

島根2号機 アクセスホールカバー取付溶接部ひび発生に伴う

シュラウドサポートプレート研磨における微小な凹みの観察について

1. はじめに

島根2号機アクセスホールカバー（以下、「AHC」という。）取付溶接部にひびが確認された事象の復旧作業として、新規の AHC（ボルト締結式）に取替を行うこととしており、取替作業の一環としてシュラウドサポートプレートのアクセスホール内面に対し、仕上げ研磨を実施している。

仕上げ研磨後の外観観察において、仕上げ研磨前には観察されていなかった微小な凹みが新たに観察されたことから、凹みの外観観察結果および今後の対応について報告する。

2. 凹みの外観観察結果

0° 側および180° 側アクセスホール内面（側面）に残存していた EDM[※]痕（前回作業で残存していた EDM 加工により生じた複数の細かな円形状の凹み）と前回作業時に付着したと考えられるすり傷については、仕上げ研磨後の外観観察により、当初計画どおり、全て除去されていることを確認した。

一方、アクセスホール内面のうち上部側面については、仕上げ研磨前には観察されなかった微小な凹みが、0° 側アクセスホール H8 溶接部（炉心シュラウド側）（以下、「a 部」という。）、180° 側アクセスホール H9 溶接部（RPV 側）（以下、「b 部」という。）にそれぞれ1箇所ずつ新たに観察された。

図1にアクセスホールの位置概要図および図2に凹みが観察された概略位置を示す。

また、図3、4に観察された凹みの外観写真および推定寸法を示す。

※ EDM: Electrical Discharge Machining の略。

電極と被加工物との間に短い周期で繰り返されるアーク放電によって被加工物表面の一部を除去する機械加工の方法（放電加工）。

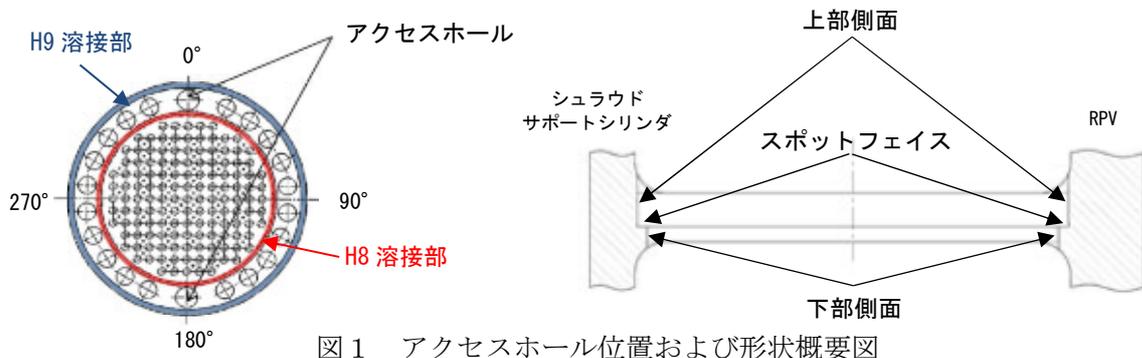
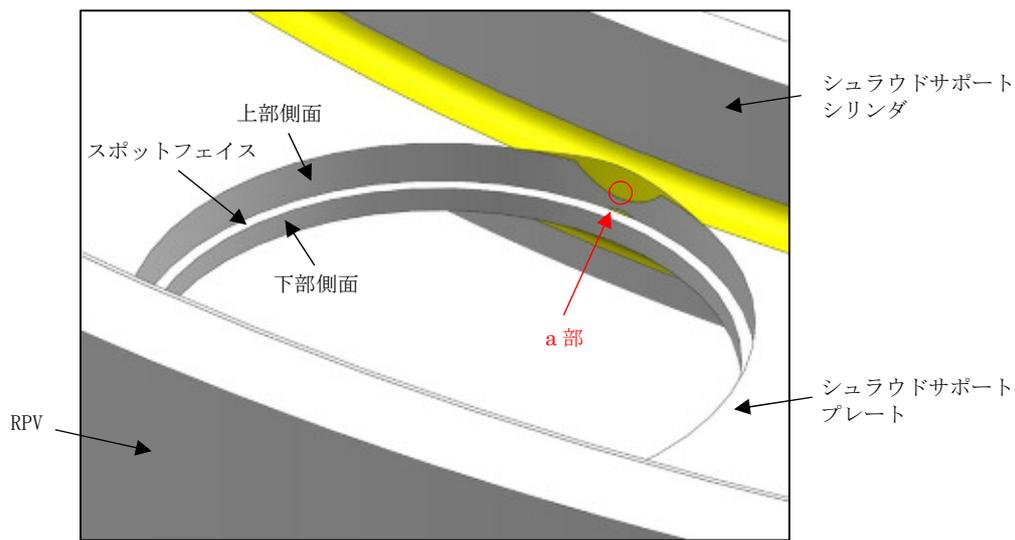
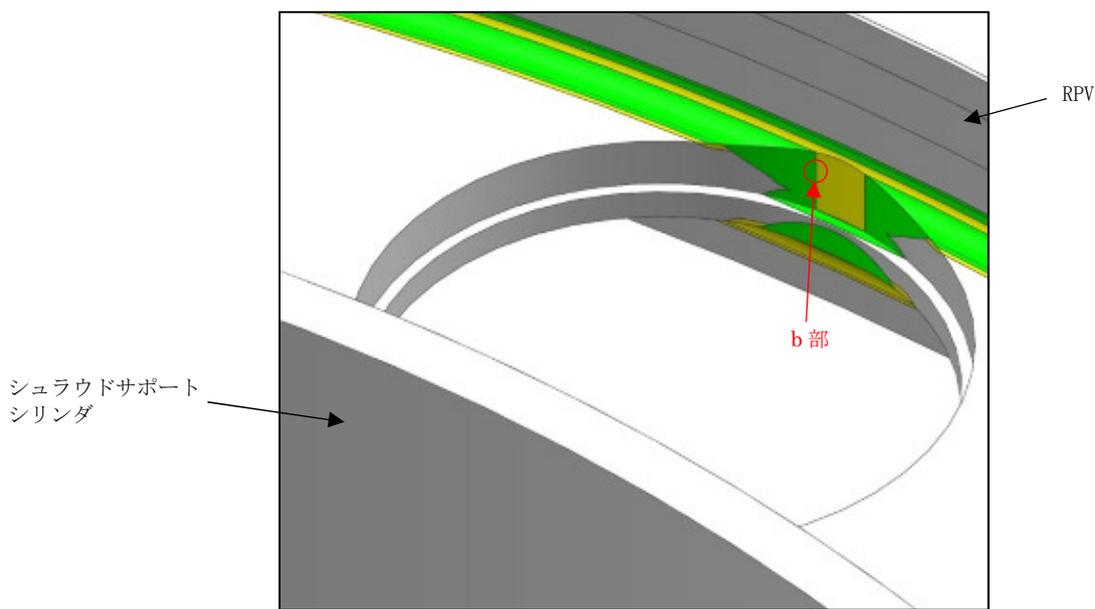


図1 アクセスホール位置および形状概要図



(a) 0° 側アクセスホール内面 H8 溶接部



(b) 180° 側アクセスホール内面 H9 溶接部

: 82 合金
 : 改良 182 合金

図 2 仕上げ研磨後に凹みが観察された位置

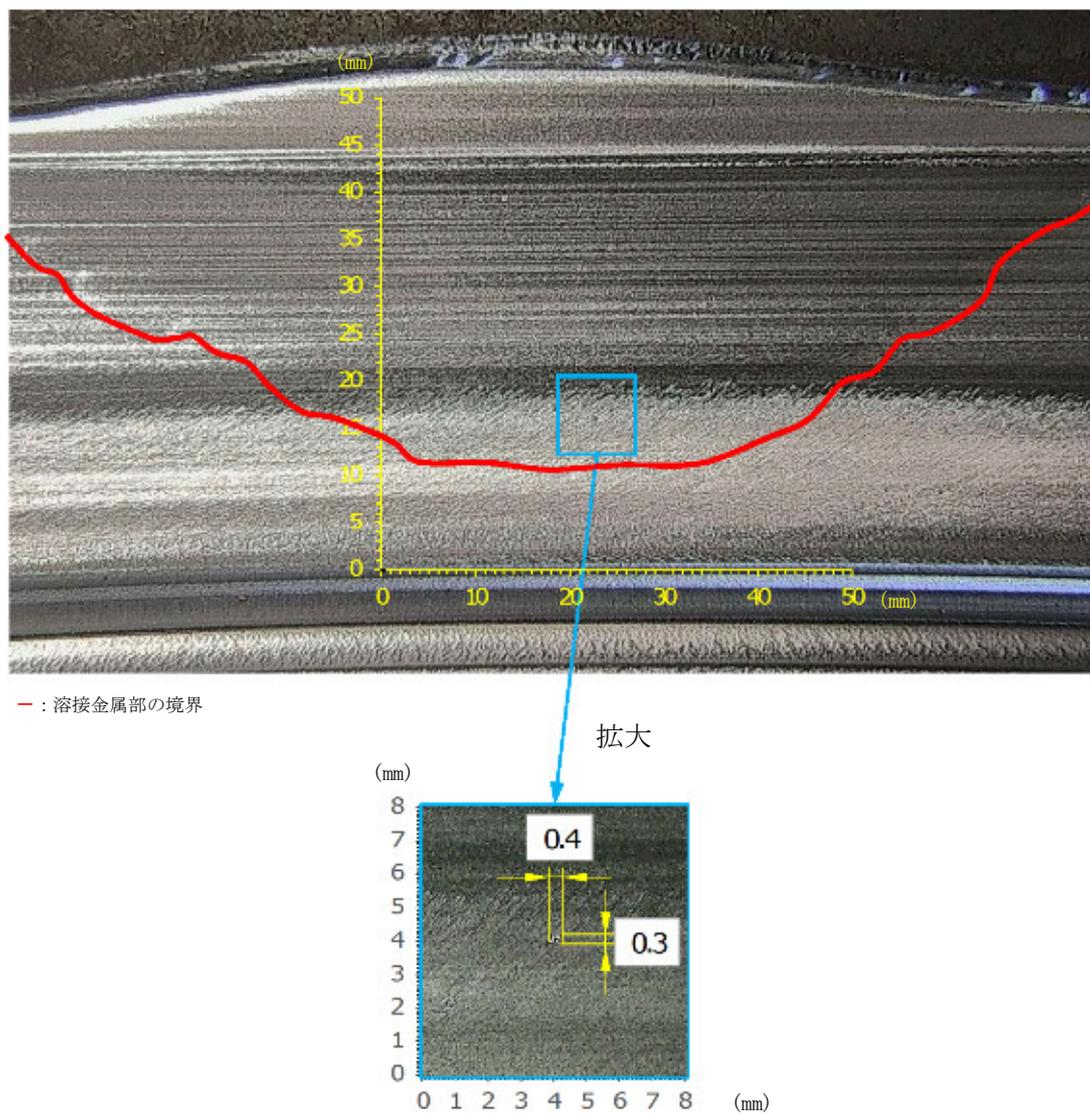
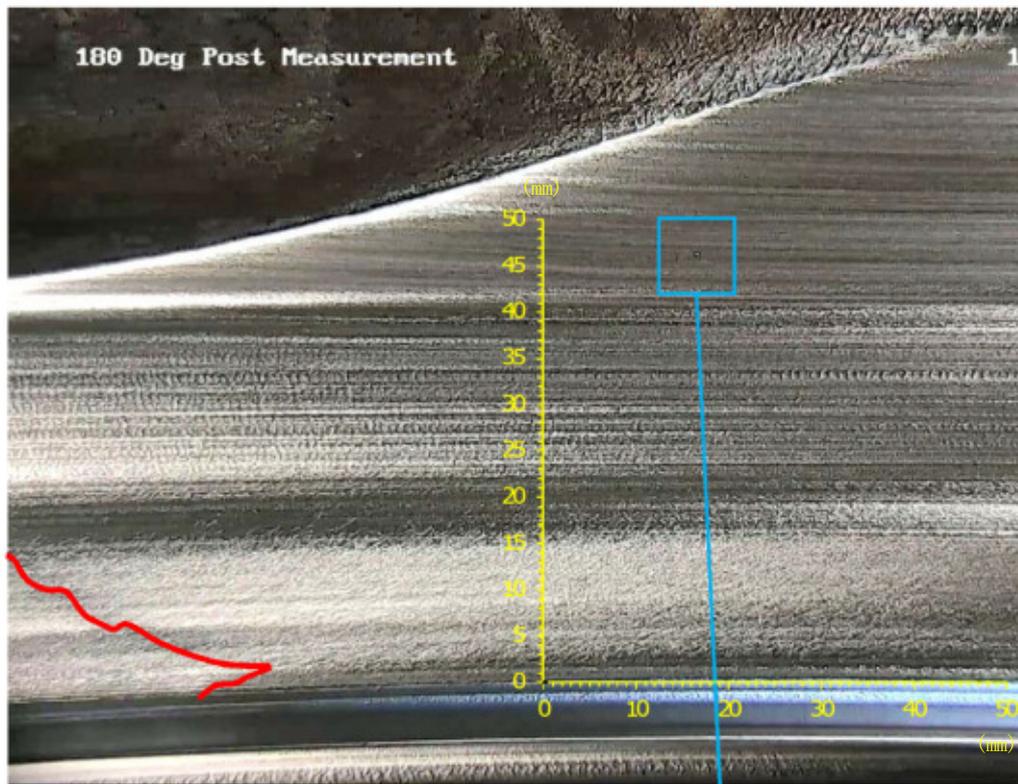


図3 a部の外観写真および推定寸法 (0°側アクセスホール)



— : 溶接金属部の境界

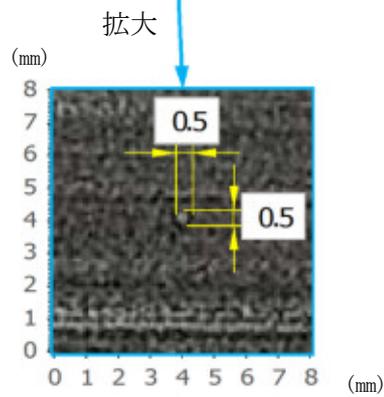


図4 b部の外観写真および推定寸法（180°側アクセスホール）

3. 凹みの発生原因

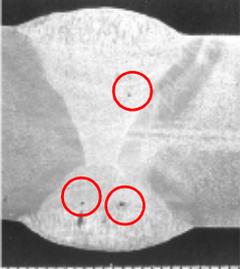
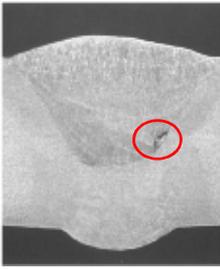
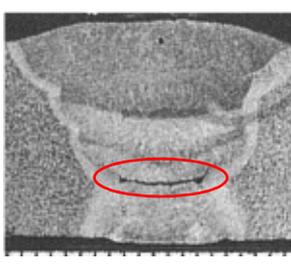
金属の溶接部に内在する主な欠陥の種類としては、「ブローホール」、「スラグ巻込み」および「融合不良」があり、特徴等を表1に示す。

発生メカニズムからそれぞれ残存する形状としては、「ブローホール」は球または球に近い丸みを帯びた形状、「スラグ巻込み」および「融合不良」は丸みのない不規則な形状となる。

今回観察された a 部、b 部の微小な凹みは、丸みのある形状であることが確認されたことから、「ブローホール」であると判断される。

なお、AHC 側面に確認されたひびとの関連性については、当該ひびの範囲に対向する場所ではないこと、および定期事業者検査等（目視試験・渦電流探傷試験）において、アクセスホール内面にひび模様や信号は検出されなかったこと、さらには現状の a 部および b 部の外観観察結果においても周辺にひび等は確認されていないことから、関連性はないと考えられる。

表1 内在溶接欠陥の種類

欠陥の種類	ブローホール	スラグ巻込み	融合不良
模式図[1]	 ブローホール	 スラグ巻込み 裏当て全	 融合不良
断面マクロ例 [2][3]			
発生メカニズム	溶融金属中に取り込まれたガスが、放出しきれず残留して発生。	溶接中に生成されたスラグが溶融金属に先行し固まることで発生。	入熱の不足などで、開先面や前層ビード表面を溶融しきれないことで発生。
特徴	形状は球に近いためすき間形状になることはないと考えられる。	発生の状況により形状がすき間となる可能性がある。	溶接層間に発生するため、すき間形状となる可能性が高い。

4. 凹みの評価

4. 1 応力腐食割れ発生ポテンシャルについて

応力腐食割れ（以下、「SCC」という。）は、材料因子、環境因子および応力因子が重畳する条件下で発生することから、a部およびb部に対し、以下に示すとおり、検討した。

(1) 材料因子

ブローホールは凝固する金属内部に形成されるため、ブローホール内面での硬化は生じておらず、AHC 取付溶接部のクレビス部で認められた著しい硬さ上昇はないと考えられる。

これより、材料因子としては SCC 発生の可能性は極めて低いと判断できる。

なお、AHC 取付溶接部にひびが確認されたクレビス部近傍の硬さは 350Hv 程度、クレビス部から離れた位置の溶接金属部の硬さは 250Hv 程度であることを確認している。

(図5参照)

(2) 環境因子

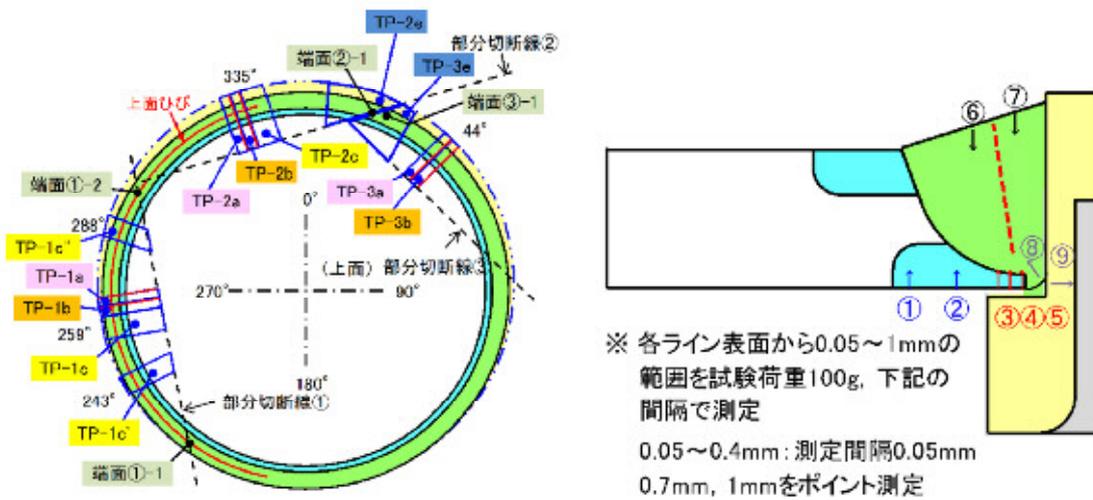
ブローホールの構造は球に近い形状であることを踏まえ、今回の観察結果から、凹み形状は最大深さ寸法を 0.5mm (図3及び図4参照)、最小幅寸法を 0.3mm と環境的に厳しめに仮定し、図6に示すクレビス定義図[4]に図示した。

その結果、当該凹みはクレビスと定義される領域にはなく、環境因子としても SCC 発生の可能性は極めて低いと判断できる。

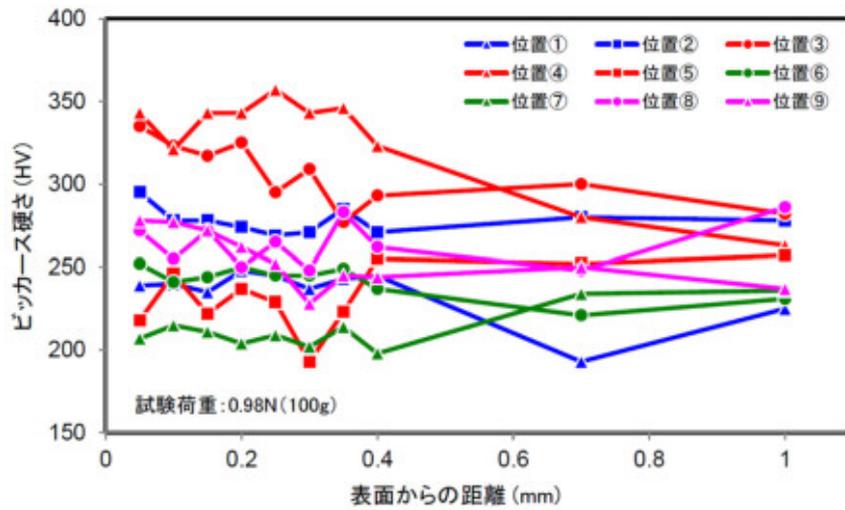
(3) 応力因子

H8 および H9 溶接部では、図7および図8に示すように、位置によっては溶接後に降伏応力以上の引張残留応力が生じる[5]ことが報告されている。

以上から、上部側面に残る微小な凹み（a部、b部）は、引張残留応力は存在すると考えられるものの、材料の著しい硬化はなく、すき間構造でもないことから、材料因子、環境因子および応力因子が重畳せず、凹みから SCC 発生の可能性は極めて低いと判断できる。



(a) 硬さ測定位置



(b) 硬さ測定結果

図5 AHC 取付溶接部表面近傍硬さ測定結果 (例として TP-2a)

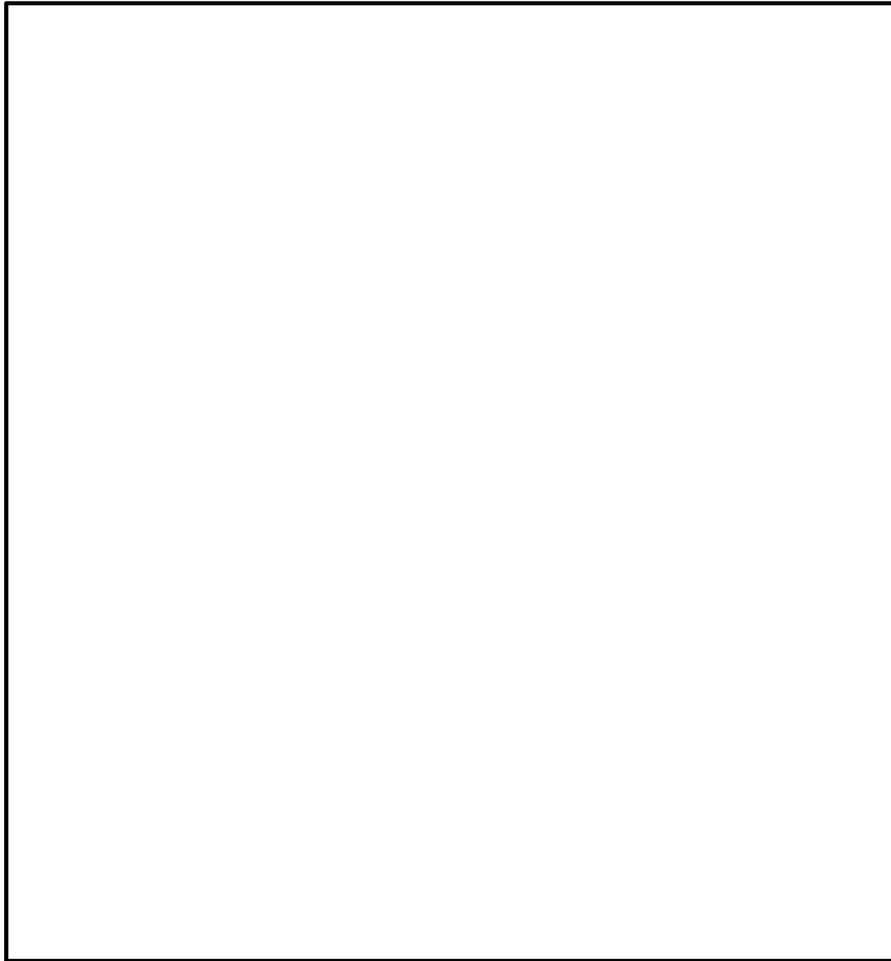
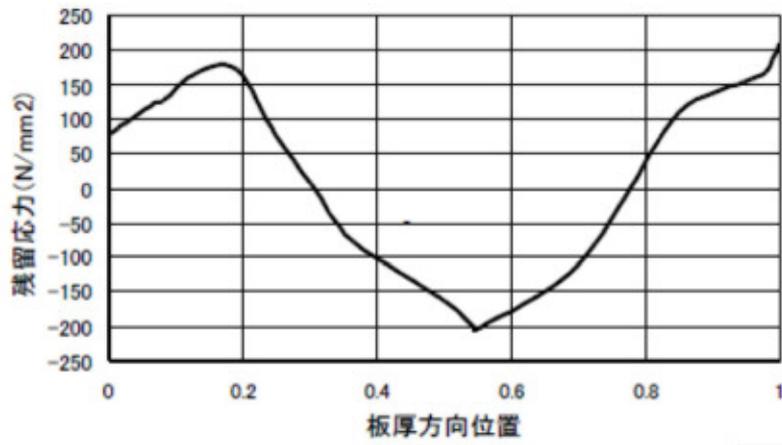
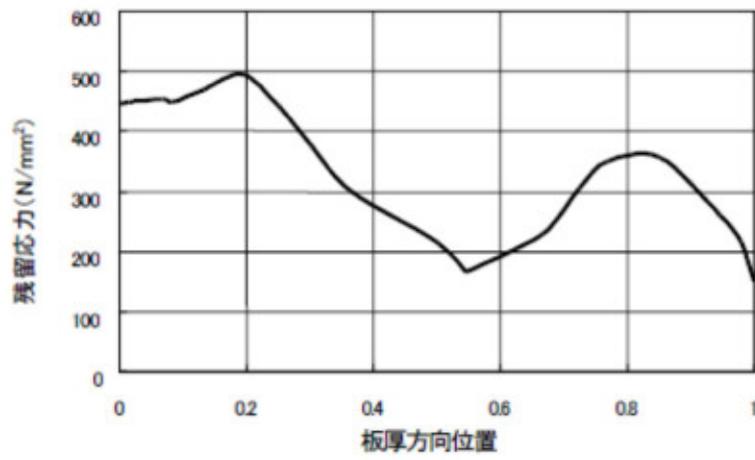
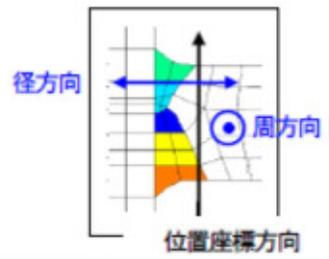


図6 ブローホール想定寸法とクレビス定義図の比較[4]

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。



(a) 径方向残留応力分布



(b) 周方向残留応力分布

図7 H8継手の残留応力分布[5]

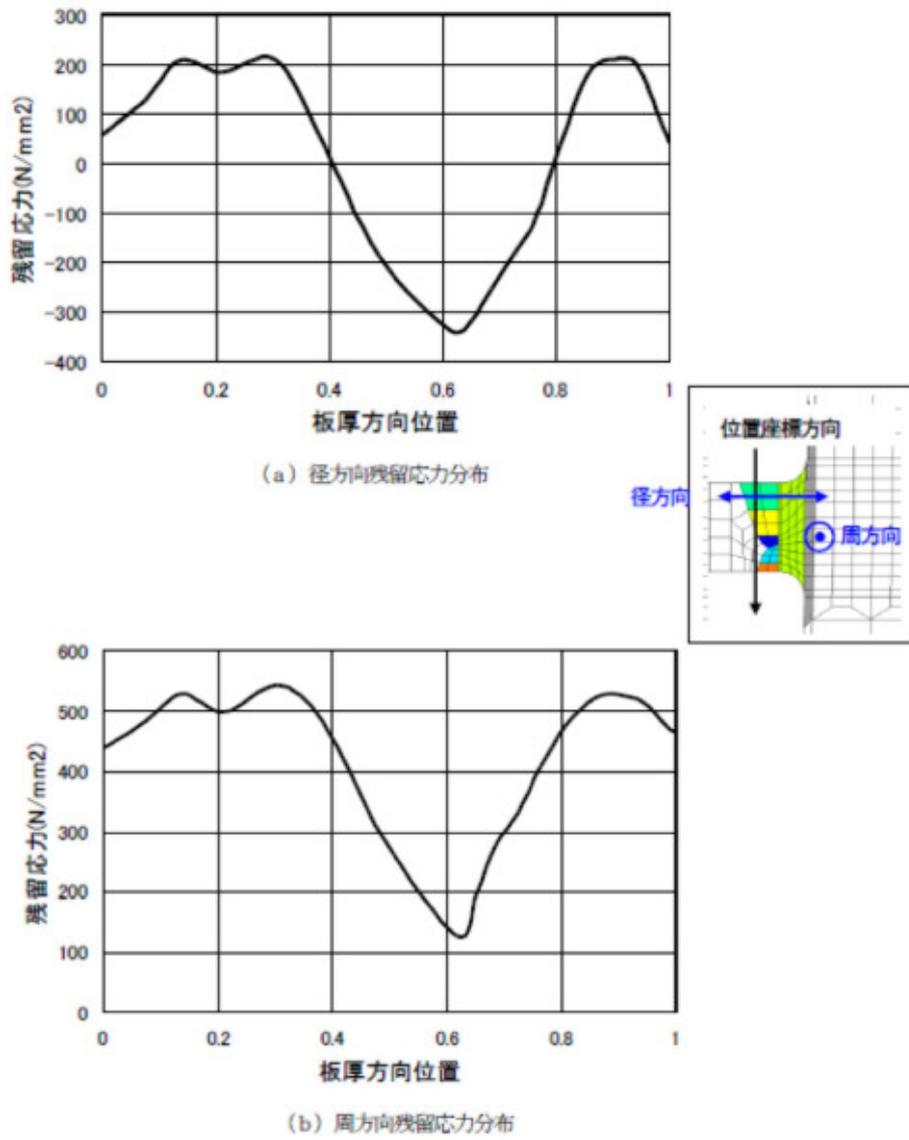


図8 H9継手の残留応力分布[5]

4. 2 強度への影響

上部側面に観察された凹みは、直径が最大 0.5mm の球状としても断面積にして 1mm²にも満たず、シュラウドサポートシリンダの断面積（約 810,000mm²）あるいは RPV 胴板の断面積（約 2,500,000mm²）と比較しても非常に微小なものである。

また、維持規格(2008 年度版)表 EB-2000-2 を用いた RPV (フェライト鋼クラス 1 容器) の評価不要欠陥寸法基準は 14mm であり、これと比較しても十分小さいものである。

以上から、上部側面に残る微小な凹み (a 部, b 部) は、強度への影響はないと判断できる。

なお、製造時にシュラウドサポートの溶接部に対してはプロGRESS PT が実施されており、その判定基準は JSME 溶接規格 (表 2 参照) に規定されているとおりで、今回観察された a 部および b 部の凹みの寸法 (0.3mm~0.5mm 程度) から判断し、仮に PT を実施した場合でも 4mm を超える円形状指示模様は確認されることはなく、PT 判定基準は満足されるものと考えられる。

表 2 PT 判定基準

規格項番	規定
N1100 非破壊試験	PT は表-10 (2007 年版) に従う
表-10 (2007 年版)	1. 割れによる浸透指示模様がないこと。
	2. 長さ 1mm を超える線状浸透指示模様がないこと。
	3. 長さ 4mm を超える円形状浸透指示模様がないこと。
	4. 4 個以上の線状指示および円形状指示が直線状に並んでいる場合は、隣接する指示の間の距離が 1.5mm を超えること。
	5. 面積が 3750mm ² の長方形 (短辺が 25mm 以上とする) 内に円形状浸透指示模様が 10 個以上含まれないこと。ただし、長さが 1.5mm 以下の浸透指示模様は算定することを要しない。

5. 今後の対応

4. で評価した結果より、上部側面部に残る微小な凹み (a 部, b 部) については、SCC 発生の可能性は極めて低く、強度上の影響もないことから、a 部および b 部を対象とした経過観察は必要ないと判断する。

なお、AHC 取付溶接部に確認されたひびについては、次回定期検査時に原子力規制委員会「実用発電用原子炉及びその附属施設における破壊を引き起こす亀裂その他の欠陥の解釈」に従い、ひびを取り除いた後の確認が必要であるため、今回観察された a 部および b 部についても、それらの点検に併せて、自主的に確認を行うこととする。

6. 参考文献

- [1] 「トコトンやさしい溶接の本」安田克彦 著，日刊工業新聞社(2009年)
- [2] 「放射線透過試験技術に関する写真及び解説」社団法人 日本非破壊検査協会(2006年)
- [3] 「溶接部の放射線透過試験技術に関する写真集」社団法人 日本非破壊検査協会(1991年)
- [4] BWRVIP-84, Revision 2-A: BWR Vessel and Internals Project, (2016).
- [5] JANSI-VIP-17-第4版, BWR炉内構造物点検評価ガイドライン [シュラウドサポート] (第4版), 平成27年12月, 一般社団法人 原子力安全推進協会

以 上