

# 核燃料再処理施設における溶接補修工法の開発

Development of welding repair procedures for nuclear fuel reprocessing facility

三菱重工業(株)	甲斐 喬	Takashi KAI	Member
三菱重工業(株)	嶋 和彦	Kazuhiko KAMO	Member
三菱重工業(株)	渡邊 智裕	Tomohiro Watanabe	Member
日本原燃(株)	加納 洋一	Yoichi KANO	Member
日本原燃(株)	高坂 充	Makoto KOSAKA	Member

## Abstract

If leak trouble occurs at nuclear fuel reprocessing facility, repair welding procedure with short construction period is necessary to keep the safety of facility. As repair welding procedures, build-up welding procedure and cover plate welding procedure have been developed. To get a good quality of repair welding joint without lack of fusion and burn through into inside, heat box control is applied to these welding procedures.

**Keywords:** Nuclear fuel cycle, Reprocessing facility, Repair welding, Build-up, Cover plate, Heat box

## 1. まえがき

核燃料サイクルの中核を担う日本原燃(株)が六ヶ所村に建設中の再処理施設(以下、「再処理施設」と示す)は試運転の最終段階に入っている。操業後の安定運転を継続するためには、再処理施設の配管等からの漏えいが発生した場合、応急的な補修を適用し、安全且つ迅速な設備の復旧が重要となってくる。

原子力発電所では、複数の補修工法が確立され、その適用方法等が民間規格として整備されている。一方、再処理施設の主要設備は、化学薬品(硝酸等)を保有したプロセスであり、化学プラントに類似していることから、原子力発電所で確立されている補修工法が適用できない場合がある。このことから、再処理施設に適した補修工法の技術検討を進めており、検討が完了した溶接補修工法について報告する。

## 2. 溶接補修工法の概要

再処理施設の容器・配管の特徴は、発電炉に比べて温度・圧力が低く、内部流体として水・蒸気以外に硝酸等の薬品が含まれていることである。この差異を考慮して

Table2-1 に示す溶接補修工法の条件を設定し、溶接補修工法として、Fig. 2-1 に示すような構造となる肉盛溶接と当て板溶接の2工法の検討を実施した。

Table2-1 Target of repair welding

適用部位	容器、配管、継手、弁等
対象材質	オーステナイト系ステンレス鋼 (SUS)、炭素鋼
内部流体	可燃物以外
適用温度・圧力	最高約 200°C、最高約 2MPa
対象板厚	SUS:2~25mm 程度 炭素鋼 3~35mm 程度
補修部位の状態	肉盛：表面は乾燥 (内部流体はドレン) 当て板：漏洩状態では接着材で一次止水

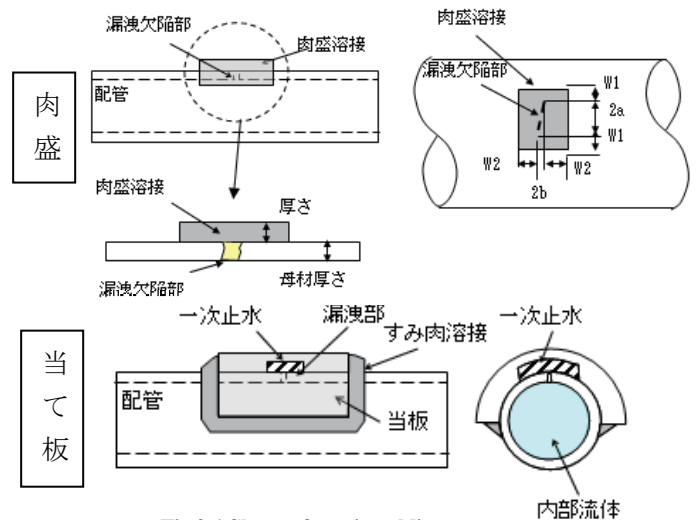


Fig.2-1 Shape of repair welding

連絡先:三菱重工業(株)、〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎町1-1-1、燃料サイクル技術課  
E-mail: takashi\_kai@mhi.co.jp

### 3. 肉盛溶接補修工法

#### 3.1 肉盛形状の検討

最大 4mm の円状欠陥が有っても内圧に耐えうる肉盛厚さに、腐食代を加えた厚さを必要肉盛厚さとした。計算例を Table3-1 に示す。なお、肉盛範囲は、安定な溶接施工が確保できる最小値として欠陥の両側に 10mm 加えた値とした。

Table3-1 Example of calculation results of build-up shape

	オーステナイト系ステンレス鋼		炭素鋼	
	配管	容器	配管	容器
漏洩防止に必要な厚さ(①)	0.5mm	0.4mm	0.4mm	0.4mm
腐食代(②)	0.3mm	2.0mm	1.0mm	1.0mm
肉盛溶接厚さ(①+②)	0.8mm	2.4mm	1.4mm	1.4mm
肉盛範囲	W1,W2 ともに 10mm			

#### 3.2 肉盛溶接条件の検討

肉盛溶接時の配管内面への溶け落ちは、内面の酸化物や汚れの巻き込みやオーステナイト系ステンレス鋼では溶融金属の酸化が問題となる。

そこで、溶接方法は手動 TIG 溶接とし、高入熱側では溶け落ち、低入熱側では融合不良が発生しない、かつ溶加材量とのバランスが取れた適正溶接条件範囲(ヒートボックス)を管理することで、溶接部の健全性を確保することとした。ただし、様々な板厚にも対処できるようにするため、Fig.3-1 に示すように代表板厚で求めたヒートボックスから板厚を跨った共通ヒートボックスで管理する考え方を採用した。

SUS304 での代表板厚で求めたヒートボックスと、共通化したヒートボックス Fig.3-2 に示す。また、炭素鋼での共通ヒートボックスを Fig.3-3 に示す。

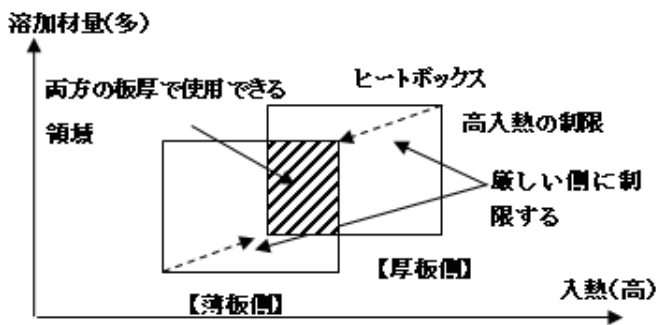


Fig.3-1 Concept of conditions control by heat box

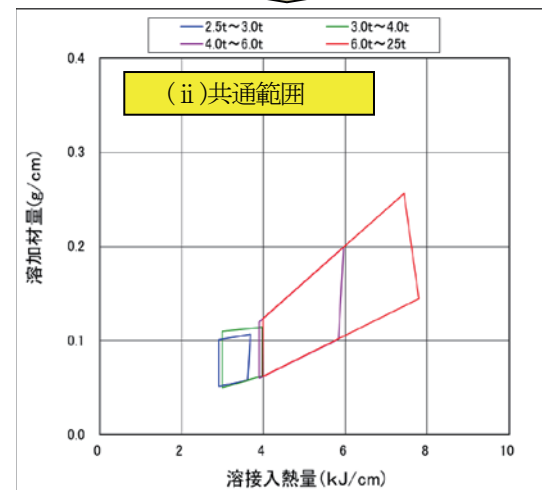
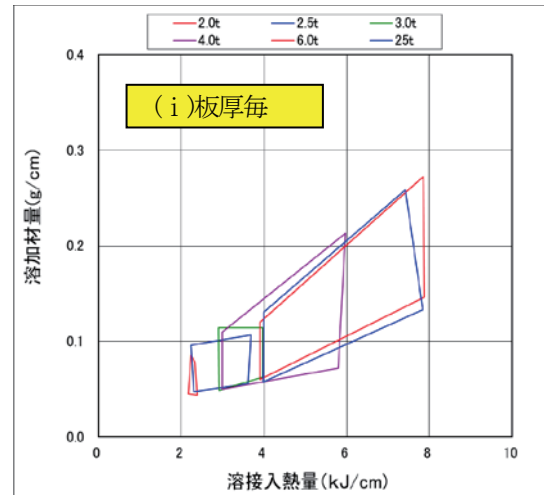


Fig.3-2 Heat box of SUS304

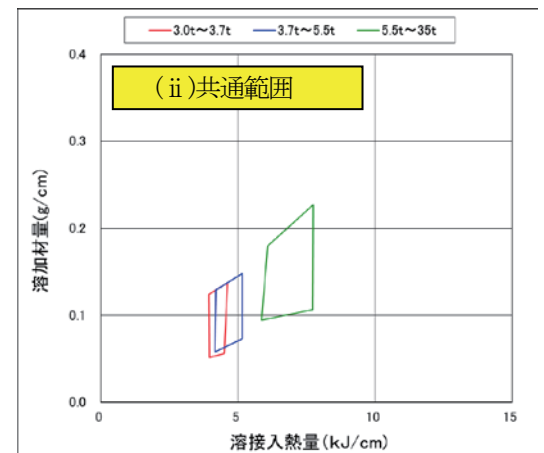


Fig.3-3 Heat box of carbon steel

Fig.3-2 に示す共通ヒートボックスを用いて、漏えい欠陥を想定した放電スリット (0.3mm<sup>W</sup>×4mm<sup>L</sup>) を設けた最小板厚と最大板厚の管および平板に肉盛溶接した結果を Fig.3-4 に示す。溶接ビード外観と断面マクロとも、アンダーカット、溶け込み不良、溶け落ち等の溶接欠陥の

無い良好な結果であった。

なお、溶接後の検査で欠陥が見つかった場合には、更に補修溶接を実施する必要があることから、最大3回補修溶接を実施しても健全な溶接部が得られることを試験により確認している。

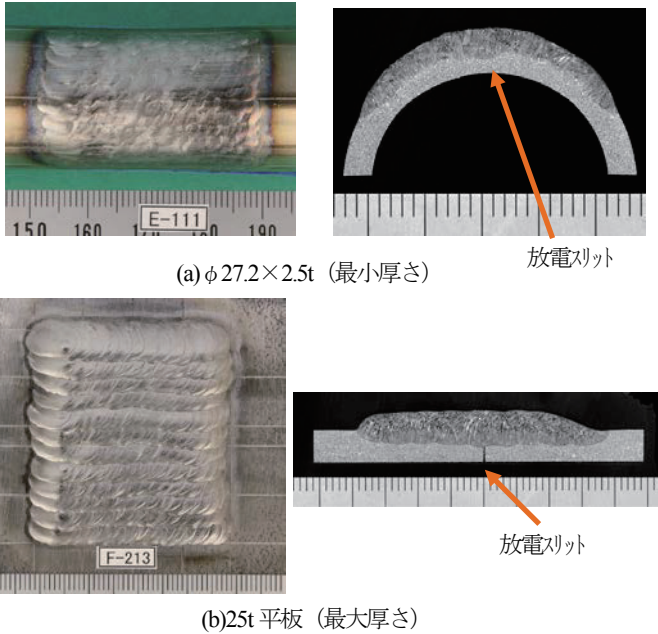


Fig.3-3 Result of macro section test (SUS304)

#### 4. 当て板溶接補修工法

##### 4.1 当て板形状の検討

再処理施設で必要とされる容器・管の厚さとすみ肉溶接時の施工性を考慮して検討した当て板の形状(例)をTable4-1に示す。

##### 4.2 当て板溶接条件の検討

当て板溶接時の配管内面への溶け落ちは、肉盛溶接と同様、内面の氧化物や汚れの巻き込みやオーステナイト系ステンレス鋼では溶融金属の酸化が問題となる。

そこで、溶接方法は手動TIG溶接とし、肉盛溶接と同じく適正溶接条件範囲(ヒートボックス)の管理により溶接部の健全性を確保することとした。

肉盛溶接では、欠陥を通じて溶接金属と内部流体が接すると溶接欠陥が発生するため、内部の流体は必ずドレンすることが必須である。一方、当て板溶接では接着材等で一次止水した後に当て板を取り付ける手法を用いることができ、その場合は内部のドレンは不要となる。そこで、ヒートボックスの作成に当たっては、内部に水が無い状態と内部に水がある状態の2種類のヒートボックス

を作成した。Fig.4-1~Fig.4.4にオーステナイト系ステンレス鋼と炭素鋼の水有り無し共通ヒートボックスを示す。Fig.4-5にSUS304の最小板厚となるφ13.8×2.0t管を水冷無しで施工した場合の外観と断面マクロ試験結果を示すが、健全な溶接部であった。

Table4-1 Example of calculation results of cover plate shape

材質	母材厚さ	規格必要厚さ*1	必要脚長*2	採用する当て板厚さ*3	欠陥からの距離*4
オーステナイト系ステンレス鋼	2.0	0.8	3.0	3.0	10
	2.5	0.9	3.0	3.0	10
	3.0	0.8	3.0	3.0	10
	3.9	1.0	3.0	3.9	10
	6.4	1.3	3.0	6.4	12.8
	12.0	13.7	13.7	12.0	24
炭素鋼	25.0	25.2	25.2	25.2	50
	3.0	2.2	3.0	3.0	10
	3.9	2.7	3.0	3.9	10
	4.9	3.0	3.0	4.9	10
	9.0	6.1	6.1	9.0	18
	35.0	38.4	38.3	38.4	70

注1: 腐食代を含む (単位: mm)  
 注2: 当て板必要厚さが3.0mm未満の場合は、溶接施工性を考慮して3.0mmとした  
 注3: (母材厚さ), (必要厚さ), (3mm)の内、最も大きいもの  
 注4: (欠陥寸法×1/2), (10mm), (2t)の内、最も大きいもの (欠陥寸法: 4mm、t: 母材肉厚)

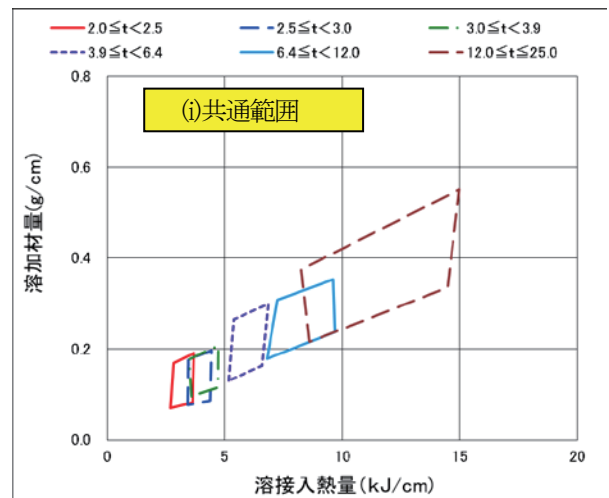


Fig.4-1 Heat box of carbon steel (Without Water cooling)

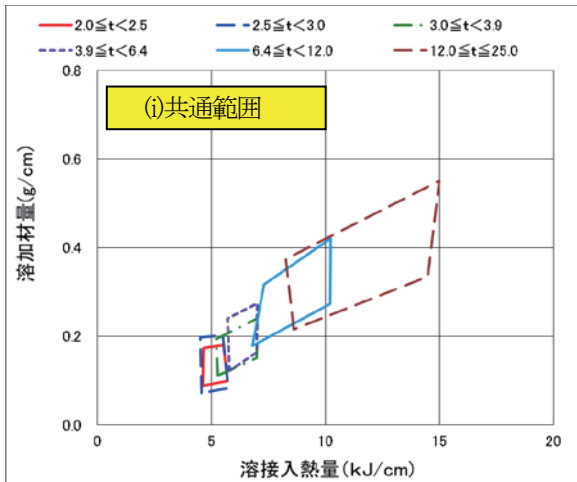


Fig.4-2 Heat box of carbon steel (With water cooling)

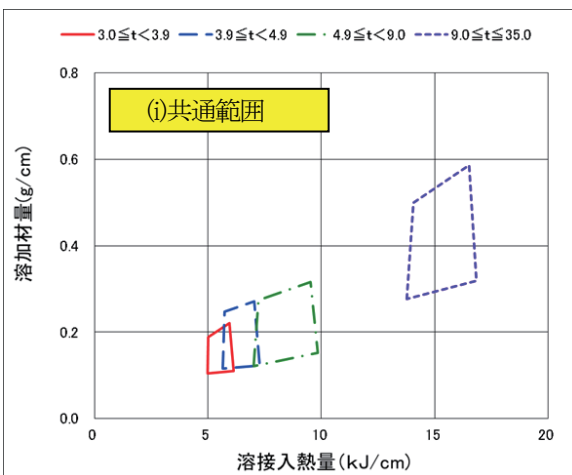


Fig.4-3 Heat box of carbon steel (Without Water cooling)

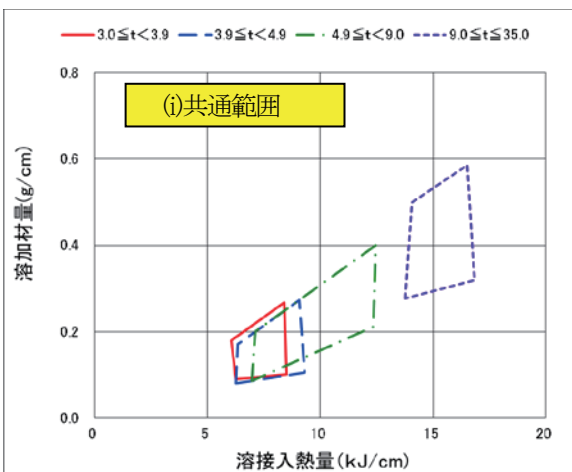


Fig.4-4 Heat box of carbon steel (With water cooling)

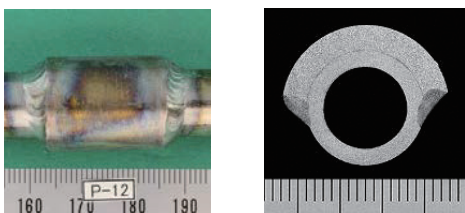


Fig.4-5 Result of macro section test (SUS304)

最後に、Fig.4-6 に示すように現地施工で想定される狭隘箇所でも本試験で求めたヒートボックス管理で溶接施工ができることを確認した。

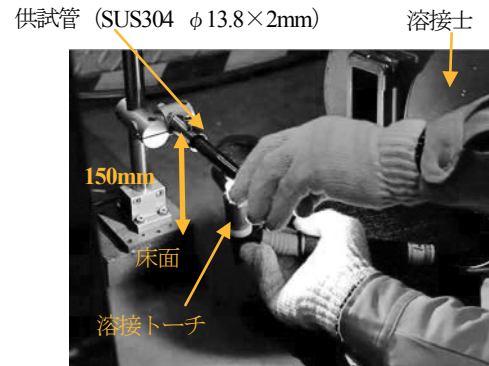


Fig.4-6 Simulated welding test for actual job

## 5. まとめ

再処理施設の容器・配管を対象に、運転中に漏えいが発生した場合の補修工法として、肉盛溶接工法と当て板溶接工法を確立した。両溶接補修工法とも、溶接条件をヒートボックス管理する手法を用いることで、補修溶接部の品質が確保できることが確認された。

本試験の成果は、再処理設備規格 維持規格の原案としてまとめられ、(一社)日本機械学会での審議を経て民間規格として制定される予定である。

## 6. 謝辞

本検討は、日本原燃(株)から三菱重工業(株)が受託した委託研究であり、本補修技術は(一財)発電設備検査技術協会を事務局とした第三者(学識経験者)による確性委員会でのその妥当性を確認いただいた。また、試験計画と検討段階での成果及び課題等については、(一社)日本高圧力技術協会に設置された再処理設備規格委員会にて報告を行い、指導・助言を頂いた。関係者に謝意を表す。

## 参考文献

- [1] (一社)日本機械学会：発電用原子力設備規格 維持規格 (2010年追補版) JSME S NA1-2010