

機関紙『非破壊検査』2015年投稿原稿

タイトル：3D計測装置を使った配管腐食の供用適性評価とインフラ計測への応用

著者： 新村 稔（(株)セイコーウェーブ）

1. はじめに

Fitness-For-Service（供用適性、以降、FFS）評価技術は、2000年に米国石油学会（以降、API）の規格であるAPI RP579が発行されてから、急速に世界での適用が始まった。日本では、石油連盟が1999年に一般社団法人日本高圧力技術協会（以降、HPI）に委託して、「欠陥評価研究会」（その後、石連・石化協「FFS評価技術委員会」）が発足、配管や圧力設備におけるFFS評価技術の適用研究が進められ、その成果が、一般社団法人日本溶接協会からWES規格として2015年6月に制定された。

本稿では、まずRSTRENG¹⁾を使った配管減肉評価事例について解説し、次にインフラ保全のための計測応用を紹介する。

RSTRENGは米国PRCI（Pipeline Research Council International Inc.）から1989年に初版（Catalog No. L51688Be, Published Dec 22, 1989）が公開され、以降、米国機会学会ASME B31G / FFS-1規格などを加えて改訂・運用されている、腐食配管のRSF（Remaining Strength Factor 残存強度ファクター）を計算する評価手法・ソフトウェアである。日本溶接協会のWES規格はASME B31G / API 579^{2) 3)}などの規格をベースにしており、RSTRENGの論述をほぼそのまま援用可能である。

FFS評価は、キズや損傷を含む供用中機器の構造健全性を示すために行う定量的な評価技術であり、この標準の示すガイドラインに従うことで、検出されたキズを含む圧力容器が、これからの一定期間安全に運転継続できるかどうかの決定を助けるための運転継続／補修／取り替えの判断に使うことができる。これらのFFS評価標準は、現在のAPI規格・基準（510、570、653）及びNB-23により、検査によって機器に劣化やキズが発見された場合に、圧力容器・配管システム、及び貯蔵タンクの構造安全性評価の適切な手法として認められ、参照されている。

2. 3D計測の利点

配管や圧力容器の保全現場からは、腐食した配管や圧力容器の側板、底板、鏡板などの比較的広い範囲の腐食マップを効率よく作成したい、残存強度を素早く計算したい、などの要望が多く寄せられている。評価対象腐食領域を3D計測することで、以下の利点が生まれる。

- (1) 従来、最も腐食の深いと推測される地点を通る格子を配管上に引き、その交点での深さを、超音波肉厚計（以下、UT）やダイヤルゲージ付き減肉計（以下、ピ

ットゲージ) で計測していた。この場合、格子の引き方や、計測装置の当て方に
 応じて、読み取りの値がばらつきやすいという、再現性の課題が存在していた。
 一方、計測面を一挙に数値化できる 3D 計測手法は、誰がいつ計測を行っても、
 非常に再現性の高いデータを得ることが可能である。セイコーウェーブ社の
 3DT-LCG-01 を使った場合、深さ方向のばらつき精度は標準偏差 50 ミクロン以
 内に抑制されている。

- (2) 残存強度評価の確からしさを上げるために有限要素法を使う場合、従来手法では、
 格子の間隔を狭く、測定点を多く取る必要があり、計測時間は測定点数に比例し
 て長くかかっていた。一方、3D 計測の場合、面単位で一度にデータ取得が終わ
 るため、非常に効率が良い。前記装置では、30 万の座標点計測が 0.3 秒で完了
 する。
- (3) 残存強度計算を行うに当たり、従来は、手計測のデータを各々コンピュータに入
 力していたが、3D 計測の場合、必要な腐食箇所の CTP (Critical Thickness
 Profile 最も肉の薄い箇所を結んだ断面図)を即座に計算し、RSTRENG などの
 FFS 評価ソフトウェアへデータを移行させることが容易にできる。

3. 3D 計測の配管腐食への適用と残存強度評価

Fig. 1 は、3D 計測装置(3DT-LCG-01)によって、配管の腐食部を含む、直径 6.5 インチ
 配管の表面を計測した事例である。

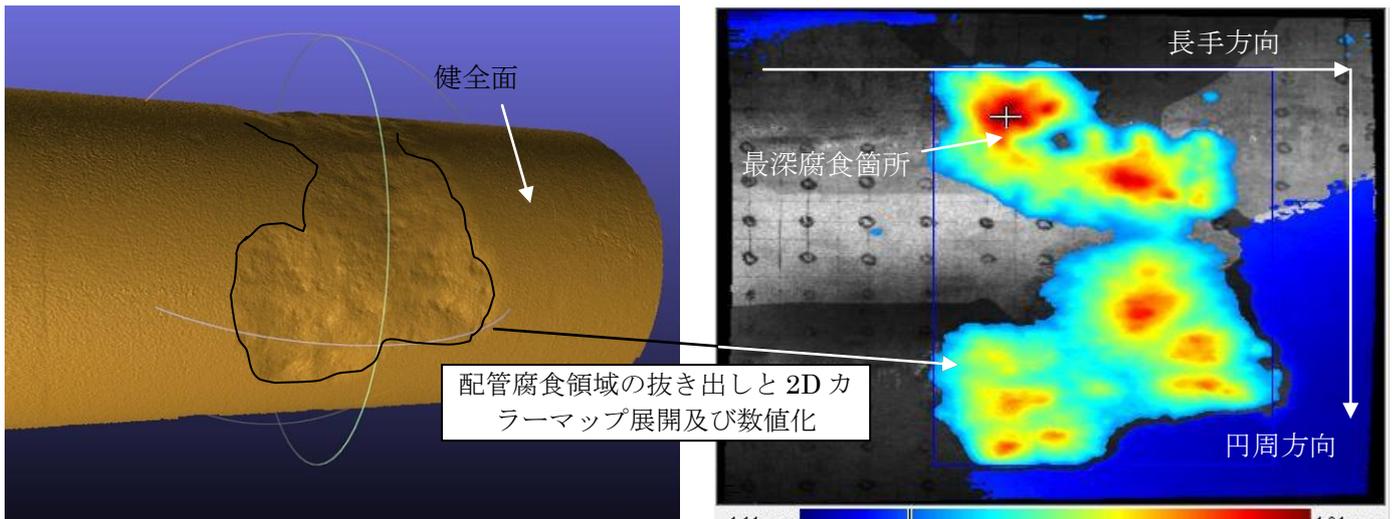


Fig. 1 腐食を含む配管の 3D 計測事例

Fig. 2 は Fig. 1 の腐食領域を一定条件で
 抜き出し、数値化後、2D 展開した図である。
 この図では、“+”で腐食の最深箇所を示し、
 その深さが、4.28mm であることを検出して
 いる。

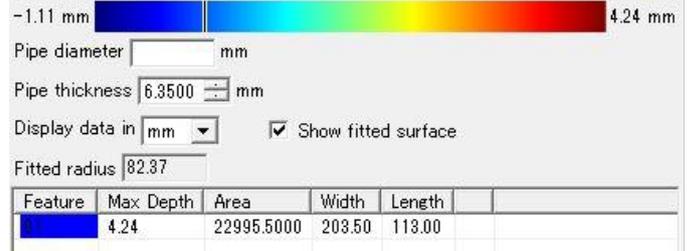


Fig. 2 配管腐食領域の 2D 展開と数値化

この場合、腐食深さはどうやって検出しているのだろうか。3DT-LCG-01 の制御・解析ソフトウェアでは、直管の健全面を自動検出し、その曲率に最も合致した円筒面を基準面として再現する。基準面との差分がカラーマップ表示され、配管肉厚に対して、その腐食が指定%以上深く、かつ指定面積以上であるか、の条件を満たした領域を、腐食領域として抜き出し、その最大深さ、腐食面積などをリストアップ表示している。

Fig. 3 は、腐食領域の存在する配管を任意の幅（この場合 5mm）で輪切りにした時、その輪切りの中で最も深い地点を探し、それを長手方向に同じ作業を繰り返すことで、長手方向の肉薄地点の断面図(CTP)を得ることができる。

Fig. 4 は、Fig. 3 で得られた CTP を使って、配管の残存強度を計算するに当たり、配管の諸元を予め RSTRENG に入力したところである。

この事例では、米国生まれのソフトウェアであるため、単位系は、米国流のインチ、PSI を使っている。

入力が必要な諸元は、腐食箇所を特定するための位置情報と名前、配管の元の直径、配管に使われている鋼材の破壊強度、デザインファクター、計算ステップなどである。

これらの入力を終え、Save のボタンを押すと、Fig. 5 の画面に代わり、Fig. 3 で検出された CTP のグラフ値を貼りつけることができる。

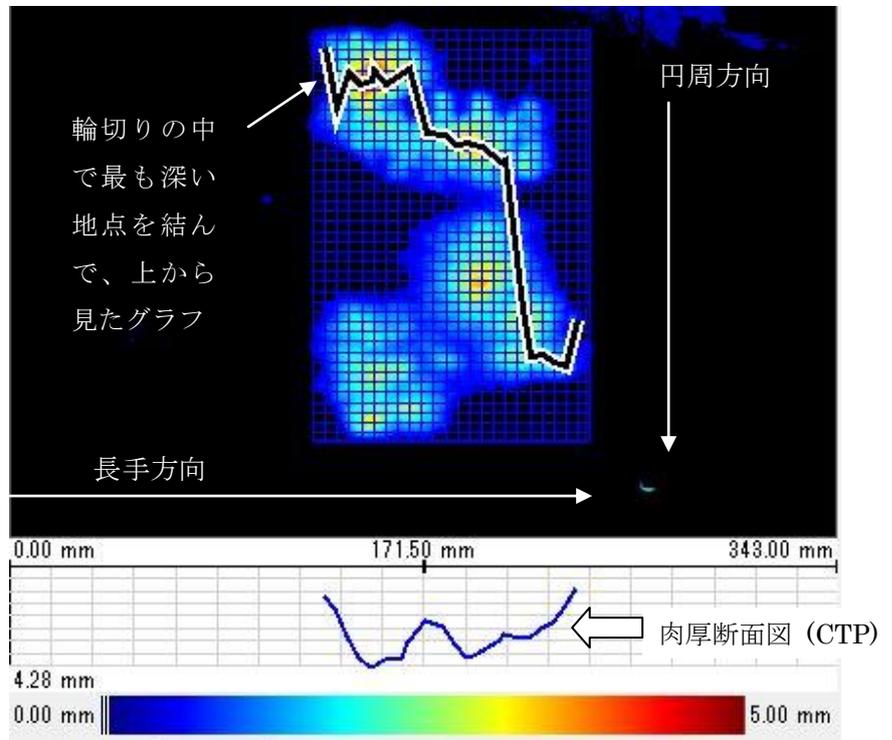


Fig. 3 配管腐食の CTP 生成

Fig. 4 配管パラメータの入力

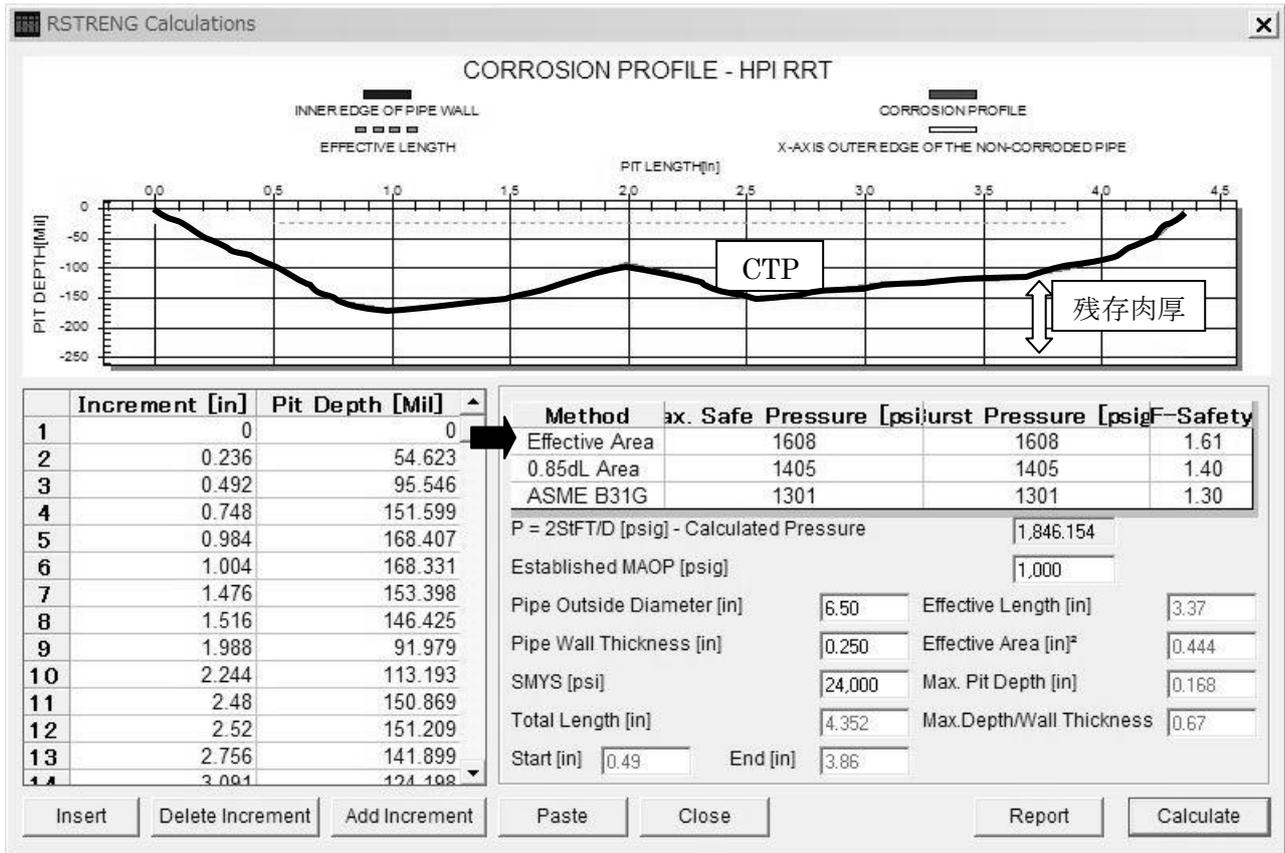


Fig. 5 RSTRENG の実行結果

RSTRENG の計算実行(Calculate)後、3つの基準(ASME B31G, 0.85dL Area, Effective Area)^{2) 3)}に従い、最大安全圧力(Max. Safe Pressure)、破壊圧力(Burst Pressure)を計算。安全係数(F-Safety)を見ることでその腐食を持った配管の運用継続可能性（修繕の必要性）を判断することができる。

CTP を使った計算結果は、Fig. 5 においては、Effective Area の欄（矢印）で表示されており、3つの基準の中で最も破壊圧力計算結果が大きく、安全係数も大きいことが読み取れる。つまり、CTP を使うことで長手方向に残っている肉厚によって配管の残存強度がより大きく評価され、従来必要だった修繕が不要となる可能性があることが分かる。

4. コンクリート構造物損傷への3D計測適用事例

Fig. 6 は、名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授かつ土木学会所属の北根先生が保管している橋梁サンプルを計測したものである。橋梁コンクリート基礎部の鉄筋が腐食膨張し、コンクリートを内側から押し出し、剥離させている。

Fig. 7 は Fig. 6 を3次元解析したもので、剥離した部分の最大深さ(Max Depth)、各領域の損失体積(Volmetric Loss)、面積(Area)などが数値化後、表示されている。



Fig. 6 道路橋のコンクリート基礎部の損傷（上）

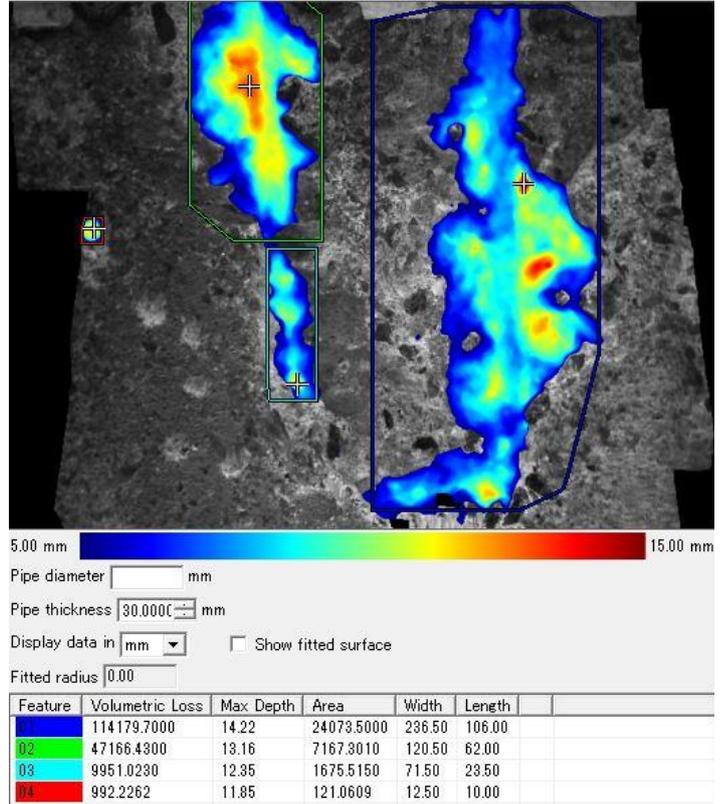


Fig. 7 損傷部のカラーマップ表示と数値解析（右）

5. 3D計測による国土強靱化への貢献

戦後の高度成長期に大量に構築された道路や鉄道、道路橋、鉄道橋などの社会インフラは、供用開始から50年前後経過し、定期保守にもかかわらず相当の劣化が進んできている。これらの状況を鑑み、国土交通省や関係省庁を中心に検討が進められ、平成20年には、道路橋の予防保全に関する提言がなされた⁴⁾。が、平成24年12月、不幸にも笹子トンネル天井板落下事故が発生したことなどを受け、インフラ保全にかかる検査が緊急に見直され、平成25年11月に「インフラ長寿命化基本計画」⁵⁾を策定、平成26年6月公布の「橋梁定期点検要領」においては、5年に一度の近接目視が義務づけられるようになった⁶⁾。

インフラの定期点検において基本とされているのは「近接目視」である。この場合、記録を取る手段としては、デジタルカメラが一般的であるが、デジタルカメラの写真では、その記録対象物の定量化が極めて困難である。前出「橋梁定期点検要領」では、想定される損傷の状況（例）が図示されているが、写真例やイメージ図が例示されているにすぎない。現在、筆者の知る限り、損傷などの定量化に基づいた診断基準は制定されていないが、診断基準が制定された時に備えて、近接目視の結果を定量化する手段を提供することが、国土保全の進歩や強靱化につながるはずである。

第4章にコンクリート剥離を3D計測し解析した一例を示したが、鋼橋の腐食や耐候性塗料の劣化（浮き、はがれなど）、溶接部の腐食・損傷など、数値化が可能な事例はほぼあ

らゆるところに存在する。本稿で紹介したような 3D 計測適用が進み、配管、圧力容器の保全推進、国土強靱化、安全性向上が進むことを願ってやまない。

[参考文献]

- 1) PRCI カタログ番号 L51688Be
- 2) A.Yamaguchi, N.Yoshida and T.Kaida “Evaluation of Remaining Strength of Corrosion Simulated Pipes by API579-1/ASME FFS-1 Fitness-For-Service”, Journal of High Pressure Institute of Japan, Vol. 52 (2014) No. 2 p. 72-80. (in Japanese)
- 3) Y.Ideguchi, Y.Ishizaki and T.Tahara “Fitness-for-Service Assessment of Pressure Equipment Part 2 Study on various assessment procedures and margin for failure”, Journal of High Pressure Institute of Japan, Vol. 44 (2006) No. 5 P 271-286. (in Japanese)
- 4) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議、座長田崎忠行（独）日本高速道路保有・債務返済機構理事、「道路橋の予防保全に向けた提言」、平成20年5月16日
- 5) インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議「インフラ長寿命化基本計画」、平成25年11月
- 6) 国土交通省道路局国道・防災課「橋梁定期点検要領」、平成26年6月

著者紹介

新村 稔

1982 年東北大学工学部電気系卒業、同年、セイコーエプソン入社。米国向けパーソナルコンピュータの設計・半導体設計などに従事。2007 年同社退社。2010 年株式会社セイコーウェーブ創業。現在副社長として、装置の開発、日本・アジア市場開拓に従事。（〒181-0001 東京都三鷹市井の頭 3-12-11 KS-5 ビル 202 号）<http://www.seikowave.jp>