

ポンプ設備の内部可視化技術と適用事例について(3) (鋳鉄製ポンプ部品の腐食診断)

株式会社日立製作所 インダストリアルプロダクツ社 橋本 義之

3. 鋳鉄製ポンプ部品の腐食診断

(1) 診断手法の概要

立型ポンプの外胴部品や管路の材質には、コスト、被削性、振動吸収性等に優れていることから、主にねずみ鋳鉄（片状黒鉛鋳鉄）が多く使用されてきた（図-3参照）。このようなポンプを長年使用していると、取り扱い水に含まれる溶存酸素や腐食性物質の影響、あるいは、起動停止で水中と気中の環境に繰り返し曝されることなどの環境因子で、胴部内面に鋳鉄特有の黒鉛化腐食が発生する。ポンプ胴部に使用される部品には、腐食に対する延命化を図る目的で内外面ともライニング塗装を施すが、時間とともに外面よりも流水面である内面の塗装が劣化して剥離し、フェライト・セメンタイト相である素地側がアノード（陽極）、

鋳鉄に含まれる黒鉛および鋳鉄中のりんと黒鉛が化合して形成されるステダイトがカソード（陰極）となる電気化学的な電池が形成される。この結果、素地のみが選択的に溶解し、水中に順次溶け出すのに対して、黒鉛とステダイトは残存する黒鉛化腐食が生ずる。この腐食が生じて黒鉛とステダイトが残存するために、目視ではポンプ内面が減肉している様には見えないが、ナイフで容易に削れる程に軟らかくなっており、それを取り除くと地肌面は凹凸状に減肉している。黒鉛化腐食によって、鋳鉄製ポンプの流水内面が腐食減肉した事例を写真-11～13に示す。写真-11は立型ポンプの吐出しエルボの流路内面が全体的に腐食した状態を示す。写真-12は揚水管内面の腐食層を除去した後の凹凸状態を示す。また、写真-13は案内羽根の腐食層を除去した後の減肉状

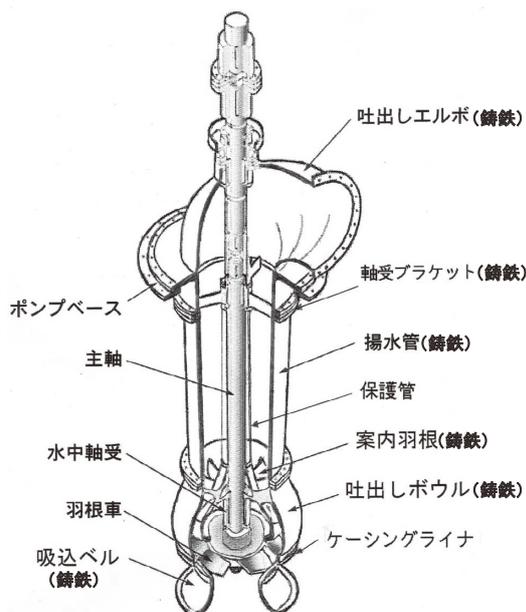


図-3 立型ポンプの構造と主な鋳鉄製部品



写真-11 吐出しエルボ部流路内面の腐食

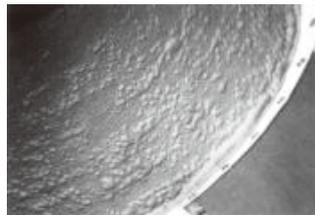


写真-12 腐食層除去後の揚水管内面



写真-13 腐食層除去後のケーシング案内羽根

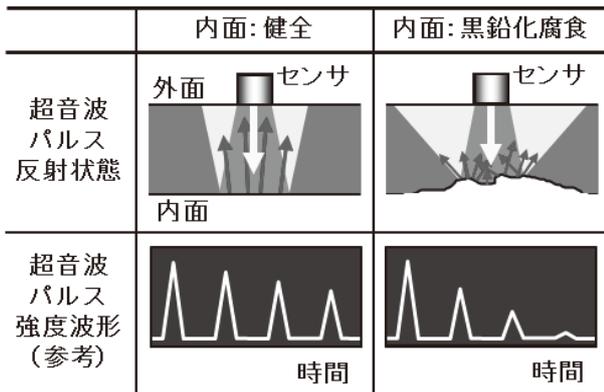


図-4 測定原理

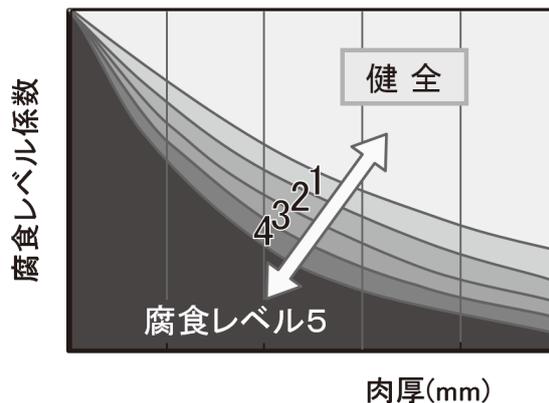


図-5 ねずみ鉄の腐食評価マスターカーブ



写真-14 腐食診断システムの外観

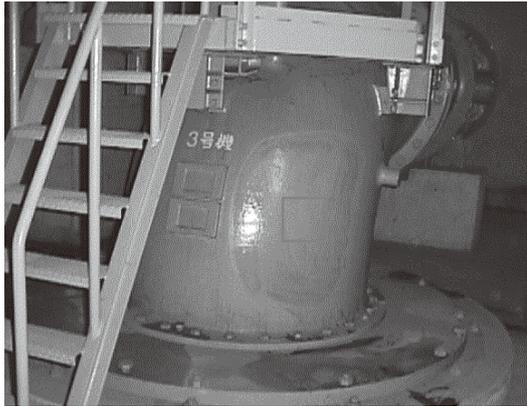
況を示す。このように腐食が進めば、強度が低下するとともにしだいに減肉して貫通に至り、漏水や部品脱落などの事象を引き起こす。そこで、ポンプ据付状態のまま、鋳鉄製ポンプ胴部内面の腐食状況を外面から超音波で確認する手法を開発し、劣化監視技術として適用してきた。

測定原理は超音波パルス反射法の考えをもとにしている。図-4に示すように、健全な表面(外面)から黒鉛化腐食している内面に超音波を入射した場合に、ねずみ鉄として健全な微視組織を保っている領域(健全基地部)と腐食した領域との界面から超音波が反射されるとともに、腐食面に形成された大きな凹凸によって超音波が拡散する。このため、健全な内面から反射する場合よりも反射波の到達時間が短縮すると同時にパルス強度が低下する。そこで、これらの相関関係を腐食した多くの実機部品で検証し、図-5に示すような腐食評価マスターカーブを作成した。縦軸は超

音波パルスの減衰割合から算出した腐食レベルを表す係数で、横軸は肉厚である。図-5のエリア色は腐食の程度を直感的に把握可能できるように、ビジュアル効果化したものである。

ポンプ胴部内面状態を推定するため、健全から腐食レベル5を実際の劣化状況と比較検証した。その結果、“健全”は内面(塗装)が健全な状況、“腐食レベル1”は塗装が劣化している状況、“腐食レベル2”は塗装が剥離している状況、“腐食レベル3”は表面に腐食生成物(錆)がある状況、“腐食レベル4”は腐食が進行し、黒鉛化腐食している状況、“腐食レベル5”は腐食減肉しており更新が必要な状況と、おおよその状態を分類することができた。

腐食評価マスターカーブを搭載した腐食診断システムの外観を写真-14に示す。システムは超音波探傷器、探触子、タブレット型パソコン(制御装置)、サブモニタ(結果表示専用)と探触子



(a) 吐出しエルボ部の診断部位



(b) 格子状の診断範囲(200×200mm:100点)

写真-15 立型ポンプ吐出しエルボ部の適用事例

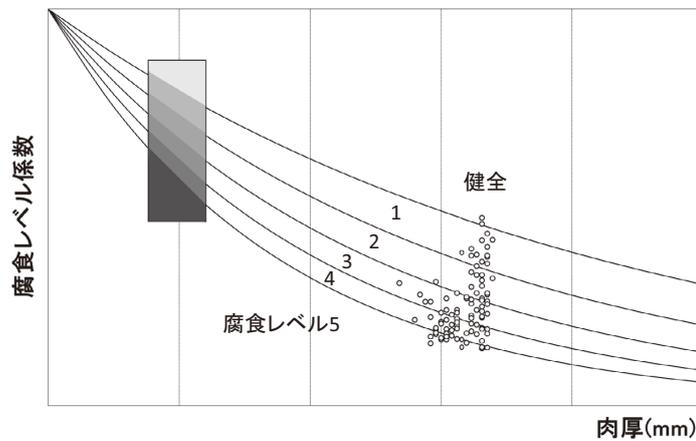


図-6 マスターカーブ上にプロットされた測定結果

の位置を特定するための赤外線カメラから構成される。このシステムでは測定範囲の内面腐食レベルを色等高線表示するために、格子状に配された多点での測定データが必要となる。そこで、測定は格子状に点が配置されたフィルムシートを管表面に貼付け、これを目印として行う。また、付加機能として、シートが貼り付けられない狭隘部の測定では探触子に付けられたマーカを赤外線カメラが認識・座標特定することで、タブレット型パソコンの画面上での測定点走査ができるようにした。腐食診断結果の色等高線表示は、色を多階調にすることで濃淡変化が滑らかになり、より現物状態に近い表現方法とした。

(2) 適用事例と検証

写真-15は、使用開始後20年以上経過した立型ポンプの吐出しエルボ部への適用事例における診断部位(a)と格子状の診断範囲(b)を示し

たものである。(b)に示すように測定面は見かけ上200×200mmの範囲を20mm間隔で100点とした。なお、腐食評価マスターカーブとの照合解析を行う際、測定範囲の外枠部は隣接した測定点との平均化処理を行うため、実際の診断範囲は180×180mmとなる。図-6は各測定点の肉厚と腐食レベル係数の関係を腐食評価マスターカーブ上にプロットしたものである。この結果では、腐食レベルが3～5の領域に多く点が分布しており、肉厚にもばらつきがあることから、減肉傾向が認められる。また、健全から腐食レベル1～2の健全に近い領域にある点群では、肉厚がほぼ一定であり、減肉が少ない領域も存在することがわかる。図-7は、図-6のマスターカーブによる腐食レベルの判定結果を多階調の色等高線に表したものである。測定領域中央から左側の範囲すなわち判定範囲のおよそ50%が、腐食レベル4～5である。ポンプ分解後に観察した内面写真を写

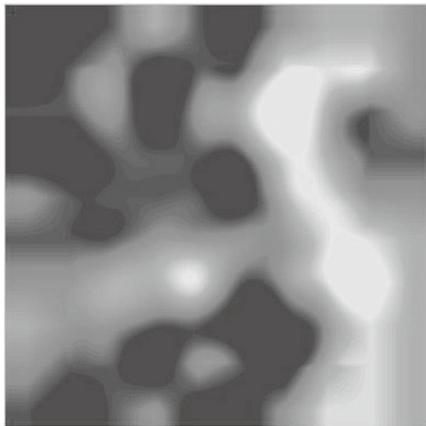


図-7 内面腐食レベルの多譜調色等高線表示

健全
腐食レベル1
腐食レベル2
腐食レベル3
腐食レベル4
腐食レベル5

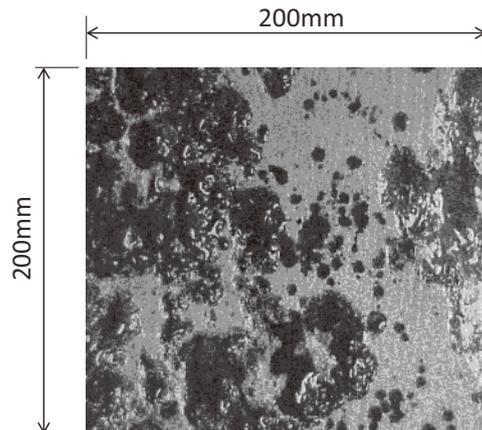


写真-16 診断部位の実内面腐食状況
(黒色部が腐食箇所)

真-16に示す。実内面の腐食状態と図-7の診断結果はほぼ一致していることがわかる。このような測定を吐出管の他の任意部位について数箇所行うことで、ポンプ内面全体の腐食状態を推定することができる。

今回紹介した事例を含め、約10年間に260台の実機でポンプの吐出しエルボ部を対象にして本手法による腐食診断と分解点検による目視観察結果との比較検証を行った。その結果、腐食診断で健全～腐食レベル1と推定された32台のポンプでは、ほぼ内面が健全な状態であった。また、腐食レベル2～3と推定された214台のポンプでは、内面が部分的に腐食し、肌荒れ状態であった。一方、腐食レベル4～5と推定された14台のポンプでは、内面の腐食が著しく、凹凸状に浸食され減肉していた。これにより、ポンプ内部の腐食状況に関する超音波診断による推定結果は、実際の腐食状態とほぼ一致することを確認した。以上のことから本手法は、ねずみ鋳鉄製部品の簡易な腐食診断手法として有効であることがわかった。

これらの評価・検証後、本手法は多くのポンプに適用され、対象ポンプの分解修繕や更新計画のエビデンスとして活用されている。最近では診断時点での腐食状況を評価するだけでなく、定期的(例えば5年毎)に同一箇所を観測し、傾向監視技術として適用している例もある。

(3) 本方法適用上の注意点

鋳鉄部品に対する超音波法の非破壊検査につい

ても数多くの研究が行われてきた。例えば鋳鉄の超音波伝播速度あるいは減衰率を求め、材質や組成(黒鉛の大きさ)および強度特性との相関関係を評価する試み、黒鉛の導電率が低いことに着目し、電磁気的特性の測定と超音波法と併用して材質評価の精度を向上させる方法の検討や鋳鉄部品の超音波探傷や肉厚測定に関する研究などがある。しかし、腐食した鋳鉄部品の場合、腐食面の凹凸により超音波の反射エコーの散乱が増しエコーを検出しにくい状態になるという問題がある。一方、単に肉厚を検出して、その減肉量の変化から腐食発生の有無を判定することは現状の超音波法によっても可能と考える。

ただし、ポンプのねずみ鋳鉄製外胴部品では設計上、腐食代を考慮し予め厚めに製作されているため、腐食減肉が生じて設計強度が保たれる肉厚であれば、塗装やライニングなどの延命化を施して再使用することが多い。そのため、延命化処置するための適正な整備時期や使用可否を判断するためには、ポンプを据付けた状態で、かつ大きな付帯工事を必要としない方法で、腐食減肉による肉厚の判定だけでなく、塗装の剥離から減肉に至る腐食程度を定量的に検知することが必要となった。また、黒鉛化腐食の進行した内面では、剥離した塗装面や錆こぶ等の存在により、目視による表面の確認状態から真の腐食状態を確認することは困難である。超音波はその性質から対象物の界面で反射するため、剥離した塗装面や錆こぶ等の影響は受けにくい。また、目視確認による腐食程

度の同定はいわゆる官能試験であるため、試験者間のばらつき低減や腐食程度の定量評価は困難である。以上から、腐食程度の診断における本方法は、目視確認よりも客観的な判定が可能な腐食評価手法であるといえる。

一方、鑄造部品を製作する場合、肉厚は製作許容範囲で製作され、実際は必ずしも設計肉厚になっていない。したがって、本技術を適用するには製作時に測定することで初期値を採取し、腐食状態と肉厚の両方の変化を傾向監視することが望ましい。初期値が無く、数十年経過したポンプ設備においても、定期的に測定、診断を行えば、再塗装やライニングなどの修繕あるいは更新などの判断に活用できるものとする。

なお、本手法における腐食評価マスターカーブは、ねずみ鑄鉄部品のみ対象であり、適用には十分注意して頂きたい。

4. おわりに

今回、本誌技術報告連載として、3件のポンプ設備の内部可視化技術と適用事例について述べた。工業用内視鏡カメラによる点検と水中ロボットによる点検では、立型ポンプを対象に据付状態でポンプ内部の腐食や摩耗などの状況を確認する方法について紹介し、多くの実機で機能検証した結果、内視鏡カメラによる観察は光量や走査範囲が制限され、観察範囲が局部的となるが、腐食やき裂、貫通穴などの一部を検出することが可能で、その大きさも推定することができることを紹介し

た。また、水中ロボットによる観察は作業環境と水の透視度などの制約があるが、その条件を満たせば、羽根車などの広角観察による損傷状態を把握することができることを述べた。さらに、これら二つの方法による観察結果と実際の分解後の目視点検と比較すると、その損傷状況はほぼ一致した。そのことから、ポンプ据え付け状態でもこれらの方法を用いれば多くの損傷検出が可能であると考えている。

一方、鑄鉄製ポンプ部品の腐食診断では、超音波パルス法を利用し、ねずみ鑄鉄製ポンプ部品の外部から肉厚と同時に内面の腐食状況を推定する方法を紹介した。エコー高さの減衰率と内面腐食状態には相関関係があり、その関係に基づき、肉厚とエコー高さ比による腐食評価マスターカーブを作成し、腐食診断システムとして開発した。そのシステムを約10年間、ポンプ部品に適用し、実際の腐食状況とほぼ一致したことから、本手法は、ねずみ鑄鉄製部品の簡易な腐食診断手法として有効であることを確認した。

なお、本稿で紹介した内部可視化技術は、当社において2015年③月現在およそ600機場1200台に適用している。今後もこれらの技術がポンプ設備のライフサイクルコスト低減や長寿命化を目的としたストックマネジメント管理手法の中で、適切な分解整備や更新時期を見極めるための状態監視技術として、さらに適用が拡大されることが期待される。