

溶接始末端部に発生する欠陥の実態調査 (その6. 端部欠陥と断面応力度比)

正会員 ○ 廣重隆明*1 正会員 土屋芳弘*2
 同 遠藤久士*3 同 古城豊光*4
 同 藤田哲也*5 同 笠原基弘*6

溶接欠陥 欠陥高さ 断面応力度比 柱梁接合部 非破壊検査

1. はじめに

AW検定代替エンドタブ試験体における始末端部に生じる内部欠陥と断面応力度比について報告する。

2. 既往の実験結果と断面応力度比

2.1 断面応力度比推定式

既往の板引張試験結果を表-2.1 に示す。ここでは、等価欠陥寸法 \bar{a} として、WES2805 により線形破壊力学によるK値の等価則を用い、幅Wの有限板において半楕円型中央表面

表-2.1 板引張試験結果一覧

No.	試験体名		試験片寸法		欠陥寸法		等価欠陥寸法 \bar{a} (mm)	シャルピー値 vEbr (J)	実験結果 σ_{max}/σ_u
	試験機関	試験体 No.	W (mm)	t (mm)	a (mm)	b (mm)			
1	AW	L4	200.0	25.2	10.6	5.0	3.44	83	1.09
2	AW	L5	200.0	25.2	15.3	7.5	5.32	83	1.06
3	AW	L6	200.0	25.2	29.3	6.7	6.90	83	1.02
4	AW	H1	200.0	25.2	16.0	3.5	3.20	180	1.10
5	AW	H3	200.0	25.2	16.6	6.1	4.97	180	1.09
6	AW	H4	200.0	25.1	26.3	7.1	6.97	180	1.04
7	AW	No.1	200.0	25.1	9.3	6.0	3.33	38	0.94
8	AW	No.2	200.0	25.1	15.8	6.8	5.17	35	0.82
9	AW	No.3	200.0	25.1	24.3	6.9	6.56	40	0.85
10	AW	No.4	200.0	25.1	51.4	6.5	8.20	40	0.82
11	AW	No.5	200.0	25.2	16.0	7.0	5.29	57	1.00
12	AW	No.6	200.0	25.2	24.0	6.5	6.19	58	0.97
13	AW	No.8	200.0	25.3	17.0	6.9	5.44	57	0.96
14	AW	No.9	200.0	25.1	25.7	6.9	6.73	58	0.90
15	信州大	S10 10	125.0	23.0	13.0	13.0	7.08	71	0.83
16	信州大	S10 15	125.0	23.0	16.0	16.0	9.80	71	0.82
17	信州大	S20 05	125.0	22.0	20.0	8.0	6.90	71	0.92
18	信州大	S20 10	125.0	22.5	23.0	17.5	13.56	71	0.75
19	信州大	S20 10 2	125.0	22.0	24.0	13.0	10.77	71	0.85
20	信州大	S20 15	125.0	23.0	22.0	15.5	11.02	71	0.86
21	信州大	S30 05	125.0	22.0	32.0	9.0	10.57	71	0.80
22	信州大	S30 05 2	125.0	22.0	33.0	7.5	8.92	71	0.86
23	信州大	S30 10	125.0	22.0	30.0	18.0	16.85	71	0.74
24	信州大	S30 10 2	125.0	22.0	33.0	12.0	14.20	71	0.76
25	信州大	S30 15	125.0	22.0	32.0	17.0	17.20	71	0.70
26	信州大	S30 15 2	125.0	22.5	30.0	15.0	14.74	71	0.69
27	信州大	S40 05	125.0	22.0	40.0	8.0	10.88	71	0.79
28	下川	P38-20	140.0	25.0	38.0	20.0	21.12	11	0.46
29	下川	P34-12	140.0	25.0	34.0	12.0	13.24	11	0.52
30	下川	P17.5-12	140.0	25.0	17.5	12.0	7.05	11	0.67
31	下川	P7.5-12	140.0	25.0	7.5	12.0	7.95	11	0.79
32	下川	P3.5-12	140.0	25.0	3.5	7.0	4.85	11	0.87
33	下川	P16-6	140.0	25.0	16.0	6.0	4.80	11	0.73
34	下川	P8-6	140.0	25.0	8.0	6.0	2.89	11	0.85
35	総プロ	L23-1 V000	200.0	25.0	21.0	6.0	5.48	90	1.02
36	総プロ	L23-2 V000	200.0	25.0	23.0	6.0	5.69	90	1.03
37	総プロ	L43-1 V000	200.0	25.0	40.0	4.0	4.35	74	1.05
38	総プロ	L43-2 V000	200.0	25.0	40.0	5.0	5.58	74	1.03
39	総プロ	H23-1 V000	200.0	25.0	27.0	3.0	3.04	121	1.04
40	総プロ	H23-2 V000	200.0	25.0	25.0	4.0	3.99	121	1.04
41	総プロ	H43-1 V000	200.0	25.0	40.0	3.0	3.18	121	0.98
42	総プロ	H43-2 V000	200.0	25.0	40.0	4.0	4.35	121	1.00
43	総プロ	A33-V000-T20	200.0	25.0	42.0	5.0	5.64	62	0.80
44	総プロ	A33-V000-T40	200.0	25.0	35.0	5.0	5.40	18	0.65
45	総プロ	A36-V000-T00	200.0	25.0	40.0	5.0	5.58	99	0.77
46	総プロ	A36-V000-T20	200.0	25.0	40.0	5.0	5.58	62	0.79
47	総プロ	A43-V000-T00	200.0	25.0	24.0	4.0	3.96	83	0.93
48	総プロ	A43-V000-T20	200.0	25.0	20.0	8.0	6.62	52	1.00
49	総プロ	A46-V000-T00	200.0	25.0	15.0	4.0	3.50	83	0.96
50	総プロ	A46-V000-T20	200.0	25.0	20.0	6.0	5.37	52	0.83

※日本建築学会大会 (2006年) 梗概集 22490 より

欠陥と端部板貫通欠陥の応力拡大係数K値が等価となるき裂特性寸法を設定した。

以下に、断面応力度比の推定式を示す。

$$\sigma_{max}/\sigma_u = -0.133\sqrt{\bar{a}} + 0.247\log(vEbr) + 0.806 \dots \textcircled{1}$$

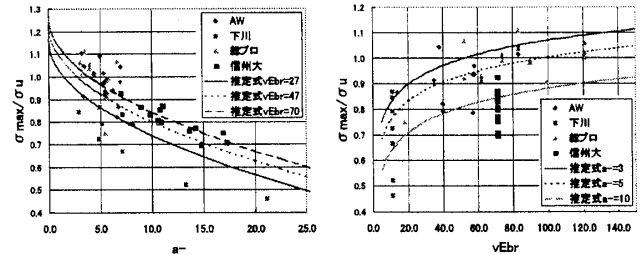


図-2.1 断面応力度比と等価欠陥寸法・材料靱性の関係

表-2.2 架構試験結果一覧

No.	試験体名		試験片寸法		欠陥寸法		等価欠陥寸法 \bar{a} (mm)	シャルピー値 vEbr (J)	実験結果 σ_{max}/σ_u
	試験機関	試験体 No.	W (mm)	t (mm)	a (mm)	b (mm)			
51	神戸大	DBT-M/M-20	200.0	19.0	32.0	12.0	14.72	60	0.84
52	神戸大	DBT-H/M-15	200.0	18.0	40.5	10.0	15.73	173	0.93
53	神戸大	DBT-H/M-20	200.0	19.0	50.0	9.0	15.34	176	0.89
54	神戸大	DBT-M/L-15	200.0	20.0	17.0	11.0	7.22	223	0.88
55	信州大	FaS1	200.0	31.0	19.0	24.0	17.14	136	0.89
56	信州大	FaM1	200.0	31.0	23.0	18.0	10.99	136	0.84
57	信州大	FaM2	200.0	29.5	26.0	19.5	13.24	136	0.84
58	信州大	FaM3	200.0	28.0	24.0	14.0	9.89	134	0.96
59	信州大	FaL1	200.0	29.0	52.0	17.0	23.15	134	0.79
60	信州大	FbM1	200.0	28.0	45.0	3.5	3.74	134	0.98
61	信州大	FbM2	200.0	28.0	13.0	8.0	4.71	134	0.96
62	信州大	FbL1	200.0	28.0	46.0	10.0	12.31	134	0.95
63	信州大	FbI1	200.0	29.0	17.0	22.0	15.77	134	0.79
64	信州大	FbLL1	200.0	31.0	42.0	17.0	17.99	134	0.75
65	信州大	S SH 5 15	200.0	29.0	16.0	10.0	5.97	268	0.91
66	信州大	S SH 5 60	200.0	26.0	64.0	8.0	11.68	268	0.92
67	信州大	S SH 10 30	200.0	28.0	34.0	12.0	12.16	268	0.85
68	信州大	S SH 10 60	200.0	27.0	66.0	11.5	19.70	268	0.86
69	信州大	S WH 5 15	200.0	28.0	22.0	8.0	6.79	156	0.95
70	信州大	S WH 10 30	200.0	29.0	42.0	14.0	15.99	156	0.83
71	信州大	S WH 10 60	200.0	28.0	64.0	10.0	15.02	156	0.79
72	信州大	S WH 5 60	200.0	28.0	62.0	12.0	18.72	156	0.90
73	信州大	S WH 5 60S	200.0	26.0	64.0	10.0	15.97	156	0.96
74	信州大	S WL 5 15	200.0	28.0	32.0	10.0	10.01	79	0.86
75	信州大	S WL 10 30	200.0	28.0	35.0	10.0	10.55	79	0.76
76	信州大	S WL 10 60	200.0	27.0	35.0	11.0	11.74	79	0.77
77	信州大	W SH 5 15	200.0	27.0	30.0	9.0	8.94	268	0.96
78	信州大	W SH 5 60	200.0	27.0	61.0	11.0	17.01	268	0.92
79	信州大	W SH 10 30	200.0	27.0	32.0	11.0	11.05	268	0.90
80	信州大	W SH 10 60	200.0	26.0	65.0	11.5	19.65	268	0.80
81	信州大	W WH 5 15	200.0	27.0	25.0	7.0	6.58	156	0.96
82	信州大	W WH 5 60	200.0	28.0	67.0	11.0	17.70	156	0.85
83	信州大	W WH 10 30	200.0	27.0	39.0	10.0	11.44	156	0.88
84	信州大	W WH 10 60	200.0	28.0	65.0	11.0	17.29	156	0.81
85	信州大	W WH 3 50	200.0	27.0	33.0	9.0	9.41	156	0.93
86	信州大	W WL 5 15	200.0	27.0	28.0	9.0	8.60	79	0.88
87	信州大	W WL 10 30	200.0	28.0	41.0	11.0	12.73	79	0.76
88	信州大	W WL 10 60	200.0	27.0	61.0	12.0	19.07	79	0.81

文献1) 吉村ほか：鉄骨造柱梁接合部の構造特性に与える溶接欠陥の影響，日本鋼構造協会鋼構造年次論文報告集，第10巻，pp.21-26，2002.11
 文献2) 中込ほか：欠陥を有する柱梁溶接接合部の変形能力に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No.556，pp.145，2002.6
 文献3) 小澤ほか：欠陥を有する柱梁溶接接合部の変形能力に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集C-1構造Ⅲ，pp.569-572，2004.8

Investigation of Actual Conditions with Defects at Welding End(Part.6 Edge Defects - Sectional Stresses)

HIROSHIGE Takaaki, TSUCHIYA Yoshihiro, ENDO Hisashi, FURUKI Toyomitsu, FUJITA Testuya and KASAHARA Motohiro

断面応力度比と等価欠陥寸法及び材料靱性の関係を図-2.1に示す。断面応力度比は、等価欠陥寸法の増加と共に低下し、材料靱性の増加と共に増加している。

推定式①より求めた断面応力度比と試験結果との関係を図-2.2に示す。相関係数 $R=0.936$ と高い相関を示している。

2.2 架構試験結果との対比

既往の架構試験として、文献1)～3)の結果を表-2.2にまとめた。図-2.2の信州大データ■はフランジに比べてダイアフラムの板厚が厚い試験体となっているため、フランジの σ_u を基準として整理し、表-2.2に示す架構試験データ▲を追加したものを図-2.3に示す。図中の一点破線は推定式①を、架構試験において断面応力度比の下限値まで移行した線を示している。6.3%程度の耐力上昇が見込めることより、推定式①は安全側の評価式であるといえる。

3. 端部欠陥と断面応力度比について

AW検定代替エンドタブ試験において、外觀試験に合格し、放射線透過試験において不合格となった試験体の始末端部に発生している欠陥は、Cスキャンを実施した結果、写真-3.1に示したような自然欠陥が発生していた。欠陥長さ(a)、欠陥高さ(b)の測定は、発生した欠陥の最大値とした。

今回の実態調査と同等の欠陥が、PL-19×200の梁フランジに発生したと仮定した場合、欠陥長さ(a)、欠陥高さ(b)を用いて、本稿2.1で説明した方法で等価欠陥寸法 \bar{a} を算出した後、推定式①を用いて溶接接合部の断面応力度比を算出した結果を表-3.1に示す。また、鋼材の靱性値として70Jを想定した場合の欠陥長さ \bar{a} と断面応力度比の関係を図-3.1に示す。

今回の調査では、欠陥高さは7.1mmが最大であったこともあり、PL-19×200の梁フランジを想定した場合に断面応力度比が1.0を下回る試験体が14体であった。

式①を用いて、断面応力度比を1.0以上確保するための欠陥長さを推定すると、鋼材の靱性値として70Jが確保されていれば、欠陥長さが10mm以下という結果が得られた。

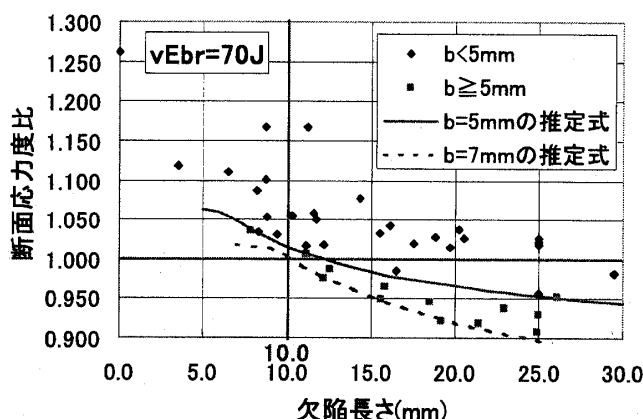


図-3.1 欠陥長さ \bar{a} と断面応力度比

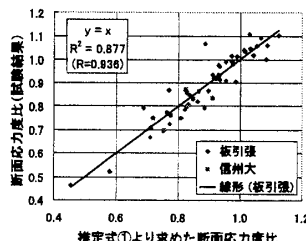


図-2.2 推定値と試験結果 (板引張試験)

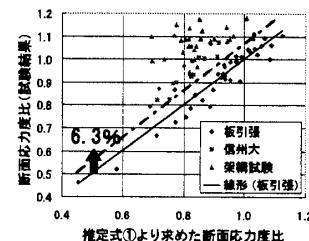


図-2.3 推定値と試験結果 (架構試験)

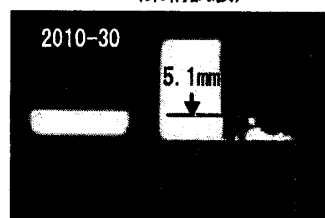
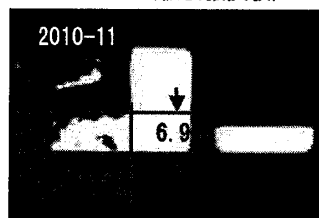


写真-3.1 欠陥長さ(a)と欠陥高さ(b) [Cスキャン]

表-3.1 欠陥寸法と断面応力度比

NO.	a	b	a-	σ_{max}/σ_u		
				vEbr=70	vEbr=100	
1	2009-1	6.5	1.5	1.31	1.110	1.148
2	2009-2	8.7	0.5	0.50	1.168	1.206
3	2009-3	29.5	4.0	4.42	0.982	1.021
4	2009-4	11.2	0.5	0.50	1.168	1.206
5	2009-5	14.3	2.0	1.95	1.076	1.115
6	2009-6	3.5	2.0	1.18	1.118	1.156
7	2009-7	0.0	0.0	0.00	1.262	1.300
8	2009-8	7.8	5.5	2.88	1.036	1.075
9	2009-9	12.2	7.0	4.60	0.977	1.015
10	2009-10	26.1	5.0	5.45	0.951	0.990
11	2009-11	12.2	4.0	3.37	1.018	1.056
12	2010-1	24.9	6.6	7.11	0.907	0.946
13	2010-2	16.5	4.7	4.34	0.985	1.023
14	2010-3	11.7	2.8	2.52	1.051	1.089
15	2010-4	8.2	2.0	1.74	1.086	1.125
16	2010-5	25.0	3.1	3.25	1.022	1.060
17	2010-6	20.2	2.8	2.83	1.038	1.076
18	2010-7	15.5	3.1	2.96	1.033	1.071
19	2010-8	16.1	2.8	2.71	1.043	1.081
20	2010-9	11.6	2.6	2.36	1.057	1.096
21	2010-10	12.5	5.7	4.28	0.987	1.025
22	2010-11	15.6	6.9	5.56	0.948	0.987
23	2010-12	22.9	5.7	5.93	0.938	0.976
24	2010-13	19.7	3.4	3.41	1.016	1.054
25	2010-14	25.0	3.0	3.14	1.026	1.065
26	2010-15	11.1	4.3	3.38	1.018	1.056
27	2010-16	21.4	6.7	6.65	0.919	0.957
28	2010-17	9.4	4.1	2.99	1.032	1.070
29	2010-18	25.0	5.8	6.25	0.929	0.968
30	2010-19	8.3	4.8	2.95	1.034	1.072
31	2010-20	20.5	3.1	3.14	1.026	1.065
32	2010-21	15.8	5.8	5.00	0.964	1.003
33	2010-22	8.8	3.1	2.45	1.054	1.092
34	2010-23	10.2	2.8	2.41	1.055	1.094
35	2010-24	18.8	3.1	3.08	1.028	1.067
36	2010-25	25.0	3.2	3.36	1.018	1.056
37	2010-26	19.2	7.1	6.53	0.922	0.960
38	2010-27	17.5	3.4	3.31	1.020	1.058
39	2010-28	18.5	6.1	5.68	0.945	0.983
40	2010-29	8.7	1.6	1.47	1.101	1.139
41	2010-30	11.1	5.1	3.72	1.005	1.044
42	2010-31	10.3	2.8	2.42	1.055	1.093
43	2010-32	25.0	4.9	5.26	0.957	0.995

附辞：本研究はAW検定協議会特別委員会第4分科会として実施され、日本溶接技術センター、JFEテクノリサーチ、東部材料試験所およびCIW検査協会の紹介による非破壊検査会社12社の協力を受けた。関係各位に謝意を表する。

- | | | | |
|-----------|-------------|---------------------|--|
| *1 ㈱竹中工務店 | *3 ㈱東京建築研究所 | *1 Takenaka Corp. | *3 Tokyo-Kenchiku Structural Engineers |
| *2 飛鳥建設㈱ | *4 ㈱鴻池組 | *2 Tobishima Corp. | *4 Konoike Constructiou Co.,Ltd. |
| *5 日本設計㈱ | *6 溶接検査㈱ | *5 Nihonsekkei Inc. | *6 Yosetsukensa Corp. |