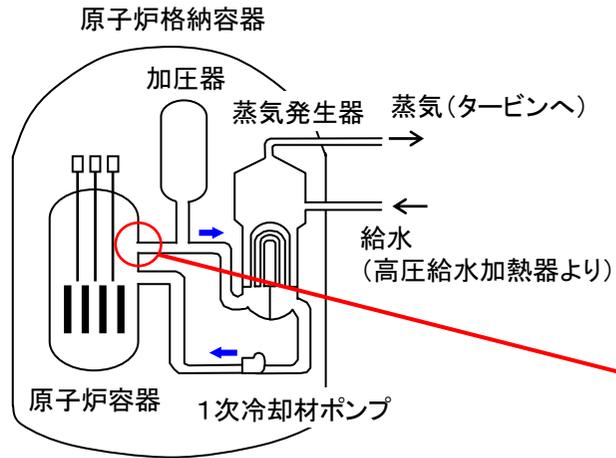


# 大飯3号機 原子炉容器出口管台 溶接部の傷について

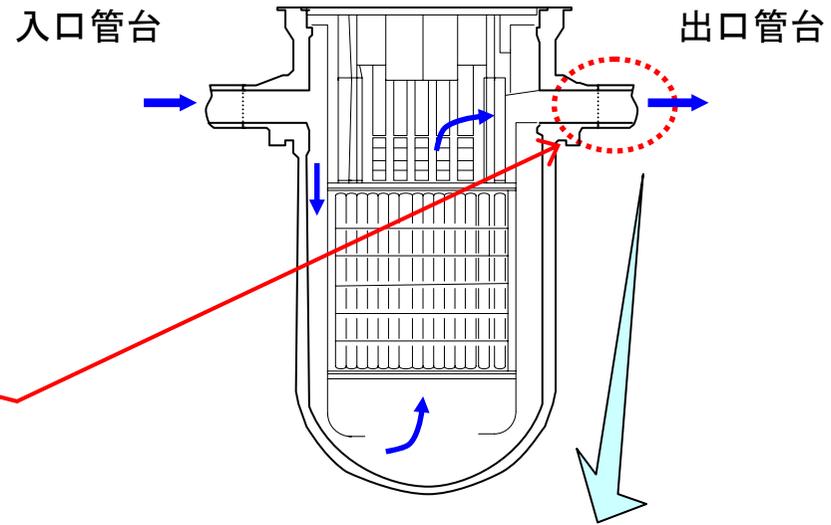
平成20年10月13日  
関西電力株式会社

# 点検結果

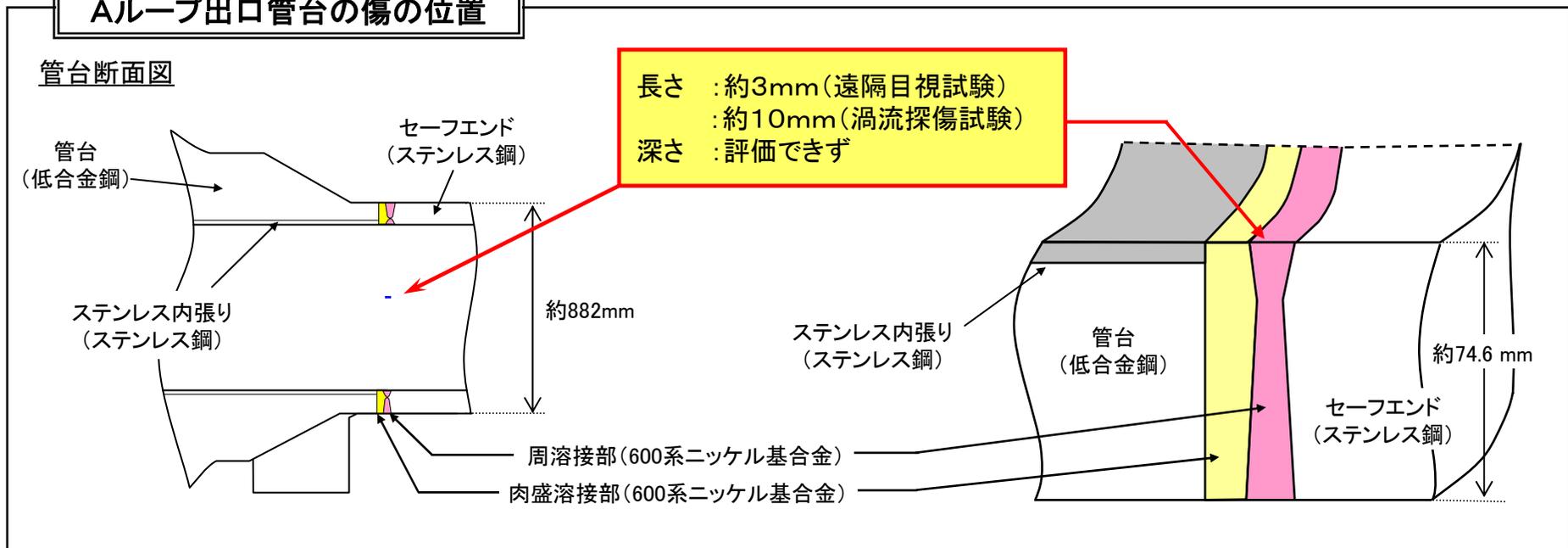
## 系統概略図



## 原子炉容器断面概要図

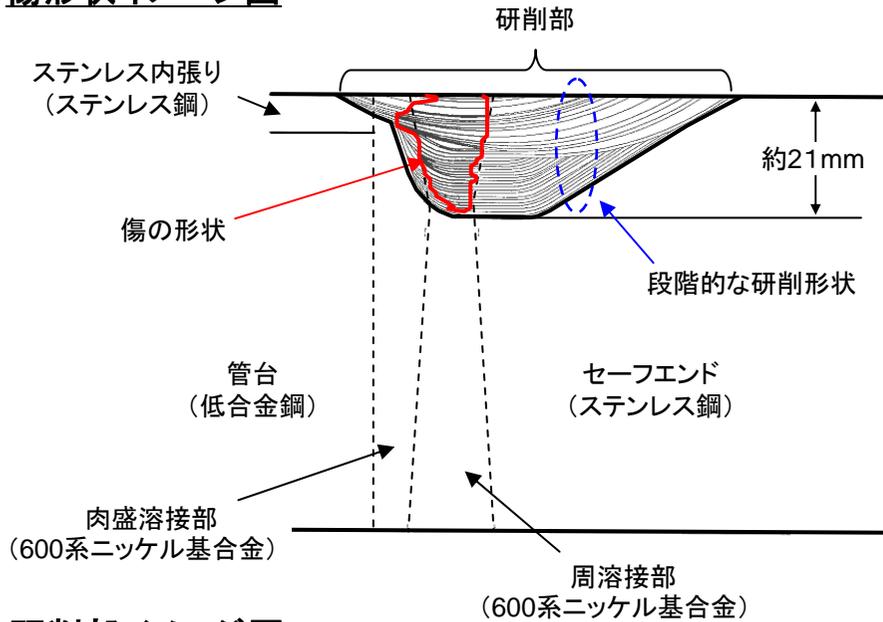


## Aループ出口管台の傷の位置

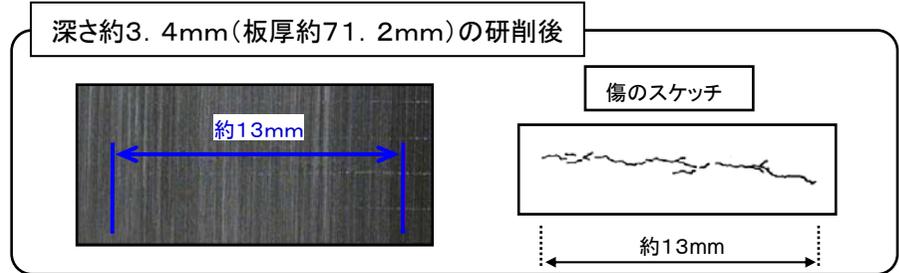
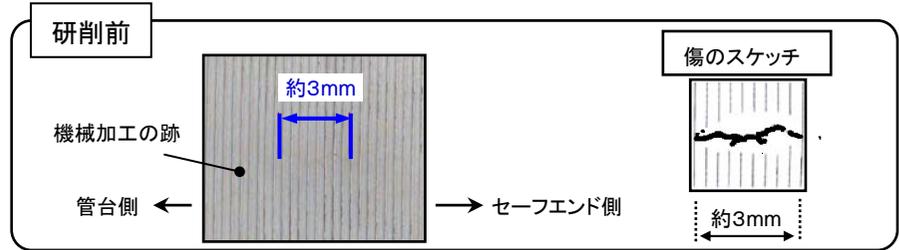
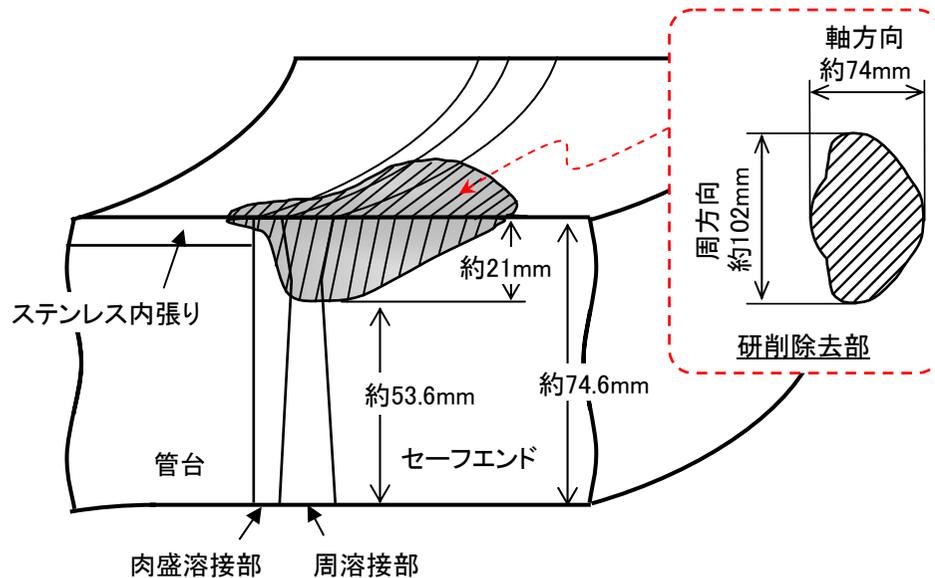


# 損傷部の状況および研削結果

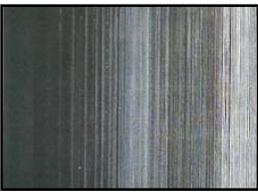
## 傷形状イメージ図



## 研削部イメージ図



深さ約20.3mm(板厚約54.3mm)の研削後



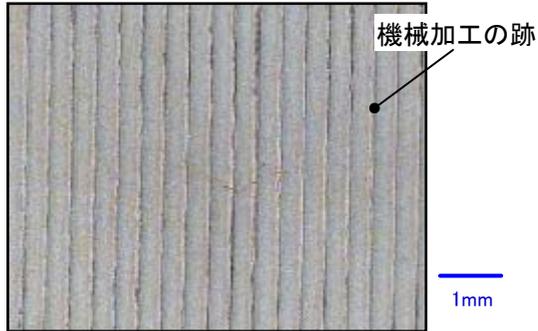
深さ約20.3mmの研削後、遠隔目視試験・渦流探傷試験を実施し、傷の消失を確認。

更に念のために、約0.7mmの追加研削を実施し、傷のないことを確認。(最終板厚は約53.6mm)

傷はいずれの深さにおいても複数の折れ曲がりおよび枝分かれがあり、過去の一次冷却材環境下の応力腐食割れの特徴と類似

# 損傷部近傍の観察結果の比較

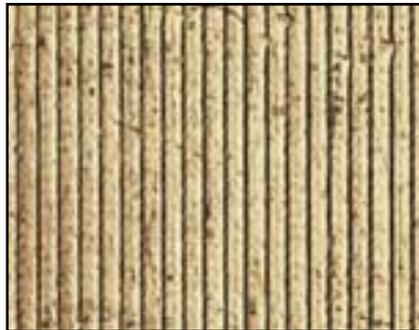
大飯3号機 RV管台溶接部



(遠隔目視試験)

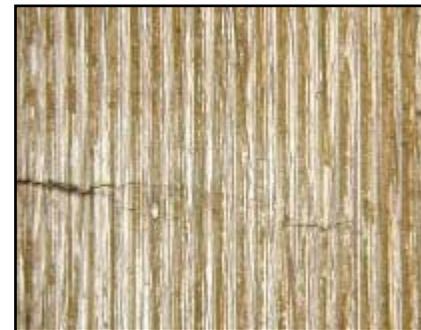
## 機械加工跡が確認された例

美浜2号機 SG管台溶接部



(型取観察)

高浜2号機 SG管台溶接部



(型取観察)

## グラインダ施工跡が確認された例

高浜3号機 SG管台溶接部



(型取観察)

高浜4号機 SG管台溶接部

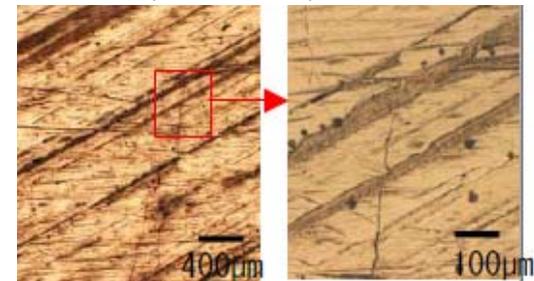


(型取観察)

(参考)

原電敦賀2号機SG管台溶接部

(日本原子力発電(株)ホームページより)

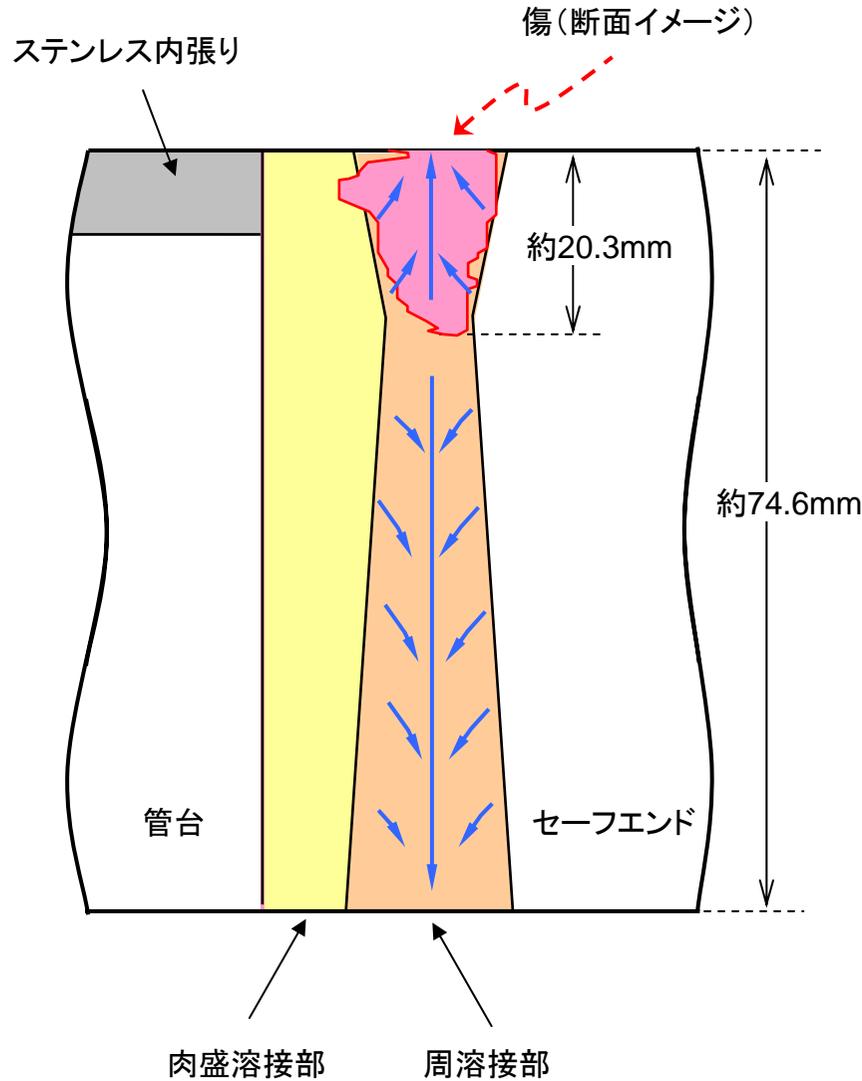


(型取観察)

- 傷の周辺部で機械加工跡を確認。(SG管台溶接部でも同様の事例有)
- SG管台溶接部での応力腐食割れの事例と同様に複数の折れ曲がりおよび枝分かれを確認

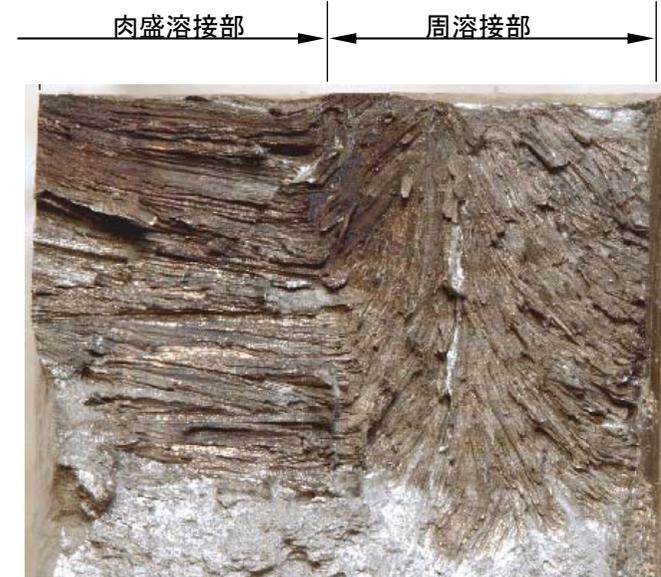
## 傷形状イメージ図

→ 周溶接部での  
デンドライトの成長方向

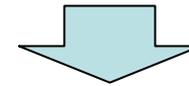


## デンドライトの成長方向

<美浜2号機SG管台の破面観察結果>



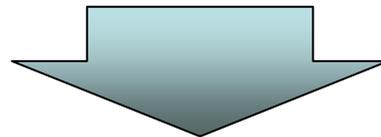
周溶接部のデンドライトは板厚方向に成長している。



大飯3号機RV出口管台  
周溶接部で割れが発生し、他の応力腐食割れの事例と同様、周溶接部のデンドライトの成長方向に沿って、板厚方向に進展したため、板厚方向に細長い断面形状になったものと推定される。

## 調査結果まとめ

- いずれの深さにおいても、傷は複数の折れ曲がりおよび枝分かれを持った形状であり、国内の蒸気発生器管台溶接部で確認されている応力腐食割れと同様の特徴を有している。
- 傷の周辺部には機械加工の跡が認められていることから、高い引張残留応力が発生していた可能性が高い。
- 傷は、溶接部のデンドライトに沿って進展していると考えられる。  
(応力腐食割れの特徴を有している)
- 傷の特徴や製造履歴調査結果などから、延性割れや疲労割れ、製作時の溶接欠陥等によるものではないと考えられる。

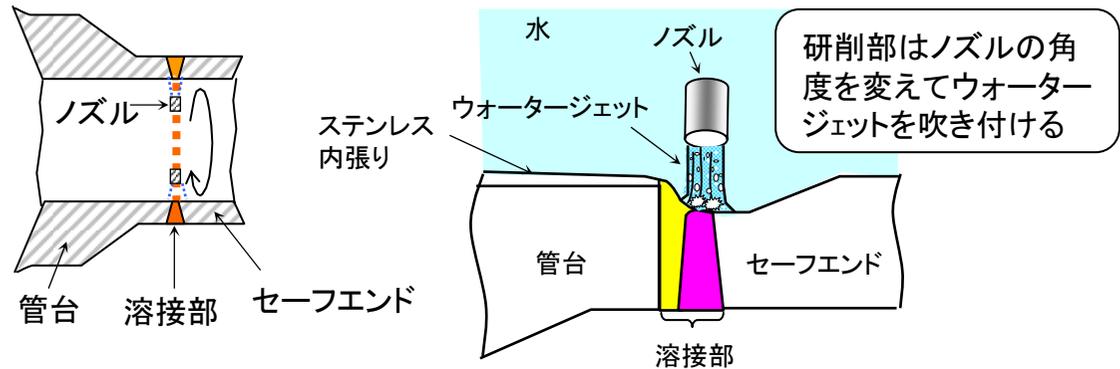


## 推定原因

今回発見された傷は、原子炉容器製作時、600系ニッケル基合金溶接部に機械加工を行ったことにより、内表面において高い引張残留応力が発生し、それにより応力腐食割れが発生し、運転時の応力等により進展したものと推定される。

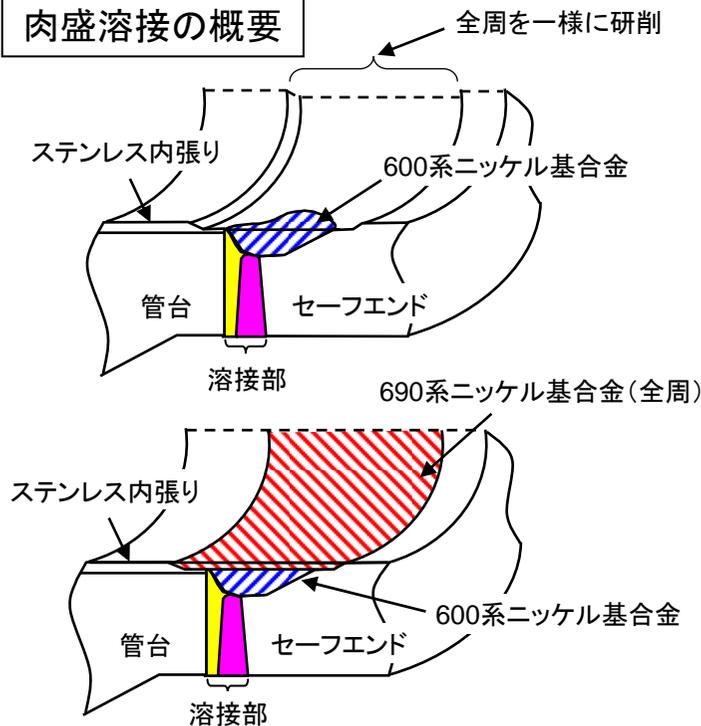
## 今定期検査で実施

応力腐食割れの予防保全対策として、表面近傍の引張残留応力を圧縮応力に変えるため、ウォータージェットピーニング工事を施工する

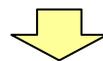


## 次回定期検査で実施

### 肉盛溶接の概要

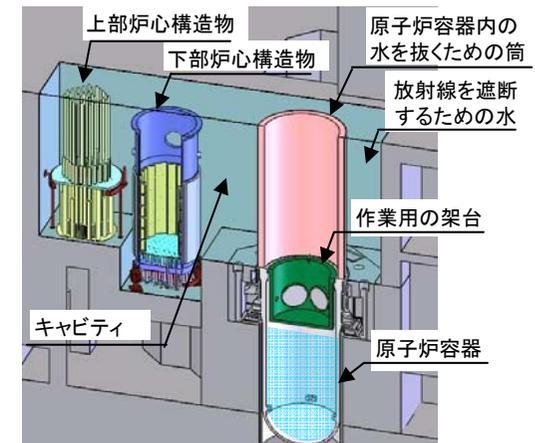


○600系ニッケル基合金にて肉盛溶接  
○溶接部全周にわたり、一様に研削



○溶接部全周を耐食性に優れた690系ニッケル基合金で肉盛溶接  
○念のため残留応力を低減するためにバフ施工

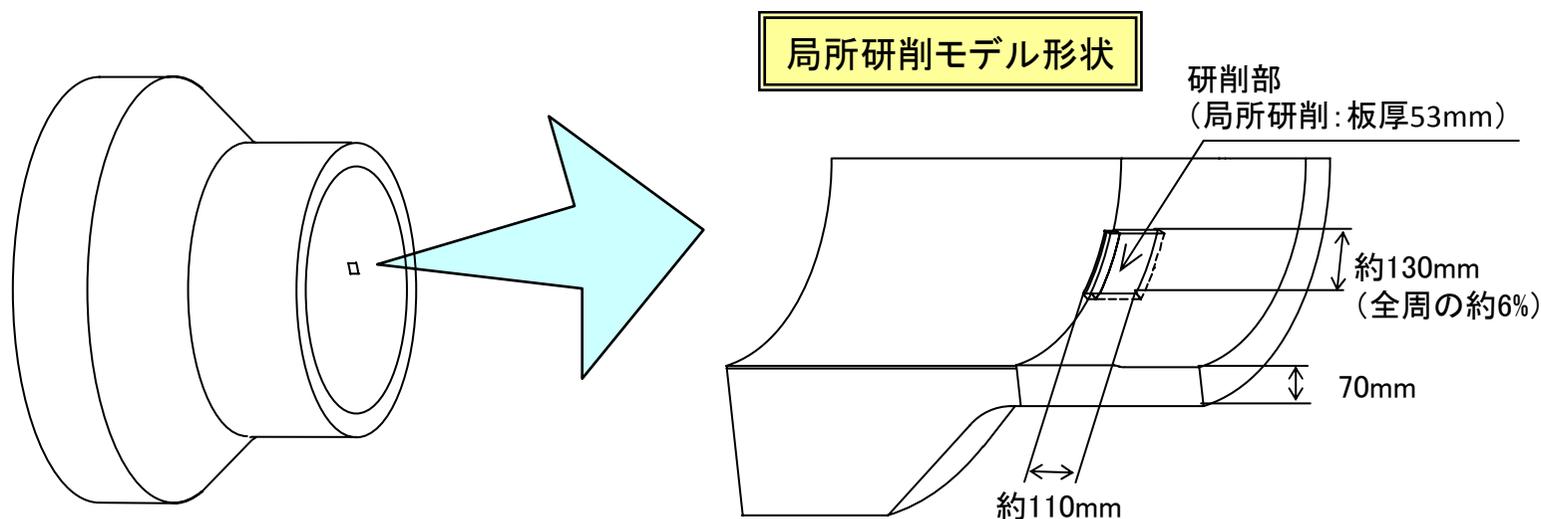
### 肉盛溶接工法イメージ図



原子炉容器の上に筒を設置し、水を抜いて肉盛溶接を実施する

## 評価の内容

- 局所的に53mm板厚とした局所研削モデルを用いて強度評価、耐震評価を実施
  - ・強度評価：設計・建設規格に基づき、通常運転時、事故時等の圧力および熱等による荷重について評価を行い、技術基準に適合していることを確認
  - ・耐震評価：耐震設計技術指針に基づき、S1およびS2地震動による耐震評価を行い、技術基準に適合していることを確認



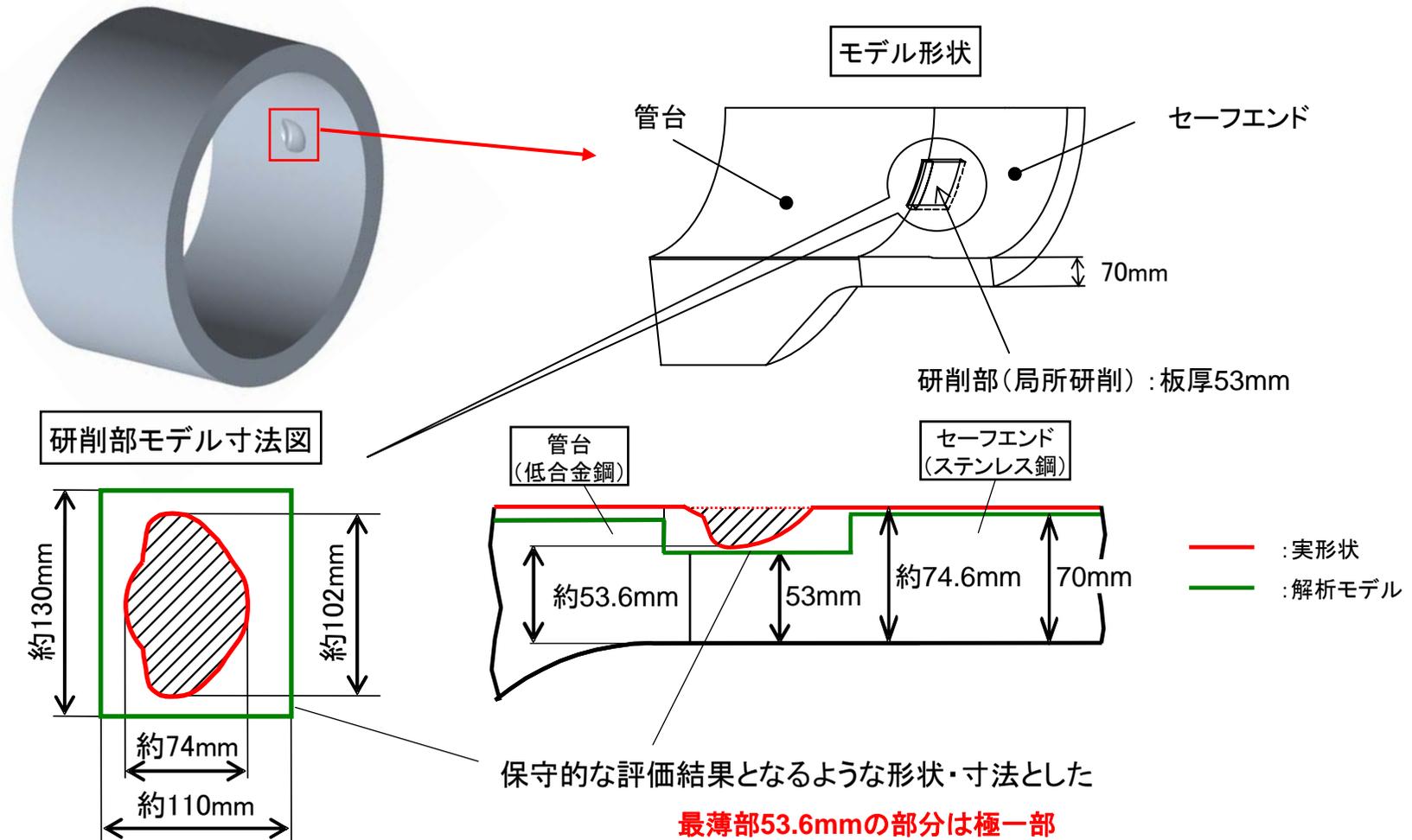
## ○その他

- ・窪みが残存することによる流れの乱れや、一次冷却材量の増加等について評価し、プラント運転への影響が無いことを確認

以上の結果については、工事計画届出書を提出し原子力安全・保安院にご確認を頂いている

## 局所研削モデルの保守性

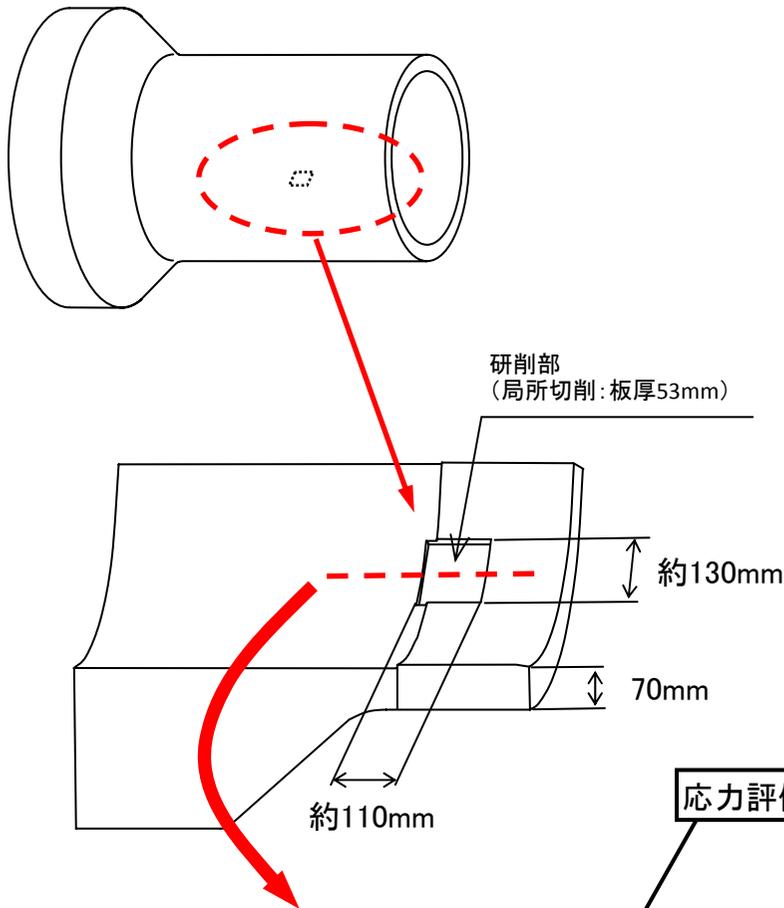
① 実機の丸みを持った窪みに対して箱型形状にモデル化し、実機の研削部寸法を包含するように大きく設定



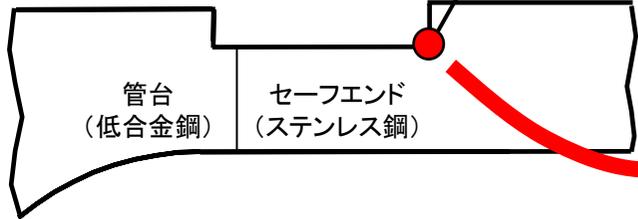
② 600系ニッケル基合金部は、材料強度の低いステンレス鋼としてモデル化し、保守的な評価としている

# 強度評価結果・耐震評価結果概要

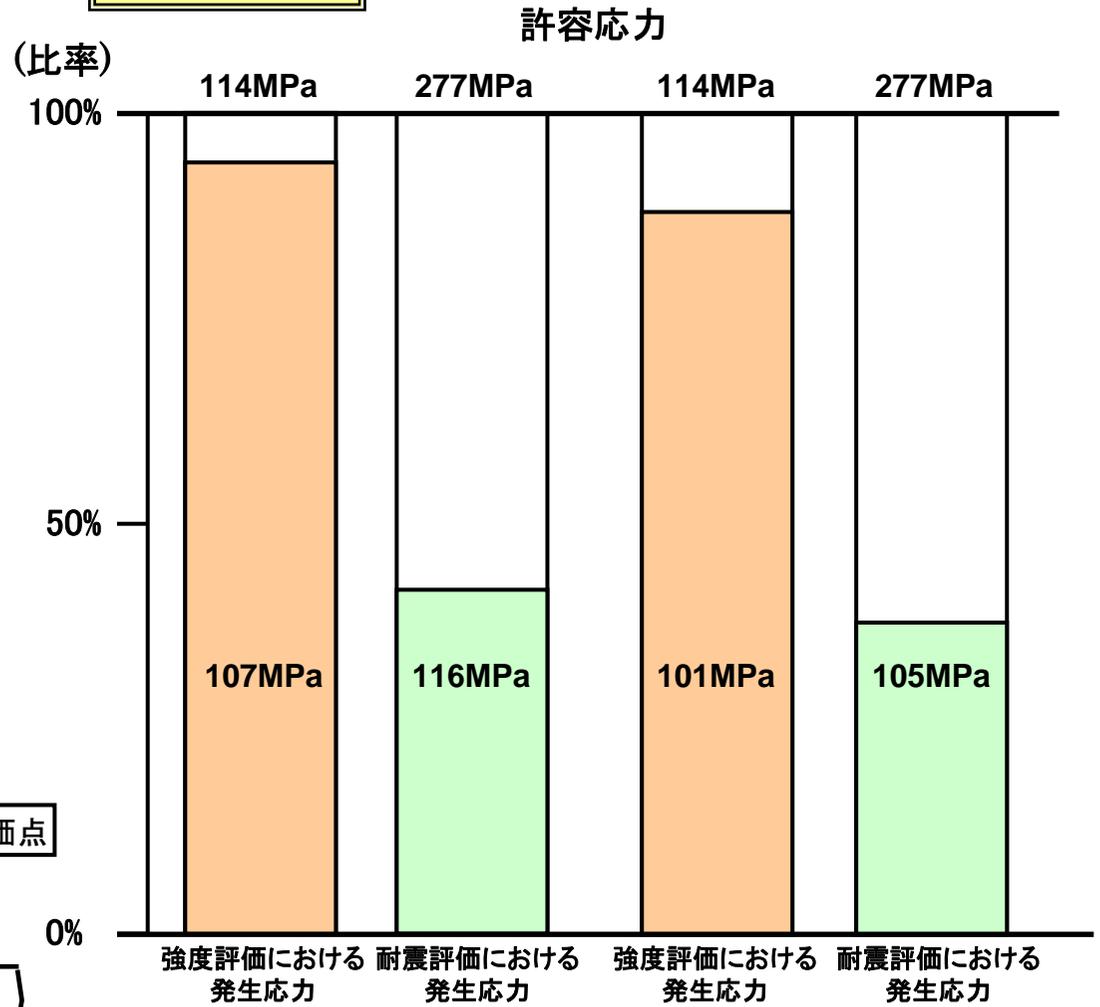
解析モデル形状



断面図



解析結果比較



局所研削モデル

建設時工認モデル

(参考)

# 海外事例との比較

参考

	大飯3号機(2008年)	リンガルス4号機(2000年)
傷の状態 および 対応	<p>窪み寸法 周方向:約102mm 軸方向:約74mm 深さ:約21mm</p> <p>深さ約20mmの 軸方向傷が1箇所</p> <p>発見時の定検に、 研削によって傷を除去</p> <p>➤傷を除去しウォータージェットピーニングを実施 ➤念のため次定検に肉盛溶接補修を実施</p>	<p>窪み寸法(文献等より推定) 周方向:約121mm 軸方向:約90~140mm 深さ:約35mm</p> <p>最大深さ25mmの 軸方向傷が4箇所</p> <p>発見時の定検に、 ポートサンプルにより傷を除去</p> <p>➤傷を除去(予防保全工事は実施せず) ➤2サイクル後の定検にて溶接補修を実施</p>
窪み部 健全性 確認	<p>➤研削後の形状について、強度評価や耐震評価を行い、国の技術基準を満足していることを確認 ➤傷の消失および残存部に傷の無いことを確認</p>	<p>➤ポートサンプルした箇所に傷が存在すると仮定(完全に除去できていないことを想定)した評価により、8000時間の運転承認。次の定検時での再評価により、さらに8200時間の運転承認</p>
対応選定 の理由	<p>➤局所的な研削形状であっても、国の技術基準を満足 ➤PWSCC対策として研削部を含む溶接部のウォータージェットピーニング実施</p>	<p>➤ポートサンプルによる窪みが残存していると、毎年の検査を要求され、定検期間が長期化することから、毎年の検査が不要となる溶接補修を計画。但し、補修技術の開発・準備に1サイクル以上の期間が必要なため、2定検後に溶接肉盛補修を実施。</p>
比較評価	<p>➤リンガルス4号機の方が窪みは大きく、数も多いが、2サイクルの運転で漏洩等の問題は発生せず ➤リンガルス4号機はポートサンプル部に傷の残存の可能性があるため、傷を考慮した評価を実施。一方、大飯3号機は研削により傷が消失したことを遠隔目視試験、ECTにより確認。さらに残存部に傷の無いことを外面UTにより確認 ➤大飯3号機はリンガルス4号機よりも短時間で溶接補修工法の準備を計画</p>	

# RV管台・SG管台 応力腐食割れ対策の実施状況

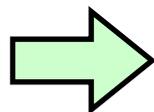
参考

	原子炉容器		蒸気発生器	
	高温側(出口管台)	低温側(入口管台)	高温側(入口管台)	低温側(出口管台)
美浜1号機	●(平成18年度)	●(平成18年度)	—	—
美浜2号機	●(平成19年度)	●(平成19年度)	A管台:◆(平成19年度) B管台:●(平成19年度)	●(平成19年度)
美浜3号機	●(平成19年度)	●(平成19年度)	—	—
大飯1号機	●(平成19年度)	●(平成19年度)	●(平成19年度)	●(平成19年度)
大飯2号機	●(平成18年度)	●(平成18年度)	—	—
大飯3号機	●(平成19年度)* <sup>1</sup>	●(平成19年度)	●(平成18年度)	●(平成18年度)
大飯4号機	○* <sup>2</sup>	○* <sup>3</sup>	○(実施中)	○(実施中)
高浜1号機	●(平成20年度)	●(平成20年度)	—	—
高浜2号機	○* <sup>2</sup>	○* <sup>2</sup>	◆(平成19年度)	○(平成20年度)
高浜3号機	●(平成19年度)	●(平成19年度)	◆(平成19年度)	●(平成19年度)
高浜4号機	○* <sup>2</sup>	○* <sup>2</sup>	◇(実施中)* <sup>4</sup>	○(実施中)

## <凡例>

- , ○: 予防保全工事【原子炉容器管台: ウォータージェットピーニング、蒸気発生器管台: 超音波ショットピーニング】
- ◆, ◇: 点検で傷が見つかったことによる補修【690系ニッケル基合金肉盛溶接】
- , ◆: 実施済み、○, ◇: 予定
- : 690系ニッケル合金を使用している

- \*1: A管台は傷が確認されたため、研削して傷を除去後、ウォータージェットピーニングを実施
- \*2: 至近の定期検査時に、超音波探傷試験にて健全性を確認
- \*3: 次回以降の定期検査時に、超音波探傷試験にて健全性を確認
- \*4: 定期検査前(点検前)から690系ニッケル基合金肉盛溶接を計画



**予防保全対策未実施の部位について、今後計画的に対策を実施**

# 強度評価結果

参考

	①						②		③		④	
	一次一般膜 応力強さ		一次局部膜 応力強さ		一次膜+一次曲げ 応力強さ		一次+二次 応力強さ		疲労評価		熱応力ラチェット	
	発生応力	許容値	発生応力	許容値	発生応力	許容値	発生応力	許容値	疲労 累積係数	許容値	熱応力 変動値	許容値
出口管台 セーフ エンド	107	114	133	276	107	154	379 →※弾塑性解析へ	351	0.002	1.0	278	343
出口管台	106	184	133	465	107	248	372	552	0.014	1.0	252	1013

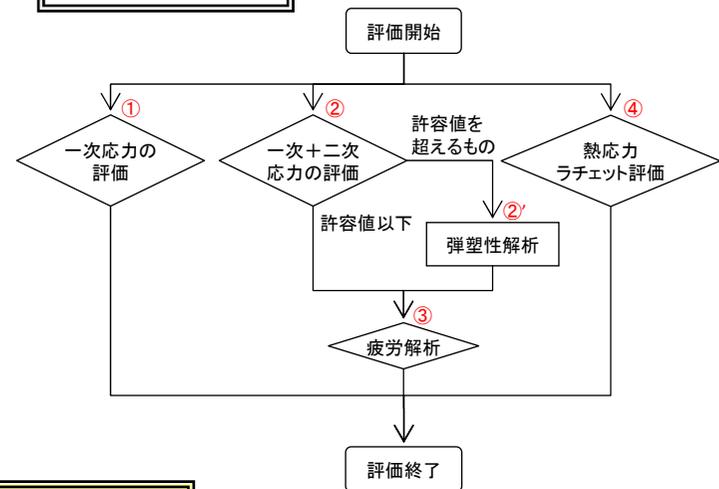
(注)評価の最も厳しい(許容値に対する評価値の割合が大きい)部位を記載

## ※弾塑性解析 ②'

評価項目	数値	許容値
材料の最小降伏点と最小引張強さの比	0.4	0.8
供用状態A及びBにおける最高温度(°C)	336.0	430
熱曲げ応力を除く一次+二次応力強さの変動幅(MPa)	232	351
疲労解析に用いる繰返しピーク応力強さ(MPa)	292	4,880

(注)評価の最も厳しい(許容値に対する評価値の割合が大きい)値を記載

## 強度評価フロー



評価値が許容値を満足することを確認

# 耐震評価結果

参考

## <S1地震時の評価結果>

	一次一般膜応力強さ		一次膜＋一次曲げ応力強さ		一次＋二次応力強さ		疲労評価	
	発生応力	許容値	発生応力	許容値	発生応力	許容値	疲労累積係数	許容値
出口管台 セーフエンド	114	138	118	208	36	346	0.002	1.0
出口管台	113	300	117	450	41	552	0.014	1.0

(注)評価の最も厳しい(許容値に対する評価値の割合が大きい)部位を記載

## <S2地震時の評価結果>

	一次一般膜応力強さ		一次膜＋一次曲げ応力強さ		一次＋二次応力強さ		疲労評価	
	発生応力	許容値	発生応力	許容値	発生応力	許容値	疲労累積係数	許容値
出口管台 セーフエンド	116	277	122	416	64	346	0.002	1.0
出口管台	115	314	121	471	73	552	0.014	1.0

(注)評価の最も厳しい(許容値に対する評価値の割合が大きい)部位を記載

**評価値が許容値を満足することを確認**