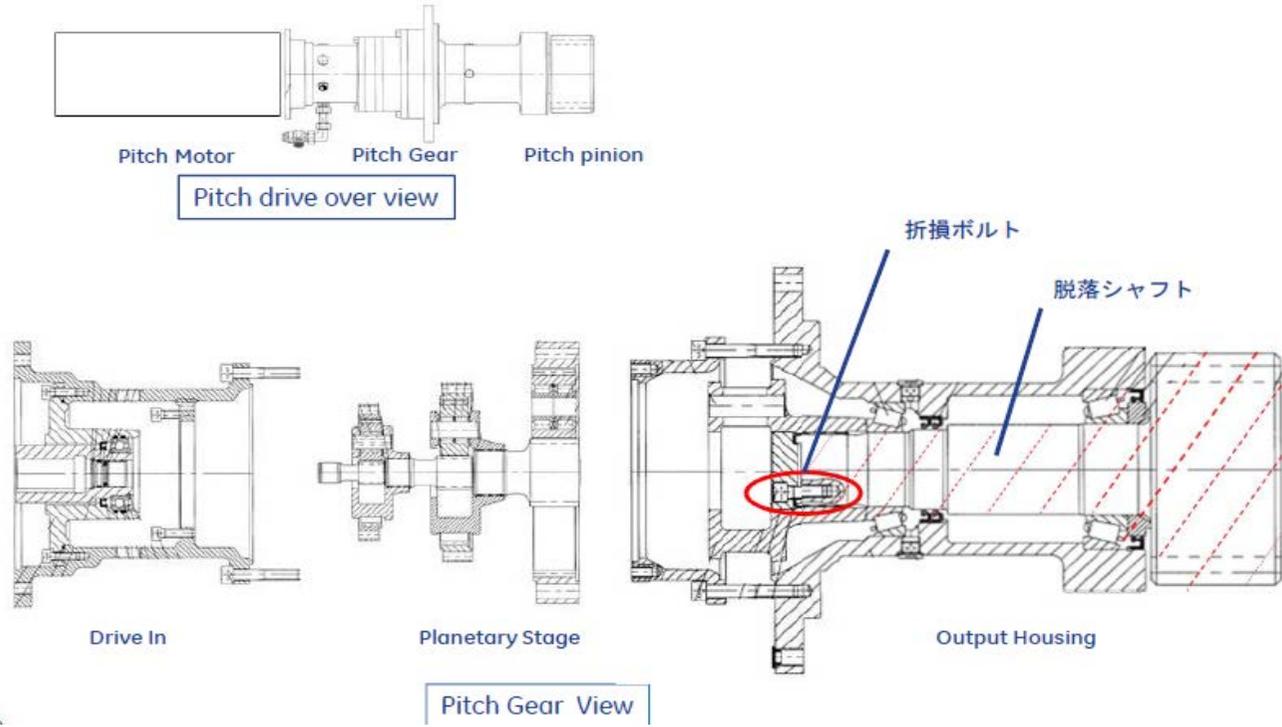
4. 項のボルト引張強さと5. 項のボルト破断面の調査結果より、今回のボルトの破断形態は水素脆化/遅れ破壊によるものと推定される。遅れ破壊は拡散性の水素原子が金属中に侵入・拡散し、結晶格子欠陥(転移)が多く存在する結晶粒界で水素分子となり、そのガス圧により粒界破壊する等メカニズムには諸説あるが、水素が何らかの形で関与し金属が脆化するものである。破面の特徴はマクロ観察(肉眼)では疲労破壊に酷似しているが(滑らか、ラチェットマーク)ミクロ観察(SEM)では、粒界破壊(遅れ破壊の特徴)及び羽毛状の粒内破壊(水素脆化の特徴)が見られた。最終破断面(立上がり部)は、遅れ破壊が進展しボルトの残存面積が小さくなり、負荷に耐えられなくなった時点で破断したものと考えられる。

7. 再発防止対策

ピニオンギア部の脱落防止のため、ピッチギアメーカーが開発した脱落防止カバーを導入して調速機能の維持を図り、安全を担保する(別紙10)。また、水素脆化/遅れ破壊が発生した原因を材質及び使用環境の両面から検討し、その結果を踏まえて最終対策を検討する。

8. スケジュール(別紙10)

今後、脱落防止カバーを設置して設置が完了したのから順次試運転を開始する一方で、潤滑油分析及びNo.2、3ピッチギアのボルトの分析を行った上で、水素脆化/遅れ破壊の発生原因と対策の検討を進める。



図A1 ピッチギア構造と折損ボルト位置



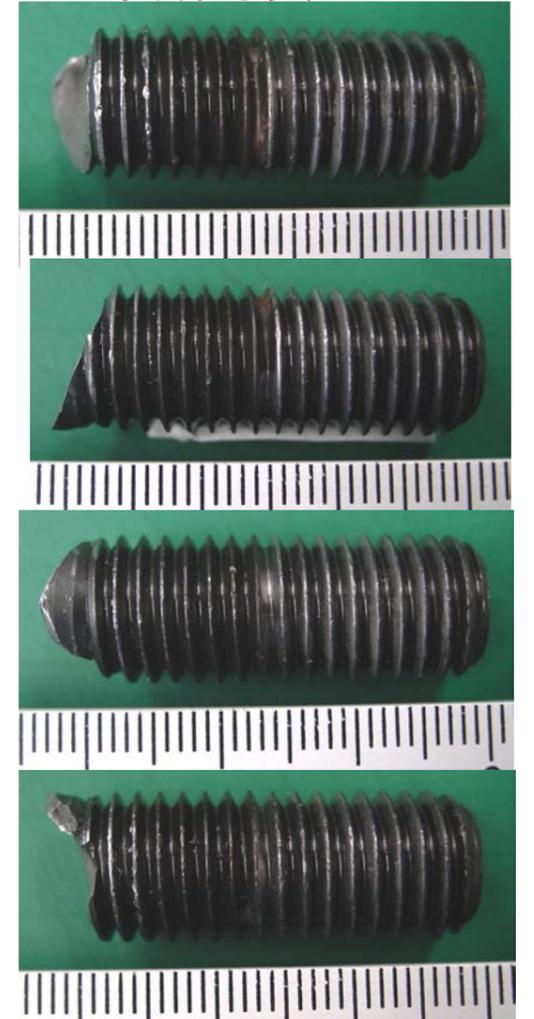
脱落シャフト&ピニオンア



ボルト 1



ボルト 2

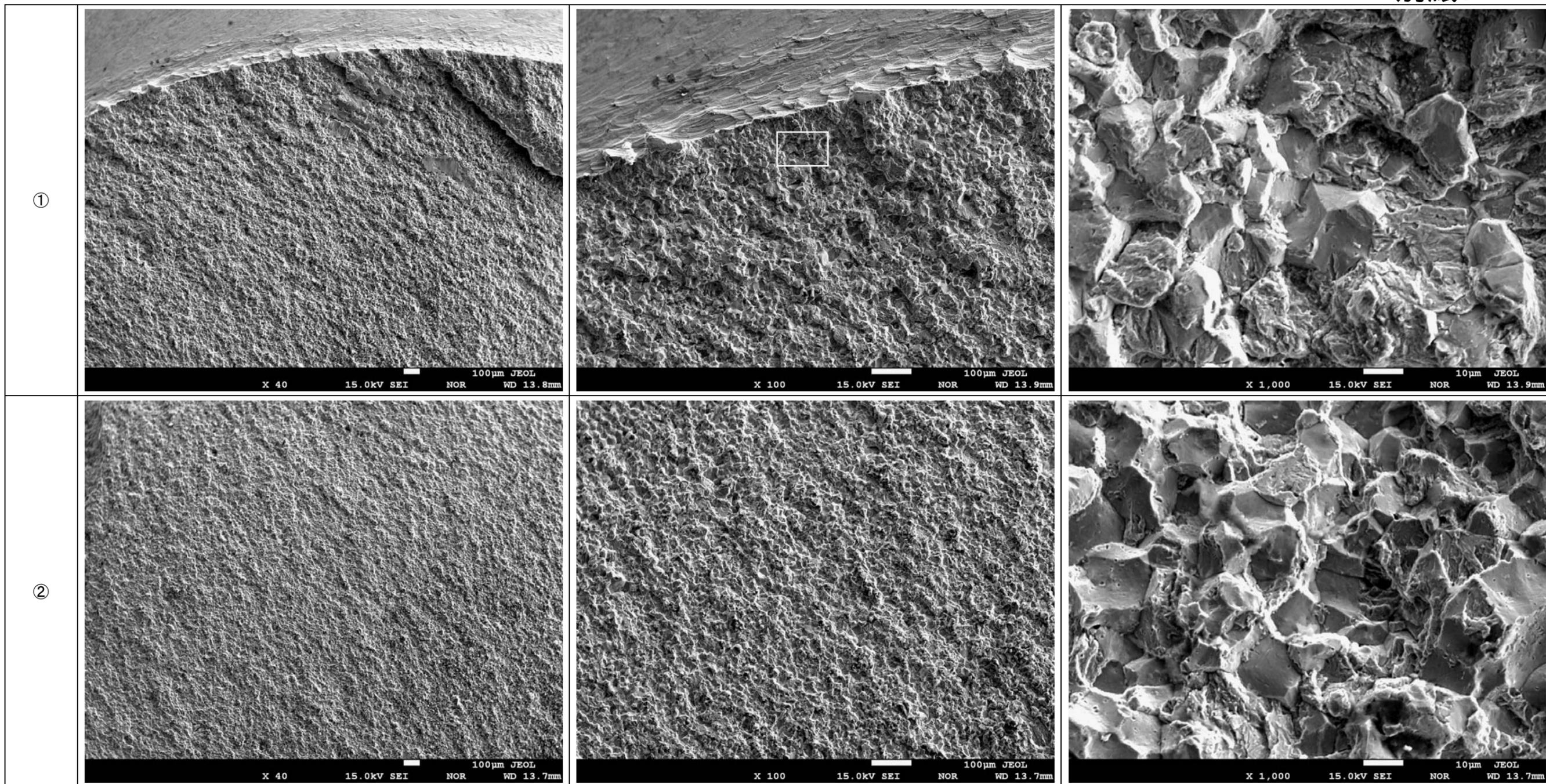


ボルト 3

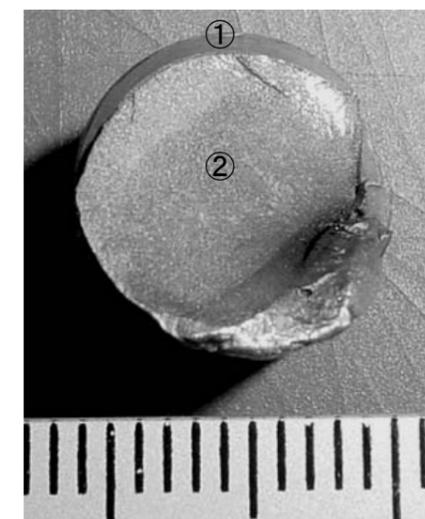
本紙写真6

本紙写真5

写真A1. 破断ボルト外観



写真A2. 破面 SEM - ボルト 1



(破面洗浄後)