

H2010-07

〔 解 説 〕

部分耐圧テスト（CAR-BER工法）について

レイズネクスト(株) 浦野 正夫・近藤 康治

1. はじめに

プラントの高経年化による性能低下を防止するために、配管や機器などの更新や部分補修工事が多く行われている。補修は長年の供用中の劣化状況を考慮した方法で行われ、最終的に圧力試験による補修部の健全性の確認がなされる。新設の場合と異なり、補修工事では耐圧試験や気密試験の実施に関して制約が多く、工期やコストが多く掛かる場合がある。当社では、そのような圧力試験において補修部を含む加圧が必要な部分のみに圧力を負荷できる部分耐圧試験技術を有する米国CAR-BER社と国内独占使用権契約を締結（2009年4月）して1,000箇所を超える施工実績を重ねている。本稿は、CAR-BER社の部分耐圧テストの概要とその適用事例について紹介する。

2. 部分耐圧試験工法の種類

耐圧試験や気密試験は、通常、製品の全体に規定の圧力以上の内圧を負荷し製品の健全性を確認する試験方法である。内圧を負荷するためには対象部を含む範囲を閉じた系とする必要があり、一般には系内のフランジ部に仕切り板を挿入する方法や仕切りの代わりに片側にキャップ等を溶接したダミー配管を接続する方法が採用される。配管の開放端部（プレーンエンド部）をシールして閉空間とする工法も考案されているが、安全性の問題から当社では採用していない。第1図は、当社が米国CAR-BER社と技術提携している工法を示す。部分耐圧テスト工法

部分耐圧テスト工法

→配管テスト

→ノズルテスト

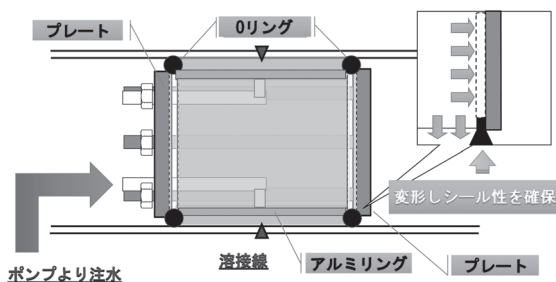
アイソレーション工法

第1図 CAR-BER工法の種類

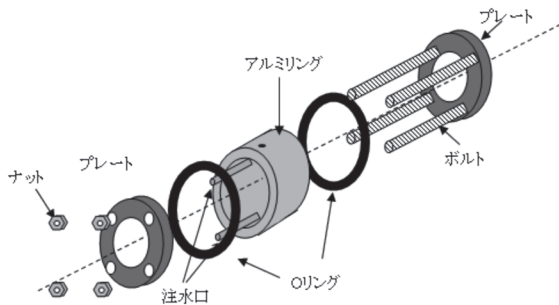
は、対象の溶接部周辺のみを加圧するものであり、配管用とノズル用の2種類がある。また、配管用の機能を応用し、溶接施工箇所と同一ラインの環境を遮断し、施工の安全性を向上させるアイソレーション工法がある。

3. 配管用の部分耐圧テスト

第2図は、配管用部分耐圧テストの模式図を示す。試験を行う周溶接線を挟むようにテスト治具を設置し、その部分のみを加圧できる構造となっている。第3図はテスト治具の構成を示す。治具はアルミリングと締結用のボルトを具



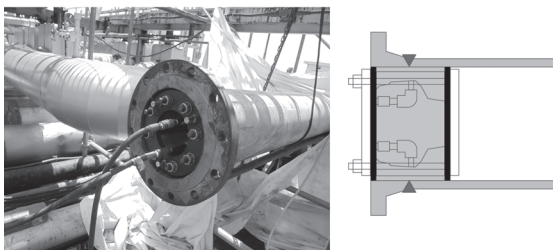
第2図 配管用部分耐圧テストの模式図



第3図 配管用テスト治具の構成

備した2枚のドーナツ状プレートで構成され、その間に2本のゴム製のOリングを挟み込む。締結ボルトを締付けることによりOリングが変形し管内壁と密着され、その間に小さな密閉空間ができる。締結ボルトのナットが接するプレート側には2本のノズルが具備されており、一方は注水(昇圧)用、もう一方は空気抜き用ノズルとして密閉空間に注水する。ポンプにより既定の圧力まで昇圧し、耐圧テストを行う。また、水を気体に入れ替えることにより気密テストも可能である。Oリングの内壁とのシール性を向上されるために、管内径とのクリアランスを極力少なくしたサイズのアلمリリングとプレートが採用される。そのために、密封空間の容積は小さく、昇圧による危険性も最小限となっている。

第4図に、既設配管にウェルドネックフランジを溶接した部分に部分耐圧テスト治具を適用した例を示す。フランジ溶接部のみをテストできるために、既設側が例え複雑に分岐していても、仕切り板の挿入作業が不要になるばかりでなく、足場や保温等の付帯工事も必要がなくな



第4図 配管用部分耐圧テストの適用例

り工事期間の短縮や施工コスト削減のメリットも大きい。このような付帯工事の削減が、部分耐圧テストを適用する最大のメリットと言える。

部分耐圧テスト治具の締結ボルトは、配管サイズにより1本ボルトタイプ(通常2インチ以下)と複数のボルトを用いるマルチボルトタイプがある。写真1は、1本ボルトタイプとマルチボルトタイプの治具の例を示す。当社では、比較的使用頻度が高い0.75~20インチの治具を長期レンタル品として常備している。それ以外の配管サイズやスケジュール(肉厚)に対応する場合は、米国CAR-BER社より取り寄せるか、同社へ特注品として製作を依頼することで対応している。

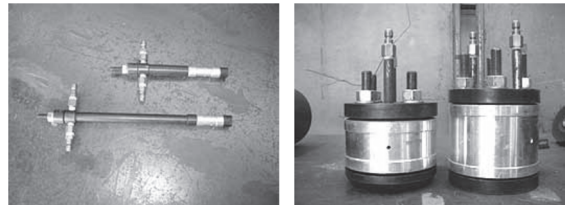
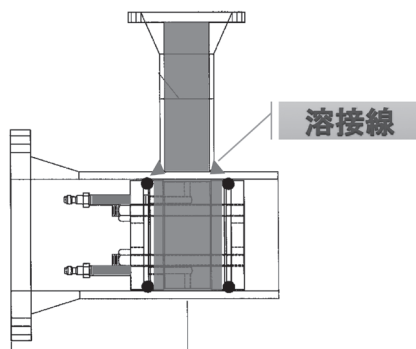


写真1 配管用部分耐圧テスト治具の一例

テスト治具の写真を見て分かるように、部分耐圧テストは開口部から治具を設置できる範囲に限定されるが、前述の適用事例で紹介したフランジ溶接部ばかりではなく、直管継手部、枝出し部、ティー継手部やエルボー継手などにも適用できる場合がある。すなわち、密閉しようとする範囲や開口部からの距離によって、アムリリングや昇圧口までのスリーブ管の寸法を検討し、適用の可否を判断する。その場合は、米国CAR-BER社からの助言を受けながら、特殊寸法の治具を製作することとなる。

例えば、開口部から見てエルボーの先の溶接線に適用した事例では、アムリリングを通常より短くした治具で対応している。開口部から奥に入った溶接部の部分耐圧テストでは、長いスリーブ管の治具を使用して対応した事例がある。また、枝出し部やティー継手部では、本管の分岐部分を治具でカバーすることにより、枝

出し部と枝管部の全体のテストをした事例がある。この場合は、枝管側を閉空間とする必要があるが、第5図に枝管部に適用する場合の模式図を示す。



第5図 枝管部への適用 (模式図)

一方、治具の構造から適用に当たり考慮すべき条件が存在する。まず、テスト治具が検査箇所を通過できる必要がある。上述したようにOリングのシーリング性向上のために配管内径と治具外径のクリアランスを極力小さくしているが、溶接裏波が大きいと治具を通過させることができず、通過できたとしてもOリングに損傷を与えることがあるので、裏波は極力平滑に研削する必要がある。また、Oリングが接触する部分の配管内径が通過する配管内径と異なる場合は、Oリングによるシールが困難となり適用できない。供用中の配管では内面腐食による凹凸の表面状況が影響し、平滑に研削して適用できる場合もあるが、激しい腐食の場合は適用できない。Oリングのシール性能は、Oリングの太さ、硬度及び形状などで変化し、治具のボルト締結技術と共に、その施工経験に伴うノウハウが蓄積されてきている。

第4図のフランジ溶接部へ適用事例はウェルドネックタイプであるのでそのまま対応できるが、スリップオンフランジの場合はフランジ側に配管と同じ内径の部分がないため、フランジ付きダミー管を使用することになる。フランジ同士を締結し、フランジ締結部を含む部分耐圧

テストを行う。また、この方法はフランジ部から漏えい確認も兼ねるために、RTJフランジのV溝の健全性の確認を行った事例もある。

以上は、通常の規格配管サイズ (0.75~24インチ) の溶接部に対する部分耐圧テストであり、条件にもよるが通常のテスト治具では15.5MPa、高圧専用治具では34.5MPaが部分耐圧テストの最高使用圧力となっている。その他、エルボー部やティー部になどに適用する場合は、最大3.4MPaである。

次に、同様な考えで、より大口径の配管や機器の周溶接線への対応事例を紹介する。写真2に、42インチ大口径配管への適用事例を示す。更に、大口径となると配管や機器内部で組み立てられる構造の治具を採用する。写真3は、プレートをアルミリングとプレートを2分割式にした治具を使用し、機器の胴の周溶接線に適用した例を示す。更に、第6図に、タワーの胴 ($\phi 2,400$ mm) の部分取り換え工事に適用した事例で、マ

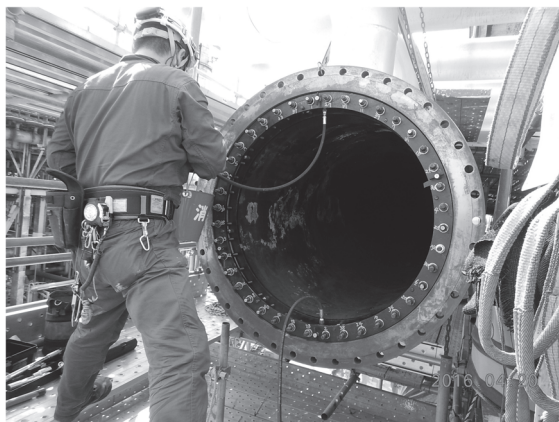


写真2 大口径管の部分耐圧テスト適用例

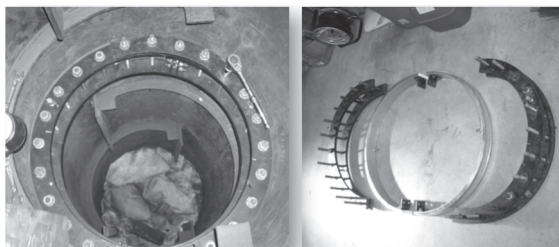
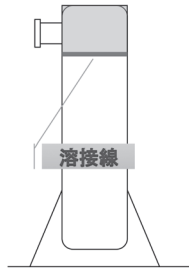
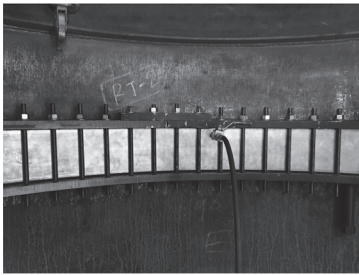
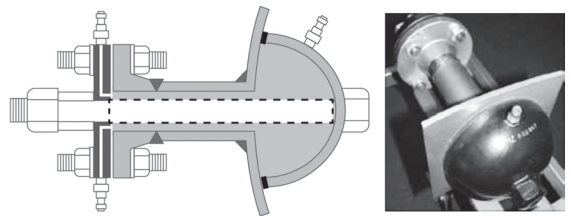


写真3 分割タイプの治具による適用例



第6図 タワーの周溶接線への部分耐圧テスト適用例



第7図 ノズル用部分耐圧テスト治具の模式図と模型

ンホールから分割した治具を搬入し内部で組み立てた状況を示す。機器の溶接補修では、溶接補修後に清水による耐圧試験が基礎の強度の問題から不可能な場合があるが、第6図の適用例は部分耐圧によりクリアした事例である。

部分耐圧治具による耐圧テストは、溶接部に内圧を付加できるが、満水によるテストの場合とは厳密に言えば応力の作用方向が異なる。そこで必要な非破壊検査を併用することにより、日本各所における法規関連工事に対しても実績を積み重ねている。なお、大口径の場合のテストの最高圧力は一般の配管に比べ低く、当社の実績では最大径である内径φ2,400mmの場合(第6図)では1.17MPaであった。

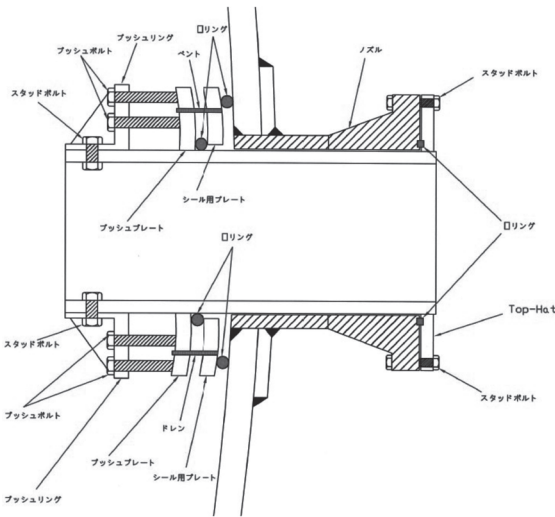
4. ノズル用の部分耐圧テスト

もう一つの部分耐圧テスト工法に、ノズル用の治具を用いるものがあるので紹介する。ドラムやタワーなどのノズル部の補修において、ノズルの一部のみを取り替える場合は前述の配管用部分耐圧治具が使用できるが、胴との溶接を含む場合はノズル用治具を使用する。第7図に、ノズル用部分耐圧テスト治具の模式図と模型の写真を示す。機器の胴側にキャップ状の部材をノズルのフランジ部に取り付けた引張ボルトでキャップ部材を押し付けることにより補修部の溶接線を含む密封空間を作る方法である。胴とのシール材には、ゴム製のOリング若しくは平板を使用する。フランジ部に取り付けてある治具の下部の注水口から水を入れ、フランジ部の治具とキャップの上部に設けられている空気抜

き用口を利用して満水状態にできる。ポンプにて昇圧することで、補修部のノズル全体に内圧を掛けることができる。配管用の機器適用で紹介したように、機器全体を満水テストする方法は基礎の強度上から困難な場合が多いが、ノズル部の補修においても部分耐圧テスト工法が有効と考えている。もっとも、治具で拘束された補修部に作用する応力は、満水テストの場合のそれと異なるために、必要な非破壊検査を併用している。

キャップ端部は胴の内径に合わせた3次元の加工がされているが、現場の状況に合わせてグラインダー等で成型する場合もある。第7図は一本ボルトタイプを示しているが、ノズルの大きさによりマルチボルトタイプも採用する。このような構造であるため、機器の胴の中心に向かって取り付けられていないノズル、すなわちオフセットがあるノズルについては引張ボルトによりキャップを胴内壁に密着することが困難であるため適用できない。

ところで、部分耐圧テストを機器に適用する場合は、治具の取り付け作業を機器内で行うが、耐圧テスト時は安全上の問題から作業者はマンホールなどから直ちに退出できるように考慮する必要がある。ここでは、マンホールが一つしかない機器において、マンホール取り替え工事に適用した事例を紹介する。第8図に、トップハット治具と呼ばれている中空部分を有したノズル用の特部分耐圧テスト治具の模式図を示す。中空部を作業員が潜り抜け、退出できる構造となっている。他の治具に比べ複雑な構造になっているが、機器と治具が接触する部分のシ



第8図 特殊ノズル用部分耐圧テスト治具の模式図

ーリング部にはゴム製のOリングを使用し、溶接施工部に内圧を負荷できる。写真4に、24インチマンホール取替工事に部分耐圧テストを適用した際に使用した治具の機器内側及び外側からの写真を示す。事前に非破壊検査を行い、2.9MPaにて部分耐圧テストを行っている。このような事例は稀なケースであるが、ニーズがあれば米国CAR-BER社の技術者と共に適用方法を検討することができる。

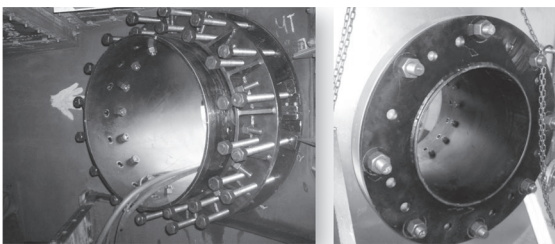
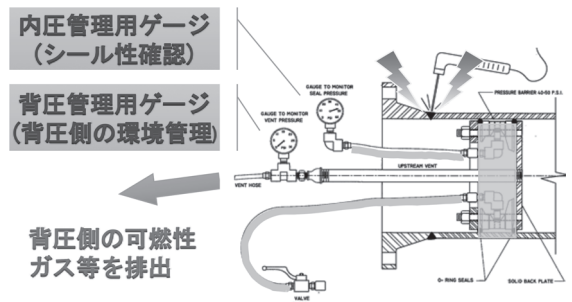


写真4 特殊ノズル用部分耐圧テスト治具の写真

5. アイソレーション工法

供用中の配管にフランジを切り込む場合、当該配管内は十分にパージし溶接などの火気使用ができるように施工環境を整える必要がある。しかしながら、オフサイト配管など場合にはこれらのパージ作業が十分できないため、施工環境を整えられない場合がある。アイソレ

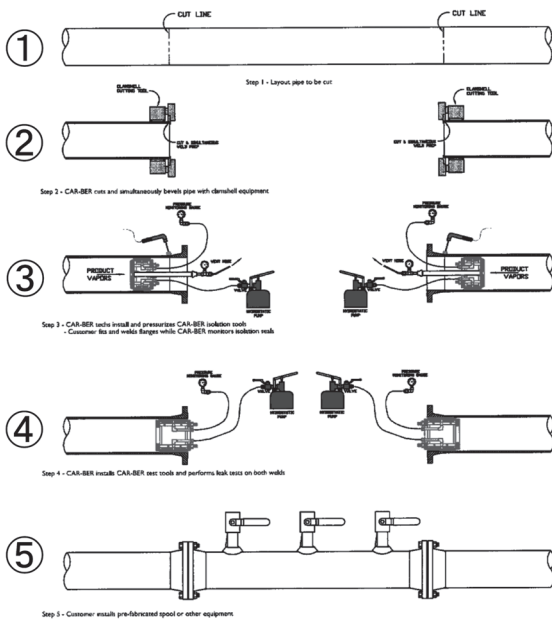
ーション工法は、このような状況下で可燃物が火気使用箇所に流入してきくことを遮断し、より安全に溶接作業ができる環境を提供している。第9図に、アイソレーション工法の概要図を示す。使用する治具は配管用部分耐圧テスト治具に似ているが、奥側のプレートがドーナツ状の中空ではなく平板構造で、背圧管理用ゲージに接続されるノズルが具備されている。アルミリング、プレートとOリングによるシーリング機能は配管用部分耐圧と同様であるが、この部分で配管の上流側と縁切りする機能を持たせている。



第9図 アイソレーション工法の概要図

背圧管理用ゲージは上流側の圧力を監視し、万一上昇した場合は溶接などの作業を中止させることで、安全作業を確保している。また、治具内に水を流すことで配管の冷却を行う場合もあり、特に溶接後の熱処理を行う場合に適用する。

第10図に、アイソレーション工法の適用し、既設配管にフランジを切り込み分岐配管を接続する工事を行う場合のイメージを示す。①で切断箇所のマーキングを行い、②では機械切削による切断、いわゆるコールドカuttingを行う。切削はポータブルタイプの開先加工機を用いてバイトを回転させることで行うが、温度上昇を抑えることで可燃物による発火を防止できる。当社ではφ400mmまでのコールドカuttingマシンを保有するほか、完全無火気を目指して水による切断機器も試験研究中である。③



第10図 アイソレーション工法の適用イメージ

はフランジの取り付け作業であるが、アイソレーション治具を挿入し環境遮断を行うことで安全に作業が行える。フランジ取付けが終了したところで浸透探傷試験等の必要な非破壊検査を実施し、④の部分耐圧テスト治具と入れ替え、溶接部の健全性を確認する。⑤ではあらかじめ内作された分岐用のパーツをフランジにて取り付け作業が完了する。このようにコールドカッ

ティング技術（切削機械他）とアイソレーション工法を組み合わせることにより、より安全な施工が可能となる。

6. おわりに

当社が米国CAR-BER社と技術提携している部分耐圧テスト工法について紹介した。2008年の導入以来、1,000箇所を超える施工実績を重ねており、今後も配管部分耐圧テスト、ノズル用部分耐圧テスト及びアイソレーション工法を用いた安全な施工を行うことで、プラントメンテナンス業界の一員としてプラント設備の信頼性向上に寄与したいと考えている。

<参考文献>

- (1) 佐藤・他：“圧力容器及び配管の耐圧試験の危険性と試験要領の改善について”，圧力技術，第48巻，6号（2010）
- (2) 佐藤・他：“事例に学ぶ圧力容器及び配管系の耐圧試験の安全対策(1)(2)(3)”，配管技術，1月号，2月号，6月号（2014）

【筆者紹介】

浦野正夫

レイズネクスト(株) メンテナンス技術本部
副本部長

近藤康治

レイズネクスト(株) メンテナンス技術本部
生産支援技術部 副部長