

一般社団法人 日本非破壞検查協会

超音波部門講演会資料

日時 2024年8月27日(火) 講演会 14:30~17:30 2024年8月28日(水) 見学会 7:40~16:05

会 場 いわき産業創造館 会議室1

〒 970-8026 福島県いわき市平字田町 120 番地 LATOV (ラトブ) 6 階

資料	項 目	勤務先·氏名	頁
UT-00207	リーン二相ステンレス鋼溶接部のフェーズ ドアレイ UT 法の検討 その 1	(一財)発電設備技術検査協会 古川 敬、鈴木良治 (株)大検	
UT-00208	- リーン二相ステンレス鋼溶接部のフェーズ - ドアレイ UT 法の検討 その 2	山中悠吾 (株)丸島アクアシステム 亀谷博仁 (株)大検 山中悠吾 (一財)発電設備技術検査協会	 5
UT-00209	 表面と表皮直下きずの超音波探傷波形を用 いたきず弁別技術	古川 敬、鈴木良治 (株) 丸島アクアシステム 亀谷博仁 大同特殊鋼(株) 森 大輔、野崎航平	
UT-00210	- - 画像化された超音波探傷波形の機械学習に - 関すろ検討	(公財)鉄道総合技術研究所 牧野一成	15
UT-00211	複合材中のアコースティックエミッション を用いた AI による損傷種類、 位置、音源 分離評価の基礎検討	伊藤忠テクノソリューション(株) 池上泰史、下野祐典	21
UT-00212	超音波試験における相反性と可逆性の再考 -送信と受信の入れ替えは妥当か-	愛媛大学 中畑和之 Fraunhofer Institute IKTS Bernd Koehler	27

リーンニ相ステンレス鋼溶接部のフェーズドアレイ UT 法の検討 その1

Phased array UT of lean duplex stainless steel welds, part 1

(株) 大検 山中 悠吾

○(一財)発電設備技術検査協会 古川 敬、 鈴木 良治

(株) 丸島アクアシステム 亀谷 博仁

概 要

リーン二相ステンレス鋼溶接部に対するフェーズドアレイ超音波探傷試験条件及び試 験手順を確立するため、音速分布や減衰特性等のデータ取得、シミュレーション解析 モデルの構築、探傷試験等による検証実験を行っている。本報では主に音速分布等の データ取得とシミュレーション解析の状況を紹介する。

Keyword: Phased array, Ultrasonic Testing, Lean duplex stainless steel, welds

1. 緒言

近年、水門業界において多用されてきているリーン二相ステンレス鋼¹⁾に対して、 溶接部の非破壊試験方法の選択肢を広げるため、フェーズドアレイ UT の適用を検討し ている。リーン二相ステンレス鋼はフェライト-オーステナイト二相系ステンレス鋼 である。オーステナイト系ステンレス鋼溶接部に対する超音波探傷試験方法は、NDIS 2424 オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷試験方法に規定されているが、 フェライト-オーステナイト二相系等のオーステナイト系以外のステンレスに対して は NDIS 2424 は適用範囲外である。本研究では、オーステナイト系とフェライト-オ ーステナイト二相系ステンレス鋼について超音波探傷試験の観点から相違点・類似点 を考察し、リーン二相ステンレス鋼溶接部に対する超音波探傷試験条件の検討及び条 件の妥当性検証を行っている。

本報では、リーン二相ステンレス鋼の母材及び溶接金属の音速異方性等の調査を行い、その結果に基づく超音波探傷試験条件の検討状況を報告する。

2. 試験片及び音速異方性等の測定

音速異方性測定用の試験片は、SUS323L(JIS G 4305:2021)の板材から図1に示す 様に角度をつけて切り出し、超音波伝搬方向と音速の関係を調査した。図中に示す"1" 方向が圧延方向である。切り出した試験片の外観写真とマクロ組織写真の例を図2及 び図3に示す。これらの試験片を用いて音速異方性や減衰係数を測定するため、縦波 垂直探触子及び横波垂直探触子を用いて図4に示す様に音速を測定した。音速測定結 果の例を表1に示す。図3に示した金属組織から推察される通り、母材の音速には数% の異方性が存在した。減衰係数は試験片によらず0.2~0.3 dB/mm 程度であった。

オーステナイト系ステンレス鋼と比べ、母材の音速異方性の影響を考慮する必要が あると考えられる。これは、探傷試験結果の評価においても留意すべきことではある が、それ以上に、装置を調整する際に考慮すべきと言える。これについては後述する。 なお、溶接金属については、現時点で結果の整理中であるが、オーステナイト系ス テンレス鋼溶接金属と同様に、柱状晶組織を有しており強い異方性を示すことが推察 される。



図1 試験片の切り出し



図2 切り出した試験片

(5)



(a) 1番
(b)5番
濃: α相、薄: γ相
図3 マクロ組織写真の例



図4 音速測定方法

表1 音速測定結果	果の例 (m∕	$_{\rm S})$
-----------	---------	-------------

	縦波		横波			
			振動方向 平行		句 平行	振動方向 直交
	上下	左右	上下	左右	上下	左右
1	5,648	5, 792	3, 194	3, 168	3, 336	3, 087
3	5,735	5,742	3, 157	3, 139	3, 231	3, 222
5	5,823	5,832	3,074	3,075	3,080	3, 139
7	5,703	5,702	3, 169	3, 197	3, 241	3, 204
8	5,654	5,730	3, 311	3, 310	3, 194	3, 164

3. 超音波探傷試験方法の検討

3.1 時間軸・屈折角等の調整方法

前述の通り、リーン二相ステンレス鋼母材には音響異方性が存在することが確認さ れた。この場合、仮に、時間軸や屈折角の設定が適切に設定されている場合であって も、試験体と同一材料で作製した対比試験片では、測定値にズレが生じることがある。 したがって、探傷装置の時間軸や屈折角の調整方法は異方性が無い試験片を用いるこ とが重要と考えるが、現時点では STB-A1 系又は A3 系がよいのか、他の方法がよいのか等を思案中である。

3.2 感度の調整方法

感度の調整に関しては、試験体と同一材料で作製した対比試験片に設けた横穴ある いは、溶接部であれば NDIS 2424 の RB-W が考えられる。また、ISO 22825 を参考に、 表裏面のスリット状の反射源も必要に応じて用いるものと考えている。

4. シミュレーション解析を用いた探傷試験条件の検討

4.1 母材のモデル化

2. で測定した音速異方性の影響を把握するため、実測した音速から弾性定数を推 定して、シミュレーション解析で探傷試験を模擬し、異方性の影響の程度を確認した。 実測音速から弾性定数を推定する方法は、伊藤忠テクノソリューションズ社製 ComWAV E の機能を活用し表 2 の数値を得た。

衣2					
弾性定数 (GPa)		弾性定数 (GPa)		弾性定数(GPa)	
C ₁₁	265.0	C ₂₂	256.4	C ₄₄	87.2
C ₁₂	99.3	C ₂₃	106.3	C ₅₅	80.6
C ₁₃	100.3	C ₃₃	252.2	C ₆₆	80.6

表2 実測音速から推定した SUS323L 母材の弾性定数

4.2 フェーズドアレイ法のシミュレーション解析結果

ここでは、横波フェーズドアレイ法のシミュレーション解析結果を示す。横波を用 いた理由は、表面(探傷面)側のきずに対して一回反射法の適用が期待できるためで あり、横波による探傷の有効性が確認できれば片面からの探傷ができようでき、効率 化がはかれるためである。

シミュレーション解析には、仏 CEA 製 CIVA2023 を用いた。シミュレーション解析の モデルを図 5 に示す。板厚 30mm、SUS323L の突合せ溶接試験体をモデル化したもので、 アレイ探触子及びウェッジは、エビデント社製の周波数 3.5MHz-1.5mm ピッチ×16ch 及び横波 60°用ウェッジ(3.5L16SA3N60S)のモデルを設定した。超音波ビーム(横 波)は屈折角 35°~75°/1°ステップ、非集束とした。アレイ探触子の設置位置は ウェッジ前面が溶接線から 45mm 離れた位置(仮想的な入射点まで約 55mm)として、 溶接線からの距離を一定に保ち溶接線方向に 2mm ステップで探触子を走査した。図 5 に示した反射源や探傷の条件は"その 2"で紹介する探傷試験結果とほぼ同じである。

母材に設定した物性値は表2の数値と、比較のために等方体のステンレス鋼母材

(縦波音速 5,700 m/s, 横波音速 3,100 m/s) でも解析を行った。今回は母材の異方 性の影響を調査することを主目的としたことと、計算時間の関係で溶接金属部は等方 体とした。

図6にシミュレーション解析結果を示す。図(a)はSUS323Lのモデル、図(b)は比較 のための等方体モデルである。CIVAの表示は、設定した屈折角ではなく実際の屈折角 を基に結果が作図されるため、ビームの振り角が異なっているものの、極端に異方性 の影響を受けているものではないと考えられる。



図5 シミュレーションのモデル



(a) SUS323L モデル



(b)等方体母材のモデル図 6 シミュレーション解析結果の例

- 5. 結言

今後、縦波斜角法の検討を行うとともに、探傷試験結果も踏まえて最適探傷方法・ 条件の検討を行う予定である。

参考文献

1) 亀谷: リーン(省資源型)二相ステンレス鋼上向溶接におけるブローホール防止対策 について、日本溶接協会 WE-COM マガジン第53号 (2024 年 7 月)

リーンニ相ステンレス鋼溶接部のフェーズドアレイ UT 法の検討 その2

Phased array UT of lean duplex stainless steel welds, part 2

〇(株)大検 山中 悠吾
(一財)発電設備技術検査協会 古川 敬、 鈴木 良治
(株)丸島アクアシステム 亀谷 博仁

概 要

リーン二相ステンレス鋼溶接部に対するフェーズドアレイ超音波探傷試験条件及び試 験手順を確立するため、音速分布や減衰特性等のデータ取得、シミュレーション解析 モデルの構築、探傷試験等による検証実験を行っている。本報では主に試験手順の検 討及び探傷試験の実施状況を紹介する。

Keyword: Phased array, Ultrasonic Testing, Lean duplex stainless steel, welds

1. 緒言

近年、水門業界において多用されてきているリーン二相ステンレス鋼¹⁾に対して、 溶接部の非破壊試験方法の選択肢を広げるため、フェーズドアレイ UT の適用を検討し ている。リーン二相ステンレス鋼はフェライト-オーステナイト二相系ステンレス鋼 である。オーステナイト系ステンレス鋼溶接部に対する超音波探傷試験方法は、NDIS 2424 オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷試験方法に規定されているが、 フェライト-オーステナイト二相系等のオーステナイト系以外のステンレスに対して は NDIS 2424 は適用範囲外である。本研究では、オーステナイト系とフェライト-オ ーステナイト二相系ステンレス鋼について超音波探傷試験の観点から相違点・類似点 を考察し、リーン二相ステンレス鋼溶接部に対する超音波探傷試験条件の検討及び条 件の妥当性検証を行っている。

本報では、"その1"での検討結果を踏まえ、フェーズドアレイ法による超音波探 傷の検討状況を報告する。

2. 超音波探傷試験方法の検討

超音波探傷試験方法は、フェーズドアレイ法のセクター走査の適用を前提として、 探触子と溶接線との距離を一定に保ち溶接線方向に走査する方法を検討した。探触子 と溶接線との距離をいくつにするか、何か所にするか、また、溶接線方向のデータ収 録間隔をいくつにするかなどの手順を、机上検討及び試験による検討を行っている。 その際、"その1"で紹介したシミュレーション解析も活用している。

超音波の振動の種類は、溶接金属内を対象とした探傷試験では縦波を基本として考 えているが、"その1"で紹介したように一回反射による探傷試験の合理化のため、 横波の適用も検討している。本報では、横波フェーズドアレイ法の適用性を確認して いる状況について紹介する。 図1はSUS323Lの突合せ溶接模擬試験体の模式図であり、検出性を確認するために 溶接部に人工欠陥を付与したものである。今回は、表面及び裏面に付与したスリット を対象とし、特に、表面側のスリットを一回反射で探傷が可能かどうかの検討に資す る知見を得ることとした。そのため、走査方法は、図2に示す様に、溶接線と探触子 との距離を変えて探傷データを取得し、評価対象の人工欠陥の識別性を確認した。溶 接線方向のデータ収録ステップは5mm及び2mmとした。今回使用したアレイプローブ の振動子幅は16mmであるが、検出対象のきずの指示長さを考慮し、振動子幅よりも十 分に小さい収録ステップとした。溶接線と探触子との距離(図2中に示す0FS)は、2 0mmから55mmまで5mm刻みとした。いずれの条件においても、図3に示す様に溶接部 内を直射又は一回反射で超音波が通過すると考えられるが、開先面に沿ったきずや表 裏面の面状きずからの反射指向性等も考慮して、今後条件を絞り込む予定である。

なお、図3は母材の異方性を考慮していない簡便な作図(Eclipse scientific 社製 BeamTool6.0を使用)であるが、事前の探傷条件検討時に異方性の考慮がどの程度必 要かどうかの把握のためにも図3の推定と実際の探傷結果との比較を今後考察する予 定である。









図3 横波フェーズドアレイ法による走査計画(作図ツールの活用)

3. 超音波探傷試験方法·条件

探傷試験に使用した装置は、エビデント社製 OmniScanX3、アレイプローブとウェッジはエビデント社製の周波数 3.5MHz-1.5mm ピッチ×16ch 及び横波 60° 用ウェッジ(3.5L16SA3N60S)、エンコーダはマイクロテック・ラボラトリー MLS30-450-1000 である。 図4に示す様に走査ガイドにウェッジを沿わせて探傷した。

探傷器の設定は、音速 3,100m/s、プローブとウェッジのパラメータは 0mniScanX3 内蔵のデータベースから、超音波ビームの振り角は 40°から 75°/1°ステップ、非 集束とした。まず、溶接部表裏面のスリットの検出可能性の確認を優先し、反射源位 置のズレ等の評価は今後行うこととした。



図4 探傷試験の実施状況

4. 探傷試験結果

探傷試験結果の一例を図5に示す。図(a)は溶接線方向に2mmステップで0FSが25m mの探傷結果、図(b)は OFS が 45mmの探傷結果である。ともに、表面のスリットを一 回反射で検出しており、裏面側のスリットは直射及び二回反射で検出していた。引き 続き、検出位置ズレの評価や検出感度の評価による異方性の影響評価及び装置の調 整・校正方法などの探傷手順の検討を行ってゆく。



溶接線方向





(b) OFS 45mm, 2mm ステップでデータ収録

図5 溶接模擬試験体(人工欠陥)の探傷結果の例

5. 結言

今後、縦波斜角法の検討を行うとともに、探傷試験結果及びシミュレーション解析 結果等を考慮して、検出性を評価するとともに最適探傷方法・条件の検討及び手順作 成を行う予定である。

参考文献

1) 亀谷:リーン(省資源型)二相ステンレス鋼上向溶接におけるブローホール防止対策 について、日本溶接協会 WE-COM マガジン第53号 (2024年7月)