

(タイトル)「配管外面腐食の自走式連続三次元計測と供用適性評価」

(社名)「株式会社セイコーウェーブ」

(筆者名)「新村 稔」(にいむら みのる)

◆ はじめに

外面腐食を伴った配管の残存強度評価として、米国では API-579 / ASME FFS-1 が運用され⁽¹⁾⁽²⁾、実績を上げているが、日本でもようやく日本溶接協会の WES2820 規格⁽³⁾として今年6月に制定公開された。本稿では、自動化された3次元計測システムで取得した3次元データを API-579 / ASME FFS-1 規格を元にした評価ソフトウェア Pipeline FFS ソフトウェア (Seikowave 製) で評価した事例を紹介する。

◆ レール移動式連続計測装置

図1は、米国 PRCI (Pipeline Research Council International) のヒューストンテクノロジー開発センター⁽⁴⁾の開所式(2015年7月)にて披露された、磁力貼付式モータ駆動型レールに3次元計測装置を搭載し、連続計測実演事例である。このレールは、直径20インチ以上の直管ないし石油タンクなどの表面に適用可能。搭載された3次元計測装置は、レールのロールバー回転に合わせて、配管の軸方向に一定量移動し、計測、移動、計測を繰り返す。レールの枠内を左から右、或いは右から左へ移動が完了すると、予め指定された距離を、配管の周方向に移動し、長手方向の連続計測を再開する。計測が完了すると、複数のデータ(この事例では、長手方向5枚×周方向14列=70枚のデータ)を自動的に合成し、一枚のデータとして生成する。この合成されたデータを、腐食解析・評価ソフトウェアへ移行し、腐食を伴った配管や圧力容器の供用適性を評価できる。

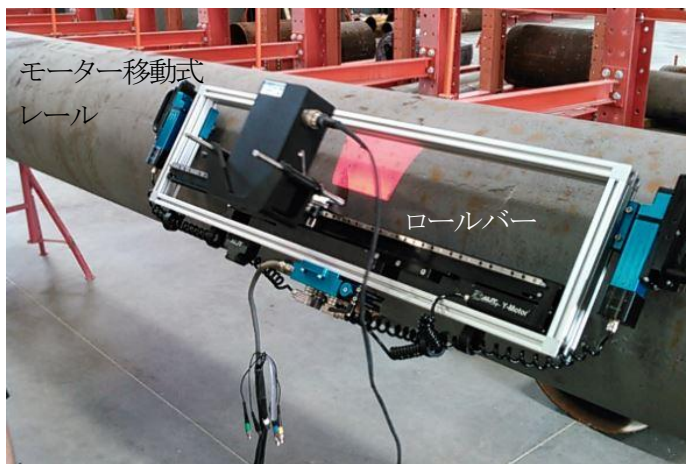


図1. レール移動式連続計測システム

◆ データの自動合成と腐食解析

図2は、軸方向5枚×周方向14列の3次元データを自動合成した後のデータである。

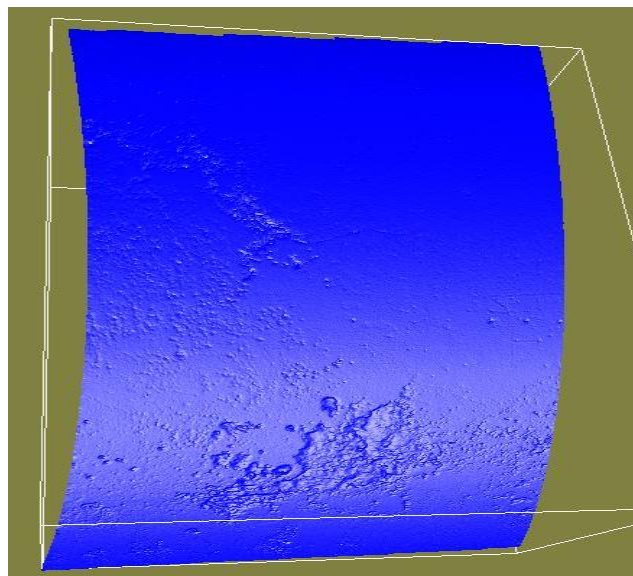


図2. 合成後の配管表面(3次元)データ

図3は、図2の3次元データを解析し、健全面からの差分(腐食深さに相当)をカラーマップ表示したものである。カラーマップは、計測全領域の中の最も深い箇所(この場合3.31mm)に合わせて自動的に配色される。

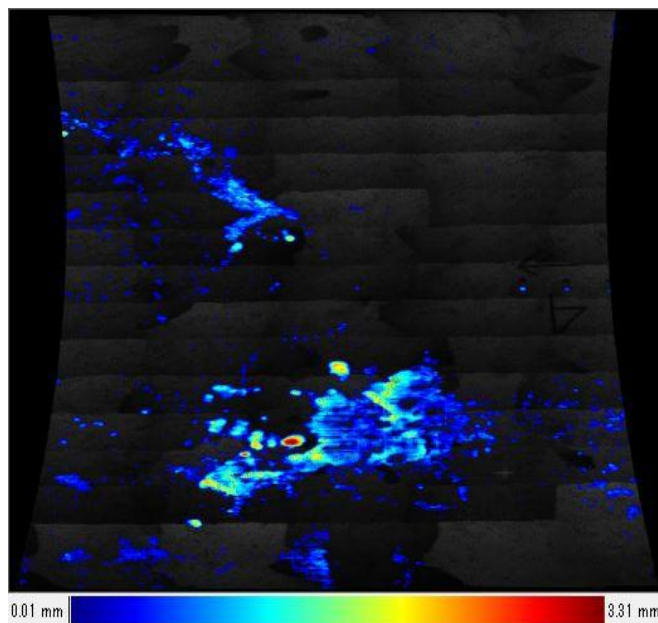


図3. 腐食深さのカラーマップ

図4は、計測データから算出された配管の半径や、一定の条件（配管の肉厚に対する腐食深さの割合とそれを満たした領域の面積）に合致した腐食領域をリストアップし、更に、一番腐食の深い腐食領域の Critical Thickness Profile (CTP) グラフを生成、重ね書きしたものである。CTP グラフは、周方向に一定の距離（この場合 5mm）で輪切りにし、その輪切りの中でもっとも深い点を抽出、その作業を長手方向に繰り返し、もっとも深い点をつなげたものとして生成される。図4では2つの CTP グラフが表示されているが、供用適性評価に使うのは、軸方向減肉量の CTP である。また、計測データから計算された配管の半径 (451.90mm) を設計値と比較することで、計測データの信頼性を評価することができる。例えば、計算された半径と設計値の誤差が5%であれば、腐食深さの誤差も5%であると評価できる。ただし、設計値が必ずしもその配管の元の値とは限らないので注意が必要である。

◆ CTP (Critical Thickness Profile)

図5は図4の CTP (減肉量) の実際のデータの一部を表示したものである。左の列は、対象となる腐食領域において輪切りにされた領域で最も深い地点の、腐食領域左端から軸方向の距離、右の列はその深さデータである。この事例の輪切りは 5mm 単位で行われたが、その輪切りの領域内で最も深い箇所までの軸方向距離は 5mm 単位とは限らない。この例では輪切りの中でもっとも深い箇所の位置が、左端からの距離として 0.5mm 単位で拾われている。

このデータを Pipeline FFS 評価ソフトウェアに代入することで、CTP に基づいて計算された破壊圧力と運用圧力との比、つまり、どれくらいの安全係数があるかを求められる。図6はその結果を表示したものである。

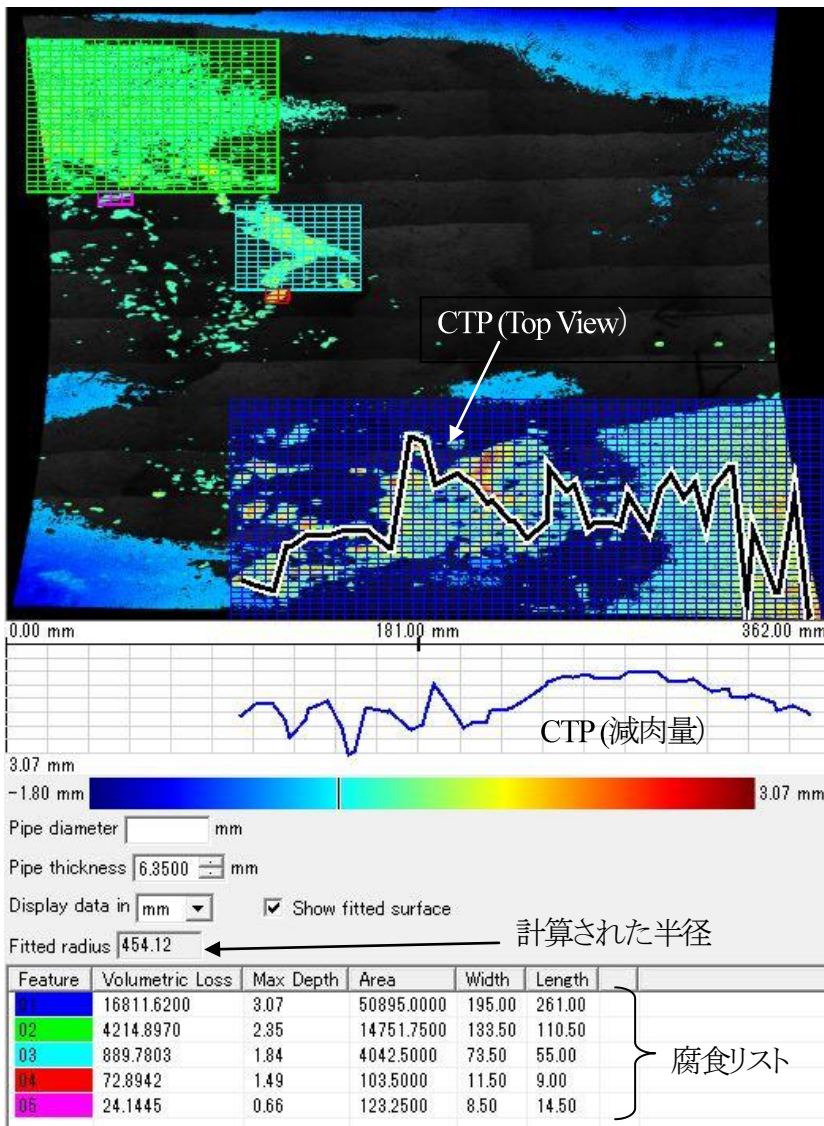


図4. 腐食リストとCTPの表示

Increment[mm]	Pit depth[mm]
0	0
4.000	2.402
6.500	2.429
10.000	2.018
18.000	1.914
24.500	2.119
26.500	2.833
33.500	2.322
35.000	2.148
43.500	1.831
49.500	2.282
54.500	3.308
55.000	3.200
60.000	2.134
69.000	2.173
70.000	2.133

図5. CTP データ(減肉量)

P = 2StFT/D [psig] - Calculated Pressure	241.16		
Established MAOP [psig]	240		
Pipe Outside Diameter [mm]	910	Effective Length [mm]	140
Pipe Wall Thickness [mm]	6.35	Effective Area [mm]^2	283.753
SMYS [psi]	24000	Max. Pit Depth [mm]	3.308
Design Factor	0.72	Max. Depth/Wall Thickness	52.0945%
Total Length [mm]	145		
Effective Length: Start [mm]	0	End [mm]	140
RESULTS OF ANALYSIS:			
METHOD	Max. Safe Pressure [psig]	Burst Pressure [psig]	Safety Factor
RSTRENG - Effective Area	241.16	394.73	1.64471
RSTRENG - 0.85 dL	241.16	350.682	1.46117
ASME B31G	210.032	291.711	1.21546

図6. Pipeline FFSソフトウェアによる評価結果

◆ 残存強度評価

図6は、対象となる配管の諸元を入力し、CTP データ (図5) を代入した後、3種類の規格に基づいて計算した結果を示す。必要な諸元は、配管の直径、肉厚、材料金属の強度、設計裕度とそれらによって導かれる最大運転許容圧力 MAOP である。図中の ASME B31G 法はもっとも保守的な手法であり、点評価法、ないし全面減肉評価法と呼ばれている。つまり、評価対象の腐食領域の中でもっとも深い点の深さで、その領域全体の損失体積とみなし、残存強度を計算する手法である。0.85dL 法は、最も深い点を用いる点では、B31G 法と同じであるが、パラボラ状に損失しているものとみなして計算している。Effective Area 法は、局部減肉評価法とも呼ばれ、図4で求めた CTP 値を使い、最深地点以外の残肉強度を考慮に入れるため、破壊圧力 (Burst Pressure) の値がもっとも高く算出される。

CTP の値を利用することで、配管の残存強度をより実態に近く評価できる手法 Effective Area 法 (局部減肉評価法) は、今まで、点評価法を用いたがために修繕を余議なくされていた配管が、そのままでも運用上問題がないかもしれない可能性を、具体的に、破壊圧力や安全係数として示すことができる手法である。この手法を用いるためには、CTP 生成に必要な多数の測定データを集めなければならない、過去行われてきた手作業による計測法では効率が悪く、また再現性も高められない。本稿で紹介している連続3次元計測手法は、広範囲の腐食領域の計測がより効率化され、再現性を高められる手法である。

◆ Helical Robot に3次元計測機を搭載

図7は、PRCI の開所式で披露された、配管上を自由に動き回れる Helical Robot に3次元計測機を搭載した事例である。ロボットや計測機はすべて無線化され、人の到達が困難な箇所の計測に向いている。



図7. Helical Robot による三次元計測

このロボットは、本体の下部に、配管表面と17mmのクリアランスを持った、非常に強力な永久磁石を備え、装置全

体を配管に強力に貼りつけているため、配管の表面を自由に移動できる。直径20インチ以上の配管（直管）と、エネルギー貯槽など、強磁性体金属を利用した圧力容器への適用が可能である。尚、永久磁石と配管表面との間にクリアランスがあるため、塗装や保護材などが介在しても、その厚みがクリアランス以下であれば磁石の高さ位置を調整することで運用可能となる。また、車軸角度は固定だが、4輪すべてにモーターが内蔵され、車輪の回転力と取りつけ角度の異なる小さなローラーの持つ摩擦力との合成ベクトルにより、前後、左右に移動可能である。

このロボットの制御は無線で行う。いわばラジコンである。3次元計測装置は、ロボットに搭載したWindows PCをWiFi経由でRemote Desktop機能を使って遠隔制御する。操縦可能距離は、見通しで約100メートルである。

図7のロボットに図1の自動計測ソフトウェアを適用することで、広範囲の連続計測・自動合成が可能となる。

◆ WES2820 の適用

WES2820規格に準拠したソフトウェアとして株式会社IMCの”uni-Fitness”が2015年夏から販売されている⁽⁵⁾。このソフトウェアは、本稿で紹介している3次元計測データをCSV化して取り込み、残存強度や供用年数を評価することができる。”uni-Fitness”を使った評価事例については、改めて別の機会にその詳細をお伝えしたい。

◆ 最後に

本稿で紹介した連続計測システムは、従来、ほぼ手作業で行っていた3次元計測とデータ合成を連続化・自動化し、より広範囲の腐食を効率的に評価できるものであり、安全性評価の効果と信頼性を一層高める装置である。また、WES2820規格の登場により、我が国でも供用適性評価を行う環境が整ってきたことは、エネルギー関連施設の供用安全性をより効率的に評価し、その結果として、社会の安全性向上につながるため、誠に喜ばしいことである。

本装置が産業界や社会生活安全性向上に寄与することを願ってやまない。

<参考文献>

- (1) 新村稔、「3次元計測装置を利用し、現場の作業効率向上をねらったシステム」配管技術2013年8月号
- (2) 新村稔、「供用適性評価規格の策定経緯と日本での普及に向けて」検査技術2014年12月号
- (3) 日本溶接協会 WES2820規格制定のお知らせ
<http://www.jwes.or.jp/mt/etc/standard/archives/2015/06/wes2820.html>
- (4) PRCI TDCのお知らせ <http://prci.org/index.php/tdc/>
- (5) (株)IMCプラント健全性評価ソフトウェア製品
http://www.jmuc.co.jp/imc/110itsystem_uni.htm

<筆者紹介>

現在、(株)セイコーウェーブ副社長、米国SEIKOWAVE INC. 副社長兼取締役。1960年生まれ。1982年東北大学工学部電気系卒業。同年信州精器(後、セイコーエプソン)就職。日米にて米国向けパソコンの設計や携帯電話向け画像制御半導体の企画・設計、マーケティング担当を歴任。2007年退職。2010年(株)セイコーウェーブを創業し、現在に至る。

