

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4 PAによる探傷結果の精度 —

正会員 ○古城豊光*1 正会員 西澤秀樹*2 正会員 中島洋士*3 正会員 廣重隆明*4
正会員 佐野 正*5 正会員 嶋 徹*6 正会員 山本優一郎*7 正会員 榎本克美*8

溶接欠陥 自然欠陥 非破壊試験 フェーズドアレイ 断面マクロ試験 X線透過試験

1. はじめに

前報(その3)の実験計画に基づき、本報では試験体内、TP-1,TP-2,TP-3,TP-7,TP-8,TP-9,TP-10の7体について、マクロ試験に対するフェーズドアレイ(PA)による探傷結果について比較及び考察を行った。

2. 実験結果

ここでは、代表的な欠陥がみられた試験体TP-1,TP-3,TP-7におけるマクロ試験及びPAによる探傷結果を表2.1に示す。また、それらの画像を図2.1~図2.3に示す。

TP-1,TP-3,TP-7の何れの試験体においても、マクロ試験では初層部及び中間層または表層部の2箇所、計6箇所欠陥が検出されているが、PAでは初層部の溶込不良(IP)は検出されていない。

表 2.1 マクロ試験及びPAによる探傷結果

| 試験体番号 | 欠陥検出位置 | | 欠陥種別 | 評価手法 | 欠陥 (mm) | | |
|-------|--------|---------|------------|---------|-----------|-------|-----|
| | No. | 断面位置 | | | 深さ | 長さ | 高さ |
| TP-1 | ㊸ | 初層 壁側 | 溶込不良(IP) | マクロ | 18.9 | 56.5 | 0.5 |
| | | | | PA | — | 0.0 | 0.0 |
| TP-1 | ㊹ | 表層 壁側 | 融合不良(LF) | マクロ | 5.9~1.4 | 100.0 | 5.0 |
| | | | | PA | 6.4~0.0 | 143.5 | 6.9 |
| TP-3 | ㊸ | 初層 裏当側 | 溶込不良(IP) | マクロ | 18.4 | 65.5 | 1.5 |
| | | | | PA | — | 0.0 | 0.0 |
| TP-3 | ㊹ | 中間層 開先側 | 融合不良(LF) | マクロ | 7.4~4.4 | 9.5 | 3.5 |
| | | | | PA | 7.9~4.4 | 11.0 | 4.0 |
| TP-7 | ㊸ | 初層 壁側 | 溶込不良(IP) | マクロ | 18.9~18.4 | 27.0 | 1.0 |
| | | | | PA | — | 0.0 | 0.0 |
| | ㊹ | 表層 中央 | ブローホール(BH) | マクロ | 3.4~0.0 | 30.5 | 3.9 |
| | | | PA | 2.9~0.0 | 12.0 | 3.4 | |

2.1 試験体 TP-1

マクロ試験で初層部に検出された溶込不良(IP)は長さがLm=56.5mmと比較的長いものの、欠陥高さHm=0.5mmと微小であったため、PAでは検出されていない。

表層部に検出された欠陥は壁側の融合不良(LF)であり、マクロ試験による深さd=5.9~1.4mmであることから、高さHm=5.0mm、長さLm=100mmであった。PAでは一回反射法で検出されており、高さHp=6.9mm、長さLp=143.5mmとマクロ試験に比べて過大評価となっている。

2.2 試験体 TP-3

マクロ試験で初層部に検出された溶込不良(IP)は長さがLm=65.5mmと比較的長いものの、高さHm=1.5mmであるがPAでは検出されていない。

中間層で検出された欠陥は開先側の融合不良(LF)であり、マクロ試験による深さd=7.4~4.4mmであることから、高さHm=3.5mm、長さLm=9.5mmであった。PAでは一回反射法で検出されており、高さHp=4.0mm、長さLp=11mmとマクロ試験に比べて、高さも長さもほぼ同等な評価となった。

2.3 試験体 TP-7

マクロ試験で初層部に検出された溶込不良(IP)の長さはLm=27mmと中程度であったが、欠陥高さHm=1.0mmと微小であったため、PAでは検出されていない。

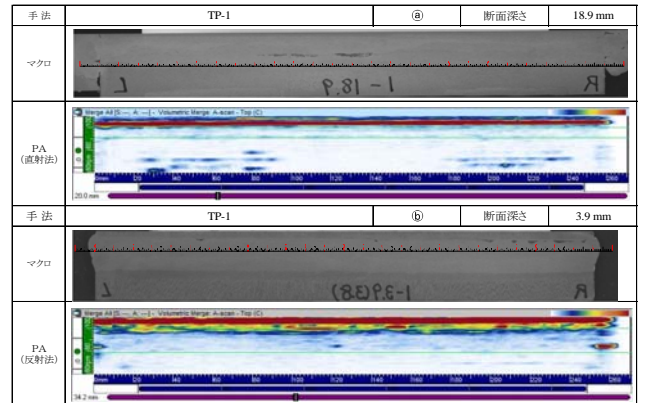


図 2.1 マクロ試験及びPAによる画像 (TP-1)

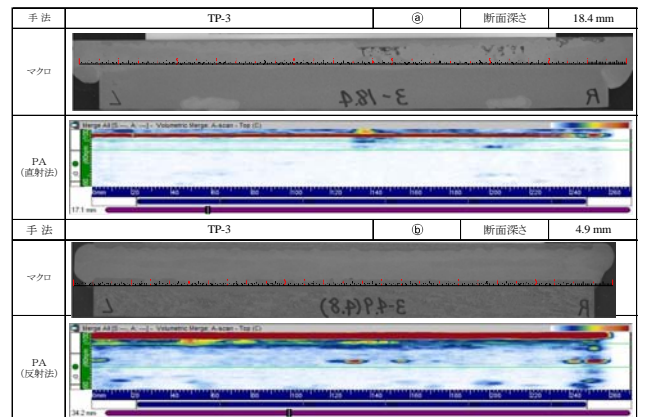


図 2.2 マクロ試験及びPAによる画像 (TP-3)

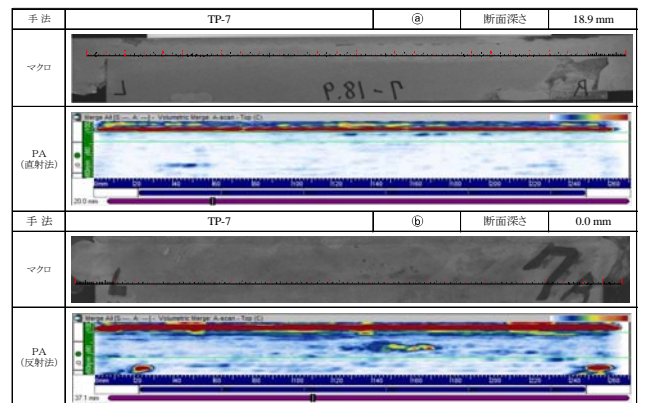


図 2.3 マクロ試験及びPAによる画像 (TP-7)

Study on the flaw detection accuracy of welding defects due to non-destructive testing using a phased array - Part.4 accuracy of flaw detection result by PA

*1 Furuki Toyomitsu *2 Nishizawa Hideki *3 Nakajima Yoji *4 Hiroshige Takaaki
*5 Sano Tadashi *6 Shima Tohru *7 Yamamoto Yuichiro *8 Katsumi Enomoto

表層部に検出された欠陥は表層近傍における溶接中央部の連続ブローホール (BH) であり、マクロ試験による深さ $d=3.4 \sim 1.4\text{mm}$ に加えて表面研磨の目視検査でも確認できることから $d=3.4 \sim 0\text{mm}$ とし、高さ $H_m=3.9\text{mm}$ 、長さは $L_m=30.5\text{mm}$ とした。PA では一回反射法で検出され、高さ $H_p=3.4\text{mm}$ 、長さ $L_p=12\text{mm}$ であり、マクロ試験に比べて欠陥高さは同等であったが、欠陥長さは過小評価となっている。

3. 考察

試験体 TP-1, TP-2, TP-3, TP-7, TP-8, TP-9, TP-10 におけるマクロ試験による欠陥長さ L_m と欠陥高さ H_m 、また PA による欠陥長さ L_p と欠陥高さ H_p を比較したものが図 3.1 及び図 3.2 である。

マクロ試験による欠陥寸法の測定は、溶接線方向かつ板厚と平行に裏当金側から 0.5mm ずつ研磨し、ナイタールによりマクロ観察を行い、欠陥が検出された部分を拡大して寸法計測を行っているため、欠陥高さ H_m における精度は $\pm 0.5\text{mm}$ と考えられる。

PA においては、溶接部に最も接近する位置から探触子を平行に保持し、 5mm ピッチずつ 7 往復の横方形走査 (Y1 ~ Y14) を行い、直射法と一回反射法で得られた画像を合成し、マクロ試験と同様に、裏当金底から表面まで、深さ 0.5mm 毎に画像化した。

初層で検出された欠陥は直射法により、板厚中央から表面

近傍で検出された欠陥は直射法と一回反射法による画像を比較し、エコー高さの高い方法により評価した。欠陥長さ L_p は PA 画像の橙色部分 (エコー高さが $70 \sim 90\%$)、欠陥高さ H_m は PA 画像の赤色部分 (エコー高さが 90% 以上) で評価した。

図 3.1 におけるマクロ試験と PA との欠陥長さの相関は $R^2=0.3189$ であり、よい相関とはいえないが、初層部の溶込不良の欠陥高さが $H_m=0.5 \sim 1.5\text{mm}$ と欠陥高さの低いものを除くと $R^2=0.9185$ と非常によい相関が得られた。

図 3.2 におけるマクロ試験と PA との欠陥高さの相関は $R^2=0.5698$ とあまり相関は高くはないが、欠陥高さが $H_m=0.5 \sim 1.5\text{mm}$ と欠陥高さの低いものを除くと $R^2=0.7595$ と相関が得られた。

初層部の溶込不良 (IP) については、欠陥高さ $H_m=0.5 \sim 1.5\text{mm}$ と小さめだったことで、PA では検出が困難であったと考えられる。裏当金付近の溶込不良を検出する場合には、横波の往復反射率が低下し、エコー高さが低くなり欠陥の画像が得られ難いため、探傷感度の設定等を考慮する必要がある。また、一回反射法により表層付近にある壁側及び開先面側の融合不良 (LF) 及び連続ブローホール (BH) のような欠陥を検出する場合には、超音波ビームの指向性が悪くなり、欠陥の位置精度が低下するため、図 3.3 に示すように欠陥高さ H_p の相関が低下 ($R^2=0.5297$) する傾向があることから、PA においても一般的な UT と同様に、できるだけ直射法で探傷すべきであると考えられる。

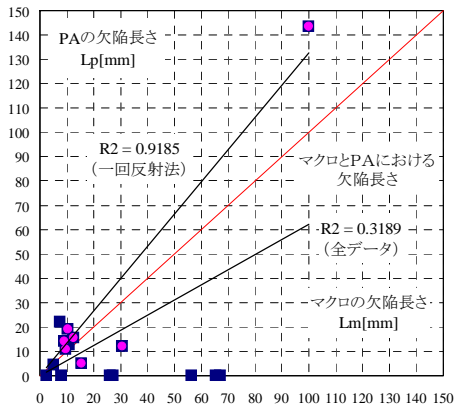


図 3.1 マクロ試験と PA における欠陥長さ

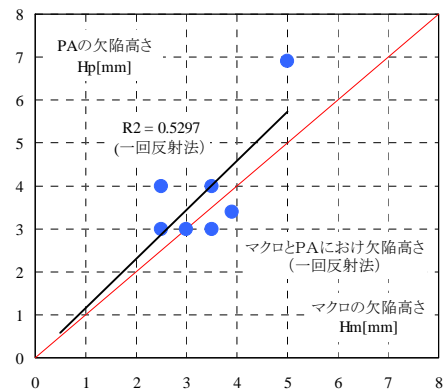


図 3.3 PA における一回反射法による欠陥高さ

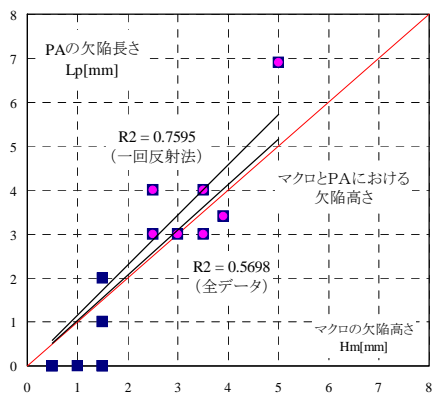


図 3.2 マクロ試験と PA における欠陥高さ

4. まとめ

マクロ試験と PA における欠陥寸法の推定精度を比較した結果、欠陥高さが微小なものを除けば、欠陥長さについては非常によい相関が得られた。欠陥高さについても欠陥高さが微小なものを除けば、よい相関が得られた。

PA を実施する場合には、通常の UT と同様に、できるだけ直射法により探傷し、初層の溶込不良などの欠陥の発生位置によっては、感度設定を考慮する必要があると考えられる。

今後は、欠陥高さが大きく、種々の溶接欠陥を含む試験体を抽出して PA の精度を確認する予定である。

この研究は、AW 検定協議会の研究評価委員会 WG21 において行ったものである。

*1 (株) 鴻池組 *2 アラップ *3 (株) 大建設計
*4 (株) 竹中工務店 *5 (株) 大林組 *6 戸田建設 (株)
*7 オリンパス (株) *8 清水建設 (株)

*1 Konoike Construction Co.Ltd *2 ARUP *3 DAIKEN SEKKELINC.
*4 Takenaka Corporation *5 OBAYASHI CORPORATION *6 TODA Corporation
*7 OLYMPUS Corporation *8 SHIMIZU Corporation