

美浜発電所3号機の原子炉手動停止について
(C-1次冷却材ポンプ封水注入ラインベント弁
溶接部付近からの漏えいに係る原因と対策)

このことについて、関西電力株式会社から下記のとおり連絡を受けた。

記

美浜発電所3号機(加圧水型軽水炉;定格出力82.6万kW)は、定格出力運転中のところ、11月12日1時40分頃、運転員の巡回点検でC-1次冷却材ポンプ封水¹注入ラインベント弁からの漏えいを発見した。

直ちに床面の漏えい水は回収するとともに、漏えい部(ベント弁)をポリシートで覆い、漏えい水(約60ℓ/h)は直接回収できるよう措置した。

漏えいの状態は安定しており、1次冷却材ポンプの運転や主要パラメータに影響がないことから、運転を継続しながら、漏えい部全体を鉄箱で囲み、その中に充てん材を注入する方法で補修する計画とした。

14日から補修作業の準備に着手したが、14日23時55分頃、漏れ量が急増したため、翌15日0時55分、原子炉を停止することを決定、1時10分から負荷降下を開始し、8時10分に発電を停止した。

この事象による周辺環境への放射能の影響はない。

*1)封水:1次冷却材ポンプのシール部の潤滑と清浄度確保のため、化学体積制御系から供給される水。

(平成14年11月15日2時45分資料配付済)

1.調査結果

(1)外観検査

漏えい箇所は、当該ベント弁の下部ソケット溶接部であり、外表面の浸透探傷検査で、溶接部の周方向に全長約25mmのき裂が認められた。

(2)破面観察

き裂の破面観察を行ったところ、弁と配管のソケット溶接部内側の付け根部に比較的大きな溶込み不良(溶接不良)が認められた。また、貫通したき裂の対角位置の溶接部にもき裂が確認された。

き裂は外面より内面の方が長く、破面に見られるステップ状の模様も内面から外面に向かって放射状に広がっていることから、き裂は溶接部内面を起点として発生し、外面に進展したものと推定された。

また、き裂の先端は滑らかな円弧状の広がりを有しており、走査型電子顕微鏡による観察で、破面に組織状模様が認められたことから、今回の損傷は疲労割れ²と推定された。

*2)疲労割れ:振動等により応力が繰り返し加えられることにより発生する割れ。

(3) 運転時の状況についての検討

破面観察の結果から、今回の損傷原因が疲労によるものと推定されたことから、当該封水注入ラインを模擬したモックアップ試験装置を用いて実験および解析を行った。

封水注入ラインは、ポンプを流れる1次冷却材の圧力変化（大気圧から157気圧）に関係なく、1次冷却材ポンプに送り込む封水が一定流量となるようベント弁上流側にある封水注入流量制御弁と同弁下流側にある封水注入流量調整弁の開度で流量調整³している。

今回実施した実験の結果、1次冷却材の圧力が低い状態では流量調整弁の開度が小さく、ベント弁下流側の流量調整弁内部でキャビテーション⁴が生じ、それに伴い配管内を流れる水に圧力脈動⁵が発生していた。また、キャビテーションにより流量調整弁自体も振動していた。

これら圧力脈動と弁の振動により、ベント弁を取り付けている配管部でも振動が発生していることが確認された。

一方、通常運転中は1次冷却材の圧力も高く流量調整弁の開度も大きいため、振動の発生はほとんどなかった。

漏えいしたソケット溶接部内側には比較的大きな溶込み不良部があり、これにより当該溶接部の疲労強度は、健全な溶接部に比べ大きく低下していたと推定された。

*3) 流量調整：通常運転時（157気圧）より原子炉圧力が低い原子炉起動や停止時（大気圧から27気圧）においては、封水を送り込む充てん/高圧注入ポンプ側と1次冷却材との圧力差が大きいことから、封水注入流量制御弁や調整弁の開度を小さくして（絞って）調整している。

*4) キャビテーション：液体が狭い場所から広い場所に流れると、圧力が部分的に飽和蒸気圧を下回り気泡が発生するが、圧力が高いところに気泡が移ると、気泡は消滅する。

*5) 圧力脈動：キャビテーションにより気泡の発生・消滅が繰り返し起こることにより液体中の圧力に変動が生じる現象。

2. 推定原因

今回漏えいしたC - 1次冷却材ポンプ封水注入ラインでは、原子炉起動や停止時の一時期において、流量調整弁の開度が小さく、同弁内でキャビテーションによる圧力脈動や弁の振動が発生していたと推測される。これによりベント弁取り付け配管部でも振動が生じ、ベント弁ソケット溶接部内側の疲労強度が低下した溶込み不良部を起点として疲労き裂が発生し、進展、貫通したことにより漏えいが発生したものと推定された。

3. 対策

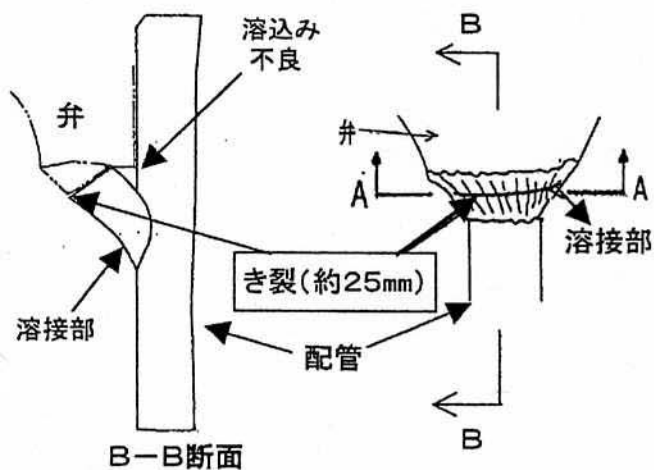
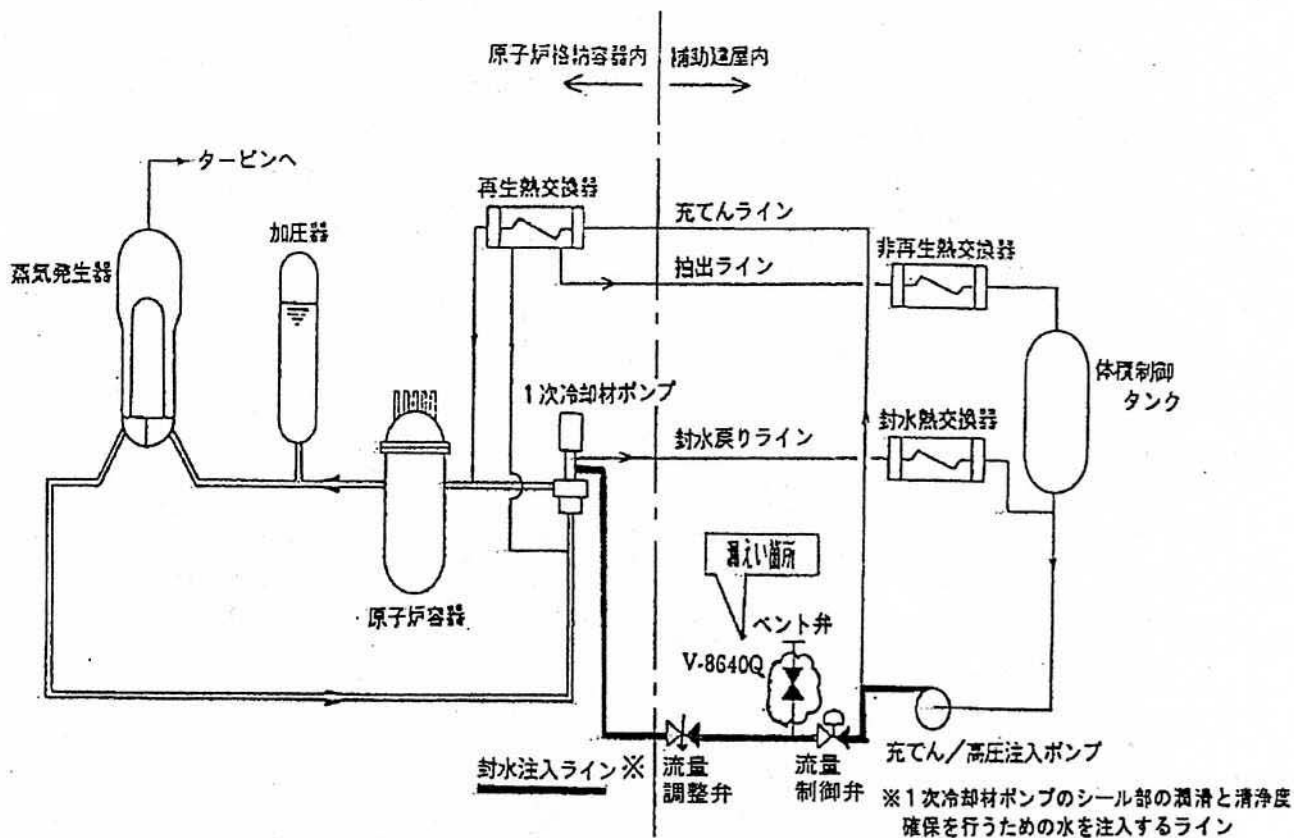
- (1) 漏えいしたC - 封水注入ラインベント弁とともに、AおよびBのベント弁についても、ベント弁取り付け溶接部を疲労に強い改良型管台方式に取り替える。
- (2) 原子炉起動や停止時において、流量調整弁でのキャビテーション発生を防止するため、弁の開度運用を見直す。

対策実施後、11月29日に原子炉を起動し、12月1日頃に100%出力に復帰する予定である。

(経済産業省によるINESの暫定評価尺度)

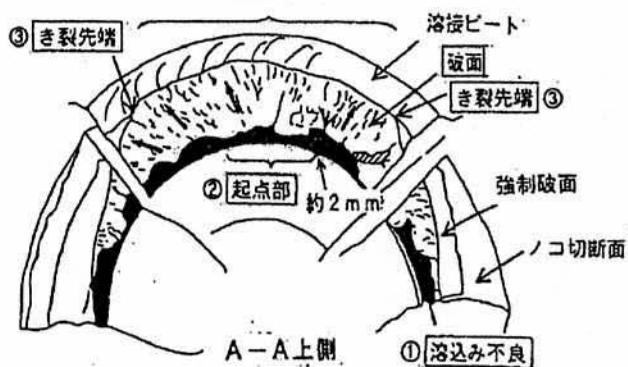
基準1	基準2	基準3	評価レベル
-	-	0 -	0 -

系統概要図

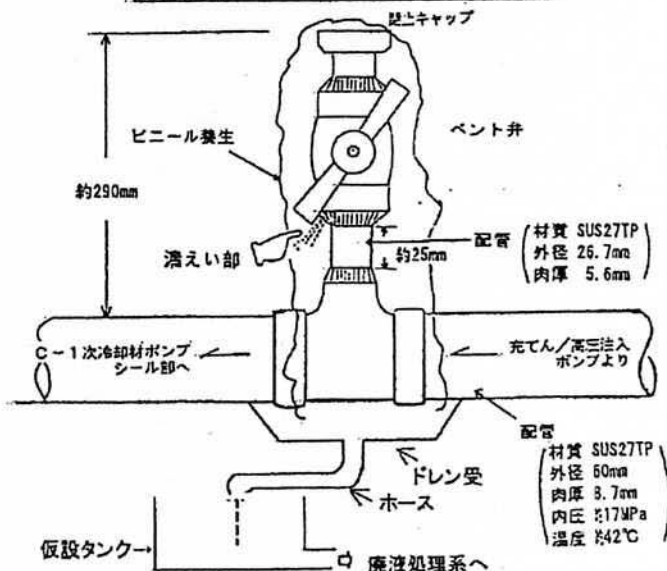


破面外観観察結果

貫通したき裂部: 約25mm



封水注入ラインベント弁付近状況図

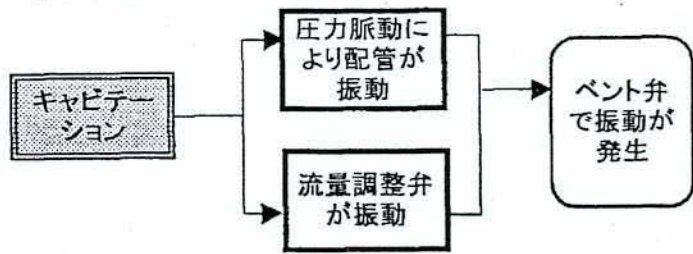


- ① 溶接部に溶込み不良約2mmが認められた。
- ② き裂は内面から外面に向かっていった。
- ③ き裂の先端は円弧状の滑らかな曲線であり、疲労の様相を呈していた。

疲労によるき裂

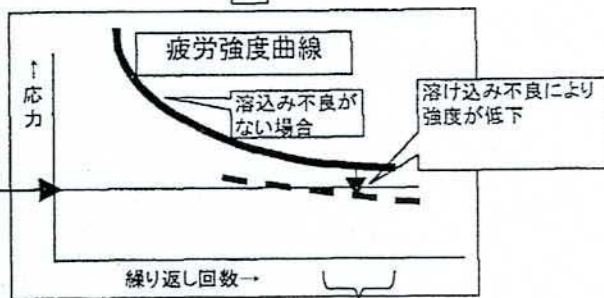
封水注入ラインベント弁ソケット溶接部からの漏えいメカニズム

事象発生メカニズム

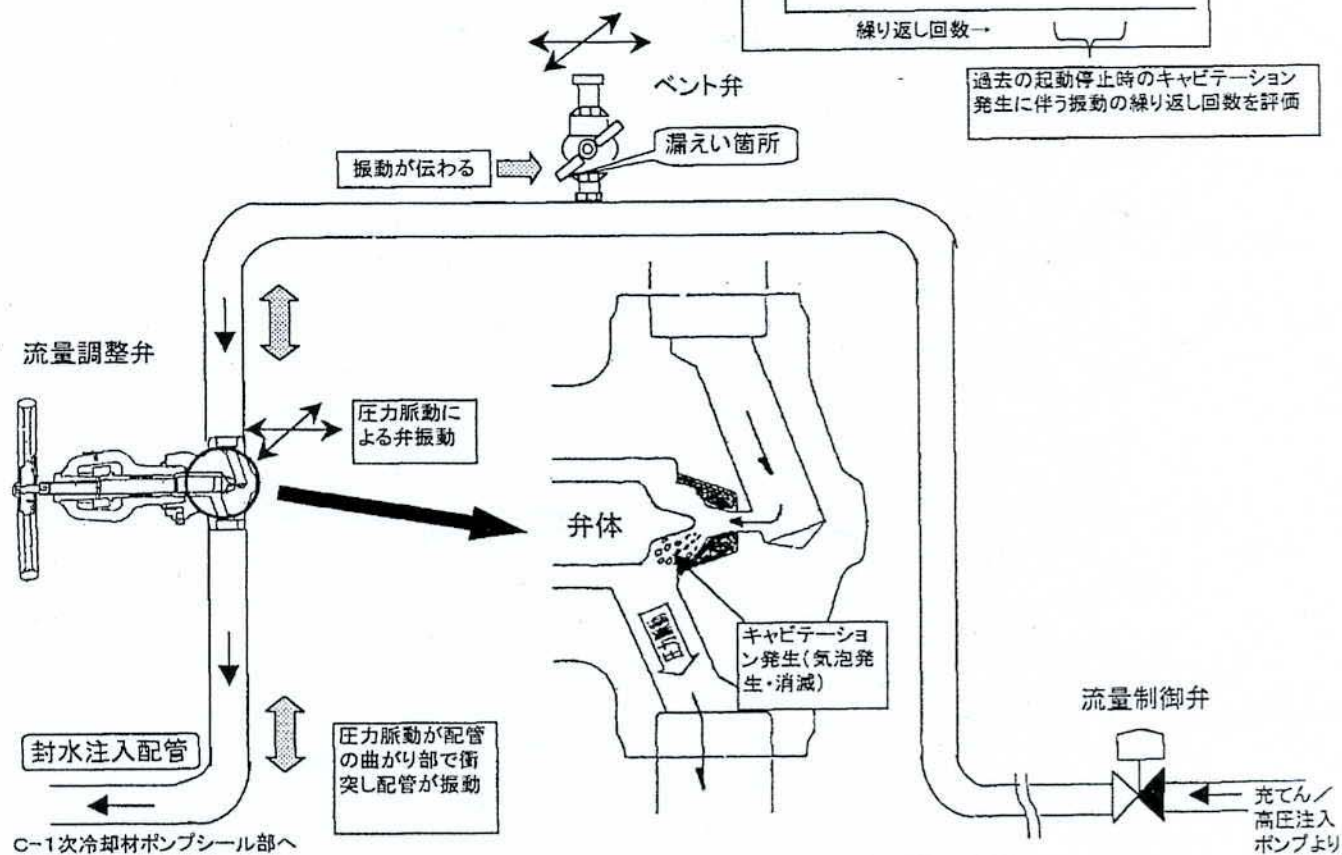


結論

ベント弁溶接部内側の溶込み不良部を起点として、疲労き裂が発生・進展し、貫通した。

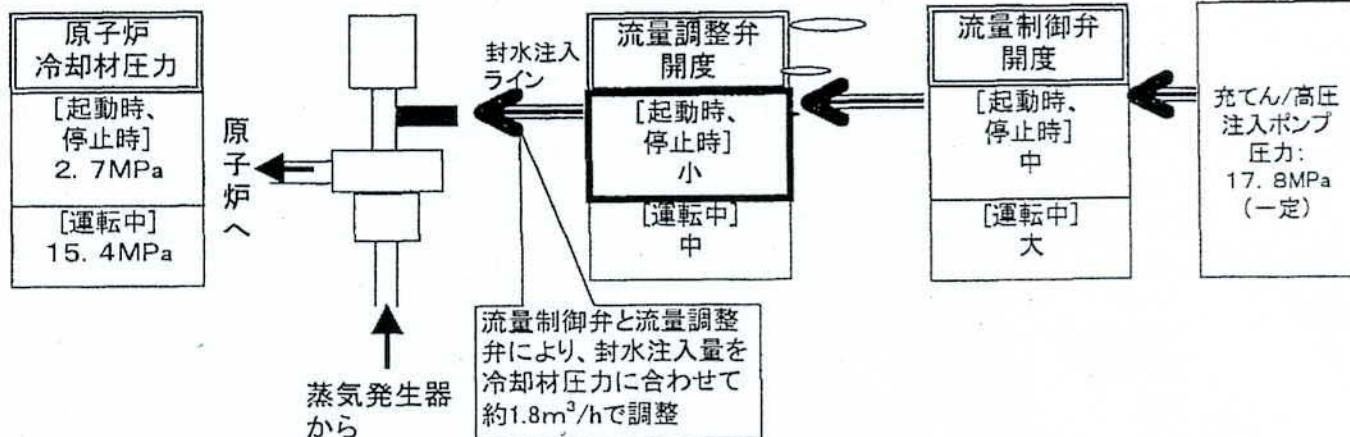


過去の起動停止時のキャビテーション発生に伴う振動の繰り返し回数を評価



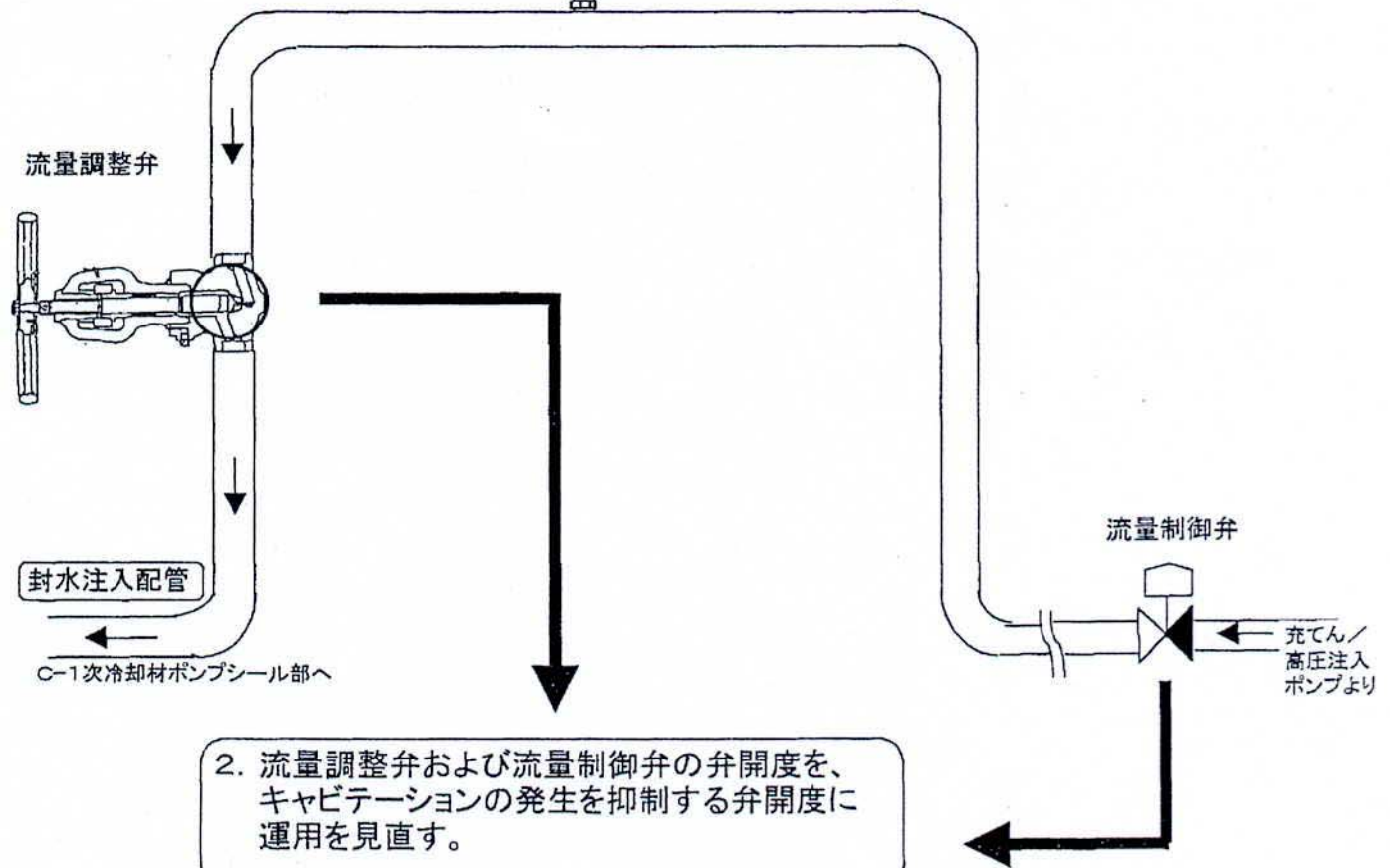
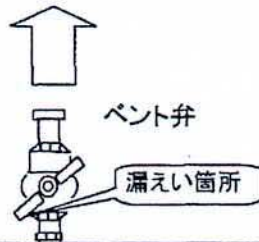
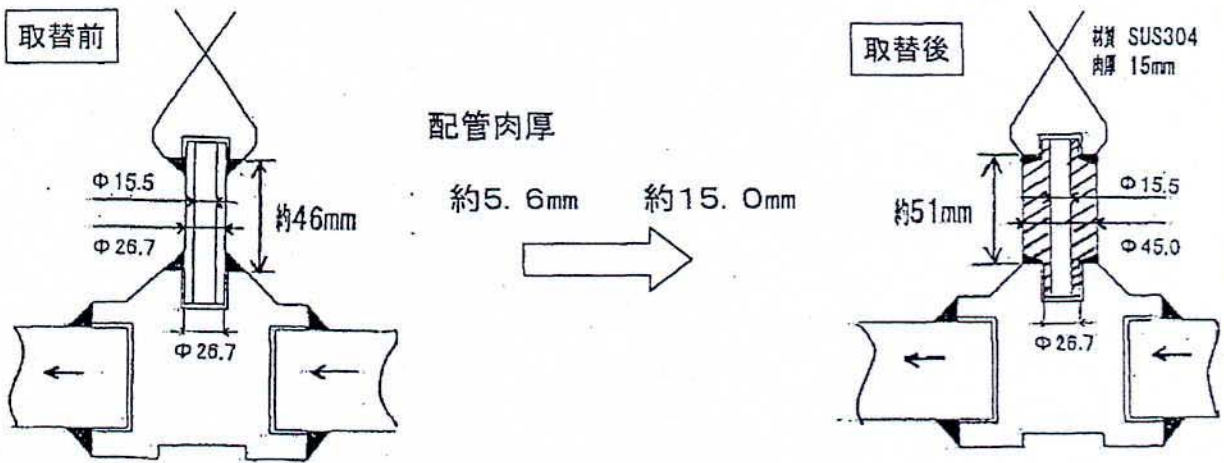
キャビテーション発生

1次冷却材ポンプ



対策

1. ベント弁を疲労強度の高い改良型管台に取り替える。



2. 流量調整弁および流量制御弁の弁開度を、キャビテーションの発生を抑制する弁開度に運用を見直す。