

中部電力株式会社 御前崎風力発電所 3 号機ブレード取付ボルト破断について
(見直し部分の説明)

「第 7 回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度ワーキンググループ(平成 28 年 1 月 25 日開催)」
の質疑を踏まえ、「FTA」の見直しを行った。

(見直し前)

【現象】	【要因区分】	【要因】	【調査内容】	【調査結果】	【判定】	
ブレード取付 ボルト破断	環境要因	応力腐食割れ	応力腐食割れにより脆化, 破断	材料分析, ボルト腐食状況確認	分析結果, 疲労破断の形跡, 応力腐食 割れなし	×
		腐食疲労	腐食環境下で疲労強度低下し破断	ボルト腐食状況確認	・腐食はあるが減肉による断面減少なし ・ボルトコーティング損傷部有(腐食有) ・残置ボルトに微小き裂あり	○
	運転要因	設計想定荷重を超過し運転	異常な過荷重現象が発生し破壊	過荷重現象の発生調査	過荷重発生記録なし	×
	設計要因	ボルト設計強度不足	設計想定荷重に対し強度不足で破断	ボルト強度区分の妥当性確認	必要な強度は満足	×
		設計締付力不適	ボルト締付力過大により破断	構造設計書, 締付線図確認	軸力設定の妥当性確認	×
	製造要因	ボルト強度不足	設計強度に対し実際のボルト強度不足で破断	製品検査記録, 成分分析等の確認	破断ボルト成分分析, 製品検査記録は満足	×
	施工要因	締結部の陥没や外力によるボルト軸力低下	陥没や繰返し外力によりボルトの軸力が低下し破壊	ボルト軸力調査, 静荷重調査, 軸力 0 kN (1 本のみ) 場合の引張応力算定 (FEM解析)	軸力 0 kNあり, 異常荷重記録なし, FEM解析で 1 本のみ 0 kNの場合, 軸力測定結果に基づく場合, 単独での破断はしない	△ ↓ ×
				ボルトの施工状態を模擬しFEM解析を行い締付面が接触し曲げ応力の影響を加味した疲労評価	FEM解析を実施した結果, 接触(ズレ面最大 4 mm) による応力集中ではボルト破断しない	×
		締結施工不良	ボルト・ピッチベアリング結合時, ブレードとピッチベアリング孔位置がズレ, ボルトとピッチベアリング孔内壁が接触したことにより応力集中またはフレットイングが発生し破断	ブレード孔とピッチベアリング孔とのズレ観察	孔位置にズレがあり, ズレ面摩擦なし建設時のズレと推定(ブレード孔と旋回軸受孔位置がズレた状態で締結)	△ ↓ ○
				接触による破断面の位置を方向が一致するか確認	破断面と接触部の位置と方向は一致しており旋回軸受側に錆が少ない部分を確認(残置ボルトも一致)	△ ↓ ○
				図面から幾何学的に金属接触が発生するかの確認	図面から幾何学的に金属接触することを確認。FEM解析で軸力低下による接触部のクリアランス変化も確認	○
				類似事象の確認(3G-2軸-No. 37, 39を抜き取り調査)	No. 37, 39を抜き取り非破壊検査を実施したがき裂はなし。腐食あり	△ ↓ ×
	保守要因	ボルト軸力低下(リラクゼーション)	軸力低下により内力係数増加, または接触状況変化で破断	初期点検での増し締め記録確認, 軸力測定実績の確認	初期点検で増し締め未実施 ボルト軸力低下を確認	○

図10 FTA

(見直し後; 施工要因以下の部分を抜粋)

施工要因	締結部の陥没や外力によるボルト軸力低下	陥没や繰返し外力によりボルトの軸力が低下し破壊	ボルト軸力調査, 静荷重調査, 軸力 0 kN (1 本のみ) 場合の引張応力算定 (FEM解析)	軸力 0 kNあり, 異常荷重記録なし, FEM解析で 1 本のみ 0 kNの場合, 軸力測定結果に基づく場合, 単独での破断はしない	△ ↓ ×
			ボルトの施工状態を模擬しFEM解析を行い締付面が接触し曲げ応力の影響を加味した疲労評価	FEM解析を実施した結果, 接触(ズレ面最大 4 mm) による応力集中ではボルト破断しない	×
	締結施工不良	ボルト・ピッチベアリング結合時, ブレードとピッチベアリング孔位置がズレ, ボルトとピッチベアリング孔内壁が接触したことにより応力集中またはフレットイングが発生し破断	ブレード孔とピッチベアリング孔とのズレ観察	孔位置にズレがあり, ズレ面摩擦なし建設時のズレと推定(ブレード孔と旋回軸受孔位置がズレた状態で締結)	△ ↓ ○
			接触による破断面の位置を方向が一致するか確認	破断面と接触部の位置と方向は一致しており旋回軸受側に錆が少ない部分を確認(残置ボルトも一致)	△ ↓ ○
			図面から幾何学的に金属接触が発生するかの確認	図面から幾何学的に金属接触することを確認。FEM解析で軸力低下による接触部のクリアランス変化も確認	○
			類似事象の確認(3G-2軸-No. 37, 39を抜き取り調査)	No. 37, 39を抜き取り非破壊検査を実施したがき裂はなし。腐食あり	△ ↓ ×
ボルト軸力低下(リラクゼーション)	軸力低下により内力係数増加, または接触状況変化で破断	初期点検での増し締め記録確認, 軸力測定実績の確認	初期点検で増し締め未実施 ボルト軸力低下を確認	○	

図10 FTA