

## 3次元計測・解析システムの腐食計測への応用

### <配管表面腐食計測の実例と供用適性評価>

(株) セイコーウェーブ 新村 稔

#### 1. はじめに

筆者は『配管技術』2013年8月号において、3次元計測装置(3D Toolbox™)の概要と採用している評価方法(供用適性評価)をすでに紹介している<sup>1)</sup>。そこで本稿では、主に具体的な活用事例や既存の計測手段との比較などを述べる。

#### 2. 3D Toolbox™ の動作原理

3D Toolbox™ は、縞模様のパターンをLEDプロジェクターで計測対象物に投影し、対象物の形状に応じて歪んだパターン画像をカメラで複数枚撮影する、いわゆるパターン投影法を利用している。面単位で一挙に、大量の高精度な3次元座標を取得できるため、現場での作業に向いている手法である。

一般に、パターン投影法で取得した複数のカメラ画像データを3次元行列式計算で3次元座標に変換する手順は複雑であり、時間もかかるため、従来は現場には不向きな手法であった。本システムは米国ケンタッキー大学で開発された高速アルゴリズムを組み込むことで、高速に3次元座標群(点群)への変換を実現している。具体的には、空間位相の変化する3種類のパターンをそれぞれ8枚ずつ投影し、各パターンに同期させ合計で24フレームのカメラ画像を撮影している。2013年から市場に投入している機種では、30万画素のフレームを每秒90コマ撮影しているため、データ取得に要する時間は約0.3秒。またこの24コマの画像を3次元データへ変換する時間は3秒以内を実現している。

#### 3. 3D Toolbox™ の特徴

本システムは主に屋外において石油パイプラインの外表面腐食を詳細に計測し、運用圧力に耐えうるかどうかを現場で即座に判断できるよう、計測装置、操作ソフトウェア、解析・評価ソフトウェアを一体化して最適化を図ったものである。解析・評価に使っている規格は、ASME B31G / RSTRENG© である。

以下、本システムの特徴を列挙する。

- (1) 現場で使える堅牢性～IP67準拠(1m防水、防塵、耐1m落下)
- (2) Point, Click, Done ～腐食箇所を照射、ワンクリックで計測、評価ソフトで判断完了
- (3) 高い再現性～計測者に依存しない、再現性のあるデータ取得
- (4) 大量の精密データ(精細な格子に相当)を一発で取得(0.5mm前後で30万画素点群生成)
- (5) 高速性～データ取得時間0.3秒、3D座標への変換時間3秒
- (6) テキスチャー同時取得～手描き文字や模様も同時に取得

#### 4. 3D Toolbox™ の活用事例

米国のパイプラインメンテナンス現場での活用事例を図1に示す。これは米国東部州の石油配管検査・修繕の典型的な事例である。埋設管の検査箇所を特定するには、Guided Wave UT手法が主に活用されている<sup>2)3)</sup>。



図 1. 配管メンテナンス現場の工事風景

日本では、石油化学工場や精油所などで、主に地上敷設の配管や圧力容器の腐食検査に活用が始まっている。

#### 5. 3D Toolbox™ 計測手順

保護材など被覆がある場合はその保護材を取り除き、スケールも金属ブラシなどで除去した後計測する。デプスゲージやU T計測の場合、計測対象領域に格子を書き込み、その交点における腐食深さを読み取る。U Tの場合は残肉量を読み取る。3D Toolbox は計測対象領域を面として減肉量を一挙に読み取る。

図 2 は 3D Toolbox 計測装置を制御するソフトウェアの画面である。この事例では、すでに数枚の 3 D計測が完了し、それらのサムネールが左側 **Sandbox** に表示され、そのうちの 1 つのデータが **Workspace** に 3 D表示されている。次に左から 5 番目のアイコンをクリックすることで、解析用ソフトウェア (PAS: Pipeline Analysis Software) が立ちあがり、データが自動的に移管される (図 3)。

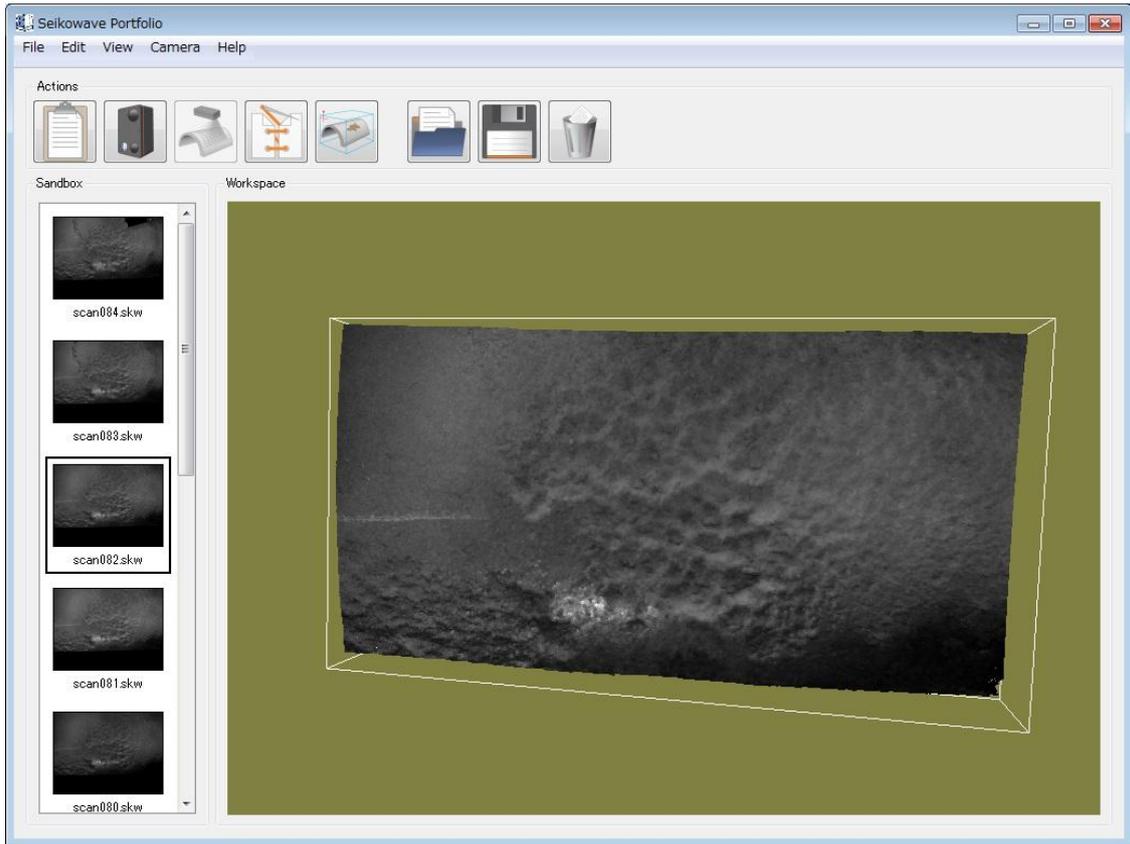


図 2. 計測制御・3Dデータ表示画面

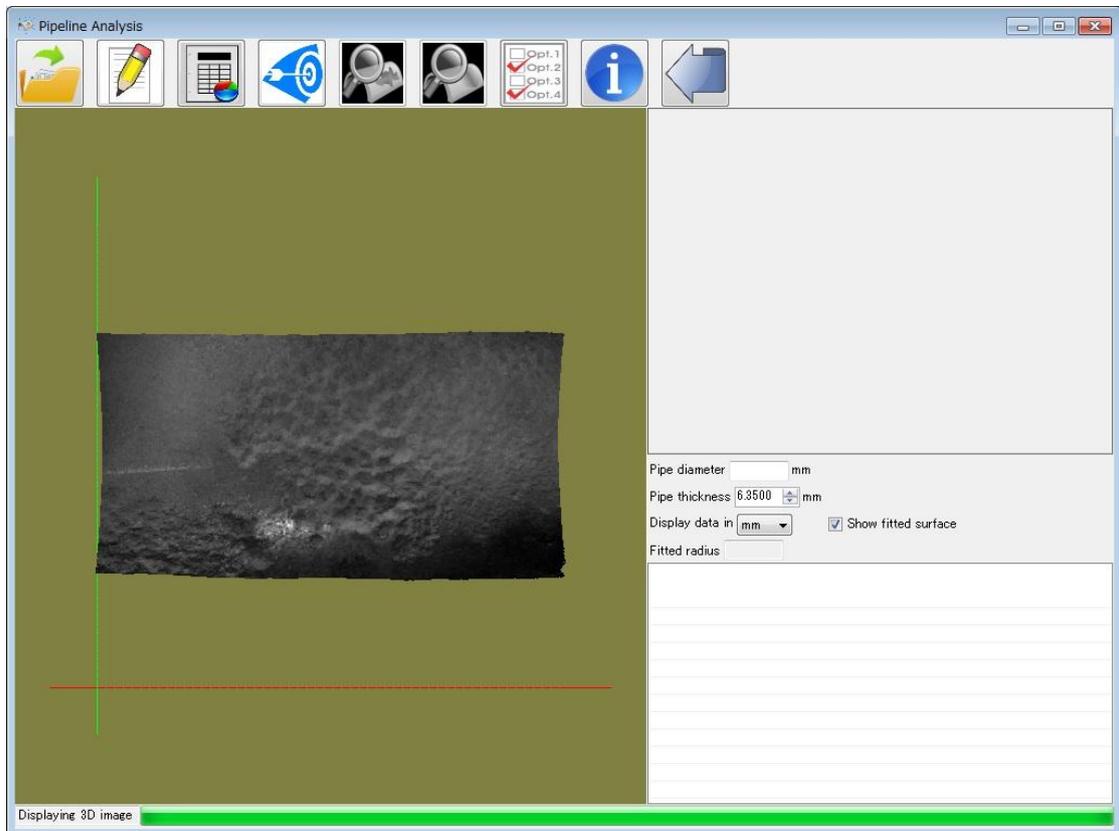


図 3. 解析用ソフトウェアの立ち上げ画面

図4は、計測された領域の中で、曲率が同等な一定以上の面積のある面を自動検出し、その曲率に基づいて基準面となる円筒形を再現したものである（緑色の円筒）。更に、基準面からの差分を腐食深さとみなして、カラーマップで表示している。

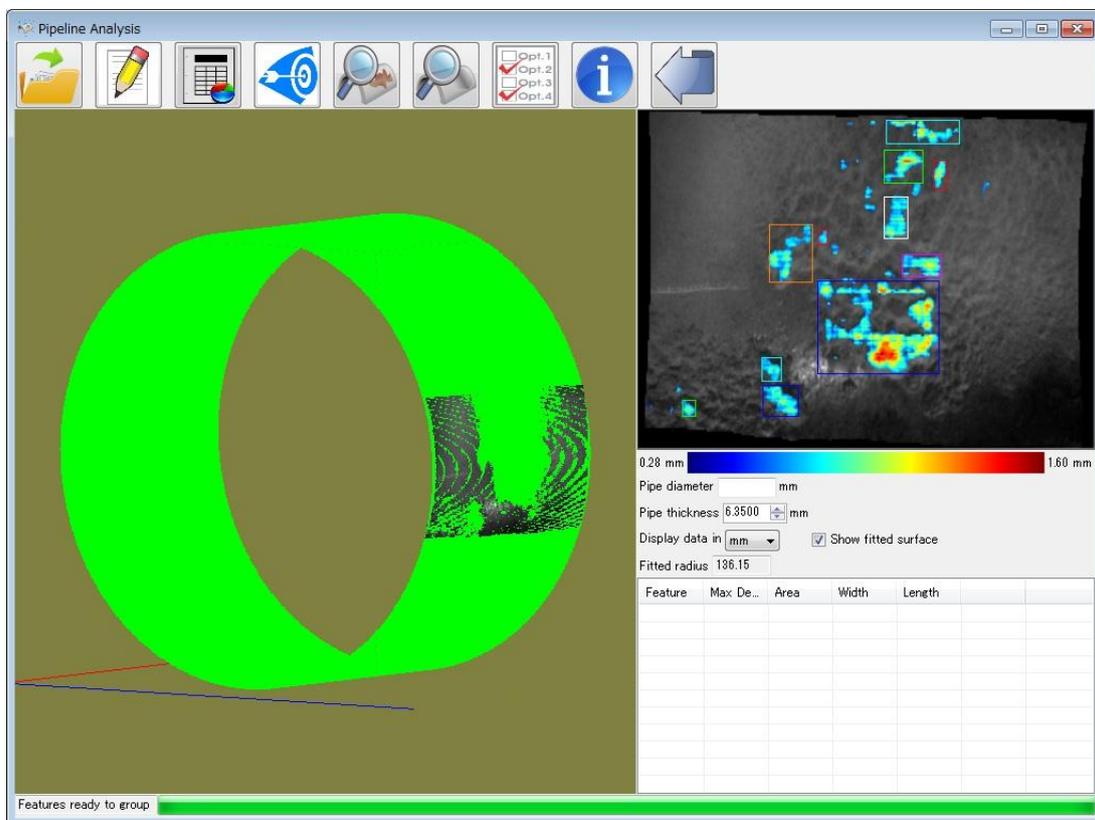


図4. 基準面の再現と腐食カラーマップの表示

図5は、腐食として検出され、カラーマップで色分けされた領域のうち、2つのパラメータを満たす部分を抜き出すように設定した結果の画面である。設計肉厚（画面で入力するボックスがある）に対してxパーセント以上の腐食深さ、かつ、y平方ミリメートル以上、の閾値を設定し、両条件を満たした領域を長方形で抜き出す。抜き出された領域のうち、腐食の深いものから順にリスト形式でその計測値（左から、特徴番号、損失体積、腐食最大深さ、腐食有効面積、円周方向の長さ、長手方向の長さ）を表示している。

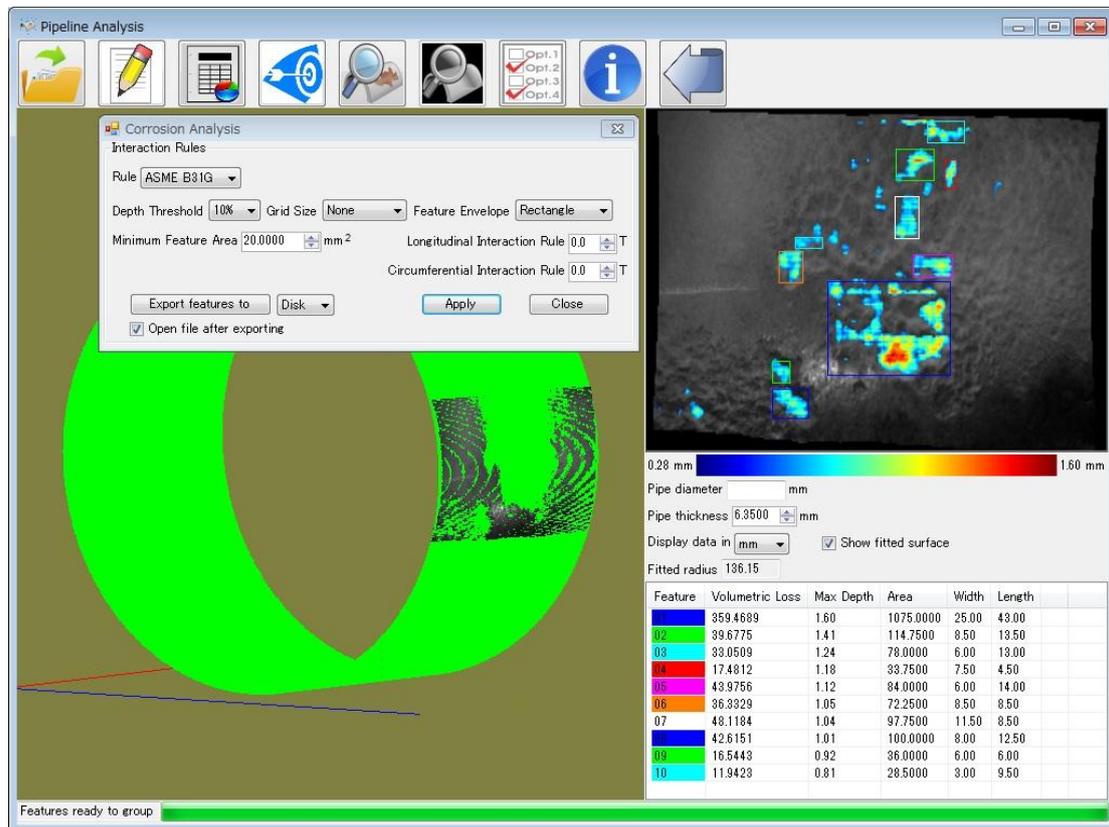


図5. 腐食領域と腐食深さの自動検出

## 6. 供用適性評価

図6は、供用適性評価に使うデータを抽出、表示している画面である。折れ線グラフは、評価対象腐食領域を輪切りにして、その中で最も深い箇所を検出、輪切りを長手方向にグリッド単位で移動し、その輪切りの中で最も深い箇所を検出、それら検出された箇所をつなげて表示したものである。配管表面上から見た時に、川底の一番深いところをつなげた様子になることから、川底法と呼ばれている。これの断面方向から見た図（これが輪切りにされた部分の最も深い腐食深さを表す）は、カラーバーの上に表示されている。

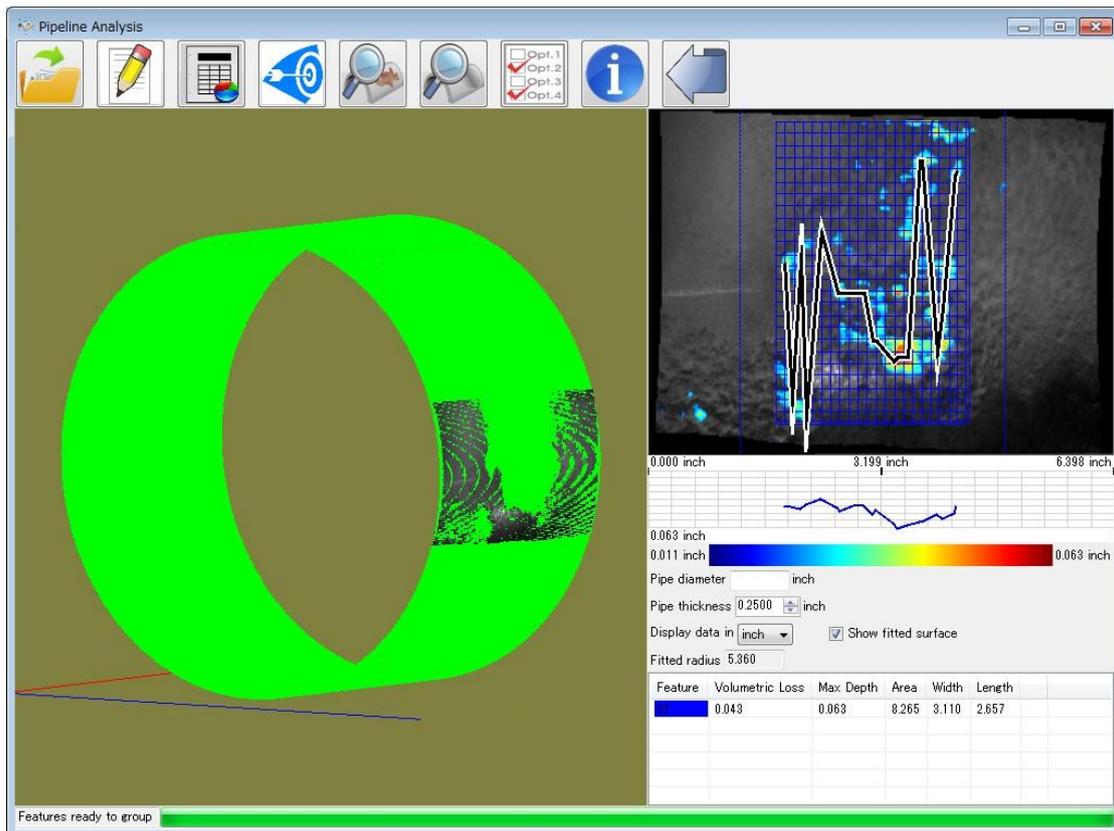


図6. 川底表示

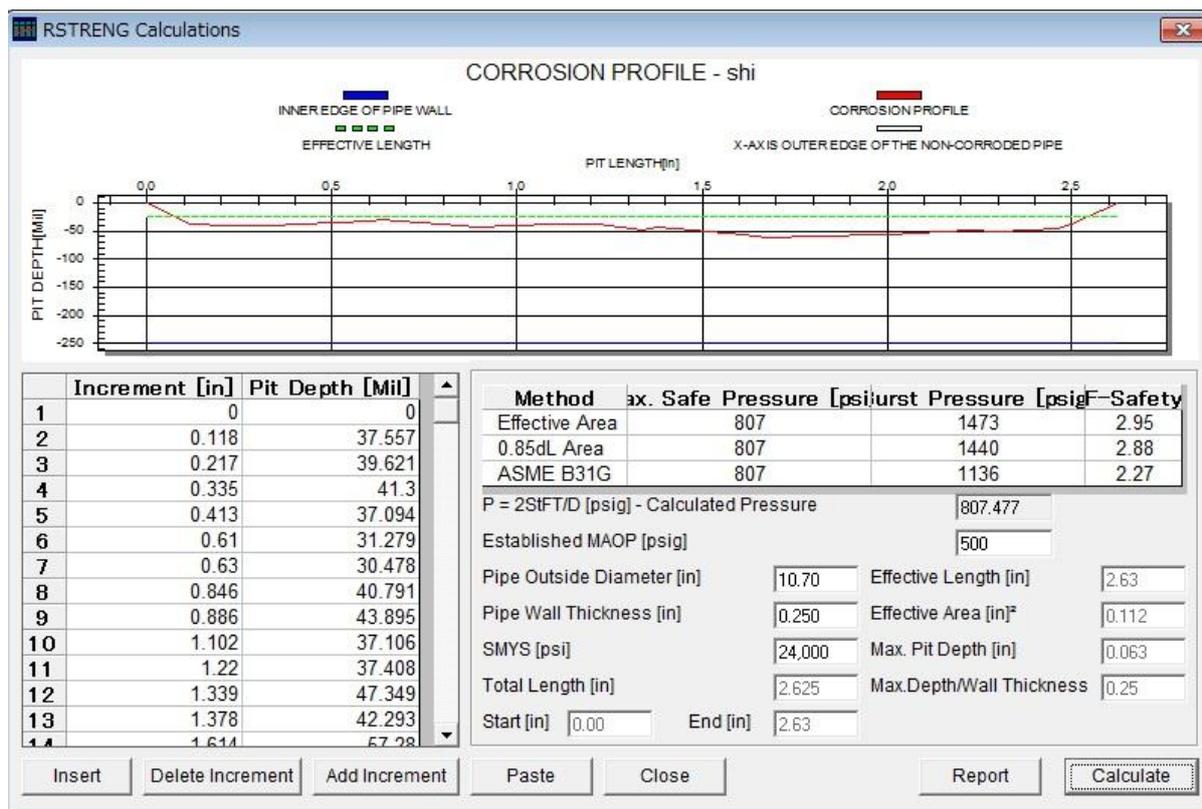


図 7. RSTRENG© 解析・評価結果

図 7 は、川底法で検出された最も深い箇所データを RSTRENG© に移管し、その他の運用条件を入力して、評価対象の腐食を持った配管が、現在の運用圧力に対して耐えうるものかどうかを判断できる、最大安全圧力とバースト圧力、安全係数を計算したものである。

米国の配管保全検査現場は、以上の判断データまで生成し、その場で配管の修繕・交換の必要性を判断、トータルコストの削減と納期短縮、更に、データの高信頼性化による安全性向上に寄与している。

### 7. 従来手法との比較

図 8 は、一般社団法人日本高圧力技術協会の信頼性に基づく減肉評価専門研究委員会（MLR 委員会）にてラウンドロビン試験に利用された腐食配管の写真である。ピットゲージや超音波肉厚計（UT）を使う従来手法では、図 8 にあるように縦・横の格子（この例では 1 cm 間隔）を記入、その交点における腐食深さ、ないし残肉量を計測する。この手法では、（1）格子の書き込み位置が計測者によって変わるため、必ずしも最も深い箇所を探り当てているとは限らない。（2）複数の計測者が同一の格子を使って計測を行っても、プローブや探針の当て方により、読み取り値が異なる。（3）データの数を増やせばふやすほど評価の信頼性は上がるが、計測時間がデータ数に比例して長くなる。という課題を抱えている。

図 9 は 3D Toolbox による計測結果（3D 表示）に川底表示を重ねたものである。この場合の格子は 1 mm 単位で区切ってある。この作業はマウスのクリックだけで完了する。

この計測データを長手方向に 5 mm、円周方向に 4 度で区切って各格子内の最大深さを表示したものが図 10 である。これは、有限要素法を用いた更に精密な機械工学的な強度計算に利用される。このデータ抽出もマウス操作だけで瞬間的に実行される。



図8. 腐食鉄管（計測精度検証用）

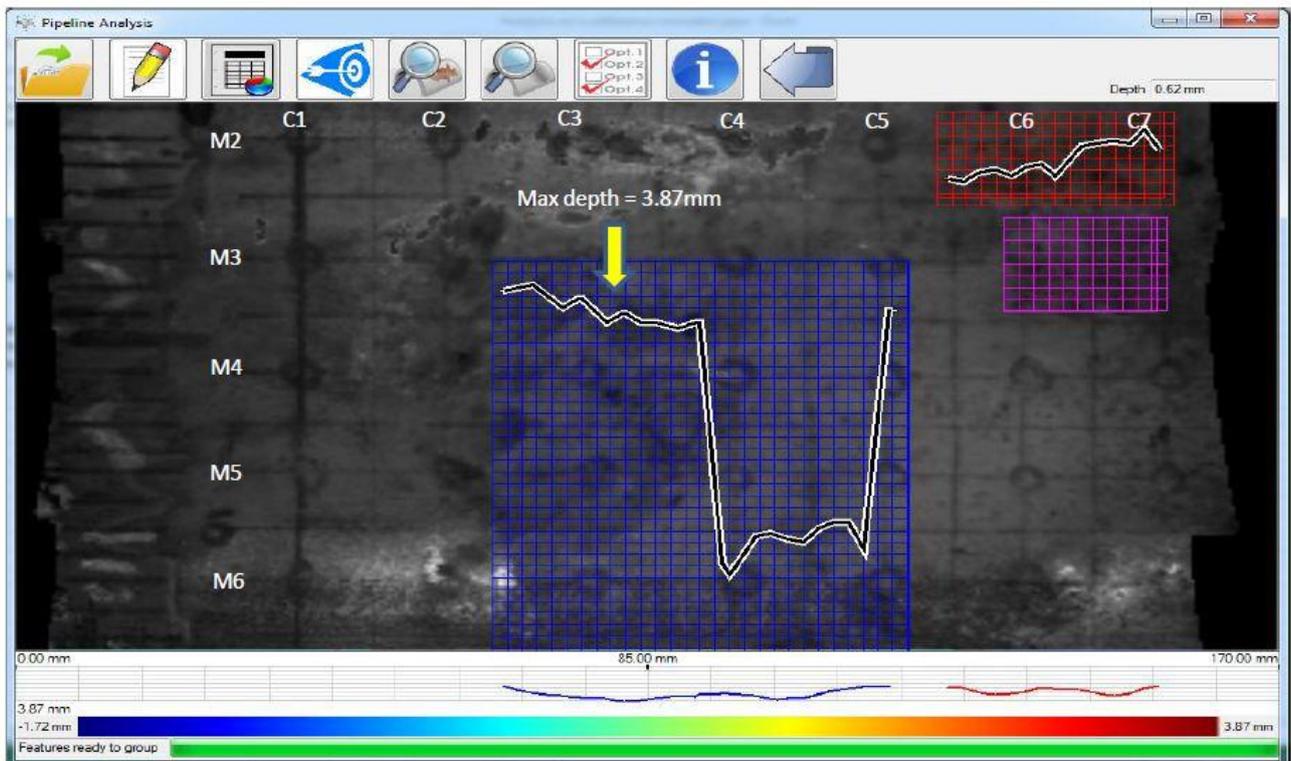


図9. グリッドと川底表示

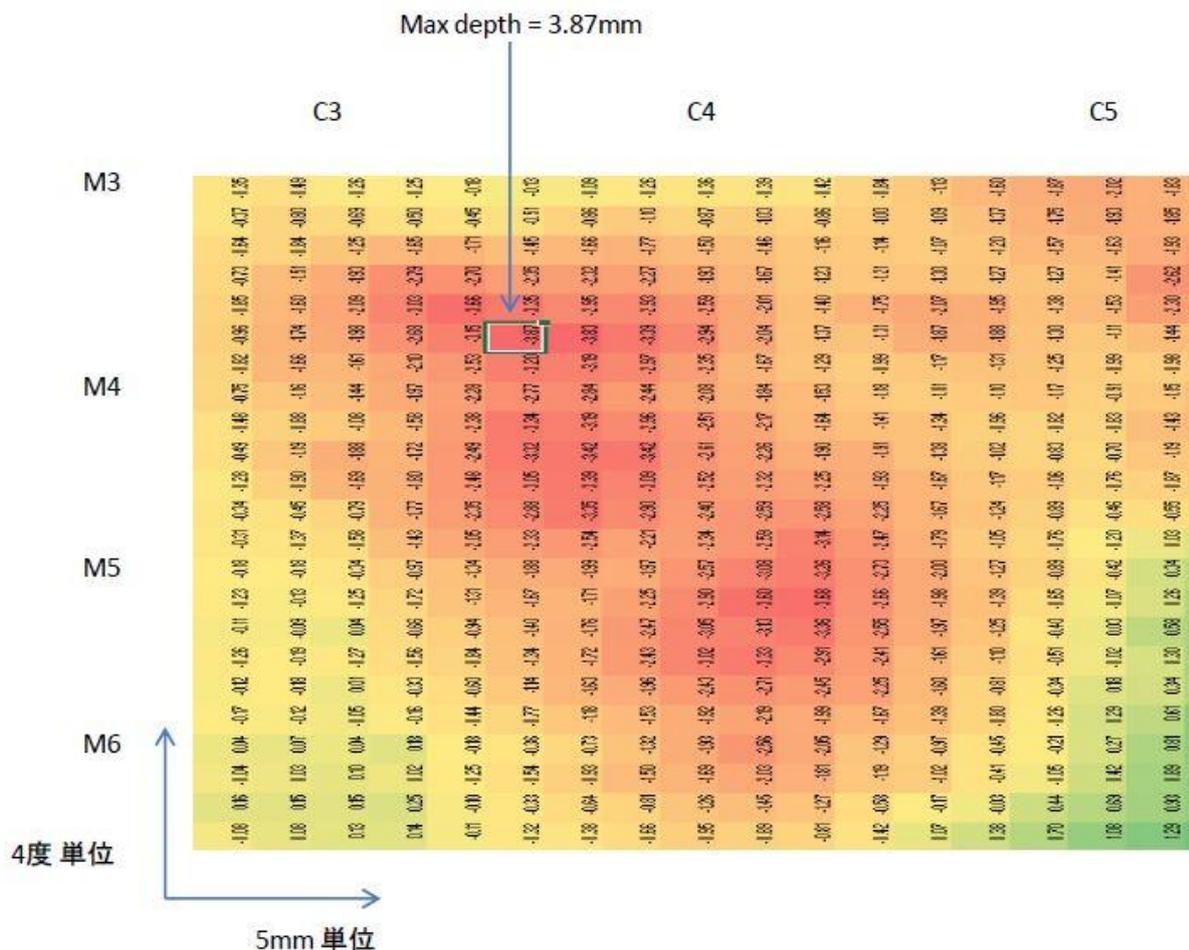


図10. グリッドと腐食深さ

## 8. まとめ

3次元計測の利点を要約すると以下のようになる。

- (1) グリッドの書き込みが不要 → グリッドの書き込みに伴う不具合が起こらない。再現性の向上。
- (2) 面単位に一気に精密なデータの生成が可能 → データ取得が圧倒的に高速。
- (3) 川底データの生成が容易、かつ、供用適性評価まで実行可能 → 現場での判断まで可能。

## 9. 最後に

3次元計測装置は、市場で活用されるようになってからまだ数年の若い技術である。本稿で述べているように、腐食・損傷などの計測・評価に広く活用されることで、社会基盤の安全性向上に大いに役立つことを期待している。

### <参考文献>

- (1) 日本工業出版社刊『配管技術』2013年8月号「配管腐食の3次元計測と解析評価ソフト」
- (2) 日本工業出版社刊『検査技術』2014年4月号「計測効率・安全性向上とオペレーションコスト削減に向けて」
- (3) TechCorr 社ウェブサイト <http://techcorr.com/>