

浜岡原子力発電所 5 号機 主復水器細管損傷事象に係る原因と対策について
(原子炉停止後の主復水器の導電率の上昇事象の続報)

2011 年 7 月 15 日

■今回お知らせする内容

原因	<p>当社は、主復水器細管損傷事象に係る原因について、エンドキャップ(平板)の破断に伴う給水再循環配管(以下、「ミニマムフロー配管」という。)からの噴流により細管が損傷に至ったと推定し、破断したエンドキャップについて、目視点検および破面観察等より原因究明をおこないました。</p> <p>その結果、以下の 3 つの要因が重なり、エンドキャップ部に疲労限界を超える応力が繰り返し発生し、溶接初期に存在していたき裂が進展したことにより破断したと推定しました。</p> <p>【エンドキャップ破断の 3 つの要因】</p> <p>①溶接要因 エンドキャップとミニマムフロー配管との溶接部は、溶接部先端に溝が発生しやすい溶接構造(平板差し込み構造)を採用していました。 溝部に応力が集中することで、溶接初期き裂が発生していたことを破断面の観察結果等により確認しました。</p> <p>②構造要因 エンドキャップ部に加わる応力を解析した結果、ミニマムフロー配管内に同じ圧力(約 0.3MPa)を加えた場合、エンドキャップの厚みを薄くするほど、当該部に発生する応力が増加する傾向であることを確認しました。なお、5 号機のエンドキャップは、3、4 号機に比べ薄いものを採用していました。</p> <p>③環境要因 実機を模擬した音響試験結果から、ポンプ出口の脈動^{※1} 周波数とミニマムフロー配管内を流れる水の共鳴^{※2} 周波数が一致することで、エンドキャップ部の圧力変動は約 3 倍に増幅することを確認しました。</p>
対策	<p>当社は、エンドキャップ部の構造を平板差し込み溶接構造から一体ヘッド構造を採用し、ミニマムフロー配管との溶接施工方法を突き合わせ溶接とすることにより、溶接部に応力が集中しないようにします。</p> <p>なお、主復水器に接続している他の箇所についても、破断により細管損傷に至る可能性があるため、当該エンドキャップと同様な溶接要因が発生しうる構造で、かつ、環境・構造要因が一致する箇所について、今後、対策をおこないます。</p>

※1 脈動は、ポンプ運転に伴い発生する圧力や流量の変動のことであり、ポンプの回転数や羽枚数により異なります。

※2 共鳴は、物体が固有振動数に近い振動を外部から与えられた場合、物体の振幅が増大することです。

■これまでにお知らせした内容

(2011 年 6 月 17 日公表)

当社は、2011 年 5 月 14 日に、浜岡原子力発電所 5 号機の原子炉停止後の冷温停止操作過程で発生した主復水器細管損傷事象について、現在、原因調査等を進めています。
これまでの調査等の状況について、お知らせします。

<主復水器(A)細管損傷に関する原因調査状況>

主復水器(A)の細管は、幅約 14cm、深さ約 70cm の範囲で 43 本が損傷し、2 本が変形していました。
また、脱落したエンドキャップのあった位置や細管の損傷範囲から、エンドキャップの脱落に伴うミニマムフロー配管の噴流により細管が損傷に至ったと推定しました。

これまでの調査の結果、脱落した電動駆動給水ポンプ(A)ミニマムフロー配管のエンドキャップが、ミニマムフロー配管との溶接部近傍で破断しており、破断面に溶接時の初期欠陥があることおよび疲労破壊の特徴的な指示模様があることを確認しました。

引き続き、エンドキャップが破断したメカニズムの究明をおこないます。

浜岡原子力発電所 5 号機 原子炉停止後の主復水器の導電率の上昇について (2011 年 5 月 14 日公表)

浜岡原子力発電所 5 号機 主復水器の導電率上昇に関する点検について (2011 年 5 月 18 日公表)

浜岡原子力発電所 5 号機 主復水器の導電率上昇に関する点検について(続報) (2011 年 5 月 20 日公表)

以上

浜岡原子力発電所 5号機 主復水器細管損傷事象に係る原因と対策の概要

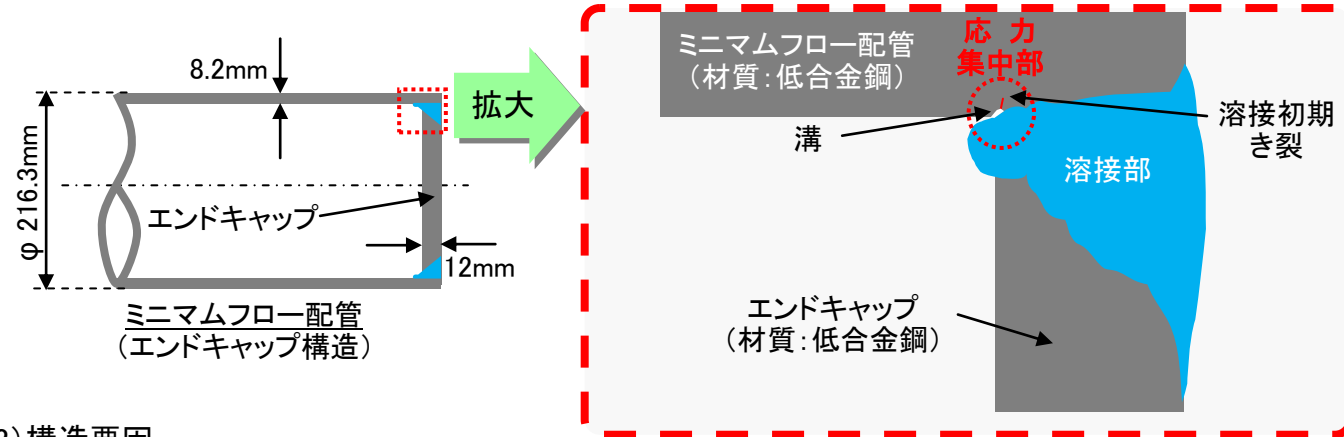
1 エンドキャップ破断の要因

ミニマムフロー配管のエンドキャップ(平板)が破断した原因は、以下の3つの要因が重なり、エンドキャップとミニマムフロー配管との溶接部に疲労限界を超える応力が繰り返し発生するとともに、溶接初期に存在していたき裂が進展したことにより破断したと推定しました。

<エンドキャップ破断のメカニズム>

(1) 溶接要因

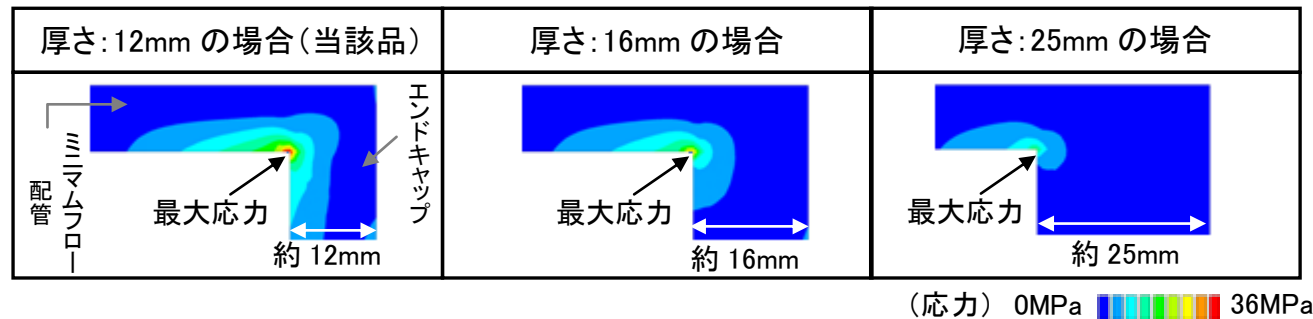
- ▶ エンドキャップとミニマムフロー配管との溶接部は、溶接部先端に溝が発生しやすい溶接構造(平板差し込み構造)を採用していました。
- ▶ 溝部に応力が集中することで、溶接初期き裂が発生していたことを破断面の観察結果等により確認しました。



(2) 構造要因

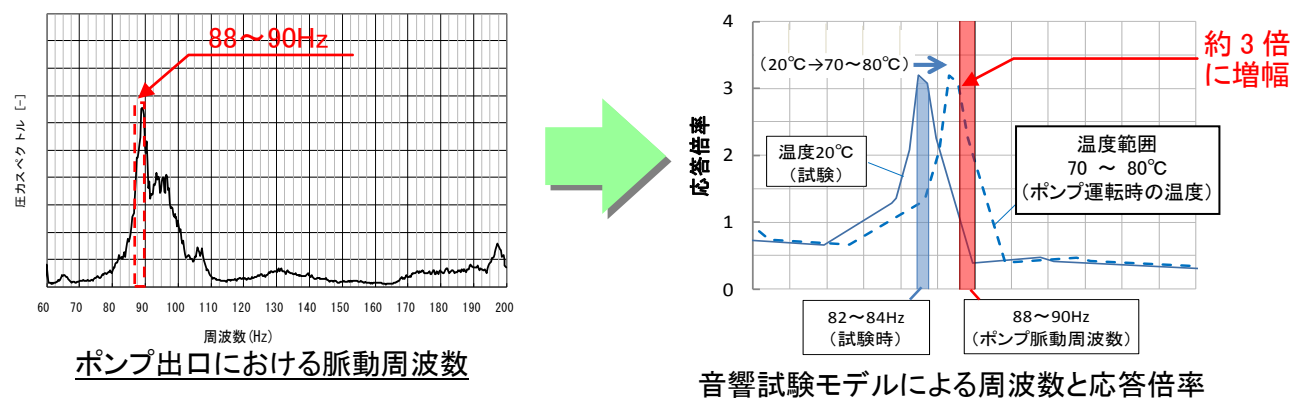
エンドキャップ部に加わる応力を解析した結果、ミニマムフロー配管内に同じ圧力(約 0.3MPa)を加えた場合、エンドキャップの厚みを薄くするほど、当該部に発生する応力が増加する傾向であることを確認しました。なお、5号機のエンドキャップは、3、4号機に比べ薄いものを採用していました。

<5号機のエンドキャップの応力解析結果>



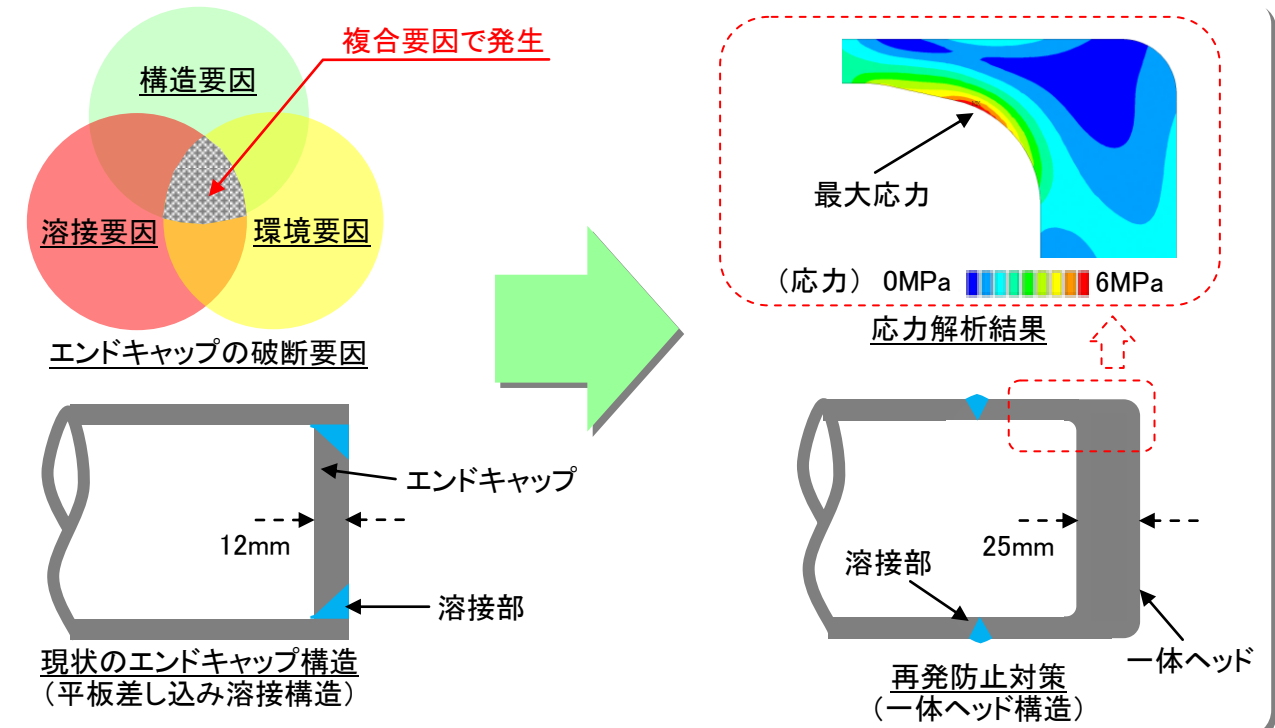
(3) 環境要因

実機を模擬した音響試験結果から、ポンプ出口の脈動周波数とミニマムフロー配管内を流れる水の共鳴周波数が一致することで、エンドキャップ部の圧力変動は約3倍に増幅することを確認しました。



2 再発防止対策

当社は、エンドキャップの構造を平板差し込み溶接構造から一体ヘッド構造を採用し、ミニマムフロー配管との溶接施工方法を突き合わせ溶接とすることにより、溶接部に応力が集中しないようにします。



なお、主復水器に接続している他の箇所についても、破断により細管損傷に至る可能性があるため、当該エンドキャップと同様な溶接要因が発生しうる構造で、かつ、環境・構造要因が一致する箇所について、今後、対策をおこないます。

当該エンドキャップと同構造の対策箇所数

3号機	4号機	5号機
1/148 箇所	15/148 箇所	17/136 箇所

(3つの要因が重なる対策箇所数 / 同じ溶接構造の箇所数)

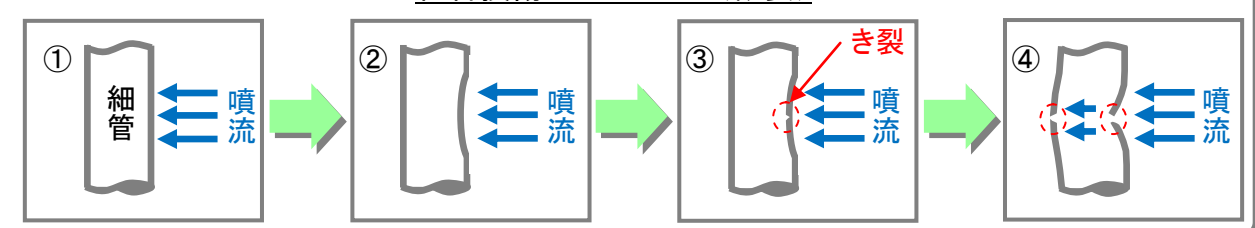
3 細管損傷のメカニズム

損傷した細管を詳細に調査した結果、以下のメカニズムが連続して発生したと推定しました。

- ① エンドキャップの破断に伴うミニマムフロー配管からの噴流が細管に衝突
- ② 細管外面へ局所的に高い応力が加わり変形
- ③ 細管内面に、き裂が発生し・進展
- ④ き裂の貫通により、細管内面へも応力が加わり細管が破断

なお、今回の事象におけるミニマムフロー配管から噴出した水の流速 36m/s に対し、実機を模擬した細管損傷試験の結果、細管は 31m/s で破断することを確認しました。

細管損傷のメカニズム(概要)



当社は、本事象の対策に加え、海水流入による影響範囲の塩分除去作業および設備の点検、健全性評価を引き続き進めていきます。

以上