

自然欠陥を有する溶接線の継手耐力と非破壊試験に関する研究 —その5 非破壊試験結果—

正会員 ○笠原基弘\*1 正会員 鈴木 衛\*2 正会員 廣重隆明\*3  
 正会員 古城豊光\*4 正会員 西澤秀樹\*5 正会員 中島洋士\*6

非破壊試験 溶接欠陥 端部探傷 屈折角 欠陥寸法 エコー高さ

1. はじめに

本報では、引張試験前後に実施した各種の超音波探傷試験(UT)と溶接欠陥の実寸法との関係について報告する。

2. 対象試験体

UTの対象は、その4で報告した引張試験50体を含む試験体70体である。

3. 試験方法

適用したUT手法および試験条件を表-3.1に示す。

表-3.1 試験条件

試験時期	試験体数	探傷法	探傷器	探触子	探傷感度	欠陥寸法測定	
						欠陥高さ	欠陥長さ
引張試験後	70	65度端部法	汎用デジタル探傷器	5M 5×10A65	縦穴 φ4×4-H線	同時端部エコー法によるピーク路程差ΔWより算出	
		65度規定法		5M 10×10A65	縦穴 φ4×4-H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II(4mm)-III/IV(5mm)-V(6mm)として評価	
		70度規定法		5M 10×10A70	縦穴 φ4×4-U線	L線カット法	
		フェーズドアレイ(PA)		エンコーダ付きPA探傷器	5MHz 32ch 40-70	横穴 φ1.5-H線	断面(Sキーン画像よりH線を越える範囲より算出)
引張試験後	30	Cスキュン法	水浸 Cキーン装置	25MHz 縦波	底面エコー +30dB	Cスキーン画像より1mm枠で細分化して算出	
						6	破面観察

4. 試験結果

4.1 試験結果画像

各種試験の結果一覧を表-4.1に示す。フェーズドアレイおよびCスキュンで得られた画像例を図-4.1・図-4.2に、引張試験により溶接部ダイアフラム側から破壊した破面を写真-4.1に示す。

4.2 破面と各種試験法との関係

引張試験による溶接部の破面観察から得られた欠陥の実寸法6体と各種試験結果を図-4.3に示す。フェーズドアレイ(PA)では、相関係数が等価欠陥寸法  $\bar{a}$  で  $R^2=0.82$ 、欠陥高さで  $R^2=0.95$ 、欠陥長さで  $R^2=0.94$ 、欠陥高さ×欠陥長さから算出された欠陥面積では  $R^2=0.87$  と非常によい。欠陥長さ測定では試験法による差異は少ないが、欠陥高さ測定では70度規定法が最もよくない。また、欠陥面積による相関は、65度端部法では  $R^2=0.97$  と高く、PAでは  $R^2=0.87$ 、65度規定法では  $R^2=0.80$  であった。

4.3 Cスキュンと各種試験法との関係

引張試験で溶接部から破壊しなかった27体と引張試験を実施しなかった3体の計30体におけるCスキュンと各種試験の結果を図-4.4に示す。 $\bar{a}$  との相関は65度規定法>端部法の順によく、欠陥高さはPA > 65度規定法、欠陥長さは端部法および65度規定法がよく、また欠陥面積では65度規定法>端部法の順に相関がよくなっている。

4.4 フェーズドアレイと各種試験法との関係

フェーズドアレイと各種試験との結果を図-4.5に示す。PAとの相関では、 $\bar{a}$  と欠陥面積がよい。

5. 試験結果の考察

5.1 フェーズドアレイによる欠陥長さの測定

破面と各種試験法において、PAが最もよい相関が得られた

表-4.1 試験結果一覧 (引張試験による結果を除く)

抽出試験体番号	65度端部探傷				65度規定探傷				70度規定探傷				フェーズドアレイ				Cスキュン			
	$\bar{a}$	高さ	長さ	面積	$\bar{a}$	高さ	長さ	面積	$\bar{a}$	高さ	長さ	面積	$\bar{a}$	高さ	長さ	面積	$\bar{a}$	高さ	長さ	面積
	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup>
3	3.03	3.0	20	60	4.62	5	17	85	4.74	5	18	90	5.15	6.4	15	96	-	-	-	-
4	4.62	7.5	12	90	2.87	4	9	36	0.00	0	0	0	0.00	0.0	0	0	2.80	3.5	10	35
10	3.42	5.0	10	50	3.26	5	7	35	4.35	5	15	75	2.75	2.8	17	48	-	-	-	-
18	3.25	3.3	18	59	4.35	5	15	75	4.04	5	13	65	3.41	3.6	16	58	-	-	-	-
20	3.50	3.8	15	57	3.33	4	12	48	2.88	5	8	40	1.91	1.9	19	36	-	-	-	-
22	3.09	3.8	11	42	2.88	5	8	40	4.49	5	16	80	7.59	6.3	31	195	-	-	-	-
23	3.29	3.3	19	63	4.49	5	16	80	4.73	6	14	84	6.86	8.2	18	148	5.78	6.7	17	114
24	3.26	3.5	15	53	3.85	5	12	60	5.33	6	17	102	5.95	5.7	23	131	-	-	-	-
25	3.57	3.8	16	61	4.04	5	13	65	4.62	5	17	85	5.13	5.7	17	97	-	-	-	-
32	3.20	3.3	17	56	4.20	5	14	70	3.85	5	12	60	6.52	9.2	16	147	-	-	-	-
37	3.26	3.5	15	53	3.85	5	12	60	2.66	4	8	32	0.96	1.5	3	5	-	-	-	-
38	3.42	5.0	10	50	2.55	5	7	35	3.65	5	11	55	4.67	4.8	19	91	-	-	-	-
47	3.50	3.8	15	57	3.85	5	12	60	2.87	4	9	36	3.47	3.6	17	61	-	-	-	-
48	3.04	3.3	14	46	3.65	5	11	55	2.42	4	7	28	3.14	3.9	11	43	-	-	-	-
53	3.56	5.5	12	66	4.59	9	9	81	3.65	5	11	55	5.27	5.9	17	100	-	-	-	-
58	3.10	3.3	15	50	3.85	5	12	60	2.88	5	8	40	3.76	4.5	13	59	-	-	-	-
59	3.52	3.5	20	70	4.62	5	17	85	4.95	5	20	100	6.54	7.6	18	137	6.85	9.0	17	153
66	3.10	3.3	15	50	3.33	4	12	48	3.65	4	12	48	3.33	3.9	20	78	-	-	-	-
68	3.19	3.5	14	49	3.20	4	11	44	4.04	5	11	55	3.61	3.7	18	67	-	-	-	-
70	2.95	3.0	18	54	4.35	5	15	75	4.85	5	19	95	6.42	5.5	30	165	-	-	-	-

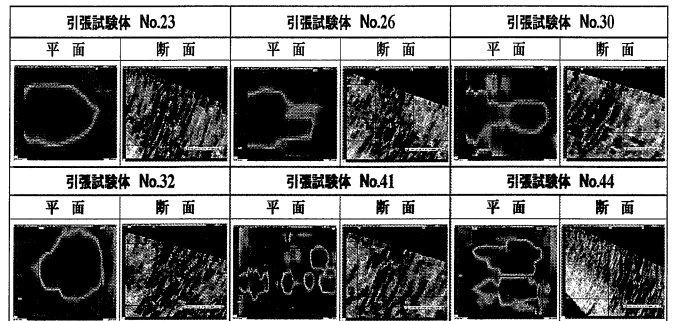


図-4.1 フェーズドアレイ画像例 (溶接部破断)

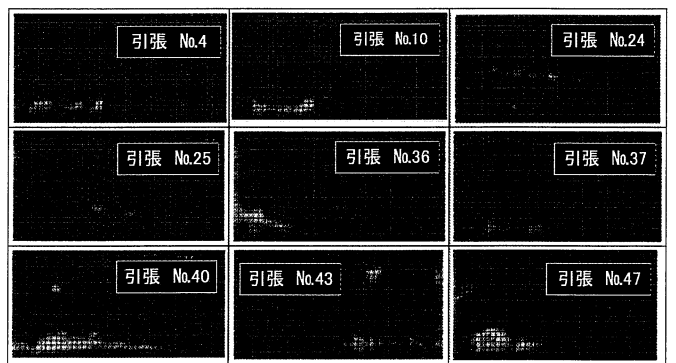


図-4.2 Cスキュン画像例

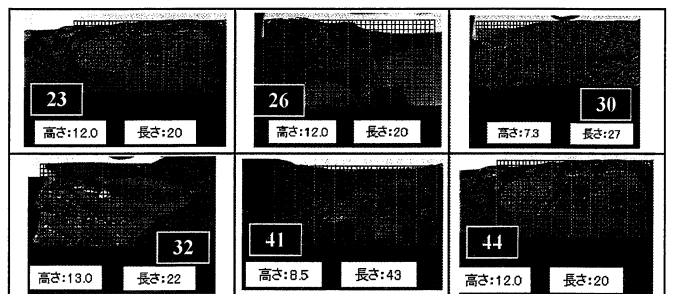


写真-4.1 引張試験後の破面観察

Study of Joint Proof Stress and the Non-Destructive Testing with Natural Defects at Welding - Part.5 NDT Results -

\*1 KASAHARA Motohiro \*2 SUZUKAWA Mamoru \*3 HIROSHIGE Takaaki  
 \*4 FURUKI Toyomitsu \*5 NISHIZAWA Hideki \*6 NAKAJIMA Yoji

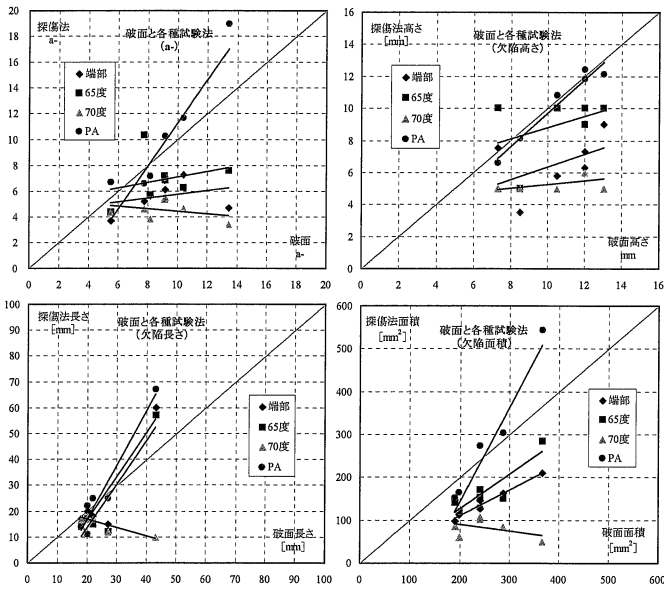


図-4.3 破面と各種試験結果

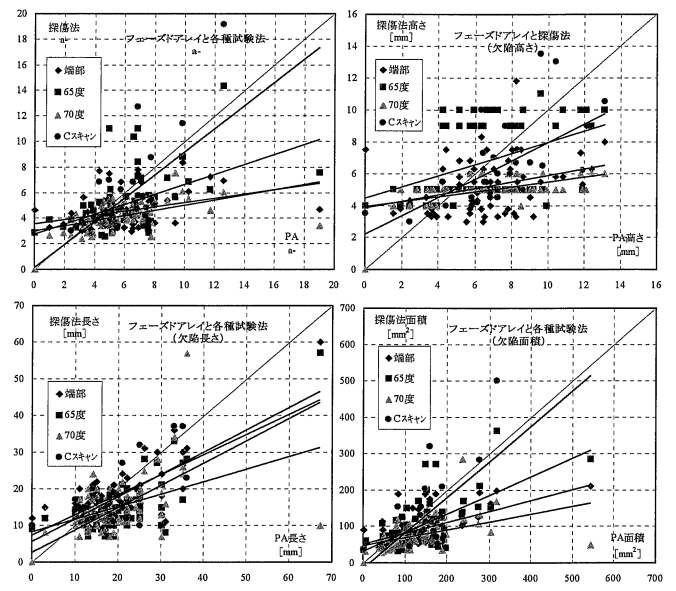


図-4.5 フェーズドアレイと各種試験結果

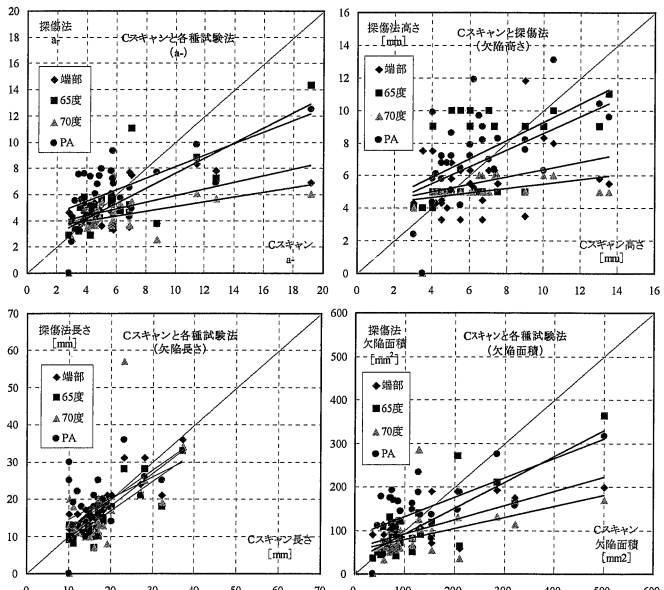


図-4.4 Cスキャンと各種試験結果

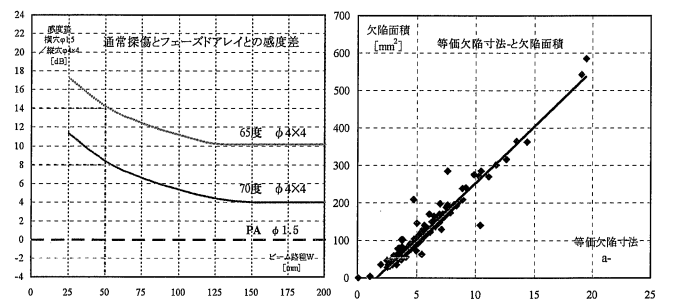


図-5.1 PAと各種試験の感度差 図-5.2 等価欠陥寸法と欠陥面積

ものの、Cスキャンとの比較ではPAとの相関はあまり高くなかった。これは、破面観察における実欠陥高さの精度は非常に高いが、Cスキャンとの結果からPAは20mm未満の長さの短い欠陥を過大評価することからと考えられる。

図-5.1に表-3.1で示した試験条件によるPAと各種試験法との感度差を数値計算により比較した。今回の試験はビーム路程  $W \approx 50\text{mm}$  程度であるため、PAでは70度に比べ+8dB、65度に比べ+14dB程度高感度となっている。したがって、欠陥長さ測定における閾値はM線ではなくH線とした方がよい。

### 5.2 等価欠陥寸法と欠陥面積

その4における欠陥評価では、等価欠陥寸法  $\bar{a}$  が用いられるが、 $\bar{a}$  の算出はUT適用時に欠陥高さ $h$ と欠陥長さ $l$ から容易に算出できない。図-5.2に欠陥高さ $h$ と欠陥長さ $l$ の積から得られる欠陥面積 $S$ と等価欠陥寸法  $\bar{a}$  との関係を示す。欠陥面積 $S$ と  $\bar{a}$  の

相関は  $R^2=0.94$  と非常に高く、等価欠陥寸法  $\bar{a}$  を算出しなくても測定された欠陥高さ $h$ と欠陥長さ $l$ から欠陥面積 $S$ を算出し、欠陥評価ができると考えられる。

### 6. 試験結果のまとめ

試験で得られた知見を下記に示す。

- 1) 破面観察による自然欠陥の実寸法との比較から、エンコーダ付きフェーズドアレイが最も高精度に欠陥を評価できる。
- 2) 欠陥長さについては、何れの試験法でも比較的精度が高く、試験法による差異は少ない。
- 3) 欠陥高さの測定精度はフェーズドアレイが最もよいが、65度端部法で欠陥高さを直接求めるか、または65度規定法によりエコー高さ領域で相当される欠陥高さ $h$ と、各々の試験法による欠陥長さ $l$ から欠陥面積 $S$ により欠陥評価が可能である。
- 4) 70度規定法では、継手耐力に大きく影響する端部欠陥を確実に検出し、適切に評価することができない<sup>1)</sup>。

#### 【参考文献】

- 1) 日本鋼構造協会：建築鉄骨梁端溶接部の超音波探傷検査指針，2008

#### 【謝辞】

この研究はAW検定協議会研究評価委員会で実施したもので、フェーズドアレイについてはオリンパス(株)の協力を得た。また、引張試験では横浜国立大学および千葉大学で実施した。ここに関係各位に謝意を表す。

\*1 アクティオンハート 博士(工学)  
\*3 (株)竹中工務店  
\*5 アラップ・ジャパン

\*2 (株)浅沼組  
\*4 (株)鴻池組  
\*6 (株)大建設

\*1 Act-Creation-Heart Co.,Ltd. Dr.Eng  
\*3 Takenaka Corporation  
\*5 Arup Japan Ltd.

\*2 Asanuma Corporation  
\*4 Konoike Construction Co.,Ltd.  
\*6 DAIKEN SEKKELINC.