

炉内補修技術について

Repair Technologies applied to BWR Core Internals

(株)日立製作所 伊東 敬 Takashi ITO Non-Member

1. 概要

我が国の原子力発電プラントは、運転開始から 20 年を経過しようとするプラントも少なくなく、基幹電力として、安全かつ安定的な電力供給を維持していくために、総合的な保全策の適用検討がなされている。保全策の二本柱は、予防保全と、適切な頻度の点検と点検結果の評価に基づく維持管理であり、点検により万一欠陥が確認された場合には、その部位、程度によっては補修が必要になる場合がある。

炉内構造物で、万一補修を実施する場合には、基本的に工事は遠隔操作による実施が要求されることから、一般的にその準備及び工事実施には長い期間を要することになる。このため、想定される補修技術については、予め、技術的な妥当性を確認し、工事に必要な装置類の計画的準備が望まれる。

本稿では、BWR プラントについて、これまでの炉内補修実績及び炉内補修技術の検討状況について紹介する。

2. これまでの炉内補修技術の適用実績

補修技術は大きく分けて、機器の取替と部分補修に大別される。

機器の取替は、損傷のある部位を含めて機器単位で取替える比較的大規模な工法で、国内 BWR プラントで適用実績のある工事としては、炉内計測 (ICM) ハウジング取替工事、制御棒駆動機構 (CRD) ハウジング取替工事等が挙げられる。予防保全として国内数プラントで実施された炉心シュラウド取替工事も、補修工事として適用可能な実績のある工法のひとつである。取替工法の特徴は、対象とする機器の全部位の損傷に対応できる反面、一般的に工事規模が大きく、工事に長期間を要

する。取替工事の代表例として、ICM ハウジング取替工事の概略手順を図 1 に示す。

一方、部分補修は、欠陥を研削等により除去、あるいはクランプ等の補強部材を取付ける等の部分的な施工により、機器の強度、機能を維持するもので、最近多くのプラントで実施された炉心シュラウド補修(欠陥を研削、放電加工等により除去)工事、形状記憶合金を用いて管を接合復旧するジェットポンプセンシングライン補修工事が、それぞれ代表実績として挙げられる。部分補修工事は、取替工事に比較して、工事規模、期間とも小さい。

補修に際しては、取替、部分補修に係わらず、機器の健全性確保という観点から、既存部位との取り合い部の加工、溶接等の施工条件の妥当性を確認することが最重要課題である。ICM ハウジング取替工事においては、ICM ハウジングの原子炉圧力容器 (RPV) 底部への取付け溶接である J 溶接 (図 1 の step 6 参照) の健全性が確保される溶接施工条件の確認、炉心シュラウド補修工事では、欠陥除去後の加工面の耐力腐食割れ性の確認が主要課題であり、それぞれ、実機を模擬した施工モックアップ試験により、その妥当性を事前に確認した上で実機に適用されている。

3. 炉内補修技術の検討状況

維持基準の適用が進められており、欠陥が存在した場合でも、欠陥の進展を考慮しても必要な強度、機能を確保できると評価されれば、そのまま損傷部位に補修施工を加えないで運転継続することが技術的に適切と考えられるが、損傷部位の機能、構造及び損傷の、程度によっては、補修が必要となる場合がある。

数年前までは、国内プラント損傷事例が特

定の部位に限定されていたこともあり、前述の実績工法のように、それぞれの部位に特化した補修工法の開発が主流となっていたが、最近報じられている炉内点検では、様々な部位に損傷が確認されており、多様化した損傷部位に対して適用が可能な汎用的な補修技術として、前述のシュラウド補修工事の実績のある研削等による欠陥除去に、溶接による欠陥補修を組合せた工法が期待されている。損傷部位と損傷程度により、表 1 に示す組合せ工法の適用が考えられる。

溶接による欠陥補修の適用に際しては、適切な溶接品質の確保と、溶接継手強度の評価確認が必要となる。

このうち、適切な溶接品質を確保するにあたっては、既設炉内機器への適用に特有の課題がある。高い中性子照射を受けた部位に溶接施工を行うと、溶接入熱により粒界他に He が析出する現象が生じ、溶接欠陥を引き起こす可能性があるため、このような条件下でも適切な溶接品質を確保できる補修溶接施工条件の確立が必要である。このため、財団法人 発電設備技術検査協会の「原子力プラント照射材料安全補修溶接技術に関する事業」(平成 9 年度～平成 16 年度(予定))により、TIG 低入熱溶接、YAG レーザ溶接等を対象とした国レベルでの溶接条件の研究が継続実施されているが、現段階では、高照射部位への適用においては微細な溶接欠陥の生成回避は困難な状況である。

炉心近傍の高照射部位等への適用については、上記のように溶接品質の課題が残っているものの、ICM ハウジング取替工法の J 溶接の施工実績があるように、中性子照射量の低い RPV 底部近傍への適用に関しては、この溶接品質確保の課題はすでに克服されている。

表 1 に示す溶接補修と欠陥除去の組合せ工法のうち、①～③については、その施工により欠陥は存在しなくなるため、溶接品質が確保されれば、溶接継手強度には基本的な問題はないと考えられるが、④の欠陥封止溶接については、欠陥が残存し、炉水環境からの

隔離により SCC による欠陥の進展は回避されるもの、残存欠陥の疲労進展等を考慮した通常運転時、地震時での溶接継手強度評価方法を確立しておく必要がある。

4. まとめ

- ・ 国内プラントの高経年化に伴い、炉内機器の様々な部位の損傷事例が出現してきており、従来開発してきた特定の部位に適用する補修工法だけでは対応は十分でなく、様々な部位に汎用性をもって適用できる溶接補修の実用化のニーズが大きい
- ・ RPV 炉底部等の中性子照射量の低い部位への溶接補修の適用には、基本的に溶接品質上の課題はない。今後、欠陥を残した溶接補修工法である封止溶接の実用化に際しては、溶接継手強度評価方法の確立が必要である。

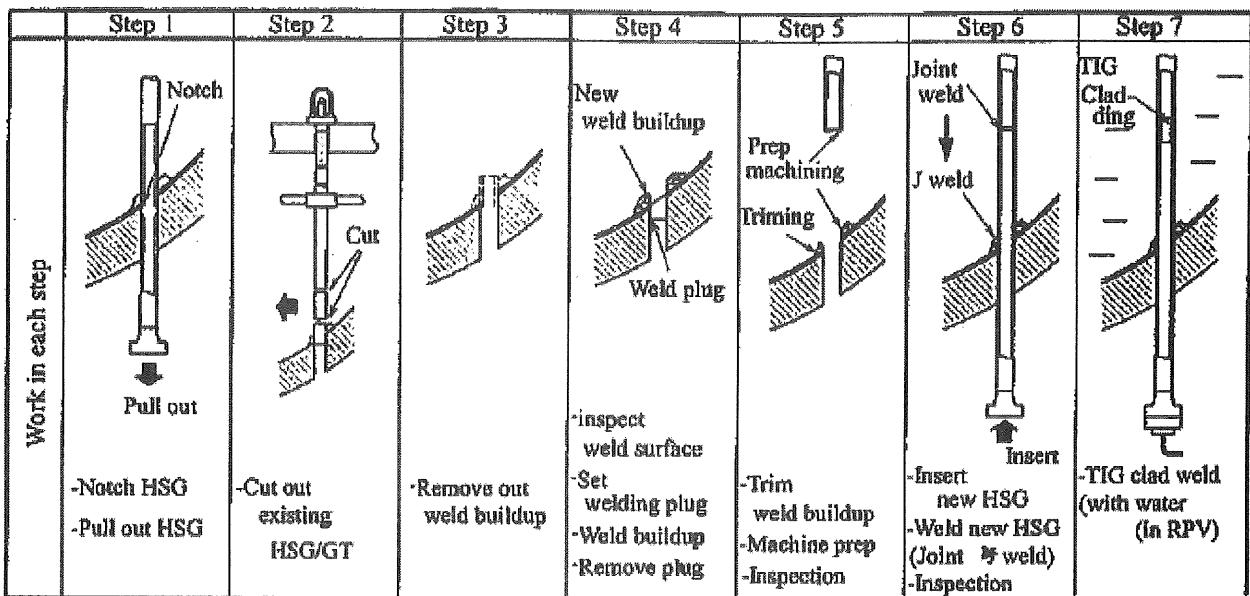


fig.1 ICMハウジング取替工事の概略手順

table 1 欠陥除去と溶接補修の組合せと適用対象部位

No.	補修工法	適用対象部位
①	欠陥除去	・欠陥除去したままで、強度裕度が高い部位
②	欠陥溶融溶接	・欠陥除去が困難な程、板厚が薄い部位 ・欠陥は浅いが、欠陥除去による強度裕度の低下を回避する必要がある部位
③	欠陥除去+除去部肉盛溶接（当初肉厚確保）	・強度裕度の低下を回避する必要がある部位
④	欠陥封止溶接 [又は欠陥表面に当て板を溶接]	・①～③が適用不可の部位 (欠陥残存だが、炉水から欠陥を隔離し、SCC 進展を回避)

注 1：欠陥除去は、研削等の機械的加工または放電加工により行う。

注 2：欠陥溶融溶接は、ノンフィラー溶接により欠陥をその周辺母材とともに溶融する。

注 3：欠陥封止溶接は、欠陥の表面開口部を肉盛溶接により封止する。