

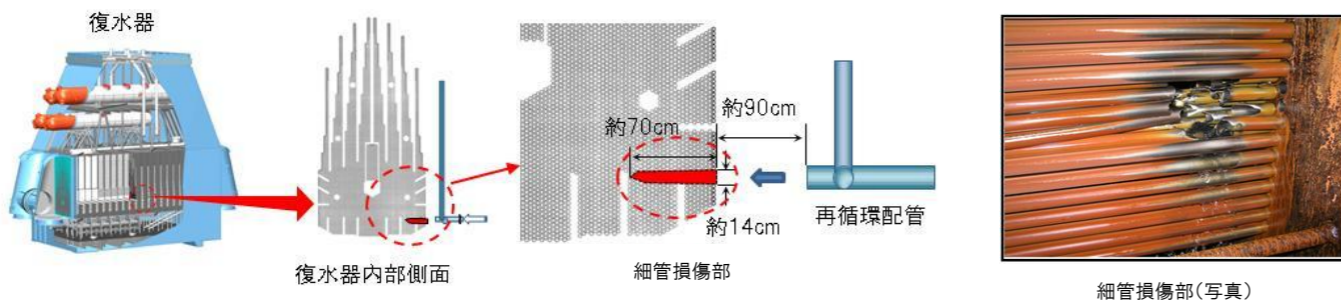
浜岡原子力発電所 5号機 復水器細管損傷事象の概要について

1. 事象の概要

浜岡原子力発電所5号機は、原子炉減圧操作中（炉水温度：246℃）のところ、平成23年5月14日16時30分に、「復水器ホットウェル（A）出口導電率高」の警報が点灯した。

後日の調査結果から警報点灯の原因は、復水器蒸気室（A-1）の細管損傷により、復水器ホットウェル（A）内に海水が流入したためであり、この影響でプラント系統内全体に渡り海水が流入した。

なお、復水器蒸気室（A-1）の細管が損傷した原因は、復水器内部に設置している電動駆動給水ポンプの再循環配管エンドキャップの脱落に伴う、再循環配管（以下、ミニмумフロー配管という。）からの噴流により細管損傷に至ったと推定した。



2. 復水器細管損傷の原因

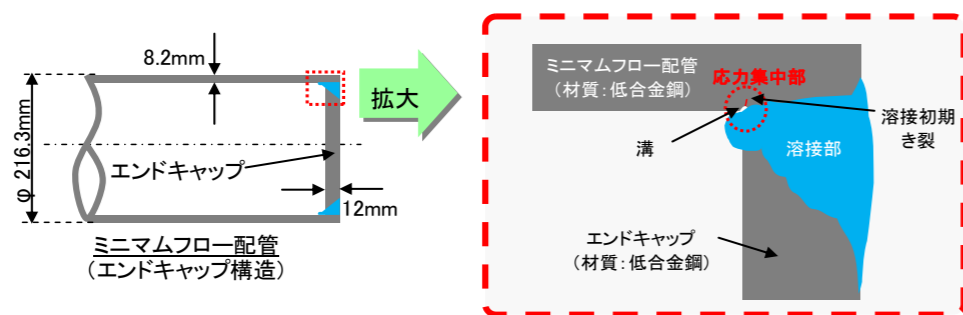
復水器細管損傷の原因として、脱落したエンドキャップの目視点検および破面観察等により原因究明を行った。

この結果、以下の3つの要因が複合し、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初期欠陥が起点となり、き裂が進展し、エンドキャップが脱落したと推定した。

【 エンドキャップ破断の3つの要因 】

① 溶接要因

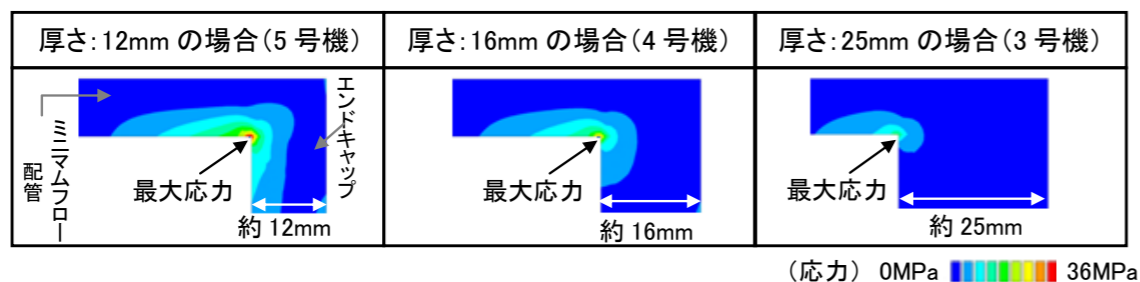
エンドキャップとミニмумフロー配管との溶接部は、溶接部先端に溝が発生しやすい溶接構造（平板差し込み構造）を採用していた。溝部に応力が集中することで、溶接初期欠陥（割れ）（深さ：約1.7～2.2mm）が発生していたことを破断面の観察結果等により確認した。



② 構造要因

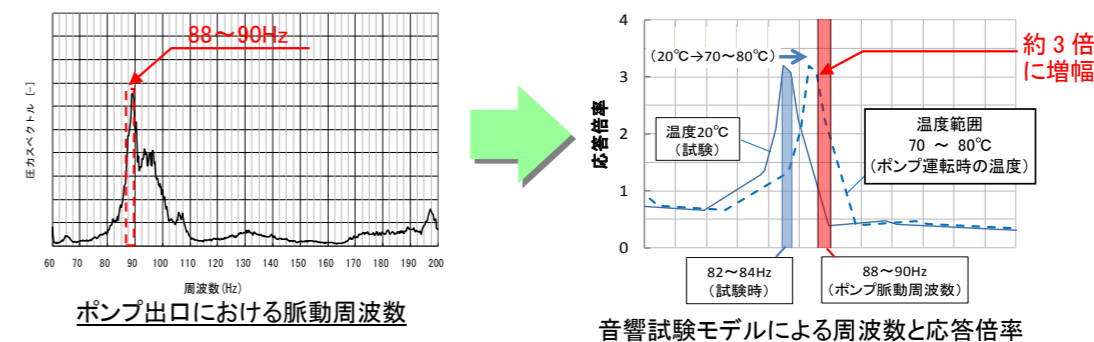
エンドキャップ部に加わる応力を解析した結果、ミニмумフロー配管内に同じ圧力（約0.3MPa）を加えた場合、エンドキャップの厚みを薄くするほど、当該部に発生する応力が増加する傾向であることを確認した。

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た。



③ 環境要因

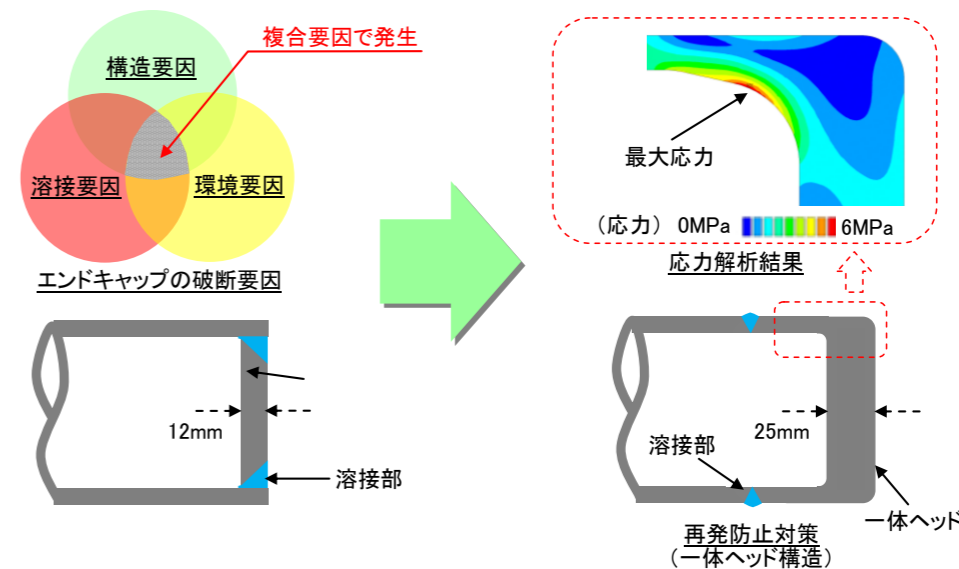
実機を模擬した音響試験結果から、電動駆動給水ポンプ出口の脈動周波数とミニмумフロー配管内を流れる水の共鳴周波数が一致することで、エンドキャップ部の圧力変動は、約3倍（約80MPa）に増幅することを確認した。



3. 対策と水平展開

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に変更し、ミニмумフロー配管と溶接施工方法を突き合わせ溶接することにより、溶接部に応力が集中しないような構造とする。

なお、復水器に接続している類似の箇所（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、環境要因・構造要因が一致する箇所）についても同様に対策を行う。

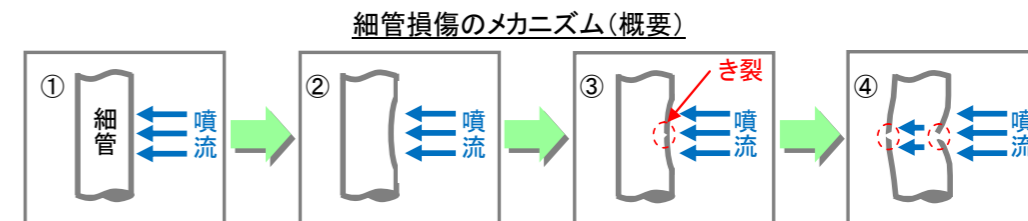


4. 復水器細管損傷のメカニズム

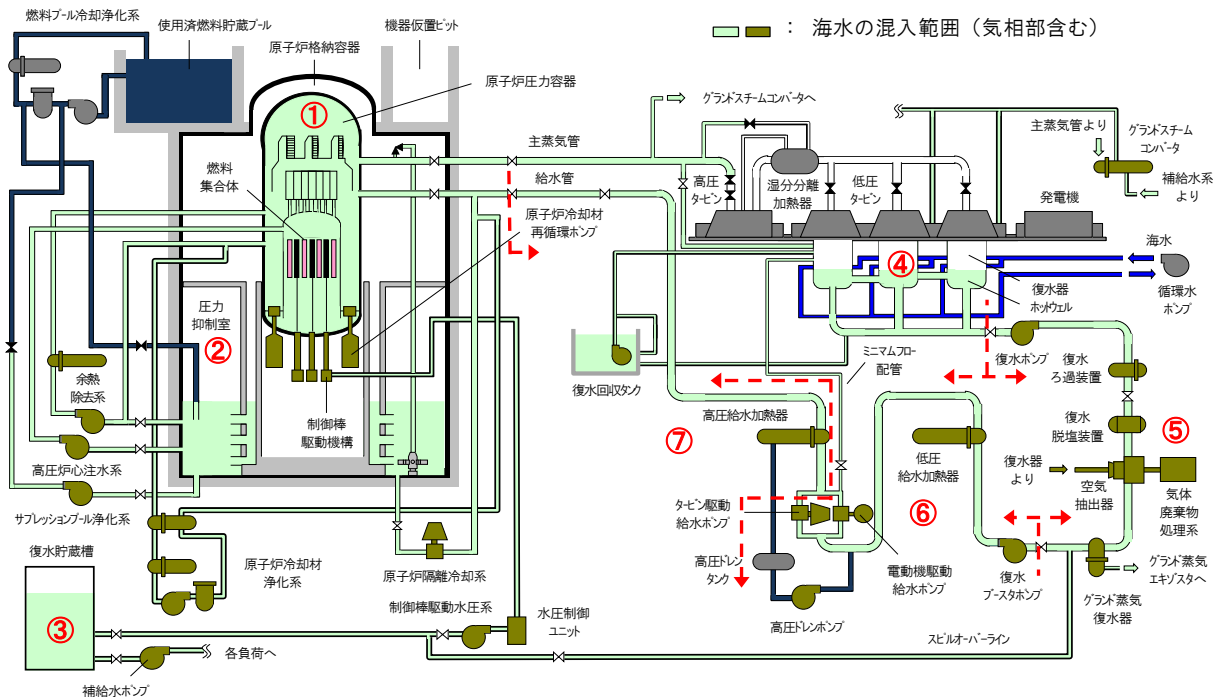
損傷した細管を詳細に調査した結果、以下のメカニズムが連続して発生したと推定した。

- ① エンドキャップの破断に伴うミニмум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、細管内面にも応力が加わり細管が破断

なお、ミニмумフロー配管から噴出（速度：36m/s（計算値））に対し、噴流を模擬した試験の結果、流速：31m/sで細管が破断することを確認した。



原子炉施設への海水混入範囲（平成23年5月事象発生時）



主な設備	確認年月	主な海水由来成分 ^{※1}	
		塩化物イオン濃度 最大値 (ppm)	ナトリウムイオン濃度 最大値 (ppm)
① 原子炉圧力容器	平成 23 年 5 月	444 → 53 ^{※2}	270 → 33 ^{※2}
② 圧力抑制室	平成 23 年 5 月～7 月	1.3 → 48 ^{※2}	0.90 → 34 ^{※2}
③ 復水貯蔵槽	平成 23 年 5～6 月	503	350
④ 復水器ホットウェル	平成 23 年 6～8 月	8820	5400
⑤ 復水系	平成 23 年 5 月	5396	3400
⑥ 給水系	平成 23 年 8 月	5400	3400
⑦ 給水系	平成 23 年 8 月	200	69
(参考) 海水 ^{※3}		18980.0	10556.1

※1：海水由来成分のうち、代表的な成分（陰イオン及び陽イオン）を示す。

※2：事象発生後、原子炉圧力容器（原子炉水）を圧力抑制室（サブプレッションプール水）、及び脱塩水にて希釈したため、原子炉水の海水由来成分は低下、サブプレッションプール水は上昇した。

※3：出典「腐食・防食ハンドブック 腐食防食協会編 第2章 海水（丸善株式会社）」