

3D スキャナーによるタンク側板の外観検査について

出光エンジニアリング株式会社

1. はじめに

我が国の特定屋外タンク貯蔵所の8割以上が設置後35年以上を経過し、タンクの老朽化が進行している状況の中で、底板と異なり具体的な点検基準が定められていない側板に関しては、特に腐食劣化による漏えい危険は高まりつつあるとの指摘がされている。また、一定期間ごとに開放検査等が義務付けられている特定屋外タンク貯蔵所についてもその傾向が認められる。

詳細は、平成23年6月に危険物保安技術協会から「屋外貯蔵タンク側板の老朽化の現状と効果的な点検方法のあり方に関する検討報告書」¹⁾と題して報告書が公開されている。また、石油学会の屋外貯蔵タンク維持規格²⁾でも、腐食し易い箇所の点検ポイントが明記されている。

現行のタンク側板部の維持管理方法は、平成3年5月28日付け消防危第48号通知「製造所等の定期点検に関する指導指針の整備について」の点検表に基づき行われている。この点検表では原則として目視点検で行うこととされており、著しい腐食が認められた場合は計器による肉厚測定を実施することとされている。更に、タンク側板からの漏えい事故が多発したことから、平成14年5月15日付け消防危第67号通知「屋外貯蔵タンクの側板からの漏えい事故防止対策について」が発出されている。この通知でも側板の点検は目視点検で行い、腐食が認められた場合のみ板厚確認等を行うこととされている。

このように、底板はすべて板厚測定を行うこととされているが、側板は腐食が認められた場

合のみ板厚確認を行うこととなっている。もし、側板の外観目視検査で腐食が認められた場合はデプスゲージ等を用いて腐食深さを計測し、旧法タンクの場合、残肉厚が3.2mm以上あることを確認し、3.2mm未満であれば補修を行う様に、現行の消防法では規定されている。ところが、最大腐食箇所の場所選定や計測数値の精度は検査員の熟練度や体調に影響されることは自明の事実であることや、腐食測定ポイント位置が次回検査時に同一箇所かどうかの確認が不明確な場合も多い。

この様にデプスゲージを用いた方法では、測定精度や腐食進展経歴の把握に少し難があると言える。そこで、今回、3D スキャナーを用いた計測を行ったので紹介する。

2. 計測システム

図1に計測システム3DSL-Rhino-02(セイコーウェブ社)を示す。このように計測装置とバッテリー及び解析パソコンの3点セットで現場での計測を可能にしている。



図1 計測システム3DSL-Rhino-02

ここで

- ① 計測装置
- ② 計測装置のバッテリー
- ③ 解析パソコン
- ④ システムケーブル

表1に計測装置の仕様と図2に計測器外観を示す。計測器はゲーム機の感覚で両手でハンドルを掴み、減肉箇所を撮影することができる。

重量は1.7kgと軽量で操作性は良好。防塵・防水機能もある。また、電力も6時間連続動作できるので、フル充電させておけば現場での支障もない。

表1 計測装置3DSL-Rhino-02仕様

原理	構造化光位相シフト法
測定速度	0.08秒 (300fps)
点群生成時間	3秒前後
画素数	30万画素
耐環境性能	防塵・防水
動作環境	-10℃～+40℃
消費電力	15W (DC12V)
	100WHr 電池 6時間連続動作
本体重量	1.7Kg
測定画角	80mm × 140mm @200mm
測定対物距離	160mm～250mm
分解能	縦横200μm、深さ30μm
精度	±30μm以下(1σ)



図2 計測器3DSL-Rhino-02外観

ここで、構造化位相シフト法とは、光非接触3次元形状計測法の1つに簾状光パターンを投影撮影するカメラ・プロジェクターのシステム

が有り、その中の構造化光位相シフト法という計測方法である。プロジェクタからsin波状濃淡を持つ光パターンを測定物に投影しスキャン(位相シフト)しながら、その変化状態をカメラで撮影することにより測定物の3次元表面形状を計測する方法を言う。

3. 検査対象タンク

図3に今回検査対象タンクの外観を示す。容量5,000klの保温タンク(内径20.7m)で、保温材を撤去し、外観目視点検および塗装のための足場が組まれている。このタンクの日視検査結果、側板の一部に外面減肉腐食が認められたので、本3Dスキャナーを用いて計測を行った。



図3 タンク外観

4. 検査結果

図4は目視検査で側板の腐食が認められた箇所を示す。2箇所の「×」印は板厚計測結果、板厚3.2mm未滿が認められた箇所で、既に補修は完了していた。

図5は3Dスキャナーでの3次元スキャン結果(テクスチャーオン)を示す。

今回のスキャンは、長さは約1800mm、幅は約300mmほどの計測範囲広さを、ワンショットのスキャンで40枚程を合成した。計測装置は外部モーショントラッキング装置と同期する機



図4 腐食外観

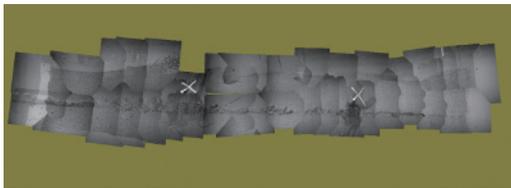


図5 3次元スキャン結果 (テクスチャーオン)
(長さは約1800mm、幅は約300mm)



図6 3次元スキャン結果 (テクスチャーオフ)

能を有しているのでスキャン作業と同時に合成することが可能だが、今回はテストランと言うことで、手動をお願いして合成して頂いた。それでも、大した時間は要さなかった。

ここで、テクスチャ(Texture)とは、材料表面の視覚的な色や明るさの均質さ、触覚的な強弱を感じる凸凹といった部分的変化を全体的にとらえた特徴、材質感覚、効果を言う。言い換えると、物の表面の質感、手触りを指す概念を示す。

図6は図5のテクスチャ-写真をオフにした表示を示す。凹凸が明確に表示されている。

図7は減肉状況を示したカラーマップを示す。

ここで、赤は減肉深さ(凹)を示し、青は凸状況を示していて、減肉部全体の腐食状況が把握できる。2か所の「×」印は、補修しているので、青色となっている。

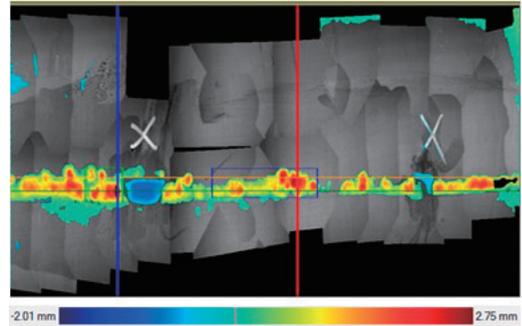


図7 減肉カラーマップ

図8は減肉状況を定量的に示した線図を示す。

ここで、左側の赤線と青線は、図7で垂直に引いた赤線と青線の位置での定量的な断面変化を示している。右側の緑線と橙線は、図7の腐食領域に水平に引いた緑線と橙線位置での定量的な断面変化を示している。この様に、腐食状況が定量的に表示されるのは魅力的だ。



図8 減肉の定量評価線図

5. 検証

今回、デプスゲージで数十点の計測データが報告書として整理されていたが、補修箇所を除いて3D スキャナーの計測範囲内にある事が確認できた。また、3D スキャナーでスキャンした際の点群の位置データを解析ソフトで解析した腐食深さの検査精度は $\pm 0.05\text{mm}$ であることは確認されている。

6. 採用した感想

- 1) 簡易に腐食減肉箇所の定量化が出来ることから、検査員の熟練度による計測評価の差異が無くなると思われる。
- 2) デプスゲージによる計測値のバラツキは、ラウンドロビン方式による測定結果³⁾が報告されている。この報告書によると減肉が大きい箇所ほど計測値のバラツキが大きいことが示されている。3D スキャナーの場合、分解能が小さいことや計測精度が高いので、デプスゲージの計測値よりバラツキは小さくなると言える。
- 3) 計測する際は、マーキングを記載することで、目印画像が写り込み、いつでも場所の特定ができる。IoT の観点から、経歴管理が定量的に出来ることは魅力的である。
- 4) タンクの大きさや、腐食減肉箇所の量にもよるが、1か所の測定に要する数秒のスキャン時間で最深部を発見出来るため、ポイントのデプスゲージによる計測より広範囲でデータ整理に優位性がある。
- 5) 1回のスキャンデータは30万画素数なので、デプスゲージの30万箇所に対応する。この様

に、短時間で最深部が簡単に発見出来ることは魅力的である。

- 6) 平成23年6月に危険物保安技術協会から公開された「屋外貯蔵タンク側板の老朽化の現状と効果的な点検方法のあり方に関する検討報告書」¹⁾の中に、今後の課題等について、検査機器・検査手法の開発が期待される、と言う記述があるが、一歩前進したと思われる。

7. 今後の課題と要望

- 1) 当該計測装置は防爆仕様ではない。メーカーに確認した所、これは軽量化を目指したため、防爆化は目指していない、との回答を得ている。運転中に使用する場合は、ガス検知等をして現場安全確認後、使用して欲しい。
- 2) 今回はブラスト、錆止め塗装後に計測したが、タンク開放検査スケジュール管理の観点からはブラスト前に検査が必要なので、検査会社が3D スキャナー装置を購入することを希望する。

参考文献

- 1) 危険物保安技術協会：屋外貯蔵タンク側板の老朽化の現状と効果的な点検方法のあり方に関する検討報告書、平成23年6月
- 2) 石油学会規格：屋外貯蔵タンク維持規格、JPI-8S-6-2015
- 3) 戒田拓洋、石崎陽一、岡島智史：減肉配管に対する厚さ測定値の確率特性、圧力技術、Vol.52、No.2、2014