

溶接継手疲労強度小委員会活動報告

(公財)鉄道総合技術研究所 車両技術研究部

車両強度研究室 上席研究員GL 沖野 友洋

溶接継手疲労強度小委員会活動

車両設計時に活用できる溶接部の疲労強度について検討する。

第1回 2020年7月21日 ~ 第5回 2021年3月24日
評価対象とする溶接継手の選定と試験方法の検討 委員長:石塚弘道

第6回 2021年5月28日 ~ 第9回 2022年1月18日
第1期疲労試験の実施 委員長:沖野友洋

第10回 2022年4月26日 ~ 第14回 2023年3月2日
第2期疲労試験の実施 委員長:沖野友洋

第15回 2023年5月30日 ~ 第18回 2024年2月19日
疲労設計線の作成 委員長:沖野友洋

構成メンバー:鉄道事業者、車両メーカー、材料メーカー、日本鉄道車輛工業会、軽金属溶接協会、
鉄道総合技術研究所

アルミニウム合金製車体構体で用いられる2種類の溶接継手の疲労設計線を作成

対象とする溶接継手形状と位置

評価対象：A6005CS-T5

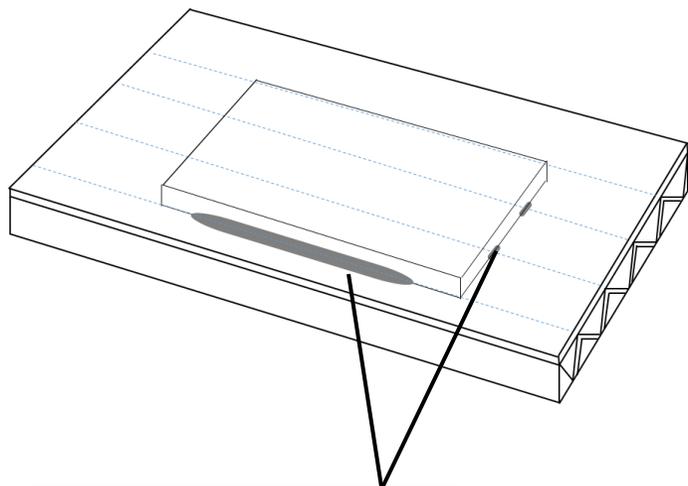
A6005CS-T5について、既にS-N線図が公開されていた継手一覧

形状	板厚 (mm)	試験方法	応力比	打切り 限度	備考	出典
突合せ（開先形状ⅠおよびⅡ）	3～5	引張圧縮	-1, 0, $\sigma_m=10\text{kgf/mm}^2$	10^7		軽金属車両委員会、1988
片側開先突合せ （裏当てあり）	3	引張圧縮 （部分片振り）	0.1	10^7	余盛り有り無し 全てルート部破断	アルミニウム車両委員会、 2003
片側開先突合せ （裏当てあり）	3程度	実物大試験体による3点曲げ	0.1	2×10^6	余盛り有り無し 全て表面破断	アルミニウム車両委員会、 2003

対象とする溶接継手形状と位置

①すみ肉溶接

ダブルスキン部材への板材溶接



すみ肉溶接

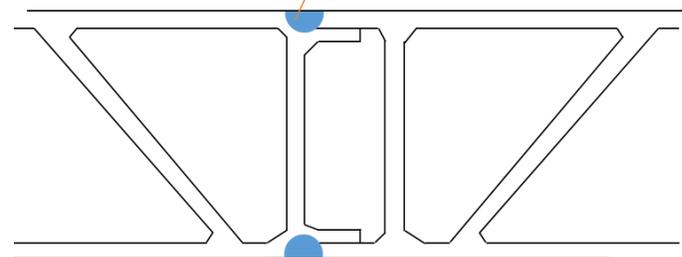
(A)対象(破断)位置:止端部

(B)対象(破断)位置:ルート部

②片側開先突合わせ溶接 (余盛削除、裏当有り)

ダブルスキン部材の繋ぎ

片側開先突合わせ溶接(余盛削除)

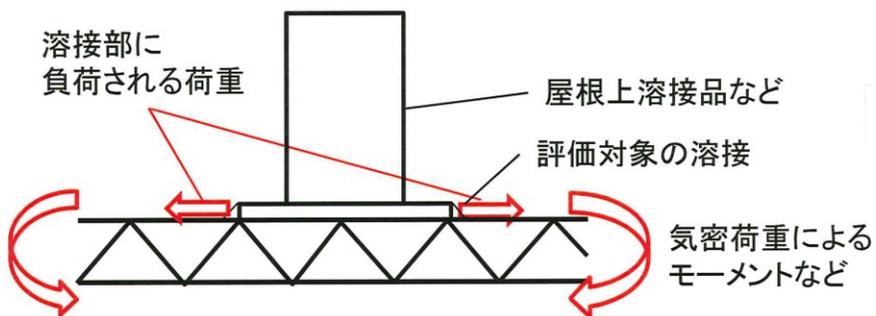
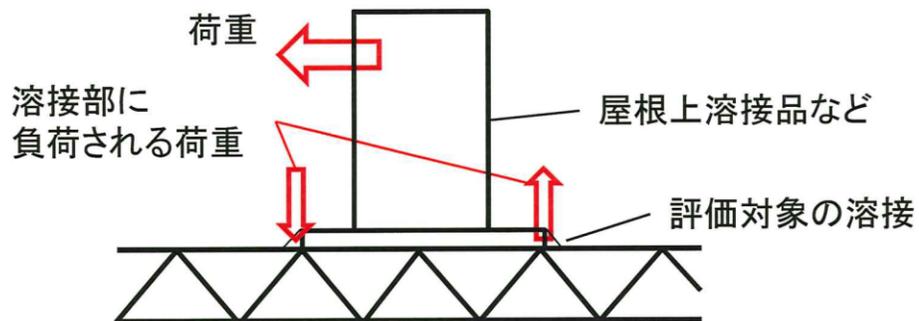


対象(破断)位置:表面(止端相当部)

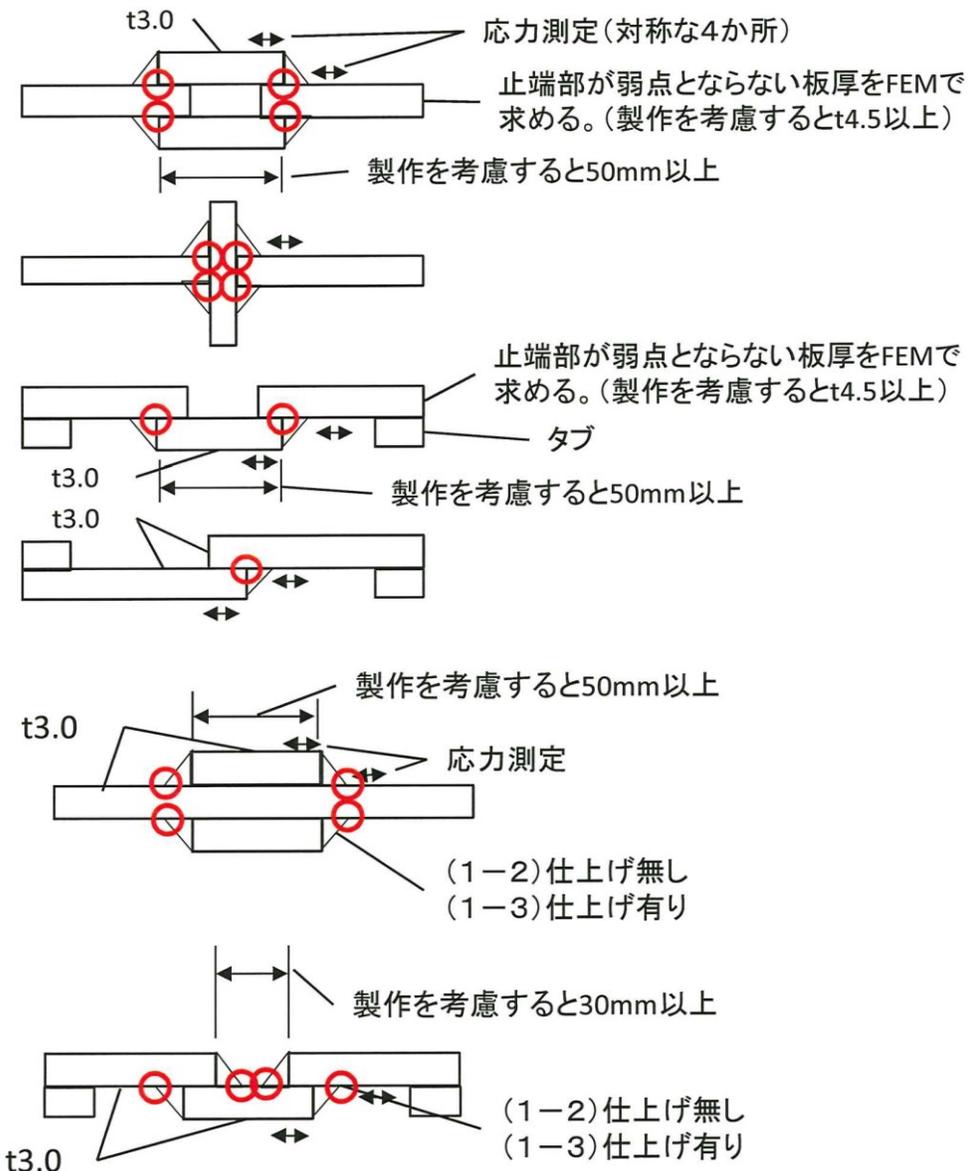
備考:2003年のアルミ車両委員会で実施済みであるが、
小型試験片と実物大試験体で破断起点が異なったため、
小型試験片で表面破断を再現する。

①すみ肉溶接試験片の検討

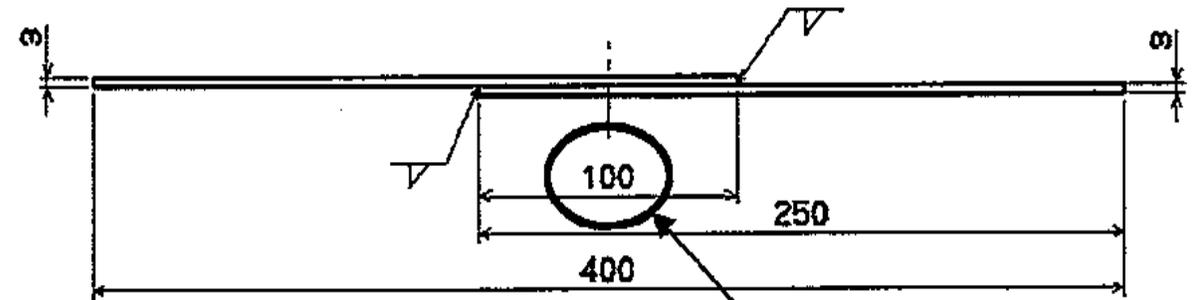
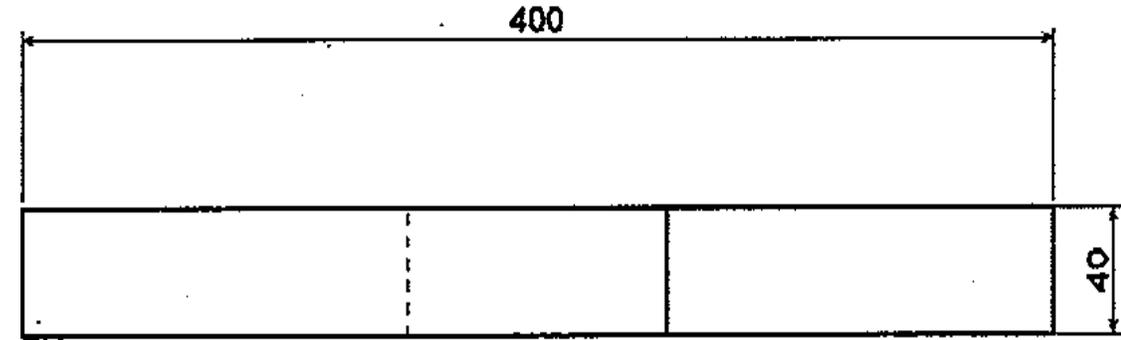
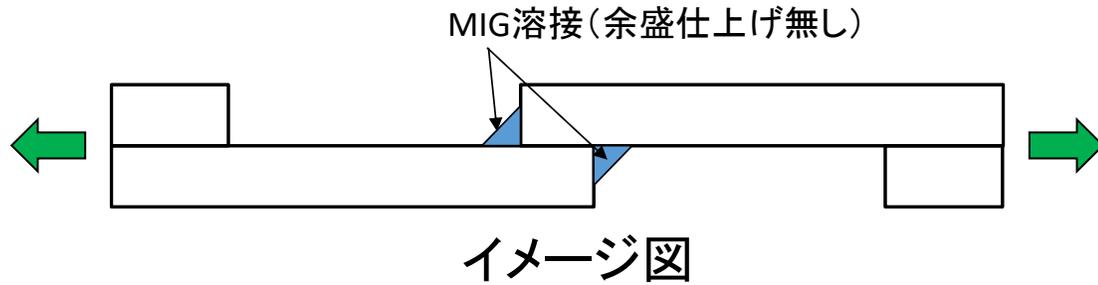
◎想定する構造、荷重形態、き裂起点



試験片の候補



①すみ肉溶接試験片(対象(破断)位置:ルート部or止端部)の決定



試験片の形状、寸法

疲労試験条件、2021年度実施

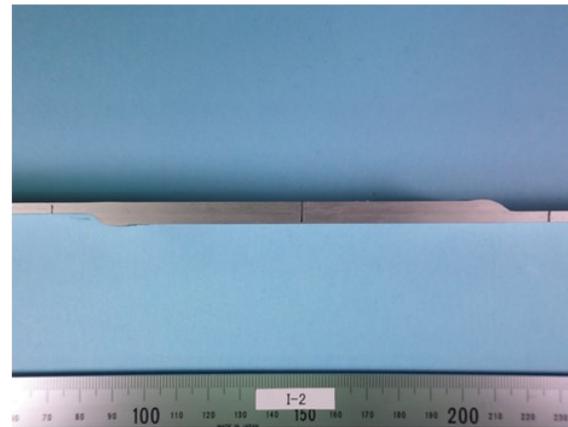
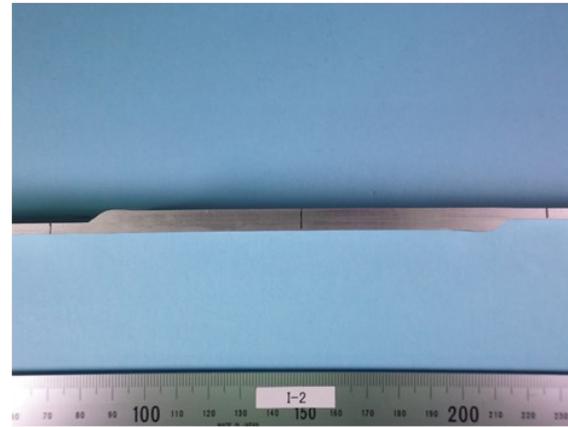
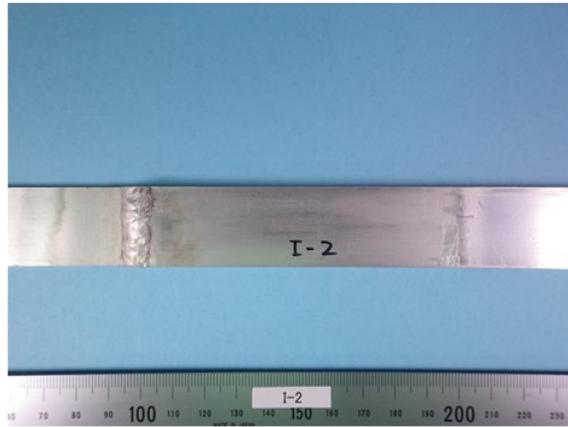
☆荷重負荷形式(荷重方向):引張り

☆応力比=0.1

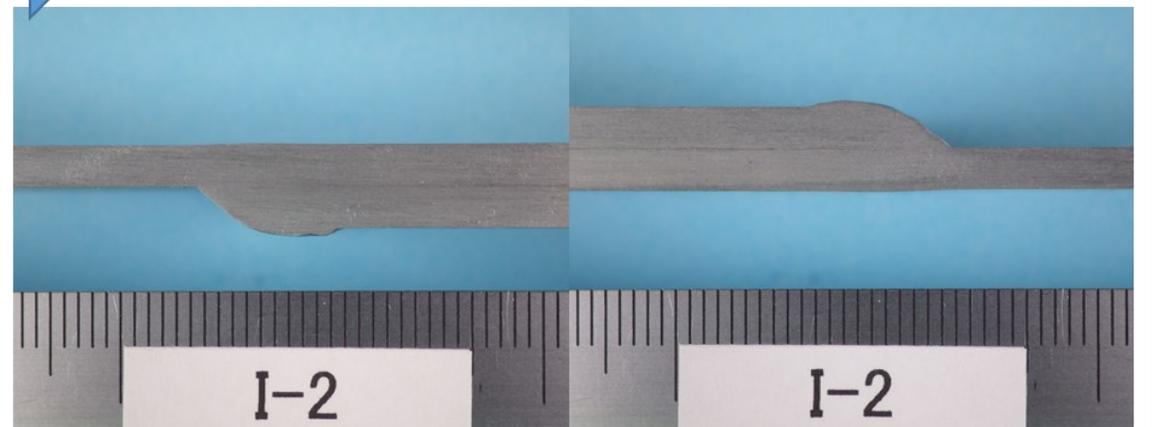
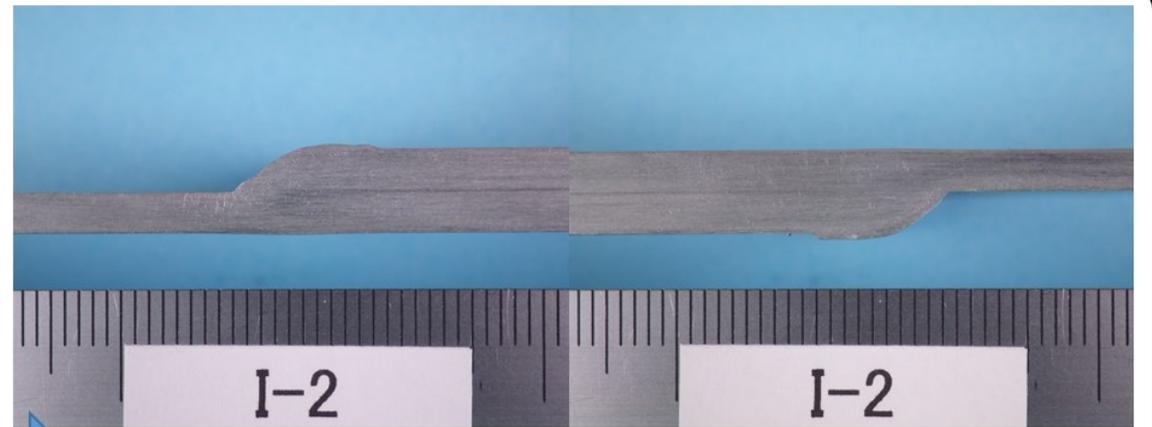
溶接品質は実際の構体製作時の検査基準

止端部orルート部のどちらが起点となるか見極める

試験片の写真



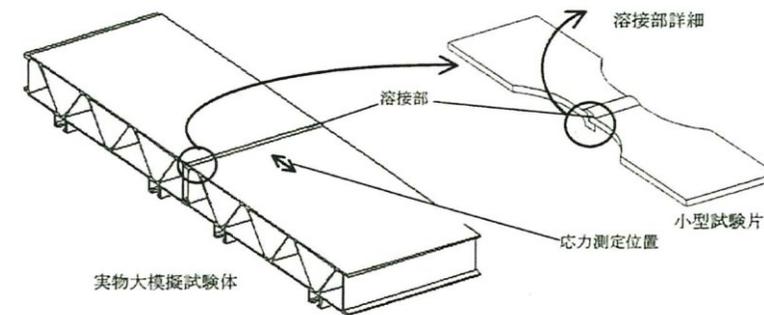
上面・下面



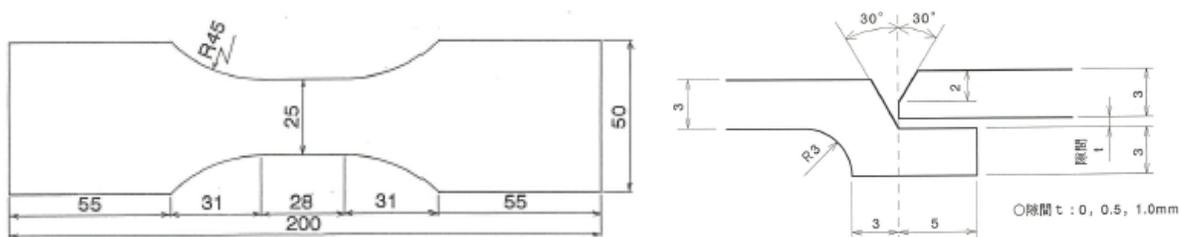
側面

②片側開先突合わせ溶接継手(余盛削除、裏当有り)

2003年のアルミ車両委員会の結果の整理

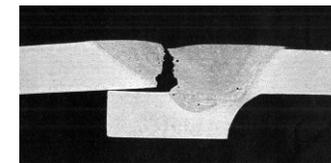


小型試験片



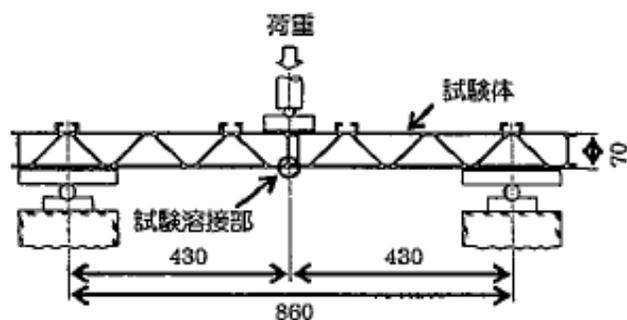
- 疲労試験条件:
- ・応力比=0.1
 - ・荷重方向:引張・圧縮
 - ・試験速度:15Hz
 - ・試験打切り繰返し数: 10^7 回

余盛り有り無しとも、
ルート部破壊



S-N曲線はほぼ一致

実物大試験片



- 疲労試験条件:
- ・応力比=0.1
 - ・荷重方向:3点曲げ
 - ・試験速度:3Hz
 - ・試験打切り繰返し数: 2×10^6 回

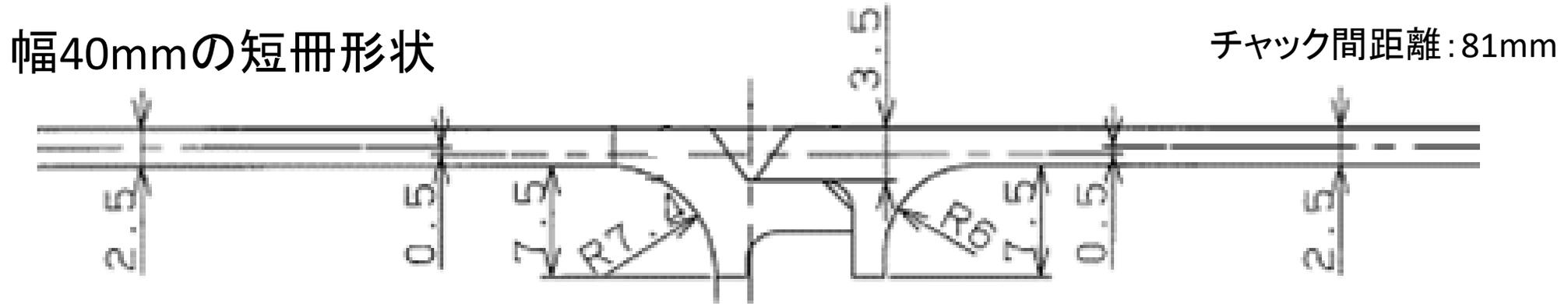
余盛り有り無しとも、表面破壊



小型試験片で表面破壊する場合のS-N曲線を求めることとする。

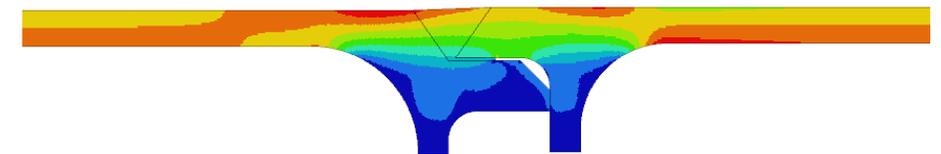
②片側開先突合わせ溶接継手(余盛削除、裏当有り)
対象(破断)位置:止端相当部

引張圧縮荷重(応力比0.1, 2021年度実施)



試験片形状(ルート部破壊防止タイプ):板部下面を削り、中心軸を表側にずらすことで、ルート部の引張応力を低減

溶接品質は実際の構体製作時の検査基準

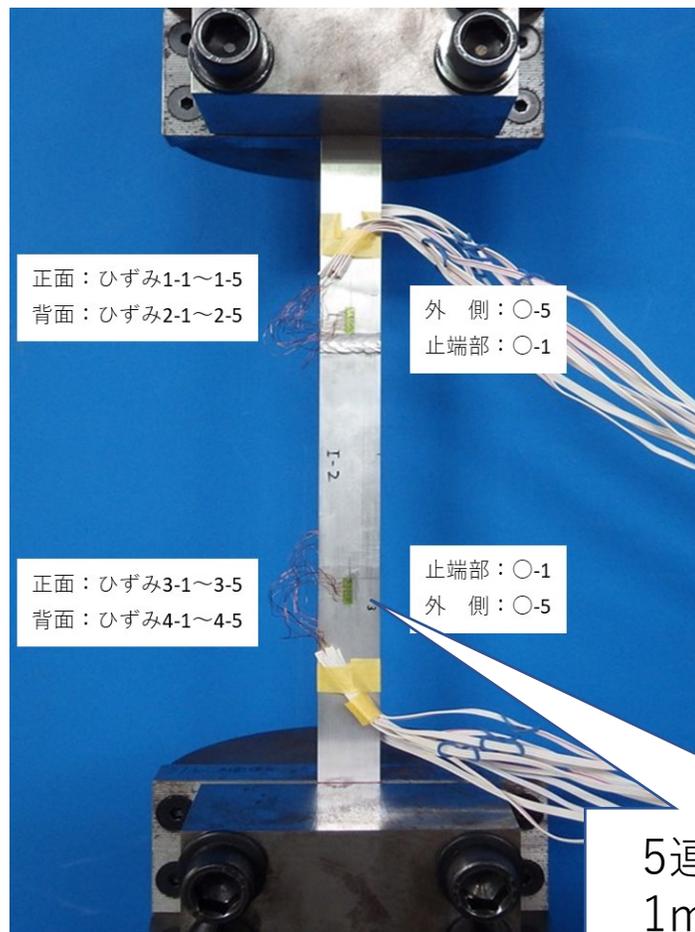


FEM解析を実施し、ルート部の引張応力低減を確認

各溶接継手の基本事項確認として、母材の引張試験、継手の組織観察(マクロ、ミクロ)、硬さ(HV)分布測定を実施した(本講演では割愛)。

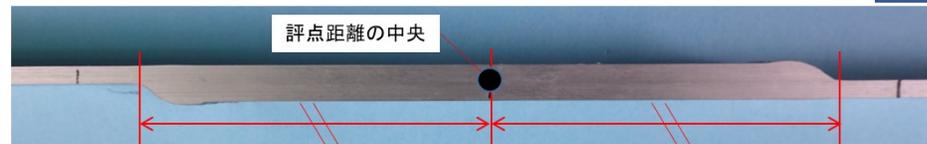
また、準静的試験をJIS Z2241(金属材料引張試験方法)に準拠して実施した。

①すみ肉溶接試験片

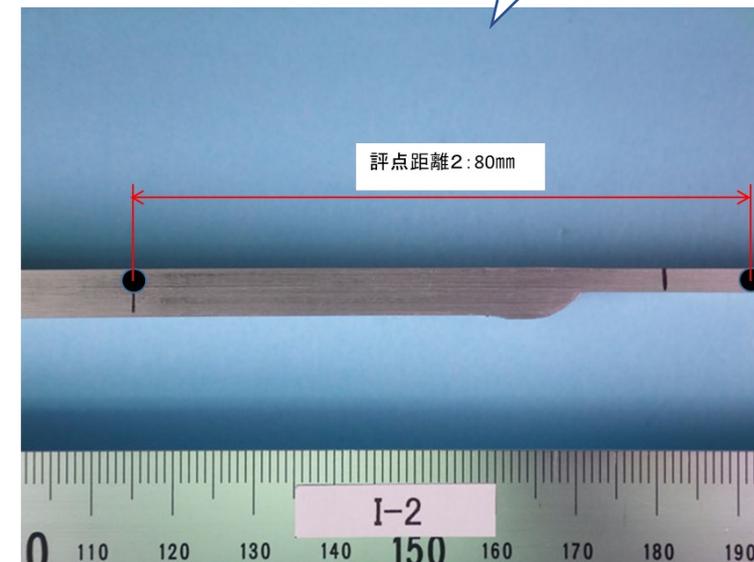
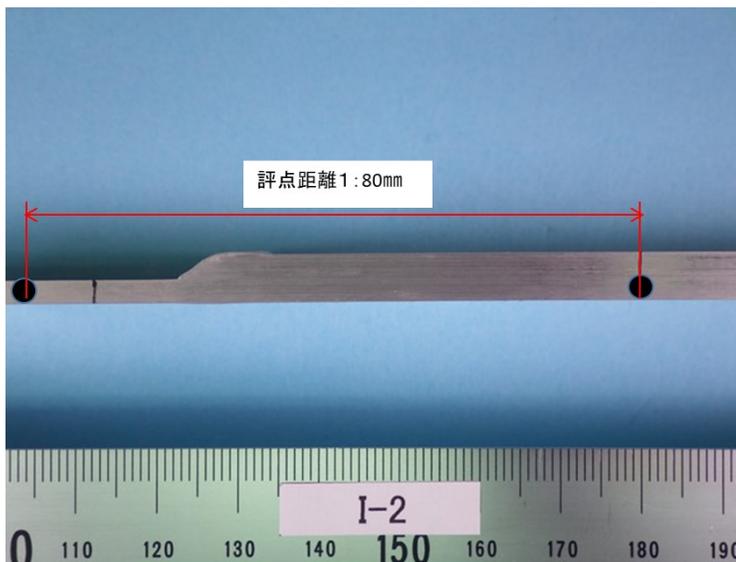


5連ゲージ(ゲージ長1mm、ピッチ2mm)

評点距離の中央は、止端部間の中央とする



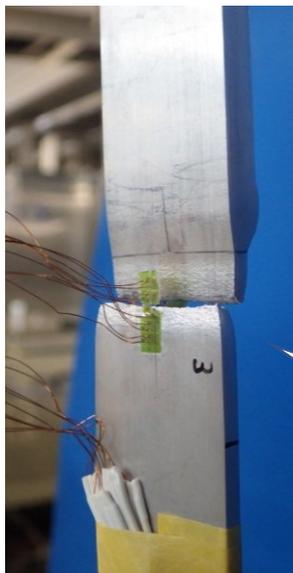
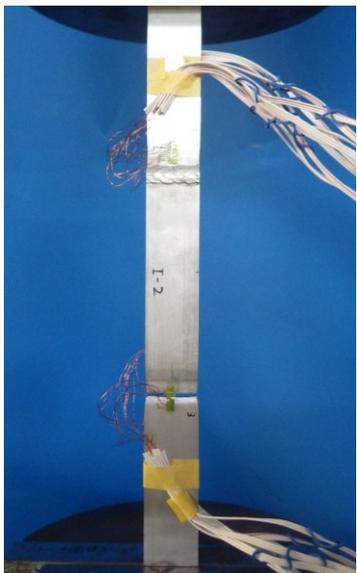
評点距離は (評点距離1 + 評点距離2) = 160mmに設定



※評点距離位置には、マジックでマーキングし、画像相関法にて測定致します。

①すみ肉溶接試験片

準静的引張試験結果



止端部から8mm
程度の位置で破断

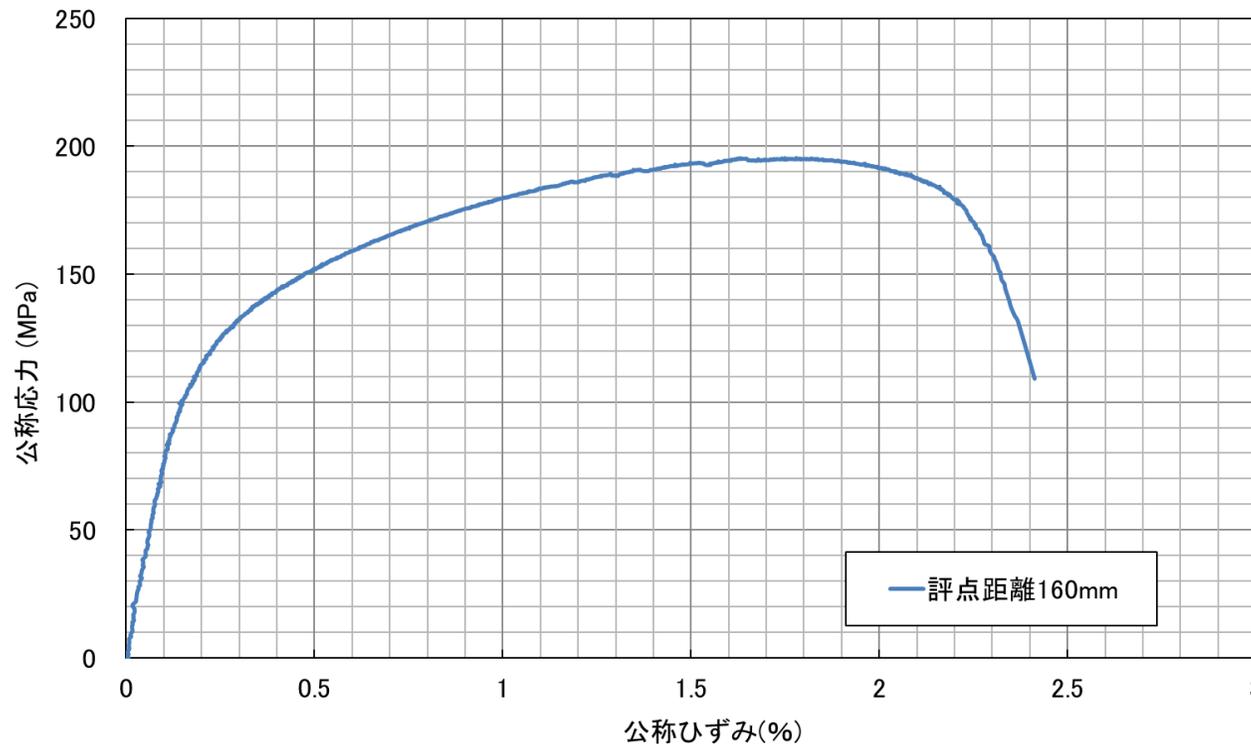
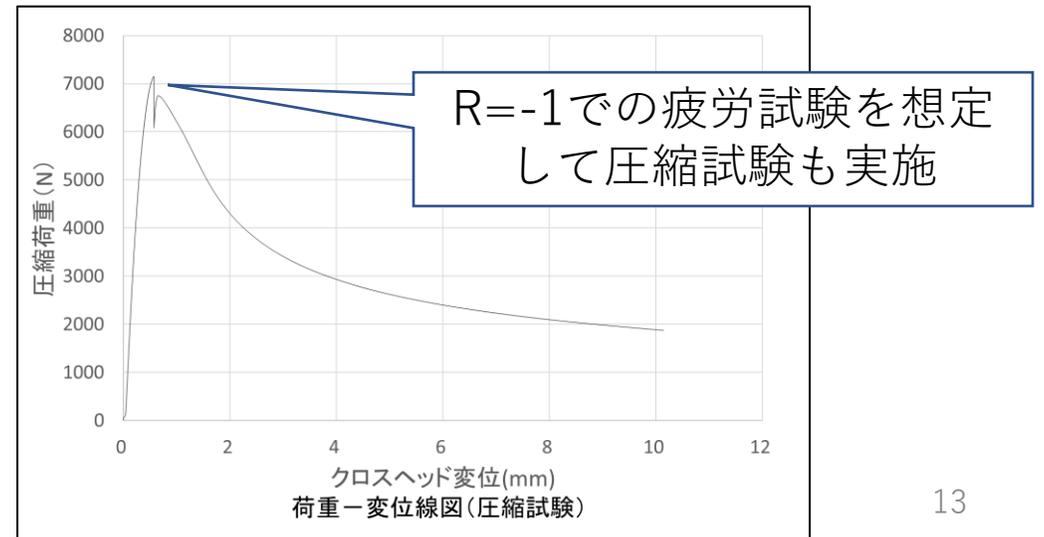
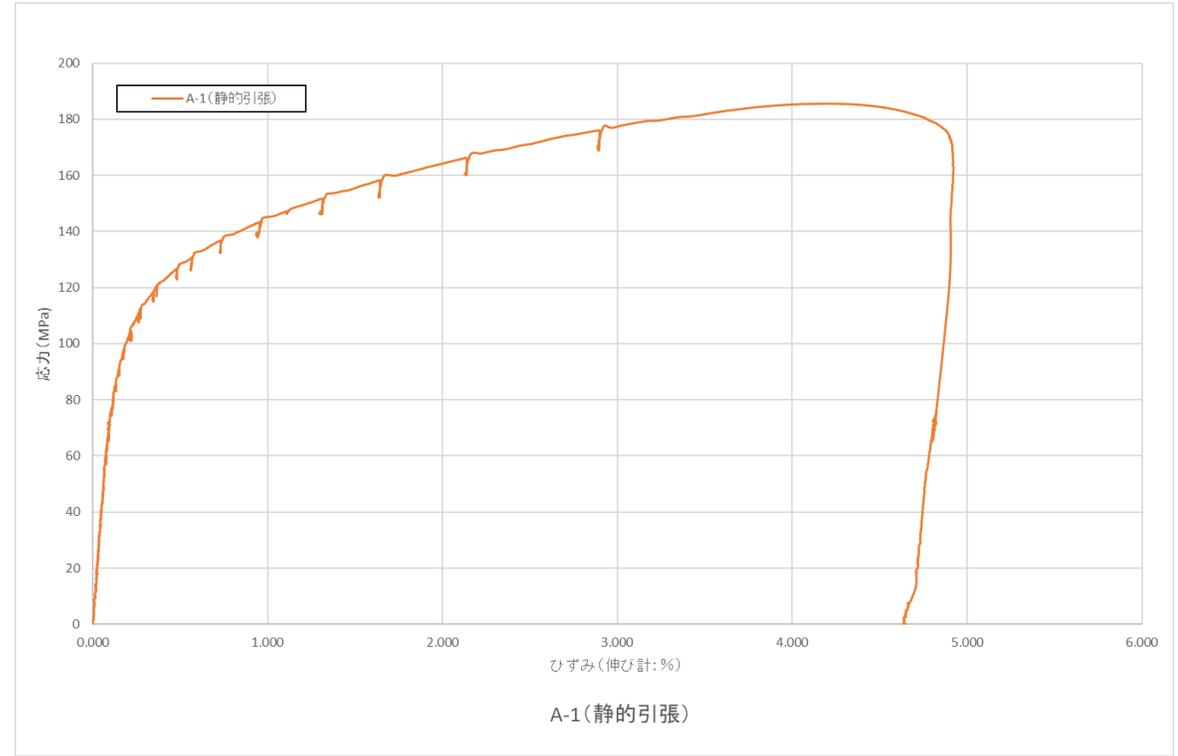
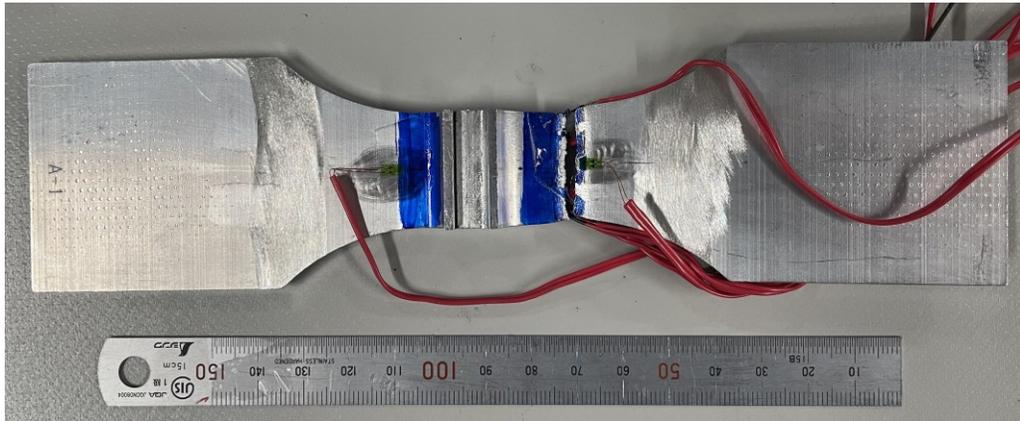
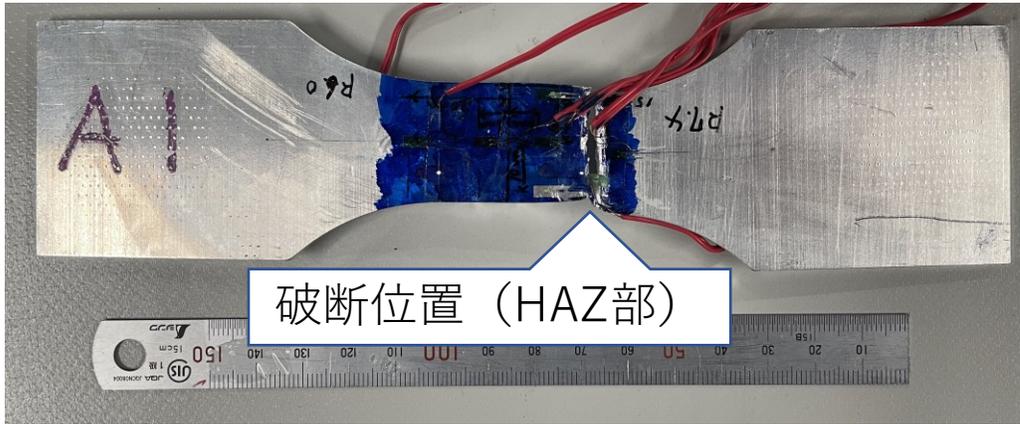


図 公称応力-公称ひずみ線図(試験片番号:I-2)

引張試験結果を参考に、疲労試験の荷重条件を設定

②突合わせ溶接試験片

準静的引張試験結果



R=-1での疲労試験を想定して圧縮試験も実施

疲労試験

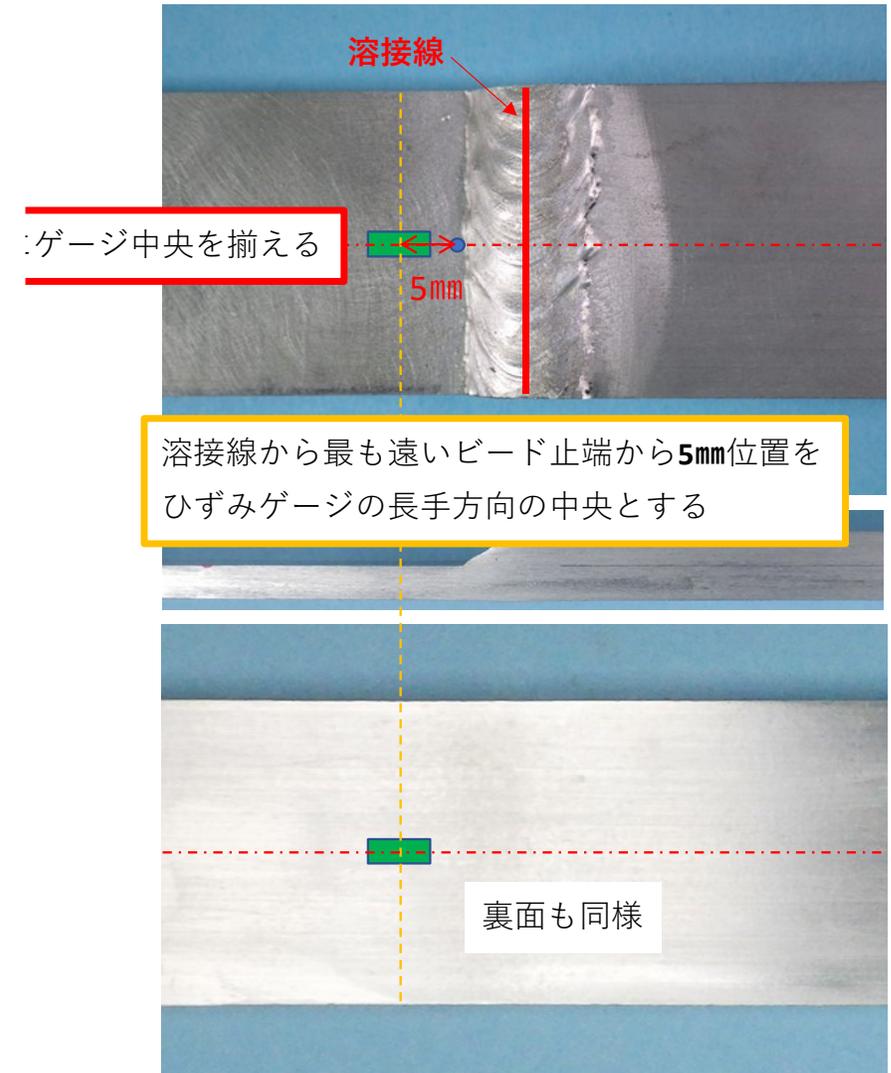
①すみ肉溶接試験片



試験環境	室温 (23°C ± 5°C) ・ 大気中
制御	荷重制御
負荷様式	軸力引張
波形	sin波
応力比	R = 0.1
周波数	30Hz
最大繰返し数	1.0 × 10 ⁷ cycles
試験停止条件	破断または最大繰返し数到達時

疲労試験

単軸ひずみゲージ
(ゲージ長5mm)



すみ肉溶接試験片(A6005CS-T5)の疲労試験結果

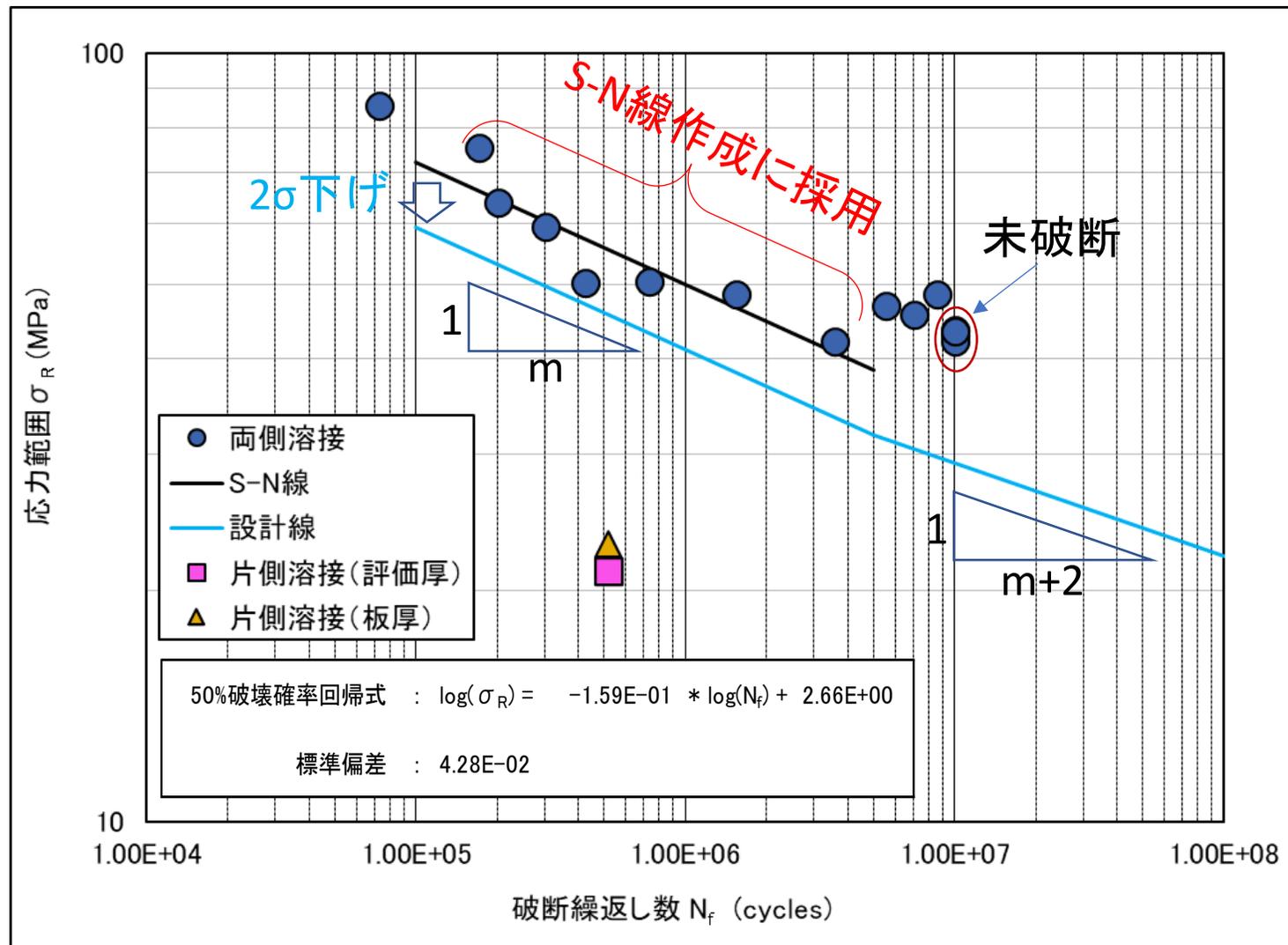
H-2のみ片側溶接、その他は全て両側溶接(破断は全て溶接止端部起点)

試験片 番号	板厚 t(mm)	板幅 W(mm)	断面積 A(mm ²)	応力比 R	公称応力 (MPa)				荷重 (kN)				ひずみゲージ 応力範囲 (MPa)	周波数 (Hz)	破断 繰返し数 N _f (cycles)	備考
					最大 σ _{max}	平均 σ _{mean}	最小 σ _{min}	範囲 σ _R	最大 P _{max}	平均 P _{mean}	最小 P _{min}	範囲 P _R				
A-1	3.17	25.00	79.19	0.1	47.7	26.2	4.8	42.9	3.78	2.08	0.38	3.40	89	30	>1.00E+07	未破断
A-2	3.15	25.04	78.88		65.9	36.3	6.6	59.3	5.20	2.86	0.52	4.68	123	30	3.02E+05	溶接止端部(ひずみ4)
B-1	3.09	25.07	77.38		71.1	39.1	7.1	64.0	5.50	3.03	0.55	4.95	124	30	2.01E+05	溶接止端部(ひずみ4)
B-2	3.08	25.05	77.09		55.8	30.7	5.6	50.2	4.30	2.37	0.43	3.87	108	30	4.25E+05	溶接止端部(ひずみ4)
C-1	3.08	25.01	76.90		52.0	28.6	5.2	46.8	4.00	2.20	0.40	3.60	95	30	5.55E+06	溶接止端部(ひずみ1)
C-2	3.06	25.07	76.81		56.0	30.8	5.6	50.4	4.30	2.37	0.43	3.87	107	30	7.37E+05	溶接止端部(ひずみ4)
D-1	3.16	24.99	78.98		50.6	27.9	5.1	45.6	4.00	2.20	0.40	3.60	94	30	7.05E+06	溶接止端部(ひずみ4)
D-2	3.21	25.09	80.62		46.9	25.8	4.7	42.2	3.78	2.08	0.38	3.40	93	30	3.59E+06	溶接止端部(ひずみ1)
E-1	2.95	25.00	73.61		46.8	25.7	4.7	42.1	3.44	1.89	0.34	3.10	94	30	>1.00E+07	未破断
E-2	2.95	24.86	73.39		48.5	26.7	4.9	43.6	3.56	1.96	0.36	3.20	92	30	>1.00E+07	未破断
F-1	2.94	25.04	73.56		48.3	26.6	4.8	43.5	3.56	1.96	0.36	3.20	96	30	>1.00E+07	未破断
F-2	2.96	25.10	74.36		83.7	46.0	8.4	75.3	6.22	3.42	0.62	5.60	136	30	1.71E+05	溶接止端部(ひずみ4)
G-1	2.90	25.03	72.66		95.0	52.2	9.5	85.5	6.90	3.80	0.69	6.21	147	30	7.31E+04	溶接止端部(ひずみ1)
G-2	2.93	25.05	73.34		53.9	29.7	5.4	48.5	3.96	2.18	0.40	3.56	97	30	8.63E+06	溶接止端部(ひずみ1)
H-1	2.93	25.04	73.32		54.0	29.7	5.4	48.6	3.96	2.18	0.40	3.56	105	30	1.55E+06	溶接止端部(ひずみ4)
H-2	3.23	24.97	80.69		23.5	13.0	2.4	21.2	1.90	1.05	0.19	1.71	77	30	5.15E+05	ルート部破断
H-2	2.98	24.97	74.36	25.6	14.1	2.6	23.0	1.90	1.05	0.19	1.71					

※H-2の上段は、評価厚から算出した公称応力。下段は、板厚から算出した通常公称応力である。

制御: 荷重制御
 波形: サイン波
 環境: 室温・大気中
 応力比: R = 0.1

すみ肉溶接試験片 (A6005CS-T5)、公称応力で整理

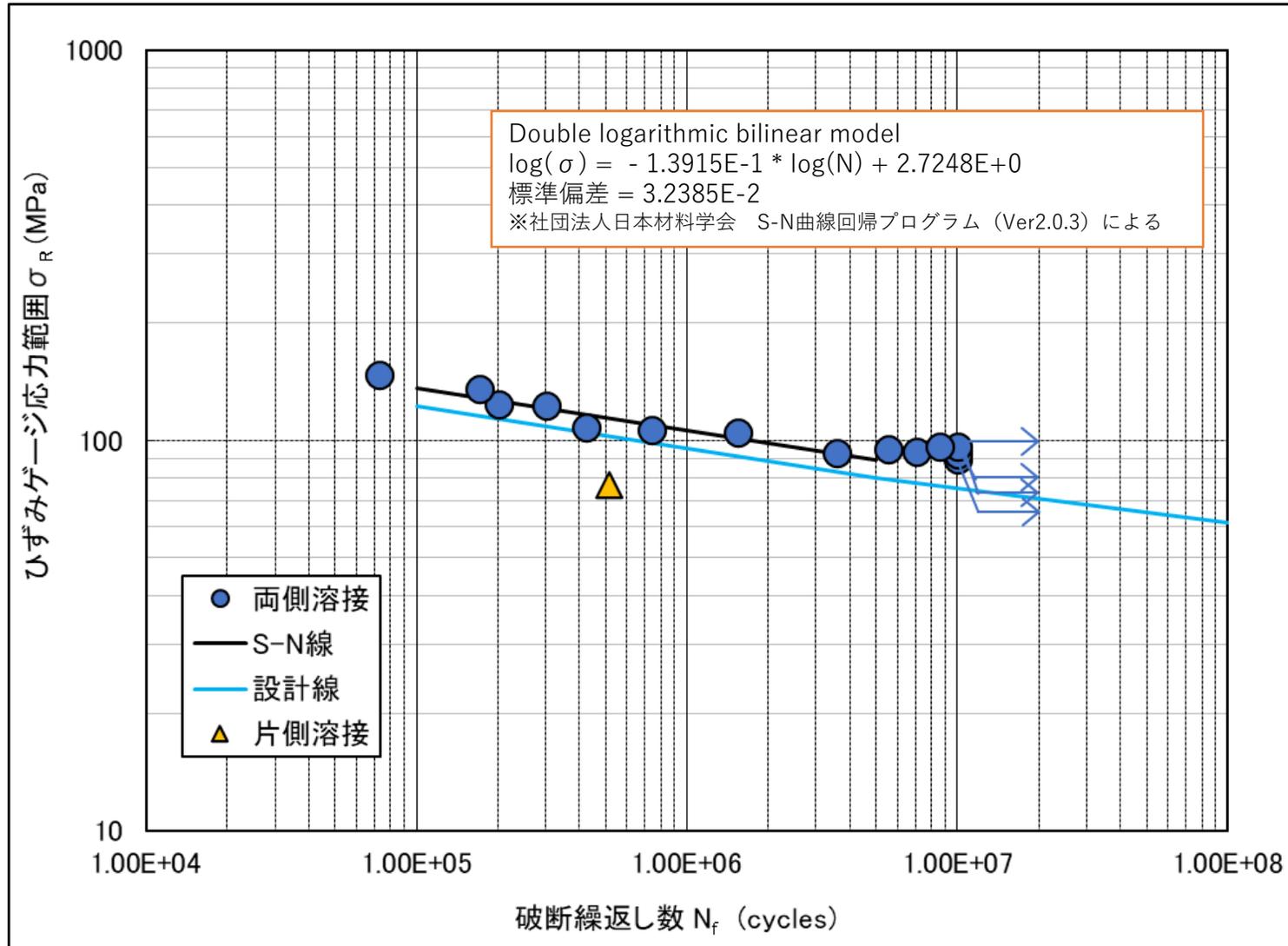


応力範囲 (MPa)	
48.6	破断
48.5	破断
46.8	破断
45.6	破断
43.6	未破断
43.5	未破断
42.9	未破断
42.2	破断
42.1	未破断

100万回疲労強度は43MPa

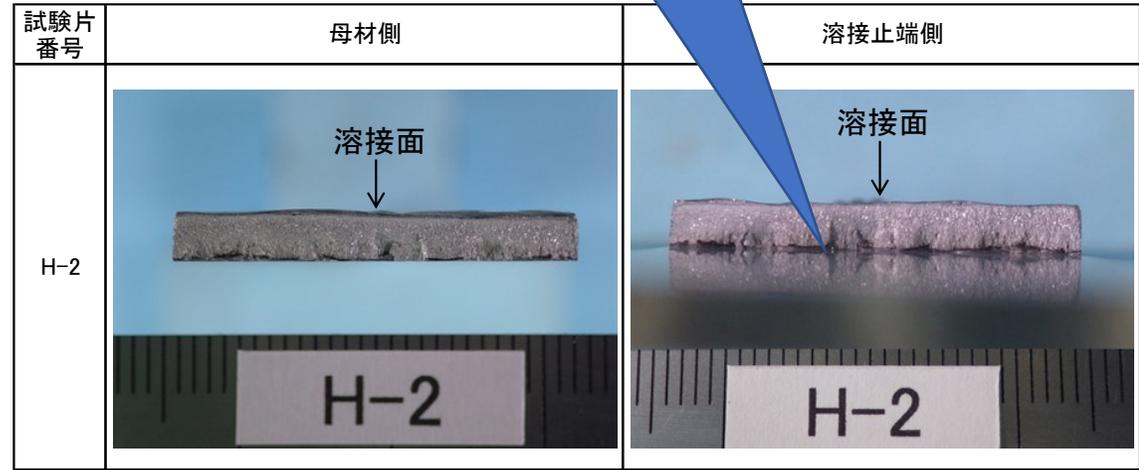
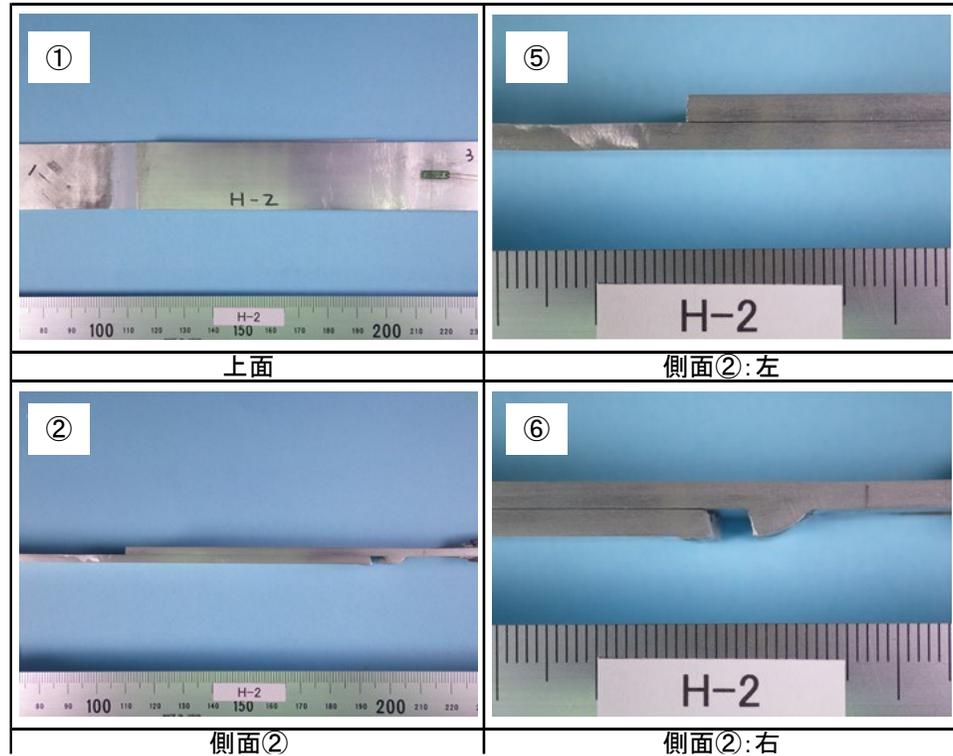
EN規格に準じ、10万回から500万回までのプロットを採用してS-N線を作成
 設計線は2σ下げ、500万回以上は傾きをm+2として作成

すみ肉溶接試験片 (A6005CS-T5)、ひずみゲージ応力で整理



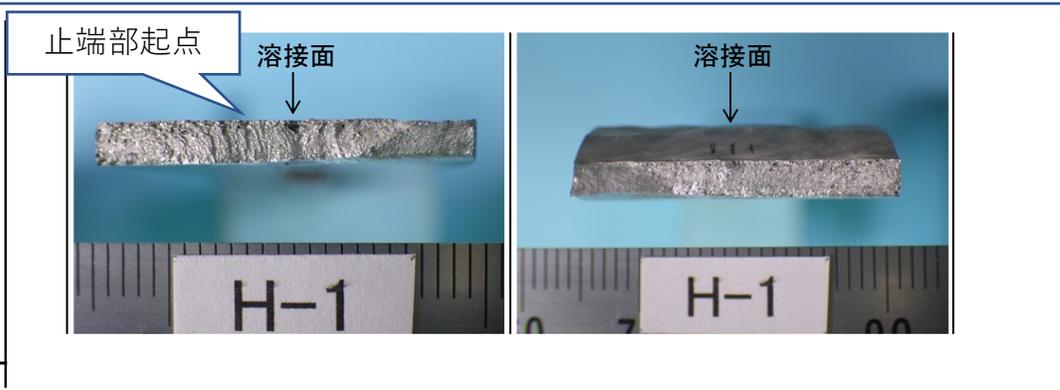
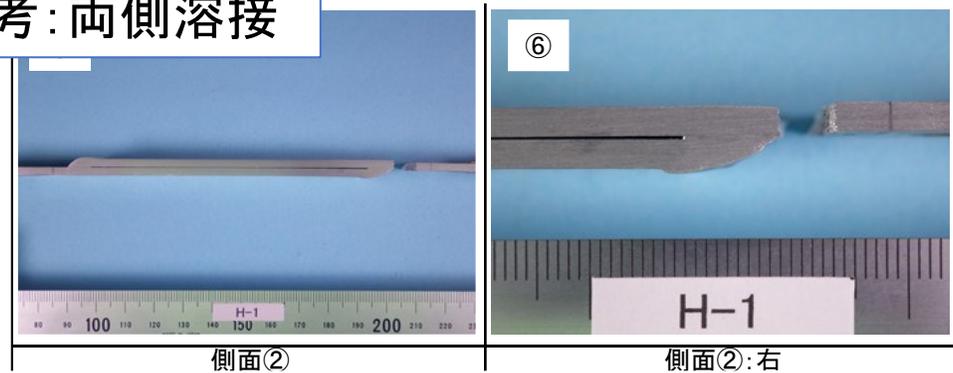
EN規格に準じ、10万回から500万回までのプロットを採用してS-N線を作成
設計線は 2σ 下げ、500万回以上は傾きを $m+2$ として作成

すみ肉溶接試験片 (A6005CS-T5)、片側溶接



両側溶接では止端部起点であったのが、片側溶接ではルート部起点となった。
 ⇒片側溶接で、ルート部起点の設計線を得ることとする。

参考：両側溶接



②突合わせ溶接試験片

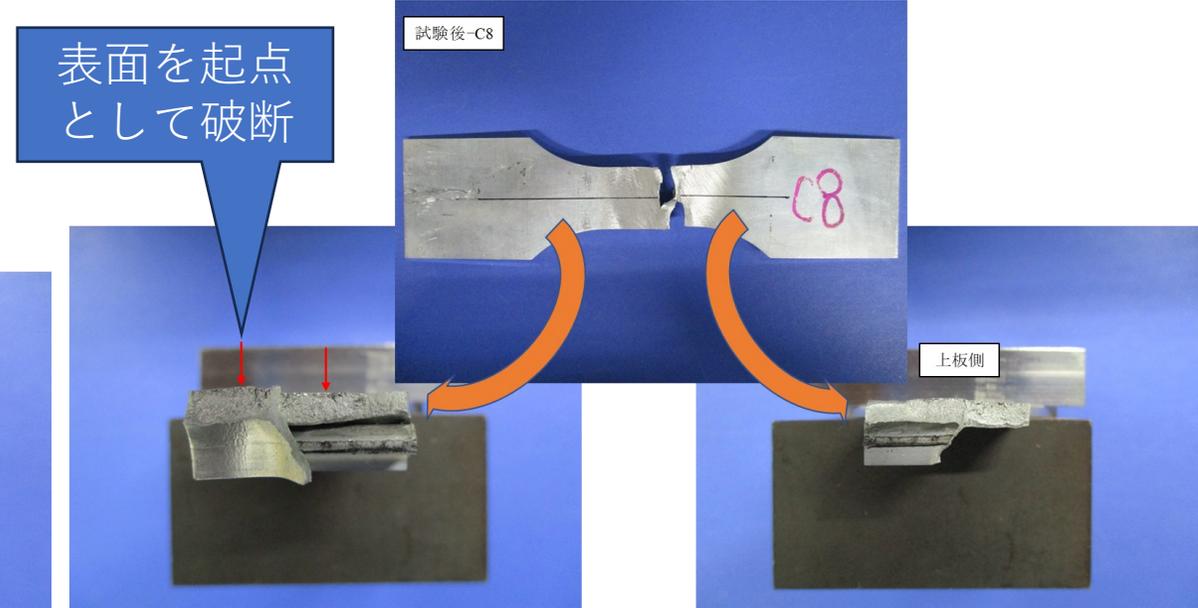
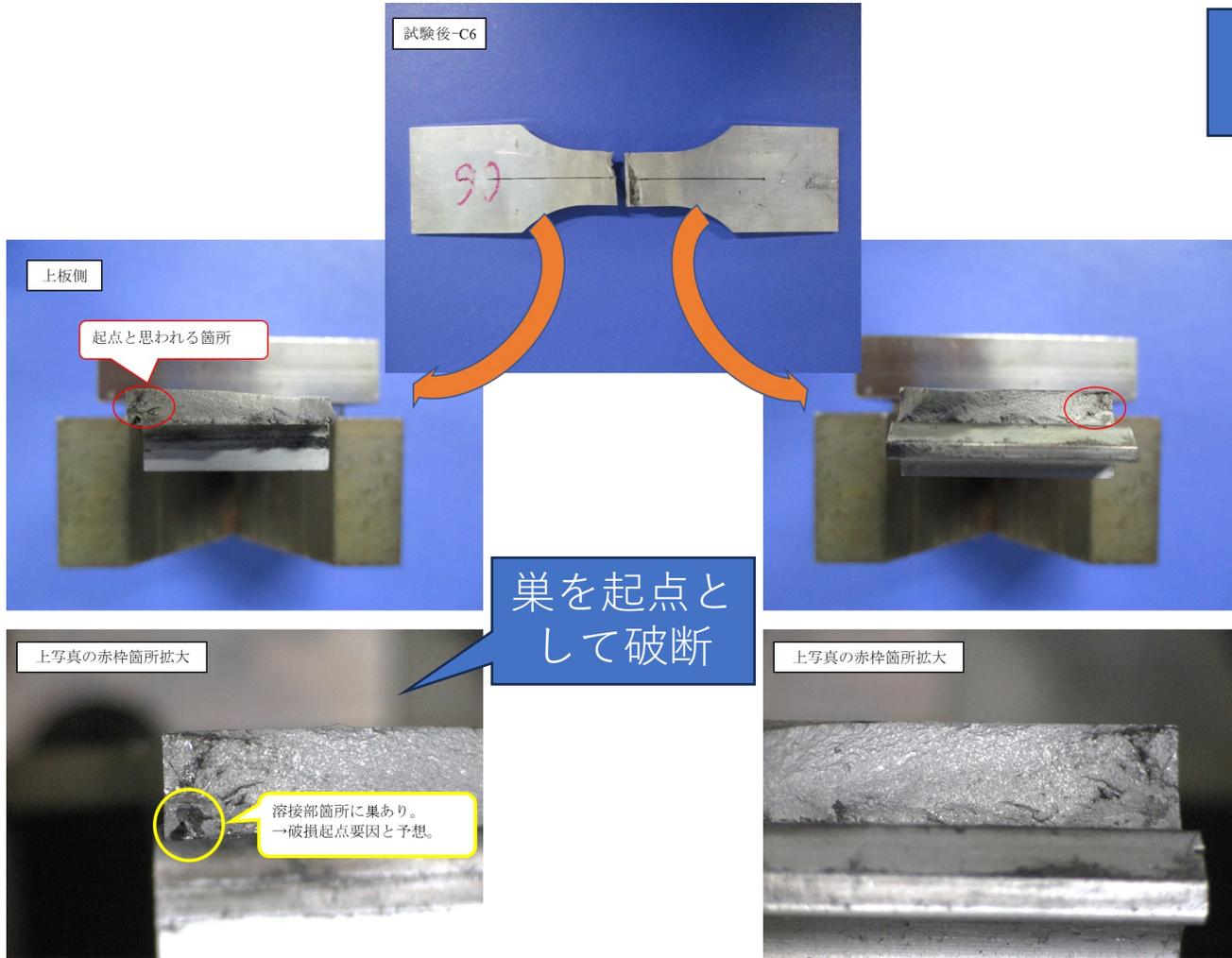
突合せ溶接試験片(A6005CS-T5)の疲労試験結果

	試験片No.	板厚	板幅	断面積	最大荷重	最小荷重	荷重振幅	最大応力	最小応力	応力振幅	応力範囲	応力比	周波数	破断回数 (回)	備考
		t	w	A	Pmax	Pmin	Pa	σ_{max}	σ_{min}	σ_a	$\Delta\sigma$	R	(Hz)		
		(mm)	(mm)	(mm ²)	(KN)	(KN)	(KN)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)				
1	B8	3.40	25.01	85.034	6.80	0.68	3.06	80.0	8.0	36.0	72.0	0.1	20	7.99E+05	破断
2	C1	3.55	24.91	88.431	9.83	0.98	4.42	111.1	11.1	50.0	100.0	0.1	20	1.23E+05	破断
3	C2	3.32	25.01	83.033	7.84	0.78	3.53	94.4	9.4	42.5	85.0	0.1	20	5.13E+05	破断
4	C3	3.25	25.00	81.250	5.42	0.54	2.44	66.7	6.7	30.0	60.0	0.1	20	1.00E+07	未破断
5	C4	3.28	25.01	82.033	5.92	0.59	2.67	72.2	7.2	32.5	65.0	0.1	20	1.00E+07	未破断
6	C5	3.19	25.01	79.782	7.98	0.80	3.59	100.0	10.0	45.0	90.0	0.1	20	5.13E+05	破断
7	C6	3.22	25.00	80.500	7.16	0.72	3.22	88.9	8.9	40.0	80.0	0.1	20	4.22E+05	破断
8	C7	3.18	25.02	79.564	6.19	0.62	2.78	77.8	7.8	35.0	70.0	0.1	20	2.16E+06	破断
9	C8	3.23	25.01	80.782	7.18	0.72	3.23	88.9	8.9	40.0	80.0	0.1	20	8.50E+05	破断
10	D1	3.10	24.97	77.407	8.17	0.82	3.68	105.6	10.6	47.5	95.0	0.1	20	4.13E+05	破断

板厚tは、上板の平均厚さ。

突合せ溶接試験片 (A6005CS-T5)

試験片No.C6以外の破断した試験片は全て表面を起点

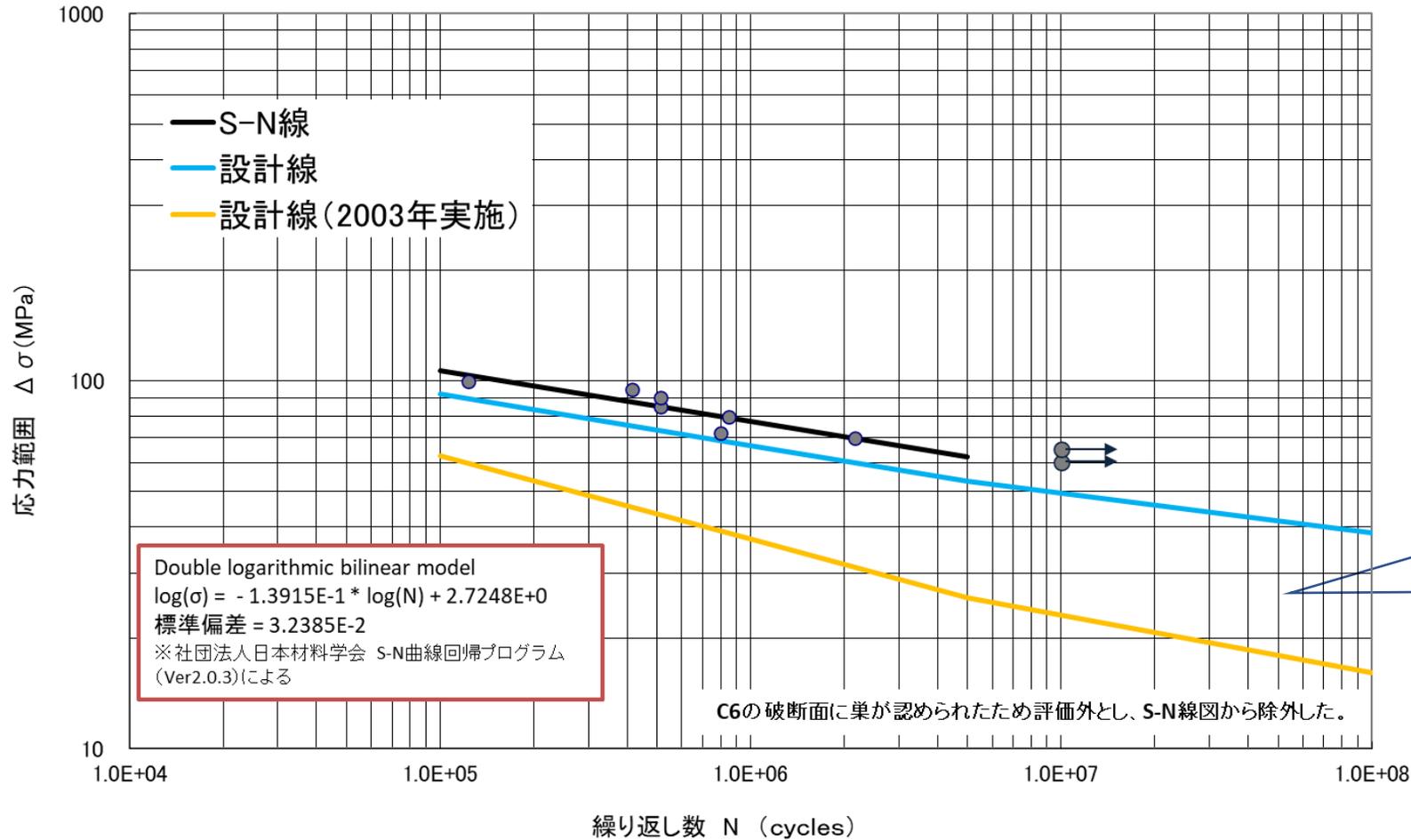


参考: 試験片No.C8(応力範囲80MPa、
繰返し数 8.5×10^5 回)の破断面

S-N線作成のプロットから除外

試験片No.C6(応力範囲80MPa、繰返し数 4.22×10^5 回)の破断面

突合せ溶接試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1

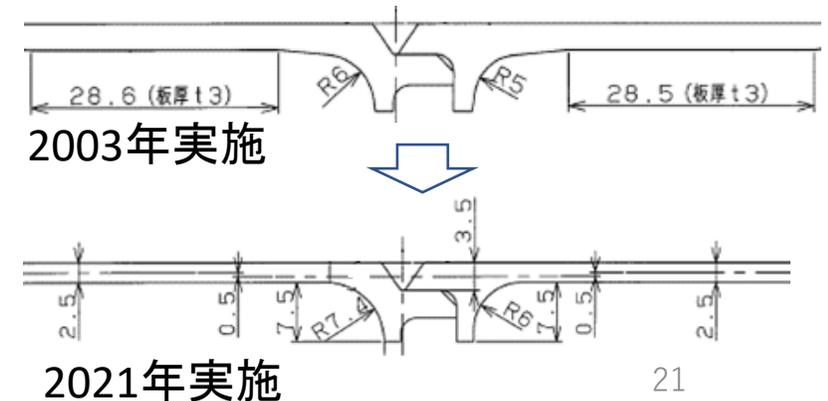


応力範囲 (MPa)	
70	破断
65	未破断
60	未破断



1000万回疲労強度は65MPa (参考値)

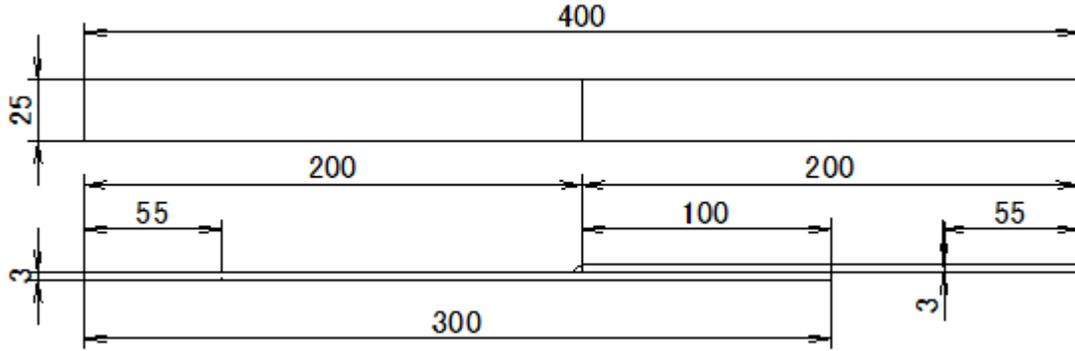
2003年度実施の設計線と比較して、疲労強度が向上している。⇒継手形状の工夫で疲労強度向上できる



2022年度試験実施内容

①片側すみ肉溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1

ひずみゲージは2021年度と同じ位置



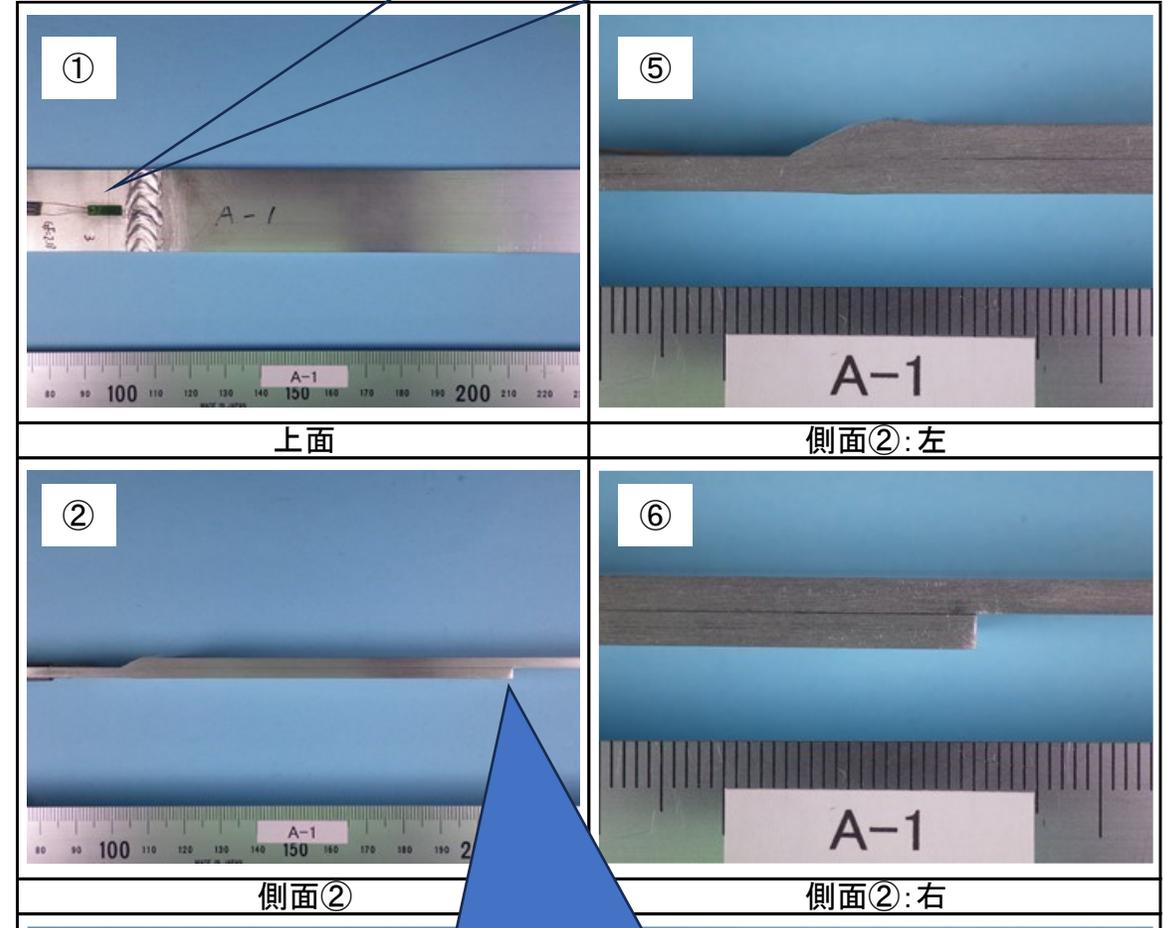
試験片の形状、寸法

疲労試験条件

☆荷重負荷形式(荷重方向): 引張り

☆応力比=0.1

ルート部起点



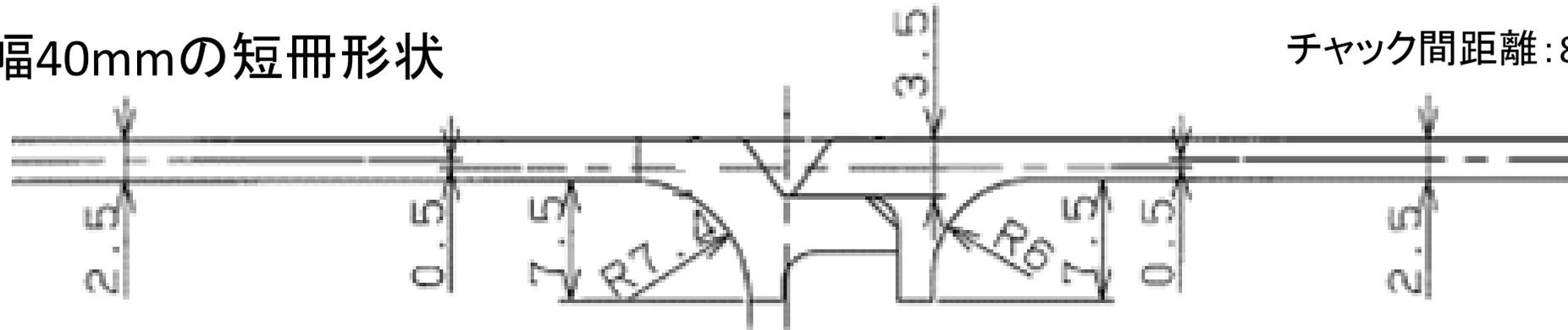
2021年度はこちらにもすみ肉溶接あり
(両側すみ肉溶接継手)

2022年度試験実施内容

②突合せ溶接継手試験片(A6005CS-T5)、表面起点狙い

幅40mmの短冊形状

チャック間距離:81mm



試験片形状(ルート部破壊防止タイプ):板部下面を削り、中心軸を表側にずらすことで、ルート部の引張応力を低減

溶接品質は実際の構体製作時の検査基準

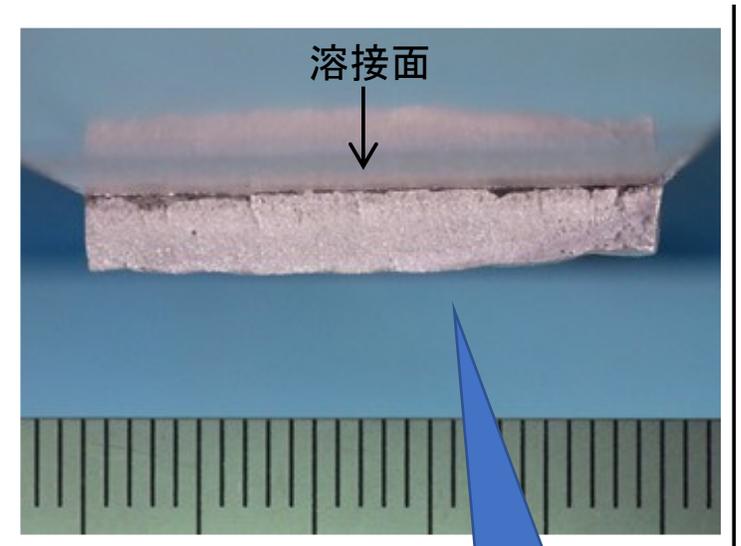
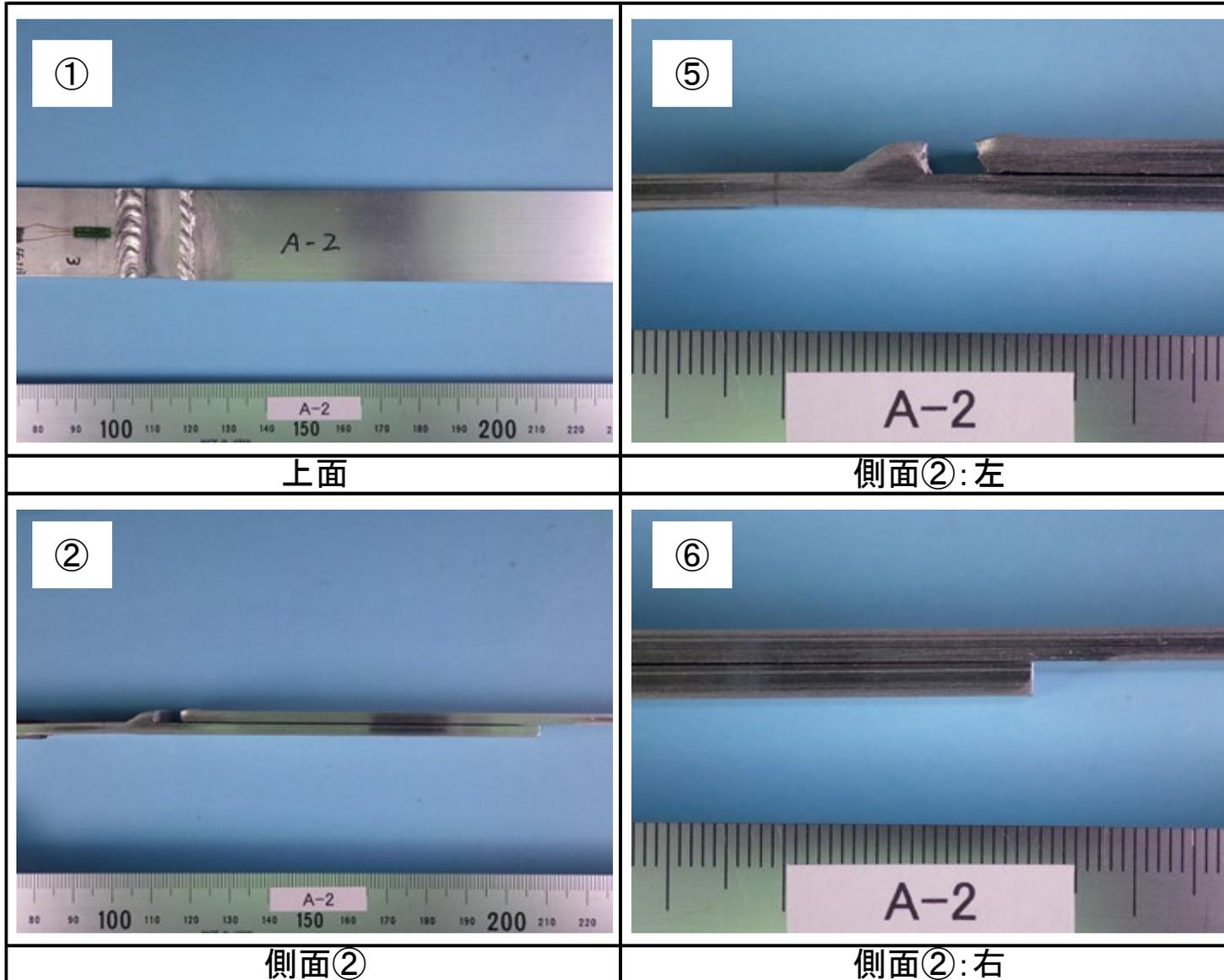
2021年度は応力比 $R=0.1$ で試験実施したが、2022年度は $R=-1$ の条件で実施

①片側すみ肉溶接継手試験片(A6005CS-T5)、R=0.1

試験片 番号	評価厚 t(mm)	板幅 W(mm)	断面積 A(mm ²)	応力比 R	公称応力 (MPa)				荷重 (kN)				ひずみゲージ 応力範囲 (MPa)	周波数 (Hz)	破断 繰返し数 N _f (cycles)	備考
					最大 σ_{max}	平均 σ_{mean}	最小 σ_{min}	範囲 σ_R	最大 P _{max}	平均 P _{mean}	最小 P _{min}	範囲 P _R				
A-1	3.35	25.04	83.9	0.1	31.1	17.1	3.11	28.0	2.611	1.436	0.261	2.350	102.3	30	1.20E+05	ルート部破断
A-2	3.50	25.15	87.9		25.8	14.2	2.58	23.2	2.269	1.248	0.227	2.042	90.8	30	5.53E+05	ルート部破断
B-1	3.34	25.10	83.7		28.0	15.4	2.80	25.2	2.343	1.289	0.234	2.109	90.1	30	2.57E+05	ルート部破断
B-2	3.52	25.02	88.1		20.0	11.0	2.00	18.0	1.762	0.969	0.176	1.586	71.9	30	9.97E+06	ルート部破断
C-2	3.41	25.02	85.2		17.8	9.79	1.78	16.0	1.514	0.833	0.151	1.363	60.0	30	1.00E+07	未破断
D-2	3.62	25.04	90.7		23.3	12.8	2.33	21.0	2.116	1.164	0.212	1.904	84.1	30	9.17E+05	ルート部破断
E-2	3.56	25.02	88.9		18.9	10.4	1.89	17.0	1.680	0.924	0.168	1.512	71.1	30	1.00E+07	未破断
F-1	3.50	25.18	88.1		21.1	11.6	2.11	19.0	1.860	1.023	0.186	1.674	70.4	30	9.61E+05	ルート部破断
F-2	3.44	25.18	86.6		21.1	11.6	2.11	19.0	1.828	1.005	0.183	1.645	70.4	30	6.06E+05	ルート部破断
G-1	3.37	24.96	84.1		20.0	11.0	2.00	18.0	1.682	0.925	0.168	1.514	66.1	30	1.68E+06	ルート部破断
G-2	3.53	24.98	88.2		18.9	10.4	1.89	17.0	1.666	0.916	0.167	1.499	68.4	30	1.00E+07	未破断
H-1	3.46	25.00	86.6		30.0	16.5	3.00	27.0	2.597	1.428	0.260	2.337	99.7	30	2.80E+05	ルート部破断
H-2	3.08	24.96	77.0		19.4	10.7	1.94	17.5	1.497	0.823	0.150	1.347	59.9	30	2.70E+06	ルート部破断
I-1	3.85	25.00	96.3		21.1	11.6	2.11	19.0	2.032	1.118	0.203	1.829	76.6	30	1.60E+06	ルート部破断
I-2	3.58	24.98	89.5		30.0	16.5	3.00	27.0	2.684	1.476	0.268	2.416	99.8	30	1.15E+05	ルート部破断

15回実施、うち3回が未破断、破断は全てルート部起点

試験結果例

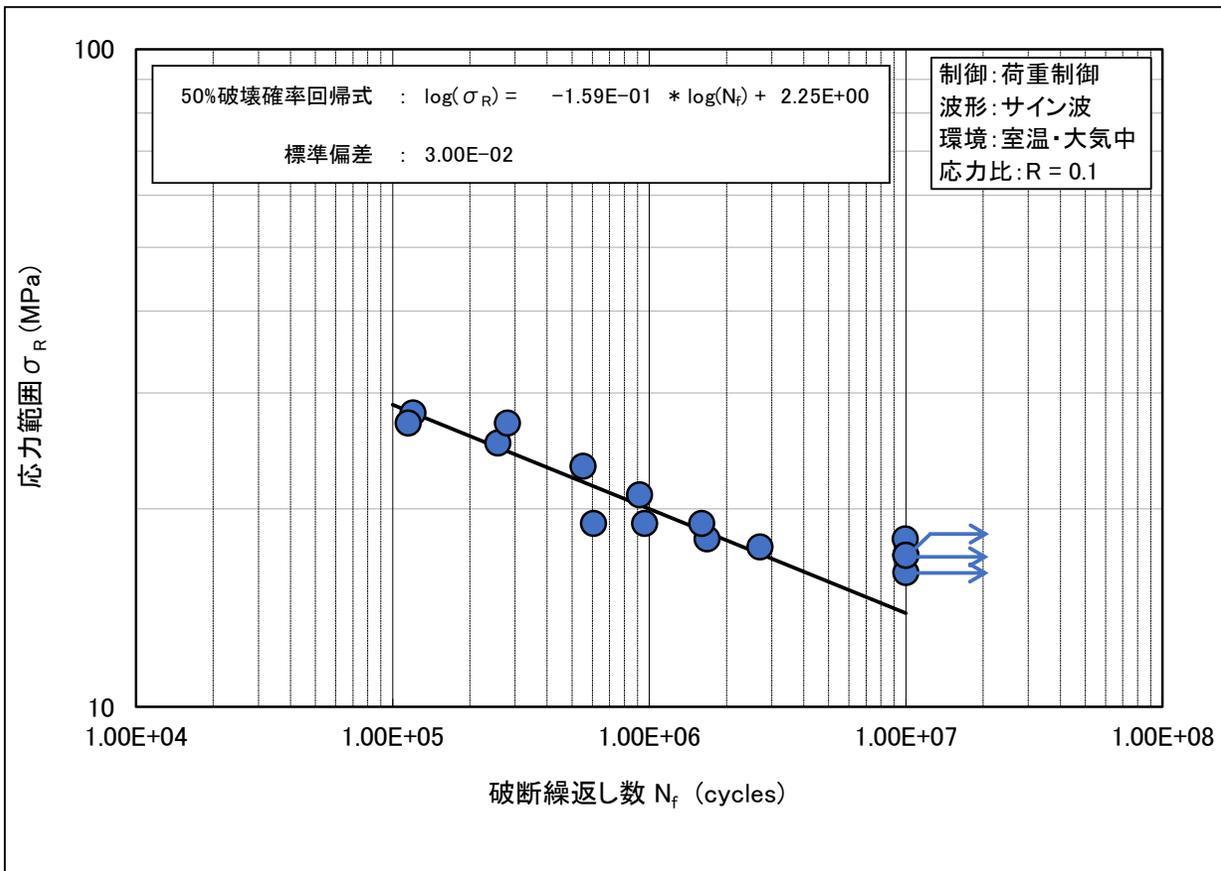


ルート部起点

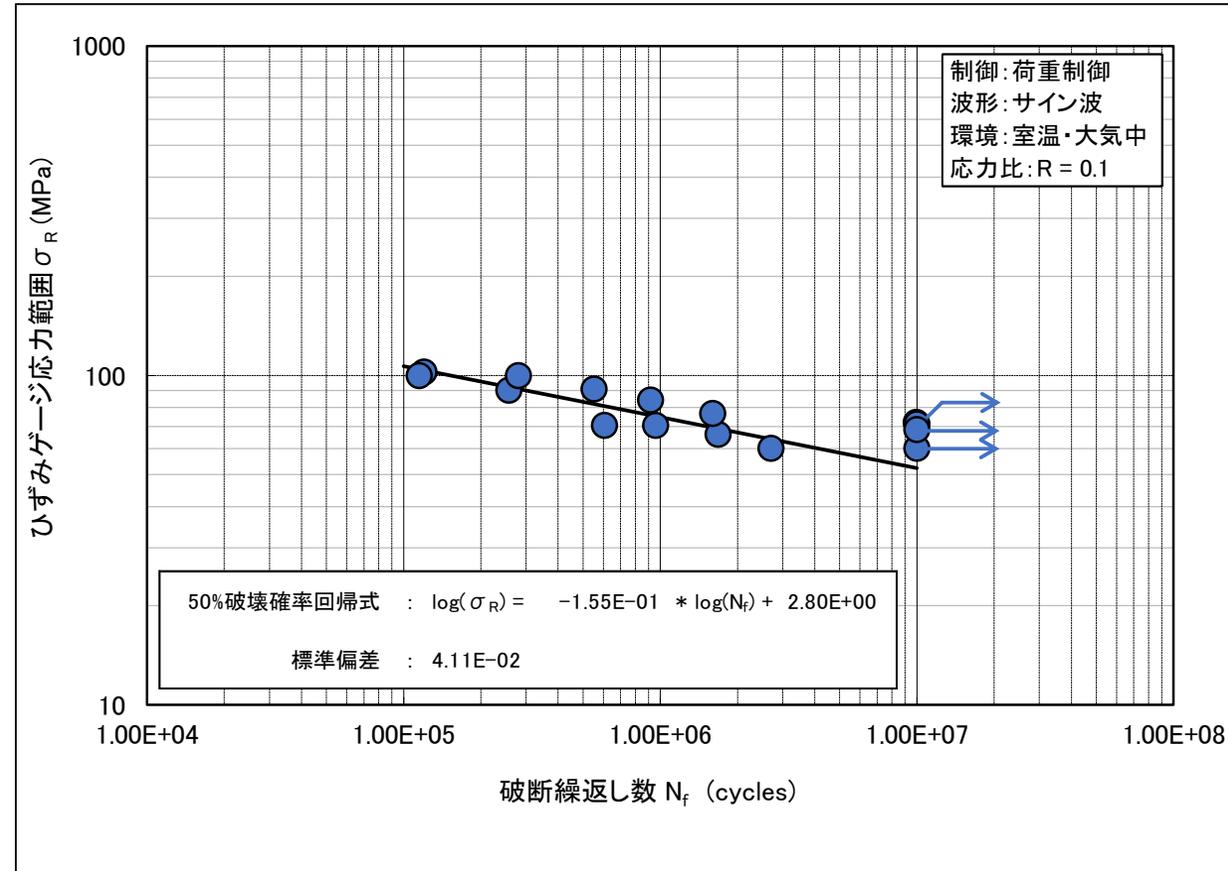
破断は全てルート部起点

片側すみ肉溶接試験片 (A6005CS-T5) 試験結果 (S-N線)

公称応力で整理

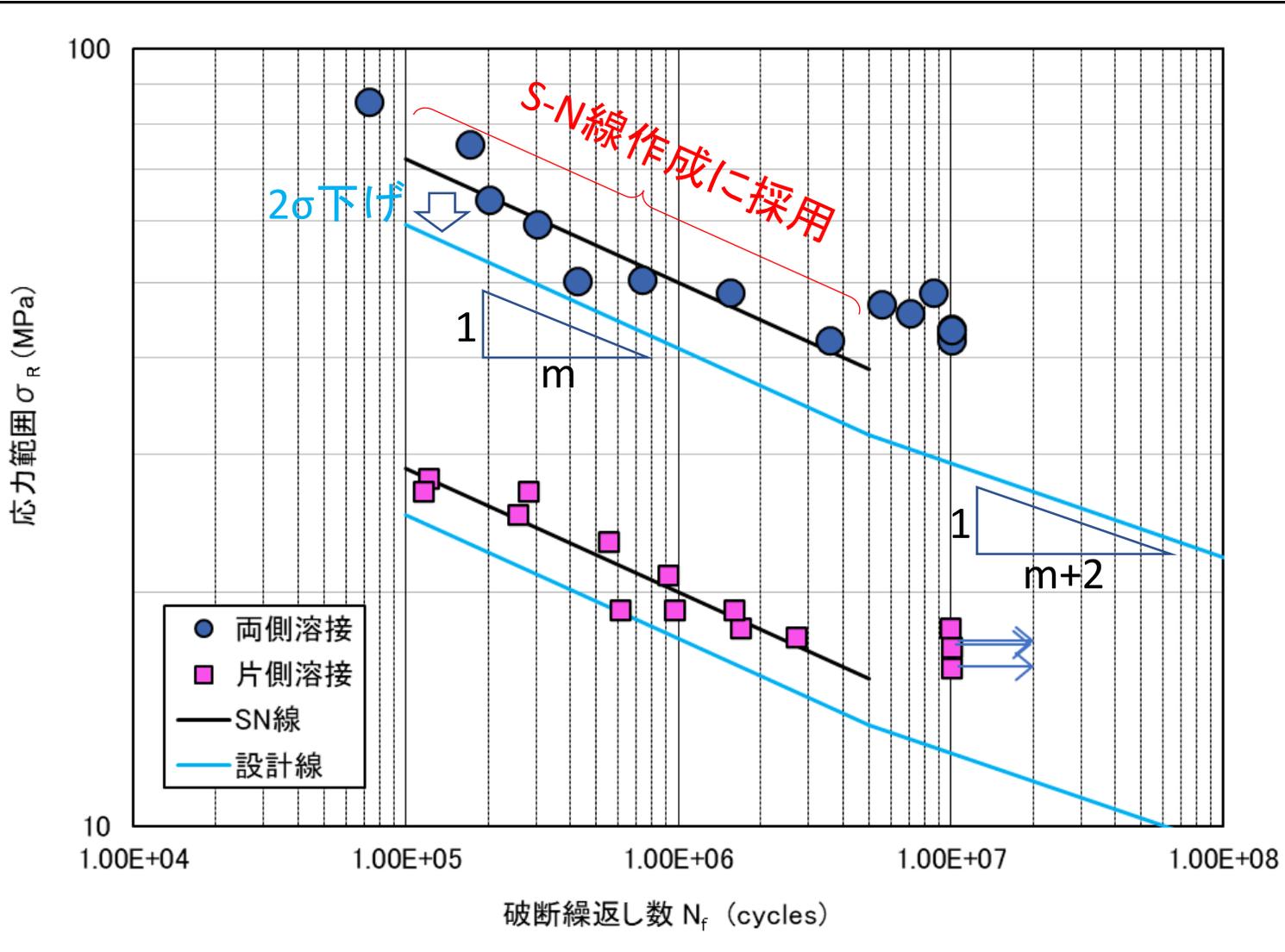


ひずみゲージ応力で整理



すみ肉溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1

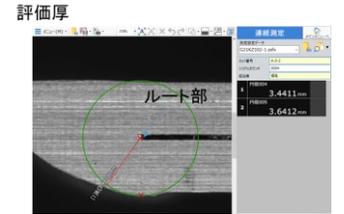
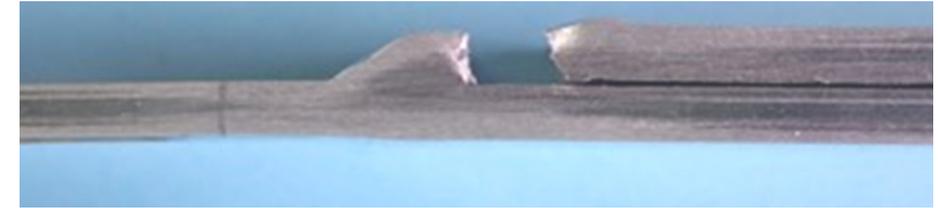
両側溶接と片側溶接の比較 (公称応力で整理)



両側溶接試験片の破断は溶接止端部
 起点⇒板厚から公称応力算出



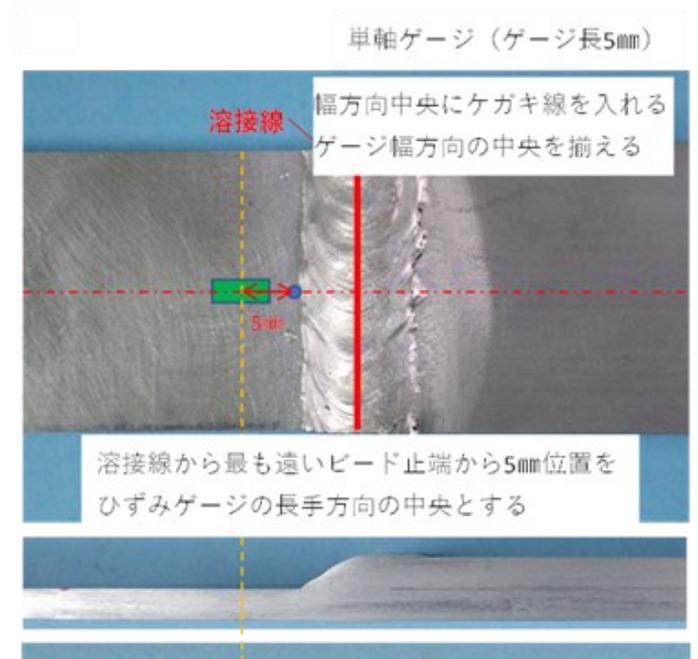
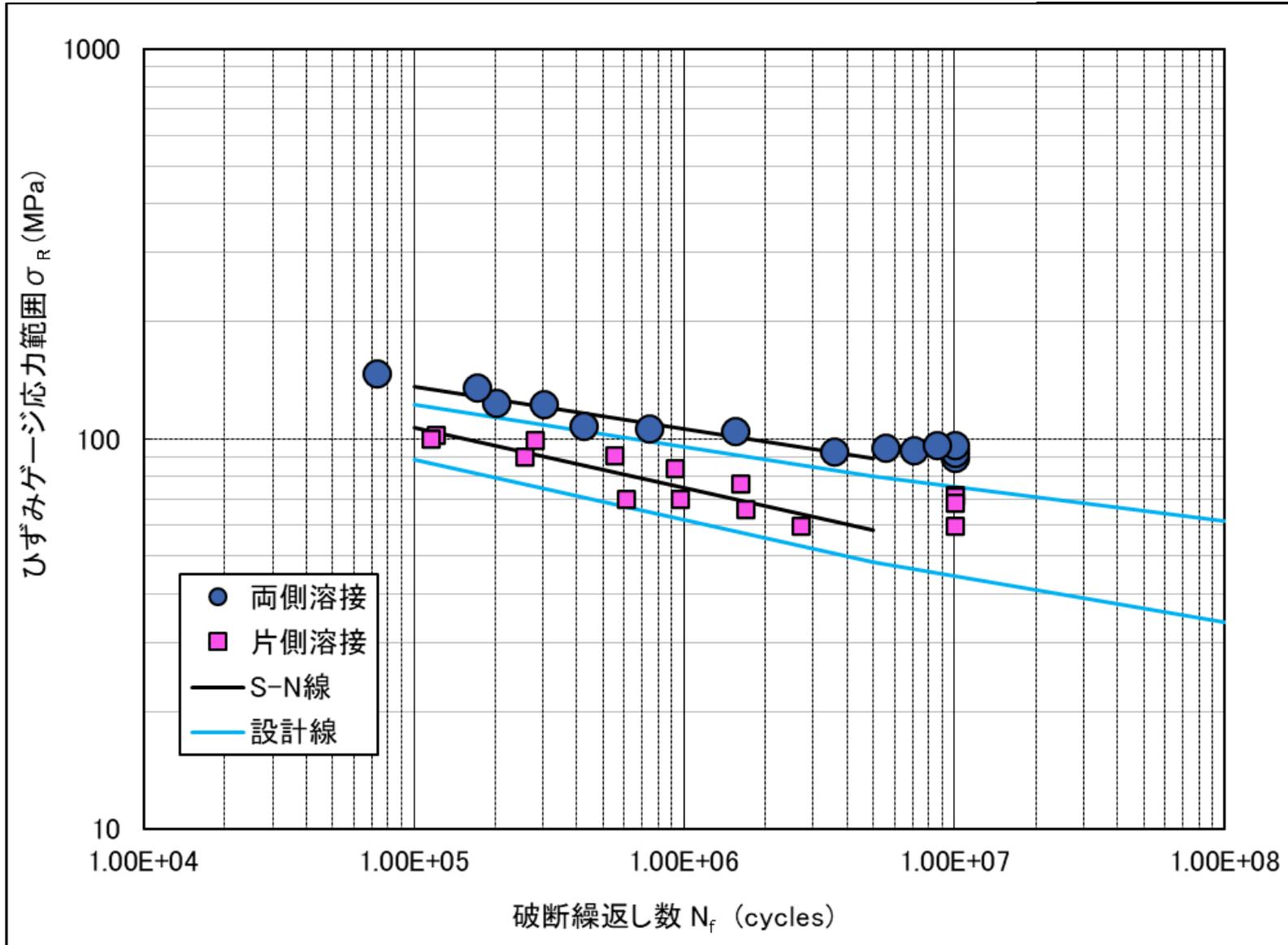
片側溶接試験片の破断は溶接ルート
 部起点⇒評価厚から公称応力算出



EN規格に準じ、10万回から500万回までの
 プロットを採用してS-N線を作成。
 設計線は2σ下げ、500万回以上は傾きを
 m+2として作成。

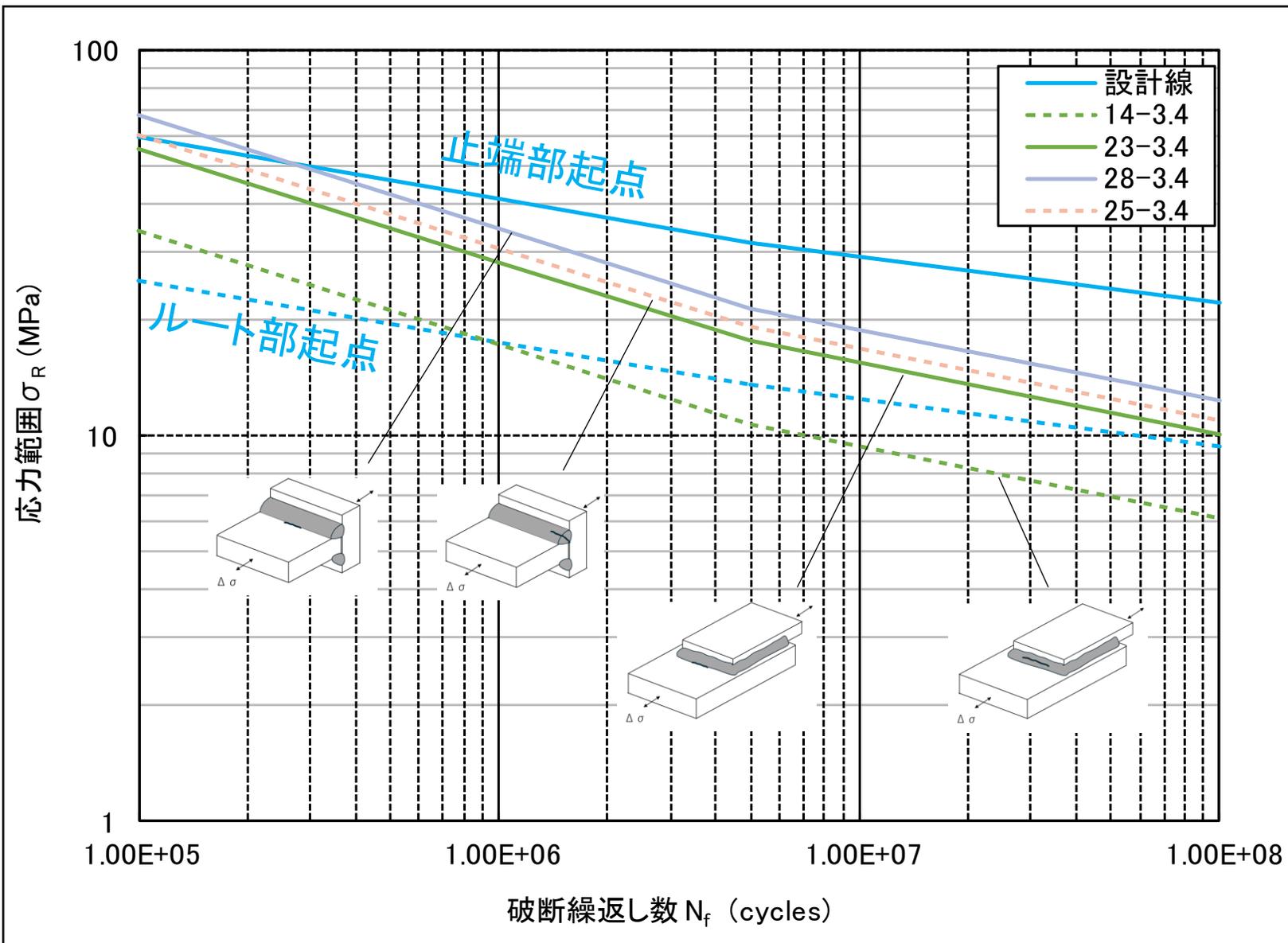
すみ肉溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1

両側溶接と片側溶接の比較 (ひずみゲージ応力で整理)



すみ肉溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1 EN1999との比較

公称応力で整理



・継手形状が異なるものの、EN規格と近い結果が得られた。
 ・EN規格と比較して、特に高サイクル側で強度が高め(10MPa程度)。
 ・6005Cの結果であり、他の合金での適合は参考扱い(参考情報として、ENでは3000系、5000系、6000系、7000系の12種類の合金が対象となっている。突合せ継手も同様)

・ENでは6005Aが対象となっている。6005Aと6005Cの成分の違いはSi(0.5-0.9:0.4-0.9)とMg(0.4-0.7:0.4-0.8)およびCu(0.3:0.35)であるが、ほぼ同等と考えられ、試験結果とEN規格との比較は材質の観点では妥当。

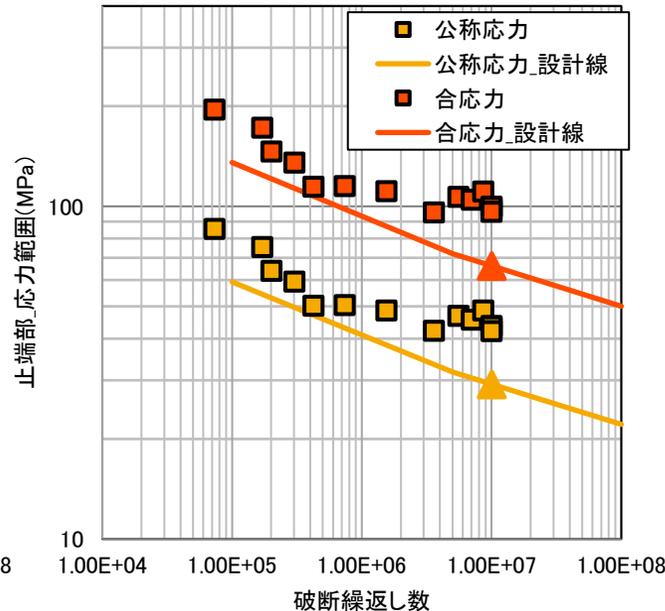
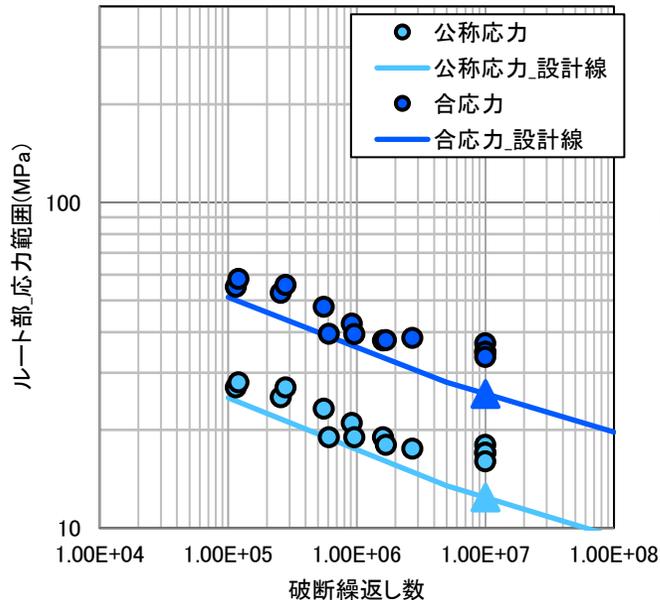
すみ肉溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、R=0.1

本委員会で採用したすみ肉溶接継手試験片は、曲げ変形となる形状であったため、曲げを考慮した合応力で整理した。設計時において、曲げを考慮する場合、合応力による評価が可能である。

$$\text{公称応力} = \frac{\text{並進成分 試験時の並進力}}{\text{評価部の断面積}}$$

$$\text{合応力} = \frac{\text{並進成分 試験時の並進力}}{\text{評価部の断面積}} + \frac{\text{曲げ成分 試験時の曲げモーメント}}{\text{評価部の断面係数}}$$

- ・本試験で用いた試験片形状では、並進方向の力だけではなく曲げ方向の力も作用。
- ・試験時の曲げモーメントは、試験を再現した簡易解析の結果から推定。



項目	ルート部	止端部
設計線における1000万回強度 (応力範囲※1)	12.4[MPa]	29.2[MPa]
設計時に曲げを考慮する場合の設計線における1000万回強度※2 (応力範囲※1)	25.8[MPa]	66.3[MPa]

※1 応力範囲はピークtoピーク(応力振幅の2倍)を示す。

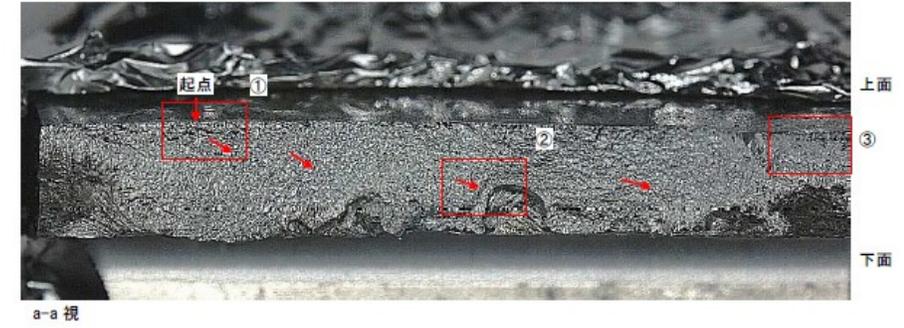
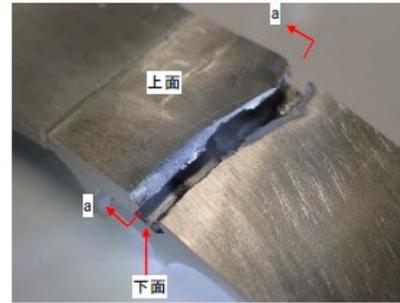
※2 例えば“JIS E 4047:2028 7 表3—継手の応力計算式”で示されている方法等で強度設計を実施する場合等に用いることができる。

②突合せ溶接継手試験片(A6005CS-T5)、表面起点狙い、R=-1

試験片No.	板厚			板幅	断面積	最大荷重	最小荷重	最大応力	最小応力	応力範囲	応力比	周波数	破断回数	破断部の起点	備考
	接合部上板の平均厚さ	R端部の平均板厚													
		R6.0端部	R7.5端部												
	t	t	t												
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(MPa)	(MPa)	(MPa)						
1	3.42	2.45	2.46	24.90	85.158	5.11	-5.11	60	-60	120	-1.0	20	1.57E+05	上面	接合部破断
2	3.44	2.47	2.48	24.98	85.931	3.44	-3.44	40	-40	80	-1.0	20	6.40E+06	- (破面観察未実施)	試験停止※2
3	3.55	2.43	2.40	24.96	88.608	3.99	-3.99	45	-45	90	-1.0	20	> 1.00E+07	- (破面観察未実施)	未破断
4	3.49	2.42	2.42	24.99	87.215	4.80	-4.80	55	-55	110	-1.0	20	1.40E+06	上面	HAZ部破断(R7.5側) 溶接部中央からの距離:10~14mm
5	3.42	2.46	2.44	24.99	85.466	4.70	-4.70	55	-55	110	-1.0	20	3.13E+06	下面	HAZ部破断(R7.5側) 溶接部中央からの距離:13~15mm
6	3.39	2.44	2.38	24.98	84.682	4.87	-4.87	57.5	-57.5	115	-1.0	20	3.08E+06	下面	HAZ部破断(R6.0側) 溶接部中央からの距離:10~14mm
7	3.28	2.45	2.36	24.99	81.967	4.71	-4.71	57.5	-57.5	115	-1.0	20	7.80E+05	上面	接合部破断
8	3.23	2.44	2.40	24.97	80.653	4.84	-4.84	60.0	-60.0	120	-1.0	20	7.95E+05	- (破面観察未実施)	接合部破断
9	3.34	2.42	2.35	24.97	83.400	4.38	-4.38	52.5	-52.5	105	-1.0	20	4.54E+05	上面	接合部破断
10	3.32	2.42	2.35	24.97	82.900	4.15	-4.15	50	-50	100	-1.0	20	> 1.00E+07	- (破面観察未実施)	未破断
12	3.29	2.42	2.36	24.97	82.151	4.72	-4.72	57.5	-57.5	115	-1.0	20	9.01E+05	上面	接合部破断
14	3.36	2.29	2.42	24.97	83.899	4.40	-4.40	52.5	-52.5	105	-1.0	20	4.02E+06	上面	HAZ部破断(R7.5側) 溶接部中央からの距離:15~17mm
13	3.41	2.39	2.35	24.98	85.182	5.32	-5.32	62.5	-62.5	125	-1.0	20	3.17E+06	下面	HAZ部破断(R6.0側) 溶接部中央からの距離:15~18mm

試験結果例

試験片No.1の例：接合部破断、表面起点

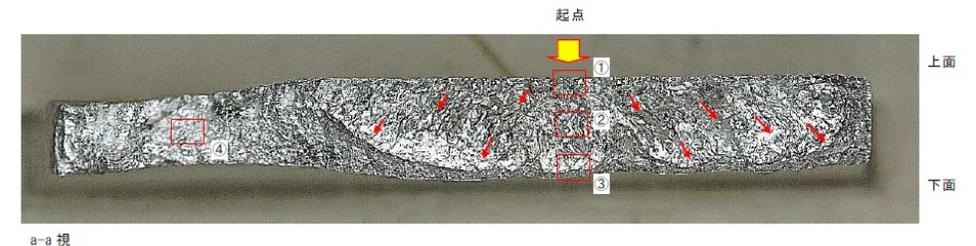
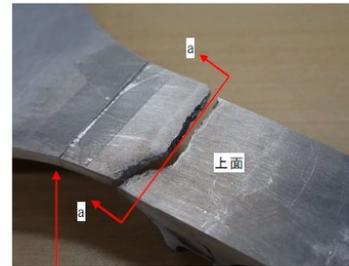


SEM 観察方向

SEM 撮影位置

→ : 亀裂進展方向

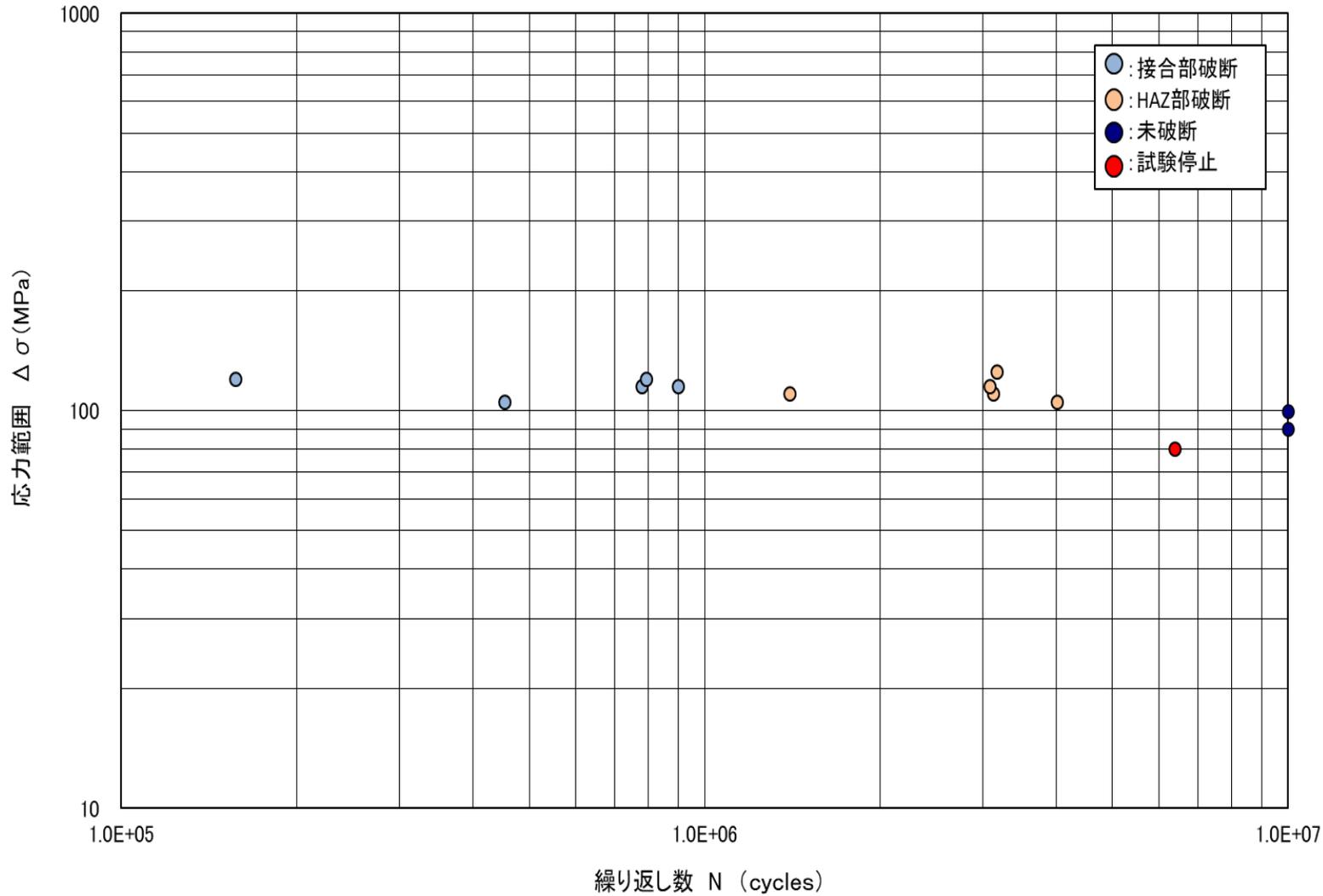
試験片No.4の例：HAZ部破断、表面起点



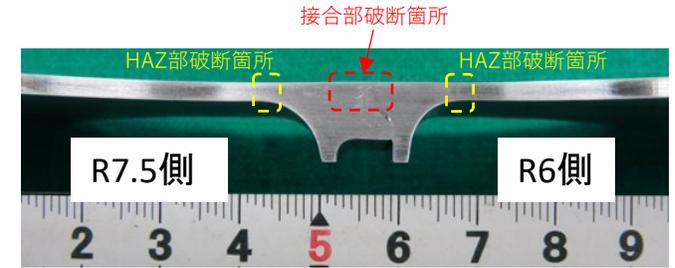
試験片採取位置

→ : 亀裂進展方向

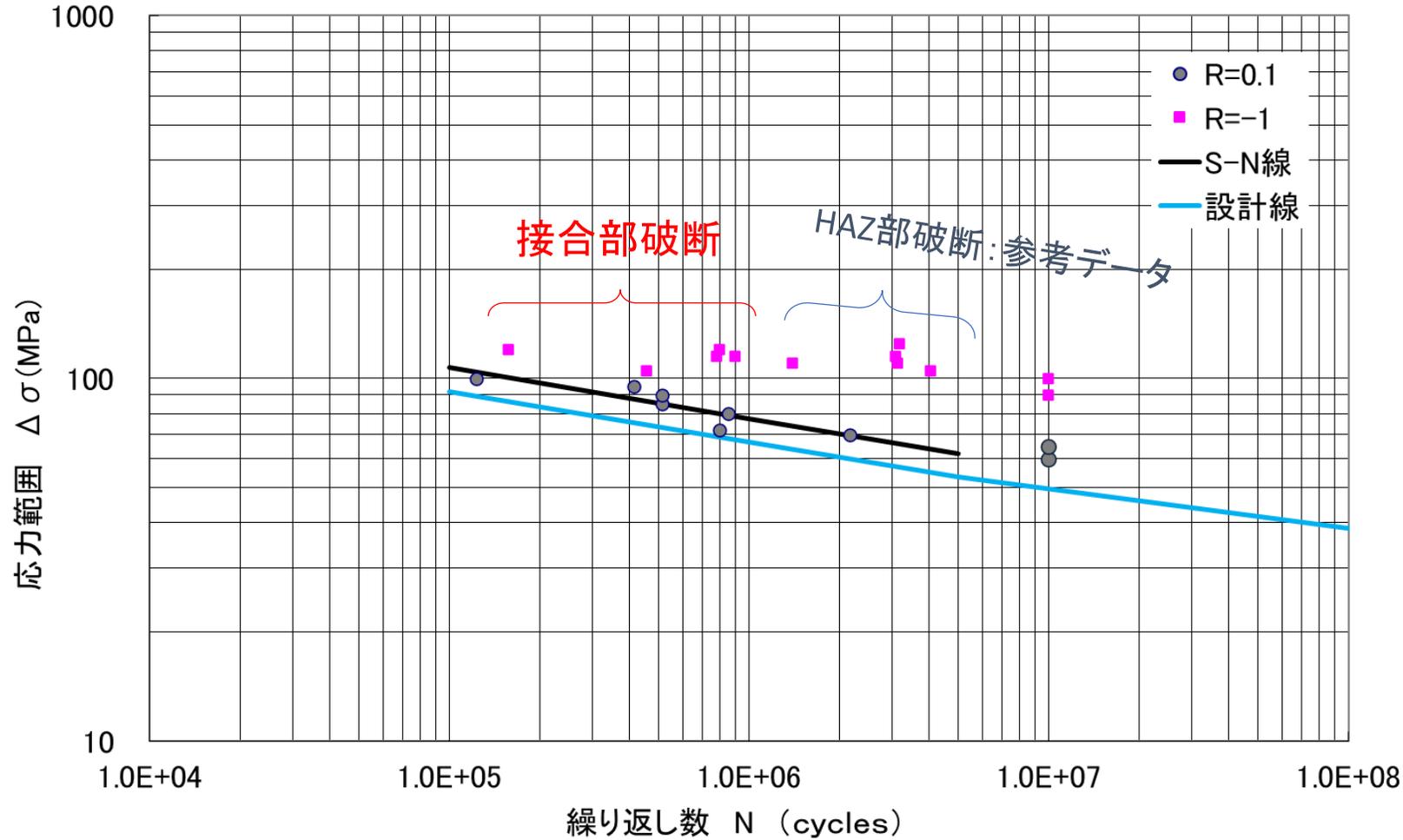
②突合せ溶接試験片 (A6005CS-T5)、R=-1



- ・低繰返し数では接合部破断、高繰返し数ではHAZ部破断
- ・HAZ部破断の起点が様々
R7.5側上面(2回)、R7.5側下面(1回)、R6側下面(2回)

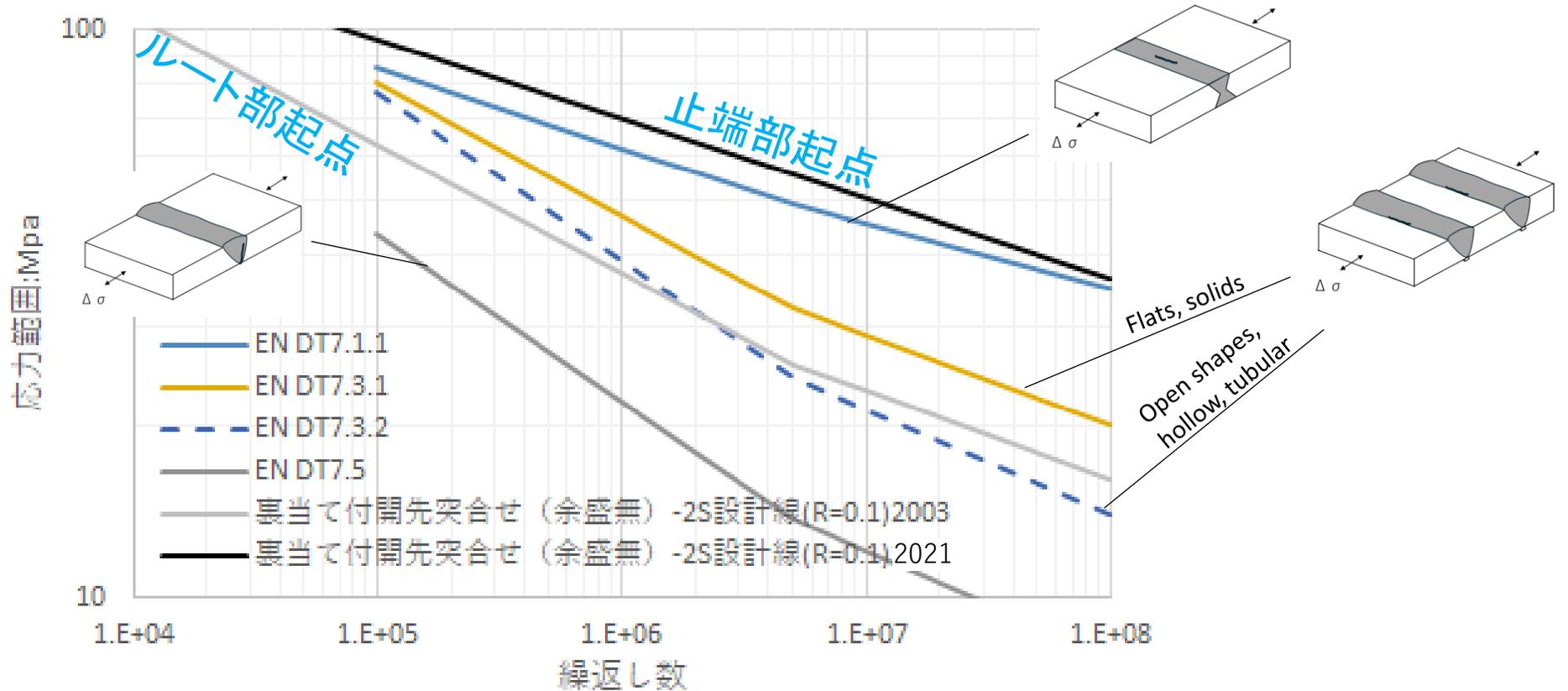


突合せ溶接継手試験片 (A6005CS-T5)、表面起点狙い 応力比R=0.1と-1の比較(公称応力で整理)



・応力比の影響についてENのAnnexG: Influence of R-ratioのf(R):enhancement factor = 1.3を適用すると1E+05~1E+06の範囲(接合部破断)で概ね一致する。

突合せ溶接継手試験片 (A6005CS-T5) EN1999との比較



- ・EN規格DT7.3.1(裏当てあり、止端部起点)と比較して、2003:R=0.1(ルート部起点)は10MPa程度強度が低く、2021:R=0.1(止端部起点)は20MPa程度強度が高くなった。
- ・EN規格DT7.5(裏当てなし、ルート部起点)と比較して、2003:R=0.1(ルート部起点)は10~20MPa程度強度が高い。ENでは裏当て有り、ルート部起点の設定はない。

おわりに

溶接継手疲労強度小委員会では、2020～2023年度の4年間の活動で、アルミニウム合金製車体構体で用いられる2種類の溶接継手の疲労設計線を作成した。

- ・すみ肉溶接継手（止端部起点およびルート部起点）
- ・片側開先完全溶込み突き合わせ溶接継手（余盛り無し、表面起点）

2024年度からホットスポット応力による疲労強度評価について検討中