

フェーズドアレイを用いた非破壊試験による溶接欠陥の探傷精度に関する研究 —その1 実験計画—

正会員 ○西澤 秀樹*1 正会員 佐野 正*3 正会員 嶋 徹*5 正会員 中島 洋士*7
同 廣重 隆明*2 同 山本優一郎*4 同 古城 豊光*6 同 笠原 基弘*8

溶接欠陥 自然欠陥 非破壊試験 フェーズドアレイ 水浸UT 欠陥寸法

1. はじめに

本研究は固形エンドタブを用いた溶接継手部を対象として、始末端部に発生した自然欠陥にフェーズドアレイ(以下、PA)を用いて探傷を行い、その結果と溶接欠陥の実態との相関関係を確認し、PAの探傷精度を把握することを目的としたものである。

本報では水浸UT及びPAの実験計画を示す。

2. 実験計画

2.1 実験計画の手順

図2.1に実験計画の手順を示す。

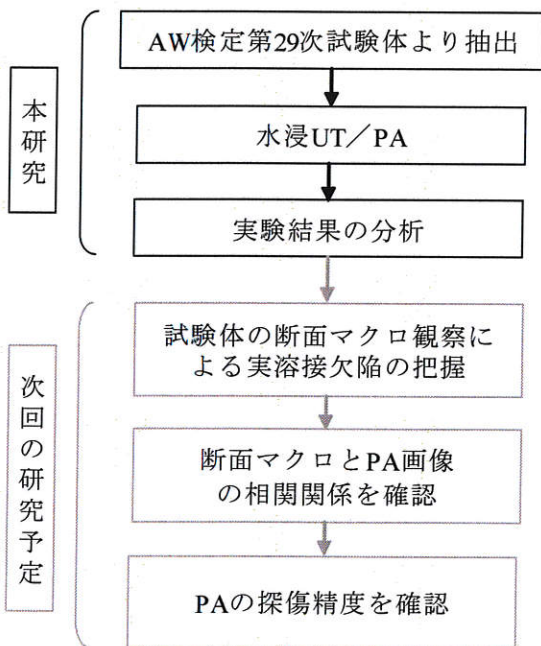


図 2.1 実験計画の手順

2.2 試験体の抽出

第29次AW検定試験の工場溶接代替エンドタブ試験で、外観検査に合格し、X線透過試験(RT)で不合格となった試験体を対象として、欠陥の大きいものを中心に10体(TP-1~10)を抽出した。その後、65度による斜角UTを実施し予備試験体とした。図2.2に抽出した試験体TP-2のRTとUTの試験結果



図 2.2 抽出した試験体TP-2のRTとUTの試験結果

による試験結果を示す。RTでは溶接始末端部にスラグ巻き込み(SI)及び溶込不良(IP)とそこに近接したブローホール(BH)があったが、65度によるUT結果はRT結果と同様であった。

2.3 水浸UT

水槽試験機器(写真2.1)を使用し、上面及び端面からの水浸UTを行った。試験手順は以下の通りである。

- ①どのような設定でのデータ採取が、今回の研究に適切かを確認するために、周波数の異なる2種類の探触子により探傷を行い、検査結果を比較検討する。
- ②取得データに対し、ゲート範囲設定が可能となるように、全波形収録による検査を行う。
- ③抽出された試験体の端面及び上面溶接余盛を切削し、上面及び端面から水浸UTを実施する。

水浸UTの試験機器を表2.1に、探傷条件を表2.2に示す。



写真 2.1 水浸UTの試験状況

表 2.1 水浸UT用の試験機器

	品名	備考
探傷装置	OmniScanSX	
探触子A	V312	周波数: 10MHz 振動子径: 6mm 焦点タイプ: 点集束 焦点範囲(水中): 50mm
探触子B	V313	周波数: 15MHz 振動子径: 6mm 焦点タイプ: 点集束 焦点範囲(水中): 37.5mm
水槽装置	X-Y水槽試験装置	X-Y自動(Z手動)

表 2.2 水浸UTにおける探傷条件

	条件	備考
電圧	200V	
デジタルフィルター	HP10MHz	10MHz以下に対しフィルタリング
水距離	V312(10MHz): 10mm V313(15MHz): 10mm	V312: 焦点検体内10mm V313: 焦点検体内7mm
走査ピッチ	溶接断面方向: 0.1mm 溶接線方向: 0.5mm	

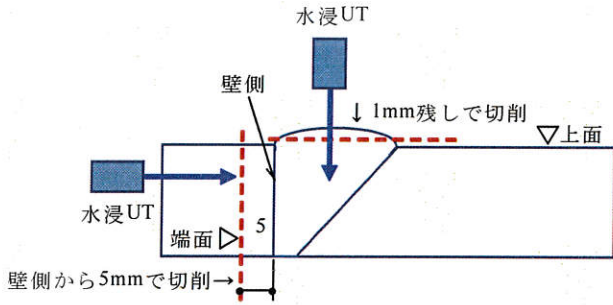


図 2.3 試験体の形状と水浸 UT の概念図

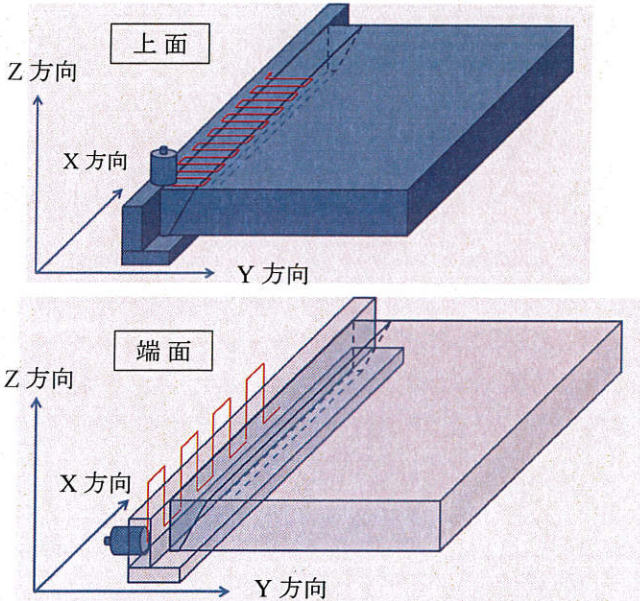


図 2.4 水浸 UT における探傷走査方向

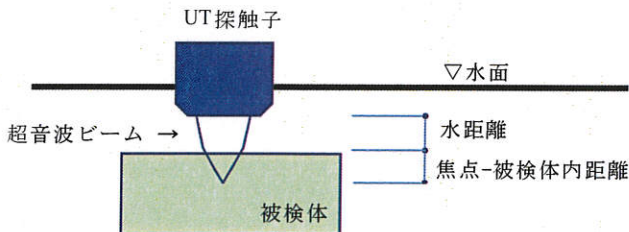


図 2.5 水浸 UT における水距離と焦点 - 被検体内距離

また、試験体形状と概念図を図 2.3、探傷走査方向を図 2.4 に、水距離と焦点-被検体距離を図 2.5 に示す。

2.4 フェーズドアレイ (PA)

被検体より横波セクタースキャンによるフェーズドアレイを実施する。横方形走査 (5mm ピッチで 14 回、Y1 ~ Y14) によりデータを取得した。探傷条件を以下に示す。

①音速校正

STB-A1 の R100 により調整した。この時の屈折角 θ は 60 度とし各々のエコーのピークを 80% とし、閾値 20% で読み取り、校正を行う。

②ウェッジ遅延校正

STB-A1 の横穴 ($d=15\text{mm}$, $\phi 1$) を使用したウェッジ遅延の

校正を行う。全屈折角に対し校正を行い、エコーのピークを使用したウェッジ遅延の校正を行う。

③感度校正 (TCG)

STB-A1 に準じた深さが $d=10\text{mm}$, 20mm , 30mm の $\phi 1$ の横穴が全屈折角においてエコー高さが 80% になるように校正する。

④探傷感度

水浸 UT で得られた結果で代表的な欠陥を数点抽出し、その欠陥を使用して水浸 UT で得られた欠陥寸法と同等になるように、フェーズドアレイの感度を調整する。

⑤ X 走査

探触子の走査は溶接線に対し平行の横方形走査とする。

探触子の走査範囲は、検査対象範囲を全てカバーするように溶接部の接近限界位置 Y1 (0mm) ~ Y14 (65mm) まで、5mm ピッチとした。

⑥記録

データは全て保存し、適宜、画像処理を行う。

PA で使用した試験機器を表 2.3、探傷条件を表 2.4 に、また PA における探触子の走査方法を図 2.6 に示す。

表 2.3 PA 用の試験機器

	品名	備考
探傷装置	OmniScanSX	
探触子	5L16-A10	周波数: 5MHz
		振動子数: 16
		モード: 横波鋼中 55 度
エンコーダ	ワイヤーエンコーダ	
解析ソフト	Tomoview2.10	

表 2.4 PA における探傷条件

	設定数値・項目	備考
スキャン方式	セクター	
同時制御振動子数	16	
屈折角 (θ)	40 度 ~ 70 度	1 度ピッチ
焦点深さ	板厚 $\times 3/2$	
励起電圧	115V	
フィルター	BP5MHz	

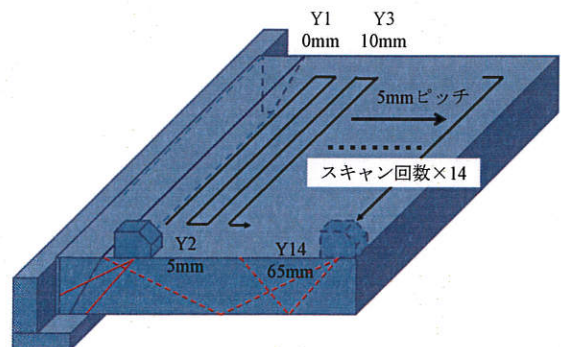


図 2.6 PA における探触子の走査方法

謝辞

本研究においては、オリンパス (株) に、機器の提供、データ解析及び技術協力を頂いたことに謝意を表する。

*1 アラップ *2 (株) 竹中工務店 *3 (株) 大林組
 *4 オリンパス (株) *5 戸田建設 (株) 博士 (工学) *6 (株) 鴻池組
 *7 (株) 大建設 *8 (有) アクトエーションハート 博士 (工学)

*1 ARUP *2 TAKENAKA Corp. *3 OBAYASHI CORPORATION
 *4 OLYMPUS Corp. *5 TODA Corp. Dr.Eng. *6 Konoike Construction Co., Ltd.
 *7 DAIKEN SEKKEI, INC. *8 Action-Creation-Heart Co. Ltd. Dr.Eng

フェーズドアレイを用いた非破壊試験による溶接欠陥の探傷精度に関する研究 —その2 実験結果と考察—

正会員 ○佐野 正*1 正会員 西澤 秀樹*3 正会員 嶋 徹*5 正会員 中島 洋士*7
同 廣重 隆明*2 同 山本優一郎*4 同 古城 豊光*6 同 笠原 基弘*8

溶接欠陥 自然欠陥 非破壊試験 フェーズドアレイ 水浸UT 欠陥寸法

1. はじめに

前報(その1)の結果に基づき、本報では最も種々の欠陥が検出された試験体TP-2について、水浸UTとフェーズドアレイ(PA)を行った結果とその考察について記述する。

2. 実験結果

上面及び端面からの水浸UT(周波数 $f=15\text{MHz}$)とPAによる探傷結果一覧を表2.1に示す。ここで、エコー高さ H_o を評価するため、 $H_o \leq 20\%$ をエコー高さ領域I、 $20\% < H_o \leq 40\%$ を領域II、 $40\% < H_o \leq 80\%$ を領域III、 $80\% < H_o$ を領域IVとした。

なお、全体の探傷断面図及び平面図を図2.1に、PAによる走査ピッチを図2.2に、検出された欠陥の断面図を図2.3に、欠陥面への超音波ビームの入射角 β との関係を図2.4に示す。

水浸UTでは計11箇所(上面:10, 端面:5, 双方4箇所)の欠陥を検出した。PAでは計7箇所の欠陥を検出した。図2.5に上面からの水浸UTの探傷画像を、図2.6に端面からの水浸UT

表2.1 水浸UT及びPAによる探傷結果一覧

欠陥No.	探傷方法	エコー高さ		溶接線方向の欠陥位置・深さ(mm)				欠陥位置		
		%	領域	Xs	Xe	L	d	断面	平面	
1	水浸	上面	94.5	IV	0.0	15.5	15.5	11.9	壁側	
		端面	100.0	IV						
	PA	93.7	IV	0.0	18.5	18.5	12.0			
2	水浸	上面	100.0	IV	17.5	22.0	4.5	10.1	開先側	
		端面	—	I						
12	水浸	上面	—	I	—	—	—	—	開先側	左端側
		端面	—	I						
3	水浸	上面	22.7	II	41.0	41.5	0.5	5.4	壁側	
		端面	—	I						
4	水浸	上面	47.5	III	36.5	90.5	54.0	14.7	壁側	
		端面	31.4	II						
5	水浸	上面	>100	IV	54.0	109.5	55.5	11.0	開先側	
		端面	—	I						
6	水浸	上面	23.5	II	108.5	110.0	1.5	14.5	壁側	
		端面	—	I						
7	水浸	上面	>100	IV	123.5	134.0	10.5	10.7	開先側	
		端面	—	I						
8	水浸	上面	13.7	I	127.5	128.5	1.0	17.5	壁側	右端側
		端面	—	I						
9	水浸	上面	22.4	II	136.0	149.5	13.5	19.4	壁側	
		端面	100.0	IV						
10	水浸	上面	58.8	III	135.0	145.0	10.0	11.8	中央	
		端面	65.5	III						
11	水浸	上面	—	I	138.0	152.0	14.0	13.0	壁側	
		端面	51.8	III						

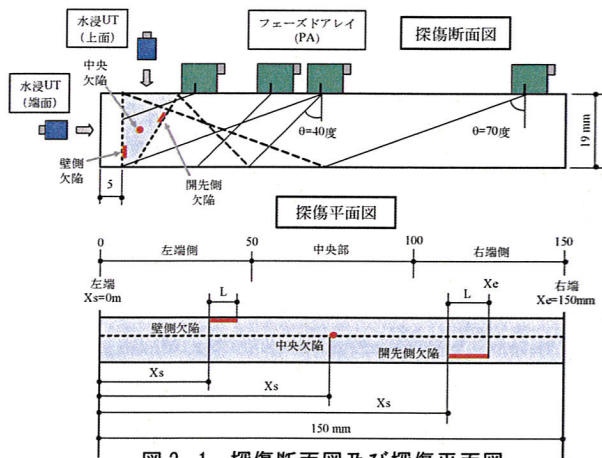


図2.1 探傷断面図及び探傷平面図

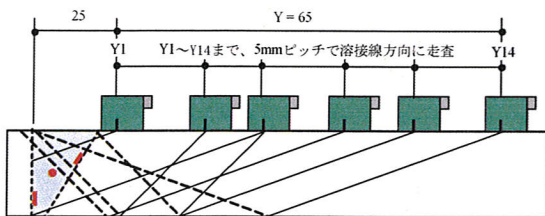


図2.2 PAによる探触子の走査ピッチ

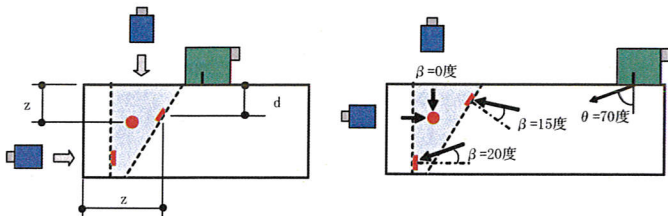


図2.3 検出された欠陥断面図 図2.4 欠陥面と超音波の入射角

探傷画像を、また図2.7にPAによる探傷画像を示す。

3. 検出された欠陥形状の推定

水浸UT及びPAにより検出された欠陥は計12箇所であるが、表2.1の結果から推定される欠陥の位置と形状を表3.1に整理した。以下に、検出された欠陥12箇所について推定を試みた。

No.1は、何れの水浸UT及びPAでもエコー高さ領域がIVと高く、壁側に発生しているため、スラグ巻込みか連続的のブローホールと考えられる。

No.2は、上面からの水浸UTでエコー高さ領域がIVと高いが、他の方法ではエコー高さが低いため、開先側に発生した融合不良と考えられる。

No.3は、何れの方法でもエコー高さが低く、壁側で深さが浅いことから、仕上げ近傍に発生した軽微な融合不良と考えられる。なお、欠陥長さLは0.5mmと非常に短い。

No.4は、PAでは検出されず、水浸UTでは端面よりも上面からのエコー高さ領域がIIIと比較的高く、壁側で検出されていることから壁面と層間との融合不良と考えられる。

No.5は、上面からの水浸UTとPAでエコー高さ領域が高く、開先側で発生していることから、融合不良と考えられる。

No.6は、何れの方法でもエコー高さが低く、壁側に発生していることから、壁面と層間の軽微なスラグ巻込みであると考

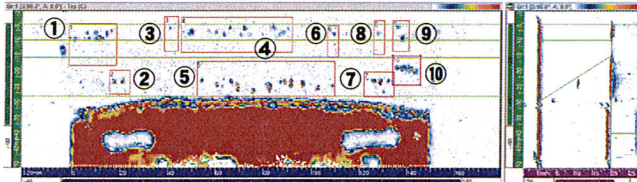


図 2.5 上面からの水浸 UT による探傷画像 (縦波 f=15MHz)

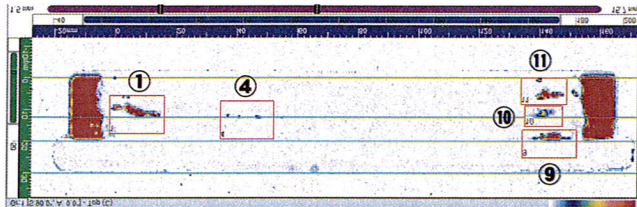


図 2.6 端面からの水浸 UT による探傷画像 (縦波 f=15MHz)

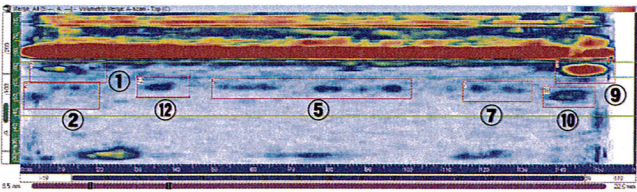


図 2.7 PA による探傷画像 (横波 f=5MHz)

られる。なお、欠陥長さLは1.5mmとかなり短い。

No.7は、上面からの水浸 UT で最もエコー高さ領域が高く、他の方法では低くなっていることから、開先側に発生した融合不良と考えられる。

No.8は、何れの方法でもエコー高さが低く、長さLも1.0mmと短いことから、壁側に発生した軽微なスラグ巻込みと考えられる。

No.9は、端面からの水浸 UT 及び PA でエコー高さ領域が高く、壁側で検出されていることから、融合不良と考えられる。

No.10は、PA でも端面からの水浸 UT でもエコー高さ領域が高く、溶接中央部に発生していることから、中間層に発生したスラグ巻込みか連続的なブローホールと考えられる。

No.11は、PA 及び上面からの水浸 UT でも検出されていないが、端面からのエコー高さ領域がIIIであり、壁側に発生している

表 3.1 推定される欠陥位置及び形状

欠陥 No.	推定される位置・形状	欠陥 No.	推定される位置・形状	欠陥 No.	推定される位置・形状
No.1		No.5		No.9	
No.2		No.6		No.10	
No.3		No.7		No.11	
No.4		No.8		No.12	

*1 (株)大林組 *2 (株)竹中工務店 *3 アラップ
 *4 オリンパス(株) *5 戸田建設(株) 博士(工学) *6 (株)鴻池組
 *7 (株)大建設計 *8 (有)アクトエーションハート 博士(工学)

ことから、壁側表面近傍に生じた融合不良と考えられる。

No.12は、水浸 UT では検出されていないが PA ではエコー高さ領域がIIIであり、開先側に発生していることから、初層部に生じた融合不良と考えられる。

4. 探傷結果の考察

本研究では、溶接欠陥の実態を調査するため、被検体の上面と端面から水浸 UT を実施し、欠陥の詳細を明らかにすることを試みた。RT 及び各種 UT における欠陥検出の比較を表 4.1 に示す。RT で検出した欠陥は何れの探傷法でも検出されている。

表 4.1 RT 及び各種 UT における欠陥検出の比較

探傷法		欠陥 No.											
RT		①	②	③	—								
65度		①	②	③	—								
UT	水浸	上面	①	⑨	⑩	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
		端面	①	⑨	⑩			④					⑪
	PA	①	⑨	⑩	②			⑤			⑦		⑫

水浸 UT は、できるだけ正確な欠陥像を得るために、周波数 f が 15MHz (10MHz) の探触子を用いて実施したが、通常の周波数である 5MHz と違い、被検材表面からの距離 Z が 15mm 以上内部に入ると、著しく減衰することで探傷感度が低下し、欠陥が捉えられないことがある。

PA では、16ch の垂直探触子にウェッジを取り付け、屈折角が 40度~70度による UT を同時に実施できるが、欠陥を的確に検出するためには、適正な位置に探触子を配置する必要がある。また、PA による探傷では、ウェッジを介して横波を被検材に伝搬させるため、一体型の斜角探触子と比べて、接近限界距離が大きくなり、被検材表面近傍の欠陥が検出が難しくなる。

PA で検出された探触子位置 Y で最大エコー高さが得られた屈折角は、表 4.2 に示すように $\theta_{max}=55\text{度}\sim 70\text{度}$ であり、最も欠陥の検出性が高かった。PA での探傷でも一般の UT と同様に、屈折角 θ が 70度近傍となるように探触子を配置した方がよい。

水浸 UT で検出された微小な欠陥である No.3, 6, 8 を除いた場合に、PA で未検出のものが No.4, 11 の 2箇所であり、これらの欠陥を検出するためには、できるだけ欠陥面に垂直 ($\beta=0\text{度}$) に超音波が入射するように、屈折角を 70度~80度まで大きくして、超音波ビームを拡大する必要があると考えられる。

表 4.2 PA における欠陥検出位置と屈折角

欠陥 No.	エコー高さ		最大エコー屈折角 θ_{max}	探触子位置 Y スキャン	欠陥位置・欠陥長さ		
	%	領域			断面	平面	Xs L
1	93.7	IV	70度	Y9	壁側	左端側	0.0 12.0
2	32.2	II	70度	Y1	開先側		0.0 15.0
12	58.4	III	70度	Y11	開先側		23.5 18.0
5	37.0	III	55度	Y1	開先側	右端側	50.0 18.0
7	33.7	II	68度	Y11	開先側		116.0 19.0
9	>100	IV	67度	Y3	壁側		141.5 19.0
10	>100	IV	61度	Y6	中央		138.0 13.0

5. まとめ

溶接部の自然欠陥を水浸 UT 及び PA で探傷した結果、探傷方向及び周波数の差異により、欠陥種別によっては異なる結果が得られた。RT と同様に、溶接欠陥を PA により確実に検出するための最低限かつ最適な探傷条件を今後、さらに検討する必要がある。

*1 OBAYASHI CORPORATION *2 TAKENAKA Corp. *3 ARUP
 *4 OLYMPUS Corp. *5 TODA Corp. Dr.Eng. *6 Konoike Construction Co.,Ltd.
 *7 DAIKEN SEKKEI,INC. *6 Action-Creation-Heart Co.ltd. Dr.Eng