

浜岡原子力発電所5号機 非常用ディーゼル発電機（B）の故障による 運転上の制限からの逸脱に関する原因と対策

2018年6月5日に発生した浜岡原子力発電所5号機 非常用ディーゼル発電機(以下、「D/G」という。)(B)の故障による運転上の制限からの逸脱に関する事象の原因と対策は以下のとおりです。

1 原因

1-1 伸縮継手破損の要因分析調査

D/G(B)の排気管伸縮継手のベローズが破損した原因究明のため、要因分析調査をおこなった結果、施工および経年劣化の観点から破損要因と考えられる項目を以下のとおり抽出しました。

<破損要因と考えられる項目>

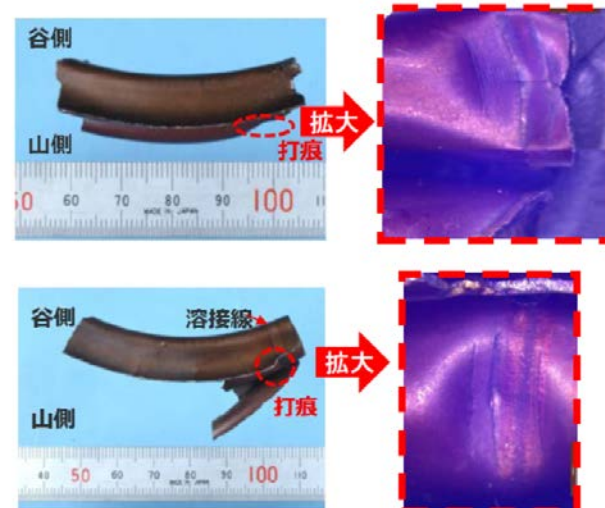
観点	項目	結果
施工	・排気管伸縮継手の取付け等が適切におこなわれていることを確認するため、当該排気管伸縮継手のベローズに損傷等がないかの調査および作業履歴の調査を実施する	破片を復元した当該排気管伸縮継手のベローズに破損前に生じたと推定される打痕を確認した。作業履歴を調査した結果、2008年の取替え以降に打痕を与える可能性のある作業がおこなわれていないことを確認したため、当該排気管伸縮継手を取替える際に打痕を生じさせた可能性がある。 →「過去の取替え作業時に生じた打痕」
経年劣化	・熱疲労による経年劣化がないことを確認するため、当該排気管伸縮継手の破面観察を実施する	破損した排気管伸縮継手の一部の破片に疲労破面が認められたため、熱疲労によって破損(熱疲労割れ)した可能性がある。→「熱疲労」

1-2 事象発生の推定メカニズム

要因分析調査の結果より抽出した「過去の取替え作業時に生じた打痕」および「熱疲労」がそれぞれ単一で要因となった可能性、または2つの要因が複合し、破損要因となった可能性があることから、それぞれの破損要因に対し、破損の起因となる初期き裂が発生するかを以下のとおり確認しました。

(1) 単一要因:過去の取替え作業時に生じた打痕

排気管伸縮継手のベローズはステンレス鋼製であり、ステンレス鋼は一般に室温においては外力による割れは発生し難いこと、また、試験用の排気管伸縮継手のベローズに打痕が生じる外力を付与した結果、割れが無いことを確認しました。このため、打痕が生じる外力を付与したことが初期き裂の単一要因にはならないと考えております。



過去の取替え作業時に生じた打痕

(2) 単一要因:熱疲労

熱疲労は排気管伸縮継手の設計段階で考慮しており、本事象発生時におけるD/G(B)の起動、停止回数は、設計で想定している繰り返し寿命回数には至っていないことを確認しました。また、D/G(B)運転中の当該排気管伸縮継手の収縮量は、設計で想定している収縮量に比べて小さいことを確認しました。このため、熱疲労が初期き裂の単一要因にはならないと考えております。

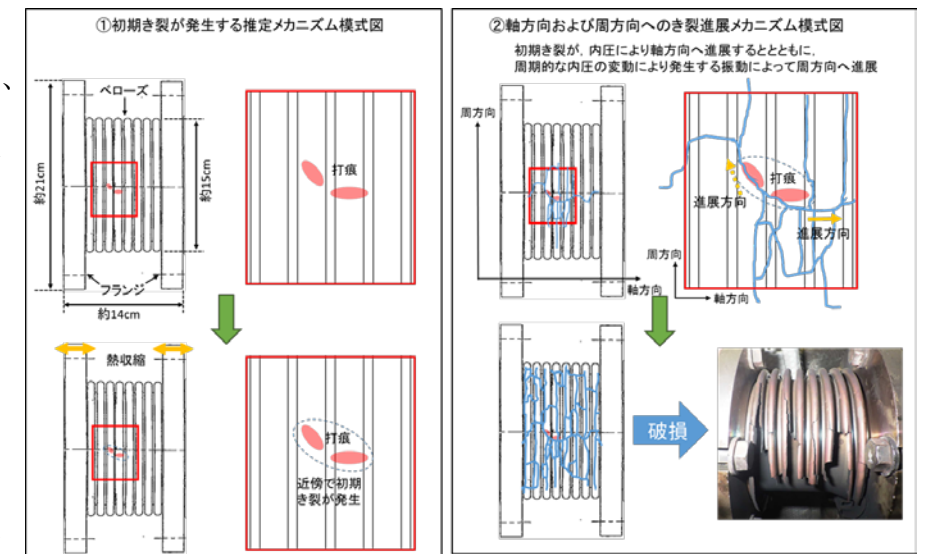
(3) 複合要因:過去の取替え作業時に生じた打痕および熱疲労

当該排気管伸縮継手のベローズに打痕が生じたことで、熱収縮によって発生するひずみが打痕部近傍に集中し、設計で想定したひずみを超えてしまった可能性があります。このため、打痕および熱疲労が複合し初期き裂を発生させたかと推定しました。

打痕および熱疲労の複合要因により初期き裂が発生することを検証するため、打痕部近傍に発生するひずみを解析により確認した結果および打痕を付与した試験用の排気管伸縮継手を用いて熱収縮によって発生するひずみを模擬した繰り返し試験を実施した結果、打痕部近傍に初期き裂が発生することを確認しました。

以上のことから、当該排気管伸縮継手の初期き裂は、「過去の取替え作業時に生じた打痕」とその後のD/G(B)の運転による熱疲労の複合要因により発生したものと考えており、初期き裂の発生からベローズの破損に至るまでのメカニズムを次のとおり推定しました。

- ① 当該排気管伸縮継手のベローズの熱収縮によって発生するひずみが、取替え時に生じた打痕部近傍に集中したことにより、初期き裂が発生した。
- ② 打痕近傍の初期き裂が当該排気管の内圧により軸方向へ進展するとともに、周期的な内圧の変動により発生する振動によって周方向へ進展し、破損した。



事象発生の推定メカニズム模式図(イメージ)

1-3 推定原因

当該排気管伸縮継手のベローズに生じた打痕は、大きさや生じた箇所、D/G(B)室における作業エリアの状況から、2008年の排気管伸縮継手の取替え作業において、当該排気管伸縮継手を他の機器に接触させたことにより生じた可能性が高いと推定しました。この原因は以下のとおりです。

(1) 現場作業要領の不備

現場作業要領に排気管伸縮継手のベローズを取扱う際の注意点の記載がなかった。

(2) 薄肉部材に対して打痕が与える影響に関する認識不足

排気管伸縮継手のベローズは薄肉部材であり、熱収縮によって発生するひずみが打痕部近傍に集中しやすいという認識が現場作業員に乏しかった。

2 再発防止対策

本事象の再発を防止するため、本事象の発生要因となった取付け時に排気管伸縮継手に打痕を生じさせない、打痕が生じた排気管伸縮継手を使用しない対策のみならず、打痕などの偶発事象を早期に確認するための対策、排気管伸縮継手に破損が発生した場合の対策を実施します。

また、3、4号機の非常用ディーゼル発電機についても同様の対策を順次実施してまいります。

(1) 打痕を生じさせない、打痕が生じた排気管伸縮継手を使用しない対策

a. 現場作業要領に打痕の発生を防止するための手順の追加

打痕発生防止用の養生の設置、排気管伸縮継手の落下防止対策、取付け後の外観点検時の判定基準、外観点検方法を排気管伸縮継手の取替手順に追加します。

b. 打痕がベローズに与える影響についての注意喚起および教育の実施

排気管伸縮継手のベローズの取扱いに関する注意点を現場作業要領へ記載、取付け作業前等の打合せ時における注意喚起および教育により、薄肉部材に対して打痕が与える影響に対する意識の向上を図ります。

c. 排気管伸縮継手取付け後の当社社員の立会による外観点検の追加

排気管伸縮継手取付け後の外観確認をこれまでの記録確認から当社社員の立会項目とします。

(2) 打痕などの偶発事象を早期に確認するための対策

打痕などの偶発事象を早期に確認するため、保温材を取り外した状態での排気管伸縮継手の外観点検を定期的におこないます。

(3) 打痕などの偶発事象に起因して排気管伸縮継手が破損した場合の対策

打痕などの偶発事象が発生し排気管伸縮継手が破損した場合においても、容易に排気管伸縮継手の状態を確認できるよう保温材の形状を変更します。さらに、伸縮継手の予備品を常時確保し、D/Gの早期復旧を図れるよう対応します。