

美浜3号機事故を考える (その3)

配管を叩いた音で減肉を知るプロ



原子力安全基盤機構(JNES)安全情報部長 水町 渉

「配管内を流れる水の気持ちになって設計しろ」は、先月号で紹介した『プロの名言』だが、今回、もう1つ紹介したい。「配管を叩いた音で減肉を知れ」である。

配管が曲がっている部分をエルボと呼び、流量を測るために流れを絞ってその前後の圧力から測定するものがオリフィスである。これらの部分は、減肉が起こりやすいため管理が必須である。オリフィスも磨耗するので定期的に取り換えを行っており、今回、事故が発生した美浜3号機でも1993年に交換している。オリフィスやエルボを点検する時に配管保守のプロと呼ばれる人は必ず配管を叩くといわれる。いまは超音波という精密な測定手段があるものの、プロは減肉が進むにしたがって鈍くなる音で見分けるといっているのである。

図1 美浜3号機配管破断部(右側が上流, 左側が下流)



音の違いに驚く

ところで、今回の破損は、復水配管のA系統で発生した。私は同じ条件のB系統についても切り出して調べるべきだとお願ひし、測定してもらった。予想通りB系統でも減肉が進んでおり、当初10mmあった配管の肉厚は最も薄い部分で1.8mmだった。A系統は0.6mmまで減肉が進み、10気圧の内圧に耐えられずに破断したのである。

今回、美浜3号機事故の現場調査に臨んで、さきのプロの名言を思い出し試しに配管を叩いてみた。そして驚いた。減肉が認められないオリフィスの上流は、カーンという金属音が返ってきたが、その下流の破断部の付近では、まさに「グッシャ」に近い鈍い音がしたのである。

図1に叩いた配管の写真を示す。右が上流側、左の破断部が下流側である。図2は減肉してめくれあがった部分である。

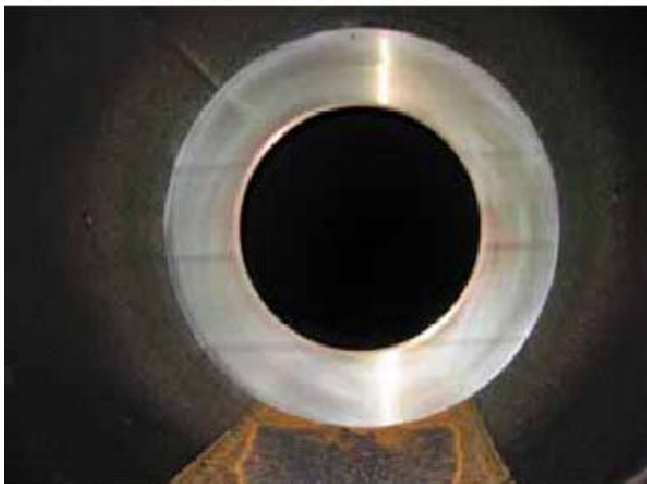
今回の事故の直接原因は、13年前にすでに必要肉厚(4.7mm)を下回っていて、測定さえしておればメンテナンスをしていたであろうに、チェックリストから漏れていたために28年間も放置されていたことにある。

事故調査委員会の中間報告ではこう断定しているが、本当に事故回避のチャンスはなかったのか。チャンスはあったはずである。なぜならオリフィスを取り換えた時に、プロであればその下流側も必ず叩いていたと思うからである。

図2 0.6mmまで減肉し破断した配管



図3 破断部上流のオリフィス、手前は破断部配管の内面



また、美浜3号機事故について、私の先生である植田辰洋東大名誉教授は「オリフィスというのは立派な機器。当然、減肉するので、その下流側まで一体の機器として製造され、それごと交換するのが常識なのに最近なぜオリフィスが1枚の板状なのか理解できない」と。

これも「歴史を学ばないと歴史が教えに来る」の一例である。

図3に破断配管の下流側から見た今回のオリフィスの写真を示す。プロの名言は、本当に身にしみる。

お花とお線香の事故現場

現場調査を行なったときの美浜発電所は、1、2号機も停止しており、ひっそりとしていた。3号機のタービン建屋に入り、2階に行くとなんとお線香の香りがただよい、お花の祭壇があった。思わずヘルメットと手袋を外し、合掌してご冥福を心からお祈りした。私は世界の原子力発電所約200プラントを訪問し、TMI事故の後も調査したが、このような悲しい現場は初めてであった。

事故現場は、予想より破損の影響が少なかった。2001年11月7日に水素爆発を起こした浜岡1号機事故の時、私は通産大臣の原子力発電技術顧問として、事故が起きたRHRの部屋を調査した。事故の配管はもちろん、その部屋のドアも爆発により飛んでおり、また電気ケーブルやダクトも破損、グレーティングも飛び散っていた。

浜岡に比べると、美浜は事故配管周辺部の被害は少なかった。直接蒸気が当たった天井も、5cmぐらいの長さで傷ができていて程度で、破断部位から2～3m離れた配管の保温材はそのままであった。ただ、800トンの熱水は2階の床にあふれ、グレーティングから一階に流れ落ちている様子が見てとれた。通路の端やグレーティングには当該配管部の保温材が引っかかっており、熱水は広い範囲に及んでいた。

流況解析

現在、原子力安全基盤機構と日本原子力研究所で美浜事故の原因究明の一環として、覆水配管内部の流体の流れを知るために流況解析を行っている。まだ最終的な結論は出ていないが、流況としては大まかな解析はできている。

配管の流速は秒速2.2mであるが、オリフィスの下流では中心の流速は最大約9mまで加速され、再付着点は直径Dの約2倍(2D)程度と予測した。その

図4 配管内部の解析用モデル (92万格子)

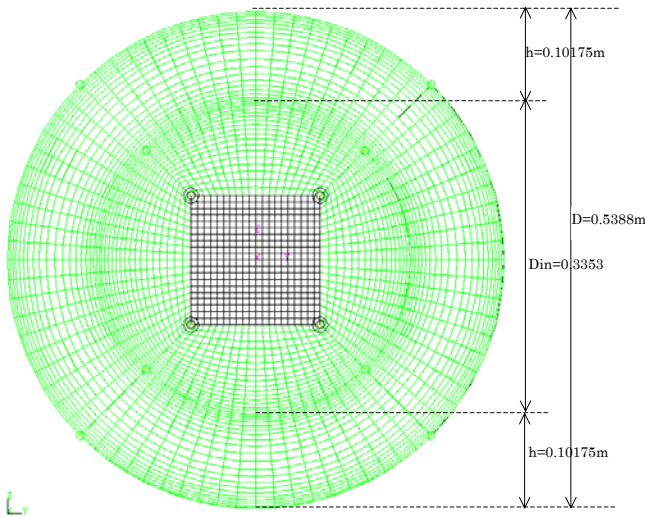


図5 配管内部の流速解析

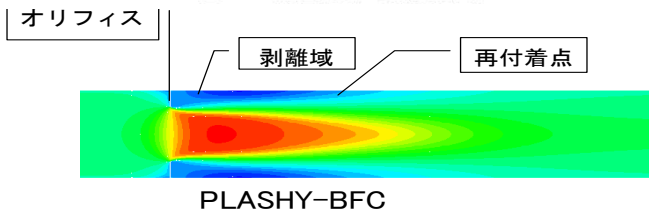


図6 配管の中央断面の乱れエネルギー分布の解析結果

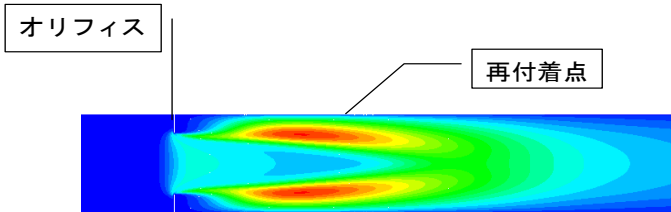
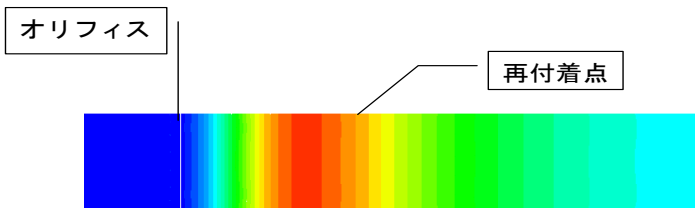


図7 配管の内壁の乱れエネルギー分布の解析結果



間、すなわちオリフィスの下流2Dまでの間で剥離域が生じ、特にオリフィスの下流60~70cmで激しく減肉が起これと予想した。今回、2次元および3次元の詳細な解析の結果、それが確認できた。

図4に解析モデルを示す。配管内部を92万の格子に分割して解析している。図5に配管内部の流速分布の計算結果を示す。オリフィスの下流では中心の流速は最大9mまで加速され、再付着点は直径の1.7

~1.9倍という結果を得ている。

乱れエネルギー分布解析

次に配管内部の乱れエネルギー分布の解析結果を示しておく。まず図6は配管の中央断面の乱れエネルギー分布の解析結果である。オリフィス下流の絞り流れの外側のせん断領域、すなわち速度勾配が大きな領域で大きくなっていることがわかる。

図7は配管の内壁部分の乱れエネルギー分布の解析結果である。オリフィスの下流全域で上流直管部よりも大きくなっていることがわかる。

今後、乱流による減肉の解析を行っていく予定である。

A系とB系の流れの違い

一方、A系とB系の比較も行っているが、解析上はA系とB系では流れの様子が相当異なっていることがわかってきた。復水は低圧加熱機からヘッダーでA系とB系に分離され、脱気器に導かれる。このヘッダーからA系は80cm程度の立ち上がり配管で左方向に曲がってオリフィスの方へ行き、B系は180cm程度の立ち上がり配管で右方向に曲がってオリフィスのほうへ行く。流れが最も変化するヘッダーの立ち上がり配管の80cmと180cmの差がその下流に大きな影響を与えていると予想される。

ヘッダーからの立ち上がり部で反時計周りの2次流れが解析され、それが左に行くA系ではそのまま旋回流としてオリフィス下流まで大きく影響している。またB系では同じ反時計周りの2次流れが反対側の右に行くため時計周りの旋回流となるが、立ち上がり配管が長いため、その影響は小さくオリフィス部分では、ほぼ整流となっている。

水の流れは本当に正直である。

難関突破は「金が崎宮」

ところで、美浜発電所の調査には敦賀から車で向

かったが、車窓から敦賀湾に「金が崎宮」が見えた。山頂に金が崎城があった場所である。ここは織田信長が家康、秀吉、利家と合流して自信漫々に朝倉義景を攻めた、元亀争乱の場所である。その時、妹お市の方の主人、浅井長政が反旗を翻し、信長軍は挟み撃ちに合い、秀吉をしんがりにして命からがら逃げ出し、京都に着いた時の信長の供回りはわずか十数人という信長最大の危機であった。これが世にいう「金が崎の退き口」である。

また、好きな歴史を書いたが、この金が崎宮は、以上の事実から現在は「難関突破」のご利益のあるお宮となっているそうある。

現在の原子力の状況を見ると、この半島だけでも「もんじゅ」、今回の美浜問題があり、さらには六ヶ所村の再処理問題など問題山積である。ぜひ、この金が崎宮にあやかって原子力の難関突破を図りたいと思った次第である。

事故調査委員会の中間報告

なお、前回の中間報告では、当面の対応と今回の事故の原因を明確にしたので、ここにその結論のみを抜粋しておく。

(1) 当面の対応

- ①点検リストの作成及び統一的管理
- ②的確な外注管理の実施
- ③問題を未然に防ぐため事業者間の情報共有の着実な実施

(2) 事故の原因

- ①関西電力、三菱重工業、日本アームの3社が関与する二次系配管の減肉管理ミスによって、要管理個所が当初の管理リストから欠落し、かつ、事故に至るまで修正できなかったこと。
- ②品質保証、保守管理に重大な欠陥があり、人的、管理的な過誤の低減、克服する体制が整っておらず、業務管理の基本に欠陥があったこと。
- ③定期安全レビューの一環として、運転年数が30年を超える原子力発電所に対し、高経年化に関する総合的な評価を求めているが、10年ごとに

実施を求めている定期安全レビューの果たす役割が重要である。

プロ意識と経験を継承し事故防止を

流況解析から事故を起こしたA系復水配管と、全く同様の材料と水質のB系において、流れと減肉が相当異なることが判明しつつある。これは美浜1号機と2号機では全く異なることにもつながる事実である。

この解析を見て、先月号に書いた「配管内を流れる水の気持ちになって設計、保守を」が、いかに名言であるか思い知らされた。A系では流れの方向が最も変わるヘッダーの立ち上げ配管が短く、急激に3次的に曲げられ旋回流が強く発生している。B系は長く旋回流は比較的少ない。まさに配管内を流れる水の気持ちがわかってくる。

「配管を叩いて減肉を知れ」は、先月号に書いた「配管内を流れる水の気持ちになって設計、保守を」とともに、配管のプロの常識を格言にして代々伝えられているものである。これは設計する人、そしてその意図を汲み保守をする人への名言であり、マイプラント意識を持ったこのようなプロが絶対に必要であり、その技術の継承が重要である。

現在、安全文化という言葉がよく使われているが、私は原子炉の鋼鉄製圧力容器の据え付け時などに、神主さんをお願いして関係者全員で安全祈願をする行事も、皆の心を合わせ一丸となる風土の醸成に役に立つと思って参加してきた。今回、信長が難関突破した金が崎宮を見て、それにあやかり原子力界の難関突破を図りたいと思った次第である。

もちろん神頼みではなく、原子力技術のプロ意識とその経験を継承し事故の防止を図ることを目的に、もう一つの配管の格言も加えて結言としたい。

「配管を叩いて減肉を知れ」

「配管内を流れる水の気持ちになって設計、保守を」

「歴史を学ばないと歴史が教えに来る。」

「原子力の安全は小さなミスの撲滅から」