

## 超音波探傷法によるコーティング上からの底部溶接部検査に関する検討

### 1 屋外タンク貯蔵所に係る溶接部検査の概要

屋外タンク貯蔵所は、設置や変更工事、保安検査時等において、各種検査を受けることとされている。各種検査の概要は以下のとおりである。

#### (1) 完成検査前検査

屋外タンク貯蔵所のうち、液体の危険物を扱うタンクを設置又は変更しようとする者は、完成検査前検査を受けることとされている。

完成検査前検査は、施設が完成した後では確認できない部分を工事の進捗状況に合わせて市町村長等が実施する検査であり、基礎・地盤検査、溶接部検査及び水張検査がある。このうち、基礎・地盤検査、溶接部検査については、容量が 1,000KL 以上の大規模なタンクのみが対象となる。

#### (2) 保安検査

容量が 10,000KL 以上の屋外タンク貯蔵所は、7 年～15 年に 1 回又は不等沈下があった場合、保安検査を受けることとされている。

保安検査は、タンク底部の溶接部及び底部の板厚が技術上の基準に適合していることを市町村長等が確認する検査である。

#### (3) 内部点検

容量が 1,000KL 以上 10,000KL 未満の屋外タンク貯蔵所は、12 年～15 年に 1 回、内部点検を行うこととされている。

内部点検は、タンク底部の溶接部及び底部の板厚が技術上の基準に適合していることを事業者自らが確認する点検である。

#### (4) タンク底部の溶接部検査

溶接部検査のうち、タンク底部の溶接部の検査については、原則として磁粉探傷試験を行うこととされている。磁粉探傷試験は、強磁性体の鉄鋼材料等の表面及びその近傍のきずを検出することに適した試験方法であり、磁化させた試験体に検査液を適用することで、きず部から漏えいした磁束に磁粉が引き寄せられ磁粉模様を形成し、きずを可視化する試験方法である。

### 2 経緯等

平成 10 年度及び平成 11 年度の消防庁危険物技術基準委員会において、「新技術を活用した石油タンクの検査・判定方法に関する調査検討」が行われた。当該委員会が開催された背景として、法令上特定屋外タンク貯蔵所のタンク底部の溶接部検査は磁粉探傷試験（浸透探傷試験を含む。）で確認することが定められているが、コーティングを施工している場合には磁粉探傷試験の検査精度を向上させるためコーティングを剥離して実施しており、コーティングの剥離、再塗装は開放期間の長期化、施工費等の観点から事業者にとって負担となっていた。このことから、溶接部検査においてコーティングを剥離することなく実施できるシステムが望まれており、当該委員会では、コーティング上から行うことができる可能性のある溶接部の非破壊試験の方法を選定し、その検査精度等について実証試験等を行うとともに、

一方で強度的に容認可能な欠陥寸法について解析、試験等の調査検討を行うため、検討項目ごとに分科会を設け検討が行われた。

当該委員会の検討結果を踏まえ、消防庁では、「特定屋外貯蔵タンクの内部点検等の検査方法に関する運用について」（平成12年8月24日付け消防危第93号、改正：平成14年1月22日付け消防危第17号）を発出している。コーティング上からのタンク底部溶接部の検査については、当該通知の第2において、標準的な試験要領、試験結果の評価等を定めており、運用等の詳細については、実用機が制作された段階で通知するとしている。

今般、フェーズドアレイ技術を用いた超音波探傷法による検査装置の実用機（以下「UT実用機」という。）が制作されたことから、その特徴を踏まえ、運用等について検討するものである。

### 3 UT実用機の性能等

#### (1) フェーズドアレイとは

UT実用機に用いる超音波フェーズドアレイ（Ultrasonic Phased Array）は、探触子内部にある数個の超音波振動子から発信するタイミング（遅延時間）を変えることによって、超音波の屈折角、焦点を変化させることが可能な探傷方法（図3.1）であり、特徴として探傷結果を映像表示（図3.2）できる。

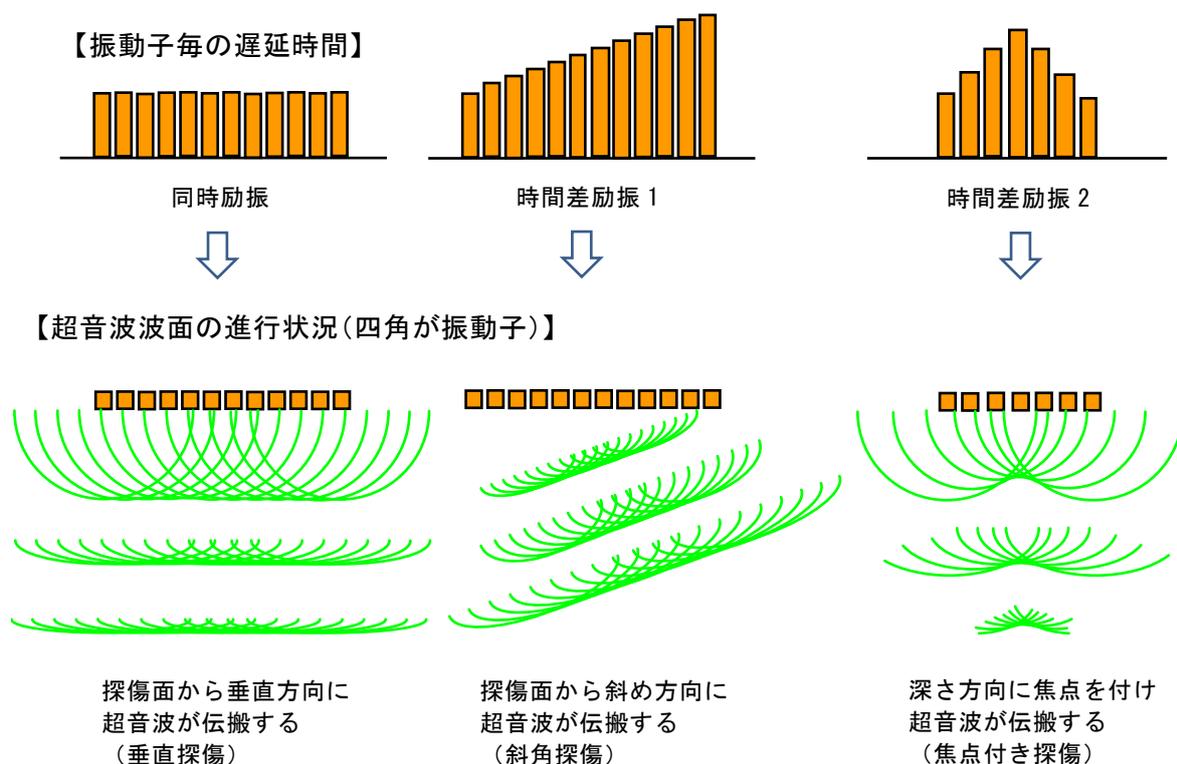


図 3.1 フェーズドアレイ励振方法

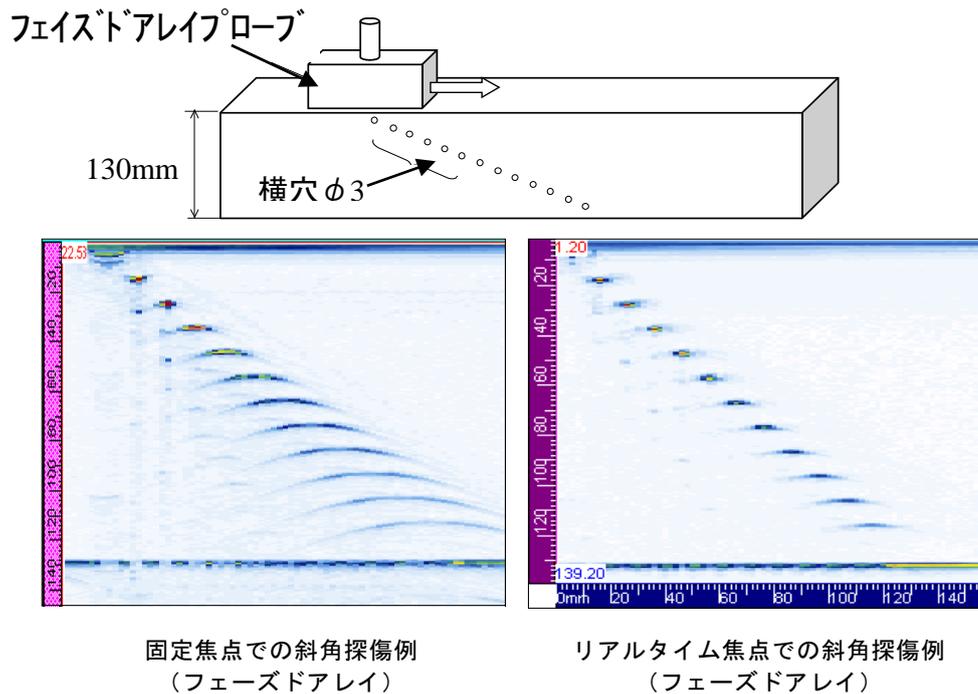
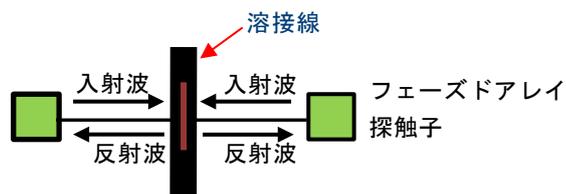


図 3.2 固定焦点（フェーズドアレイ）と  
リアルタイム焦点（フェーズドアレイ）のエコーの違い

(2) UT 実用機的主要装置仕様

- ア 探傷システム：フェーズドアレイ探傷のセクタスキャン
- イ 外形等：長さ；約 1000mm、幅；約 600mm、高さ；約 800mm、重量；約 40kg
- ウ 電源：外部電源（AC100V）
- エ 探触子：フェーズドアレイ探触子（溶接線直交配置；A パターン）＋斜角探触子（溶接線斜交（45°）配置；B パターン）（図 3.3 参照）

① A パターン



② B パターン

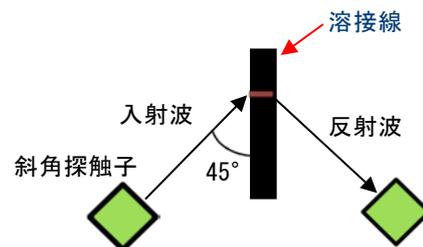


図 3.3 探触子の配置

- オ 計測速度：50mm/sec
- カ 走査方法：自動走行
- キ 走行速度距離計：エンコーダーによる走行速度・距離測定（分解能；0.1mm）
- ク 溶接線倣い機構：レーザトレース方式
- ケ 底板の傾き補正：傾斜計を搭載
- コ 接触媒体：0.3mm ギャップ法、水の自動供給

- サ 膜厚測定：電磁膜厚計（Error時はアラーム表示）
- シ 対象溶接線：突き合わせ溶接部（すみ肉溶接部は測定不可）
- ス 対象溶接線の溶接方法：自動溶接

### (3) UT 実用機のきず検出性能

#### ア 手探傷試験による探触子単体での検証結果

##### (ア) 溶接線に平行方向の人工きず

探触子配置 A パターン、塗膜厚さ 1500  $\mu\text{m}$  において、溶接線止端部、溶接線中央及び溶接線 1/3W の表面に位置するきずは、深さ 1.5mm×長さ 4.0mm のきず検出が可能である。

##### (イ) 溶接線に直交方向の人工きず

探触子配置 B パターン、塗膜厚さ 1500  $\mu\text{m}$  において、溶接線中央の表面に位置するきずは、深さ 1.5mm×長さ 4.0mm のきず検出が可能。また、探触子配置 B パターン、塗膜厚さ 700  $\mu\text{m}$  において、溶接線止端部の表面に位置するきずは、深さ 3.0mm×長さ 6.0mm のきず検出が可能である。

##### (ウ) コーティング材の違いによる影響

試験体に塗布したコーティング材はガラスフレークコーティングである。コーティング材の違いによる影響を確認するためメーカー 3 社の材料を使用した。メーカーの違いによる影響は認められなかった。

#### イ 検査装置での検証結果

##### (ア) 測定条件等

- ・探触子配置：A パターン+B パターン
- ・速度：30mm/sec（手押し）
- ・塗膜厚さ：614～635  $\mu\text{m}$
- ・表面粗さ：Rz40～65  $\mu\text{m}$

##### (イ) 溶接線に平行方向の人工きず

溶接線止端部、溶接線中央及び溶接線 1/3W の表面に位置するきずは、深さ 1.0mm×長さ 3.0mm のきず検出が可能である。

##### (ウ) 溶接線に直交方向の人工きず

未実施。

#### ウ シミュレーションによる検証結果

##### (ア) ブローホール

ブローホールは検出できない。

##### (イ) 内部きず

一層目付近のきずは、反射エコーが裏当て板上面の非溶接部に逃げるため検出できない。一層目付近のきず以外は検出可能である。

(4) UT 実用機による溶接部検査の特徴

磁粉探傷試験と UT 実用機の溶接部検査に係る特徴は下表のとおりである。

	磁粉探傷試験	UT 実用機
検出性能	・ 表面及び表層の微細なきずの検出が可能。	・ 表面及び内部のなきずの検出がある程度可能。
検査環境	・ コーティング上から検査出来ない。	・ コーティング上から検査出来る。
その他	・ 溶接線上のコーティングの剥離及び復旧が必要となり、復旧部分の重ね合わせ部が厚膜化する。	・ コーティングの剥離・復旧工事が省略され、工期の短縮が見込まれる。

(5) 今後の課題等

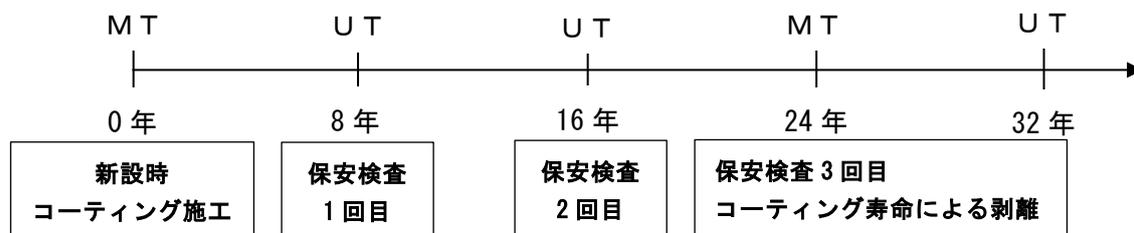
表面の直交方向、斜め方向のなきず及び内部なきずに対する検出性能を上げるため、探触子の種類、配置等の改良について再検討する。

4 UT 実用機の運用等に係る検討の前提条件

UT 実用機の運用等を検討する上で多くの論点が考えられるが、議論を絞り込むため以下の前提条件で検討を行うものとする。

- (1) 特定屋外貯蔵タンクの内部点検及び保安検査の際に行う溶接部検査として UT 実用機を用いる場合について検討する。
- (2) 検査する溶接部は、底板相互及びアニュラ板相互の溶接継手のうち、突き合わせ溶接部で、かつ、溶接施工法確認試験（危険物の規制に関する規則第 20 条の 4 第 3 項）で確認された溶接方法とする。
- (3) 前の開放検査時（今回が初めての開放検査の場合はタンク新設時。以下同じ。）に底部の溶接部全線で磁粉探傷試験を実施しているものとする。
- (4) UT 実用機により、対象とする溶接部の全ての箇所を検査することとする。
- (5) 上記以外の溶接部については、上記の検討結果を踏まえ適宜検討する。

【新法タンクの場合】



※ 「MT」：磁粉探傷試験  
「UT」：UT実用機

図 4.1 本検討における溶接部検査の実施時期のイメージ

## 6 溶接継ぎ手の疲労破壊試験

### (1) 目的

UT 実用機に必要な性能を検討する上で参考とするため、溶接欠陥の影響、特に内部きずの亀裂進展に対する影響を確認するため、溶接継ぎ手の種類ごとに溶接部に人工的にきずを導入した試験片を製作し、疲労破壊試験を実施する。

また、製作した試験片は、UT 実用機のきず検出性能の確認に活用する。

### (2) 試験片

平成 28 年度に制作する試験片の概要は以下のとおりである。(資料 4-2 参照)

#### ア 鋼板の材料及び板厚等

鋼板の材料は JIS G 3101 の SS400、板厚は 9mm、12mm 及び 20mm (JIS 公差) とする。

#### イ 試験片の継ぎ手の種類

試験片の継ぎ手の種類は、突き合わせ継ぎ手及び重ね継ぎ手とする。

(ア) 板厚 12mm 裏当て付き突き合わせ溶接 (試験片のサイズ：500mm×500mm)

(イ) 板厚 20mm 裏当て付き突き合わせ溶接 (試験片のサイズ：500mm×500mm)

(ウ) 板厚 9mm 重ね溶接 (試験片のサイズ：500mm×500mm)

#### ウ きずの種類等

表面きず、内部きず等を含むものとし、きずの種類は次のとおりとする。

(ア) ブローホール

(イ) 融合不良

(ウ) 溶け込み不良

(エ) 割れ

(オ) アンダーカット

(カ) 無欠陥

### (3) 実施事項及び実施時期

#### ア 試験片製作

平成 28 年度に製作した試験片は、きずの所在を確認するため放射線透過試験を行い、試験記録を作成する。また、必要に応じて、超音波探傷試験、磁粉探傷試験等を行う。(資料 4-2 参照)

また、別の試験片の製作が必要な場合は、平成 29 年度以降に検討する。

#### イ 疲労破壊試験

溶接欠陥のある溶接部の強度を確認するため、平成 29 年度以降に疲労破壊試験を行う。

#### ウ きず検出性能の確認

製作した試験片を使用しての UT 実用機によるきず検出性能確認は、平成 29 年度以降に行う。

## 7 次年度以降の調査検討事項

次年度以降は、以下の項目について調査検討を行うものとする。

- (1) 溶接欠陥のある溶接部の強度及び内部きずの亀裂進展への影響等を確認するため、疲労破壊試験等を行う。
- (2) (1)の試験結果等を踏まえ、今後検証すべき項目や具備すべき条件等について検討する。
- (3) UT 実用機による溶接欠陥の検出性能等を確認するため、無塗装状態で磁粉探傷試験と UT 実用機による比較試験を行うとともに、コーティング上から UT 実用機による試験を行う。
- (4) UT 実用機の運用等の詳細について検討する。

上記(1)～(3)の項目を調査するため、以下の手順で実験を行う。

- ① 溶接部に人工的にきずを導入した試験片について、UT実用機とMTにより検査を行い、検出性能を調査する。
- ② 溶接部に人工的にきずを導入した試験片にコーティングを行い、UT実用機とMTにより検査を行い、検出性能を調査する。
- ③ 溶接部に人工的にきずを導入した試験片を用いて疲労破壊試験を行い、亀裂新転移有害な欠陥と無害な欠陥を調査する。

以上