

「新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討報告書」の概要

消防庁危険物保安室

1 はじめに

消防法令上、特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接部検査は、放射線透過試験により行うことと定められており、従来より検出媒体をフィルムとする放射線透過試験（以下「F-RT」という。）が行われてきました。

2017年には検出媒体をデジタル検出器とする放射線透過試験（以下「D-RT」という。）に関するJISが新たに制定され、D-RTでは、検出媒体を繰り返し使用可能であること、フィルムの現像処理が不要で環境負荷が低減されること、透過画像がデジタル画像として保存されることなどの理由から各種構造物の保守点検等へD-RTの導入に関する検討が進められています。

これらを踏まえ、消防庁では令和5年度に「新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会」を開催し、特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接部検査におけるD-RTの適用に関して検討しましたので、その内容について紹介します。

2 特定屋外タンクの溶接部の基準と溶接部検査について

国内に建設されている特定屋外貯蔵タンクの多くは、図1のように鋼板を溶接組立した縦置円筒型の大容量タンクです。

特定屋外貯蔵タンクの溶接部は、危政令第11条第1項第4号の2の規定に基づき、総務省令で定めるところにより行う試験において、危規則第20条の7の規定に基づき、総務省令で定める基準に適合するものでなければなりません。このうち、側板溶接部については、放射線透過試験を行い合格基準に適合する必要があります。

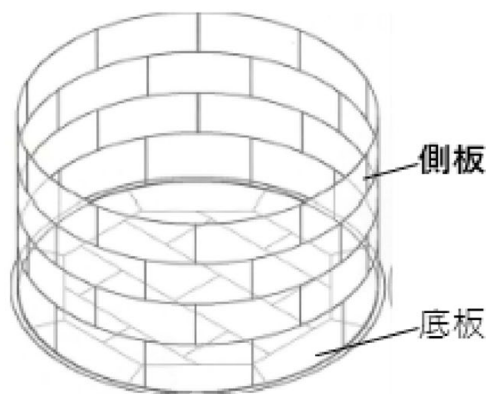


図1 特定屋外タンク

3 放射線透過試験

放射線透過試験は、非破壊試験の手法の一つであり、試験体に放射線を透過させて内部の状態を撮影像として撮影媒体に記録する試験です。放射線透過試験に必要な主な構成は図2に示したとおりであり、従来から行われている放射線透過試験は撮影媒体としてフィルムが用いられています。

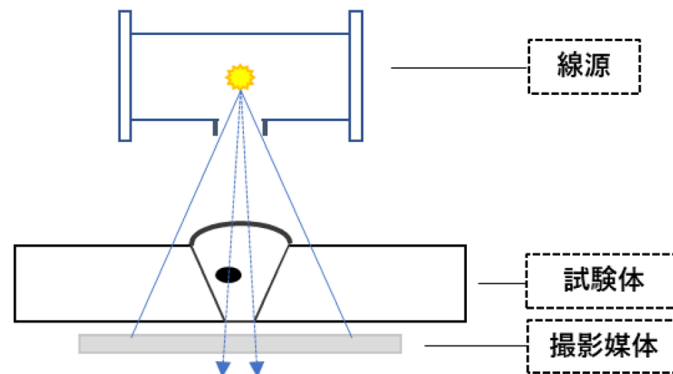


図2 放射線透過試験の主な構成

タンク側板溶接部検査への導入を検討するD-RTは、撮影媒体としてイメージングプレート（以下「IP」という。）を用いたComputed Radiography（以下「CR」という。）及びフラットパネルディテクタ（以下「FPD」という。）を用いたDigital Detector Array（以下「DDA」という。）の2種類です。（図3）

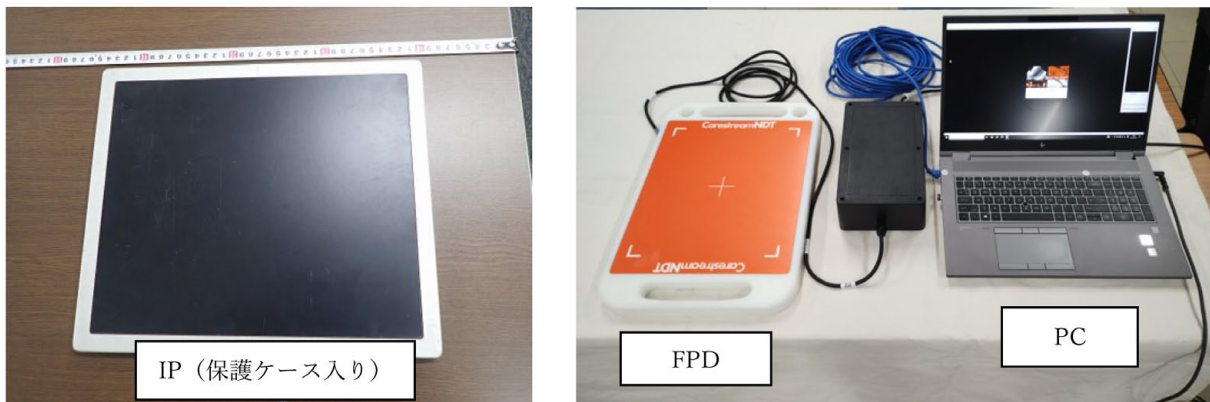


図3 CRシステムで用いられるIP (左) 及びDAAシステム(右)

4 消防危52号通知RT指針とJIS Z 3104について

昭和49年に発生した水島重油流出事故を機に、「屋外タンク貯蔵所の保安点検等に関する基準について」（昭和50年5月20日付け消防予第52号）が通知され、この通知の中で、別添第4 放射線透過試験の指針（以下「52号通知RT指針」という。）によりタンク側板溶接部に適用される放射線透過試験の細部運用が示されました。

52号通知RT指針ではJIS Z 3104:1968「鋼溶接部の放射線透過試験方法及び透過画像の等級分類方法」（以下「JIS Z 3104:1968」という。）による試験を基本とされていました。

なお、JIS Z 3104:1968は、現在では改訂がなされており、JIS Z 3104:1995「鋼溶接部の放射線透過試験方法」（以下「JIS Z 3104」という。）となっており、52号通知RT指針の内容は、現行のJIS Z 3104に読み替えて運用が行われています。

5 JIS Z 3110とタンク側板溶接部検査への適用

D-RTに関するJISは、平成27年にJIS Z 3110:2017「溶接継手の放射線透過試験方法-デジタル検出器によるX線及びγ線撮影技術」（以下「JIS Z 3110」という。）が制定されました。

タンク側板溶接部検査で実施される放射線透過試験については、52号通知RT指針にF-RTを前提とした細部運用が示されているものの、法令上は撮影媒体に対する制限がありません。このため、現段階においてもJIS Z 3110に準拠してD-RTの撮影が行われ、一定の像質が確認された透過画像については、危規則第20条の7第2項の合格基準に照らして合否判定を行うことが可能です。

しかしながら、タンク側板溶接部検査は52号通知RT指針に示された細部運用によりF-RTで実施されてきた実態があ

るため、検出方式や像質の評価方法が異なるD-RTを適用した場合においても従来のF-RTと同様に検査を実施可能であるか確認する必要があります。

6 D-RTのメリット

タンク側板溶接部検査への導入について検討するD-RTは、CRとDDAの2種類であり、CRはIPで撮影した画像をIPリーダーでスキャンし、PC等を用いて画像処理し、HDD等へ保存されます。DDAは撮影時にFPDを接続したPCのモニターで透過画像を確認することができ、その場で画像処理を行い、HDD等へ保存されます。そのため、D-RTでは、フィルムの現像が不要となります。(図4)

D-RTには次のようなメリットがあげられ、各種インフラ構造物等でD-RTの導入に関する検討が進められています。

- 検出媒体の繰り返し使用が可能
- デジタル処理により透過画像が得られるため、現像処理が不要
- モニタ上で透過画像の画像処理（コントラスト等の調整、フィルタ処理）が可能
- 電子データ（画像ファイル）として透過画像を保存することが可能

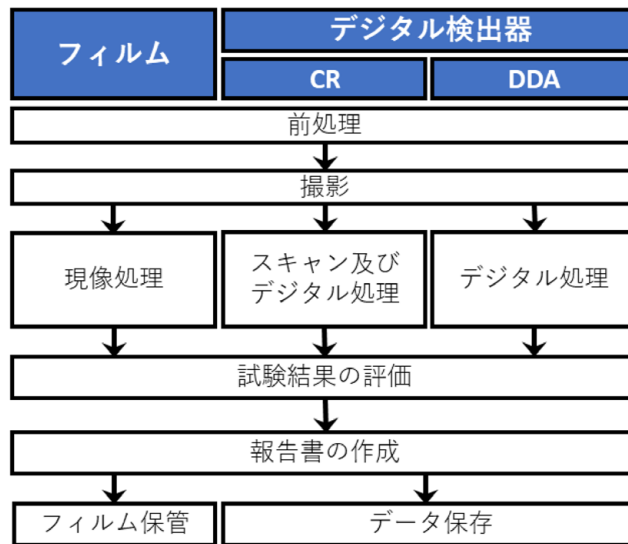


図4 撮影媒体ごとのRT工程概要

7 D-RTのニーズ

特定屋外貯蔵タンクの側板の溶接構造は、完全溶け込み突合せ溶接（図5）であり、放射線透過試験としても一般的な撮影方法で実施されていることから、特定屋外貯蔵タンクはD-RTを導入しやすい構造物と考えられます。

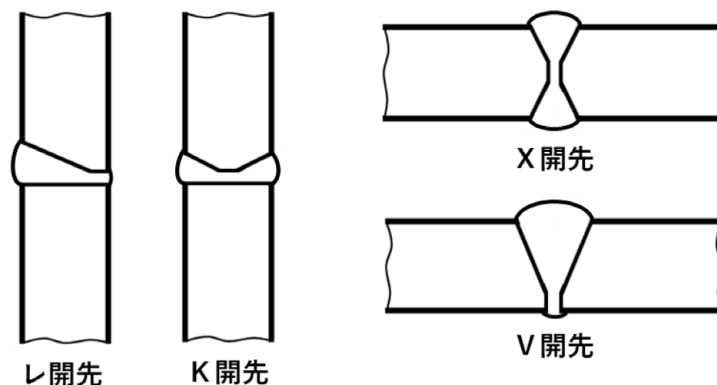


図5 特定屋外貯蔵タンク側板溶接構造（例）

8 D-RTの導入に関する課題と対応

D-RTは規格化がなされ、現行法令上、放射線透過試験の撮影媒体に関する制限はないため、タンク側板溶接部検査にD-RTを適用することは、法令上問題はありますが、上記5のとおり従来のF-RTと同様に検査を実施可能であるか確認する必要があります。

(1) タンク側板溶接部検査への適用性に関する確認

D-RTの作業性及び透過画像がF-RTと同程度であればタンク側板溶接部検査を実施することが可能であると考えられます。

作業性については、放射線透過試験で通常行われる作業のうち、撮影から判定及び記録の作成までの作業を実際に行うことで確認できます。

透過画像については、その像質から確認することとなり、各JISでは一定の像質を評価する項目が複数設定されています。ただし、求められる像質の値を対比することのできない項目もあるため、以下の2点に焦点を絞り確認を進めることとしました。

確認事項①：像質確認

F-RTでは、通常の撮影技術によって得られる像質区分のA級、きず検出感度を高めた撮影技法によって得られる像質区分のB級が規定されています。

一方、D-RTにおいては、基本的な技法によって得られる像質区分のクラスA、像質改善技法による像質区分のクラスBがあり、これらはF-RTの像質区分A級及びB級に相当する区分であると予想されます。

現状のF-RTによるタンク側板溶接部検査では、JIS Z 3104に規定されるA級の像質の条件を満たしたフィルムについて危規則第20条の7第2項の合格基準に照らして合否判定がなされていることから、D-RTのクラスAの像質がF-RTのA級と同程度であることを確認することにより、タンク側板溶接部検査への適用性について判断できると考えられます。

像質の確認については、各JISに規定される像質の条件を満たした画像について、各JISで共通の針金形透過度計を用いた像質の評価項目により確認を行うこととしました。

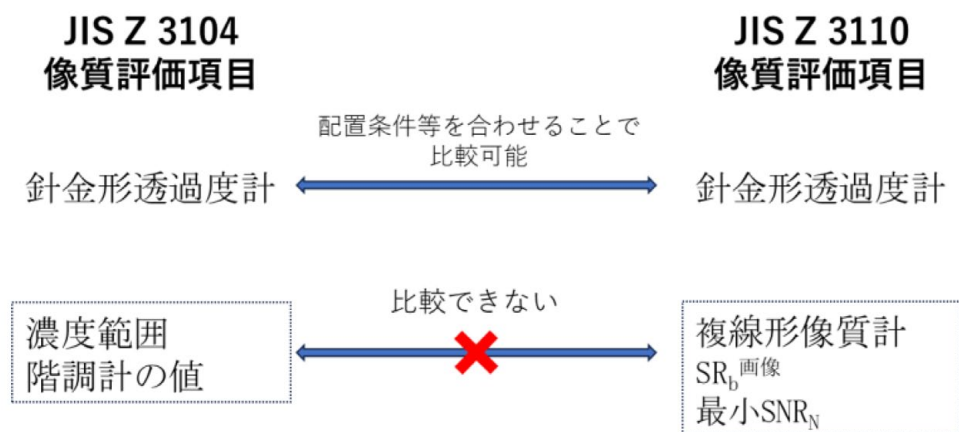


図6 JISの像質に関する評価項目と比較の可否

確認事項②：きず検出性等の確認

D-RTの像質がF-RTと同程度であれば、きずの検出性を有していると考えられます。しかし、両規格で規定されている像質の評価項目はそれぞれ異なり、一部の像質の評価項目を除き、像質を比較することができません。そのため、確認事項①の補足として同一対象物を撮影した場合におけるきず検出性及びきず像寸法について、D-RTとF-RTとの比較・確認を行うこととしました。

(2) D-RT を適用する場合の運用ルールに関する検討

タンク側板溶接部検査におけるF-RTは52号通知RT指針に示された内容で運用がなされており、52号通知RT指針では、JIS Z 3104に従って試験を行うことを基本とし、像質区分の選択や使用フィルムの仕様等、JIS Z 3104で明確に規定されていない項目について運用上のルールが示されています。

JIS Z 3110では、契約当事者間の合意事項とされている項目のうち、タンク側板溶接部検査にD-RTを適用した場合において運用が望まれる項目として以下の3項目を抽出しました。抽出した項目に関しては、その運用方法について確認検証試験を通して検証を行うこととしました。

ア デジタル撮影技法（像質区分）の選択（検証事項①）

JIS Z 3110では、D-RTの像質区分（クラスA、クラスB）の選択は合意事項になります。52号通知RT指針では、合否判定を行うフィルムはA級の像質を満たすこととされているため、当該指針にならい、タンク側板溶接部検査におけるD-RT運用上の最低限確保すべき像質について、確認検証試験の結果を踏まえて決定することが望ましいと考えられます。

イ 複線形像質計の扱い（検証事項②）及び透過画像ごとの像質の確認の程度（検証事項③）

JIS Z 3110では、D-RTの像質の評価項目のうち不鮮鋭度を評価するための複線形像質計の配置が必須とはされていません。また、類似した撮影継手及び撮影箇所について、同じ撮影条件及び処理技術で像質に差異がない場合には、透過画像ごとに像質を確認する必要はありません。これら複線形像質計の配置の有無、像質の確認の程度については、契約当事者間の合意に委ねられています。

このため、確認検証試験を通してJIS Z 3110に規定される像質の確認作業を検証するとともに、タンクにおけるRT撮影の実態等も踏まえた上で、これら項目に関する運用上のルールを決定することが望ましいと考えられます。

なお、確認検証試験では全ての撮影において複線形像質計を配置して撮影することとしました。

(3) 現場作業時等における留意事項の確認

タンク側板溶接部検査にD-RTを導入した場合における現場作業時等の留意事項の有無について確認するため、確認検証試験として実機タンクを対象とした現地試験を実施しました。なお、現地試験においても室内試験と同様に像質、きずの検出性及びきず寸法の比較を行い、これらがF-RTと同程度であることを確認することとしました。

9 確認検証試験によるD-RTの導入に関する検討

【室内試験】

製作した試験片を各JISに準拠してF-RT及びD-RTの透過画像を撮影し、当該透過画像を用いて確認事項①及び②を確認、これに加えて、検証事項①～③について検証しました。

試験片は、以下の3種類を製作しました。

- a TP-1（模擬きずによる試験片）
- b TP-2（割れ以外の溶接きずを入れた突合せ溶接試験片）
- c TP-3（割れを入れた突合せ溶接試験片）

各試験片の板厚は、国内で最も基数の多い鋼製タンクで採用されている板厚（4.5mm～45mm）を参考に板厚を設定しました。TP-1はきずの位置や大きさが明確な試験片とし、小さなきずの検出についても確認できるものとし、TP-2は危規則第20条の7第2項に記載のある割れを除く溶接きずの検出について確認できるものとし、さらにTP-2では、板厚の異なる水平継手の撮影を想定した28mm×38mmの試験片を製作しました。TP-3の割れの試験片は、海外の試験片メーカー製であることから板厚6mmの試験片となります。なお、撮影時の板厚は鋼板を重ねて調整しました。

※ 試験片の詳細については、【14 その他（1）報告書の閲覧】に記載のURLから確認できます。

撮影配置についてはF-RTとD-RTの比較を行うことため、計器類の配置は両JISで配置することとされている計器

類を包含する配置としました（図7）。現地試験を含め使用した機器については表1、撮影条件については表2のとおりです。

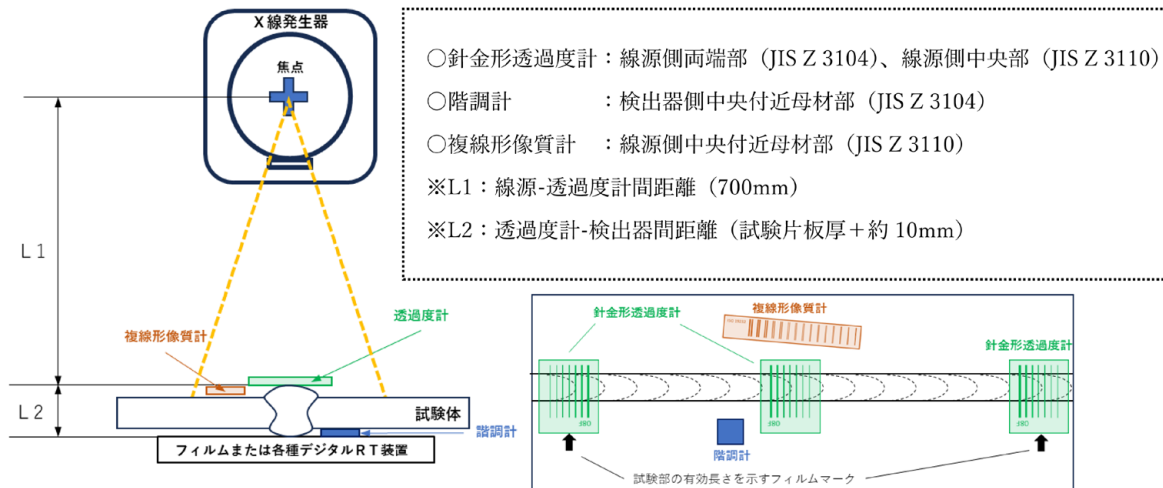


図7 確認検証試験における撮影配置

表1 確認検証試験で使用した機器

機器	メーカー等	型番	諸元等
X線発生装置 (F-RT/D-RT 共通)	トーレック	RIX300-CP	焦点寸法：3.0×3.0、管電流：3mA、管電圧：300kVp
	YXLON	SMART300HP	焦点寸法：3.0×3.0、管電流：3mA、管電圧：300kVp
撮影 媒体	フィルム (F-RT)	Fuji #80	増感紙：Pb0.03 (F&B)、適用板厚：20mm 以下
		Fuji #100	増感紙：Pb0.03 (F&B)、適用板厚：20mm 超
	FPD (DDA)	トーレック EXT2490	検出器寸法：233×291、素子寸法 76μm、 変換方式：間接、シンチレーター：Cs1
	IP (CR)	Fuji UR-1 (高精細)	検出器寸法：240×300、分解能：50μm、 増感紙：必要に応じて使用

表2 室内試験撮影条件

試験片板厚 (mm)	4.5			20			45		
検出器	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
管電圧 (kV)	130	110	140	240	200	245	295		
管電流 (mA)	3								
露出時間 (秒)	60	3×4 積算	60	60	3×4 積算	300	300	20×6 積算	1800

(1) 各 JIS における像質の評価項目の確認について

透過画像の像質区分がF-RTではA級、D-RTではクラスAであることが確認検証試験実施上の前提となり、撮影した透過画像の像質について確認した結果を表3及び表4に示し、いずれの透過画像も適用されるJISの像質の条件を満たしていることが確認できました。

表3 F-RT撮影フィルムのJIS Z 3104 A級適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5		20		45	
	規格値	実際	規格値	実際	規格値	実際
濃度範囲	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適
透過度計識別最小線径 (mm)	≤0.16	適	≤0.40	適	≤0.80	適
階調計の値	≥0.10	適	≥0.035	適	≥0.060	適
総合判定	A 級適合		A 級適合		A 級適合	

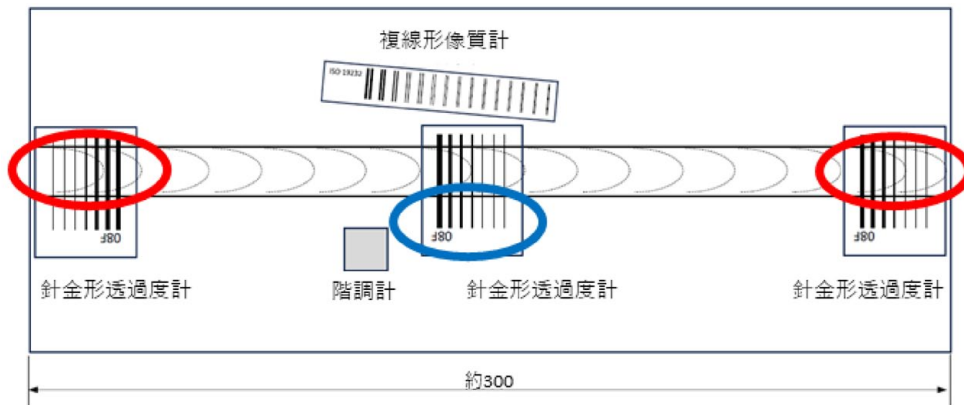
表4 D-RT透過画像のJIS Z 3110 クラスA適合状況

試験片板厚 (mm)	4.5			20			45		
	規格値	実際		規格値	実際		規格値	実際	
		DDA	CR		DDA	CR		DDA	CR
透過度計 IQI 値 (mm)	≤0.125	適	適	≤0.32	適	適	≤0.63	適	適
複線形像質計 IQI 値 (mm)	≤0.26	適	適	≤0.32	適	適	≤0.40	適	適
最大基本空間分解能 SR ₀ (mm)	≤0.13	適	適	≤0.16	適	適	≤0.20	適	適
最小 SNR _N	≥98	適	適	≥98	適	適	≥98	適	適
総合判定	クラス A 適合			クラス A 適合			クラス A 適合		

(2) 確認結果

ア 像質の確認結果

JIS Z 3110 に準拠して撮影した D-RT (クラス A) 透過画像の両端部に配置した針金形透過度計の識別最小線径が JIS Z 3104 の A 級で要求される線径以下であることについて確認しました。



※ 図中、赤丸部及び青丸部は各 JIS で針金形透過度計の識別最小線径を確認することとされている箇所を示しています。(赤丸部は JIS Z 3104、青丸部は JIS Z 3110)

図8 本試験における針金形透過度計の像質値確認位置(赤丸部)

表5のとおり全ての板厚で JIS Z 3104 に規定される A 級の規格要求値を満たしており、針金形透過度計による像質の評価項目に関しては、D-RT (クラス A) の像質は F-RT (A 級) の像質と同程度であることが確認できました。

表5 透過度計による確認内容及び結果

板厚 (mm)	JIS Z 3104 A 級規格値	使用透過度計	確認結果	
			DDA	CR
4.5	≤ 0.16	04F	DDA	適
			CR	適
20	≤ 0.40	08F	DDA	適
			CR	適
45	≤ 0.80	08F	DDA	適
			CR	適

イ きず検出性等の確認結果

各撮影媒体のきずの検出性及びきず像寸法を図9のとおり比較することにより、D-RT が F-RT と同様に判定が可能であることが確認できました。

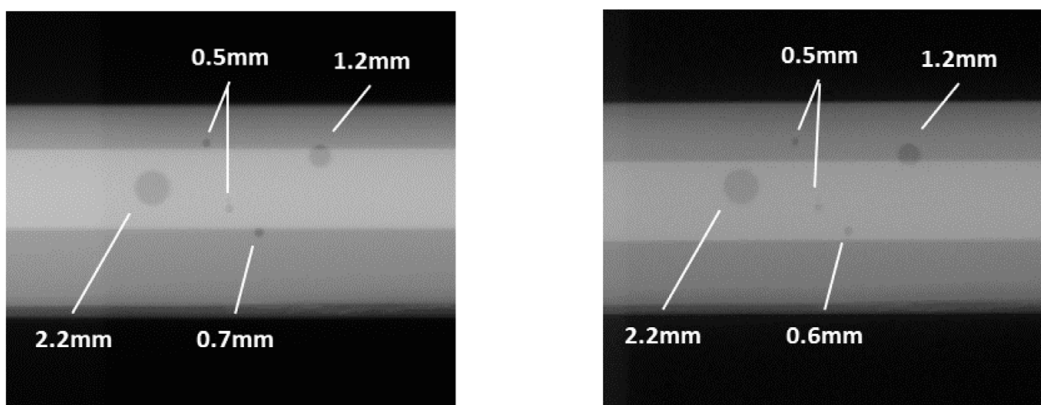


図9 (左からD-RTの画像ときずのサイズ、F-RTの画像ときずのサイズ)

【現地試験】

撮影配置については、室内試験と同じとし、撮影条件については、表6のとおりとなります。

表6 現地試験撮影条件

撮影板厚 (mm)	36 ※現地試験（1回目）			13 ※現地試験（2回目）		
	フィルム	DDA	CR	フィルム	DDA	CR
管電圧 (kV)	295			229	160	220
管電流 (mA)	3					
露出時間 (秒)	165	5×5 積算	720	60	3×5 積算	300

(3) 透過画像の各 JIS における像質の確認

室内試験同様、フィルムは A 級、FPD (DDA) 及び IP (CR) で取得した画像ではクラス A の像質区分を満たしていることを事前に確認しました。確認結果を表7及び表8に示します。いずれの透過画像も適用される JIS の像質の条件を満たしていました。

表7 F-RT撮影フィルムのJIS Z 3104 A級適合状況

撮影板厚 (mm)	36 ※現地試験（1回目）		13 ※現地試験（2回目）	
	規格値	実際	規格値	実際
濃度範囲	1.3~4.0	適	1.3~4.0	適
透過度計識別最小線径 (mm)	≤0.63	適	≤0.32	適
階調計の値	≥0.032	適	≥0.046	適
総合判定	A 級適合		A 級適合	

表8 D-RT透過画像のJIS Z 3110 クラスA適合状況

撮影板厚 (mm)	36			13		
	規格値	※現地試験 (1回目)		規格値	※現地試験 (2回目)	
		規格値	実際		規格値	実際
規格値/実際		DDA	CR		DDA	CR
透過度計 IQI 値 (mm)	≦0.50	適	適	≦0.25	適	適
複線形像質計 IQI 値 (mm)	≦0.40	適	適	≦0.32	適	適
最大基本空間分解能 SR _b 画像 (mm)	≦0.20	適	適	≦0.16	適	適
最小 SNR _w	≧98	適	適	≧98	適	適
総合判定	クラス A 適合			クラス A 適合		

(4) 確認結果

室内試験と同じく、D-RTとF-RTの像質及びきずの検出性等について確認し、その結果、現地試験においても室内試験と同様の結果となりました。

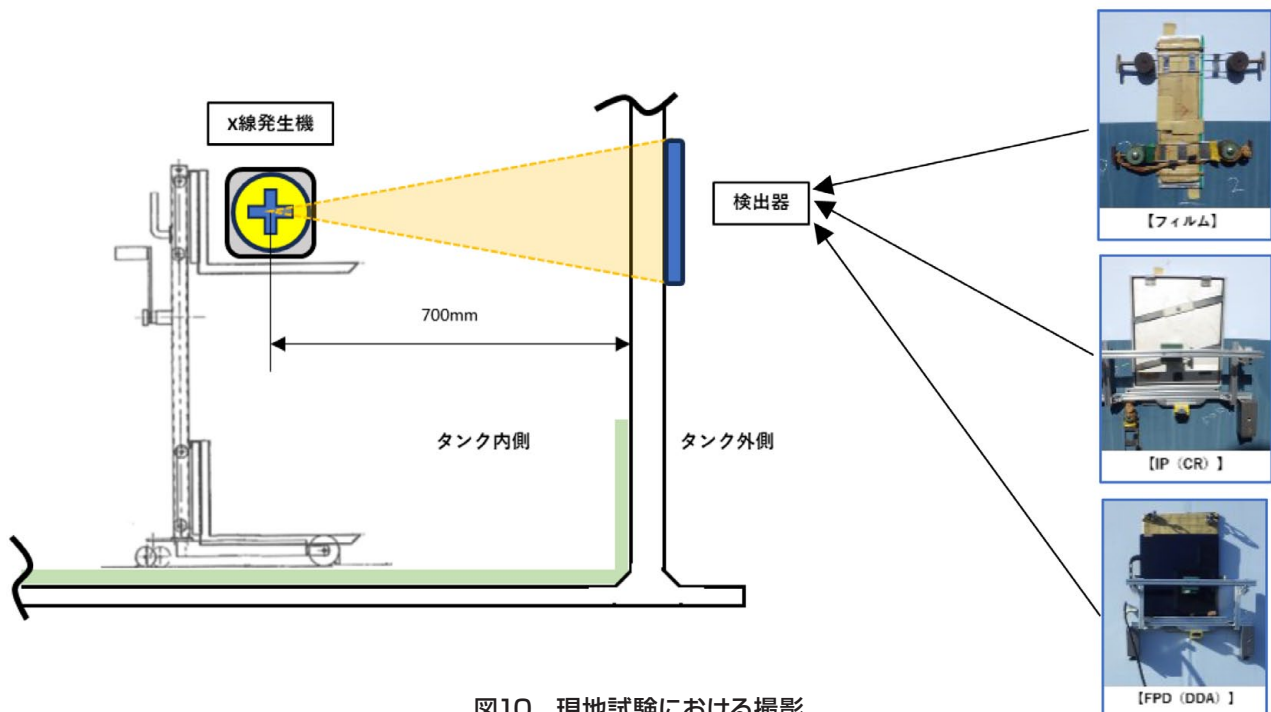


図10 現地試験における撮影

10 現場適用時における留意事項

(1) 撮影作業

撮影媒体が異なることから、撮影媒体ごとの放射線感度等の違いに応じた露出条件の相違はあったものの、撮影作業自体は F-RT と D-RT との違いはありませんでした。試験体の母材厚さ、撮影媒体の感度等を考慮して適切な条件を設定して撮影がなされるのであれば、問題はないものと考えられます。

(2) 撮影媒体の事前チェック

D-RT の撮影媒体である FPD、IP の撮影前チェックは作業の手戻りを防ぐためにも重要です。IP では焼付きやきずが生じていないこと、FPD では JIS Z 3110 に規定される事項を満たしていることなどの事前チェックが有効です。

(3) その他

確認検証試験で実際に発生した事例として、IP スキャン時においてホコリの巻き込みにより、図 11 のように透過画像上に白点が生じたケースが確認されました。白点の一つ一つは細かなものではありませんが、これらが観察部位である溶接部や熱影響部上に多数あった場合は、きず像の視認性に少なからず影響が生じることが考えられます。このため、IP を撮影媒体とする CR では、IP 自体の事前チェックに加えて、スキャン時の保護ケース収納など透過画像上に白点を極力生じさせない対策を講じることが望ましいです。

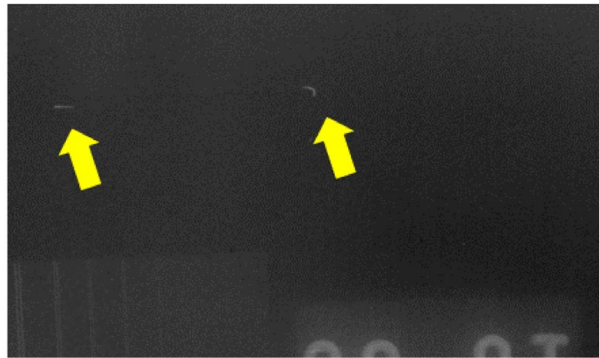


図11 CR画像上に生じた白点の例

11 運用ルールに関する検証

(1) D-RT を適用する場合の JIS Z 3110 における像質区分について

JIS Z 3110 では、像質区分の選択は契約当事者間の合意事項とされていますが、室内試験及び現地試験の結果を踏まえると、D-RT を適用する場合の像質は少なくともクラス A を確保しなければなりません。

(2) 複線形像質計の配置と像質確認の程度

JIS Z 3110 では、複線形像質計の配置及び像質確認の程度を契約当事者間に委ねていますが、複線形像質計が配置されなかった場合、像質の評価項目の一部を確認することができません。

また、タンクの RT 撮影作業は現場撮影であることから、付属物や足場の位置関係などから全くの同一条件では撮影できないケースも考えられ、透過画像の像質の値が上下する可能性もあります。

これらの状況を踏まえ、撮影画像ごとに複線形像質計を配置し、撮影画像ごとに得られた像質を確認することが望ましいです。

12 D-RT 作業従事者に求められる技能

JIS Z 3110 では、作業従事者について、次の2点を要件としています。

- ① JIS Z 2305 「非破壊試験技術者の資格及び認証」又は同等の規定に従って関連する工業分野における放射線透過試験の適切なレベルの資格を所持していること。

② デジタル放射線透過試験における教育及び訓練を受けていること。

①の要件については、一般社団法人日本非破壊検査協会により行われている資格認証制度があり、現段階において、F-RT を前提とした制度ですが、認証機関の発行しているテキストには D-RT に関する内容が一部掲載されており、学科試験にも同内容が出題されています。将来的に D-RT も含めた認証が行われる可能性があるため、今後の JIS 改定の動向を注視する必要があります。

②の要件について、JIS では「教育及び訓練を受けていること」となっており、専門的な教育及び訓練を受けたことを示すには、自社の行う教育及び訓練のほか、第三者機関の実施する教育及び訓練も受けていることが望ましいと考えられます。

13 調査検討結果

従来の F-RT と同様に D-RT を用いた場合においても溶接部検査が実施できることを確認するため、D-RT の作業性、撮影画像の品質、作業従事者に求められる技能等について、室内及び現地試験を通して検証しました。その結果、一定条件下において撮影した D-RT 画像の品質は、従来の F-RT 画像と同程度であることが確認され、また、詳細な撮影条件の決定や撮影画像の観察等に D-RT 特有の専門的な知識・技術が必要であることがわかりました。

14 その他

(1) 報告書の閲覧

「新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討報告書」については、消防庁ホームページから閲覧可能です。

「消防庁トップページ」→「審議会・検討会」→「検討会等」→「令和5年度開催の検討会等」→「新技術を活用した屋外貯蔵タンクの効果的な予防保全に関する調査検討会」

(https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/post-142.html)

(2) 運用指針

「デジタル検出器を用いた放射線透過試験に係る運用指針について」を発出し、都道府県等に周知しました。

「消防庁トップページ」→「法令」→「通知・通達」→「令和6年」→「消防危 60 号 デジタル検出器を用いた放射線透過試験に係る運用指針について（令和6年3月25日）」

(<https://www.fdma.go.jp/laws/tutatsu/items/f93e804775b8079dd7505bdbb3fd5327683a1f5f.pdf>)