

# 渦流探傷試験を用いた塗膜上からの タンク溶接部の検査技術

藤原 貢\*      戸部 訓子\*\*      荒川 敬弘\*\*\*  
*Fujiwara Mitsugu      Tobe Satoko      Arakawa Takahiro*

土田 智彦\*\*\*\*      岩田 克己\*\*\*\*  
*Tsuchida Tomohiko      Iwata Katsuki*

IHI検査計測は平成21年度および22年度に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が公募した「タンク解放検査の合理化に関する研究（コーティング上からの溶接検査）」に応募し、フェーズドアレイ探傷を用いた超音波探傷法および一様渦流プローブを用いた渦流探傷法を適用してコーティング上からのタンク底板溶接部欠陥検出性を研究した。

平成21年度には人工ノッチにより検出性を検証し、22年度には模擬自然欠陥に対するコーティング上からの検出性を確認した。本稿ではコーティング上から探傷が可能な一様渦流プローブを用いた渦流探傷法について紹介する。

キーワード：コーティング、タンク底板溶接部、一様渦流プローブ、渦流探傷試験

## 1. 緒言

当社では、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構が公募した「タンク解放検査の合理化に関する研究（コーティング上からの溶接検査）」に応募し、タンク底板溶接部のコーティング上からの探傷が可能な探傷方法の確立を目的として平成21、22年度に研究を実施した。

平成21年度は、コーティング上から有望な検査手法として、フェーズドアレイ探傷およびクリーピング探傷を用いた超音波探傷法ならびに電磁氣的探傷法を適用して、コーティング上から長さ4mmを超える人工ノッチの検出性について研

究した。また、電磁氣的探傷法では交流磁場検査装置を用いたAプローブ、渦流探傷装置での一様渦流プローブであるKプローブ、Iプローブを適用してコーティング厚さによる欠陥検出性の確認試験を実施した。

その結果、図1.1のグラフに示すように、Aプローブでは、深さ0.5mmの人工ノッチがコーティング厚さ約500 $\mu$ mを超えると検出が困難となり、深さ1.0mmの人工ノッチではコーティング厚さ約1500 $\mu$ mを越えると検出が困難であった。

一方、Kプローブ、Iプローブでは厚さ約2mmのコーティング厚さでも、すべての人工ノッチの検出が可能であった。

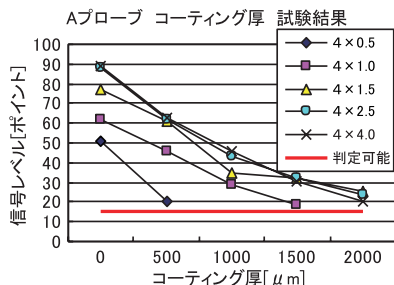
\* 検査事業部 技術部 NDEグループ 部長

\*\* 検査事業部 技術部 NDEグループ

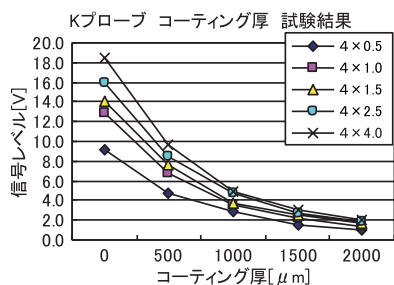
\*\*\* フェELLOW 工学博士 横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター客員教授

\*\*\*\* (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構 石油備蓄部

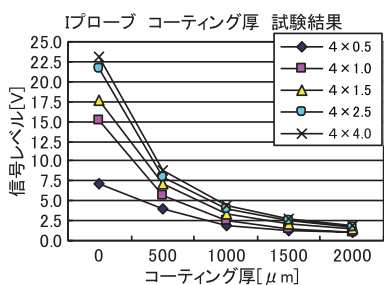
また、探傷表面の凹凸に伴って発生する雑信号やリフトオフによる雑信号も、Aプローブより、KプローブやIプローブの方が少なく、SN比が高い結果が得られた。



(a) Aプローブ (交流磁場測定装置)



(b) Kプローブ (渦流探傷装置)

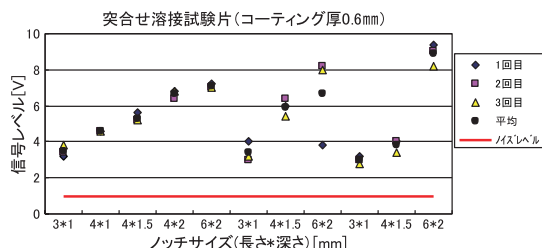


(c) Iプローブ (渦流探傷装置)

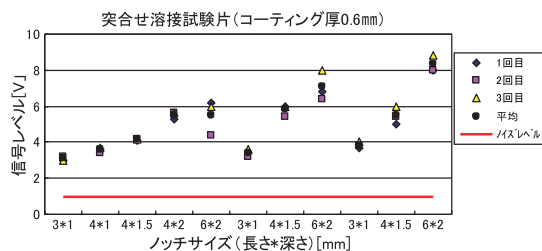
図 1.1 各プローブにおけるコーティング厚さと人工ノッチの検出性比較

以上の結果に基づき、長さ 3mm ~ 6mm の人工ノッチを加工した後、厚さ 0.6mm のコーティングを施した突合せ溶接試験片において欠陥検出性に優れノイズが少ない一様渦流プローブ (Kプローブ、Iプローブ) を用いて、検証試験を行なった。その結果、図 1.2 のグラフに示すように両プローブともにノイズレベルが約 1V に対し、長さ

3mm ノッチにおいても約 3V で検出可能であり、長さ 4mm を超えるノッチでは約 4V 以上で検出が可能であった。また一様渦流プローブである Iプローブと Kプローブを同一感度とする感度校正をおこなった際、探傷装置の感度レンジから Iプローブの方が Kプローブより 10dB 感度余裕が良いことも確認でき、コーティング上からの検査では、Iプローブが適切であると考えられた。



(a) Kプローブ (渦流探傷装置)



(b) Iプローブ (渦流探傷装置)

図 1.2 各プローブにおける人工ノッチの検出性

超音波探傷法では、クリーニング探傷よりフェーズドアレイ探傷の方がコーティング厚さの変動の影響を受けずに安定した欠陥検出性が得られることがわかった。フェーズドアレイ探傷により渦流探傷法と同様に長さ 4mm を超えるノッチを全て検出できることを確認した。平成 21 年度においては、一様渦流探傷法、超音波探傷法ともにコーティング上から長さ 4mm のノッチを検出できることを確認した<sup>(1)</sup>。

平成 22 年度の研究では、模擬自然欠陥の検出性確認および実機タンク底板溶接部での擬似信号確認を行ったうえ、最終的に検査装置へ搭載する探傷器 (探傷手法) を選定することとした。その

結果、一様渦流探傷法、超音波探傷法ともにコーティング上から長さ4mmの模擬自然欠陥を検出できることが確認できた。

一様渦流探傷法では、一つのプローブ走査での検査有効範囲が狭いため、多チャンネル化が必要となるが、一様渦流プローブ対応の多チャンネル型探傷装置が市販されておらず、専用探傷器を自社開発する必要があることが判明した。このような状況から実用化に至るハードルの高さ、およびタンク底板溶接部の探傷効率化の観点から総合的に判断し、コーティング上からのタンク底板溶接部検査装置へフェーズドアレイ探傷での超音波探傷法を適用することにした。しかし、一様渦流探傷法は一つのプローブでも、高速道路および橋梁等の鉄桁等、コーティング上から細かな走査を行なうことで隅肉溶接部に発生する疲労き裂を検出できる有望な検査手法であることから、本稿では、コーティング上から探傷可能な一様渦流探傷法について紹介する。

## 2. 一様渦流方式による渦流探傷法の原理

図 2.1 に示すように金属等の導体に、交流を流したコイルを接近させると、電磁誘導により渦電流が発生する。割れなどの欠陥があると渦電流分布が変化し、コイルに誘起される電圧が変化する。この変化を検出して探傷するのが一般的な渦流探傷法である。

渦流探傷法では、探傷表面からプローブが離れると渦電流密度が減衰するのでコーティング厚さが厚くなるに従って欠陥検出性が劣ることとなる。

図 2.2 に示すように渦電流を発生させる励磁コイルを試験片表面に平行とし、一様な電流を誘導する方法（一様渦流）では励磁エネルギーを高くすることができるので、溶接部の欠陥検出性を高くできる。

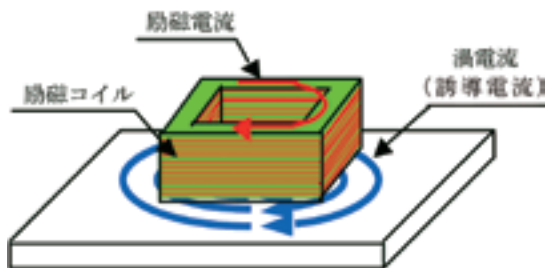


図 2.1 一般的な渦流探傷法 (模式図)

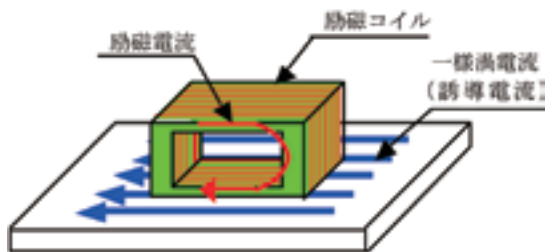


図 2.2 一様渦流方式による渦流探傷法 (模式図)

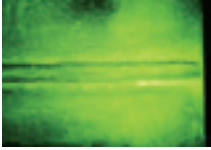



## 3. コーティング上からの模擬自然欠陥の検出性

### 3.1 自然欠陥模擬試験片での検証

一様渦流探傷法を用いて欠陥をコーティング上から確実に検出できることを確認するためには、実機タンクの自然欠陥を模擬した試験片を作製して検出性を確認する必要があります。石油備蓄タンク等の底板には漏油防止のために耐腐食性コーティングを施工しており、貯蔵・払い出しによる繰返応力も小さいことから、底板にクリープ、応力腐食割れ（SCC）、疲労などの損傷が発生することは考えにくい。

タンク底板の自然欠陥は、溶接部表面直下の融合不良などの内部欠陥から、供用中の環境により疲労割れとして表面に開口するのであろうと考えた。

自然欠陥模擬試験片は、突合せ溶接部の表面直下1mmに埋没した融合不良を製作し、この部位に疲労き裂導入まで繰返応力をかけ、疲労き裂を表面に開口させて製作した。繰返応力によって欠陥を表面に開口させる過程において磁粉探傷試験と渦流探傷試験により欠陥の表面開口および欠陥検

疲労試験 ※ 1	磁粉探傷試験	渦電流探傷試験 ※ 2
0 回目	指示なし 	指示なし 
1 回目	指示あり 	指示あり 

- ※ 1. 疲労試験 1 回につき、累積繰返し回数は 100,000 回
- ※ 2. 模擬コーティングとして 0.5mm のテフロンシート上からデータを取得

図 3.1 埋没欠陥が表面開口欠陥に至る検出性

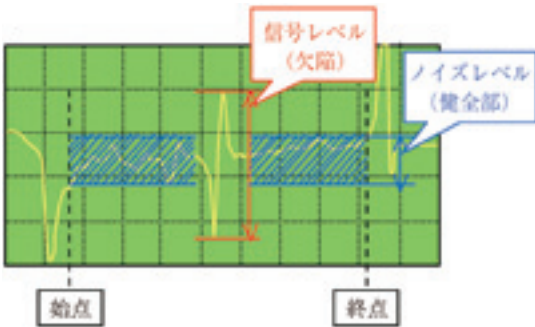


図 3.3 ノイズレベル範囲 (チャート模式図)



図 3.2 自然欠陥模擬試験片

出性の確認を実施した。その結果、図 3.1 に示すように、磁粉探傷試験で検出できない埋没欠陥は、渦流探傷試験においても検出できず、埋没欠陥が表面に開口した段階で双方ともに欠陥を検出したことから、磁粉探傷試験と渦流探傷試験は同等の欠陥検出レベルであることが確認できた。

また、図 3.2 のように表面に疲労き裂が開口した自然欠陥模擬試験片上にコーティングを施し、一様渦流探傷法を用いて模擬自然欠陥の検出性および健全部におけるノイズレベルの確認を実施した。欠陥検出性試験の感度校正は、人工ノッチの長さ 4mm、深さ 0.5 mm にコーティングを模擬した 2mm 厚さのテフロンシート上から探傷し、出力信号のピーク to ピーク 1V に設定して実施した。

欠陥検出性およびノイズレベルの測定は、図 3.3 の出力チャートデータ例に示すように欠陥信号波形のピーク to ピークの電圧値とし、ノイズレベルはその時の健全部波形の電圧値とした。図 3.4 の出力チャートデータから


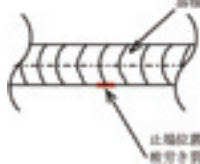
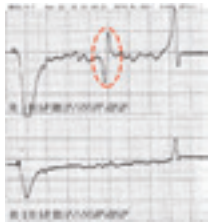
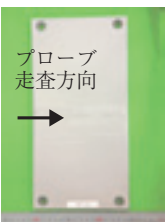
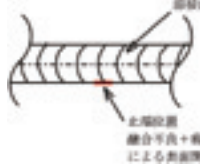
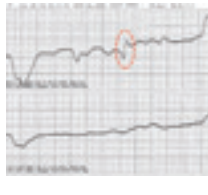
試験片	欠陥位置	渦流探傷試験
	L : 4.6mm D : 3.2mm 	
	L : 4.6mm D : 3.2mm 	

図 3.4 自然欠陥模擬試験片の検出性

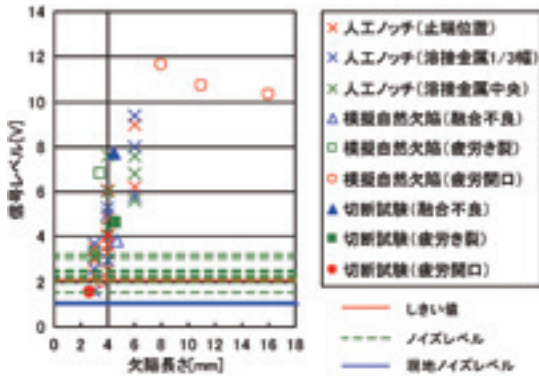


図 3.5 人工ノッチと模擬自然欠陥との検出性の差異

各種の人工ノッチ試験片と自然欠陥模擬試験片の欠陥長さに対する出力信号レベル、およびノイズレベルをまとめたグラフを図 3.5 に示す。その結果、欠陥長さ 2.2mm については検出できなかったが、欠陥長さ 2.7mm から検出が可能であり、人工ノッチおよび自然欠陥ともに本試験の目標である、長さ 4mm を超える欠陥の検出を確認することができた。また、長さ 4mm を超える欠陥の ET 信号レベルが 2V 以上であることから欠陥検出(しきい値) レベルを、2V とすることにした。

### 3.2 実機タンクによる検証

前述の感度校正ならびにしきい値レベルについて、実機への適用可否を検討するために I プロブを用いて、むつ小川石油備蓄基地タンクにおいて擬似信号等ノイズとなる信号の有無としきい値レベルの確認をタンク底板溶接部 1m 長さで 4 箇所について実施した。図 3.6 にその様子を示す。

探傷箇所の一部を図 3.7 に示すが、コーティング上から溶接止端部、溶接中央部についてプローブを走査して試験を実施した。

その結果、探傷中における通常のノイズレベルは図 3.8 に示すように 0.6 ~ 0.9V であり、実機タンク底板溶接部において有害となるノイズがないことを確認できた。しかし 4m 中 6 箇所で図 3.9 に示すような 1.1 ~ 1.9V の欠陥波形に似た波形

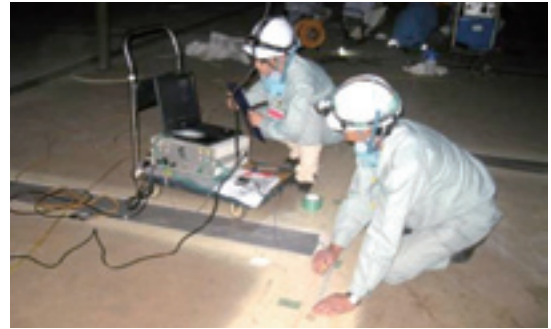


図 3.6 実機タンク溶接線のノイズレベル確認

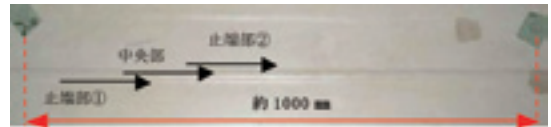


図 3.7 タンク底板溶接線 探傷箇所

を検出し、コーティング剥離後の磁粉探傷試験の結果では、欠陥指示は認められず溶接形状の急変部による渦流探傷指示であったことがわかった。これらは、前述で決定したしきい値レベル (2V) 以下であり、擬似信号を排除することからしきい値レベル 2V は妥当であることが確認できた。

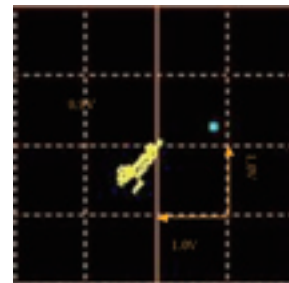


図 3.8 溶接線中央部ノイズレベル (健全部)

コーティング剥離前	コーティング剥離後	擬似信号

図 3.9 溶接部での擬似信号箇所

#### 4. 結言

本研究において、タンク底板のようにコーティングが施されている溶接部に対し、コーティングを剥離することなく、探傷が可能な渦流探傷方法として一様渦流プローブを適用した検査方法を確立することができた。

また、磁粉探傷試験は検査をする上でコーティングの剥離が不可欠で、さらに再塗装を施す必要があるのに対し、渦流探傷法を適用することにより検査時間の短縮および検査費用低減に寄与できるものと考えられる。

今後は、タンク底板以外の一般構造物での確立も目指すが、一般構造物の溶接部の中には溶接表面状態が悪く、塗膜状態の悪い場合もあり、擬似信号が多く発生する場合もあることから、塗膜上からの渦流探傷技術の更なる向上を目指す所存である。

#### 謝 辞

本研究は IHI 検査計測が平成 21 年度、22 年度に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構殿からの委託を受けて実施したものであり、研究の推進にあたり、関根和喜先生を主査とする研究プロジェクト評価委員会を設けて研究の評価とご指導を賜った。関根和喜先生並びに各委員の山田實先生、阪上隆英先生、河野和間先生、石井正義先生、小島隆先生に深い謝意を表します。また、研究プロジェクト推進会議委員の(株)カシワバラ・コーポレーション 木村保久氏にも貴重な助言を賜っており、感謝します。

#### 参考資料

- (1) “石油タンク底板溶接部のコーティング上からの非破壊検査技術の検討”、IIC REVIEW/2010/10.No.44

---

検査事業部 技術部  
NDE グループ部長  
藤原 貢  
TEL. 045-791-3523  
FAX. 045-791-3547

フェロー 工学博士  
横浜国立大学安心・安全の科学研究教育センター客員教授  
荒川 敬弘  
TEL. 045-791-3522  
FAX. 045-791-3547

(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
石油備蓄部  
土田 智彦  
TEL. 03-6758-8575  
FAX. 03-6758-8064

検査事業部 技術部  
NDE グループ  
戸部 訓子  
TEL. 045-791-3523  
FAX. 045-791-3547

(独) 石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
石油備蓄部  
岩田 克己  
TEL. 03-6758-8575  
FAX. 03-6758-8064