

実用技術紹介

原子炉容器出入口管台高速化INLAY 技術

下鍋 典昭* 大西 献* 大平 真*
 日並 一幸* 杉浦 篤*
 (*三菱重工業(株))

1. はじめに

加圧水型原子炉 (Pressurized Water Reactor: PWR) の一次冷却系統に用いられている 600 系ニッケル基合金溶接部は、高応力付加状態では応力腐食割れ (Primary Water Stress Corrosion Cracking: PWSCC) が発生する可能性があることはすでに知られている。PWSCC の発生は“材料”，“応力”，“環境”の三つの要因からなり、どれか一つの要因を取り除くことで PWSCC を予防することができる。

原子炉容器管台 (低合金鋼) と配管 (ステンレス鋼) の溶接部 (600 系ニッケル基合金) (図 1) における PWSCC 発生防止のため、管台内面全周を切削したあとに、耐 PWSCC 性に優れた 690 系ニッケル基合金に置換 (INLAY) する INLAY 工事 [1]~[3] において従来技術では以下の課題があった。

- ・作業員が手で施工装置を管台内に搬入および搬出するため、被ばくが大きい
- ・施工装置が大型のため、2 管台同時施工が限界であり、全管台工事は工期が長くなる

このような課題に対処すべく、新たに以下のコンセプトを有する高速化 INLAY 技術を開発した。

- ・高い精度が要求される溶接や検査作業などはロボットアームが実施する

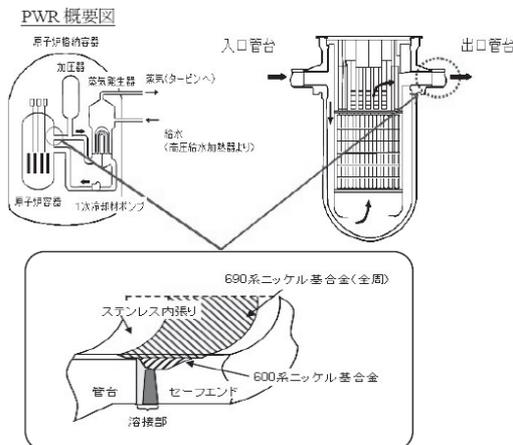


図 1 原子炉容器出入口管台溶接部形状

- ・大きな力が要求される切削装置などの大型専用装置は都度搬入して使用する
- ・施工装置の管台への搬入および搬出作業を遠隔操作化し、被ばくを低減する

これにより、従来の 2 管台同時施工から 3~4 管台同時施工が可能となり、約 2/3~1/2 に工期短縮した。

本稿ではこれらの内容を紹介する。

2. 高速化 INLAY 技術の概要

2.1 気中環境の創出

定期検査中の原子炉キャビティは、放射線の遮断のために水で満たされている。施工対象の管台は水中となることから、その状態での施工は困難を極める。放射線遮断と水中施工回避のために原子炉容器内に円筒容器を設置することで気中環境を確保した (図 2)。

円筒容器は高さ約 12 [m]、直径約 4 [m]、総重量約 80 [t] で複数のパーツで構成されている。円筒容器を原子炉容器内に設置したのちに管台内を排水し、円筒容器の“窓”を遠隔操作で開放することで管台へのアクセスが可能となる。

2.2 主要装置

高速化 INLAY 工事における主要装置を以下に示す (図 3)。

- ・マニピュレータ：各種工具を管台内へ案内および位置決めするロボットアーム
- ・マニピュレータベース：マニピュレータを積載し、管台前へ移動する
- ・ターンテーブル：旋回、昇降、伸展動作により大型の施工装置を管台内へ挿入する
- ・各種装置：軽量でマニピュレータ先端に搭載する管台検

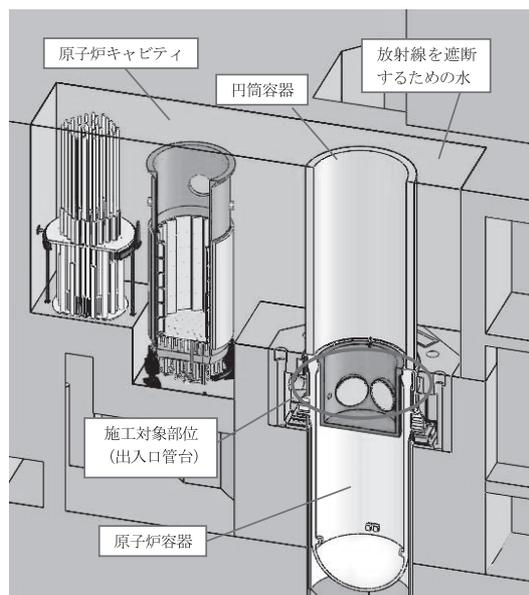


図 2 円筒容器を用いた気中環境創出

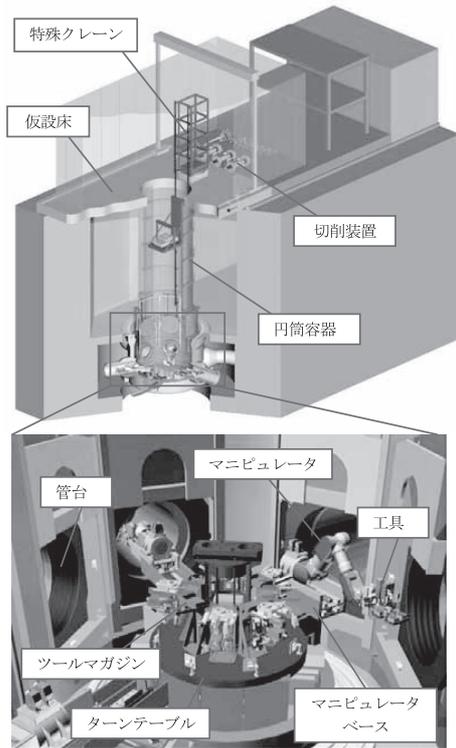


図3 INLAY 工事における主要装置

査や溶接等の工具と、マニピュレータ先端に搭載できない切削装置等の大型専用装置に大別される

- ・特殊クレーン: 切削装置等の大型専用装置や後述するツールマガジン等を円筒容器内に搬入出する

2.3 多管台並行作業

マニピュレータとマニピュレータベースおよびターンテーブルを円筒容器内に常設し、切削装置などの専用装置は使用時に都度搬入出する運用としている。

マニピュレータで作業を行う際は、各作業用工具を搭載したツールマガジンをターンテーブル上に搬入設置し、マニピュレータ自身で工具を交換する。これにより、工具交換時に人が介在する必要がなく、各種作業の完全遠隔化を実現した。主要作業を遠隔で実施することで、従来工法と比較し大幅な被ばく低減を図るとともに、複数管台同時施工による高速化により従来の人手介在工法に比べ短工期で高精度な工事が実施可能となった。

2.4 マニピュレータと溶接技術

本工事へ適用したマニピュレータは、一般産業や他の原子力関連工事に適用したものと設計コンセプトを共有しており、設計のモジュール化により、設計・製作期間を削減している [4]。

本工事では、溶接熱影響部の硬化領域を後続の溶接入熱により焼き戻すことで熱処理・予後熱を不要とするテンパード溶接技術を開発した。これによりヒータ設置が不要となり、溶接のロボット化を可能としている。

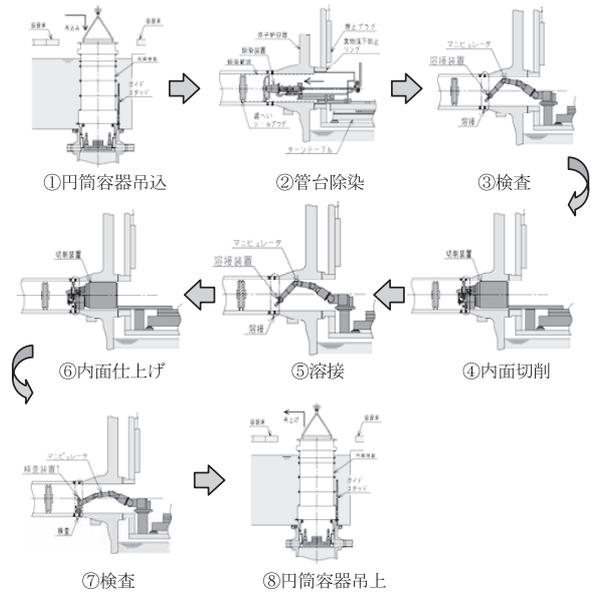


図4 INLAY 工事の概略工事手順

2.5 高性能切削技術

切削作業では $\phi 700$ の管台内径に深さ 3.5 [mm] の溝を正確に削る必要がある。管台は真円ではなく、また、切削装置の設置位置誤差を考慮し、切削ストロークをリアルタイムに制御しなければならない。従来は制御精度の制約から、加工速度が遅いミーリング加工しかできなかったが、微細制御の高度化により高速切削が可能なターニング加工を実現している。また、遠隔操作で刃物を交換する機構を有しており、切削装置を管台から搬出することなく刃物交換が可能である。これにより切削時間が従来約 $2/5$ となり、工期短縮に寄与している。

2.6 工事手順

図4に工事の概略手順を示す。②から⑦の作業を複数の管台で並行して実施する。

3. おわりに

世界初となる高速化INLAY工事は2010年8月に、2011年9月には2プラント目の工事を計画どおりに完了した。今後も、原子力プラントの安全運転継続のため、設備の信頼性向上に努める。

参考文献

- [1] 市木, 岩橋, 寺田, 中村, 山本: “大飯発電所における原子炉容器出入口管台予防保全対策工事の実施について”, 日本保全学会第7回学術講演会要旨集, A-5-5, 2010.
- [2] 光畑, 藤田, 大西, 津張, 細江: “マニピュレータ型ロボットを適用したプラント保全技術”, 日本保全学会第7回学術講演会要旨集, A-5-8, 2010.
- [3] “原子炉容器出入口管台 高速化 INLAY”, 三菱原子力情報サービス World Topical Review, 第10号, 2011.
- [4] 大西 (献), 時岡, 大西 (典), 弘津, 大道, 白須: “可搬式汎用知能アームの実用化”, 日本ロボット学会誌, vol.18, no.1, pp.55-56, 2000.