

## プラント圧力設備の溶接補修

山本技術士事務所 山本 栄一  
(化学機械溶接研究委員会)

### 1. はじめに

近年、国内外の石油・化学プラントや電力・ガスプラントは運転開始から長期間経過している設備が多く、設備保全管理の重要性が増しています。これらのプラントは加熱炉、反応塔、塔・槽、熱交換器、貯槽、配管などの圧力設備から構成されます。

化学機械溶接研究委員会（以下、委員会）では2004年から圧力設備の溶接補修技術調査を行い、2009年に「プラント圧力設備溶接補修指針（以下、溶接補修指針）」を刊行しました<sup>1)</sup>。

ここでは、プラント保全管理の動向と溶接補修指針の概要について概説します。

### 2. 保全技術の動向

プラント設備管理については、自由化による国際競争、設備の老齢化、技術進歩などの環境変化から、これまでの設計基準（仕様規定）から性能規定化が進められています。維持基準には関連学協会で作成された民間規格が活用されています。早くから、ASME（米国機械学会）とAPI（米国石油学会）では供用中設備の適切な保全を目的として、**図1**に示すように、リスクを基準とした検査基準（RBI）、欠陥の供用適性評価（FFS）基準、補修（Repair）基準についての維持規格化を行っています。

国内でも、米国での動きに対応して、（社）石油学会（JPI）や（社）日本高圧力技術協会（HPI）で維持規格化が行われております。溶接補修指針は、補修についての維持規格化に繋がるものです。

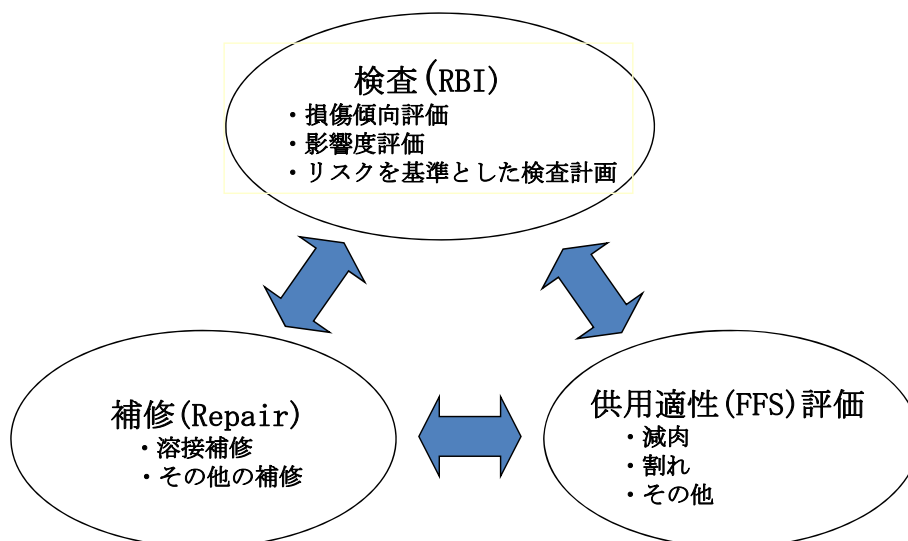


図1 維持規格の体系

### 3. 溶接補修指針作成経緯

委員会では2004年に、溶接補修指針の作成を目的として圧力設備溶接補修小委員会（以下、小委員会と呼ぶ）を発足しました。事前準備として溶接補修事例や溶接補修に関する技術調査を行い、活動成果は「溶接補修技術に関するシンポジウム」の開催やASME PVPでの発表などで公開しています。2009年11月には溶接補修指針（図2）を刊行しました。



図2 プラント圧力設備溶接補修指針

### 4. 溶接補修指針

#### 4.1 作成方針

溶接補修指針は以下の観点から作成しました。

- (1) 石油・化学プラントを対象とするが、他の産業分野の設備にも利用できる内容にする。
- (2) 設備ライフサイクル、設備保全・診断と溶接補修を関連付ける。
- (3) 圧力設備について損傷検出、損傷原因特定、再発防止策検討、溶接補修検討、溶接補修実施、安全性確認までの手順の体系化。
- (4) 溶接補修の計画・実施は関連法規を遵守することは当然のことであるが、法規・規格の規定にとらわれないで、国内外での長年にわたる実績がある溶接補修方法について技術調査結果や技術変遷を考慮して技術的な観点からまとめる。
- (5) 設備保全技術者の利便性を考慮し、ガイドブック的な観点から作成する。現場においてニーズの高い個別劣化・損傷の溶接補修については、できるだけ具体的な内容とする。
- (6) 我が国の主要法規における溶接補修に関する規定を示すとともに、米国の維持規格（溶接補修関連）についての調査結果を示す。

## 4.2 構成及び内容

溶接補修指針の構成と概要は以下のとおりです。

### (1) 第1章 溶接補修一般

適用範囲、プラントの構成材料と劣化損傷、溶接補修の位置付け、溶接補修の検討手順、標準的な溶接補修施工要領などについて示します。プラント設備には炭素鋼を基本として低合金鋼、ステンレス鋼、ニッケル合金、銅合金、チタンなど多種類の金属材料が使用されています。

運転条件、腐食媒も多岐にわたるため、腐食、割れ、材料劣化など多岐にわたる劣化・損傷が問題になります。これらの劣化・損傷にはプロセス条件（温度、圧力、流体、微量成分、流速など）、材質（種類、微量成分、熱処理／組織など）や圧力容器構造、製作方法など多くの因子が影響します。

プラント設備の多くは経年劣化によって徐々に寿命を消費し、予期されなかった損傷の発生によって補修や更新が必要となります。劣化や損傷が検出された場合には、少なくとも次回の定期保全検査（SDM）まで問題なく運転できることが必須条件となるため、状況に応じて応急補修あるいは恒久対策が必要になります。いずれの場合にも溶接補修の必要性は高く、設備保全上重要な位置を占めます。

圧力設備の損傷に対する診断・溶接補修検討の基本的な手順例を図3に示します。溶接補修検討に当たっては、設備診断技術を駆使し損傷部の特定、原因究明、溶接補修の要否・可否の判断、再発防止策などを総合的な観点から検討することが必要です。

溶接補修の可否判断、溶接補修要領の作成及び溶接補修施工管理は、溶接管理技術者（WES 8103）が行うことが望まれます。

現地補修は工場補修に比べて作業性が大幅に劣るため、品質を確保するためには綿密な計画と作業管理が重要です。不適切な溶接補修は品質の低下を招き、新たな損傷や重大トラブルの原因になるため、溶接補修はできるだけ避けることが必要です。

考慮すべき要因としては、内部流体・スラッジ・スケールなどの除去、天候条件や作業場所、補修検討および工事期間が短いなどがあります。溶接施工の観点からは、厳しい拘束条件下での溶接、経年劣化による溶接性の低下、溶接作業性の低下、予熱・直後熱・PWHTの困難さなどがあげられます。

現地溶接補修は工場での新規製作時の溶接と比較して、工期、作業環境、溶接施工上などの点で厳しくなるため、溶接補修要領の検討において留意することが重要です。

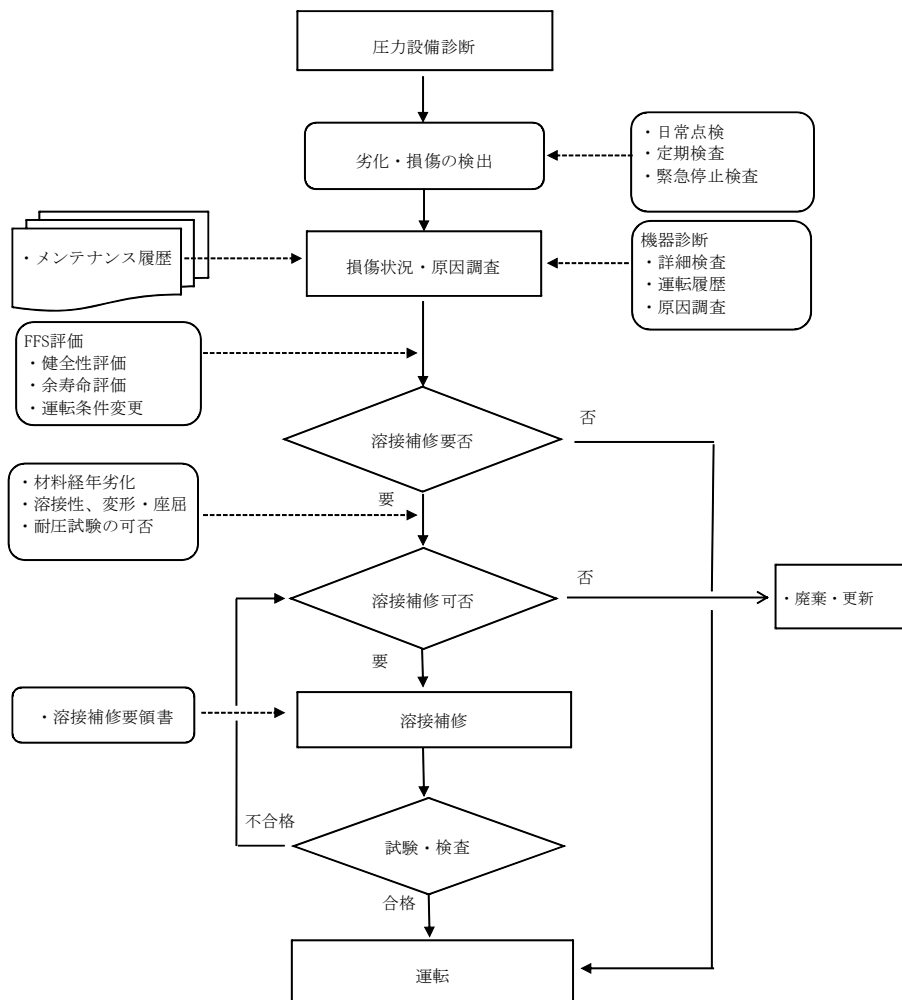


図3 設備診断と溶接補修の検討手順例

## (2) 第2章 溶接補修方法

グループ溶接（欠陥を除去後）、肉盛溶接（減肉部など）、当て板溶接、窓形溶接（部分更新）について、標準的な施工要領を示します。

補修方法は、損傷の形態（種類、程度など）に応じて適切に選定することがポイントであり、損傷の再発防止の観点からの検討も必要です。

一例として、炭素鋼とステンレス鋼についての主な損傷形態、溶接補修方法および留意点を表1に示します。経年劣化材の溶接性低下や溶接変形を考慮する他、損傷の再発防止や溶接補修に起因した損傷の防止が必要です。

表 1 主な損傷形態と溶接補修における留意点

材料区分	主な損傷タイプ	原因	溶接補修方法			問題点	留意点
			肉盛溶接	当て板溶接	部分更新		
炭素鋼	全面減肉	腐食	×	△	○	溶接による変形	・腐食軽減策（耐食材料、インヒビター注入による腐食性低減）
	局部減肉	外面腐食など	○	○	○	硬化、低温割れ	・ショートビードを避ける。 ・予熱、テンパービード、PWHT
	硫化物応力割れ	湿潤 H <sub>2</sub> S、硬化	○	×	○	・水素吸蔵による低温割れ ・硬化（>235HB）による再発	・脱水素処理、予熱、多層盛、ショートビード禁止 ・テンパービード、PWHT などによる硬化防止 ・環境遮断（溶射など）
	アミン SCC	残留応力	○	△	○	溶接補修による残留応力	・PWHT、環境遮断（溶射など）
	アンモニア SCC	硬化、残留応力	○	△	○	硬化（>210HB）部での再発	・予熱、多層盛、ショートビード禁止 ・テンパービード、PWHT、環境遮断（溶射など）
	水素誘起割れ	湿潤 H <sub>2</sub> S、偏析（MnS など）	△	△	○	水素吸蔵による低温割れ	・脱水素、予後熱、テンパービード・環境遮断（溶射など） ・耐 HIC 鋼による部分・全体新更
	水素侵食	高温高压水素、硬化	△	△	○	・損傷程度、部位・分布 ・水素吸蔵による低温割れ	・損傷範囲が限定的な場合、応急策として溶接補修+PWHT ・恒久策として、耐水素侵食性材による部分・全体更新
	溶接欠陥（製作時）	低温割れなど	○	△	△	硬化、低温割れ	・予熱、溶接材料の乾燥。 ・ショートビードを避ける
オーステナイト系ステンレス鋼	局部腐食（孔食）	塩化物	○	△	○	高温割れ（ショートビード）	・フェライト管理、クレータ処理。 耐孔食性溶接材の採用 ・電気防食（犠牲陽極など）
	塩化物 SCC	塩化物、残留応力	△	△	○	割れ部位・分布、再発防止	・高 Ni 溶接材による補修溶接 ・残留応力軽減（ピーニング）、環境遮断（溶射など）
	粒界 SCC	鋭敏化、ポリチオン酸など	△	○	○	割れ部位・分布、鋭敏化	・HAZ での SCC の場合、溶接補修+環境遮断（溶射など） ・広範囲の場合、耐鋭敏化材による当て板、更新
	溶接欠陥（製作時）	高温割れなど	○	△	△	割れ再発	デルタフェライト管理、クレータ処理、入熱・パス間温度管理
共通	クリープ割れ	高温、応力集中	△	△	○	部位・分布	・応力集中軽減（スムーズ仕上げ） ・応力低減（サポートなど）
	疲労割れ	繰返し応力、応力集中	○	△	○	部位・分布、割れ再発	・応力集中軽減（スムーズ仕上げ） ・振動軽減（サポートなど）

記号：○：適する、△：条件により適用、×：適さない

### (3) 第 3 章 材料別溶接補修要領

炭素鋼・高張力鋼、低温用鋼、Cr-Mo 鋼、ステンレス鋼、耐熱合金鋳造品、ニッケル合金・Alloy 800 系合金、銅及び銅合金、チタン及びチタン合金、クラッド鋼と異材溶接について、材料特性、溶接性、標準的な補修溶接要領及び溶接補修施工上の留意点を示します。

#### (4) 第4章 劣化・損傷と溶接補修における留意点

第1章から4章では、抽象的な内容になりやすいため、石油・化学プラントの圧力設備で問題となりやすい代表的な項目について、劣化・損傷の特徴、溶接補修事例、溶接補修における留意点などをできるだけ具体的に示しています。

- ・ステンレスクラッド厚肉 Cr-Mo 鋼製圧力容器における劣化・損傷と溶接補修
- ・塩化物応力腐食割れの溶接補修
- ・液体アンモニア応力腐食割れの溶接補修
- ・湿潤硫化水素損傷の溶接補修
- ・経年劣化材の溶接補修

#### (5) 第5章 国内外の溶接補修に関する法規・規格

国内において、法規適用の設備についての溶接補修の計画・実施においては、関連法規を遵守することが必要になるため、我が国の主要法規における溶接補修に関する規定を紹介し、参考として米国の維持規格（ASME, API：溶接補修関連）についての調査結果を示しています。

### 5. WES 規格化

上記のとおり溶接補修指針を刊行しましたが、関連業界から維持規格として活用するためには溶接補修に関する民間規格化についての強い要望がありました。これに対応するため、2010年8月に「溶接補修 WES 原案作成委員会」を発足し、溶接補修指針を基に以下について WES 規格化を進めています。これらの規格はパブリックコメント公募を経て規格委員会などの審議及び理事会によって承認され、日本溶接協会規格として2012年7月1日に正式発行される予定です。

- WES 7700-1 圧力設備の溶接補修 第1部：一般
- WES 7700-2 圧力設備の溶接補修 第2部：きず除去と肉盛溶接補修
- WES 7700-3 圧力設備の溶接補修 第3部：窓形溶接補修
- WES 7700-4 圧力設備の溶接補修 第4部：外面当て板溶接補修

### おわりに

「プラント圧力設備溶接補修指針」は溶接補修技術を体系的に取り纏めており、設備保全における溶接補修検討、実施において活用できるほか、若手技術者の教育や技術継承にも役立つものと思います。関係者には溶接補修指針を広く活用していただき、利用者の皆様からの意見・要望を基に、溶接補修指針の見直し・拡充を継続して行くことが肝要と考えています。

### 参考文献

- (1) プラント圧力設備溶接補修指針、JWES-CP-0902、2009年11月、化学機械溶接研究委員会、(社)日本溶接協会

以上