

今回は、屋外貯蔵タンクの非破壊検査に関する下記用語について解説します。

- 放射線透過試験
- 磁粉探傷試験
- 浸透探傷試験
- 漏れ試験

### 1. 概要

特定屋外貯蔵タンクの溶接部は、総務省令で定めるところにより行う試験において、総務省令で定める基準に適合するものであることとされています（危険物の規制に関する政令第11条第1項第4号の2）。

これを受けて、危険物の規制に関する規則（以下「規則」という。）では、特定屋外貯蔵タンクの各溶接部に対して、以下の試験を行うこととされています（表1）。

### 2. 放射線透過試験

放射線透過試験は、X線やγ線などの放射線

の透過作用を利用して、溶接部のきずを検出する試験方法です。試験体中に割れや空洞等の不連続部があれば、健全部に比べ透過放射線の吸収が少なく、その分、背面のフィルムに到達する放射線強度が強くなります。その結果として得られるフィルム上の濃度が変化することによって、きずの存在を識別することが可能となります。

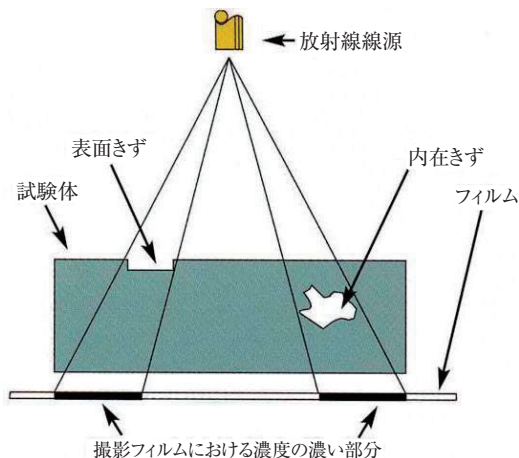


図1 放射線透過試験の概要

表1 各溶接部位と試験方法

溶接部位	試験方法
側板の縦継手及び水平継手 (接液部以外の側板に係る溶接部を除く) 側板の取替工事に係る溶接部	放射線透過試験 (規則第20条の7)
側板とアニューラ板との溶接継手 アニューラ板とアニューラ板との溶接継手 アニューラ板と底板との溶接継手 底板と底板との溶接継手 重ね補修にかかる側板と側板との溶接継手 (接液部にかかるものに限る)	磁粉探傷試験及び浸透探傷試験 (規則第20条の8)
接液部以外の側板に係る溶接部 屋根に係る溶接部 ノズル、マンホール等に係る溶接部	漏れ試験 (規則第20条の9)

放射線透過試験は、内在するきずを確認することが出来るという優れた特徴があります。図1で示すように、線源から放出された放射線が、試験体を透過してフィルムへ到達し、フィルムを感化させます。放射線源とフィルムの間に試験体を配置する必要があることから、側板と側板の溶接継手については放射線透過試験の実施が可能です。一方、基礎上に直接設置されているタンク底部の溶接部に対しては、アニュラ板や底板の裏面側にフィルムを配置することが不可能なため、放射線透過試験を実施することが出来ません。

ブローホールのような体積を持ったきずではそれほど問題になりませんが、溶込不足や融合不良、割れ等の面状のきずでは、放射線ときずとの

なす角度が重要となり、場合によっては検知できないこともあります。きずの識別状況は上記の放射線照射角度のほか、使用する線源の焦点寸法、放射線のエネルギー、試験体の厚さ、感光材料、撮影の幾何学的配置等によって決まります。

放射線透過試験は、上述のように内部のきずの検出に優れており、平面的ではありますが、「きずによる像」として視覚に訴えることが可能で、他の試験方法に比較して記録性にも優れています。

規則第20条の7第2項では、放射線透過試験に関する合格の基準が定められています（表2～6）。

### 3. 磁粉探傷試験

#### (1) 磁粉探傷試験の概要

磁粉探傷試験は、鉄鋼材料などの強磁性体の表面およびその近傍のきずを検出することに適した探傷試験です。強磁性体に磁気を作用させ（磁化）、磁粉探傷剤を散布することで、表面および表面直下の比較的浅い部分（表面から約1～2mm程度）のきず部から生じた漏洩磁束（きず部分から漏れ出した磁束）に磁粉が付着し、

表2 ブローホール等の長径に応じて定める点数

ブローホール等の長径（単位mm）	点数
1.0以下	1
1.0を超え2.0以下	2
2.0を超え3.0以下	3
3.0を超え4.0以下	6
4.0を超え6.0以下	10
6.0を超え8.0以下	15
8.0を超える	25

表3 母材の材質及び厚さに応じて定めるブローホール点数の合計

母材		ブローホール点数の合計	
材質	厚さ（単位mm）	縦継手	水平継手
高張力鋼（引張強さ：490N/mm <sup>2</sup> 以上）以外	10以下	6	6
	10を超え25以下	12	12
	25を超える	12	24
高張力鋼	10以下	3	6
	10を超え25以下	6	12
	25を超える	12	24

表4 母材の材質及び厚さに応じて定めるスラグ巻き込み等の長さ

母材		長さ	
材質	厚さ（単位mm）	縦継手	水平継手
高張力鋼（引張強さ：490N/mm <sup>2</sup> 以上）以外	12以下	6mm	6mm
	12を超え25以下	母材の厚さの1/2	母材の厚さの1/2
	25を超える	母材の厚さの1/3	母材の厚さの1/2
高張力鋼	12以下	4mm	6mm
	12を超える	母材の厚さの1/3	母材の厚さの1/2

表5 母材の材質及び厚さに応じて定めるブローホール点数の合計  
(ブローホール等及びスラグ巻き込み等が混在する場合)

母材		ブローホール点数の合計	
材質	厚さ (単位mm)	縦継手	水平継手
高張力鋼 (引張強さ： 490N/mm <sup>2</sup> 以上) 以外	10以下	3	3
	10を超え25以下	6	6
	25を超える	4	12
高張力鋼	10以下	1	3
	10を超え25以下	2	6
	25を超える	4	12

表6 母材の材質及び厚さに応じて定めるスラグ巻き込み等の長さ  
(ブローホール等及びスラグ巻き込み等が混在する場合)

母材		長さ	
材質	厚さ (単位mm)	縦継手	水平継手
高張力鋼 (引張強さ： 490N/mm <sup>2</sup> 以上) 以外	12以下	4mm	4mm
	12を超え25以下	母材の厚さの1/3	母材の厚さの1/3
	25を超える	母材の厚さの1/4	母材の厚さの1/3
高張力鋼	12以下	3mm	4mm
	12を超える	母材の厚さの1/4	母材の厚さの1/3

きずが拡大され磁粉模様として現れます。

試験方法は、①前処理、②磁化、③磁粉の適用、④観察という順序になります。

前処理で重要な点として、疑似模様と呼ばれる、きず部以外へ磁粉が付着して形成される磁粉模様の発生を防ぐことが挙げられます。特に溶接部においては、溶接ビード表面の形状やグラインダーによる粗い削り込みなど、表面粗さに起因する疑似模様が発生しがちです。適切な

磁粉探傷試験の実施のためには、こうした疑似模様の発生を防ぐために、さびや汚れ、油分等を除去することは当然として、機械的な処理方法等で表面を滑らかにする等の適切な前処理を行うことが重要となります。

磁化の方法としては、軸通電法、直角通電法、プロッド法、電流貫通法、コイル法、極間法、磁束貫通法の7種類がありますが、屋外タンクの溶接部においては、このうち極間法が一般的に適用されます。いずれの方法においても、検査対象を適正に磁化することが重要になります。通常、きずの方向と磁束の方向が直交するように磁化した場合に最も検出感度が高くなります。

磁粉探傷試験で使用される磁粉には、蛍光発光を利用する蛍光磁粉と、可視光線下で使用する白、黒、赤などで着色された非蛍光磁粉があります。また、磁粉を適用する場合に粉体のまま使用する乾式磁粉と、水や油に分散させて使用する湿式磁粉があります。屋外タンクの底部溶接部においては蛍光湿式磁粉が一般的に使用されています。湿式媒体は主に水ですが、適切な濃度で磁粉液が作

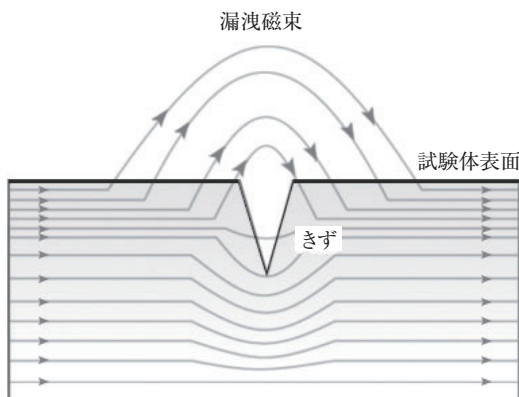


図2 磁粉探傷試験の概要

られていることが重要となります。JIS Z 2320-1では検査液中の磁粉分散濃度として蛍光磁粉の場合0.2～2g/Lの範囲とすると記載されています。

磁粉の適用時期は、磁化電流を流しながら磁粉を適用する連続法と、試験体の残留磁気を利用する残留法の二つの方法があり、屋外タンクの溶接部に用いられる極間法では連続法が用いられます。連続法では、磁粉液の適用から観察が終了するまで通電し続けることが必要となります。

蛍光磁粉を適用した場合は、試験範囲をブラックライトで照射し観察を行います。その際の条件としては、周囲の明るさを最大20Lx以下にすることと、ブラックライトの紫外線照度が10W/m<sup>2</sup>を超えることとJIS Z2320-1で記載されています。また、休憩を取ったあと等でタンク外の明るい場所から戻ってきて試験を行う場合は、観察に先立って、十分な時間をかけて周囲の明るさに目を慣らすことも重要です。

## (2) 磁粉模様の判定について

検査員は溶接部検査において、磁粉探傷試験によって現れた磁粉模様を判定する必要があります。試験において磁粉模様が現れた場合に最初に行なうべきことは、一度磁粉模様を除去し、明るい可視光線の下で試験面をよく観察し、付着物などを除去した後、再試験により再現性を調べることとなります。

再試験により再現性が確認された磁粉模様については、溶接部のきずによる磁粉模様か、そうでない疑似模様であるのかを確認する必要があります。

疑似模様とは、以下の磁粉模様の事を指します (JIS Z 2320-1:2007)。

- ① すりきず指示
- ② 磁気ペン跡
- ③ 断面急変指示
- ④ 電流指示
- ⑤ 電極指示
- ⑥ 磁極指示
- ⑦ 表面粗さ指示

## ⑧ 材質境界指示

極間法による磁粉探傷試験では、このうち、①すりきず指示、⑥磁極指示及び⑦表面粗さ指示による疑似模様が発生しがちです。それぞれの疑似模様については、非破壊検査テキスト「磁粉探傷試験Ⅱ (社団法人日本非破壊検査協会編)」中に以下のような説明があります。

### 1) すりきず指示

試験面に生じたすりきず及び打こんのうちで、有害でないものによって形成された磁粉模様で、表面粗さ指示の一種とも考えられる。これは白色灯の下で目視観察を行うことによって容易に判別できる。

～中略～

### 3) 磁極指示

磁束が磁極から漏洩する場合、かど部の磁束密度が非常に高くなるために生じる磁粉模様で、極間法において磁極の接触部及びその周辺部に生じる磁粉模様をいう。

～中略～

### 7) 表面粗さ指示

酸化スケールが部分的にはげた部分、腐食肌にある小さな段状の凹凸、切削面のバイト目など、試験面の肌荒れところに生じる磁粉模様をいい、蛍光磁粉を用いる場合に現れやすい。これは、表面を滑らかにして再試験を行うと消える。

(出典：[非破壊検査技術シリーズ] 磁粉探傷試験Ⅱ、社団法人日本非破壊検査協会編)

また、JIS Z 2310-1では、磁粉模様の分類や確認について、以下の記述があります。

## 11.1 磁粉模様の分類

磁粉模様の分類は、次の手順によって行う。

a) 磁粉模様が現れた場合は、11.2によって、

きずによる磁粉模様か、きずによらない磁粉模様かを確かめる。

～中略～

## 11.2 擬似模様の確認

擬似模様の確認は、次による。

～中略～

b) 確認された磁粉模様がきずによるものであると判定しにくいときは、次の操作によって、磁粉模様が擬似模様であるかどうかを確認することができる。

～中略～

3) 表面粗さ指示は、電流を小さくするか、試験面を滑らかにして再試験を行うと、磁粉模様が消える。

(出典：JIS Z 2320-1：2007 非破壊試験-磁粉探傷試験-第1部：一般通則)

擬似模様ときずによる磁粉模様を区別することは、正確に試験結果を判定する上で非常に重要です。表面が滑らかに処理されずに溶接したままの状態の部分や、腐食等により表面に凹凸がある部分で磁粉探傷試験を実施した場合、磁粉の模様だけからでは、それがきずによるものなのか表面粗さ指示等による擬似模様なのか判断することは出来ません。このような場合は、前述のJIS Z 2320-1、非破壊検査テキストにもあるように、グラインダー等により表面を滑らかにして再度試験を実施することで、現れた磁粉模様がきずによる磁粉模様か、きずによらない擬似模様かを確認しなければなりません。

規則第20条の8では、磁粉探傷試験による以下の合格基準が定められています。

- ・割れがないものであること。
- ・アンダーカットはアニュラ板と底板及び底板と底板との溶接継手については0.4mm以下のもの、その他の部分の溶接

継手については、ないものであること。

- ・磁粉模様（擬似磁粉模様を除く）は、その長さが4mm以下であること。（2以上の磁粉模様がほぼ同一線上に2mm以下の間隔で存する場合は、当該磁粉模様の長さと同間隔の合計の長さとする。ただし相隣接する磁粉模様のいずれかの長さが2mm以下のものであって当該磁粉模様の長さ以上の間隔で存する場合を除く）
- ・磁粉模様（擬似磁粉模様を除く）が存する任意の箇所について25cm<sup>2</sup>の長方形（一辺の長さは15cmを限度とする）の部分において、長さが1mmを超える磁粉模様の長さの合計が8mm以下であること。

## 4. 浸透探傷試験

危険物の規制に関する規則第20条の8では、磁粉探傷試験によることが困難な場合、浸透探傷試験を行うことができるとされています。また、磁粉探傷試験の結果、磁粉模様の長さはその幅の3倍未満のものについては、浸透探傷試験により指示模様の確認を行うこととされています。

浸透探傷試験の特徴は、材料表面に開口したきずを探し出すことができることです。吸水性の良いものや多孔質なものを除くほぼ全ての材料に使用できますが、検出できるのは表面に開口されたもののみとなります。

浸透探傷試験は、探傷剤として使用される浸透液、余剰浸透液の除去剤及び現像剤の組み合わせにより分類されています。その中で、屋外タンク貯蔵所の溶接部のような大型構造物の検査に用いられるのは、浸透液としては染色浸透液、余剰浸透液の除去剤としては有機溶剤除去剤、及び現像剤としては速乾式現像剤を用いた方法が一般的です（溶剤除去性染色浸透探傷試験-速乾式現像法）。

速乾式現像法による溶剤除去性染色浸透探傷試験では、まず試験面の清掃処理を行った後に試

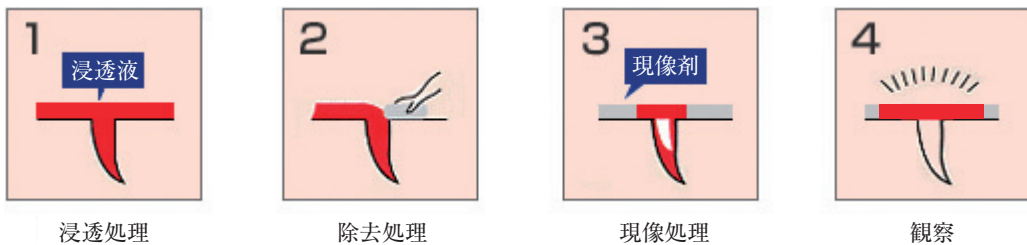


図3 浸透探傷試験の概要

試験体表面に浸透液を塗布します。一定時間放置後、浸透液がきずの内部に浸透するので、その後、表面に残っている浸透液を拭き取り現像液を吹き付けると、現像液がきずの内部に染み込んだ浸透液を吸い出す作用が働いて、拡大した像の指示模様となって現れ、きずを検出することができます。

また、前処理を十分に行うことや、過剰な除去処理（過洗浄）を行わないことは、適切な評価を行ううえでとても重要となります。

磁粉探傷試験と浸透探傷試験の特徴を比較すると、磁粉探傷試験は、表層部の線状きずの検出に優れており、浸透探傷試験は、表面に開口したブローホール等の体積を持ったきずの検出に優れているということになります。逆にいえば、表面に開口したブローホールに磁粉探傷試験を適用した場合や、表面の微細な線状きずに浸透探傷試験を適用した場合に、磁粉模様や指示模様が形成されない場合があるということです。

規則第20条の8では、浸透探傷試験による以下の合格基準が定められています。

- ・割れないものであること。
- ・指示模様（擬似指示模様を除く）は、その長さが4 mm以下であること。（2以上の指示模様がほぼ同一線上に2 mm以下の間隔で存する場合は、当該指示模様の長さと同該間隔の合計の長さとする。ただし相隣接する指示模様のいずれかの長さが2 mm以下のものであって当該指示模様の長さ以上の間隔で存する場合は除く）

- ・指示模様（擬似指示模様を除く）が存する任意の箇所について25cm<sup>2</sup>の長方形（一辺の長さは15cmを限度とする）の部分において、長さが1 mmを超える指示模様の長さの合計が8 mm以下であること。

### 5. 漏れ試験

容器や配管の一部または全体の気密性および水密性を確認するために、漏れの存在、漏れ箇所または漏れ量を検出するために行う試験を漏れ試験といいます。

規則第20条の9では、表1の箇所に対して真空試験、加圧漏れ試験、浸透液漏れ試験等の試験によって漏れないものでなければならぬとされています。

鋼製石油貯槽の規格であるJIS B8501では、以下の漏れ試験の規定があります。

- (1) 底板、アニュラプレートの溶接部は、せっけん水などを使用し、真空中で漏れを調べる。この場合の圧力は、少なくとも-53.3kPaとする。
- (2) 屋根板の溶接部は、空気圧試験、真空試験、その他適当な方法による漏れ試験を行う。ただし、空気圧をかけるときは、その圧力は、最低353Paとし、設計圧力を超えてはならない。  
浮き屋根のポンツーンやデッキの溶接部も同じく試験する。
- (3) 開口部強め材溶接部の漏れ試験として本体水張り試験前に強め材のテルテルホールから100kPaゲージ圧以下の空気圧、その他の不活性ガスで圧力をかけ、溶接部の漏れを調べる。