化学装置の腐食損傷と溶接補修に関する法規*

原 泰 弘**

** 早稲田大学 各務記念材料技術研究所

The Regulation about Damage to Chemistry Equipment and Welded Repairs*

Yasuhiro Hara**

** Waseda University Laboratory for Materials Science and Technology

In Japan, main unit of oil refineries have been operating for 20 years or more. Many places of business receive authorization of the self-imposed maintenance engineering organization for extension of the open inspection of plant for production. However, accidents due to corrosion etc. have still been occurring frequently. In the Japanese chemical equipment field, safety evaluation method is not fixed yet. At present, the four law of Safety Act is applied to the defected equipment. The method requires that the defects are to be removed and to be recovered to the minimum thickness by repair welding etc. In this paper, the accident occurrence situation of chemical equipment and tanks are shown, and describes relation between the deposit repair welding and four law of Safety Act.

Key words : chemical equipment, damage accident, repair welding, four law of Safety Act, post construction standard

1. は じ め に

石油精製, 石油化学工業等の化学装置に使用される各種反応塔などの塔類, 分留槽などの槽類, 熱交換器, 配管などの機器は老朽化が進んでいる。例えば, 石油精油所の蒸留装置, 分解装置, 脱硫装置などを構成する主要機器は1963年から1982年までに建設され, 20年を超える使用年数の機器が全体の4分の3を占めている¹⁾。一方, 設備管理技術, 自主保安体制の強化に伴い, 高压ガス保安法では1997年に認定保安検査実施者の認定制度をスタートした。現在, 通商産業大臣の認定を受けた認定保安検査実施者(以下実施者と称す)の高压ガス製造のための製造設備の開放検査周期は最大6年となっている²⁾。また, 寿命管理技術に基づいて機器の開放検査周期の延長が可能となり, 現在, 長いもので12年となっており³⁾, 多くの実施者(事業所)が認定を受けている。なお, ボイラー及び第一種压力容器では2004年から連続運転認定制度を発足した。

しかしながら, いまだ孔食などの局所的な腐食減肉や割れなどを原因とする火災, 爆発, 漏洩事故が多発している⁴⁾⁻⁷⁾。日本では化学装置分野での維持規格がまだ整備されておらず, 十分な安全評価は行われていない⁸⁾。現状, 化学装置の腐食などの損傷は高压ガス保安法, 消防法, 労働安全衛生法, 石油コンビナート等災害防止法(以下保安4法と称する)からなる保安4法の技術基準が適用され, 割れ, 局部腐食などの欠陥は除去され, それによる減肉箇所は

設計上の必要最小肉厚以上への回復が要求される。

ここでは, まず, 国内における化学装置の内部流体の漏洩による爆発, 火災などによる事故発生状況⁴⁾, タンクの補修状況を述べ⁹⁾, 損傷機器に対する保安4法に示されている溶接補修, 特に, 肉盛溶接補修を取り上げ, 肉盛溶接補修と保安4法との係わりに関する調査結果を示す。

2. 国内事故発生状況

2.1 圧力容器の事故発生状況

図1は1989年から2007年までの石油化学, 石油精製, 及びそれ以外の醸造, 医薬などの一般化学装置に発生した保安4法に係わる717件の事故件数を示している⁴⁾。高压ガス保安法に係わる事故は287件で最も多く報告された。図2は1965年から2007年までの石油化学, 石油

損傷事故例(717件(1989-2007))

図1 保安4法に係わる石油化学, 石油精製, 一般化学の事故発生件数

* 材料と環境 2012 (東京, 2012) で発表

** 〒146-0095 東京都大田区多摩川 1-23-12 (1-23-12, Tamagawa, Ohta-ku, Tokyo, 146-0095 Japan)

図2 高压ガス保安法に係わる石油化学，石油精製，一般化学の事故発生件数

図3 高压ガス保安法届け石油精製装置の損傷形態

精製，一般化学装置における高压ガス保安法届け出 530 件の事故件数それぞれの割合を示す³⁾。高压ガス保安法に係わる届け出事故は冷凍，LP ガスなど他事業を含めると計 6380 件の報告があった。そのうち石油精製に関しては 116 件を占めた。図 3 は損傷による事故のあった石油精製装置の損傷形態を示す。損傷原因の中で，腐食が 49% と最も多く報告された。高压ガス保安法関係事故件数は認定保安検査実施者制度の導入にもかかわらず，1999 年以降増加傾向にあり，2005 年に 65 件と過去最高となっており⁶⁾，事故増加に注意を要する。

2.2 タンク補修概要

タンクの開放検査周期は基礎を含めた耐震性を考慮した新法タンク¹⁰⁾と旧法タンクで異なる。さらに，底板の耐食性を考慮した内面のガラスフレック又はガラス繊維強化プラスチックコーティング，基礎表面へのアスファルトサンド施工により 2 年程度の開放検査周期が延長される¹¹⁾。表 1 は 2006 年度における容量 1000 kL 以上の 679 基のアニュラ型特定屋外タンクについて定期保安検査，臨時保安検査，変更の完成前検査に関する審査実施後の補修概要を示す⁹⁾。底部の補修を

実施したタンクは 648 基で全体の 96% に及んでいる。このうち旧法タンクの補修率は 97%，新法タンクでは 88% となっている。側板の補修は 366 基であり，全体の 54% を示した。このうち新法タンクでは約 30% であった。全タンクのうち全く補修のなかったタンクは約 0.7% であり，ほとんどのタンクは何らかの補修が行われていた⁹⁾。アニュラ板の全取替えは 105 基で，いずれも腐食進行に伴うもので，一方，新法タンクの全取替えは裏面腐食によるものであった。アニュラ板，底板内面の損傷はスラッジ，バラスト水などによる孔食，局部腐食によるものがほとんどで，溶接線の 90% に何らかの補修が施された。一方，裏面は基礎からの塩化物イオン，水分による腐食減肉を生じる。更に，耐用年数を 20 年とする¹²⁾コーティング施工タンクもコーティングの施工不良，劣化により腐食減肉などを発生し，内容物の漏洩を生じた。また，アスファルトサンドの劣化・変質による基礎からの水分による裏面腐食を生じている¹³⁾⁻¹⁵⁾。危険物施設における火災・漏洩事故件数は 1994 年以降増加が続いており，2005 年には火災 188 件，漏洩 392 件と過去最高となっている⁷⁾。

3. 溶接補修の位置付け

石油精製・石油化学機器の供用中検査で不合格部位に適用する維持規格は現在検討中である。ここでは，溶接補修に関して ASME (米国機械学会 National Standard American Society of Mechanical Engineers) の例と日本の法体系を示す。

3.1 米 国

溶接補修は損傷箇所の供用適性評価¹⁶⁾ (Fitness For Service 以下 FFS と略す) のレベル 2 またはレベル 3 の評価で不合格となった場合に応急あるいは恒久策として実施される。原子力以外のボイラー，压力容器，配管，パイプライン，貯蔵タンクを対象とする。図 4 に示すように 1995 年には ASME 維持規格委員会 (ASME Post Construction Main Committee) が設立され，ASME の維持規格の一環とし FFS，リスク・ベース・インスペクション (Risk Based Inspection 以下 RBI と略す) と共に，1999 年補修小委員会 S/C Repair & Testing が設立された。2006 年には，ASME 維持規格压力容器と配管の補修 (ASME PCC-2-2006 Repair of Pressure Equipment and Piping¹⁷⁾) が発行された。ここには，溶接補修，機械的補修，非金属補修方法による 20 種類の補修方法が示されている。しかしながら，応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking

表 1 アニュラ板タイプタンクの補修概要 (2006, 679 tanks, 1000 kL>)

タンク 部位	補修部	補修方法					肉盛溶接
		全替	部分取替	当板	溶接線補修		
底板 648(93) ⁽¹⁾ 96%	アニュラ板	105(3)	67(6)	4	S/A	A/A	348(47)
	底板	74(1)	69(4)	46(6)	A/B	B/B	
側板 366(32) ⁽²⁾ 54%	側板最下段	40(2)	56(3)	8(1)	内面	外面	164(16)
					134(14)	70(2)	

0:新法タンク、(1):底板補修基数、(2):側板補修基数、S:側板、B:底板、A:アニュラ板

図4 ASME PCMC 委員会の構成

以下 SCC と略す), 硫化物応力割れ (Sulfide Stress Crack 以下 SSC と略す) などの割れや, 材料劣化などの具体的損傷形態に対する補修手順は示されていない。

3.2 国内

日本では, 化学装置に対する維持規格が十分整備されておらず, 局部腐食を含む腐食などで減肉を生じた場合, 必要最小肉厚に達しない余寿命管理が行われるのみである¹⁸⁾。必要最小肉厚以下となる腐食は欠陥として処理される。同様に, オーステナイト系ステンレス鋼の SCC, 炭素鋼, C-0.5Mo 鋼, Cr-Mo 鋼などの低合金鋼の SSC などの割れ欠陥もグラインダーで割れを完全に除去し, 肉盛溶接などにより将来腐食代を含む必要最小肉厚以上に回復する必要がある。これまで, 溶接補修に関する補修要領が示されている¹⁹⁾⁻²¹⁾。図5は定期自主検査などで機器などに欠陥が検出された時に溶接補修を実施し, 継続使用するまでのフローを示す。この時, 所轄官庁や法的な要求としては FFS による安全性評価を対象外として

図5 溶接補修フロー

適用されていない。

4. 溶接補修と法規

4.1 法令の体系

表2は施設・装置の保安, 技術上の基準, 溶接補修に関する労働安全衛生法, 高圧ガス保安法, 及び消防法の各法令の体系の概要を示す。一般に, 法令は法律, 政令, 省令, 告示, 通達などの段階により運用される。法律(法令)は災害を防止するために必要な規則の基本的事項をとりまとめたものであり, 官報により公布されて施行

表2 法令の体系

ボイラー及び圧力容器 (厚生労働省所轄)	高圧ガス設備 (経済産業省所轄)	消防法 (総務省所轄)
労働安全衛生法 (1972年法律 第57号)	高圧ガス保安法 (1953年法律第204号)	消防法 (1948年法律186号—2006年3月31日)
労働安全衛生法施行令 (1972年政令第318号)	高圧ガス保安法施行令 (1997年政令第20号)	危険物の規則に関する政令 (1959年政令第306号)
ボイラー及び圧力容器安全規則(1972年労働省令第33号) 第41条 変更届 法 第88条第1項 変更、休止及び廃止	特定設備検査規則 (1976年通商産業省令第41号: 特定則)	危険物の規則に関する規則 (1959年総理府令第55号)
厚生労働省告示 ・ボイラー構造規格 ・圧力容器構造規格など	高圧ガス保安法施行令関係告示 (1997年3月通商産業省告示第139号) 製造細目告示(1975年8月1日通商産業省告示第291号) 16条 軽微な欠陥 例示基準 特定設備検査規則の機能性基準の運用について 別添1 特定設備技術基準の解釈	危険物の規則に関する技術上の基準の細目を定める告示(1974年自治省告示第99号) 危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令等の施行について(1994年9月1日消防法73号消防庁危険物規制課長) 屋外貯蔵タンクの腐食防止等の状況に係わる要件(4)特定屋外タンク本体の補修

され、法律としての効力を発生する。施行令（政令）は法律の対象となる範囲、種類、手続きを具体的に定めたものであり、内閣で制定され、主任の国務大臣の署名により官報に公布される。安全規則（省令）は法律や政令を円滑に施行するために更に詳細な手続きや方法、具体的な実施事項などを定めたもので、法律や政令に基づいて各省大臣が出す命令、規則をいう。告示・通達は都道府県担当部局が製造を許可する基準、構造基準や細部の規定などの詳細な技術的基準を定めている。以下に、労働安全衛生法、高圧ガス保安法、消防法に示される欠陥と溶接補修に関する主な規定内容について示す。

4.2 労働安全衛生法

ここでは、ボイラー及び压力容器安全規則に示される機器の改造、補修について示す。腐食などの減肉により溶接補修などに伴う小規模な変更届け、変更検査の受理は図6に示すように労働基準監督署（343署）が行う²²⁾。変更届けは変更工事開始日の30日前までに所轄労働基準監督署所長宛に提出する必要がある²³⁾。最小必要肉厚を下回る箇所の溶接補修や肉盛溶接範囲が広がる場合、原因、検査結果と溶接補修方法を所轄労働基準監督署に説明し、指導、了解を得る必要がある。具体的実施事例は毎年開催される全国工作者大会質疑応答集が参考になる。

4.2.1 具体的な実施例

a. 少量のピンホール程度の腐食を肉盛溶接する場合は変更届けを要しないが、腐食範囲が広がる場合には、所轄労働基準監督署との相談が望ましい²⁴⁾。

b. 腐食により板厚が必要最小肉厚以下となる場合、腐食状態などの十分な資料を準備して、所轄労働基準監督署と相談する必要がある。労働安全衛生法において、肉盛溶接は、腐食などによる減肉の進行を防止する目的で行うため、強度を補うものとしては認めていない²⁵⁾。一方、高圧ガス保安法、消防法においては溶接部の強度に関して施工条件での溶接継手で施工確認試験および耐圧試験により強度部材として評価される。

c. 広い範囲の腐食、摩耗や、複雑な割れ、大きな局部変形などは、欠陥部を大きく切り取り補修を行う。補修の方法は、①切り取り当て金溶接法および、②切り取り板継ぎ溶接法がある²⁶⁾（図7）。

d. 必要最小肉厚を下回る減肉部を肉盛溶接補修した例
図8に実施例を示す。この場合強度部材の残板厚は図8のa+bと見なして評価する。

4.3 高圧ガス保安法

高圧ガス製造設備の溶接補修は変更許可申請を必要とする場合がある。溶接補修工事が変更許可申請工事となるのか、あるいは軽微な変更工事（完成後届け出）となるのかは、定修工事全体に与える影響が大きく重要事項であり、実施者（事業所）と所轄との事前相談が基本である。変更許可申請書は、実施者が原則として工事着工1か月前までに都道府県知事宛に提出しなければならない。表3は設備の変更と届け出による許可の区分を示す。

・事業所が変更届けを変更工事の30日前までに所轄労働基準監督署長に、1) 第一種压力容器変更届け（様式第20号）、2) 当該容器検査証、3) 変更の内容を示す図面、(PI, 容器図及び変更箇所図、WPS/PQRなど)を添えて提出する。
・変更検査が必要な場合、所轄労働基準監督署長に変更検査申請書（様式第21号）を変更工事が終了したときに提出する。

図6 ボイラーおよび压力容器の改造フロー

ボイラー規則76条関連

肉盛溶接は、腐食や減肉の進行を防止する目的で行うので、強度を補うものとしては認めていない。なお、強度上の板厚を満足させるための補修は、切り取り当て金溶接法又は切り取り板継ぎ溶接は法によらねたい。

平成20年6月、19ノ一圧全国工作責任者会議

図7 ボイラー・压力容器の設計および工作に記載される補修方法

図8 必要最小肉厚を下回る減肉部の肉盛溶接補修例

表3 高圧ガス保安法、設備の変更と届け出

製造者区分	工事内容	許可の区分
第一種製造者	軽微な変更工事以外	許可（事前）
	軽微な変更工事	届け出（完成後）

製造のための施設などの変更に関しては高圧ガス保安法14条に規定されている。この内、軽微な変更の工事の内容は第1項ただし書き中に定められる。軽微な変更工事をしたときは、その完成後遅滞なく、都道府県知事に届け出なければならない²⁷⁾。

4.3.1 欠陥サイズと耐圧試験（6点法）

高圧ガス保安法における欠陥は表4、表5に示すように、グラインダー仕上げ後の個々の欠陥の深さと欠陥の長さ、又は長径の測定結果により点数付けされる²⁸⁾。

a. 軽微な欠陥

欠陥が表4左欄に示す欠陥の箇所及び同表、中欄に示すグラインダー加工などによる仕上がり深さに応じ、同表の右欄に掲げる点数に、次の表5左欄に掲げる欠陥の長さ又は長径に応じ、同表の右欄に掲げる点数を乗じて得た点数の和が6点以下の欠陥を軽微な欠陥という²⁹⁾。

表4 高圧ガス保安法、欠陥の深さと点数

欠陥の箇所	グラインダー加工による仕上りの深さ	点数
管台及びマンホール	深さにかかわらず	1
胴板及び鏡板	3mm 又は板厚の 30%に相当する深さのうちいずれか小さい値	1
	3mm 又は板厚の 30%に相当する深さのうちいずれか小さい値を超え 4mm 以下	2

表5 高圧ガス保安法、欠陥のサイズと点数

欠陥の長さ又は長径	点数
10mm 以下	1
10mm を超え 20mm 以下	2
20mm を超え 30mm 以下	3

表6 高圧ガス保安法、溶接補修と耐圧試験

1. 6 点を超え、溶接補修した。	6 点を超えた溶接補修となるので、耐圧試験が必要
2. 6 点を超えたが、溶接補修は不要だった。	溶接補修していないので、耐圧試験不要
3. 6 点以下で溶接補修した。	6 点以下の溶接補修であったので耐圧試験不要
4. 6 点以下で、溶接補修は不要であった。	溶接補修をしていないので耐圧試験不要
5. 6 点法の計算範囲を超える大きな欠陥であり、点数を計算できなかった。	軽微な補修に該当しないので耐圧試験必要

軽微な欠陥であればグラインダーなどで除去し、溶接補修の必要はない。ただし、将来腐食代を考慮する必要がある。

b. 溶接補修と耐圧試験

表6に溶接補修と耐圧試験の要否について示す³⁰⁾。6点を超え、かつ溶接補修をした場合、すなわち欠陥の点数が6点以上、溶接補修の両者を満足する場合耐圧試験が要求される²⁸⁾。さらに、1年以上2年以内に開放検査を実施し、腐食や割れなどが無いことを確認するものとする。ただし、管台、マンホール部などの取付け部に使用される引張強さが570 N/mm²未満の炭素鋼（母材）および当該炭素鋼（高張力鋼にあっては、溶接後に炉内で応力除去焼鈍したものに限る）の溶接部の欠陥の溶接補修については、耐圧試験及び1年以上2年以内の開放検査を省略しても差し支えない。

4.3.2 具体的実施例

a. 4.3.1 b. に示した管台、マンホール部などの取付け部に使用される当該炭素鋼とは、管台、マンホール、取付け部（当板など）の母材および溶接金属を含み、本体母材及び本体に係わる溶接金属は含まれない³¹⁾。

b. 塔・槽の胴部の板厚が減少し、当板により、補修する場合許可などが必要か（図9）。

耐圧部の肉盛溶接補修以外の改造であるので、変更許可が必要である。なお、肉盛溶接補修については、保安検査の報告事項とすること³²⁾。

4.3.3 溶接補修工事の対応

高圧ガス製造設備に対する溶接補修が高圧ガス保安法

内面あるいは外面を溶接で当板する

図9 塔、槽の胴部の溶接補修例

一般則14条「製造のための施設等の変更」に該当するかどうか、それに伴い変更許可申請が必要かどうか、など所轄により解釈の相違があると思われる。ここでは、定期自主検査において発見された欠陥について行う溶接補修工事の主な取組みについて、神奈川県溶接補修工事の取扱い例を以下に紹介する³³⁾。

a. 溶接補修工事の取組み

高圧ガス設備に対して、定期自主検査として行う内部開放検査及び外部検査（目視検査、非破壊検査）により発見された腐食、割れなどの欠陥に対して肉盛溶接補修工事を行う場合は、当該欠陥の発生位置、欠陥の調査結果及び補修方法、並びに補修後の検査について、実施者は事前に、所轄に報告を行うものとする。なお、定期自主検査に伴い肉盛溶接補修を行う場合は、変更許可申請、又は軽微変更届の提出は不要である。

b. 溶接補修工事に変更許可申請や事前協議が必要な場合など

- 1) 事故発生に基づき溶接補修工事を行う場合。
- 2) 欠陥の程度（発生位置、種類、深さ、長さ）により、設備の運転中の環境（内部流体による腐食、割れなどを発生させる環境もしくは外面腐食を発生させる環境など）を勘案して、発生した欠陥の原因を究明して、必要な対策を講じることが必要と判断される場合など。

4.4 消 防 法

タンクの損傷や漏洩要因の多くは底部内面、裏面からの腐食あるいは溶接欠陥、不等沈下による溶接部の割れが大部分である¹³⁾。肉盛溶接は腐食減肉などにより、アニュラ板、底板、側板の板厚が将来腐食代を加えた、必要最小肉厚を満足しなくなる場合に施工される³⁴⁾。基本的に、肉盛溶接工事は変更許可申請書提出後となる³⁵⁾。変更許可申請は市町村長の許可を得る必要がある。なお、市町村長らは危険物保安協会に審査の委託をすることが出来る。

4.4.1 肉盛溶接補修基準

アニュラ板、底板、及び側板の肉盛溶接補修は施工箇所、面積について補修基準に規定されている³⁶⁾。

a. 軽微な肉盛溶接補修工事

溶接継手から母材板厚の5倍以上の間隔を有している部位における肉盛溶接補修工事を言う³⁷⁾。

b. 肉盛溶接補修基準

本体に溶接補修が行われているものにおいて、危険物の規則に関する技術上の基準の細目を定める告示³⁸⁾及

表7 消防法、タンクの溶接基準（別添1）

補修部分	内容	条件	分類
アニユラー板、 底板	肉盛溶接	表8を満足する	○
		表8を満足しない	*
側板	肉盛溶接	表8を満足する	○
		表8を満足しない	*

○印 基本的な周期の延長可能タンクに適用するもの

* 基本的な周期の延長不可タンクに適用するもの

表8 消防法、アニユラ、底板、側板の肉盛溶接範囲

材質	肉盛可能面積	
	1ヶ所に対し	板1枚に対し
軟鋼（SS, SM, SB材など）	200cm ² 以下	0.06m ² 又は板面積の 3%の いずれかの小さい値
高張力鋼 低合金鋼	100cm ² 以下	0.03m ² 又は板面積の 2%の いずれかの小さい値

注：肉盛溶接相互間の距離は50mm以上離すこと。

び危険物の規則に関する規則の一部を改正する省令などの施行について、表7に溶接補修基準、表8にアニユラ板、底板及び側板の肉盛溶接範囲が規定されている。ここに示される肉盛溶接補修に関する注意事項として以下のことが示されている³⁹⁾。

1) ビード形状は、グラインダーなどを利用して仕上げを行う。この場合においては、肉盛溶接止端部の痕跡が残らないように注意し、母材のアニユラ板表面を0.4mm以上削らないこと。この値は実作業の管理上現実的でないが、溶接止端部は硬さの上昇を伴い、切り欠きなどの形状不連続部は堆積腐食や地震による疲労発生箇所となり十分注意を要する。

2) 溶接部については、ビードの仕上げ後に、磁粉探傷試験あるいは浸透探傷試験を実施し、ビードのつなぎ部及び肉盛溶接止端部に欠陥指示模様のないことを確認する。

4.4.2 水張り試験

水張り試験は工事工程に大きな影響を及ぼす。底部に係わる肉盛溶接補修工事が、溶接部に係わる肉盛補修工事である場合、水張り試験を実施する必要があるが、前述、溶接部に対する熱影響が軽微な肉盛溶接補修工事である場合は適用されない⁴⁰⁾。

5. 溶接補修と腐食防食

腐食などの損傷は構造、プロセスなどの使用条件の厳しい箇所に発生すると考えられ、それらを考慮しない単なる肉盛溶接補修では本質的な問題解決にならない。肉盛溶接補修箇所は次のような腐食発生上の問題があり、十分に認識しておく必要がある^{41)~44)}。

5.1 形状的不連続

一般に、溶接金属の表面は母材表面と比べ凹凸が多く、また、余盛が形成されるため、溶接金属と母材境界で形状的不連続な断面形状が形成されやすい。そのような箇所はエロージョンやもらい錆、他の物質の堆積箇所となりうる。すなわち、堆積物による腐食や隙間腐食などの

局所的な腐食の発生起点となりうる。同時に、応力集中箇所となり、SCC、腐食疲労などの原因となる。

5.2 金属組織及び酸化皮膜の不連続

溶接補修箇所は铸件組織の溶接金属、母材と溶接金属との希釈部、開先面での粗粒域および、より熱影響の少ない細粒域からなる熱影響部から構成される複雑な金属組織を持つ。金属組織の相違は腐食環境への溶出しやすさに差異を生じる。また、溶接金属の酸化皮膜は溶融・凝固の短時間で生成される比較的薄い皮膜であり、鋼材製造過程で生じる比較的厚い黒皮とは異なり、皮膜の不連続も生じ、腐食損傷発生起点となりうる。SUS304などのオーステナイト系ステンレス鋼では熱影響部に鋭敏化領域を生じ、ポリチオン酸などによる粒界腐食あるいは粒界型応力腐食割れを発生することがある。

5.3 物理的不連続

溶接金属は溶融時に膨張し、凝固時に収縮するため、溶接金属及び熱影響部に複雑な残留応力を発生する。同一化学組成であっても、予熱の有無や入熱条件、冷却速度により変化した金属組織は強度・硬さに差異を生じる。高応力部では皮膜の破壊、新生面が露出することにより腐食環境に対し金属の溶出が活発となり、SCCや水素脆化を発生する起点となることがある。オーステナイト系ステンレス鋼の溶接補修箇所の残留応力の軽減対策として、ショットピーニング^{45), 46)}、各種水冷溶接法⁴⁷⁾の有効性が示されている。炭素鋼、C-0.5 Mo 鋼、Cr-Mo 鋼などの低合金鋼は溶接継手の最高硬さ部の SSC 防止のため溶接部の硬さ制限、ガイドラインなどが提案されている^{48), 49)}。

6. ま と め

化学装置の損傷発生状況、維持規格の現状を述べ、さらに、損傷部に対する溶接補修、特に、肉盛溶接補修を取り上げ、従来不明確であった保安4法との関わりを調査した。その結果、以下の事柄を考慮する必要がある。

(1) 化学装置の局所的減肉、割れなどを原因とする火災・爆発・漏洩事故が多発している。

(2) 現法規では発生欠陥部を除去後、必要最小肉厚以上への回復が要求されるが、肉盛溶接補修に対する明瞭な技術基準の規定が示されていない。

(3) 特異的な腐食環境と検査の困難さから、不連続部の損傷の進展の予測は困難と考えられる。将来、欠陥を内在する状態での安全性評価を実施する場合は、実機損傷データまたは操業経験データを十分参照する必要がある。

(4) 所轄への届け出の際に必要とされる、高圧ガス保安法における欠陥評価と耐圧試験、消防法における欠陥発生位置の特定と評価、水張り試験などには多大な操業停止時間を要する。有害な欠陥サイズの決定の根拠、欠陥の評価・対応などの技術基準はRBI, FFSによる保守管理手法の確立、検査技術や余寿命予測技術の進歩など最近の技術的進歩の観点から見直す必要がある。

7. 終 わ り に

保安4法の規制目的はそれぞれの第1条に示されるよ

うに異なり、さらに、都道府県により法令の取扱い、解釈が異なる場合がある。また、高圧ガス・危険物適用混合機器など同一機器で複数の法律による規制がかかる場合など処置に時間を要し、スムーズな運用が困難な状況にある。法規制緩和のさらなる推進並びに法体系の整備が急務である。

補修に当たっての重要要素は、損傷形態を正しく把握し、再発防止を考慮した手法で実施することである。使用環境での材料選定、設計・溶接設計などの適性化は損傷発生を未然に防止可能と考えられる。

参 考 文 献

- Petroleum Association of Japan (PAJ), The age breakthrough of construction of major oil refining facilities, (1994).
- High Pressure Gas Safety Institute of Japan (KHK), The list of accredited inspectors, (1993).
- High Pressure Gas Safety Act, Article 35, Extension of open inspection of high pressure gas tanks.
- KHK, The database of analyzing the cases collected.
- Health, Labor and Welfare Ministry, Literature about the system in self-imposed inspection of boiler and all that, march no.13 (2008).
- KHK, Home page, Transition of the number of accident related High Pressure Gas Safety Act.
- The Fire and Disaster Management Agency, White paper, Transition of the number of fired or leaked facilities of dangerous article.
- Y. Hara, *Zairyo-to-Kankyo*, **58** 170 (2009).
- Hazardous Materials Safety Technics Association, Safety & Tomorrow, No.115, 110 (2009).
- Hourei shuppan-sha, edit, Hazardous Materials Safety Technics Association, Detail comment of technical standard of the outdoor tank storage facility, p.90 (1994).
- Ministry of Internal Affairs and Communications (MIC), Announcement no.129 (1988).
- Fire Defense Law, No.74 (1988).
- MIC, Literature about safety inspection cycle of outdoor tank storage facility, April (2010).
- Fire and Disaster Management College, 14th Literature of Fire Safety & Disaster Preparedness, Jan. (2011).
- Nakabohtech Corrosion Protecting Co., Ltd. Technical literature about control of corrosion protection of base plate.
- API-579-1/ASME, -1, FFS2007.
- ASME PCC-2-2006 Repair of Pressure Equipment and Piping.
- T. Matuki, Literature about general description of High Pressure Gas Safety Act on safety inspection periodic voluntary inspection, September 6th (2010).
- KHK, Handbook of repair welding, March (1986).
- Society of Chemical Engineers, Japan, S/C of welding of equipment materials committee, Literature abstract of repair welding, may (1983).
- Japan Welding Engineering Society (WES), S/C repair welding of Chemical Plant Welding Research Committee, Guideline of repair welding of pressure vessel, November (2011).
- Safety rule of Boiler and Class-1 pressure vessels, Class-1 pressure vessels : Chapter 3 Article 76 of No.5, Boiler : Chapter 2, Article 41 of No.6.
- Industrial Safety and Health Act, paragraph (1) of Article 88.
- Japan Boiler Association, Q&A meeting by person in charge of boiler engineer (1989).
- Japan Boiler Association, Q&A meeting by person in charge of boiler engineer, June (2009).
- Same as ref. 25).
- High Pressure Gas Safety Act, paragraph (2) of Article 14.
- KHKS 0850 (2005) -1 4.3*1.
- Ministry of Economy, Trade and Industry, manufacture details notification No.291 (1975).
- Literature from Nuclear and Industry Safety Agency, March (1999).
- KHK, Q&A of regular inspection guideline・inspection standard No.05-0235.
- KHK of Chiba pref. Q&A, Change of tower, drums of the designated equipment, Q 6 (1986).
- Kanagawa prefecture, Industry Safety Division, Guide of application・inspection exams related High Pressure Gas Safety of industrial complex, ref.4 (2000).
- Fire and Disaster Management Agency, notice shoubou ki, no.169, 2 (1977).
- Fire Defense Law, item 5-3, paragraph (12) of Article 11.
- Fire Defense Law, announcement shoubou-ki, no.73, No.4, Separate attachment1, September (1988).
- Fire Defense Law, announcement shoubou-ki, no.29, March (1990).
- Fire Defense Law, announcement shoubou-ki, no.73, No.4-3, table1, September (1988).
- Hazardous Materials Safety Technics Association, Notice collection of a statute of outdoor tank storage facility, p.289 (1995).
- Fire Defense Law, announcement shoubou-ki, no.29, No.2-3 attached fig. March (1990).
- Y. Hara, *Welding Technology*, **54**, 9 (2006).
- Y. Hara, Proc. JWS Symposium of Post-construction standard & Repair Welding, November (1995).
- Y. Hara, Proc. JWS Symposium of Welding Technology & Repair Welding, Nov. (2001).
- Y. Hara, Boiler Kenkyu, Journal of Japan oiler Association, No.315, October p.7 (2002).
- T. Shinohara, M. Shirai, K. Matumoto, Literature of The Society of Materials Science, Japan, No.121, Vol.23, Part4.
- N. Saito, K. Enomoto, T. Yoshimura, *Funryuu Kogaku*, Vol.20, No.1, 4-12 (2003).
- T. Umamoto, K. Yoshida, A. Okamoto, ICPVT, Paper No.C24/80 (1980).
- NACE SP0472-2008 Methods and Control to Prevent In-Service Environmental Cracking of Carbon Steel Weldments in Corrosive Petroleum Refining Environments.
- NACE RP0296-2004 Guidelines for Detection, Repair, and Mitigation of Cracking of Existing Petroleum Refinery Pressure Vessels in Wet Environments.

(2012年7月31日受理)

要 旨

国内の石油精油所の主要設備の75%は20年以上の使用年数である。一方、自主保全管理体制の認定事業所が増加している。しかし、腐食や割れを原因とする事故が多発している。これに対して、化学装置分野での損傷評価に適用される維持規格が整備されておらず、損傷部の評価は保安4法の技術基準が適用されている。このため、欠陥はグラインダーで完全に除去され、必要最小肉厚への回復が要求される。ここでは、化学装置、タンクの事故発生状況を述べ、溶接補修と保安4法との関係を示す。

キーワード 化学装置, 腐食損傷, 溶接補修, 維持規格, 保安4法