

**「渦電流探傷試験、超音波探傷試験及び漏えい率試験に係る
日本電気協会の規格の技術評価に関する検討チーム 第1回会合における
日本電気協会への説明依頼事項」に対する回答**

令和2年10月28日
(一社)日本電気協会
原子力規格委員会

標記につきましては、以下の通り回答いたします。

○説明依頼事項

2. 軽水型原子力発電所用機器の供用期間中検査における超音波探傷試験規程

- (1) 「(解説-4500-1)オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」に、「4500 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」は、文献「ステンレス鋼溶接金属を透過した UT(検出)確認試験研究の成果: 保全学 Vol.9・No.3・2010, 日本保全学会」及び「ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果(第2報): 保全学 Vol.14・No.2・2015, 日本保全学会」に基づいて規定されたことが記載されています。同文献で用いられたプローブの仕様について説明してください。
- (2) 上記文献において使用された試験体の材質と応力腐食割れの実プラントとの模擬性について説明してください。
- (3) 「2200 試験評価員及び試験員」に対して「4500 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」に関する教育訓練を要求事項としていませんが、その理由について説明してください。
- (4) 「2711 記録, 採取手順」(3)h.において、「ボルトのネジ部からのエコーなど定常的に検出され、明確に形状エコーと判断できるものについては、その代表例と検出範囲を記録する。」が追加されましたが、形状エコーの近くに他のエコーも検出される場合の記録の仕方について説明してください。
- (5) 「図-4542-1 突合せ溶接継手の基準感度の設定」には溶接部の記載がありません。基準感度の設定に用いる対比試験片について説明してください。

(6) 技術的に参考になる以下の3つの文献に関し、表1に「不明」とされている内容について説明してください。

(文献1) 永田他：ステンレス鋼溶接金属を透過したUT（検出）確認試験研究の成果、保全学、第9巻3号p.19（2010）

(文献2) 小林他：ステンレス鋼溶接金属を透過したUT（検出）確認試験研究の成果、発電技検技術レビュー第7巻p.25（2011）

(文献3) 瀬良他：ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果（第2報）、保全学、第14巻2号p.81（2014）

表1 参考文献の記載内容の概要

| 項目 | 文献1及び2 | 文献3 |
|----------------------------|--|--|
| フェーズドアレイ探触子の仕様（素子寸法等） | 不明 | Table 2-2に記載 |
| 試験体の模擬性（母材、溶接部、欠陥の種類、亀裂性状） | 母材：再循環系配管と同等材（SUS） 溶接部：再循環系配管と同等 欠陥の種類：SCC 亀裂性状の確認：記載なし | 母材：SUS 管材-SUS 管材、SUS 管材-鋳造材 溶接部： 欠陥の種類：EDM、疲労割れ、SCC 亀裂性状の確認：破面解放等により性状の適切性を確認 |
| 実欠陥寸法の確認方法 | 不明 | 破面解放等により実深さを確認 |
| ブラインド試験の欠陥数 | 5個 | 不明（EDMと疲労割れ、SCCの割合がわからない） |
| SCCの高さ（深さ） | 板厚の15%～60%程度 | 不明（EDMと疲労割れ、SCCの区別がわからない） |
| 無欠陥部の領域数 | 10領域 | 不明 |
| 探傷面の制限方法 | 亀裂付与側の探傷面をマスクング | 不明 |
| 欠陥付与面のマスクング | 短冊状試験体の側面及び欠陥付与をマスクング | 不明 |
| 試験の環境 | 実験室環境 第三者が探傷状況を確認 | 実験室環境 代表試験体に対して第三者が探傷状況を確認 |
| 探傷試験員の技量や経験 | 1年から15年 | 不明 |
| 試験員数又はチーム数 | 7名 | 不明 |

○回答

(1) 「(解説-4500-1)オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」に、「4500 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」は、文献「ステンレス鋼溶接金属を透過した UT(検出)確認試験研究の成果:保全学 Vol.9・No.3・2010,日本保全学会」及び「ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果(第2報):保全学 Vol.14・No.2・2015,日本保全学会」に基づいて規定されたことが記載されています。同文献で用いられたプローブの仕様について説明してください。

回答(1)

各研究で使用したプローブの主な仕様について以下に記します。いずれも電力共同研究として実施し、その主要部分を文献として公知化したものですが、紙面の都合等でプローブの仕様等は割愛しております。

(a) 「ステンレス鋼溶接金属を透過した UT(検出)確認試験研究の成果」で使用した探触子の仕様は以下の通りです。

| 対象の試験体 | 概要 | 周波数 (MHz) | 振動子寸法 (mm) | 公称屈折角 (°) |
|--------------------------------------|-------------------|--------------|---------------|--------------|
| 150A 厚さ 10mm (ステンレス鋼 同士の継手) | 縦波斜角(2分割) | 3 | 10×5 | 45 |
| | 縦波斜角(2分割) | 1.5 | 8×14 | 60 |
| | 縦波斜角 | 2.25 | φ 12.7 | 60 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 1.5 | 40×20 | セクタ走査 |
| | 横波フェーズドアレイ | 1.5 | 16×11.8 | セクタ走査 |
| | 縦波フェーズドアレイ | 3 | 19.2×10 | セクタ走査 |
| 350A 厚さ 25mm (ステンレス鋼 同士の継手) | 縦波斜角(2分割),焦点 20mm | 2 | 13×6 | 45 |
| | 縦波斜角(2分割) | 2 | 10×18 | 45 |
| | 縦波斜角(2分割) | 1.5 | 15×25 | 60 |
| | 縦波斜角(2分割),焦点 20mm | 2 | 15×10 | 60 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 1.5 | 40×20 | セクタ走査 |
| | 縦波フェーズドアレイ | 3 | 19.2×10 | セクタ走査 |
| 600A 厚さ 35mm (ステンレス鋼 同士の継手) | 縦波斜角(2分割),焦点 25mm | 2 | 20×10 | 45 |
| | 縦波斜角(2分割) | 2 | 10×18 | 45 |
| | 縦波斜角(2分割) | 1.5 | 15×25 | 60 |
| | 縦波斜角(2分割),焦点 35mm | 2 | 15×10 | 60 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 1.5 | 40×20 | セクタ走査 |
| | 縦波フェーズドアレイ | 2 | 24×13 | セクタ走査 |

(b)「ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果(第2報)」で使用した探触子の仕様は以下の通りです。

| 対象の試験体 | 概要 | 周波数 (MHz) | 振動子寸法 (mm) | 公称屈折角 (°) |
|---|-----------------|--------------|---------------|--------------|
| 100A, 厚さ 12.7mm (ステンレス鋼同士の継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 20×10 | 60 |
| | 横波斜角 | 2 | φ15 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 3 | 32×16 | セクタ走査 |
| 100A, 厚さ 12.7mm (ステンレス鋼-ステンレス鋼継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 20×10 | 70 |
| | 横波斜角 | 1 | φ15 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 3 | 32×16 | セクタ走査 |
| 150A, 厚さ 18.2mm (ステンレス鋼同士の継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 20×10 | 60 |
| | 横波斜角 | 2 | φ15 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 3 | 32×16 | セクタ走査 |
| 150A, 厚さ 18.2mm (ステンレス鋼-ステンレス鋼継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 20×10 | 70 |
| | 横波斜角 | 1 | φ20 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 3 | 32×16 | セクタ走査 |
| 250A, 厚さ 28.6mm (ステンレス鋼同士の継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 29×15 | 60 |
| | 横波斜角 | 2 | φ25 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 2 | 40×20 | セクタ走査 |
| 250A, 厚さ 28.6mm (ステンレス鋼-ステンレス鋼継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 29×15 | 70 |
| | 横波斜角 | 1 | φ25 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 2 | 40×20 | セクタ走査 |
| 300A, 厚さ 33.3mm (ステンレス鋼同士の継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 29×15 | 60 |
| | 横波斜角 | 2 | φ25 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 2 | 40×20 | セクタ走査 |
| 300A, 厚さ 33.3mm (ステンレス鋼-ステンレス鋼継手) | 縦波斜角(2分割) | 2 | 29×15 | 70 |
| | 横波斜角 | 1 | φ30 | 70 |
| | 縦波フェーズドアレイ(2分割) | 2 | 40×20 | セクタ走査 |

(2) 上記文献において使用された試験体の材質と応力腐食割れの実プラントとの模擬性について説明してください。

回答(2)

(a) 「ステンレス鋼溶接金属を透過した UT (検出) 確認試験研究の成果」

当該研究で使用した試験体は、発電設備技術検査協会が保有している試験技術者の訓練用のステンレス鋼配管溶接部応力腐食割れ (SCC) 付与試験体を使用して行いました。使用した試験体は、過去の国プロ (原子力発電設備検査技術実証事業) 等で使用した SCC 付与試験体と同様の材質・方法で製作したものであり、実機模擬性については充分あると考えています。

(b) 「ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果 (第 2 報)」

当該研究で使用した試験体は、実機と同等の材質と過去の国プロ (原子力発電設備検査技術実証事業) や共同研究等で使用した SCC 及び疲労割れ付与試験体と同様の方法で製作したものであり、実機模擬性については充分あると考えています。

(3) 「2200 試験評価員及び試験員」に対して「4500 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」に関する教育訓練を要求事項としていませんが、その理由について説明してください。

回答(3)

「4500 オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属部を透過させる探傷」では、自動探傷又は半自動探傷を前提としています(4550 項)。このため全ての探傷波形が記録されており、探傷(データ採取)後に探傷画像での判定や複数人での結果確認などが可能です。すなわち現場での探傷技量にはあまり依存せず、通常の ISI 経験などがあれば実施可能と考えます。

探傷システムの取扱いに関しては、装置がユーザ別であるため、それぞれが自社システムを使用して訓練するのが適当と考えます。

(4) 「2711 記録, 採取手順」(3)h.において、「ボルトのネジ部からのエコーなど定常的に検出され, 明確に形状エコーと判断できるものについては, その代表例と検出範囲を記録する。」が追加されましたが、形状エコーの近くに他のエコーも検出される場合の記録の仕方について説明してください。

回答(4)

形状エコーの近くにあるエコーで、形状エコーとは異なるエコー(別の反射源からの信号)と考えられるエコーについては、2711 項に従って記録されます。

なお、定常的に検出されるエコーと識別する観点、周辺部位とのエコー高さなどの顕著な違いや、エコーの挙動(動き)が形状エコーと異なる場合などがあります。

(5) 「図-4542-1 突合せ溶接継手の基準感度の設定」には溶接部の記載がありません。基準感度の設定に用いる対比試験片について説明してください。

回答(5)

基準感度の設定では、母材部に付与した反射体(ノッチ)を用います。探傷を行う際にはその基準感度からノイズレベルを考慮して感度を上げた探傷を行い(4550 項)、複数の探傷条件のデータを考慮して評価することとしています(4570 項)。これは「基準感度」は前回検査や他の継手との比較を行う観点で、エコーが安定して得られる母材に付与された反射体(ノッチ)を用いることとし、データ採取はノイズ等を考慮して適切な範囲で高い感度で行うためです。

溶接線を透過した探傷では、きず以外からの金属組織エコーなどが非常に多く観測されるため、上記(3)にある通り画像化した探傷結果や、複数の手法を総合的に見て、きずの信号を判断する必要があり、単に基準とするエコー高さを超えただけで有意な信号と判断することはできません。

(6) 技術的に参考になる以下の3つの文献に関し、表1に「不明」とされている内容について説明してください。

(文献1) 永田他：ステンレス鋼溶接金属を透過したUT（検出）確認試験研究の成果、保全学、第9巻3号p.19（2010）

(文献2) 小林他：ステンレス鋼溶接金属を透過したUT（検出）確認試験研究の成果、発電技検技術レビュー第7巻p.25（2011）

(文献3) 瀬良他：ステンレス鋼溶接金属を透過した超音波探傷性能の確認結果（第2報）、保全学、第14巻2号p.81（2014）

表1 参考文献の記載内容の概要

| 項目 | 文献1及び2 | 文献3 |
|----------------------------|--|--|
| フェーズドアレイ探触子の仕様（素子寸法等） | 不明 | Table 2-2に記載 |
| 試験体の模擬性（母材、溶接部、欠陥の種類、亀裂性状） | 母材：再循環系配管と同等材（SUS） 溶接部：再循環系配管と同等 欠陥の種類：SCC 亀裂性状の確認：記載なし | 母材：SUS 管材-SUS 管材、SUS 管材-鋳造材 溶接部： 欠陥の種類：EDM、疲労割れ、SCC 亀裂性状の確認：破面解放等により性状の適切性を確認 |
| 実欠陥寸法の確認方法 | 不明 | 破面解放等により実深さを確認 |
| ブラインド試験の欠陥数 | 5 個 | 不明（EDM と疲労割れ、SCC の割合がわからない） |
| SCC の高さ（深さ） | 板厚の 15%～60%程度 | 不明（EDM と疲労割れ、SCC の区別がわからない） |
| 無欠陥部の領域数 | 10 領域 | 不明 |
| 探傷面の制限方法 | 亀裂付与側の探傷面をマスクング | 不明 |
| 欠陥付与面のマスクング | 短冊状試験体の側面及び欠陥付与をマスクング | 不明 |
| 試験の環境 | 実験室環境 第三者が探傷状況を確認 | 実験室環境 代表試験体に対して第三者が探傷状況を確認 |
| 探傷試験員の技量や経験 | 1年から15年 | 不明 |
| 試験員数又はチーム数 | 7名 | 不明 |

回答(6)

| 項目 | 文献 1 及び 2 | 文献 3 |
|----------------------------|--|--|
| フェーズドアレイ探触子の仕様（素子寸法等） | 文献 1:3.5 項に屈折角および周波数を記載しているが、振動子寸法は記載なし | Table 2-2 に記載 |
| 試験体の模擬性（母材、溶接部、欠陥の種類、亀裂性状） | 母材：再循環系配管と同等材（SUS） 溶接部：再循環系配管と同等 欠陥の種類：SCC 亀裂性状の確認：記載なし | 母材：SUS 管材-SUS 管材、SUS 管材-鋳造材 溶接部： 欠陥の種類：EDM、疲労割れ、SCC 亀裂性状の確認：破面解放等により性状の適切性を確認 |
| 実欠陥寸法の確認方法 | 内表面の浸透探傷試験および PD 認証に準じたきず高さ（深さ）測定を行って確認 | 波面解放等により実高さ（深さ）を確認 |
| ブラインド試験の欠陥数 | 5 個 | 24 個 |
| SCC 及び疲労割れの高さ（深さ） | 板厚の 15%~60%程度 | 評価不要欠陥寸法、板厚の 25%, 50% |
| 無欠陥部の領域数 | 10 領域 | 8 領域 |
| 探傷面の制限方法 | 亀裂付与側の探傷面をマスクング | 亀裂付与側の探傷面をマスクング |
| 欠陥付与面のマスクング | 短冊状試験体の側面及び欠陥付与をマスクング | 短冊状試験体の欠陥付与面をマスクング |
| 試験の環境 | 実験室環境 第三者が探傷状況を確認 | 実験室環境 半自動スキャナを使用 代表試験体に対して第三者が探傷状況を確認 |
| 探傷試験員の技量や経験 | 1 年から 15 年 | 30 年以上 |
| 試験員数又はチーム数 | 7 名 | 1 名 |