超音波探傷試験による溶接欠陥の検出性と欠陥評価に関する研究

正会員 ○笠原基弘*1 正会員 服部和徳*2 正会員 横田和伸*3 正会員 嶋 御*4 正会員 廣重隆明*5 正会員 板谷俊臣*6 正会員 中込忠男*7

超音波探傷試験 斜角探触子 溶接欠陥 欠陥高さ フェーズドアレイ 屈折角

1. はじめに

溶接欠陥では、割れに次いで溶込不良および融合不良の検出 が重要であるが、それらの検出性についての研究は少ない。

近年では、フェーズドアレイ(PA)を用いた高度な探傷方法が 欠陥の検出性および寸法評価の点で高精度とされている。

本研究は、各種探傷法における破壊に悪影響のある欠陥高さ を有する欠陥の検出性と欠陥寸法の精度について比較した。

2. 試験体

試験体の形状を図1に示す。試験体はI形の溶込不良(IP)と 開先面の融合不良(LF)の端部欠陥を想定し、所定の位置に想定 したステンレス鋼板を、開先内に挿入して欠陥を作成した。

3. 探傷方法および探傷条件

適用した探傷方法および探傷条件を表1に示す。

4. 欠陥の評価

4.1 UTによる欠陥評価

エコー高さHoはSTB-A2の ϕ 4×4を0dBとし、エコー高さの 領域は学会UT規準にならい領域I~Vとした。欠陥高さhsは エコー高さ領域に応じてIIでは4mm、III/IVでは5mm、Vでは 6mm とし、IP において欠陥エコーが分離する ($\Delta W \ge 2mm$) 場合 は欠陥高さは5mm以上あるとみなし欠陥高さ(hw)を評価した。 欠陥長さLuはL線カット法により求めた。

4.2 PAによる欠陥評価

PAにおける欠陥断面画像(Bスコープ)を基に、エコー高さが 80%以上(赤)の部分より欠陥高さhpを、40%以上(橙)の部分 より欠陥長さLpを算出した。

5. 探傷結果

探傷結果を表1および図2に、PA画像の一例を図3に示す。



表 1 探傷条件一覧

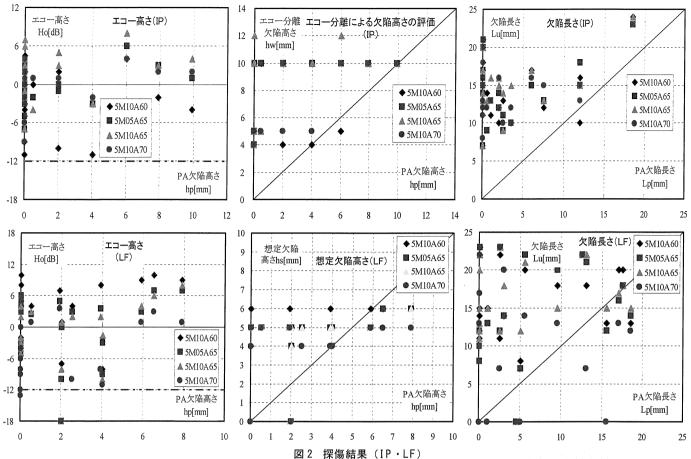
			12/1/2	27 7 7 1 1 2	, L						
探傷法	探傷器	探触子	探傷感度	 距離振幅特性	欠 陥 寸 法 測 定						
			pr W 12-12	P#124011211112	欠陥 高さ	欠陥長さ	接触媒質				
斜角聚傷法 (UT)		5M10×10A60	縱穴 ∮4×4 - M線	-	エコー高さ領域により 欠陥高さをUT規準で想定された						
	汎用デジタル	5M 5×10A65	縦穴 ø 4×4 - H線	←	II(4mm)・III/IV(5mm)・V(6mm) として評価	L線カット法	グリセ				
	探傷器	5M10×10A65	縦穴 ø 4×4 - H線	←	それに加えて、欠陥エコー分離 (△W≧2)により、欠陥高さを	LIBX7717A	リンペ				
		5M10×10A70	縦穴 φ4×4-U線	+	5mm以上と見なして 総合評価する		1 7				
フェースト・アレイ (PA)	エンコーダ付き PA探傷器	5Mz 16ch 40-70 (65)	縦穴 φ 4×4 - H線	横穴 ∮1.5 - H線	断面(Bスキャン画像)より H線を超える範囲より算出	M線カット法	ŀ				

表 2 探傷結果一覧

	試	験	体		D	A	5M10×10A60								120 IPD	T	- 5	M10×10	5M10×10A70											
-	西 科		高さ	E+			TTa							5M5×10A65					TT.	 III-		TT-								
欠陥	欠陥 No.	板厚	問さ mm	技さ mm	hp mm	Lp mm	Ho dB	領域	分離	hs mm	hw	Lu	Ho dB	領域	分離	hs	hw	Lu	Ho dB	領域	分離	hs	hw	Lu	Ho dB	領域	エコー 分離	hs	hw	Lu
	16P1	mm	12	10	9.9	12.0	-4.0	III	O	5	10	16	1.0	IV	O	mm 5	mm 10	mm 15	4.0	IV	O	mm 5	10	15	2.0	IV	O	mm 5	mm 10	mm 15
1	16P2		8	10	6.0	18.5	4.0	IV	×	5	5	24	6.0	IV	0	5	10	23	8.0	V	0	6	12	24	4.0	IV	0	5	10	23
	16P3	16	6	10	4.0	6.0	-11.0	П	×	4	4	17	-3.0	Ш	ŏ	5	10	15	-3.0	ш	0	5	10	17	-2.0	Ш	×	5	5	16
1	16P4		4	10	2.0	12.0	-10.0	П	×	4	4	10	0.0	Ш	0	5	10	18	5.0	IV	0	5	10	15	1.0	IV	â	5	10	13
1	25P1		4	10	0.5	2.5	0.0	ш	ô	5	10	13	-2.0	Ш	0	5	10	9	-4.0	III	×	5	5	9	1.0	ΙV	×	5	5	10
1	25P2		6	10	0.0	0.0	-3.0	m	ŏ	5	10	17	0.0	m	ŏ	5	10	17	6.0	IV	Ô	5	10	20	1.0	TV	×	5	5	18
	25P3		8	10	2.0	3.5	2.0	ĪV	ŏ	5	10	10	-1.0	Ш	ŏ	5	10	10	3.0	IV	0	-5	10	15	0.0	Ш	×	5	5	12
1	25P4		12	10	0.0	0.0	-11.0	П	×	4	4	7	-7.0	П	×	4	4	7	-7.0	П	$\frac{\circ}{\times}$	4	4	7	-6.0	п	×	4	4	8
	25P5	25	10	10	0.0	2.0	-9.0	П	×	4	4	10	-3.0	ш	Ô	5	10	12	-2.0	Ш	Ô	5	10	15	-2.0	m	×	5	5	16
	25P6		10	10	0.0	0.5	-3.0	ш	×	5	5	14	-5.0	Ш	×	5	5	9	-1.0	П	×	4	4	13	-6.0	П	×	4	4	12
IP	25P7		10	10	7.9	7.5	-2.0	Ш	Ô	5	10	12	3.0	īV	0	5	10	13	3.0	m	0	5	10	13	2.0	IV	Ö	5	10	15
	25P8		10	10	0.0	2.5	-4.0	Ш	ŏ	5	10	13	-3.0	III	×	5	5	11	0.0	Ш	×	5	5	14	-9.0	п	×	4	4	10
1	40P1		4	10	0.0	0.0	-3.0	m	ŏ	5	10	11	4.0	IV	0	5	10	16	3.0	IV	0	5	10	13	-6.0	П	×	4	4	12
	40P2		6	10	0.0	2.0	2.0	IV	ŏ	5	10	12	3.0	ĪV	ŏ	5	10	14	7.0	V	Õ	6	12	16	-2.0	Ш	×	5	5	12
1	40P3		8	10	0.0	0.0	2.0	IV	ŏ	5	10	20	3.0	IV	ŏ	5	10	20	6.0	ĪV	ŏ	5	10	17	-2.0	Ш	×	5	5	11
	40P4		12	10	0.0	1.0	4.5	IV	ŏ	5	10	11	2.0	ĪV	Õ	5	10	13	4.0	IV	õ	5	10	16	0.0	m	×	5	5	13
1	40P5	40	10	10	0.0	0.0	-5.0	Ш	ŏ	5	10	15	-1.0	Ш	ŏ	5	10	20	-1.0	Ш	ŏ	5	10	20	4.0	IV	×	5	5	20
1	40P6		10	10	0.0	0.0	-3.0	Ш	Ō	5	10	21	-2.0	Ш	Ō	5	10	15	1.0	IV	Ö	5	10	14	2.0	IV	×	5	5	20
1	40P7		10	10	0.0	0.0	0.0	IV	0	5	10	15	-3.0	Ш	Ō	5	10	21	3.0	IV	Ö	5	10	17	-6.0	II	×	4	4	13
	40P8		10	10	0.0	0.0	0.0	Ш	0	5	10	18	-2.0	Ш	0	5	10	14	0.0	ΙV	0	5	10	13	-3.0	Ш	×	5	5	15
	16F1		10	20	4.0	9.5	-2.0	III		5	-	18	-3.0	III	_	5	_	20	-1.5	III		5	-	15	-9.0	II	_	4	-	13
1	16F2	16	6	20	2.5	13.0	4.0	IV	- 1	5	-	18	3.0	IV	_	5	_	21	2.0	IV	_	5	_	22	-10.0	II	_	4	_	7
1	16F3	10	6	20	2.0	5.0	-7.0	II	- 1	4	-	8	-10.0	II	_	4	_	7	-8.0	II	_	4	_	12	-18.0	I	_	0	_	0
	16F4		10	20	4.0	18.5	-8.0	II	_	4	_	13	-9.0	II	_	4	- 1	14	-10.0	II	_	4	_	15	-11.0	II	_	4	_	12
	25F1		6	20	2.0	4.5	-18.0	I	-	0	_	0	-18.0	I	_	0	-	0	-18.0	I		0	-	0	-18.0	I	-	0	-	0
	25F2		6	20	2.0	15.5	1.0	ſV	_	5	_	13	0.0	III	-	5	_	12	1.0	IV	_	5	_	15	-18.0	I	_	0	-	0
	25F3	25	8	20	0.5	3.0	4.0	ĮV		5		14	2.5	III	_	5	_	14	3.0	IV	_	5	_	18	1.0	III	_	5	_	20
	25F4		8	20	0.0	2.5	4.0	IV		5	_	11	3.0	IV		5		12	2.0	ΙV	'	5		12	0.0	III		5	-	7
	25F5		10	20	6.5	12.5	10.0	V		6		22	7.0	V	_	6	-	22	6.0	IV		5	_	22	3.0	IV		5	_	22
LF	25F6		10	20	7.9	17.0	9.0	V	-	6		20	7.0	V	_	6	_	16	8.0	V		6	_	17	1.0	IV		5	_	13
	25F7	ļ	12	20	5.9	17.5	9.0	V		6		20	3.0	IV		5	_	18	4.0	IV	_	5	-	18	1.0	IV		5	_	18
	25F8		12	20	1.9	2.5	7.0	V		6	_	22	5.0	IV		5	_	23	4.0	IV		5		23	3.5	IV		5		23
	40F1	ļ	6	20	3.9	5.5	8.0	V		6	_	20	3.5	III		5		22	2.0	IV		5		21	-8.0	II		4		14
	40F2	ļ	6	20	0.0	0.0	-2.5	III		4	_	15	-3.0	III		5		10	-2.0	III		5		15	-4.0	III		5	_	13
	40F3		8	20	0.0	1.0	5.0	IV		5		15	4.0	IV		5		13	2.0	IV		5		15	-13.0	I		0		0
	40F4	40	8	20	0.0	0.0	-2.0	III		5	_	12	-3.0	III		5		8	-4.0	III		5		12	-12.0	I		0		0
	40F5 40F6		10	20	0.0	0,0	-4.0	III		5	_	11	-3.5	III		5		10	-3.0	III		5		13	-9.0	II		4	-1	13
			10	20	0.0	0.0	-5.5	III		4		14	-5.0	III		5		12	-5.0	III		5		11	-13.0	I		0		0
	40F7		12	20	0.0	0.0	10.0	V	-	6		22	5.0	IV		5	-	23	4.0	IV		5		20	-6.0	II		4		22
L	40F8		12	20	0.0	0.0	8.0	V		6		23	6.0	IV		5		23	4.0	IV		5		22	-8.0	II		4		17

A Study on the Detection of the Defect Evaluation of Weld Defects due to Ultrasonic Testing

*1 Kasahara Motohiro *2 Hattori Kazunori *3 Yokota Kazunobu *4 Shima Tohru *5 Hiroshige Takaaki *6 Toshiomi Itatani *7 Nakagomi Tadao



5.1 溶込不良(IP)

PAによる欠陥高さhpと各UTにおけるエコー高さHoを比較するとUTでは検出レベルをすべて超えているが、PAでは欠陥が検出されていないものが多く、Hoは感度設定の違いにより60度が最も低い。エコーの分離による欠陥高さhwの評価では60度および70度が欠陥高さを適正に評価できない。欠陥長さLpはLuに比べ欠陥が検出されないことから過小評価となる。5.2 融合不良(LF)

PAによる欠陥高さhpと各UTにおけるエコー高さHoを比較すると、UTでは開先面に超音波が最も垂直入射に近い60度が高く70度が最も低くなっている。エコー高さ領域による欠陥高さhsは4~6mmの想定しかないため差異は少ない。欠陥長さは、PAでは欠陥が検出されないものがあるため、Luに比べて

6. 考察

Lpは過小評価となっている。

UTによる距離振幅特性はφ4×4の縦穴を用い、PAではφ1.5の横穴を用いているため、ビーム路程Wおよび欠陥の指向性による影響を比較した計算結果の一例を図4に示す。横穴の場合は縦穴に比べHoが低く、ビーム路程Wが大きくなるほど低下する。超音波が欠陥面に垂直入射しない場合には、欠陥の先端エコーのみがHoに影響するため、先端エコー高さHtにおける距離振幅特性を比較した計算結果の一例を図5に示す。横穴は縦穴に比べエコー高さHtが低く、検出レベルを僅かに超える程度であることから、欠陥の先端を検出し難いことがわかる。

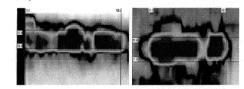


図3 フェーズドアレイによる断面画像(IP・LF)

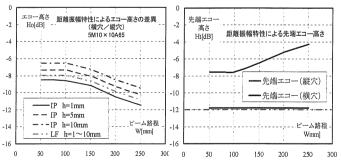


図4 欠陥面エコーの距離特性 図5 先端エコーの距離特性

7. まとめ

PAを含めた各UTにおける探傷の結果、以下の知見を得た。

- 1) 距離振幅特性には、縦穴ではなく横穴を用いると板厚が厚い場合には欠陥を検出しにくくなる。
- 2) 溶込不良の欠陥高さを評価するには65度、融合不良を検出 するには60度に近い探触子が適している。

謝辞:フェーズドアレイ探傷についてはオリンパス(株)の協力を得た。ここに謝意を表する。

- *1 アクトエイションハート 博士(工学) *2 (一財)ベターリビング 博士(工学)
- *3 (株)NTTファシリティーズ *4 戸田建設(株) 博士(工学) *5 (株)竹中工務店
- *6 (株)永井製作所 博士(工学) *7 信州大学 名誉教授(工博)
- *1 Action-Creation-Heart Co.ltd. Dr.Eng *2 Better Living Dr.Eng.
- *3 NTT Facilities Inc. *4 Toda Corporation Dr.Eng. *5 Takenaka Corporation
- *6 Nagai Steel Works Corporation Dr.Eng *7 Shinshu Univ. Prof. Dr.Eng.