

研究資料 No.229

第 147 研究部会

報告書

図・表・写真集

昭和 50 年 3 月

社団法人

日本造船研究協会

表2.1 SRI47研究部会“船体用高張力鋼板大入熱溶接継手の脆性破壊強度評価に関する研究”
第2年次(昭和49年度)研究分担一覧

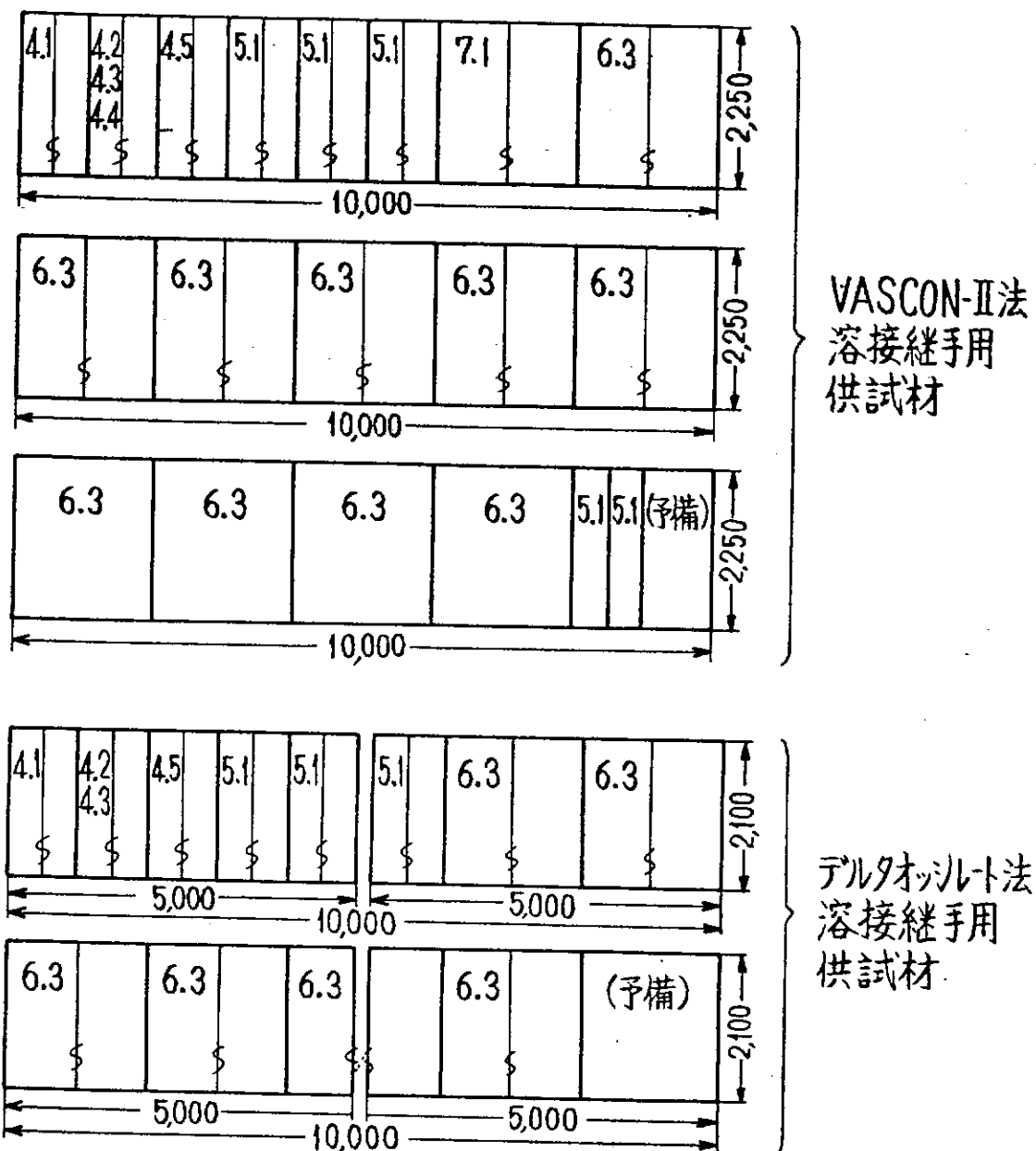
研究項目	試験内容	KAS 25.4			KDK 25.4			K5D 25.4 (As Rolled)			光弾性試験	実船試験
		VASCON-II法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	デルタソルト法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	3電極片面溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	VASCON-II法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	デルタソルト法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	3電極片面溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	デルタソルト法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	3電極片面溶接試験 試験片数 試験場所 試験機	デルタソルト法溶接試験 試験片数 試験場所 試験機		
1. 脆性破壊試験 に関する基礎 データの把握	1.1 丸棒引張試験	母材 Depo	7 7	神鋼	7 7	神鋼	7 7	神鋼	7 7	神鋼		
		母材 Depo	20 20		20 20		20 20		20 20			
		Bond	20	長崎大	20	長崎大	20	日立	20	日立		
		HAZ	20		20		20		20			
		HAZ	20		20		20		20			
		HAZ	20		20		20		20			
		再現性試験	135	長崎大	135	日立	135	日立				
	1.3 傾度分布組織調査		1	長崎大	1	長崎大	1	長崎大	1	長崎大		
		母材	10		10		10		10			
	1.4 形状CD曲試験	Depo	10	東大	10	三井	10	川重	10	新日鉄		
2. 脆性破壊試験 に関する研究		Bond	10		10		10		10			
		母材	6	東大	6	三井	6	川重	6	石播		
		Depo	6	東大	6	三井	6	川重	6	石播		
		Bond	6		6		6		6			
	3.1 中形伝播試験	材料特性										
		伝播特性										
	3.2 大形伝播試験	母材	4	三菱	4	三菱	4	三菱	4	三菱		
		Bond	6		6		6		6			
	3.3 傾度分布組織調査											
4. 船体用高張力 鋼板の把握	4.1 基礎試験		1	長崎大	1	三菱	1	三菱	1	三菱		
	4.2 実船試験											
備考 (溶接継手製作担当者からの溶接条件その他)		新日鉄 HT50用溶接材使用	神鋼 HT50用溶接材使用	神鋼	新日鉄	神鋼	新日鉄	神鋼	神鋼	三菱	三菱	三菱

(注) 大入熱溶接使用実績アンケート調査としましては、日本海事協会および川重で行なった。

表3.1 供試材の化学成分ならびに機械的性質

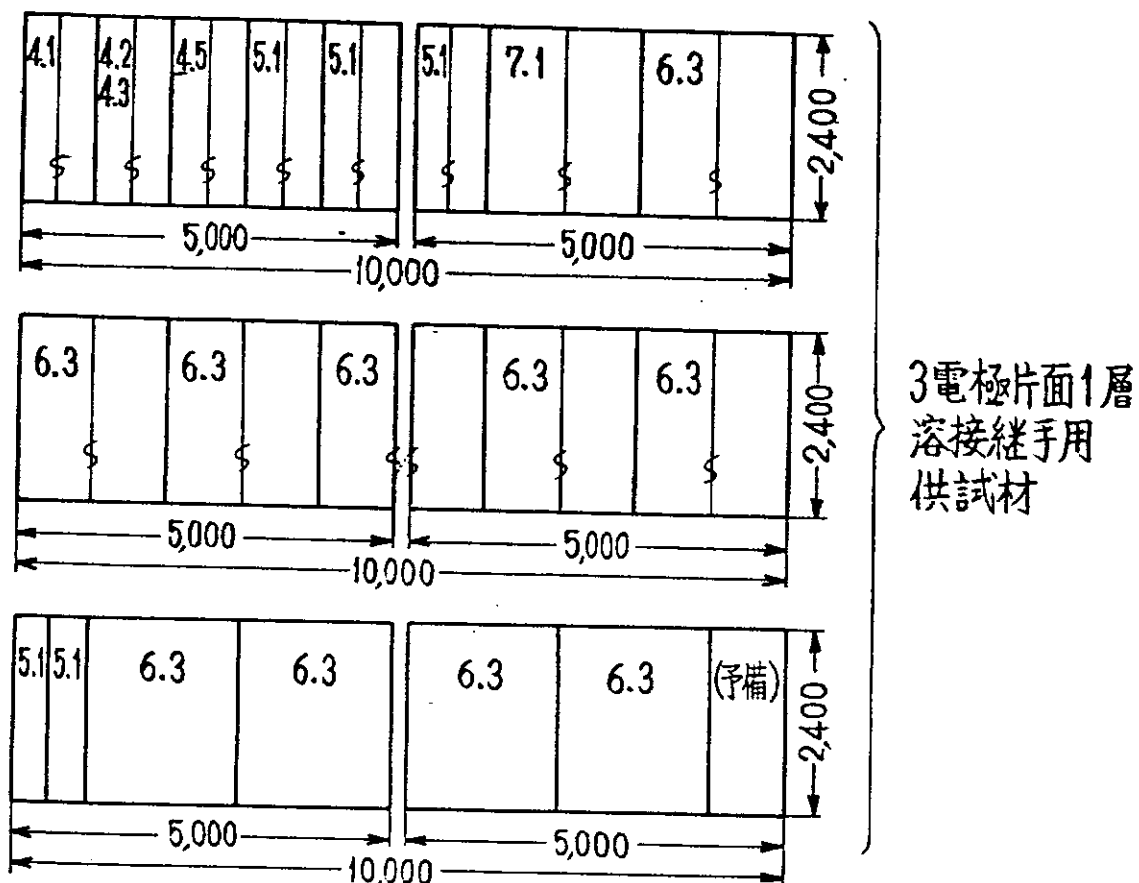
鋼種	熱処理	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質		
			C	Si	Mn	P	S	降伏点 O _y (kg/mm ²)	引張り強さ O _B (kg/mm ²)	伸び El. (%)
KAS	As Rolled	25.4	0.17	0.04	1.00	0.014	0.015	25~26	44	27~31
KDK	As Rolled	25.4	0.14	0.23	0.71	0.014	0.012	30~33	43	32~35
K5D	As Rolled	25.4	0.15	0.32	1.39	0.019	0.007	35~39	53	23~26
*K5D	As Rolled	25.4	0.15	0.32	1.41	0.021	0.006	38~39	53	28~29

*：中形伝播試験用



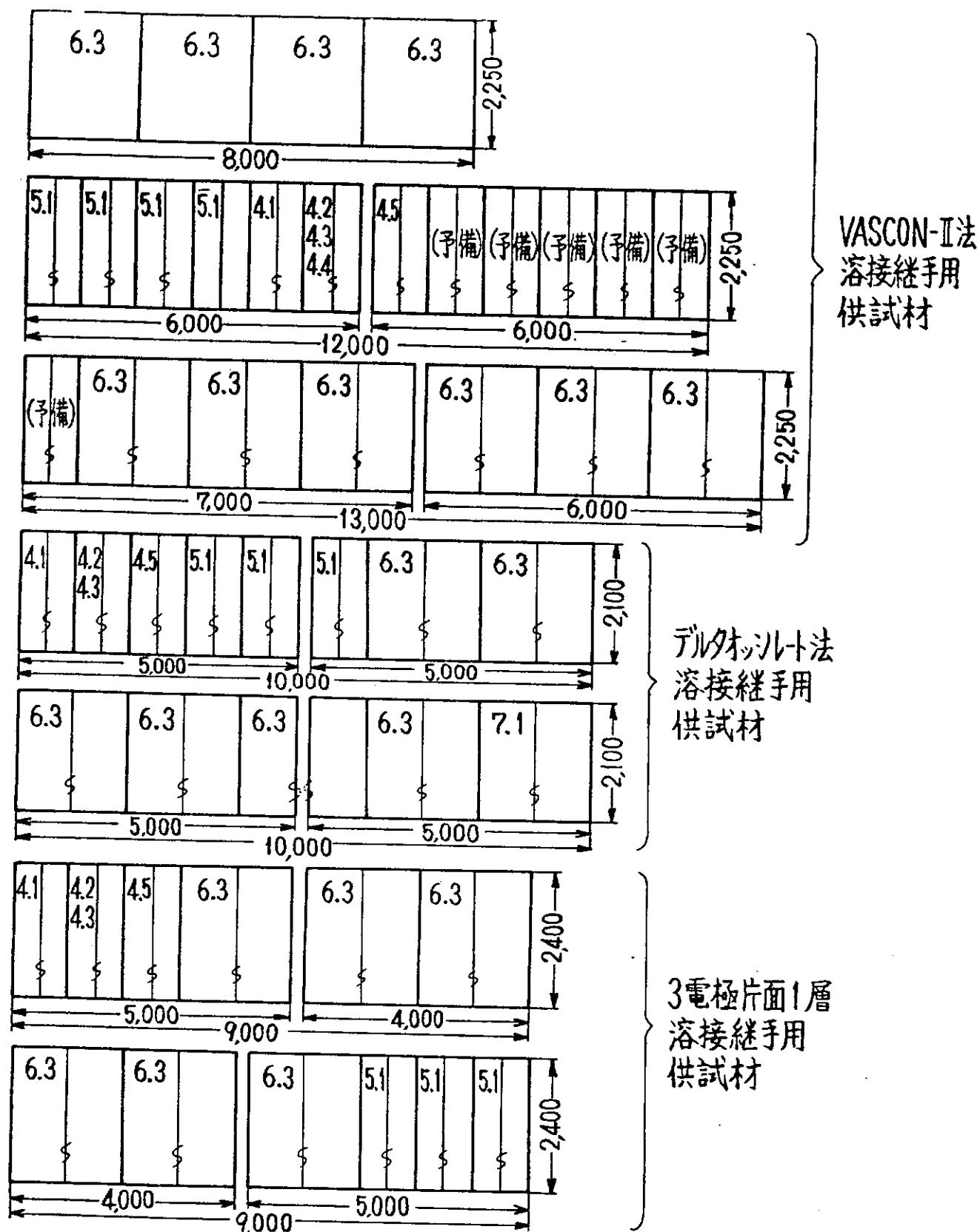
- 4.1 丸棒引張試験片
- 4.2 硬度分布・組織調査
- 4.3 V-ノッチシャルピー試験片
- 4.4 再現熱サイクル試験片
- 4.5 小形COD曲げ試験片
- 5.1 中央切欠(板厚貫通)大形引張試験片
- 6.3 大形伝播試験片
- 7.1 基礎試験片(残留応力)

図 3.1 供試材の板取り要領
(KAS, 25.4 mm)



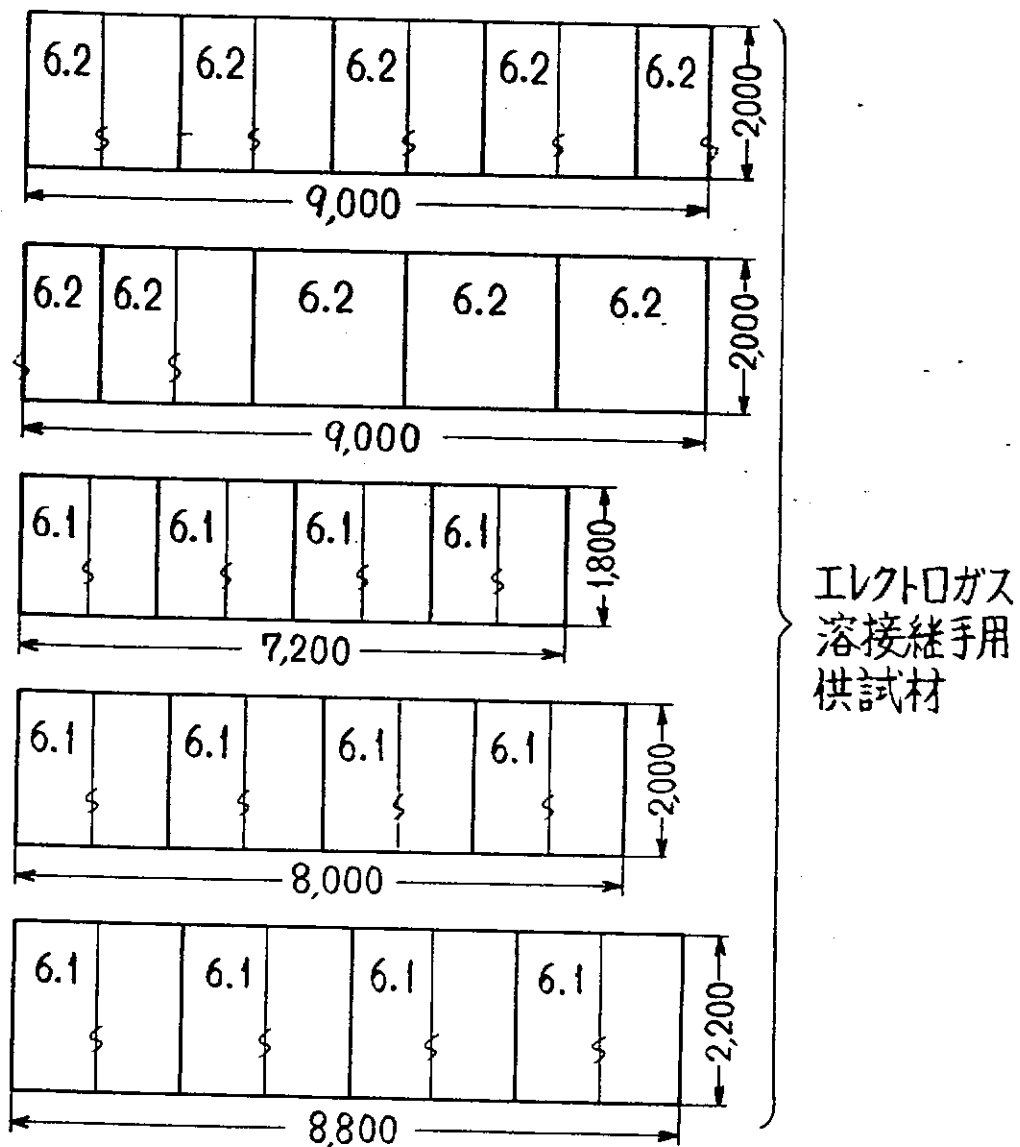
- 4.1 丸棒引張試験片
- 4.2 硬度分布・組織調査
- 4.3 V-ノッチシャルピー試験片
- 4.5 小形COD曲げ試験片
- 5.1 中央切欠(板厚貫通)大形引張試験片
- 6.3 大形伝播試験片
- 7.1 基礎試験片(残留応力)

図 3.2 供試材の板取り要領
(KDK, 25.4 mm)



- 4.1 丸棒引張試験片
- 4.2 硬度分布・組織調査
- 4.3 V-ノッチシャルピー試験片
- 4.4 再現熱サイクル試験片
- 4.5 小形COD曲げ試験片
- 5.1 中央切欠(板厚貫通)大形引張試験片
- 6.3 大形伝播試験片
- 7.1 基礎試験片(残留応力)

図3.3 供試材の板取り要領
(K5D, 25.4 mm)



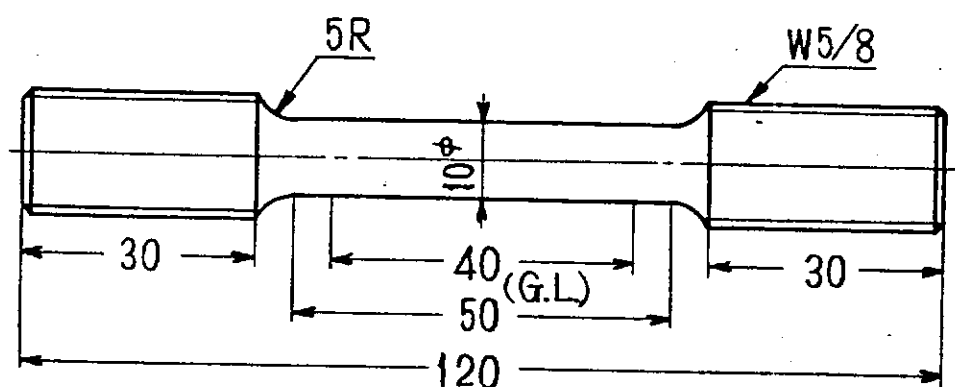
6.1 中形伝播試験片(その1)－斜め継手伝播試験片

6.2 中形伝播試験片(その2)－伝播特性試験片

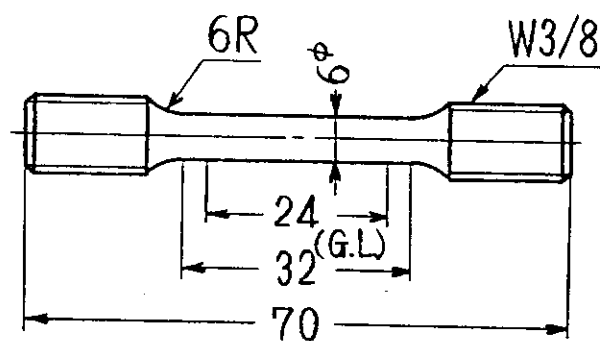
図 3.4 供試材の板取り要領
(K5D, 25.4 mm)

表 3.2 溶接条件

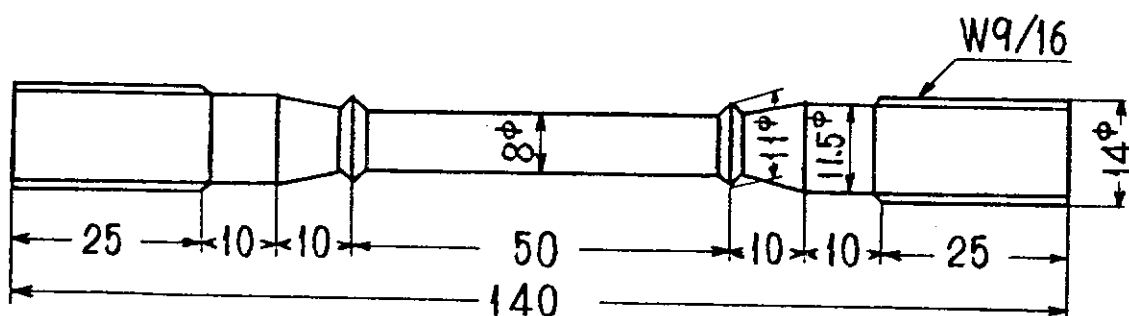
鋼種	溶接法	溶接ワイヤ	フラックス	極間距離 (mm)	雰囲気	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)	開先形状および継手断面
KAS (25.4)	VASCON-II	YM-28 1.6 ϕ	—	—	Ar + O ₂ (10%) 総流量 25 l/min	340 ~460	26 ~36	7.2	108	
	デルタオシット	DEL-50 1.2 ϕ	—	—	内側: Ar (20 l/min) + CO ₂ (5 l/min) 外側: CO ₂ (35 l/min)	200 ~220	20 ~22	1.8 ~2.0	120 ~161	
KDK (25.4)	3電極片面 1層 RF	L: US43, 48 ϕ T: US43, 64 ϕ T ₂ : US43, 64 ϕ	PFR-47 RF-1	L ~ T ₁ = 80 T ₁ ~ T ₂ = 100	—	1,250 1,150 1,250	30 40 48	60	134.5	
	VASCON-II	YM-28 1.6 ϕ	—	—	Ar + O ₂ (10%) 総流量 25 l/min	340 ~460	27 ~36	6.7	117	
K5D (25.4)	デルタオシット	DEL-50 1.2 ϕ	—	—	内側: Ar (20 l/min) + CO ₂ (5 l/min) 外側: CO ₂ (35 l/min)	200 ~220	20 ~22	1.8 ~2.0	120 ~161	
	3電極片面 1層 RF	L: US43, 48 ϕ T: US43, 64 ϕ T ₂ : US43, 64 ϕ	PFI-53 RF-1	L ~ T ₁ = 80 T ₁ ~ T ₂ = 100	—	1,250 1,050 1,150	30 42 50	70	139.5	
K5D (25.4)	エレクトロガス	HS-42G 3.2 ϕ	—	—	CO ₂ 40 l/min	640 ~650	39	7.8 ~8.2	183 ~195	



KAS鋼 母材
K5D鋼 母材



KAS鋼 VASCON-II法溶接金属
K5D鋼 VASCON-II法溶接金属



KDK鋼 母材
KAS鋼 デルタオシレート法溶接金属
KDK鋼 3電極片面1層溶接金属
K5D鋼 デルタオシレート法溶接金属
K5D鋼 3電極片面1層溶接金属

図 4.1.1 丸棒引張試験片形状

表4.1.1 丸棒引張試験結果 (KAS鋼)

KAS	試験温度 (°C)	降伏応力 σ_Y (kg/mm ²)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	伸び ϵ (%)	絞り ψ (%)
母材	15	23.6	43.0	41.9	72.4
	15	25.9	42.9	41.4	69.2
	-40	29.4	46.7	39.4	67.9
	-80	35.2	50.8	40.5	67.0
	-80	39.1	50.7	40.0	66.5
	-110	44.7	55.3	36.2	66.5
	-196	88.9	86.6	7.3	7.8
VASCON -II法 溶接金属	15	32.3	47.5	30.8	69.5
	15	33.5	48.4	35.6	68.7
	-40	37.8	51.2	36.3	68.8
	-80	44.0	55.1	36.3	67.7
	-80	43.8	55.2	32.1	66.9
	-110	52.1	59.3	32.9	63.6
	-196	88.1	88.1	6.3	6.0
デルタ 木口法 溶接金属	15	37.7	51.5	24.6	78.9
	-36	40.7	55.7	23.3	77.1
	-76	45.3	60.5	27.6	76.8
	-120	53.7	64.8	26.4	72.4
	-150	61.8	69.9	23.9	71.8
	-196	87.3	93.6	19.6	46.1

表4.1.2 丸棒引張試験結果 (K5D鋼)

K5D	試験温度 (°C)	降伏応力 σ_y (kg/mm ²)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	伸び ϵ (%)	絞り φ (%)
母材	15	34.8	52.7	36.5	79.8
	15	35.6	53.1	34.8	79.7
	-40	39.5	57.7	36.0	71.0
	-80	41.1	61.6	38.0	70.8
	-80	43.0	62.0	36.8	70.7
	-110	50.3	64.0	36.4	68.6
	-196	88.3	92.2	22.1	22.5
VASCON -Ⅱ法 溶接金属	15	33.6	50.5	35.8	70.6
	15	33.9	50.5	35.6	70.7
	-40	38.4	53.6	34.8	71.5
	-80	42.8	55.9	32.1	67.3
	-80	44.3	57.8	38.3	68.7
	-110	48.4	59.4	35.2	67.8
	-196	86.9	86.9	1.5	3.2
リブ 溶接金属	16	43.4	57.1	22.6	78.6
	-36	44.1	62.2	27.1	77.7
	-76	50.3	66.5	26.5	74.7
	-120	57.3	72.6	27.7	71.4
	-150	67.1	77.4	25.8	70.8
	-196	88.3	95.7	21.3	43.8
3電極 片層 溶接金属	16	53.7	65.6	21.1	69.1
	-36	54.1	70.7	27.1	66.9
	-76	57.7	77.5	21.1	66.2
	-120	61.7	83.6	22.6	62.9
	-148	71.9	89.0	24.4	60.9
	-196	87.9	87.9	0.4	4.9
	-196	90.2	103.7	8.3	13.9

表4.1.3 丸棒引張試験結果 (KDK鋼)

KDK	試験温度 (°C)	降伏応力 σ_Y (kg/mm ²)	引張強さ σ_B (kg/mm ²)	伸び ϵ (%)	絞り ϕ (%)
母材	15	27.1	42.8	35.0	76.2
	-38	30.1	47.6	36.8	75.0
	-76	34.6	52.0	37.3	74.1
	-119	46.5	56.9	34.3	72.8
	-150	55.5	63.1	28.1	67.7
	-151	56.8	64.1	26.6	68.0
	-196	78.1	86.7	11.4	21.2
3電極 片面1層 溶接金属	15	38.3	52.5	26.2	75.3
	-36	41.2	56.9	27.4	76.8
	-76	48.0	62.3	30.1	73.7
	-120	55.2	67.3	30.6	70.1
	-151	63.9	72.0	25.5	69.4
	-196	84.5	91.8	8.2	21.2

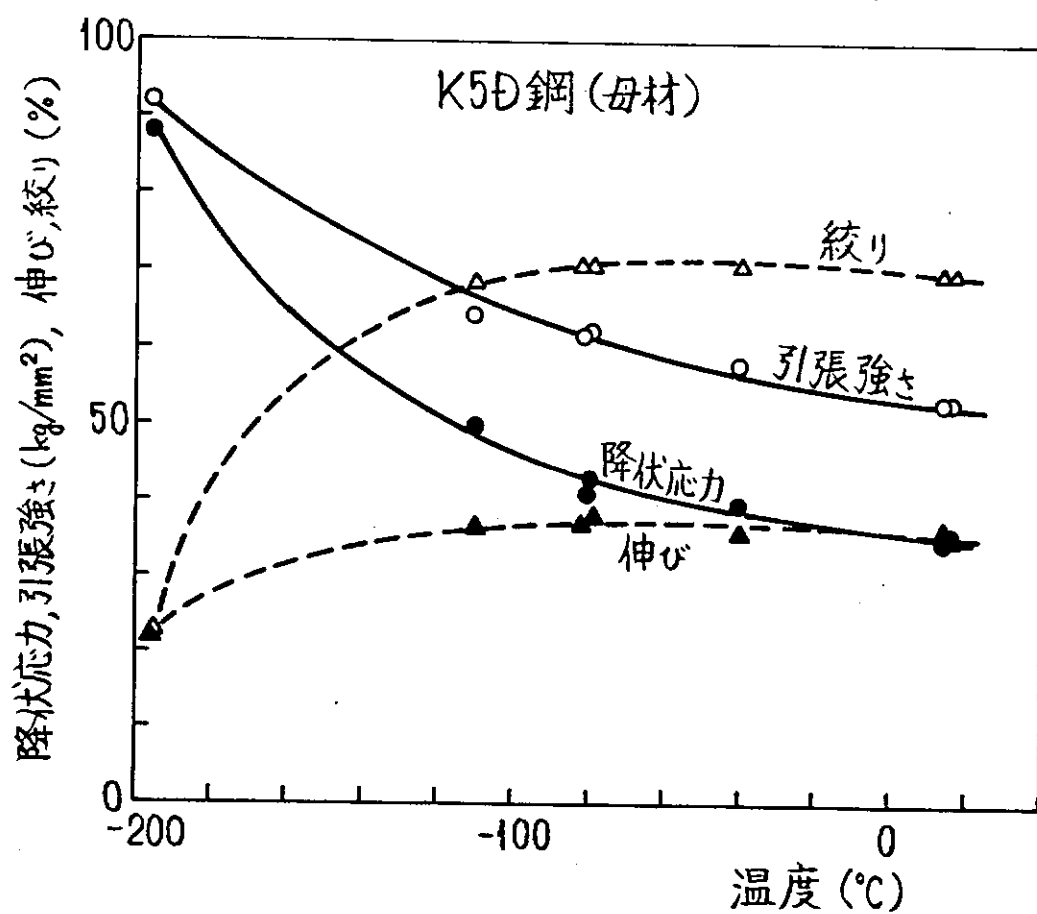
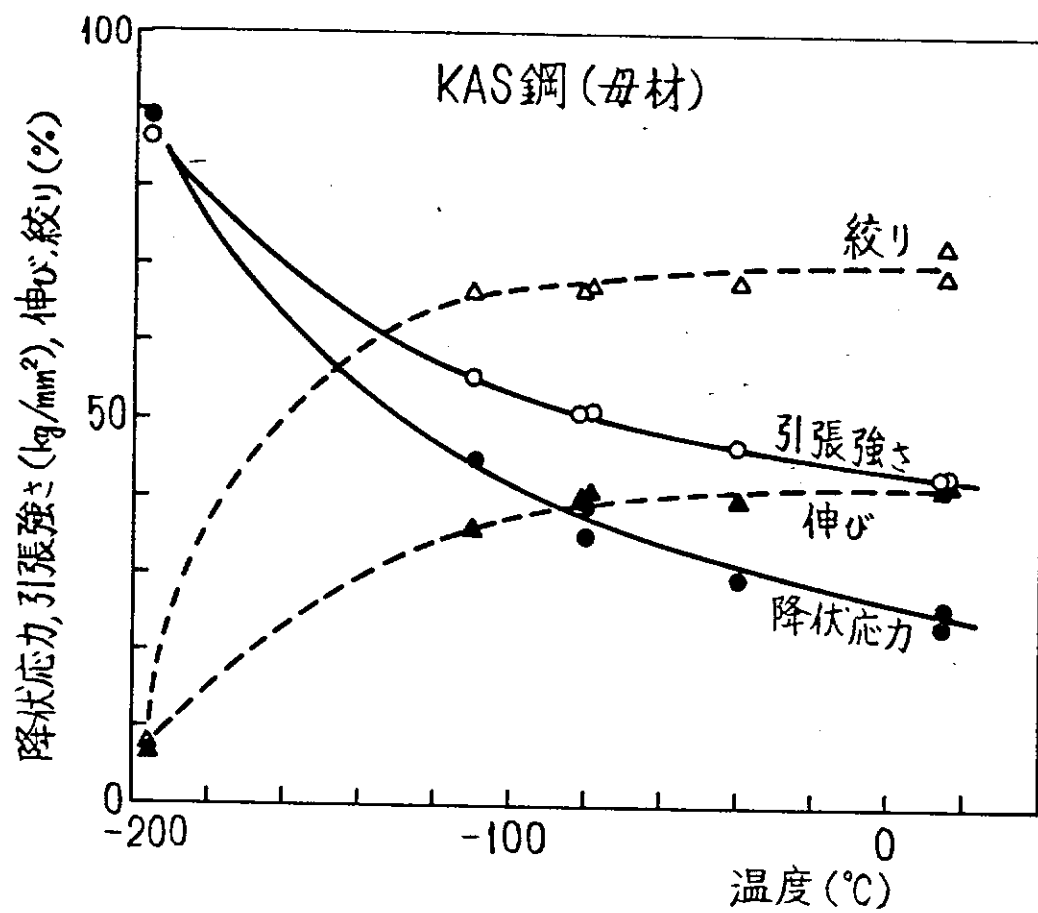


図4.1.2 丸棒引張試験結果(母材)

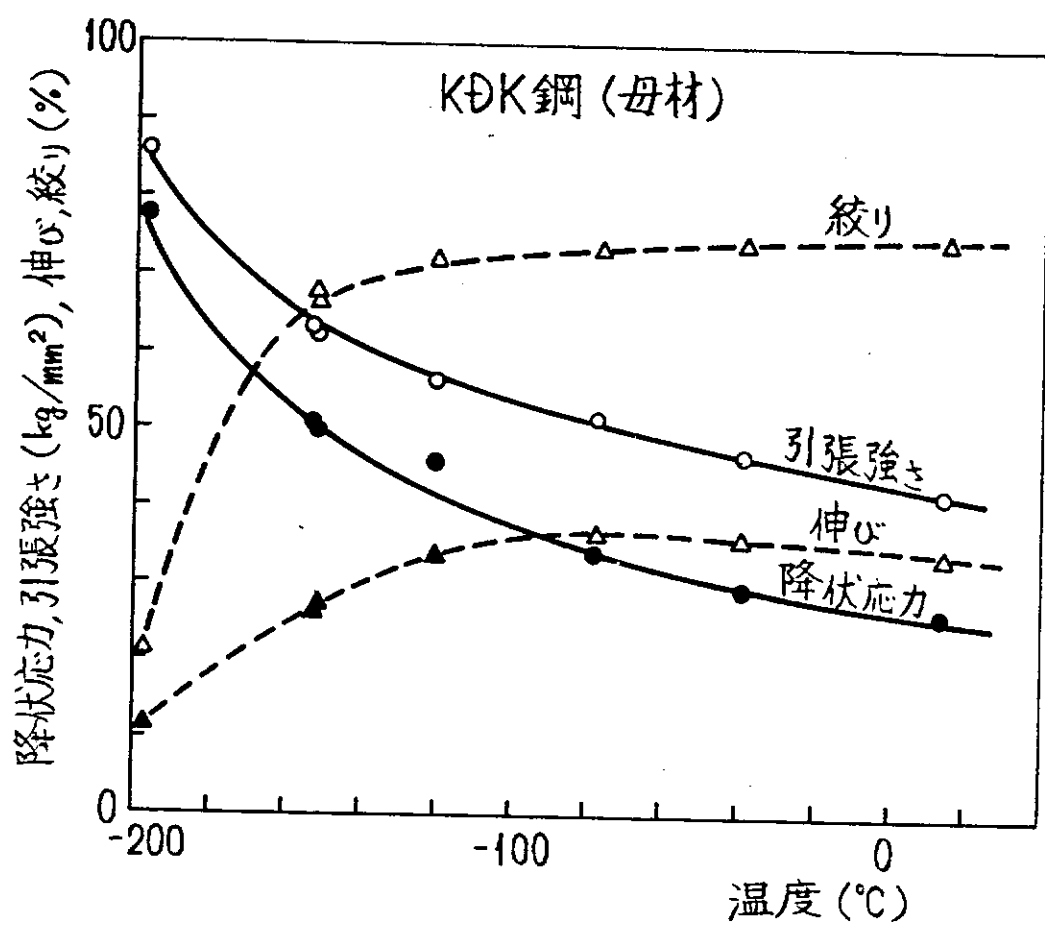


図4.1.3 丸棒引張試験結果 (母材)

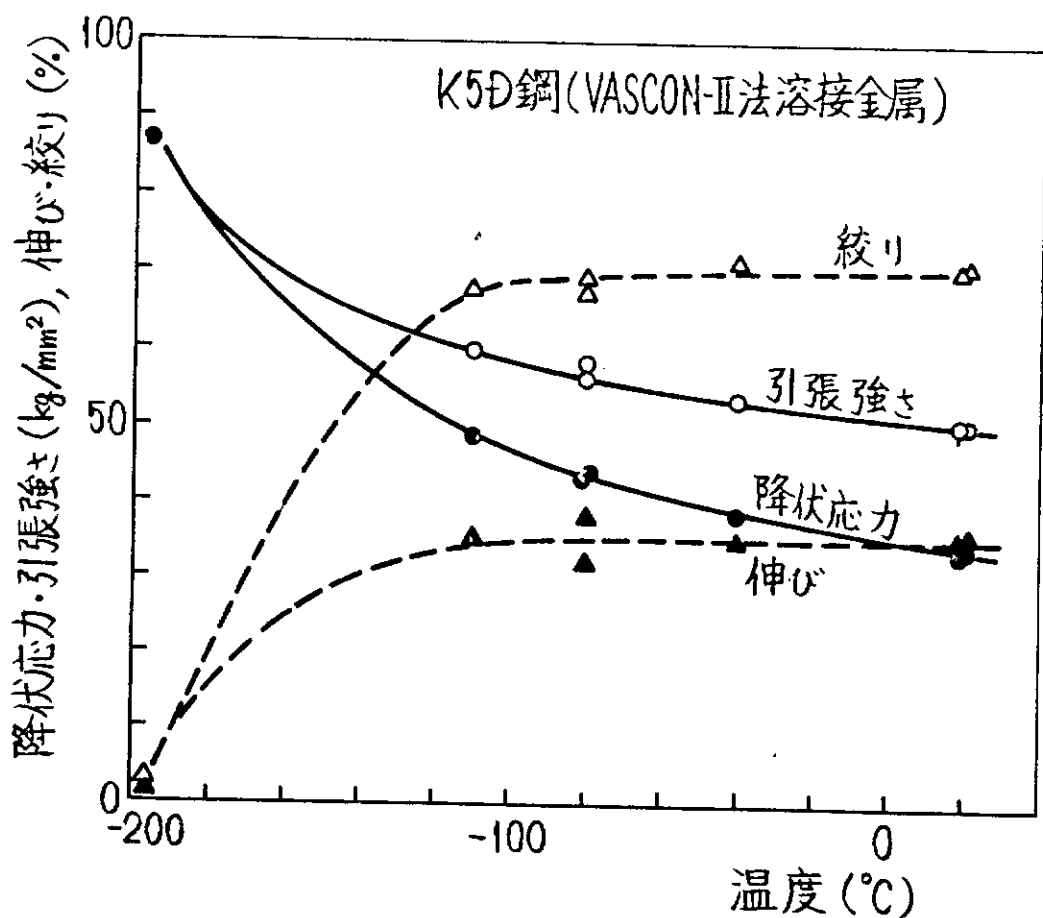
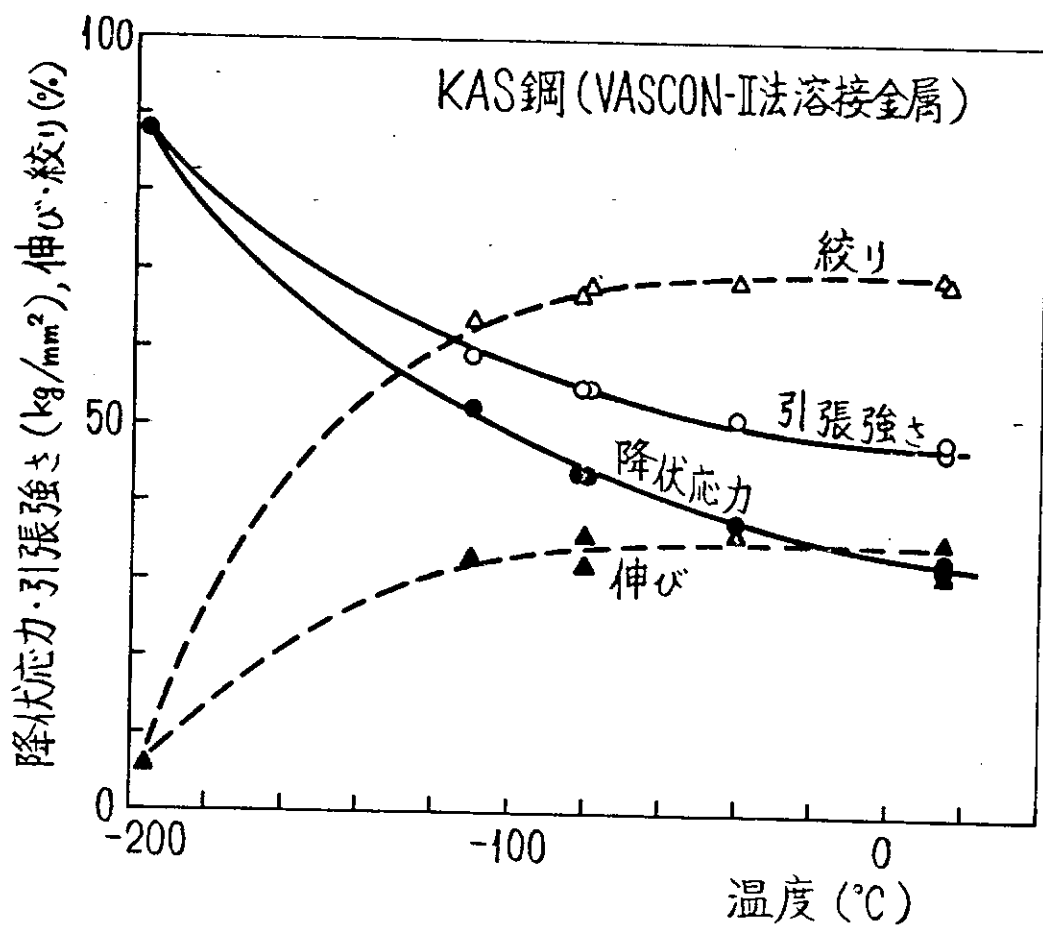


図 4.1.4 丸棒引張試験結果 (VASCON-II法溶接金属)

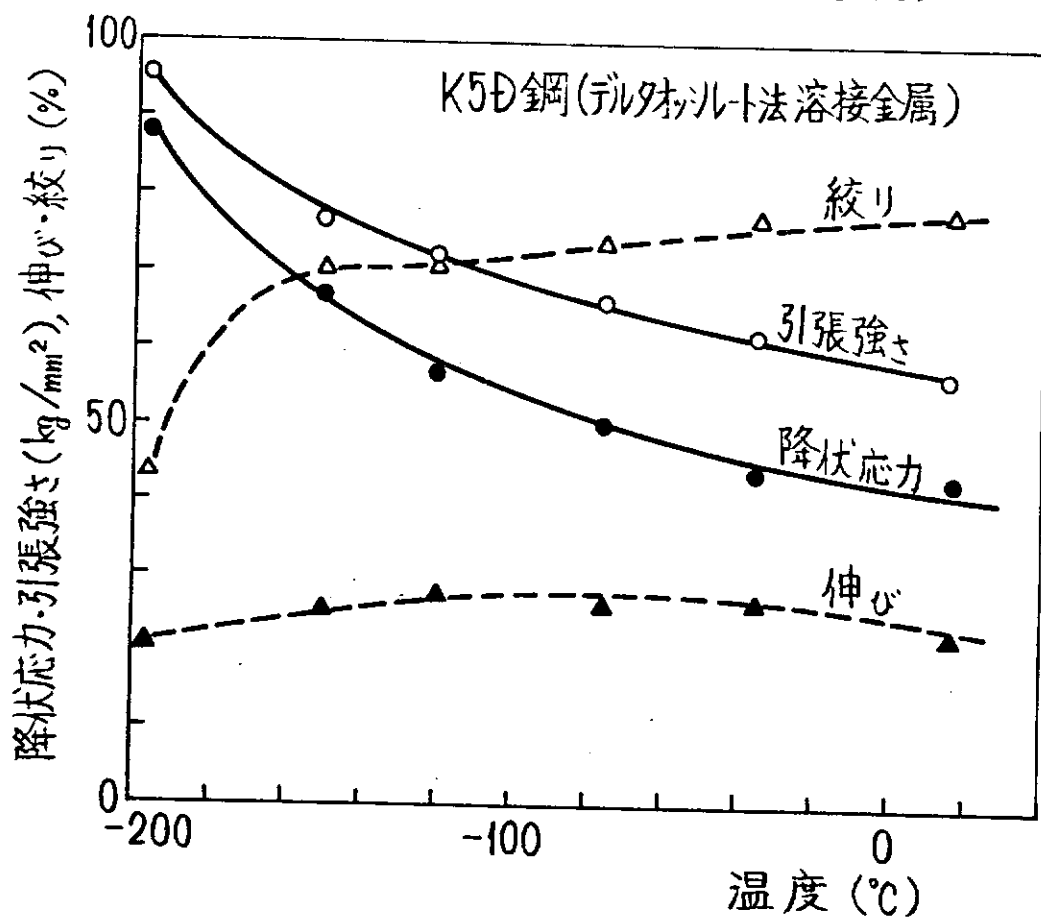
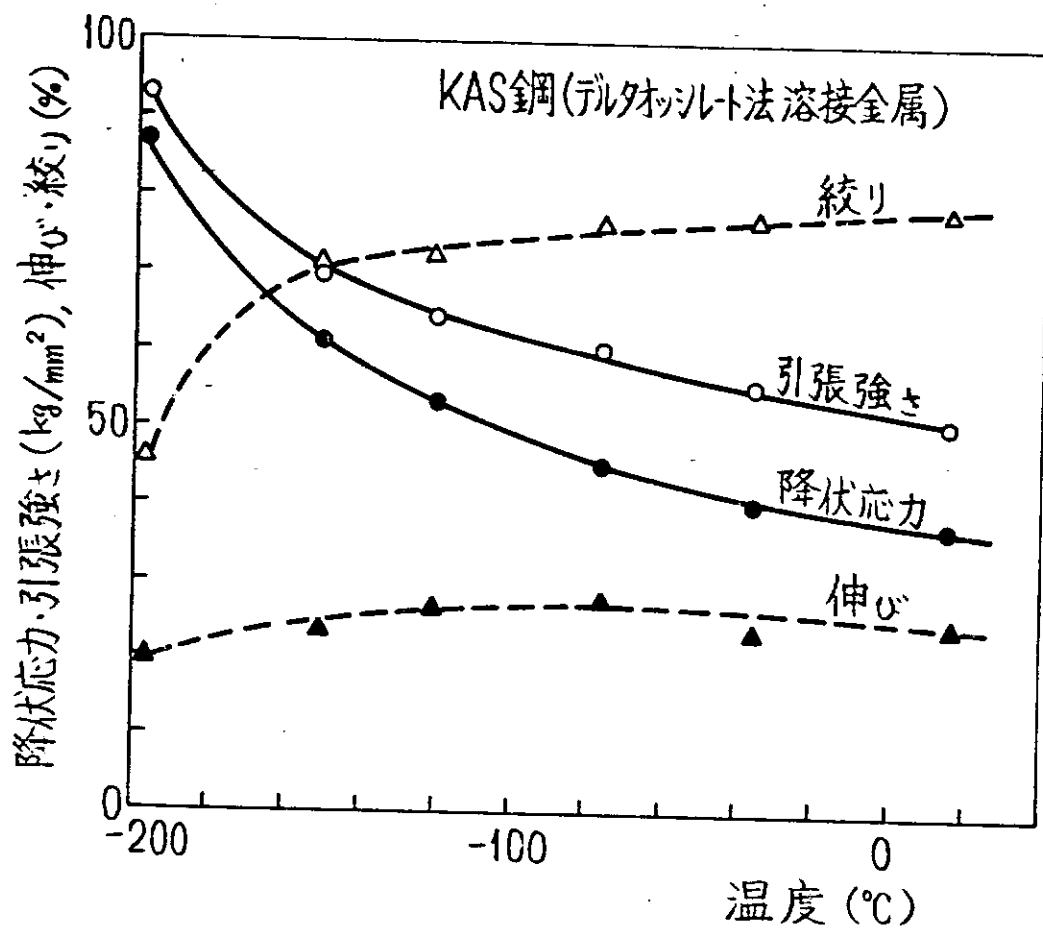


図4.1.5 丸棒引張試験結果(フィルタット法溶接金属)

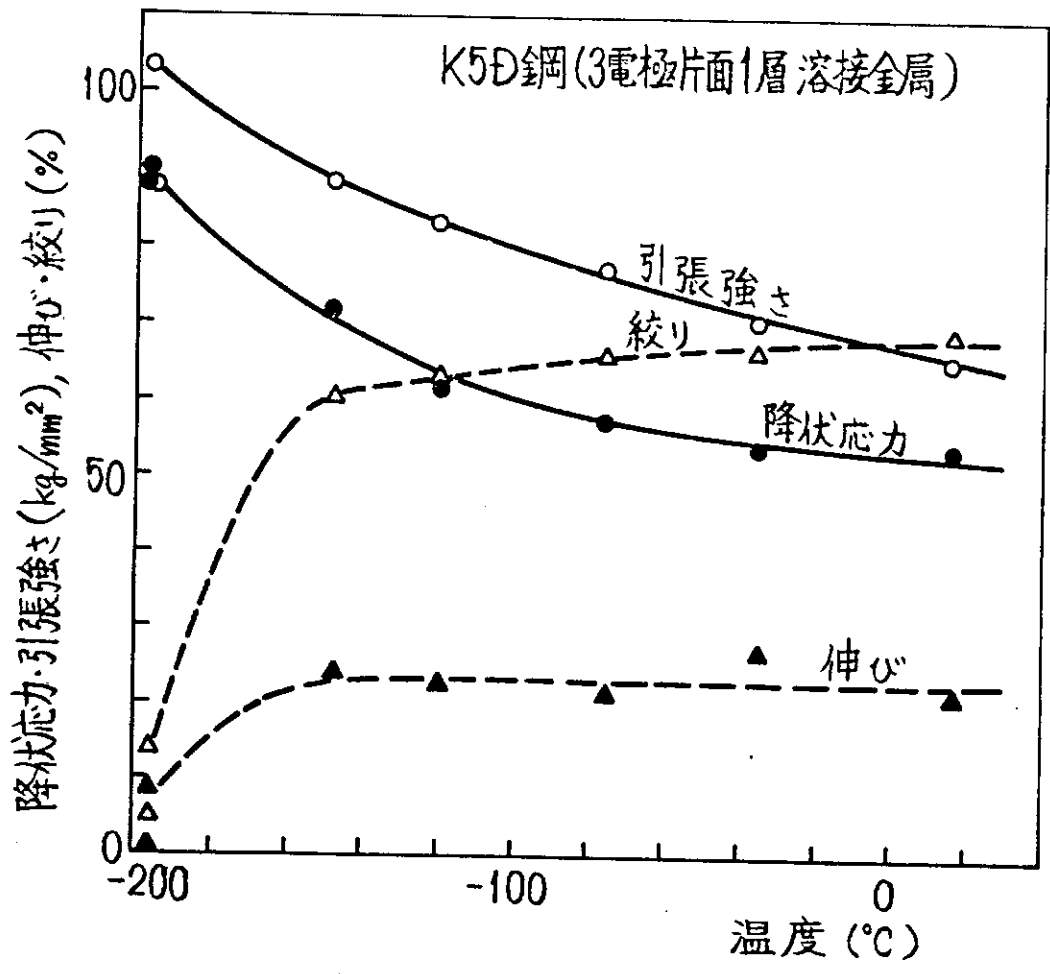
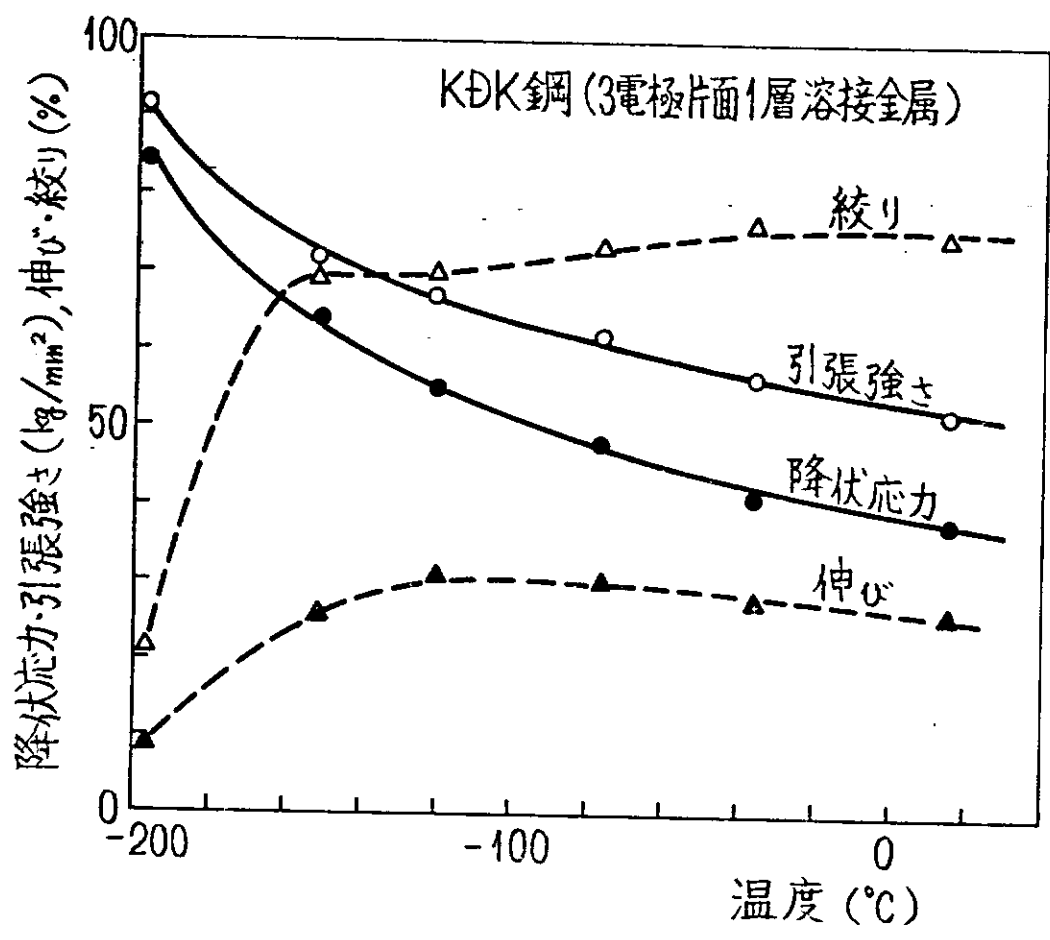


図 4.1.6 丸棒引張試験結果 (3電極片面1層溶接金属)

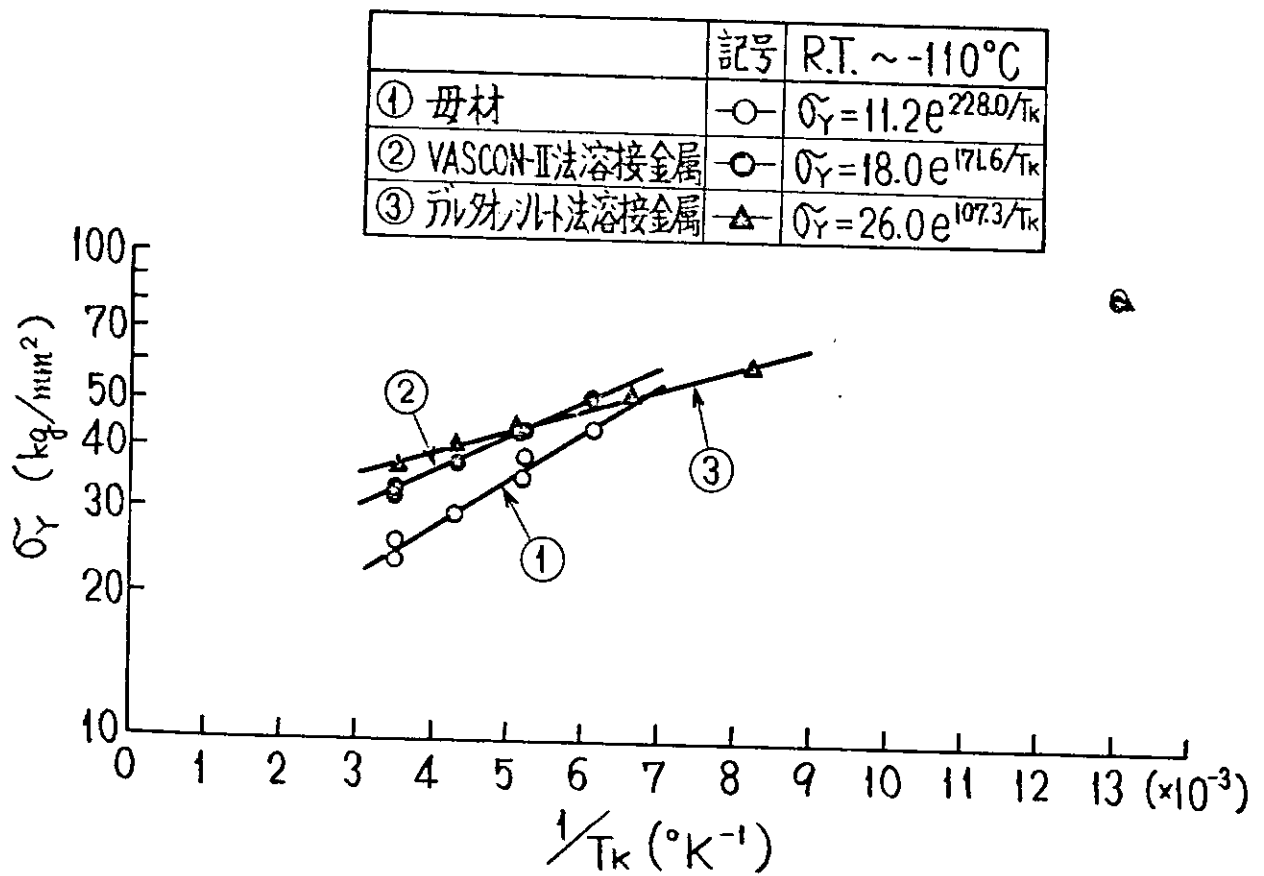


図4.1.7 降伏応力と温度との関係 (KAS鋼)

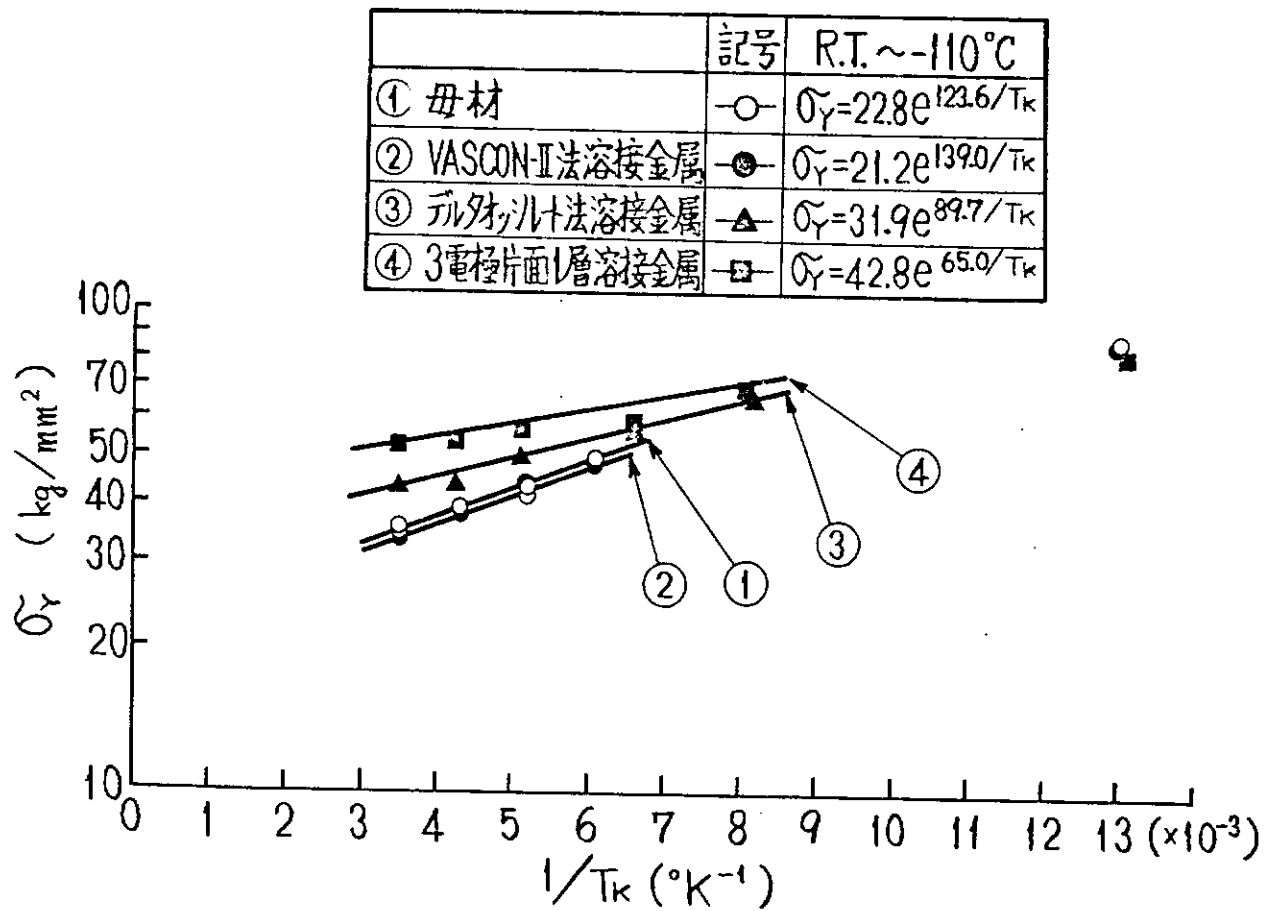


図4.1.8 降伏応力と温度との関係 (K5D鋼)

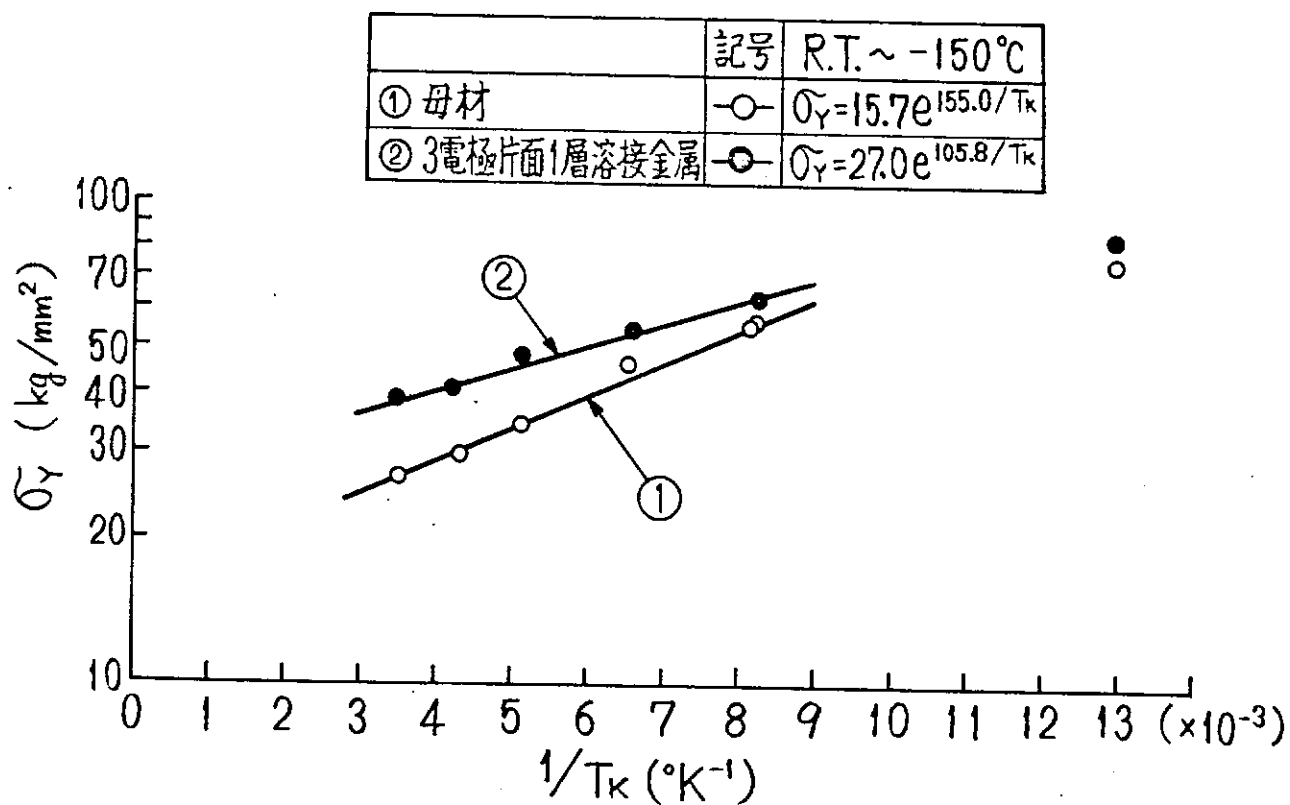
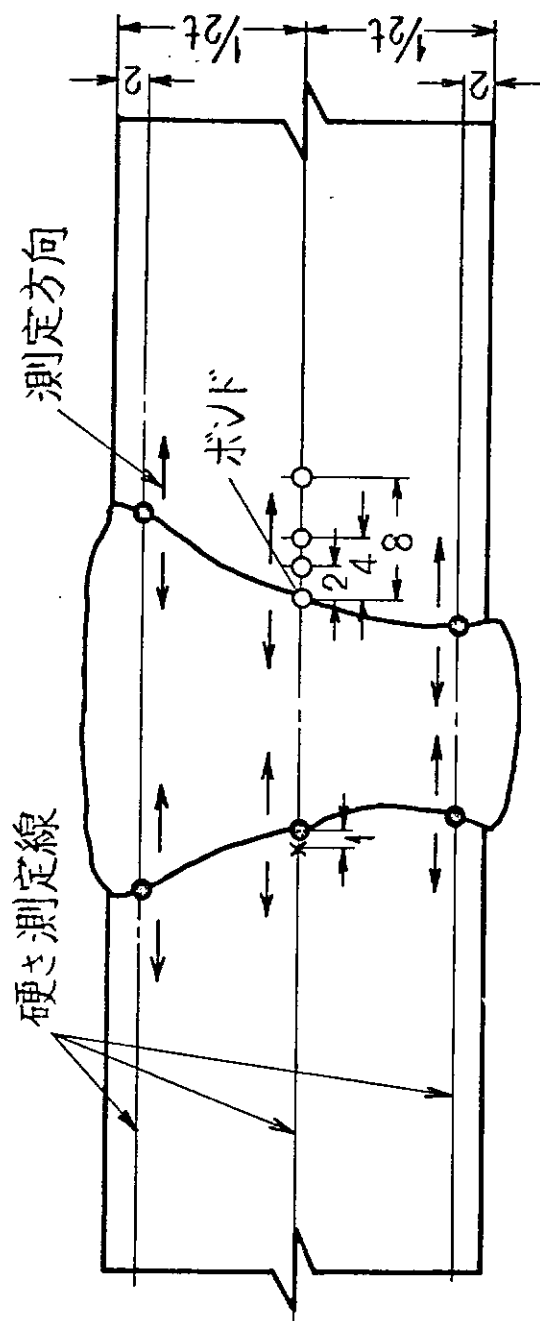


図4.1.9 降伏応力と温度との関係 (KDK鋼)



1. ●印は硬さ測定の基本点を示す。
2. 測定間隔は1mm (ただし溶接金属部は両側ボンドより測定したのである個所では1mm間隔になっていない。その個所はグラフに測定間隔を付記している)
3. 上、中、下はグラフの測定線順を示す。
4. ○印は顕微鏡組織撮影個所を示す (mm)。

図4.2.1 継手部ビッカース硬さ測定および顕微鏡組織撮影位置

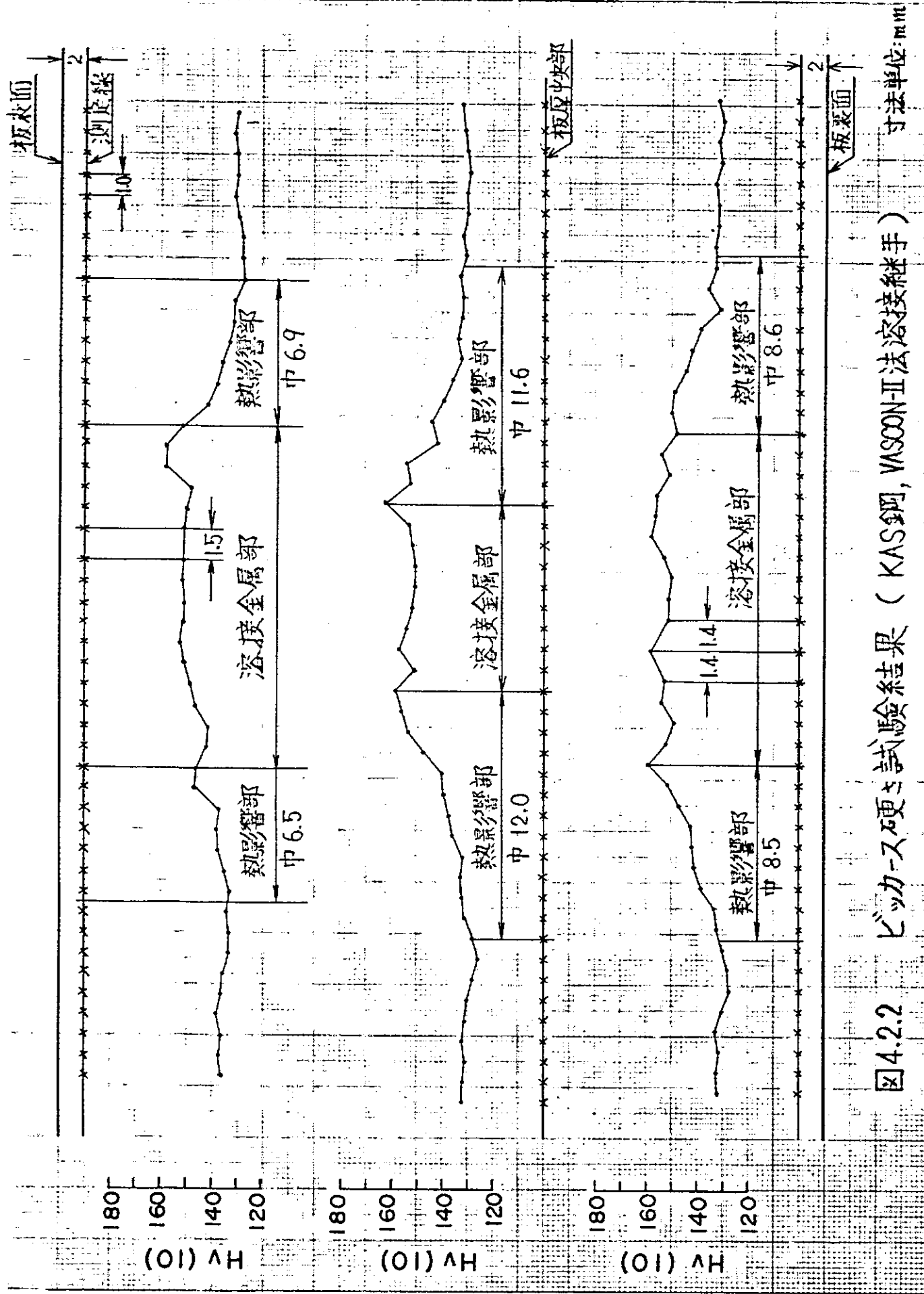


図4.2.2 ビッカース硬さ試験結果 (KAS鋼, VASCOON-II法溶接継手)

寸法単位: mm

板表面

Hv (10)

Hv (10)

Hv (10)

A461 C

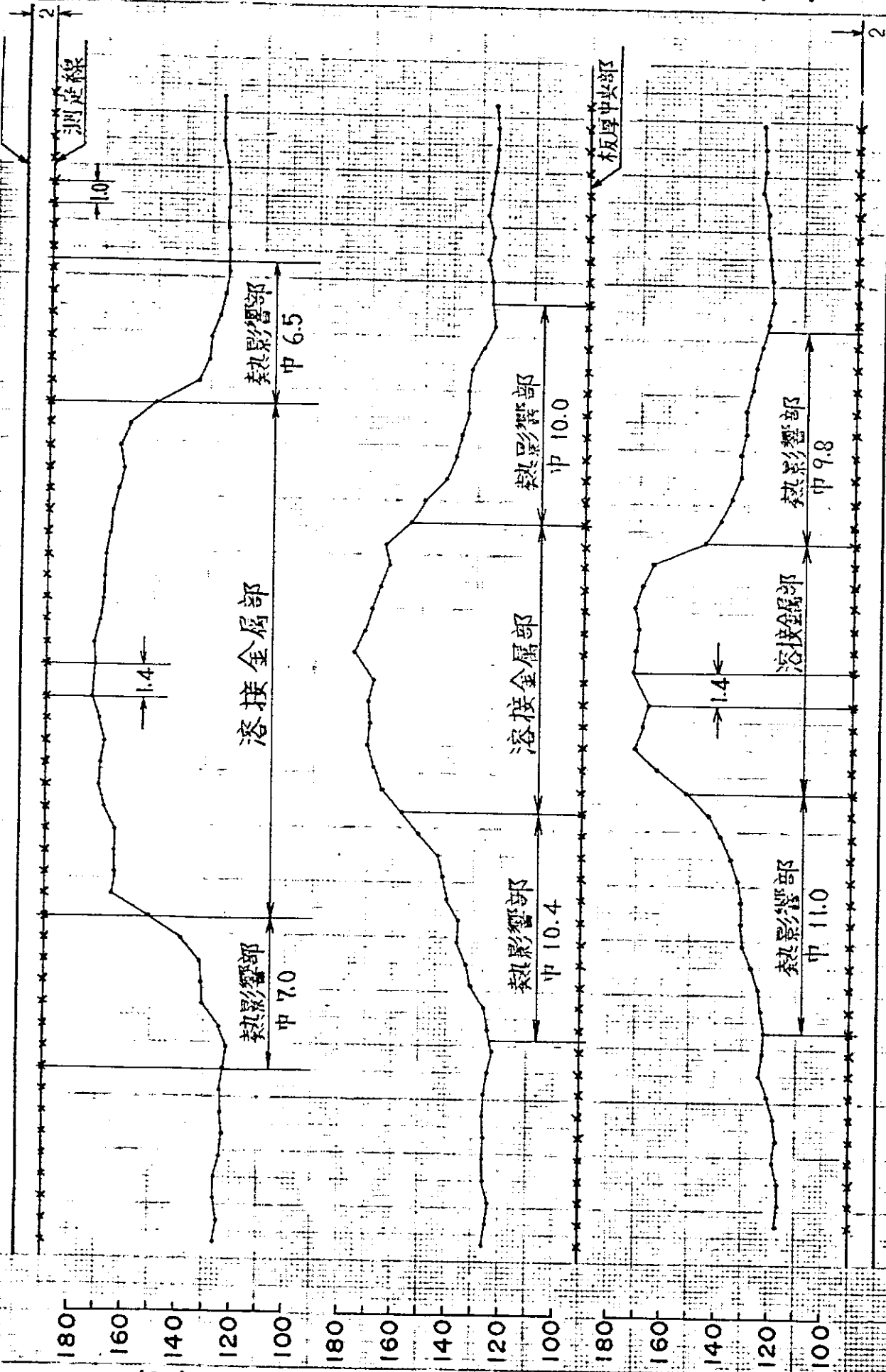
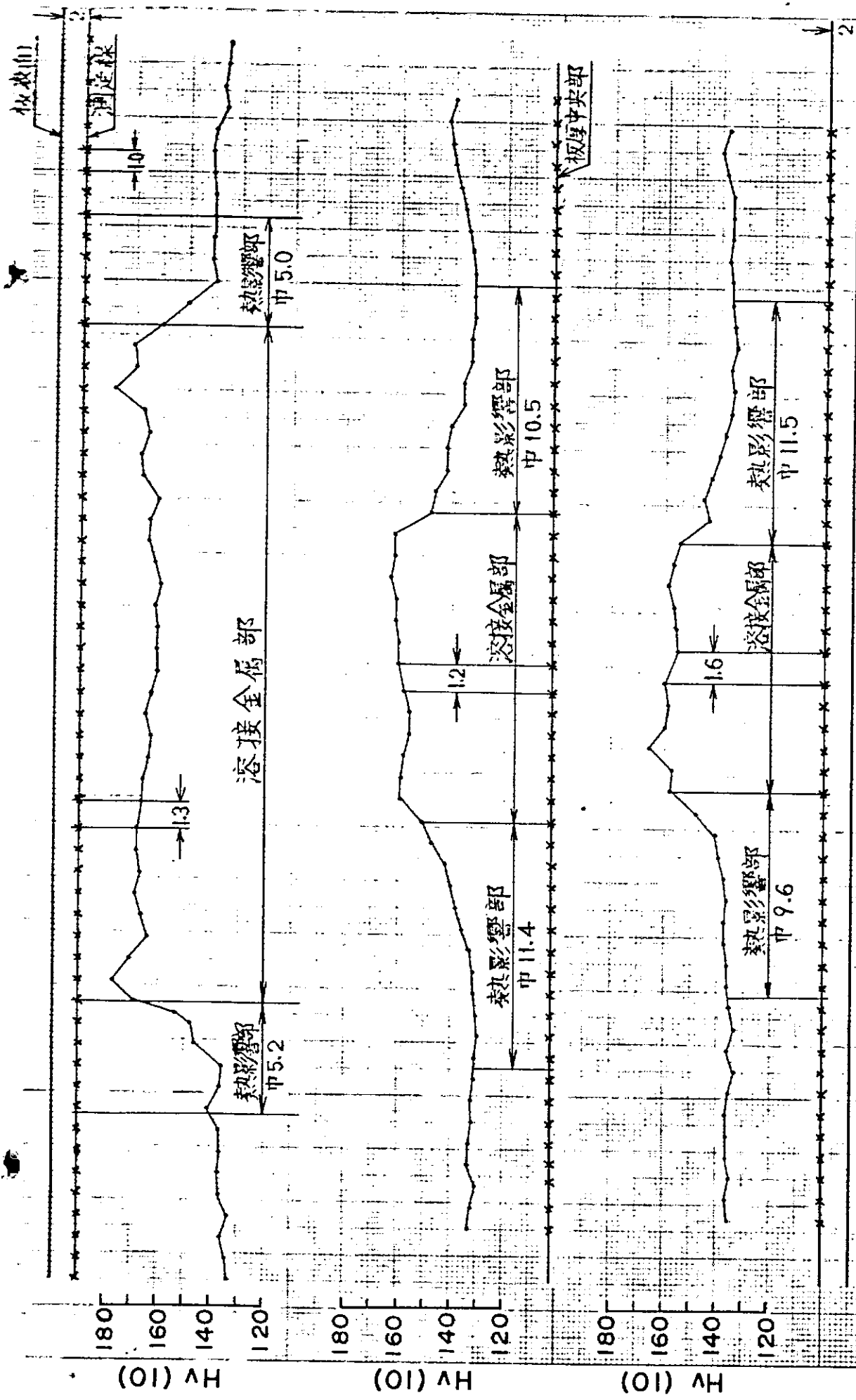


図4.2.3 ビッカース硬さ試験結果 (KAS鋼, デルタオシナ法溶接継手)

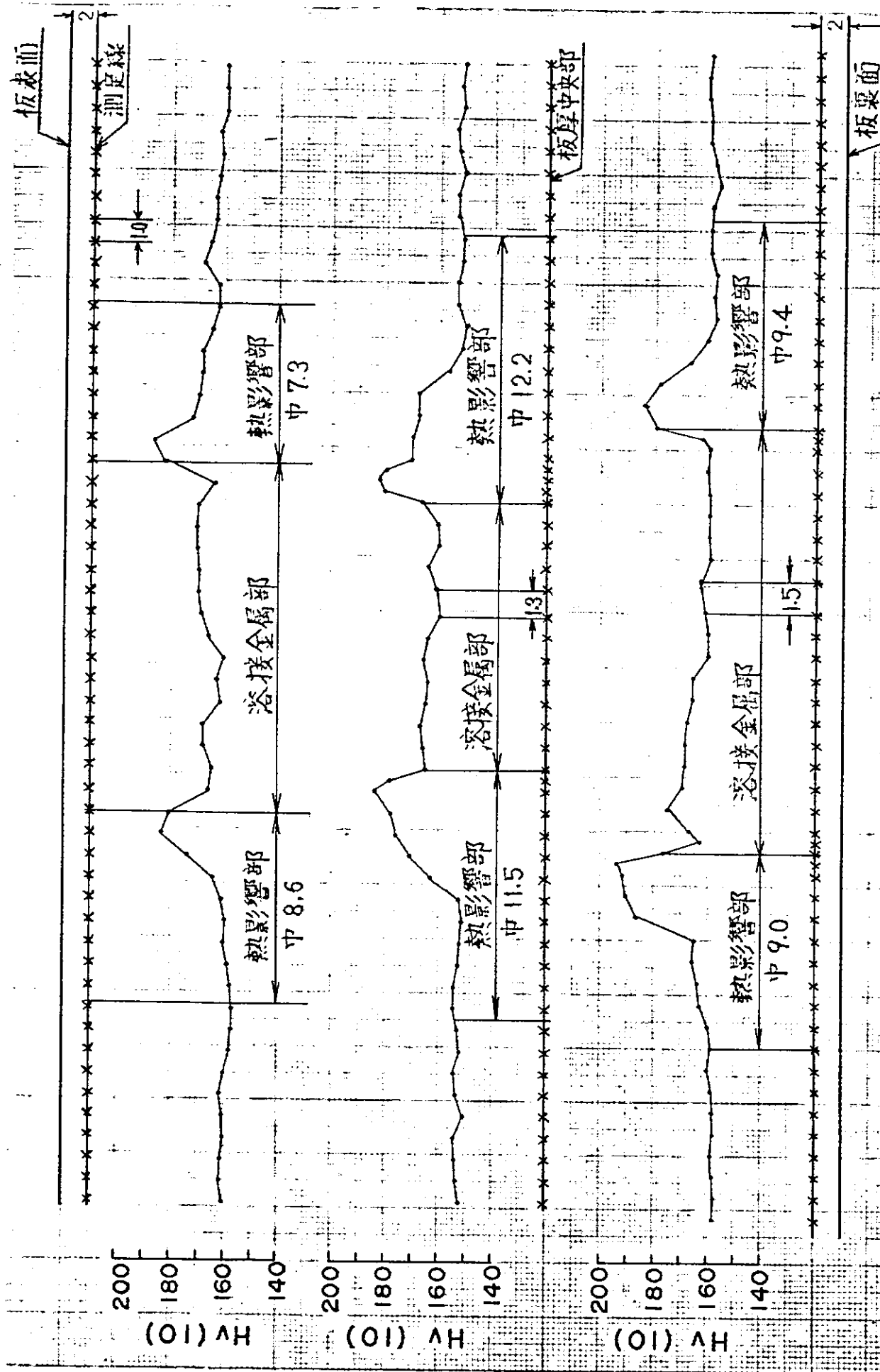
板表面

寸法単位: mm



寸法単位: mm

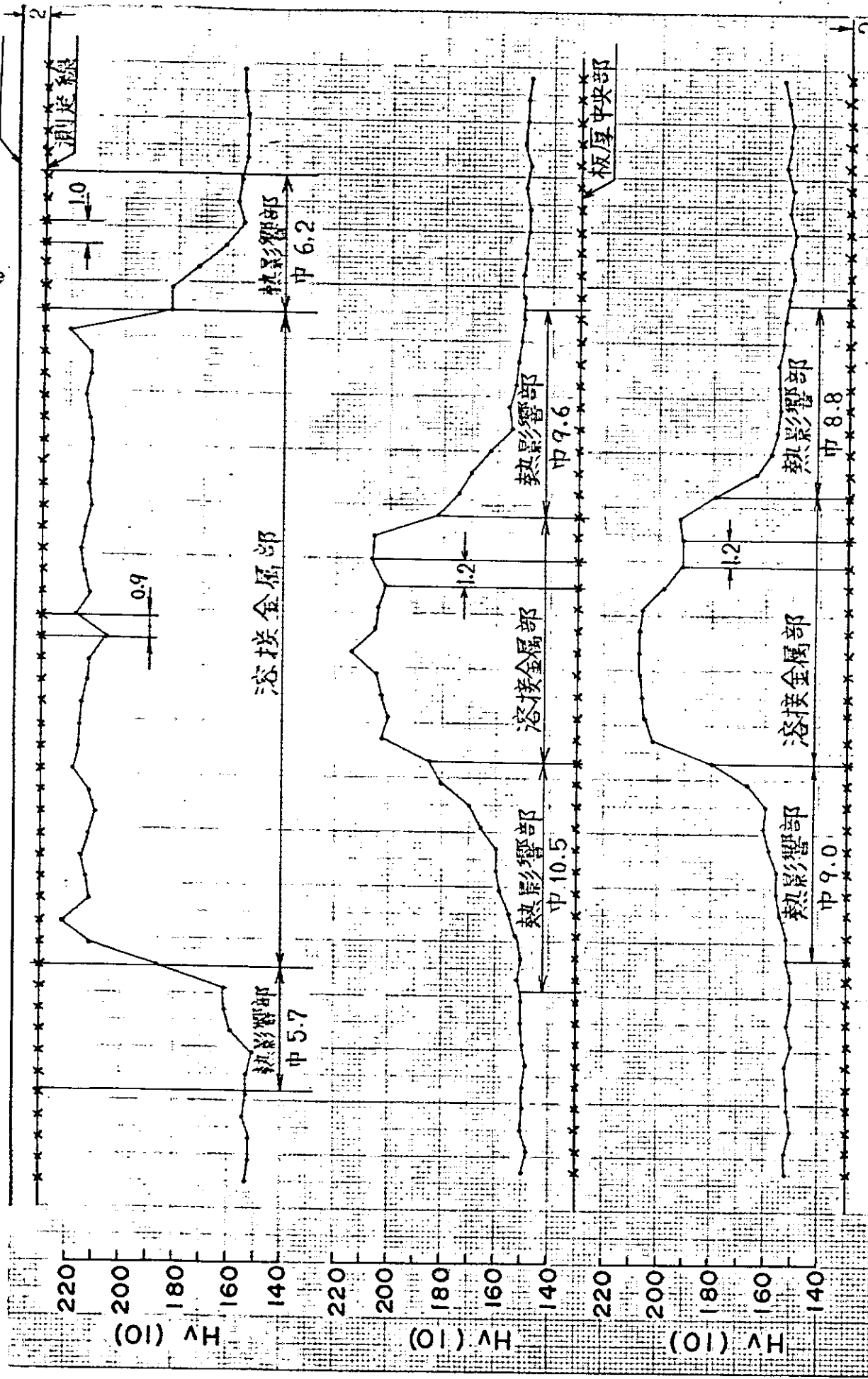
図4.2.4 ビッカース硬さ試験結果 (KDK鋼, 3電極片面1層溶接継手)



寸法単位:mm

図4.2.5 ビッカース硬さ試験結果 (K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

板表面



板裏面

図4.2.7 ビッカース硬さ試験結果 (K5D鋼, 3電極片面層溶接継手)

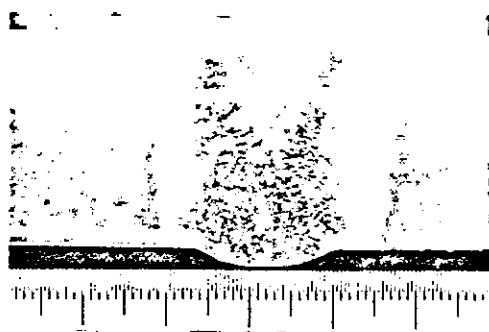
寸法単位:mm

表 4.2.1 継手部のビツカース硬さ試験結果

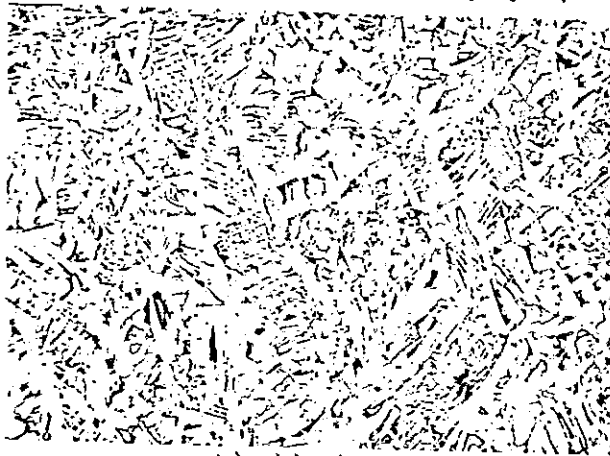
溶 接 法	鋼 種	測 定 位 置	ビツカース硬さ Hv(10)		
			溶接金属部	熱影響部	ボンド部
母 材	KAS	板両面より	116—138		
	KDK	2mmと板厚	130—142		
	K5D	中央部	148—168		
VASCON—II 法 溶 接	KAS	板表面より2mm	141—158	127—146	152
デルタオツシレート 法 溶 接		板 厚 中 央	150—157	128—156	162
		板裏面より2mm	149—158	131—151	159
		板表面より2mm	160—173	122—139	151
		板 厚 中 央	163—176	124—151	158
		板裏面より2mm	163—172	122—143	152
3電極片面1層 溶 接	KDK	板表面より2mm	160—178	135—153	169
板 厚 中 央		156—163	130—147	151	
板裏面より2mm		155—166	134—148	158	
VASCON—II 法 溶 接	K5D	板表面より2mm	161—171	157—187	183
デルタオツシレート法 溶 接		板 厚 中 央	160—166	151—185	167
		板裏面より2mm	160—175	158—194	180
		板表面より2mm	151—159	150—163	163
		板 厚 中 央	154—165	160—196	171
		板裏面より2mm	144—156	148—177	173
3電極片面1層 溶 接		板表面より2mm	206—222	151—183	186
板 厚 中 央		201—215	151—181	185	
板裏面より2mm		192—208	152—167	181	

備考

1. 測定間隔は1mm
2. 母材KASの硬さは2溶接試験片、K5Dは3溶接試験片よりの最低～最高硬さ
3. ボンド部は高い方を示す



継手部 マクロ



溶接金属



ボンド



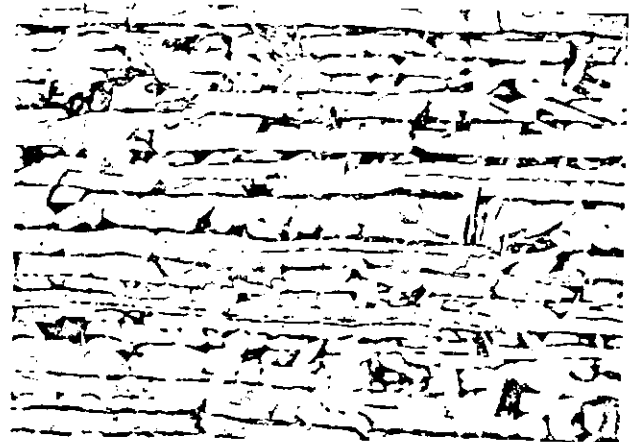
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm



ボンドより 8mm



母材 ×100

写真4.2.1 VASCON-II法溶接継手(KAS鋼) H.I.=108,000 J/cm



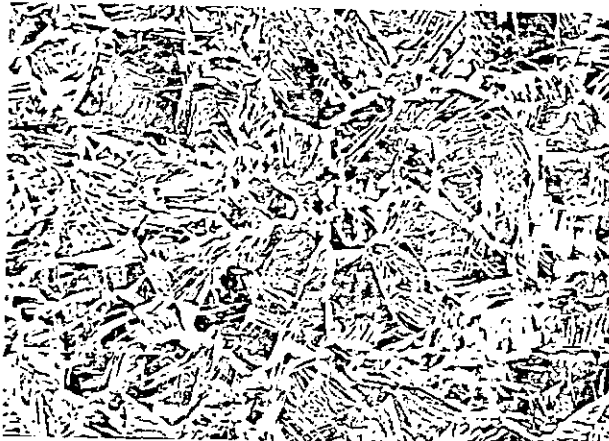
継手部マクロ



溶接金属



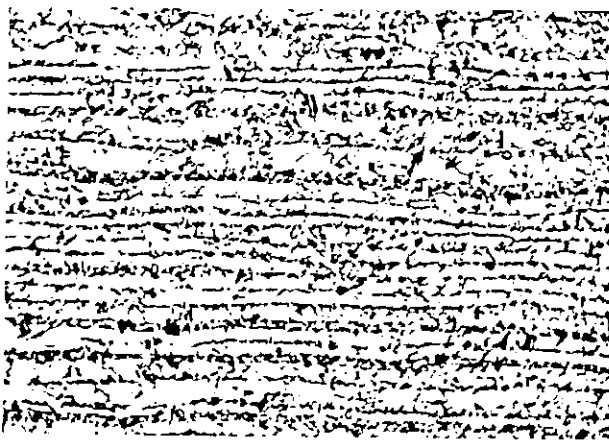
ボンド



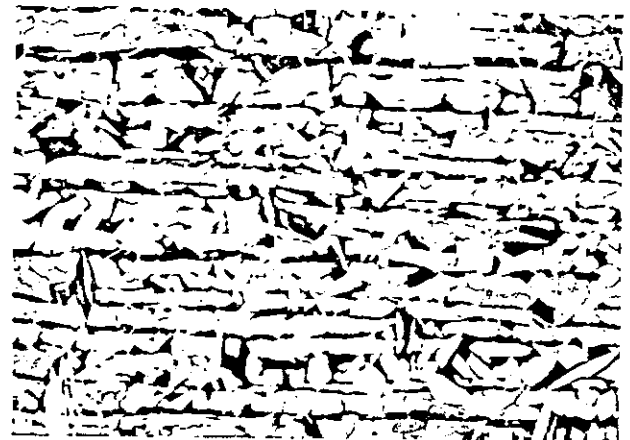
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm

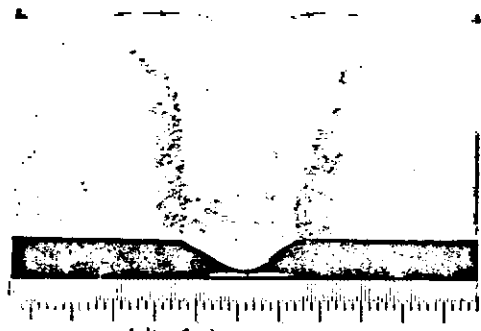


ボンドより 8mm

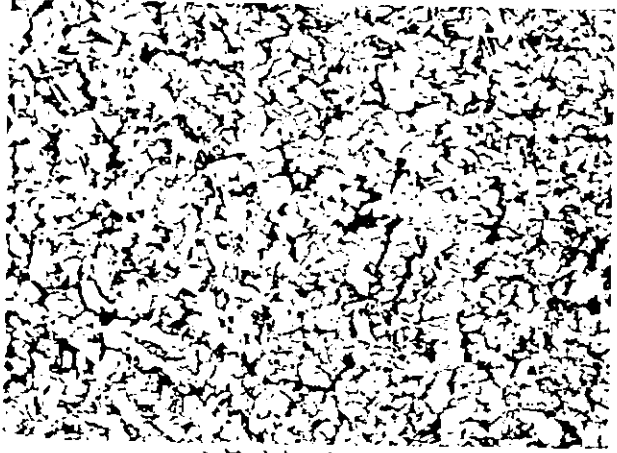


母材 ×100

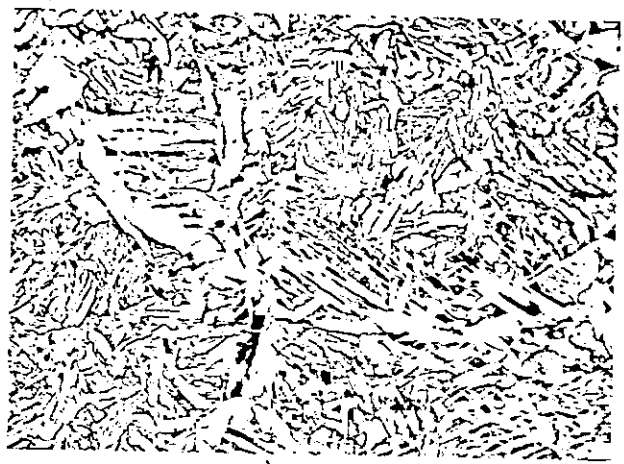
写真4.2.2 デルタオシット法溶接継手(KAS鋼) H.I.=120,000~161,000 $\frac{\gamma}{\text{cm}}$



継手部 マクロ



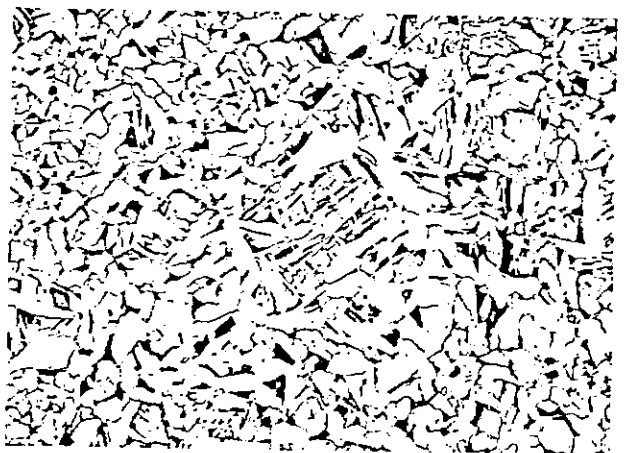
溶接金属



ボンド



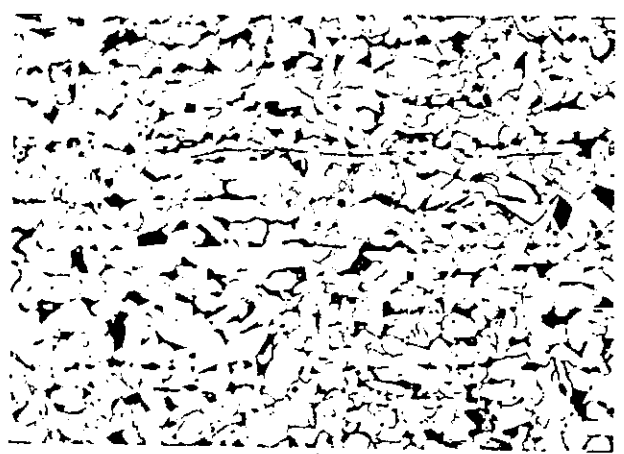
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm

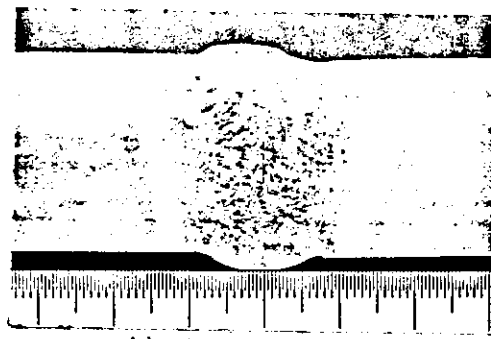


ボンドより 8mm



母材 ×100

写真4.2.3 3電極片面1層溶接継手(KDK鋼) H.I.=134,500 $\frac{\text{J}}{\text{cm}}$



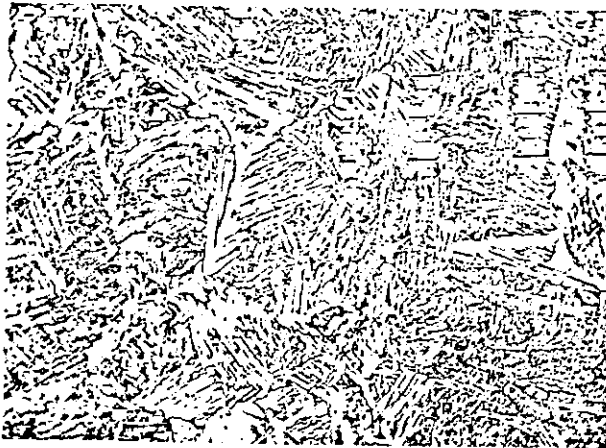
継手部 マクロ



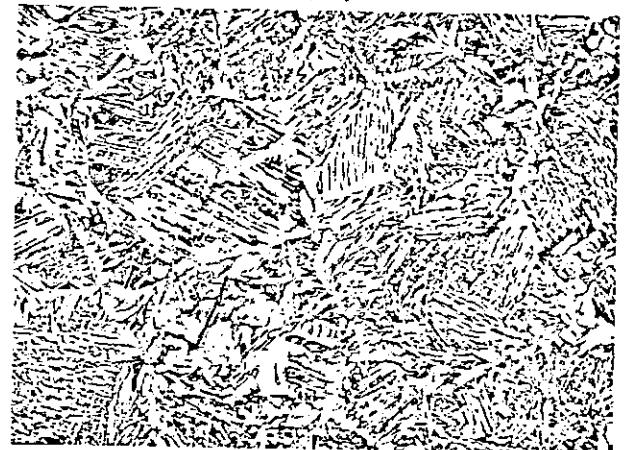
溶接金属



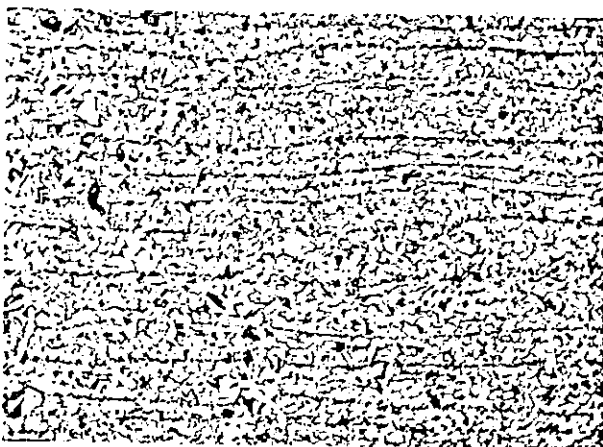
ボンド



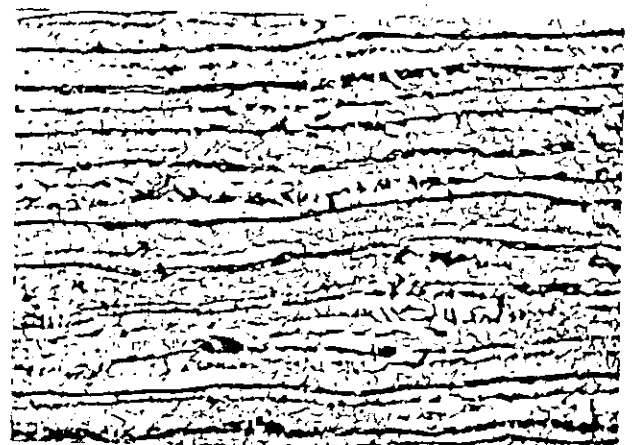
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm

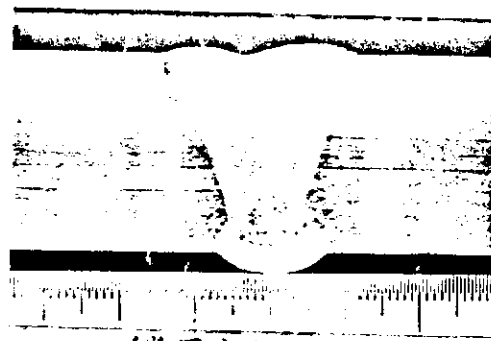


ボンドより 8mm



母材 ×100

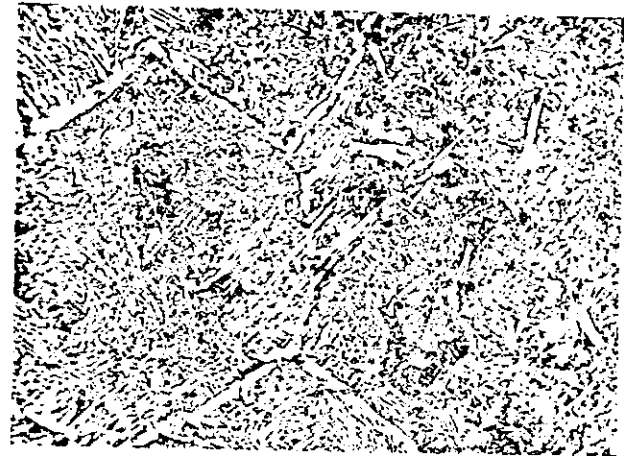
写真4.2.4 VASCON-II法溶接継手(K5D鋼) H.I.=117,000 $\frac{J}{cm}$



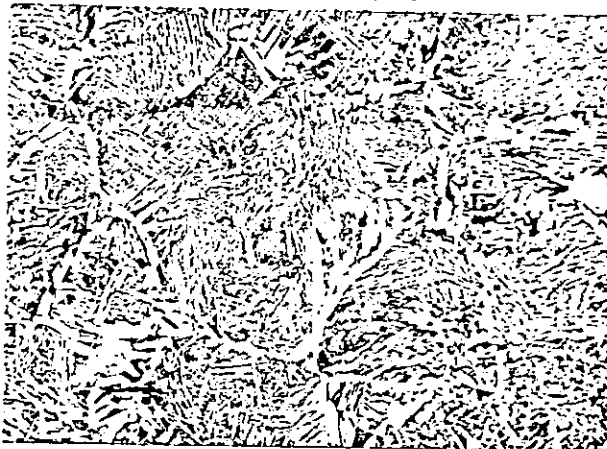
継手部 マクロ



溶接金属



ボンド



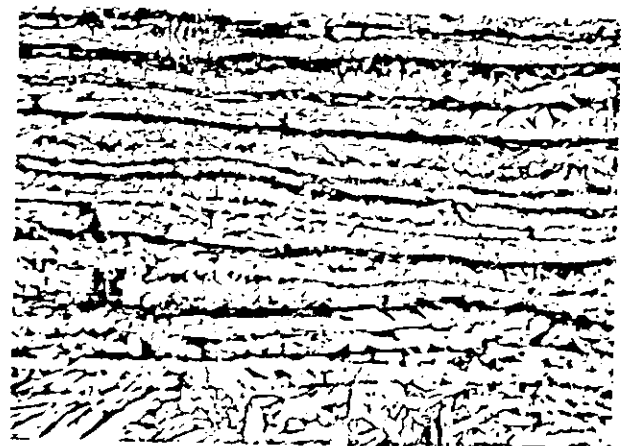
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm

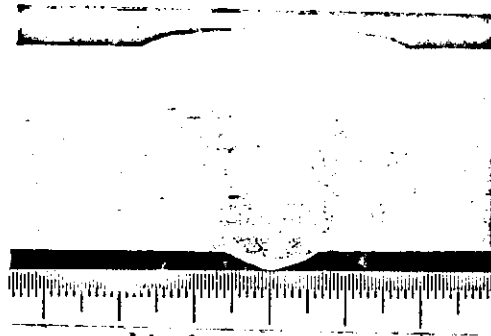


ボンドより 8mm

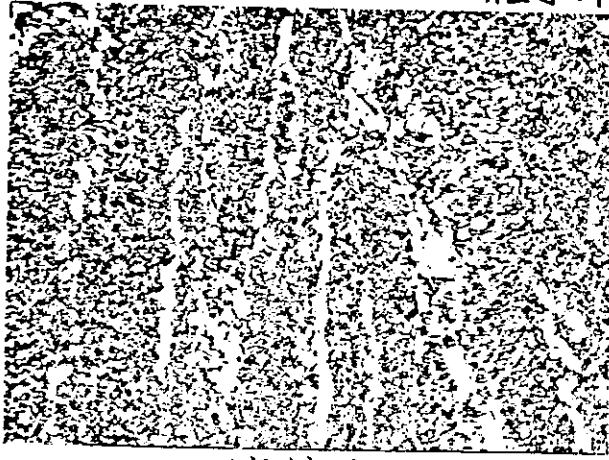


母材 ×100

写真 4.2.5 テルタオシット法溶接継手(K5D鋼) H.I.=120,000~161,000 J/cm



継手部 マクロ



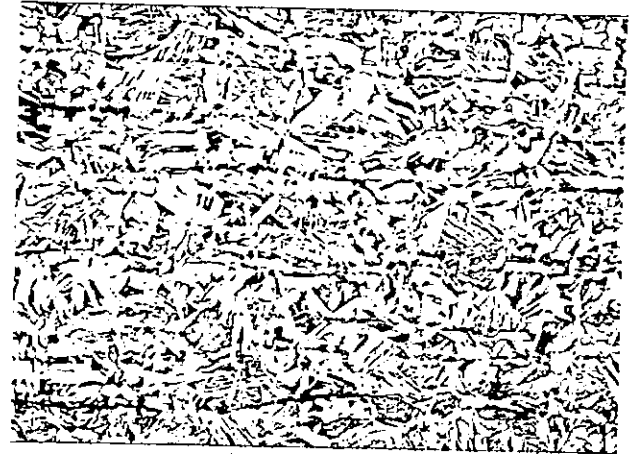
溶接金属



ボンド



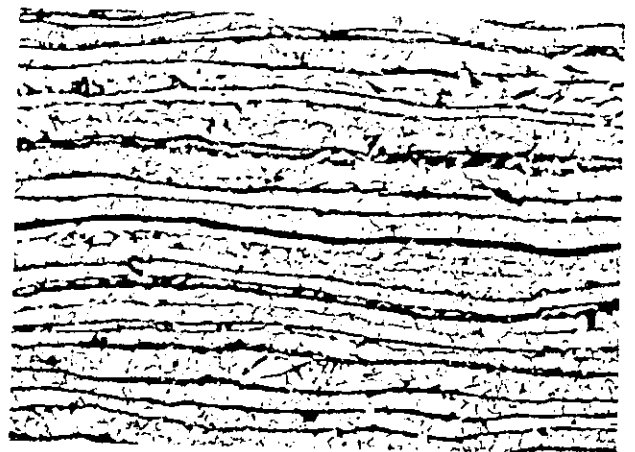
ボンドより 2mm



ボンドより 4mm



ボンドより 8mm



母材

×100

写真4.2.6 3電極片面1層溶接継手(K5D鋼) H.I.=139,500J/cm

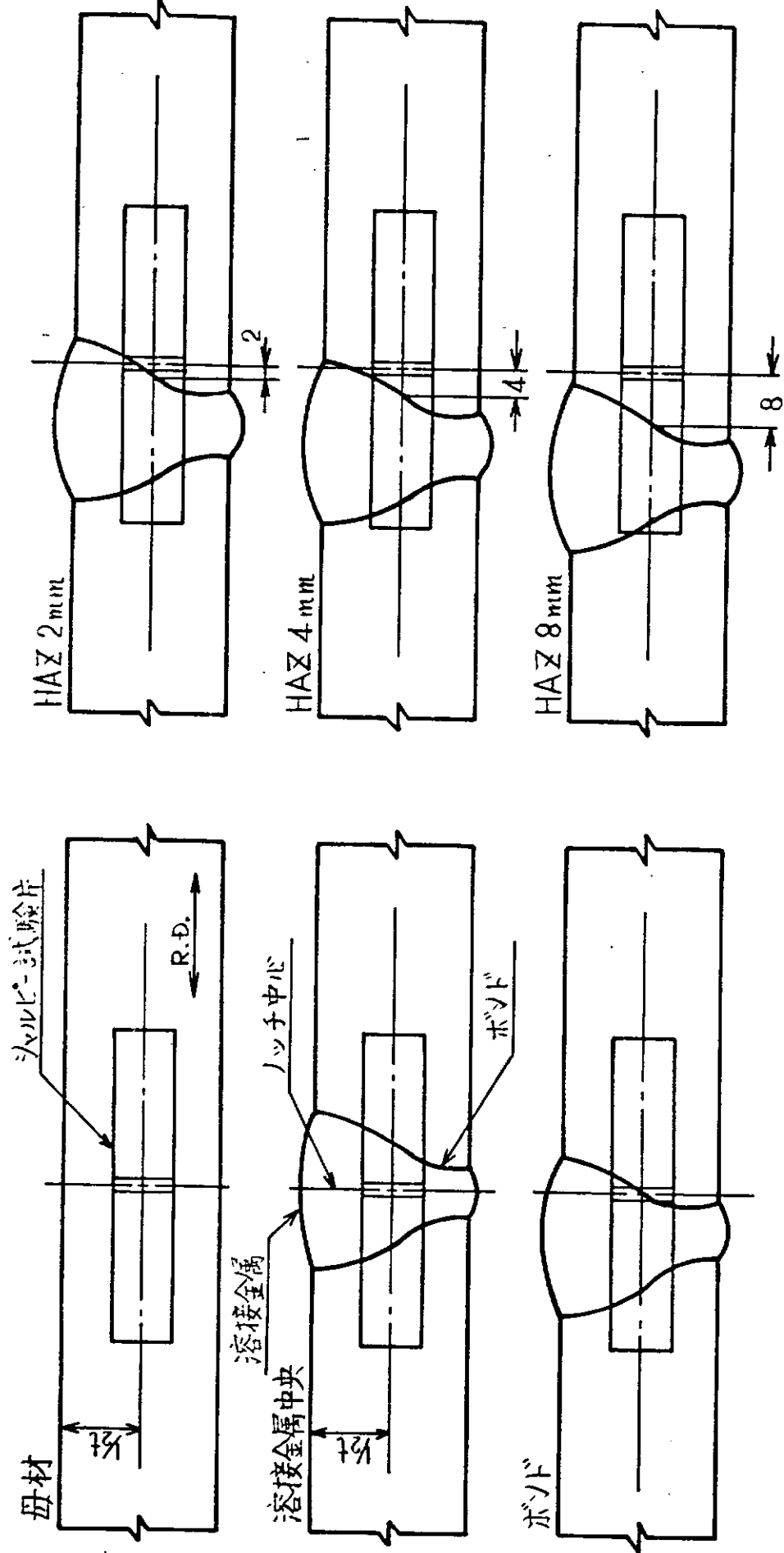


図4.3.1 V-ノッチシャルピー試験片採取位置

表4.3.1 V-ノッチヤルビ-試験結果 (KAS鋼母材およびKAS鋼VASCON-II法溶接継手)

母 (KAS) 材			溶 接 金 属			ボ ン			ボンドより2 mm			ボンドより4 mm			ボンドより8 mm		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破壊率 (%)
+60	15.64	0	+60	17.23	0	+80	15.20	0	+80	16.22	0	+60	17.23	0	+60	16.66	0
	15.64	0		17.23	0		15.20	0		16.95	0		18.23	0		17.23	0
+40	15.05	0	+40	18.09	0	+60	16.80	0	+60	16.51	0	+40	17.52	0	+40	17.52	0
	15.64	0		18.09	0		17.09	0		15.49	15		17.80	0		17.95	0
+20	14.91	10		17.09	0	+40	15.79	12	+40	17.52	0	+20	12.84	31	+20	19.62	0
	14.76	13	+20	14.91	30		14.91	18		18.09	0		10.93	39		16.66	0
+10	10.20	29		14.91	34	+20	8.05	60	+20	12.10	43	0	13.14	33	0	15.79	15
	11.96	17		14.02	28		5.98	73		5.98	66		7.91	60		18.23	0
	11.37	24	0	15.79	20	0	4.29	83		7.77	64		3.19	81	-10	18.73	0
0	11.07	34		12.84	38		4.04	77	+10	5.06	72		11.81	45		17.80	0
	5.72	59		8.90	65		2.48	91		6.39	73	-10	9.04	63	-20	17.80	0
	9.47	44	-20	12.55	56		18.37	15	0	4.80	85		5.45	80		5.06	67
-10	9.04	43		8.90	72	-10	5.85	85		5.58	79	-20	1.06	95		17.77	0
	5.19	61	-40	6.39	85		1.27	98	-10	5.06	85		6.25	80	-30	9.04	55
	6.39	49		3.55	90	-20	1.59	100		1.06	90		4.29	85		7.34	63
	4.42	64	-60	2.83	95		1.70	100	-20	1.70	93		1.38	90	-40	2.03	93
-20	1.81	90		4.55	95	-40	1.38	100		1.70	93	-40	1.17	100		1.81	95
	2.48	85	-80	1.49	100		1.38	100	-40	0.96	100		0.66	100	-60	1.49	100
-40	0.66	100		0.56	100	-60	0.66	100		0.96	100	-60	0.66	100		0.66	100
	0.76	100		1.59			0.86	100	-60	0.76	100		0.86	100	-80	0.66	100

表4.3.2 V-ノッチシャルピ-試験結果 (KAS鋼デルタソルト法溶接継手)

溶 接 金 属			ボ ン			ポ ン ド よ り 2 m m			ポ ン ド よ り 4 m m			ポ ン ド よ り 8 m m		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
+80	16.08	0	+80	17.38	0	+100	15.6	0	+80	16.37	0	+40	17.66	0
	16.37	0		17.38	0		15.7	0		16.80	0		16.22	0
+60	16.08	0	+60	17.95	0	+80	17.0	0	+60	15.20	0	+20	17.95	0
	16.37	0		16.08	15		15.8	0		16.22	0		17.09	0
+40	14.91	15	+40	14.17	28	+60	15.2	5	+40	15.20	15	0	16.66	16
	16.51	5		18.37	0		16.2	0		16.95	0		17.23	0
+20	14.61	21	+30	12.69	31	+40	15.1	17	+20	8.76	43	-20	12.25	34
	12.25	23		11.96	28		14.5	21		10.78	35		15.05	24
0	10.64	38	+20	8.76	45	+20	10.3	37	+10	7.63	56	-30	8.05	60
	8.76	42		6.93	52		10.9	36		12.40	35		8.76	46
-20	5.32	59	0	4.67	60	+10	10.8	42	0	7.63	55	-40	8.61	53
	4.93	63		3.43	67	0	7.8	51		3.92	70		6.12	65
-30	4.17	74	-20	1.59	77		4.1	64	-20	4.42	78		6.52	66
-40	1.70	79		2.26	78	-10	2.8	71		2.37	92	-50	4.04	68
	1.92	83	-40	1.59	91	-20	2.1	90	-40	1.27	100		4.29	65
-50	1.17	95		1.70	86		2.5	85		1.59	100	-60	4.04	80
-60	0.86	100	-60	0.86	100	-40	1.3	95	-60	0.96	100		0.46	0
	0.86	100		0.86	93		1.6	95		1.70	100		1.49	95
-80	0.66	100	-80	0.86	100	-60	1.3	100	-80	0.56	100	-80	1.06	100
	0.56	100		0.66	100		0.8	100		0.96	100		0.46	100

表 4.3.3

母材 (KDK)			溶接金属			ボン			ボンDより2mm			ボンDより4mm			ボンDより8mm		
試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)
+40	18.37	0	+100	16.56	0	+60	21.34	0	+80	18.37	0	+80	19.20	0	+20	26.20	0
	17.23	0		16.56	0		21.86	0		18.65	0		19.75	0		25.31	0
+20	18.65	0	+80	16.50	3	+40	22.36	0	+60	19.75	0	+60	19.62	0	0	26.48	0
	19.20	0		16.80	0		22.97	0		19.34	0		20.29	0		24.35	0
0	19.75	0	+60	14.91	20	+20	21.98	0	+40	16.80	25	+40	20.02	3	-20	23.33	0
	17.66	15		16.95	15		12.99	28		17.95	20		17.95	15		25.42	0
-20	15.79	15	+40	15.79	25		19.07	13	+20	18.79	0	+20	17.38	24	-40	23.33	0
	10.49	50		13.40	39	0	13.58	46		10.93	44		17.95	20		23.44	0
	15.64	23		12.99	34		7.91	53		17.52	17	+10	16.95	18	-60	20.02	17
-30	14.17	41	+20	11.37	47		11.07	50	0	15.35	40		16.08	30		18.93	18
	12.99	42		10.78	49		11.37	47		10.05	53	0	16.51	32	-70	9.76	50
-40	7.77	67	+10	9.04	59	-10	2.95	80		7.21	56		11.07	52		6.25	64
	1.27	93	0	11.37	42		16.51	45		7.35	68		17.52	17		9.47	52
	2.26	83	0	6.25	70		6.80	65	-20	7.07	71	-20	9.04	56		8.61	57
	5.72	74		8.76	58	-20	5.85	65		3.19	85		7.07	68	-80	6.12	69
-50	1.92	92	-20	2.48	90		2.95	84		3.43	82	-30	4.04	76		5.19	82
-60	2.03	95		2.95	86	-40	1.38	90	-40	1.17	100	-40	0.86	96	-100	2.26	95
	0.86	100	-30	1.06	100		1.49	85		0.86	100		1.59	94		2.95	95
-80	0.76	100	-40	0.66	100	-60	0.86	100	-60	0.86	100	-60	0.86	100	-120	0.86	100
	0.76	100		0.86	100		1.17	100		8.05	65		0.96	100		0.76	100

表 4.3.4 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼母材およびK5D鋼VASCON-II法溶接継手)

母材 (K5D)			溶接金属			ボンド			ボンドより 2mm			ボンドより 4mm			ボンドより 8mm		
試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)	試験温度 (°C)	吸収エネルギー (kg-m)	脆性破壊率 (%)
+40	22.17	0	+80	13.32	20	+60	17.52	0	+60	23.94	0	+60	21.87	0	0	29.85	0
	22.10	0		14.62	0	+40	15.21	20		24.48	0		23.77	0		29.88	0
+14	22.95	0	+60	15.07	0		14.59	20	+40	21.28	10	+40	22.27	0	-7	24.83	0
	19.73	0		13.20	30	+14	12.37	50		22.27	0		22.27	0		27.72	0
0	18.44	10	+40	8.23	70		17.38	20	+25	18.62	30	+14	20.29	20	-20	24.83	0
	15.10	20		12.61	50	+10	15.07	30		22.86	10		19.57	30		29.24	0
-7	16.00	30	+30	11.63	50	0	6.26	80	+14	20.26	20	+10	8.55	70	-40	25.47	0
	19.63	20	+25	7.46	60		7.10	80		2.74	90		14.47	60		25.39	0
-20	13.88	30		7.26	70		9.81	70		21.66	10	0	8.52	70	-50	20.96	30
	19.69	10	+14	10.09	70	-7	4.56	90	+10	20.82	20		12.37	70		20.91	30
-30	15.07	50		7.86	80		9.84	70	0	7.81	80		6.32	90	-60	19.39	40
	14.35	50	0	4.70	90	-10	2.35	95		8.10	80	-7	15.57	60		21.28	30
-40	2.64	90		2.13	95	-20	0.95	95		8.23	80		13.66	60	-70	20.11	40
	8.78	80		5.08	90		3.79	95	-7	5.91	90		9.50	70		11.58	80
-50	7.32	80	-7	6.18	80		2.57	95		7.41	80		2.37	90		20.52	40
	7.58	80		6.69	70	-30	1.07	95	-10	3.25	90		3.19	90	-75	7.83	70
-60	4.49	95	-20	3.87	95	-40	1.52	95	-20	0.79	95		1.37	95		9.70	70
	4.51	90		3.54	95		1.35	100		4.75	95		3.19	95		5.63	90
-75	1.07	100	-40	1.64	100	-60	1.31	100	-40	0.65	100	-40	1.70	95	-100	4.07	95
	0.65	100		1.27	100		1.64	100		1.27	100		0.97	100		6.72	85

表4.3.5 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼デルタシルト法溶接継手)

溶 抄 金 属			ボ ン			ポ ン ド よ り 2mm			ポ ン ド よ り 4mm			ポ ン ド よ り 8mm		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
+100	14.17	0	+80	17.43	0	+100	17.83	0	+100	18.78	0	+14	20.14	0
	15.44	0		18.27	0		16.39	0		18.24	0		21.49	0
+60	14.65	0	+60	12.76	20	+80	18.00	10	+80	17.14	0	0	19.98	0
	13.39	0		19.14	0		14.17	30		18.84	0		20.69	0
+40	13.36	20	+50	17.27	10	+60	10.39	30	+60	14.14	20	-7	21.51	0
	10.99	30	+40	13.42	30		8.84	60		12.52	50		21.54	0
+25	12.67	40		17.83	10	+40	8.10	70	+40	9.15	70	-20	14.98	40
	10.30	30		9.13	50		9.10	60		10.27	60		19.11	0
+14	8.75	40	+25	9.33	60	+25	4.65	80	+25	6.42	80	-30	19.92	10
	10.81	30		7.95	60		3.72	70		6.45	75		12.76	60
0	7.89	50	+14	7.08	60	+14	3.14	80	+14	4.82	80	-40	8.29	70
	6.13	60		5.27	60		3.39	70		3.22	80		10.78	60
-7	4.97	70	0	4.32	80	0	3.44	85	0	2.32	90	-50	9.36	70
	4.19	60		5.33	85		2.11	90		2.32	85		14.35	60
-20	2.52	80	-7	4.32	80	-7	2.09	80	-7	1.56	90	-60	6.77	85
	3.05	70		3.89	80		2.13	80		2.20	80		1.78	95
-40	1.07	90	-20	2.97	90	-20	1.21	90	-20	1.48	90	-75	4.22	90
	1.17	90		2.64	90		1.76	90		1.21	95		1.78	95
-60	0.81	95	-40	0.83	95	-40	0.89	95	-40	0.68	100	-100	1.01	100
	0.68	95		0.93	95		1.07	95		0.65	100		2.68	90

表4.3.6 V-ノッチシャルピ-試験結果(K5D鋼3電極片面1層溶接継手)

溶 接 金 属			ボ ン ド			ボン ドより 2mm			ボン ドより 4mm			ボン ドより 8mm		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
+80	14.80	0	+100	19.51	0	+100	18.84	0	+80	20.52	0	+14	21.69	0
	13.91	0	+80	19.71	0	+80	18.76	0	+60	20.21	0		21.03	0
+60	13.80	0		20.00	0		19.71	0		21.44	0	0	24.28	0
	13.45	0	+60	15.15	0	+60	18.27	20	+40	17.72	30		22.95	0
+40	12.22	0		19.51	0		13.57	40		12.46	60	-7	21.69	0
	12.73	0	+50	9.07	50	+40	12.08	60		20.11	10		21.30	0
+25	10.39	0	+40	8.23	70		8.61	70	+30	13.45	30	-20	20.26	20
	12.25	0		13.45	50	+30	6.67	80	+25	17.17	30		17.91	30
+14	9.07	40	+25	6.99	70	+25	11.78	60		8.93	70	-30	20.09	30
	8.67	50		7.35	70		3.62	80	+14	11.55	70	-40	18.50	40
0	6.61	60	+14	5.11	85	+14	2.94	85		8.29	70		22.84	0
	5.48	60		2.49	80		3.94	80		18.22	40	-50	19.42	30
-7	5.36	70	0	1.91	85	0	1.86	95	0	7.23	80		6.58	80
	5.91	70		3.44	70		4.42	90		7.83	70		18.27	40
-20	4.56	70	-7	7.78	75	-7	1.56	95	-7	2.37	90	-60	6.58	85
	4.22	85		3.42	85		1.59	95		3.16	80		6.11	90
-40	2.37	85	-20	2.99	70	-20	1.21	95	-20	2.13	90	-75	1.09	100
	1.15	80		1.48	90		1.07	95		3.02	85		4.67	95
-60	1.03	95	-40	1.09	95	-40	0.59	100	-40	2.09	95	-100	0.87	100
	1.17	95		1.17	90		0.55	100		1.07	95		2.60	95

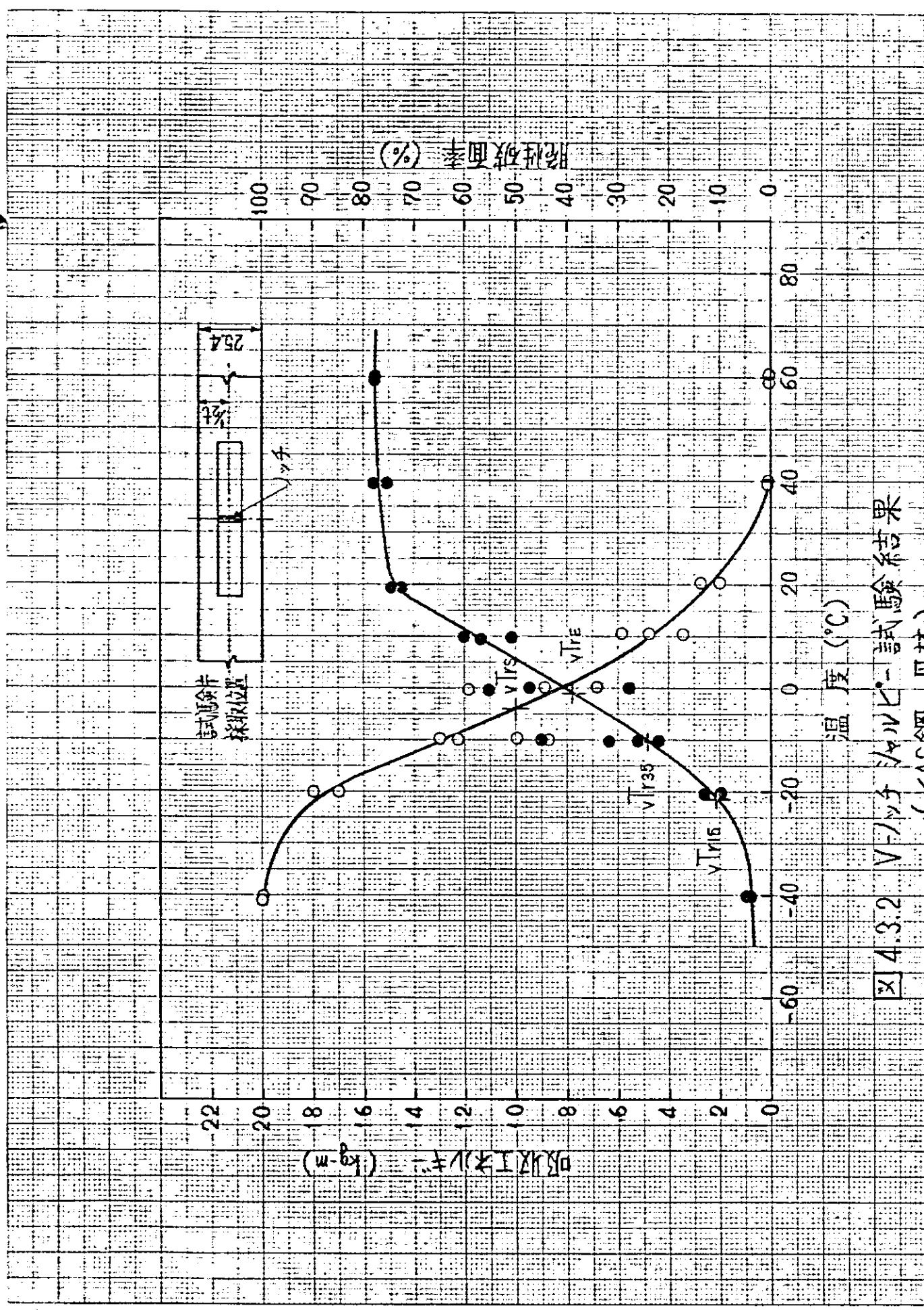


図 4.3.2 Vノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, 母材)

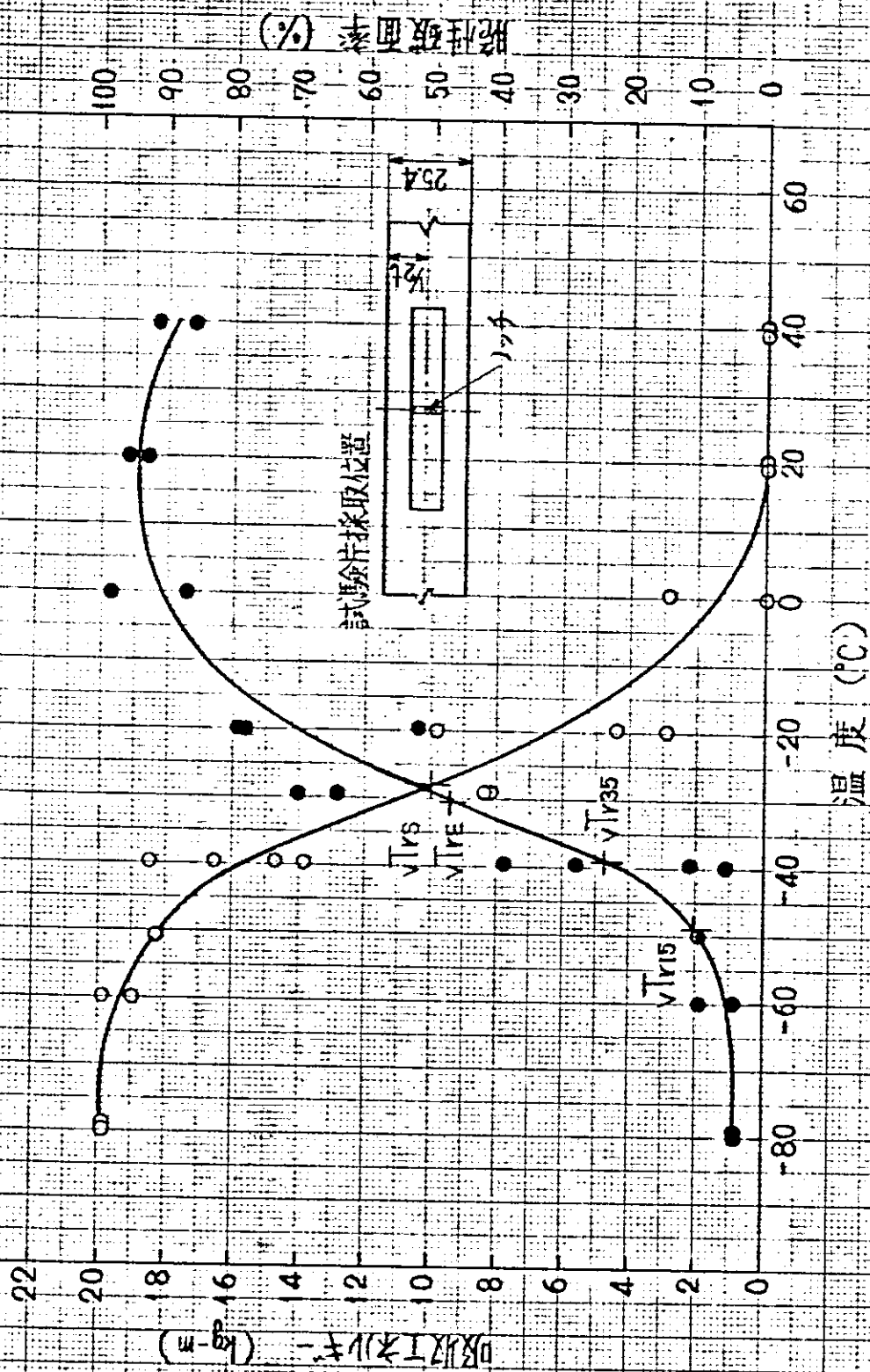


図4.3.3 V-NiTi合金の試験結果 (KDK鋼, 母材)

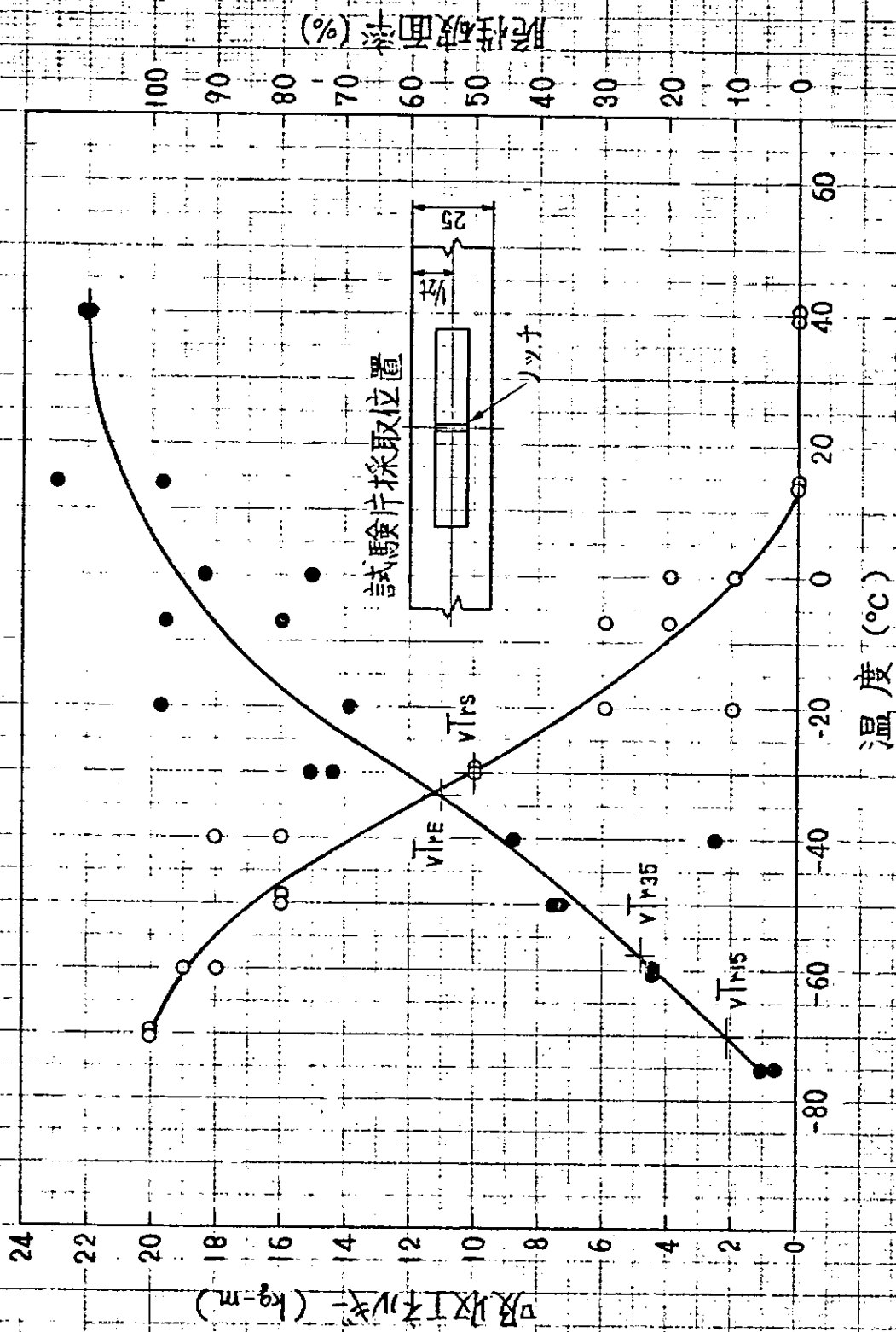


図4.3.4 Vノッチシャルピー試験結果
(K5D鋼, 母材)

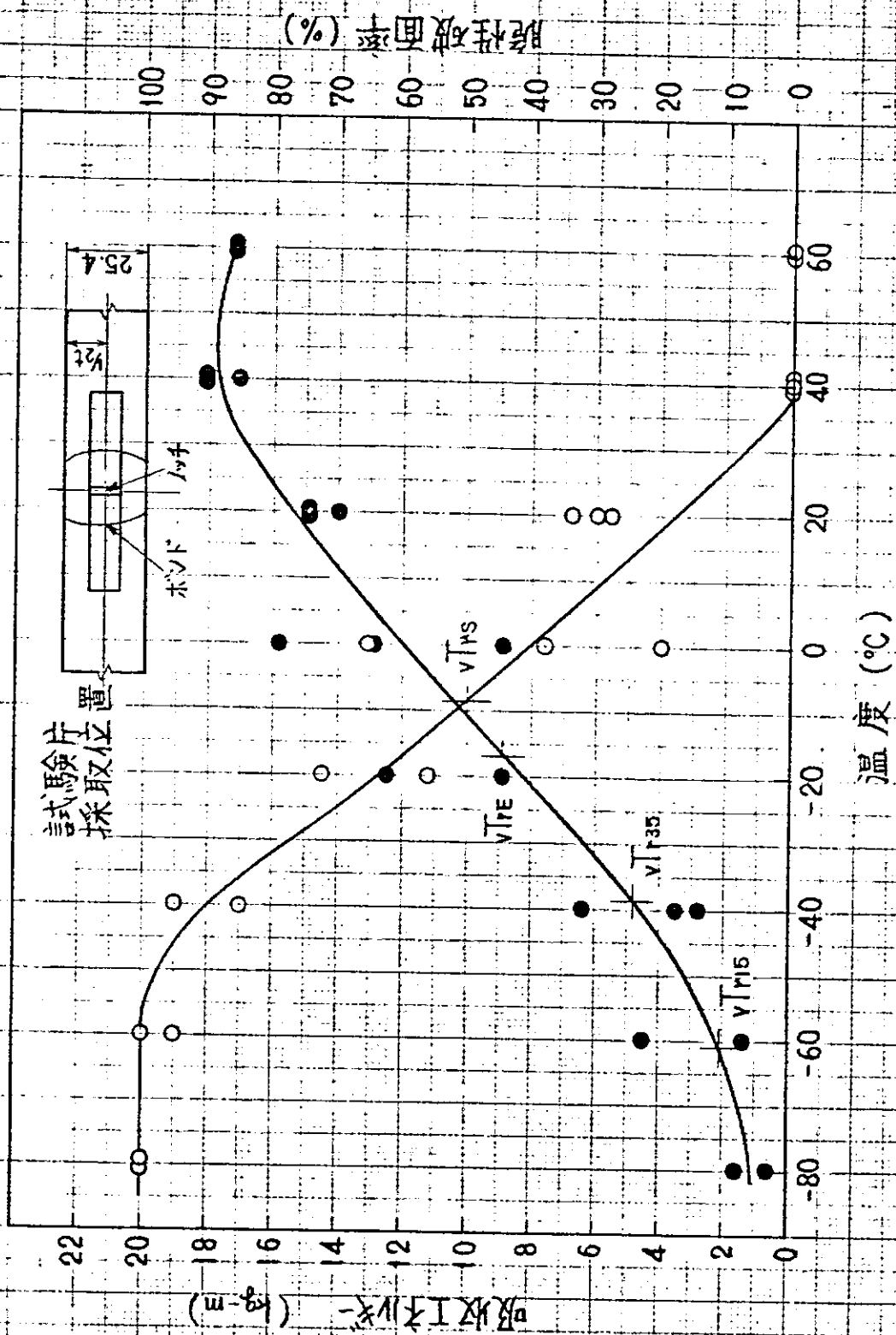


図4.3.5 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

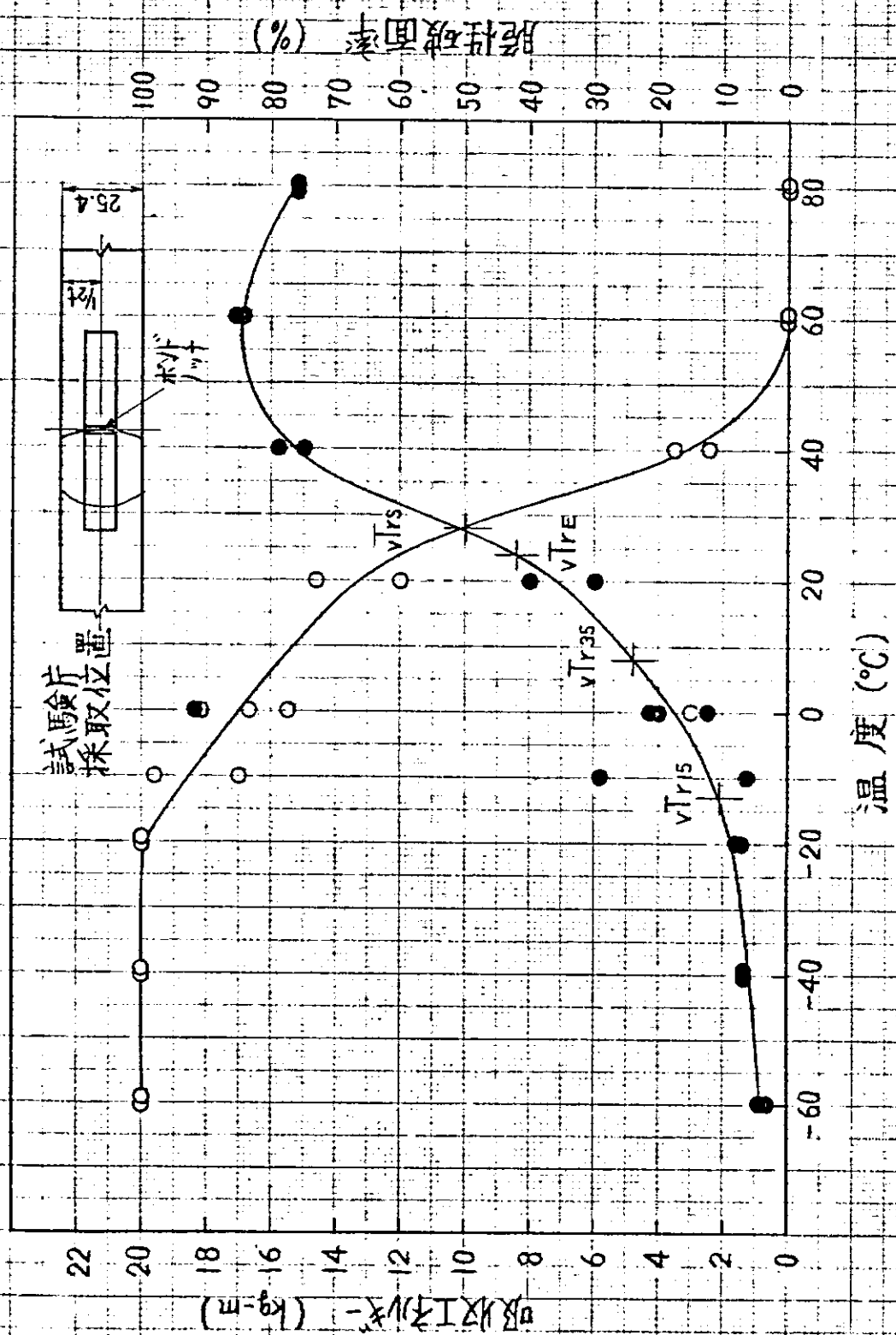


図4.3.6 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

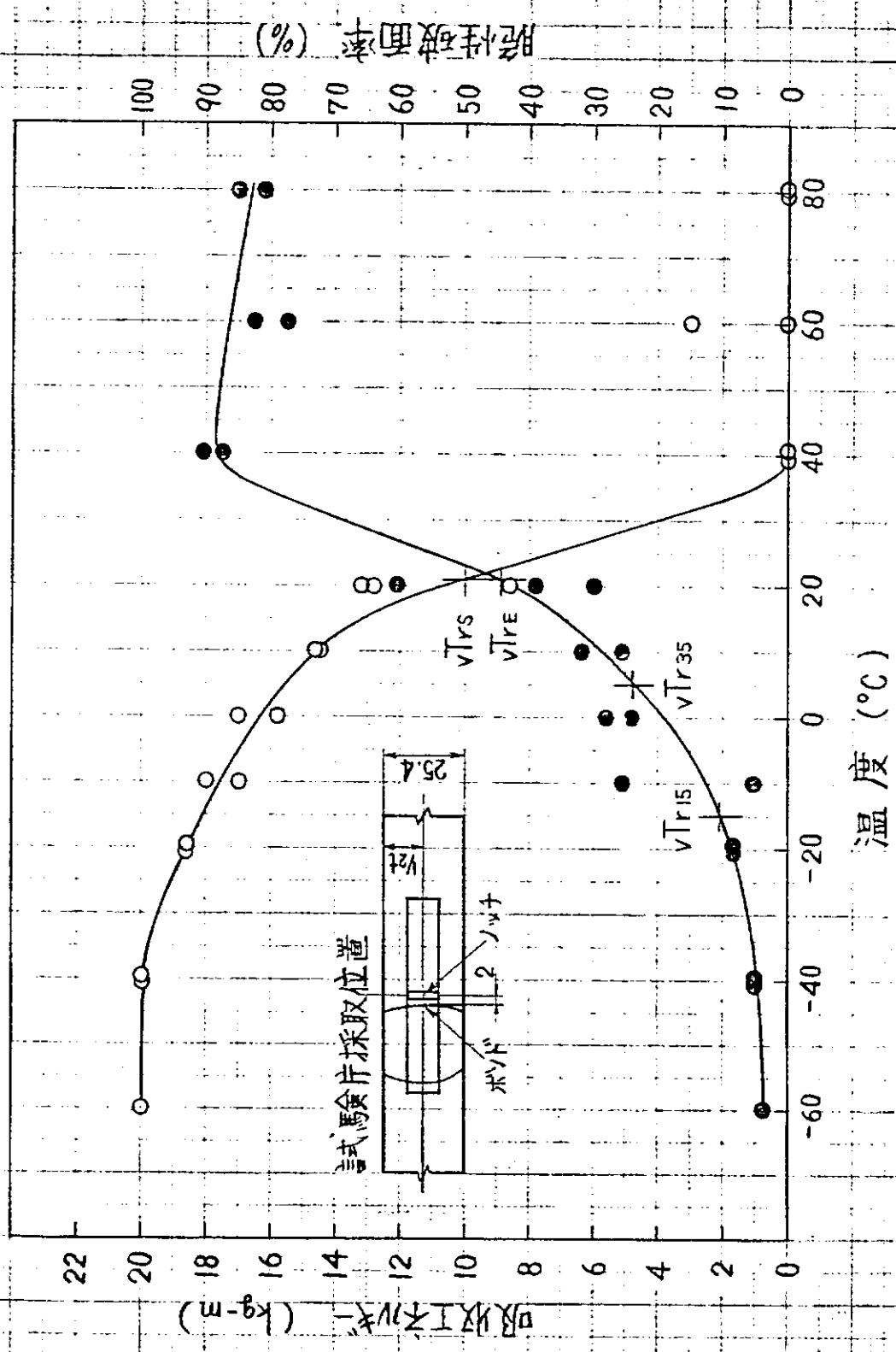


図4.3.7 V-Ni-Ch-V合金-試験結果
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

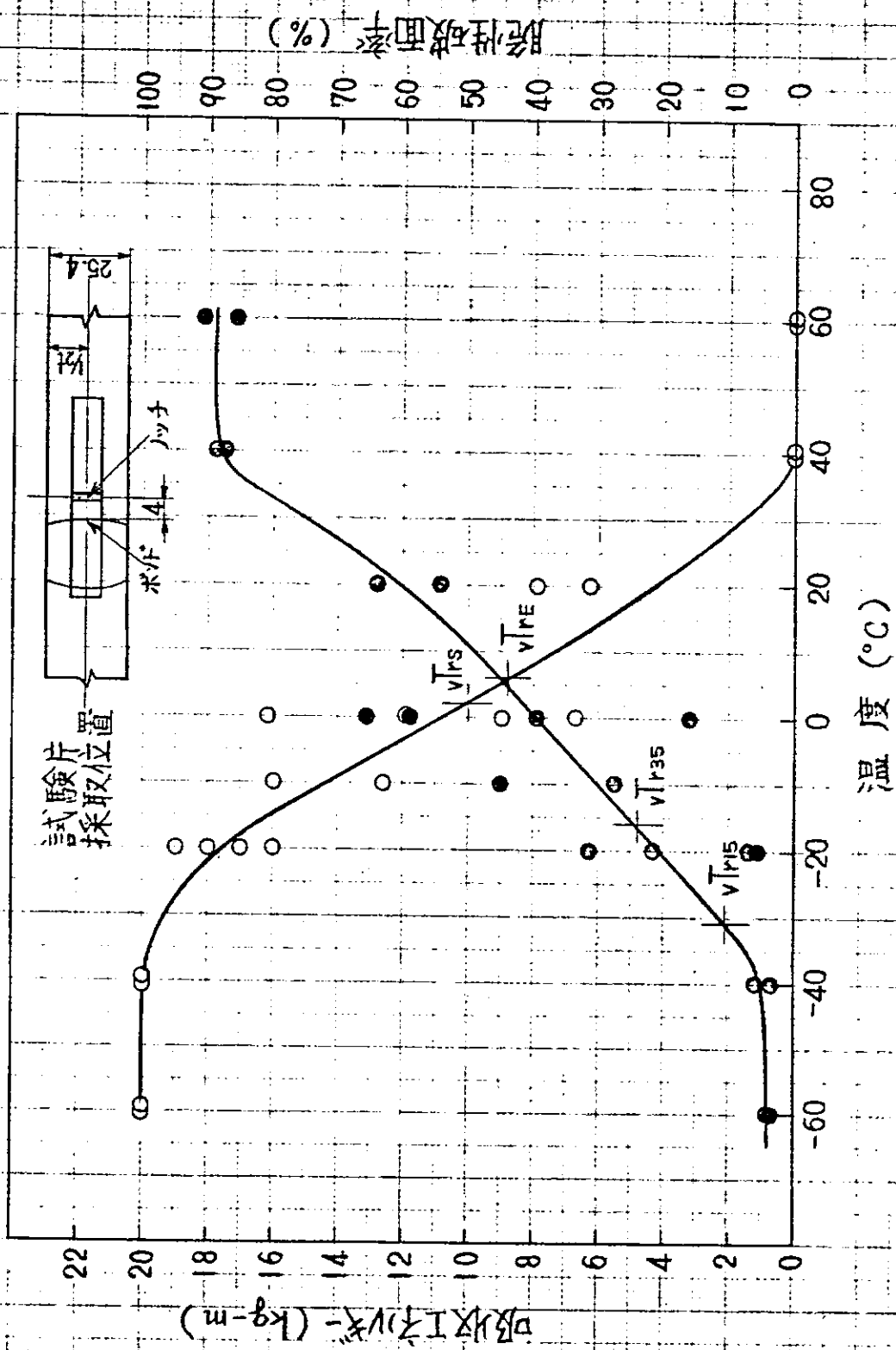


図4.3.8 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

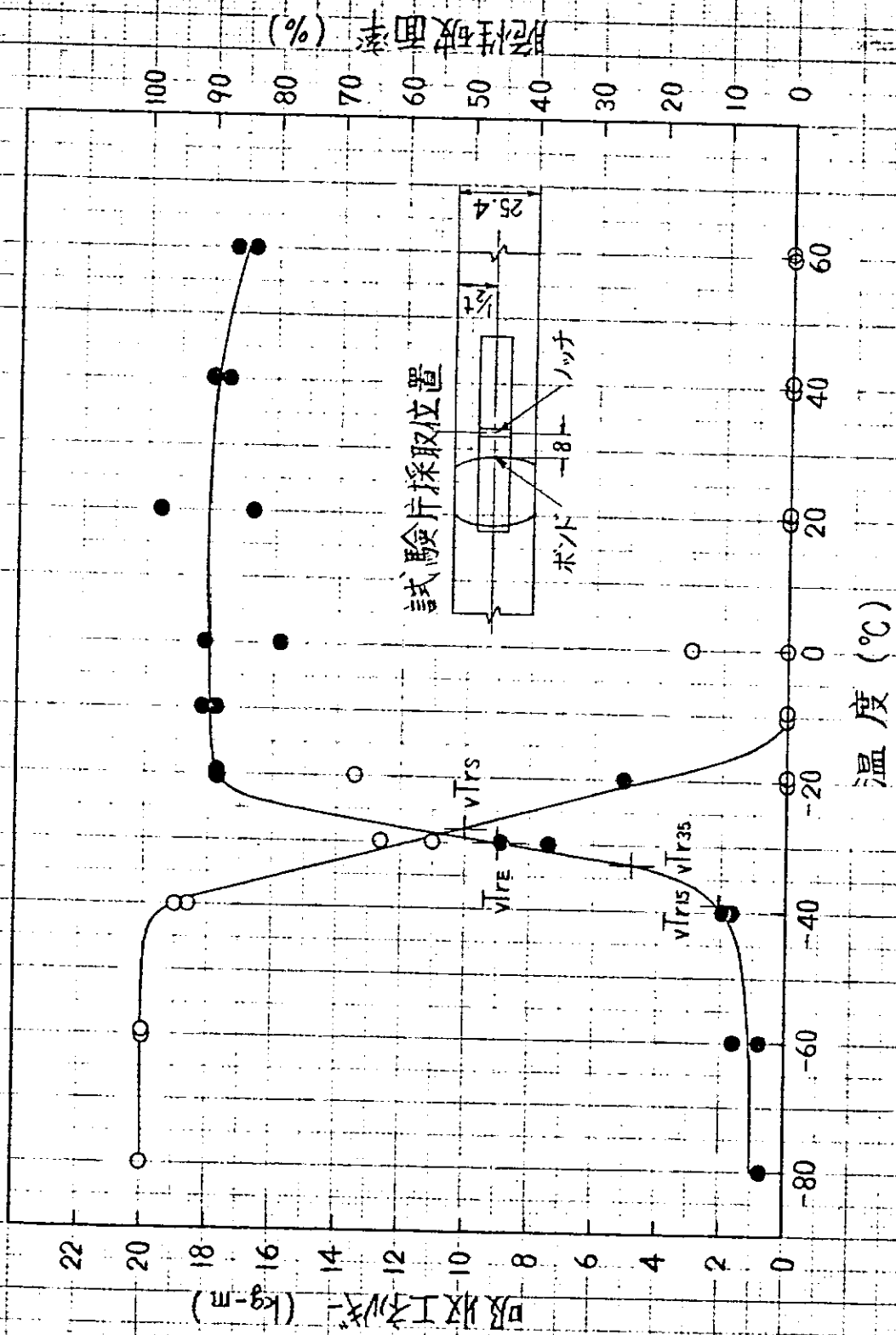


図4.3.9 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

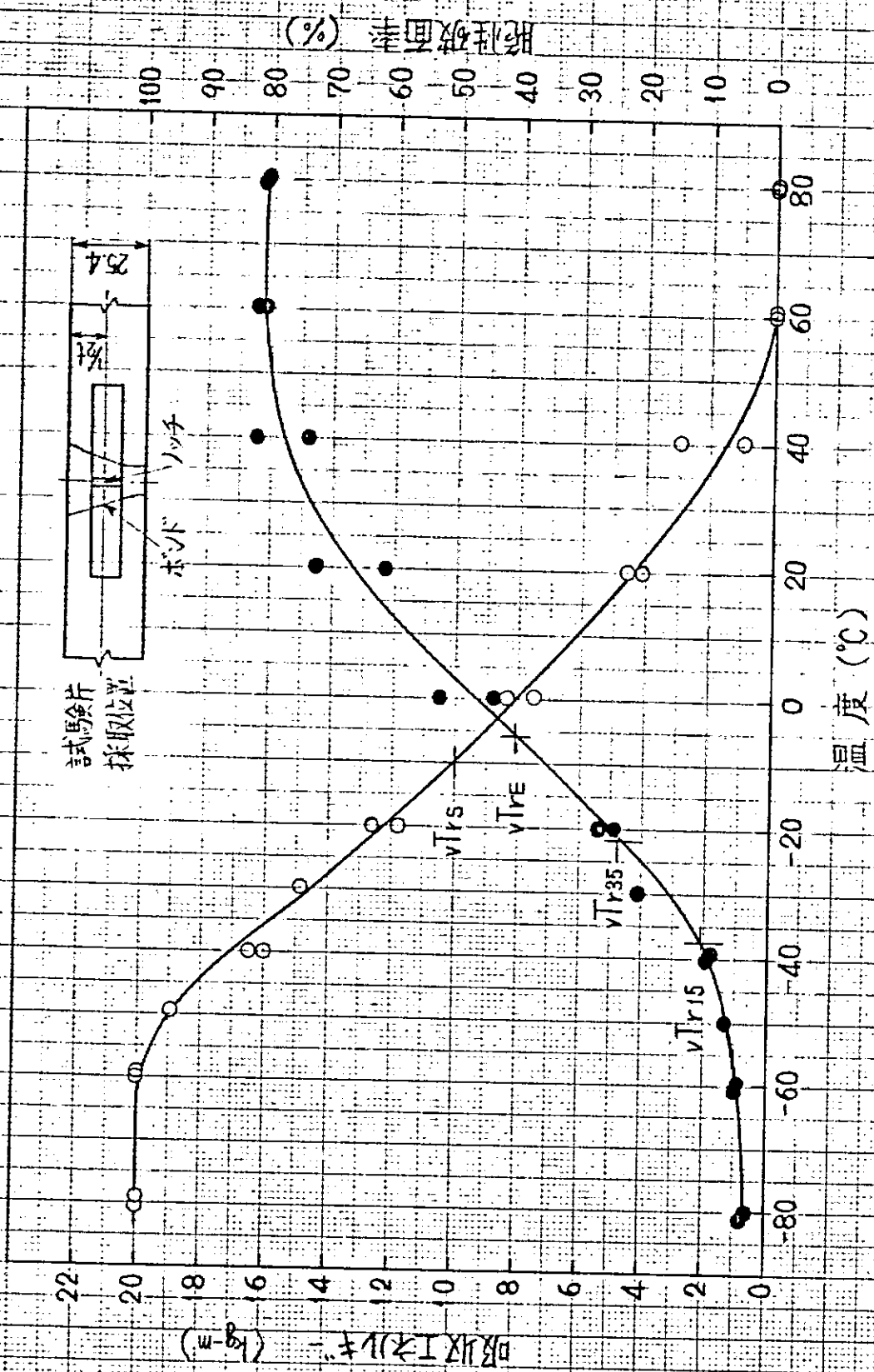


図4.3.10 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, デラムシルト法溶接継手)

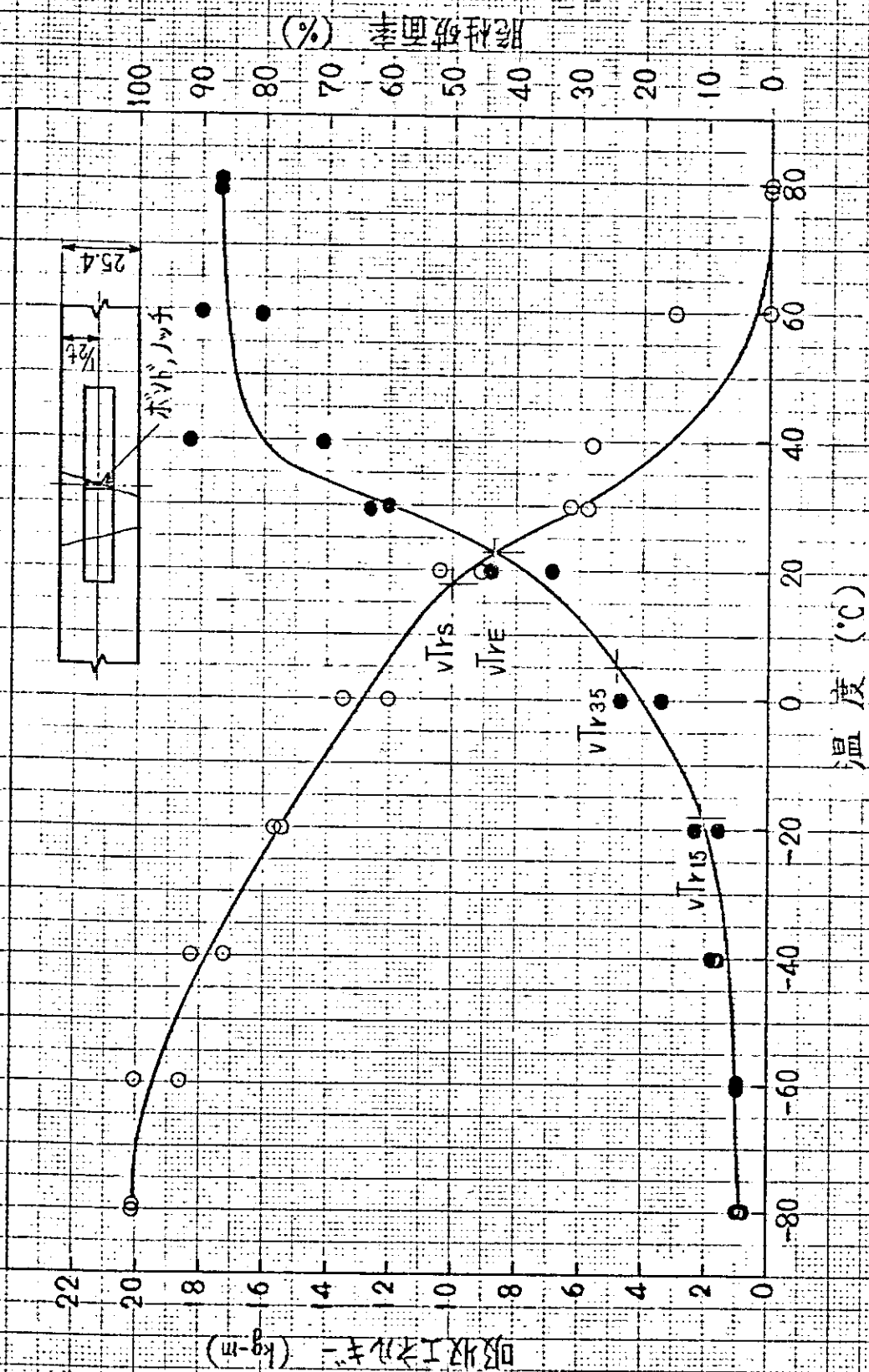


図4.3.11 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, デルタオシロト法溶接継手)

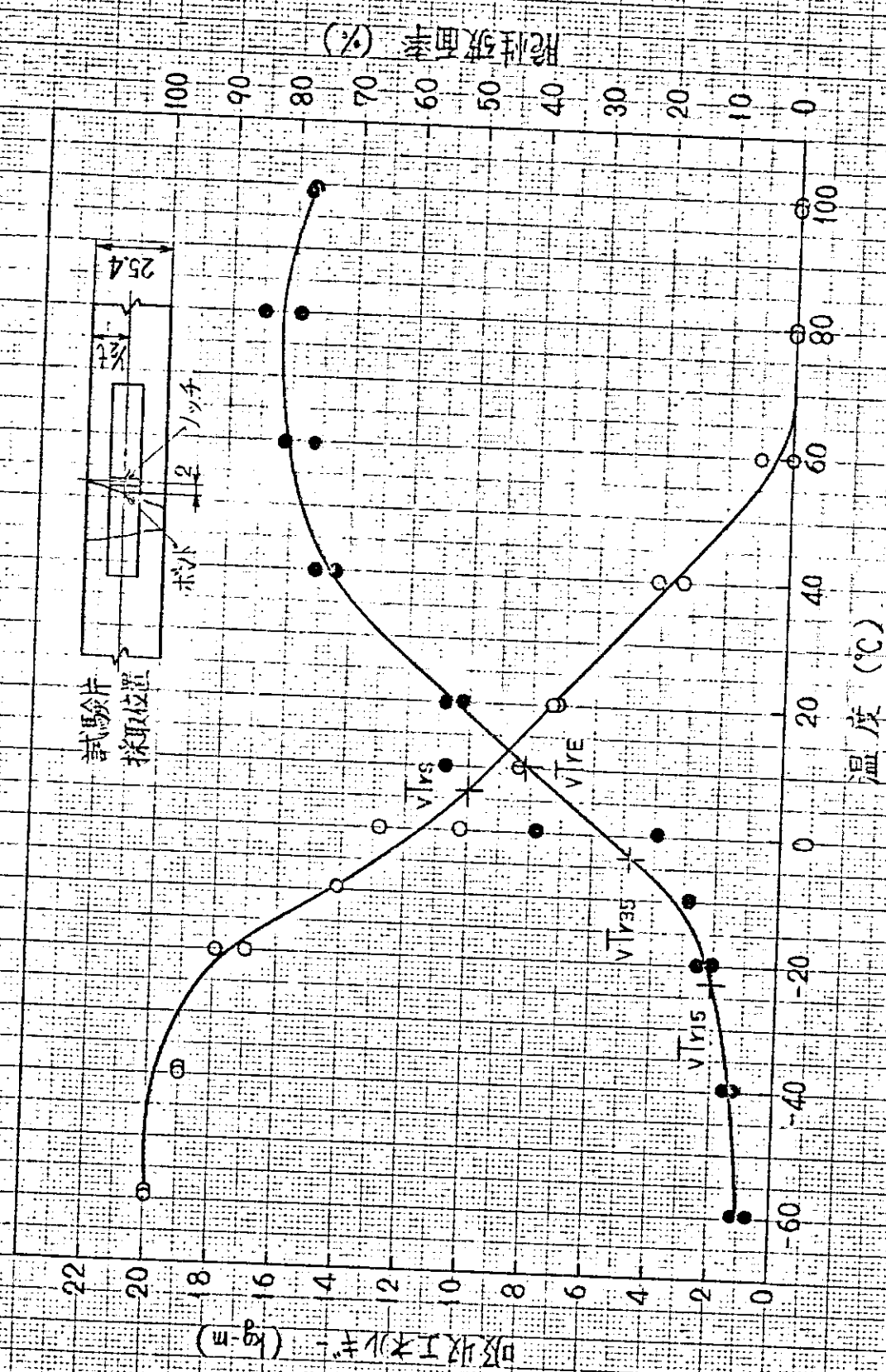


図4.3.12 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, デルタオシロト法溶接継手)

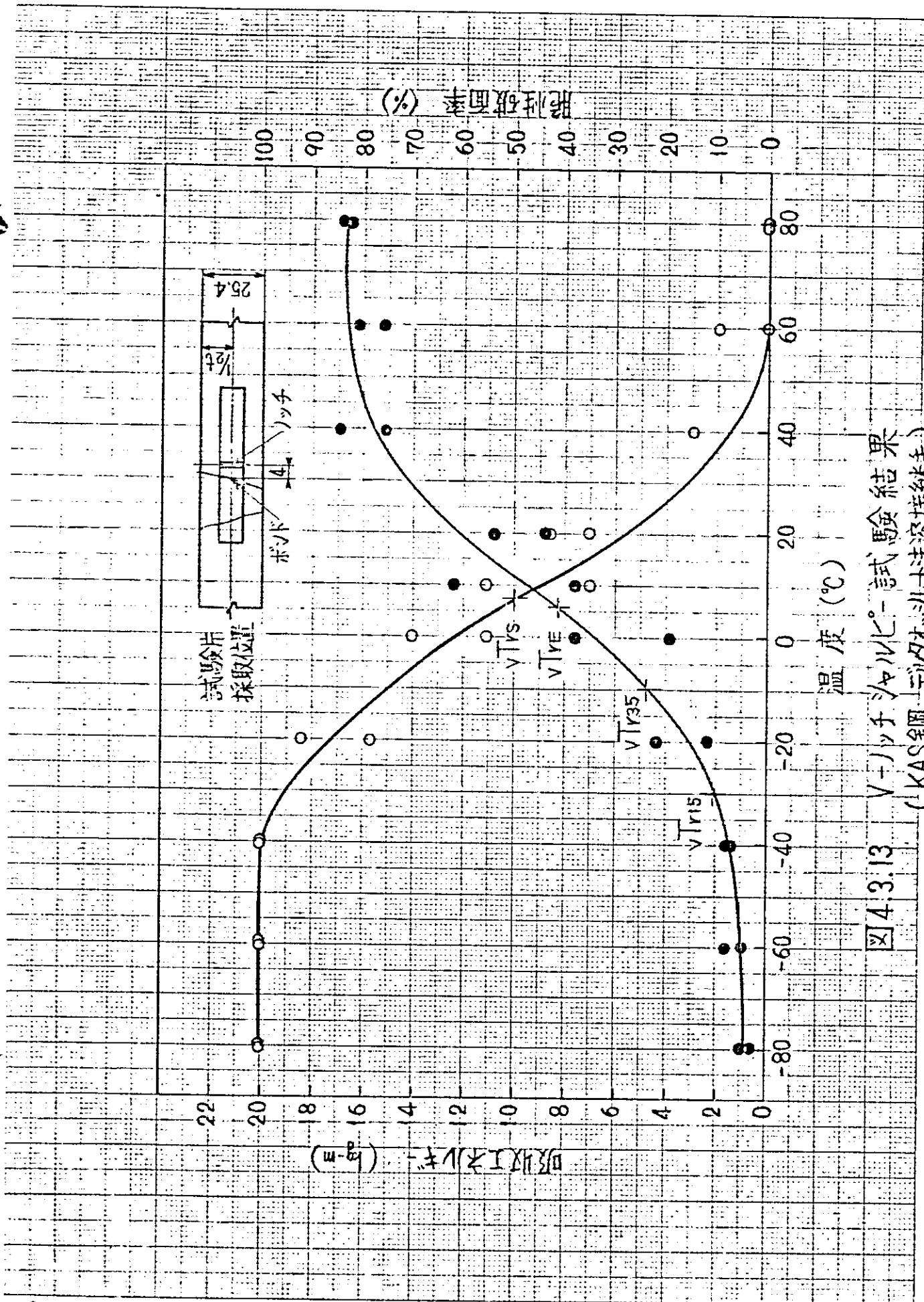


図4.3.13 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, デルタオシロ法溶接継手)



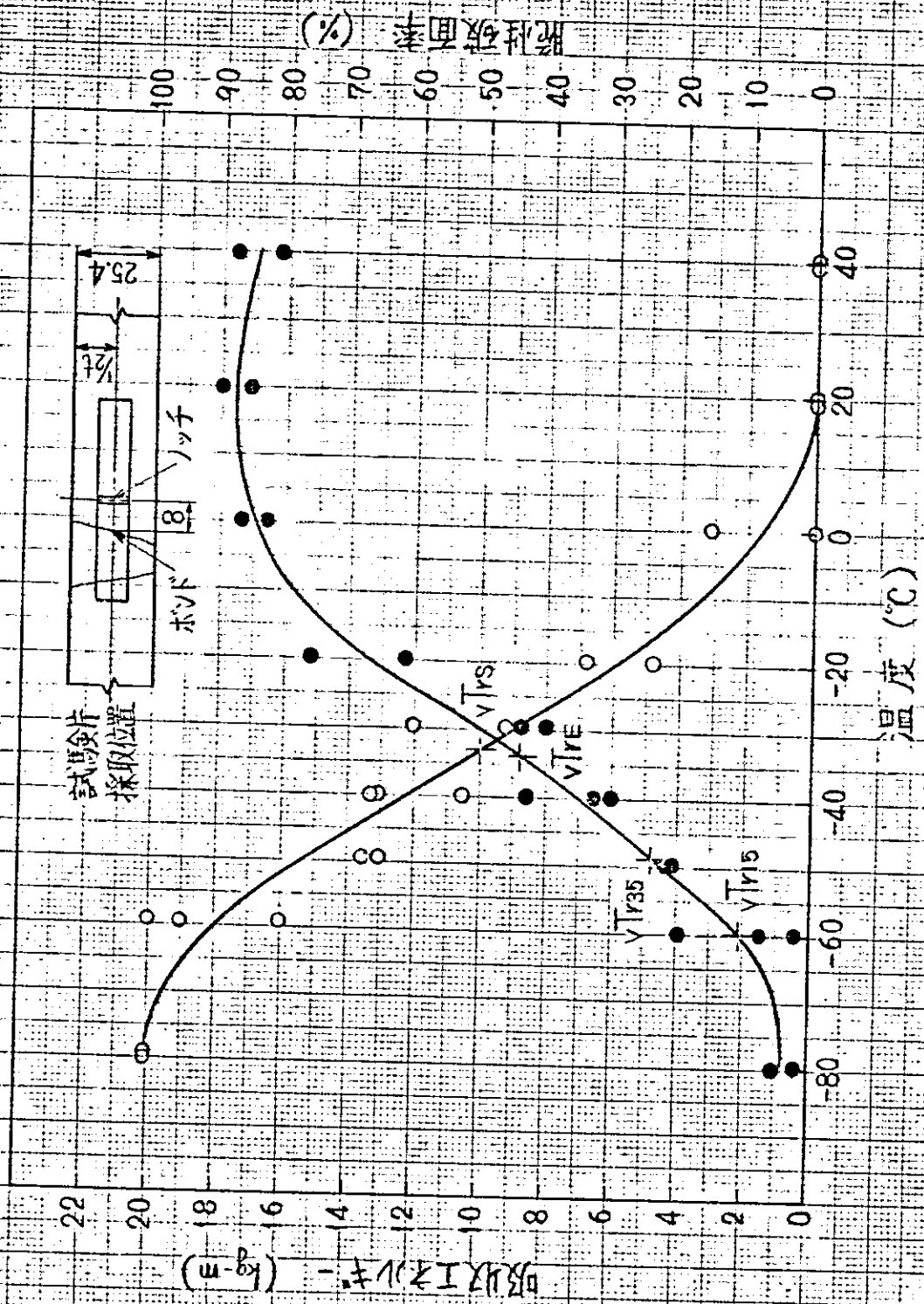


図4.3.14 V-ノッチシャルピー試験結果
(KAS鋼, デルタホットメソッド溶接継手)

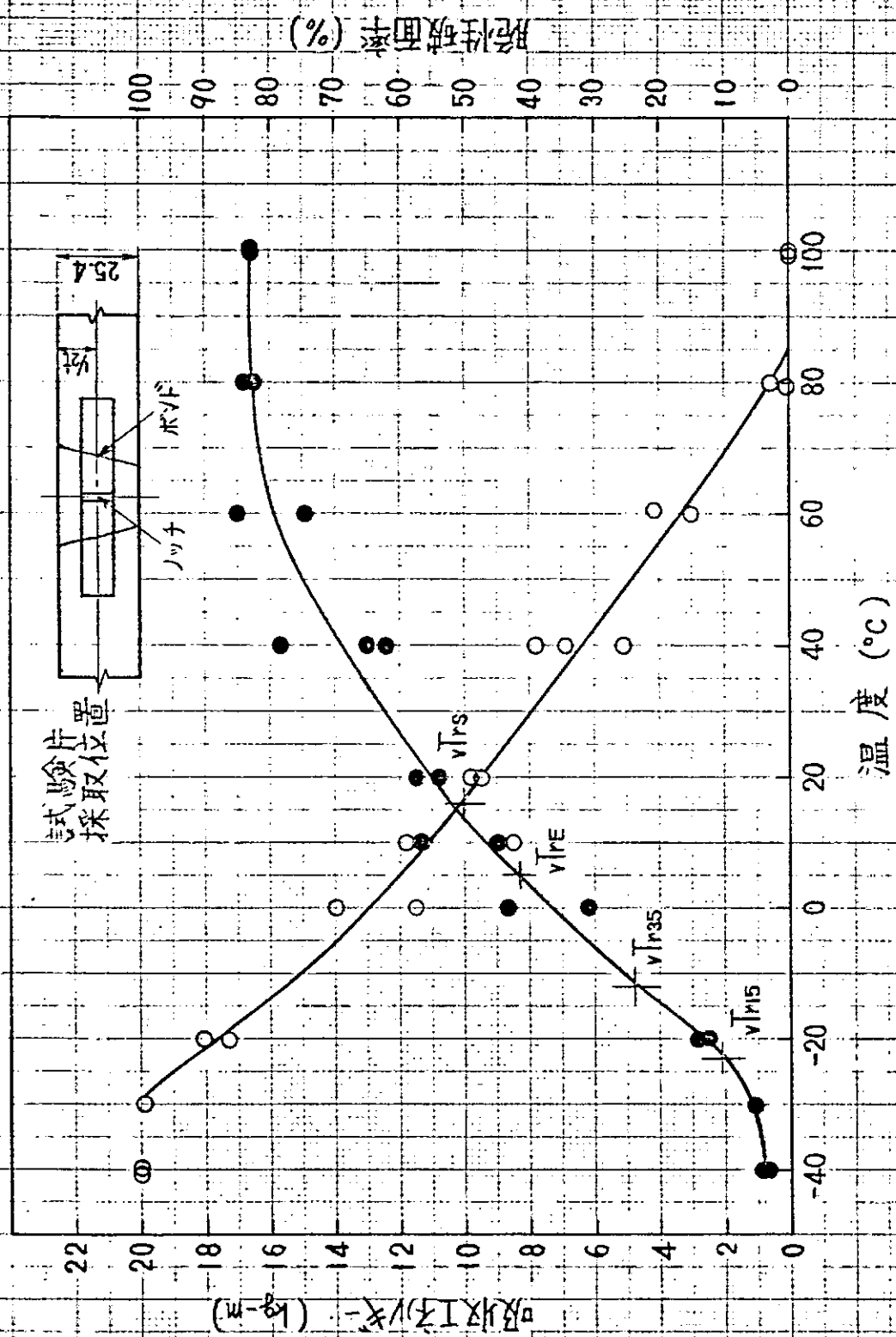


図4.3.15 V-ノッチヤルピ試験結果
(KDK鋼, 3電極片面1層溶接継手)

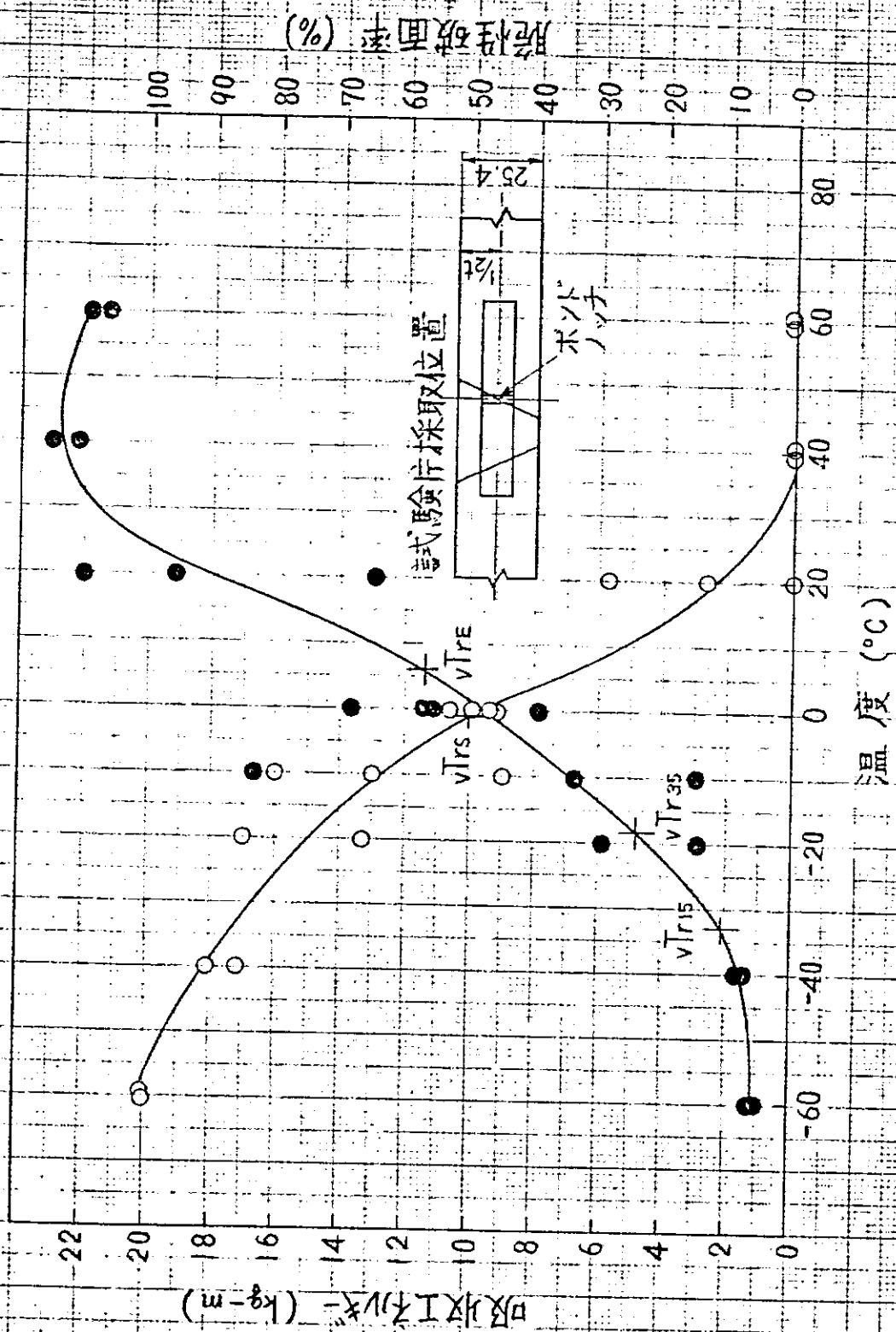


図4.3.16 V-1000 シャルピー試験結果
(KDK鋼, 3電極片面層溶接継手)

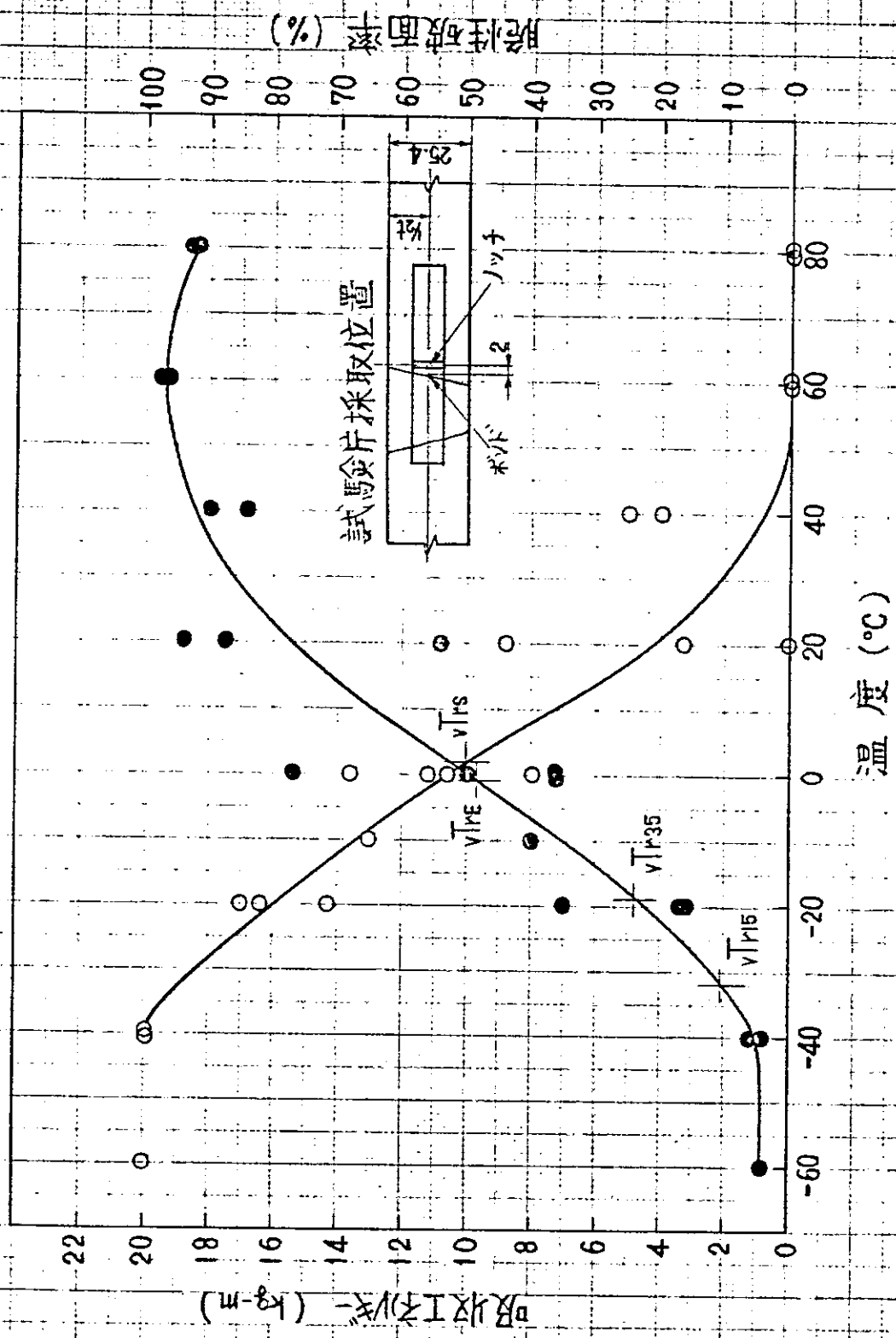


図4.3.17 V-ノッチシャルピー試験結果
(KDK鋼, 3電極片面層溶接継手)

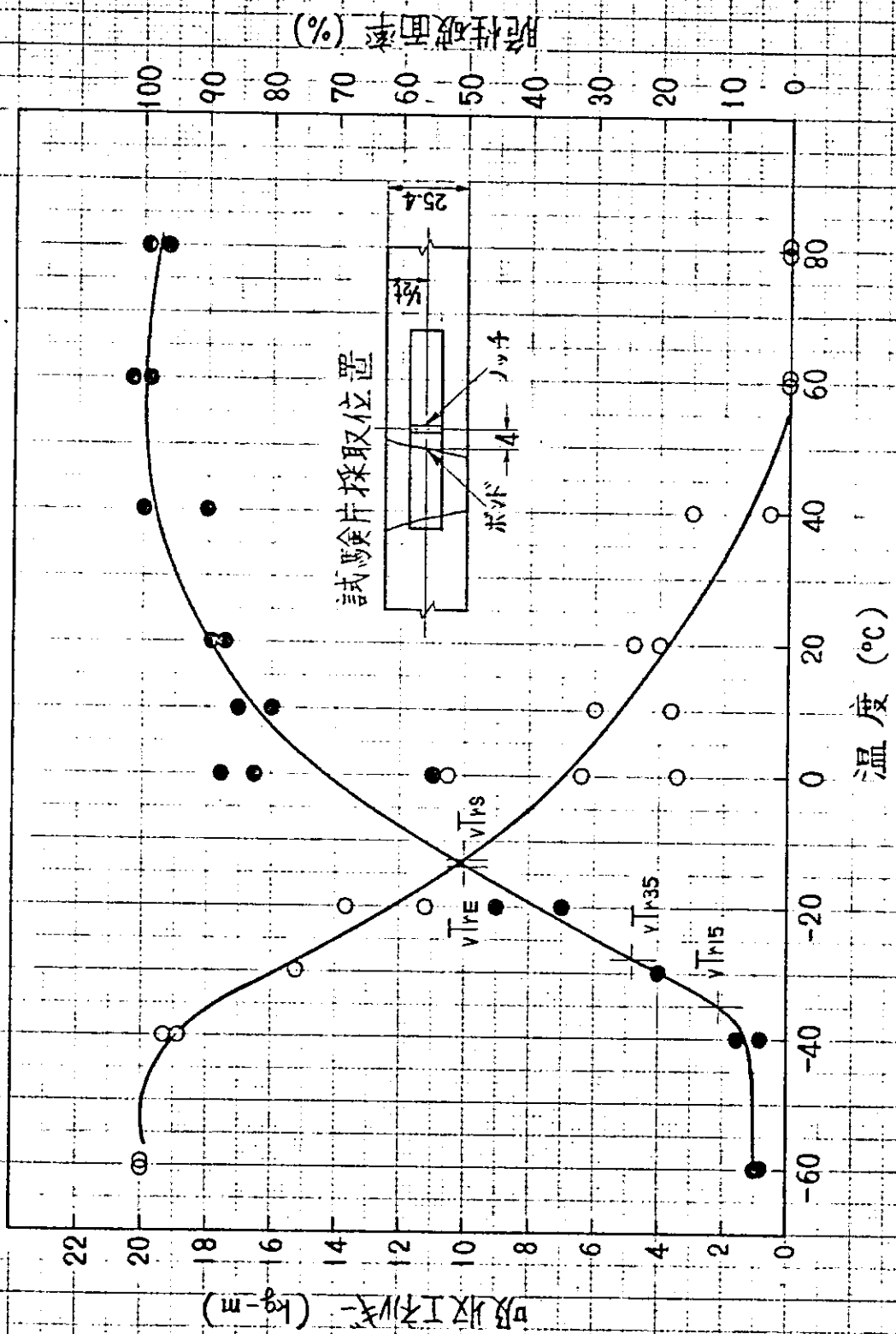


図4.3.18 V-ノッチシャルピー試験結果
(KDK鋼, 3電極片面1層溶接継手)

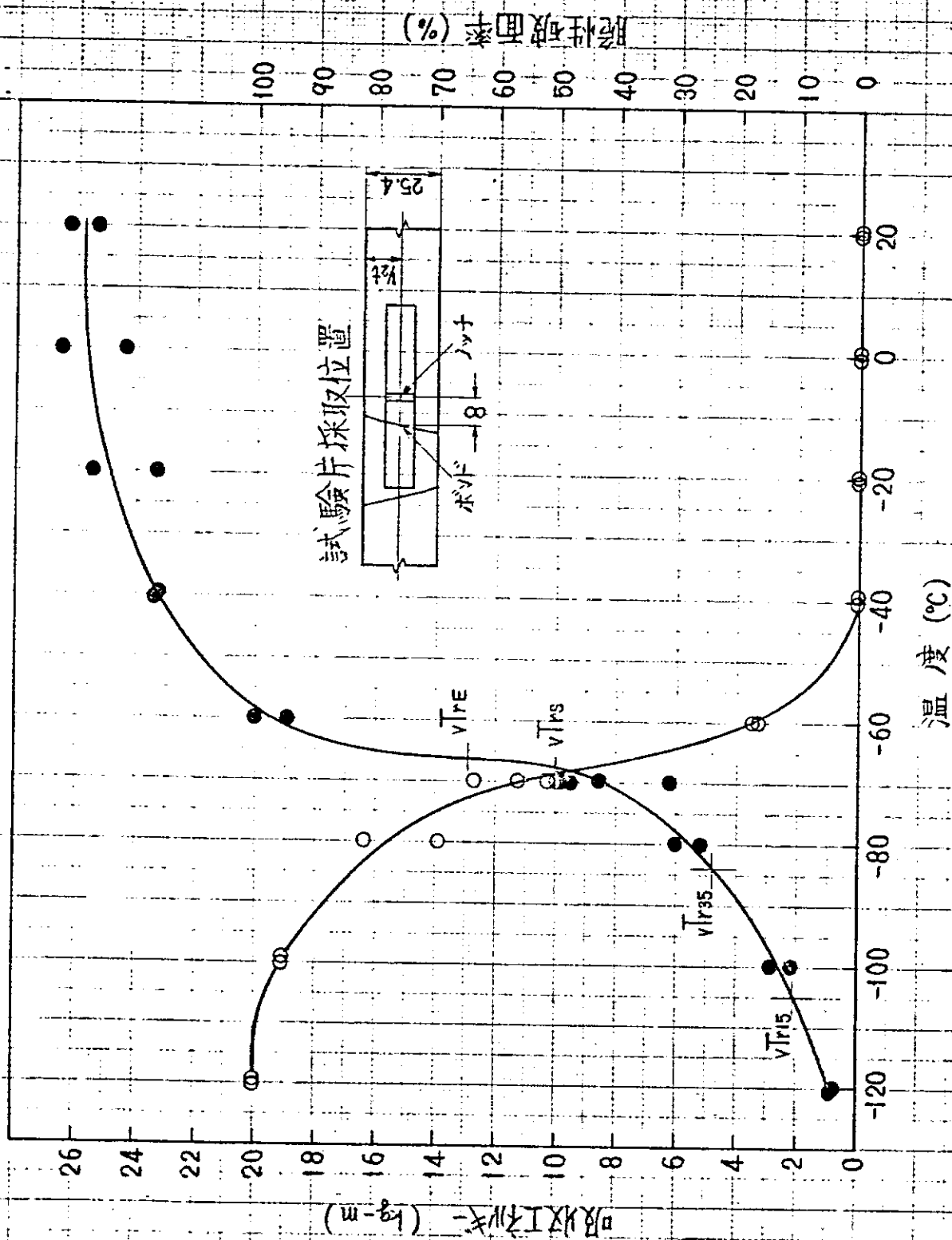


図4.3.19 V-ノッチシャルピー試験結果
(KDK鋼, 3電極片面1層溶接継手)

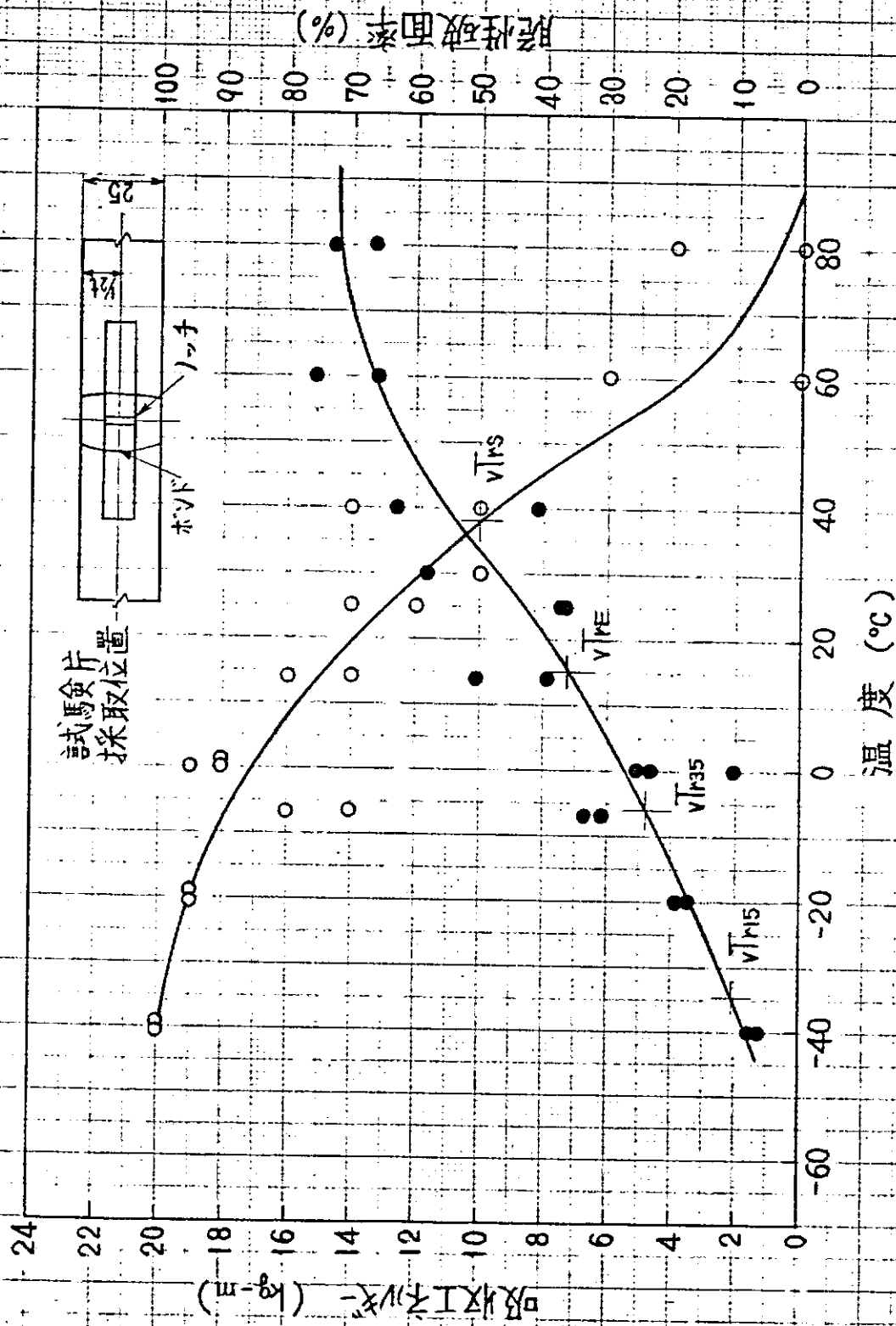


図4.3.20 Vノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, VASCON-II法落接継手)

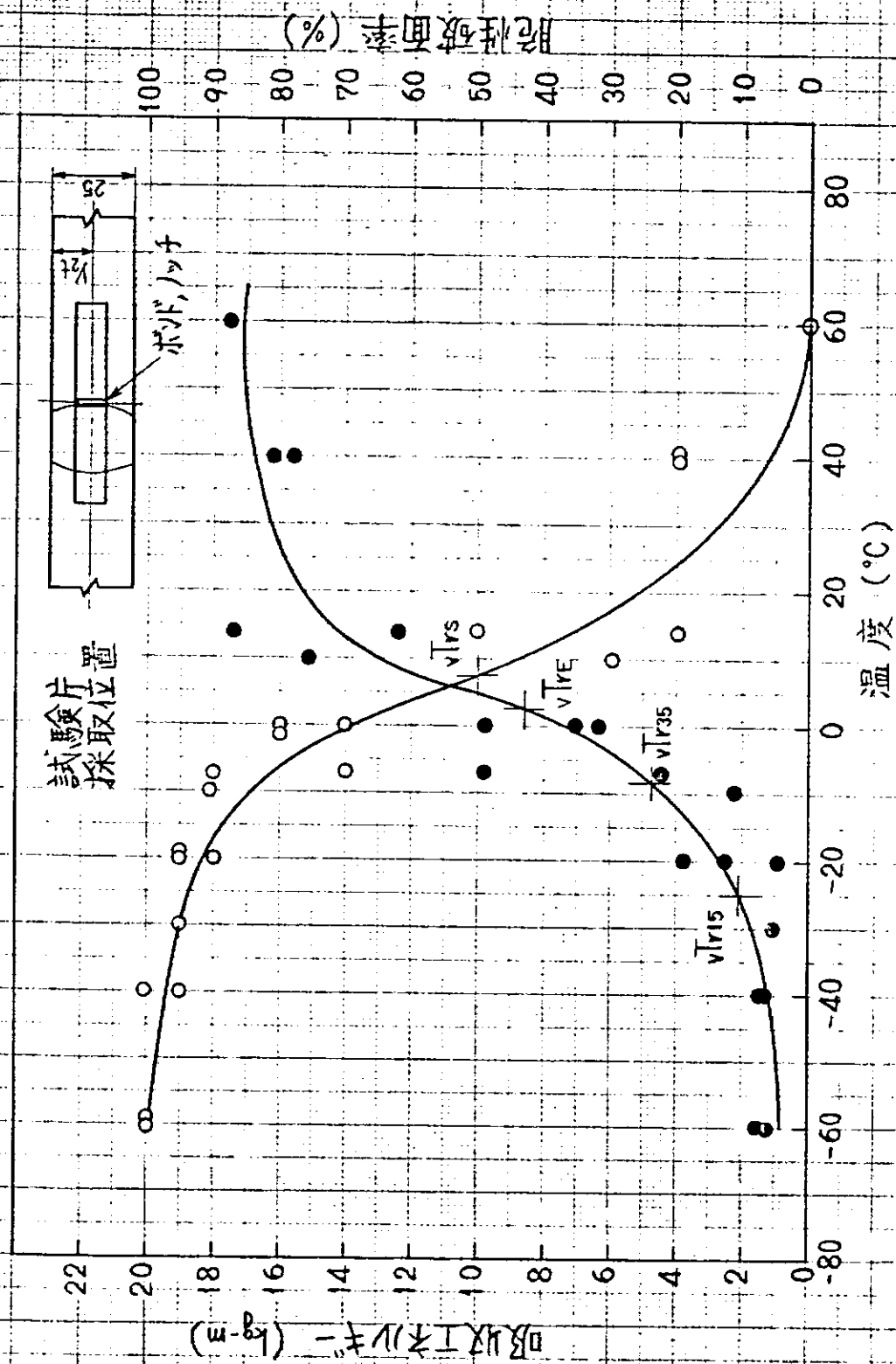


図4.3.21 Vノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

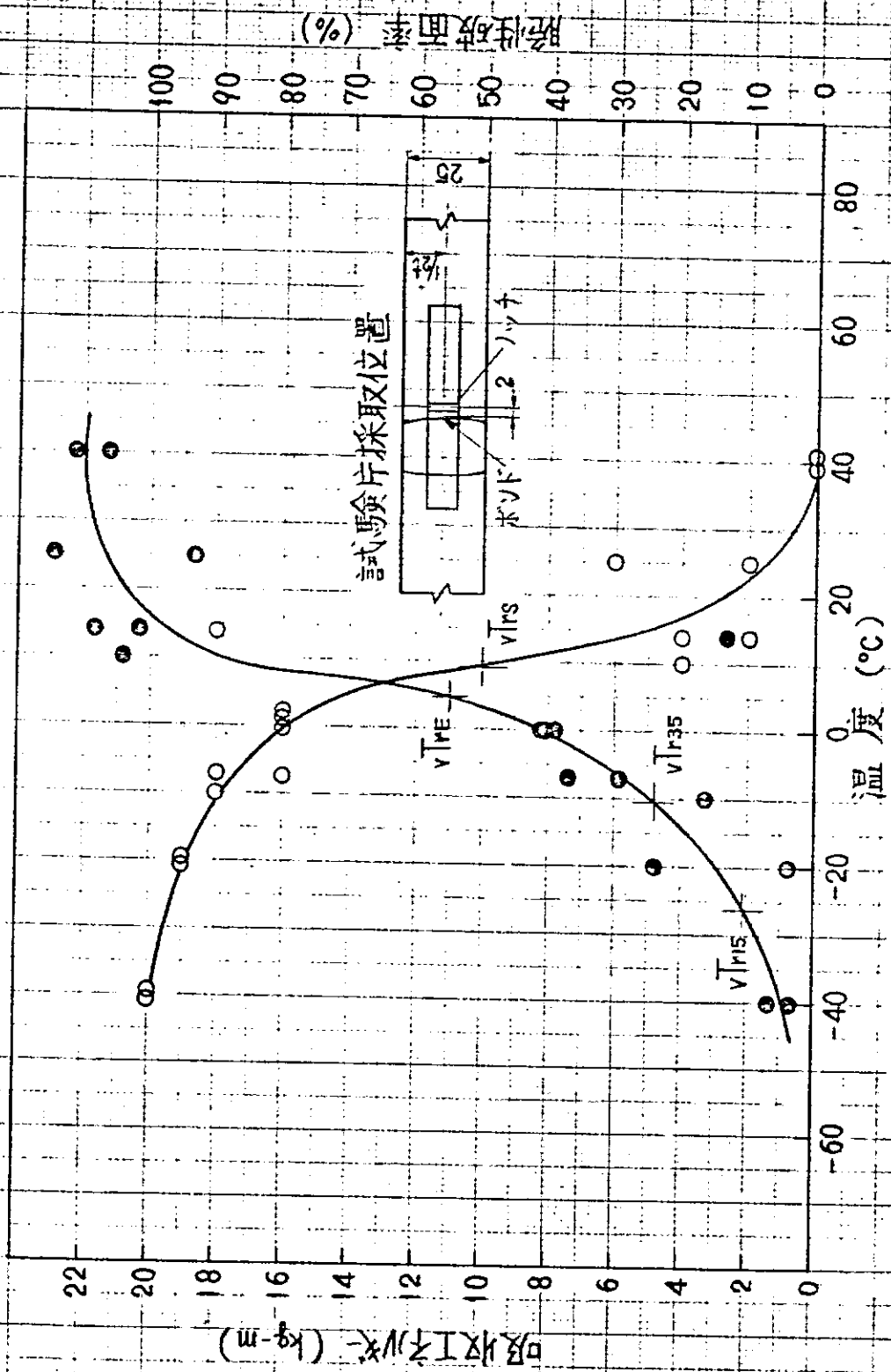


図 4.3.22 V-ニッケルヒ-試験結果
(K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

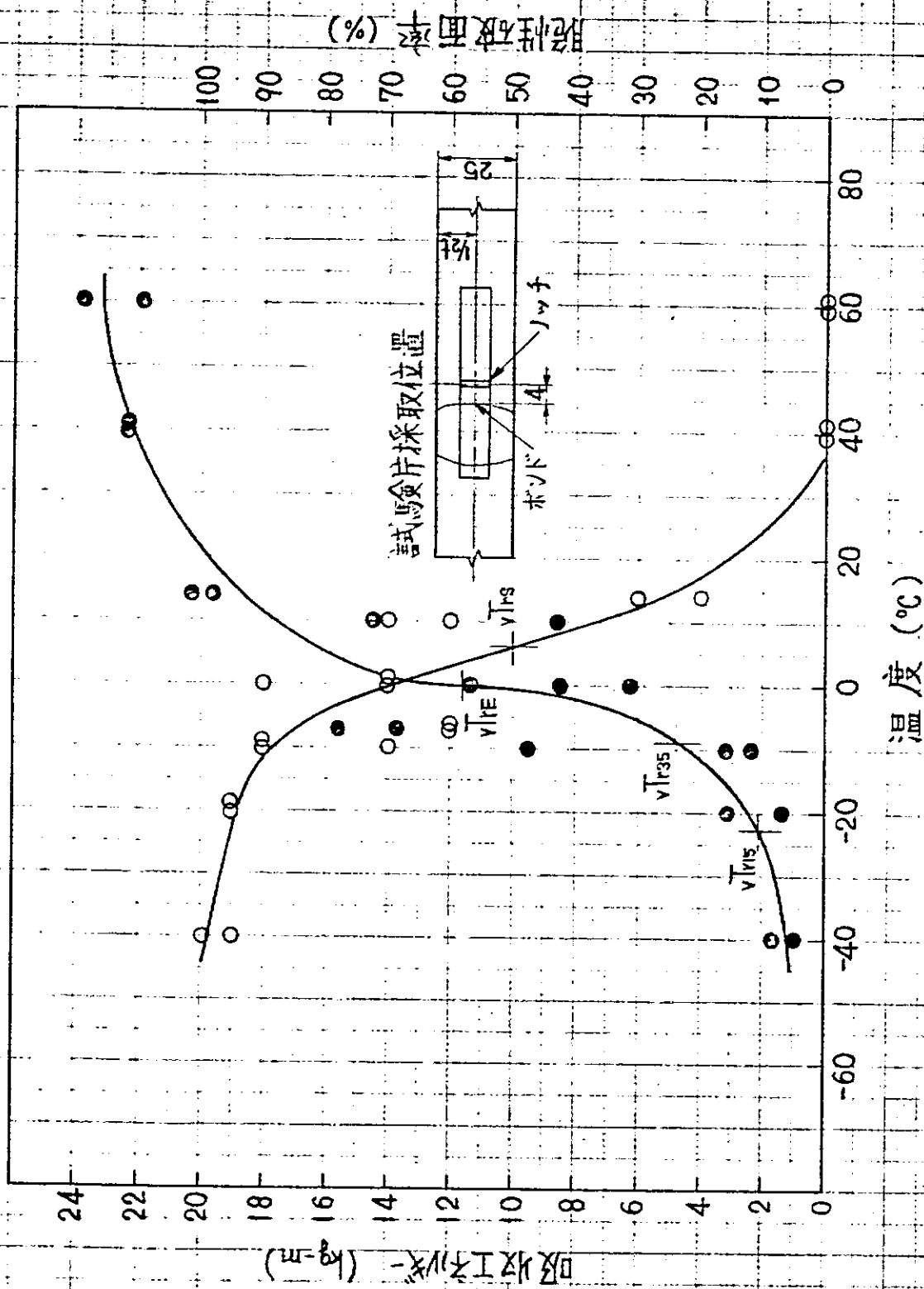


図 4.3.23 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

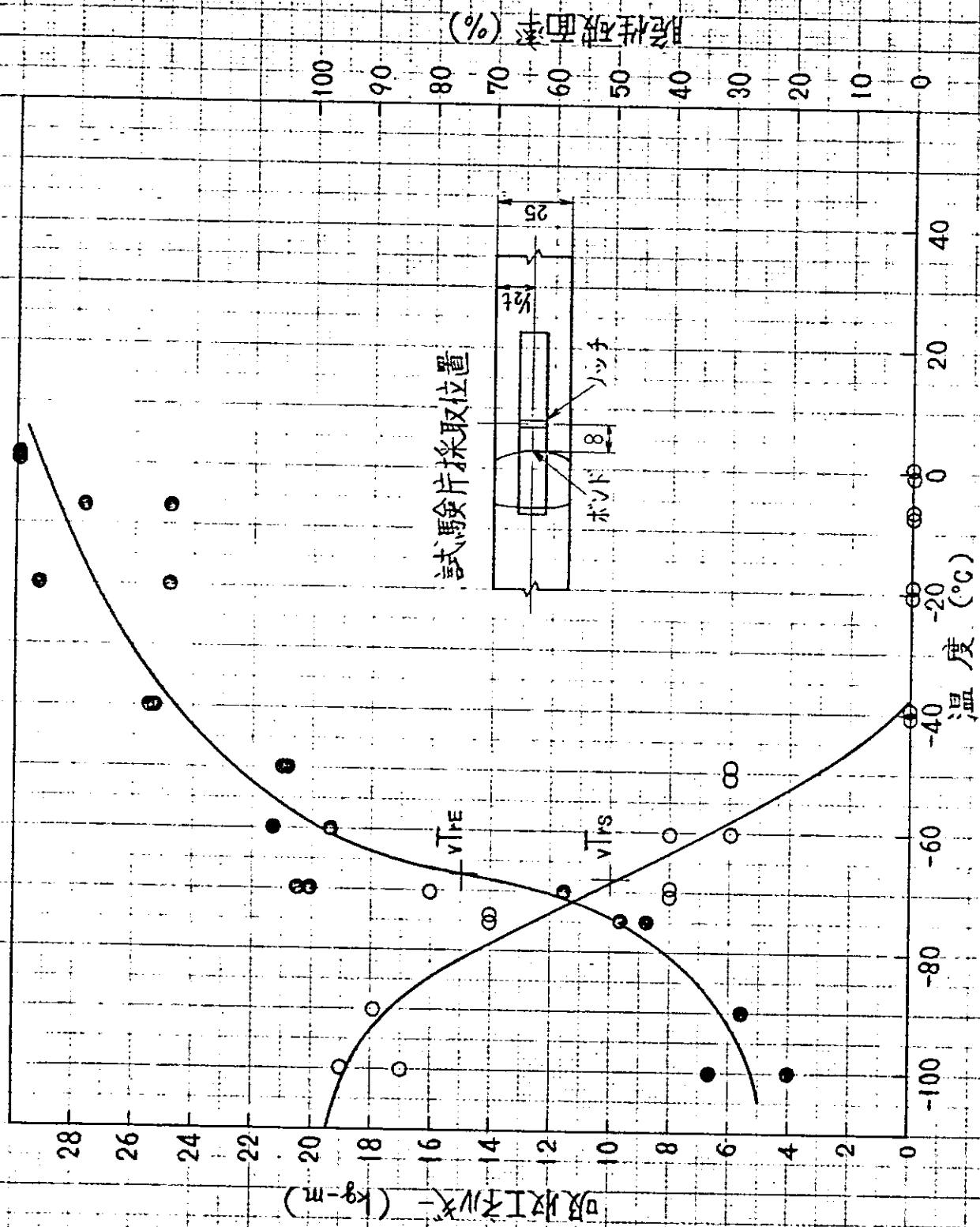


図4.3.24 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

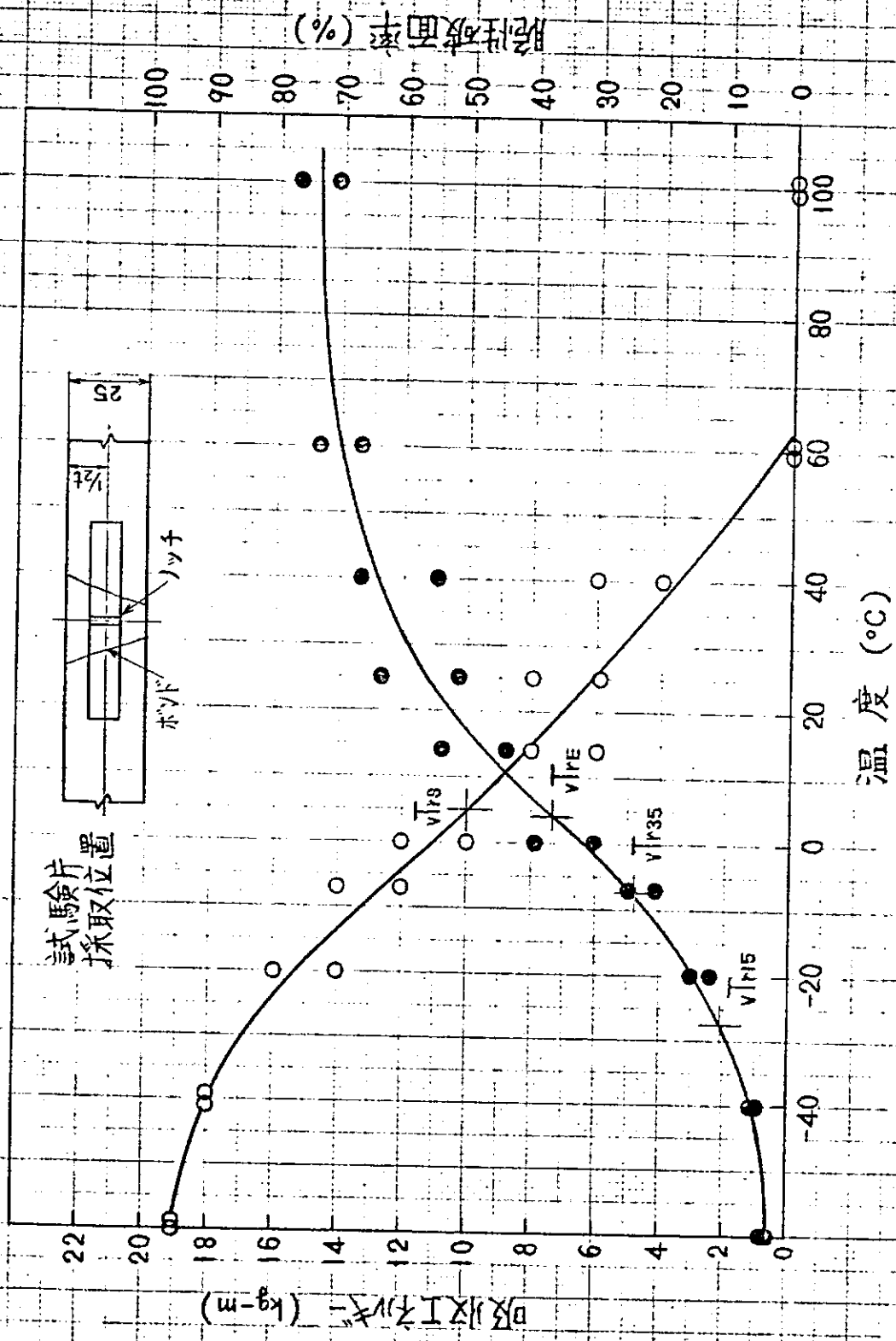


図4.3.25 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, デルタオシレート法溶接継手)

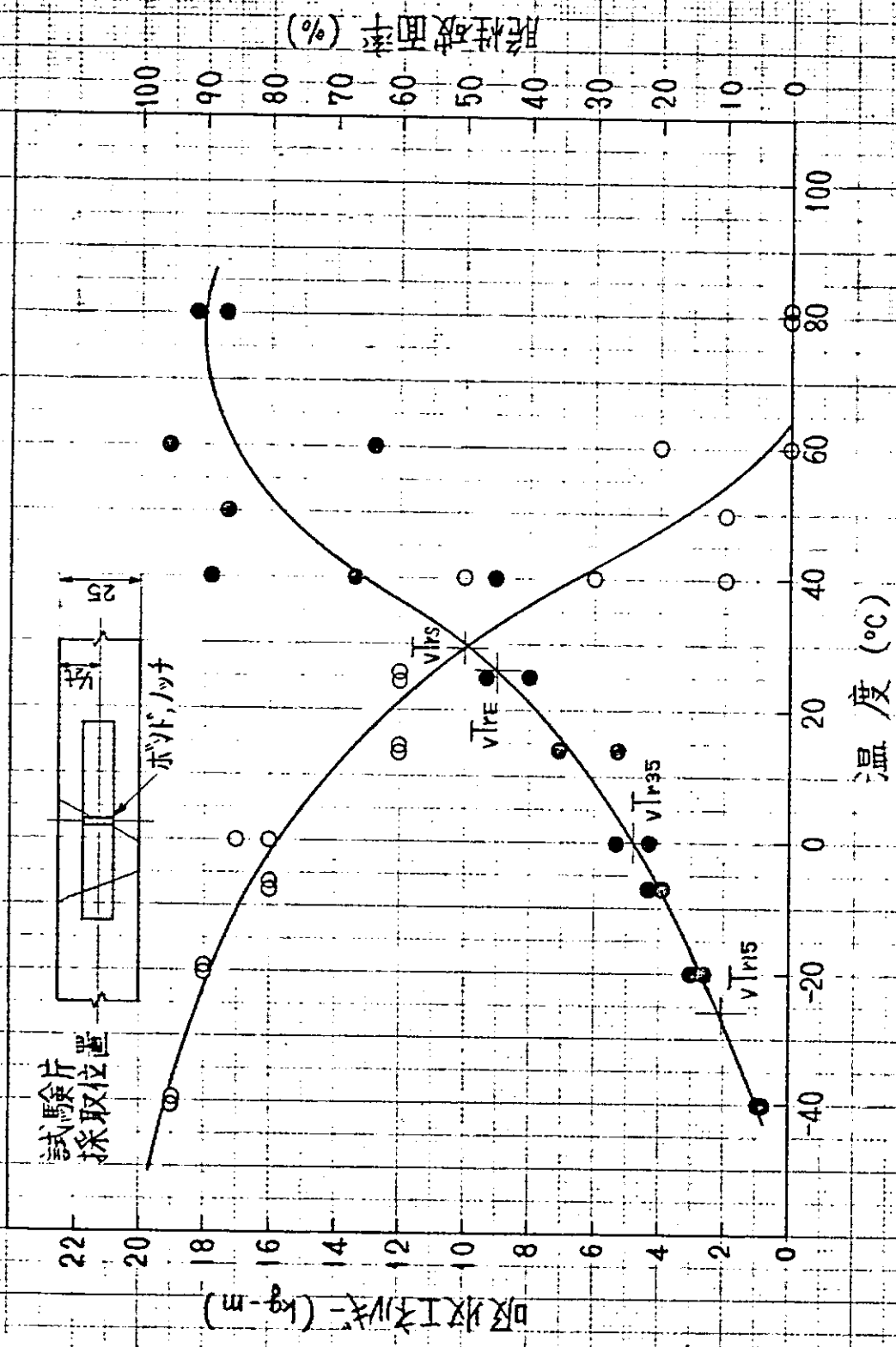


図4.3.26 Vノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼, デルタオシレート法溶接継手)

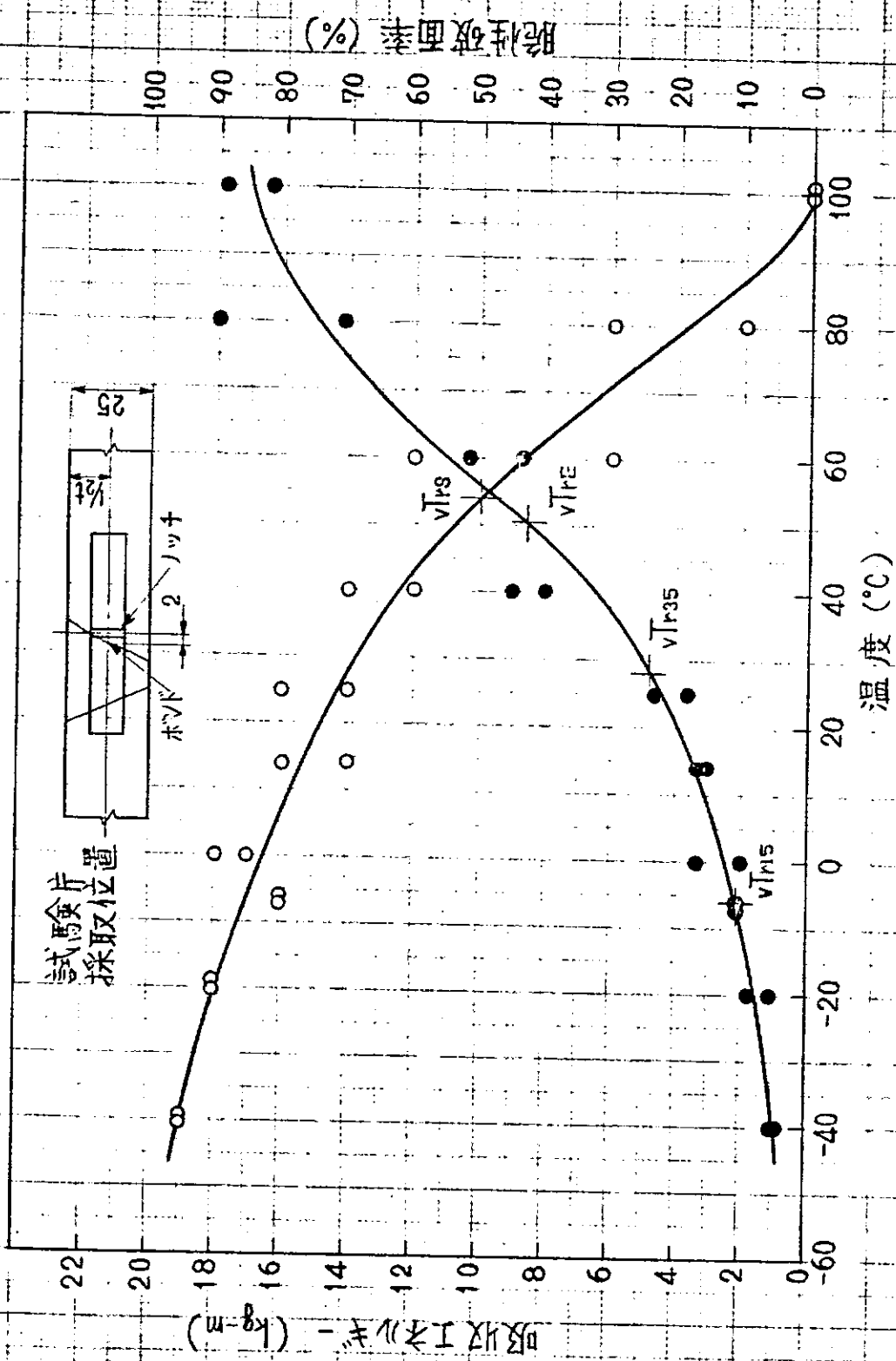


図4.3.27 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, デルタオシレート法溶接継手)

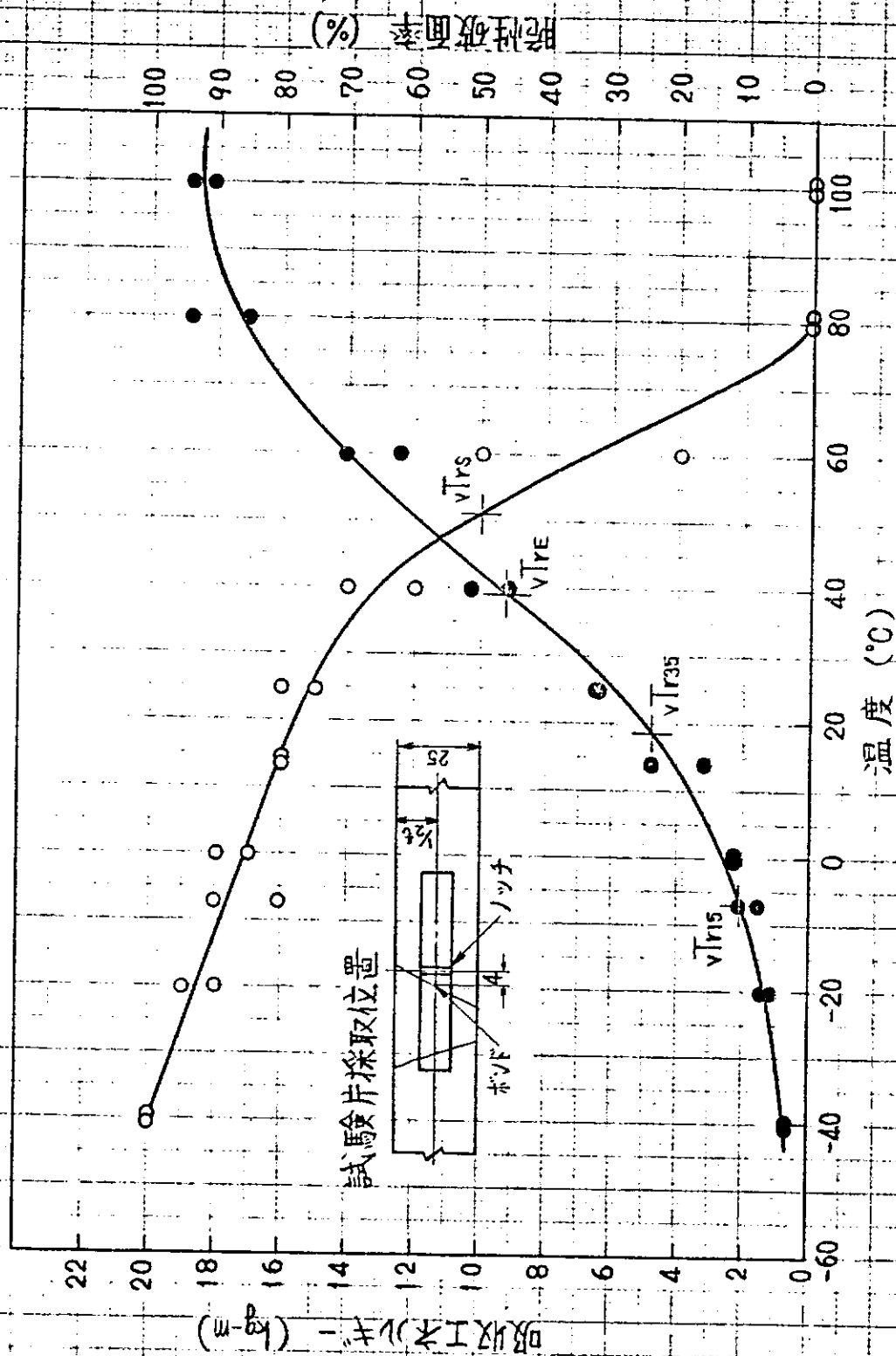


図4.3.28 V-ノッチシャルピー試験結果
(K5D鋼, デルタオシレート法溶接継手)

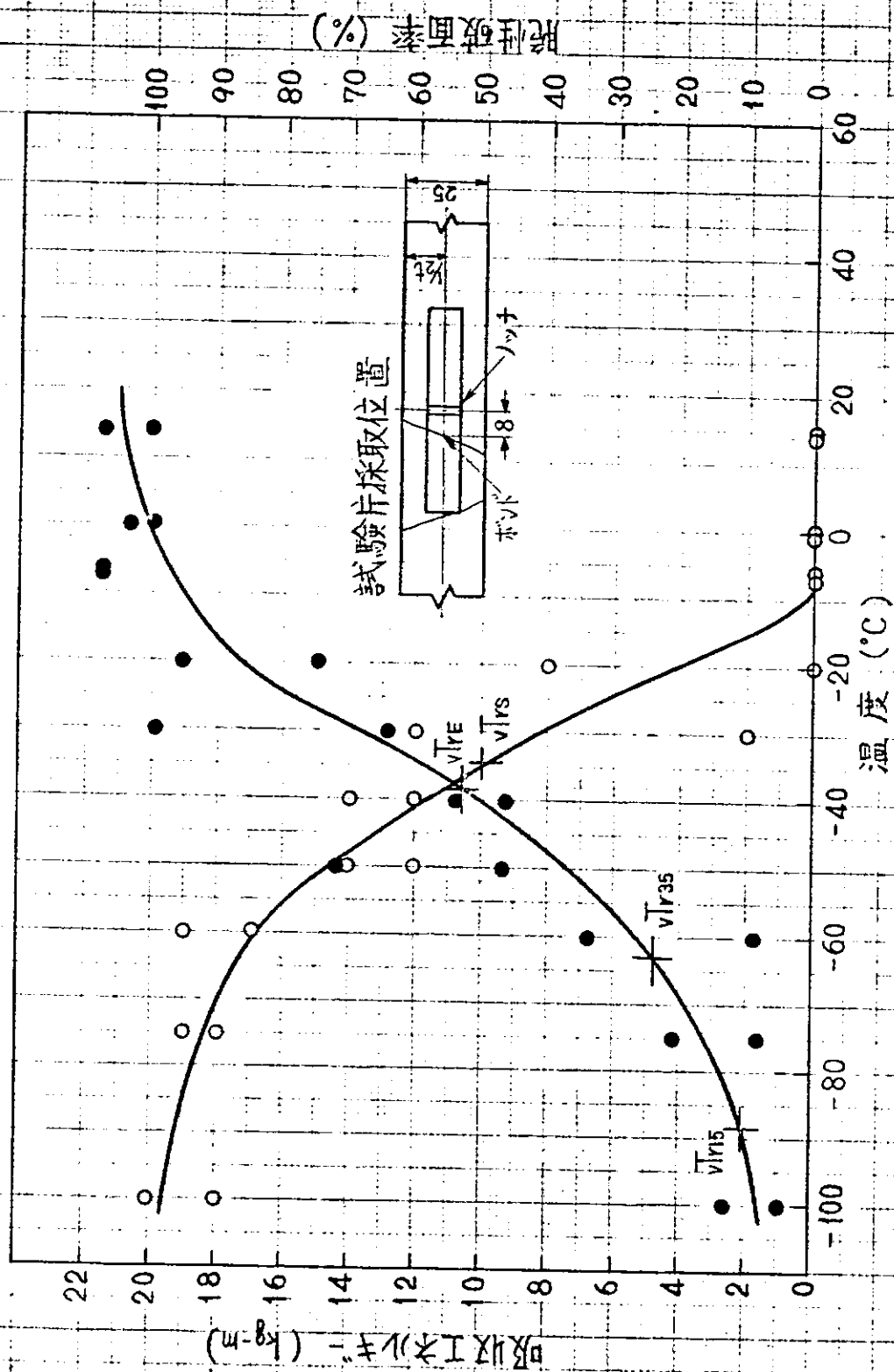


図4.3.29 Vノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, デルタオシクル法溶接継手)

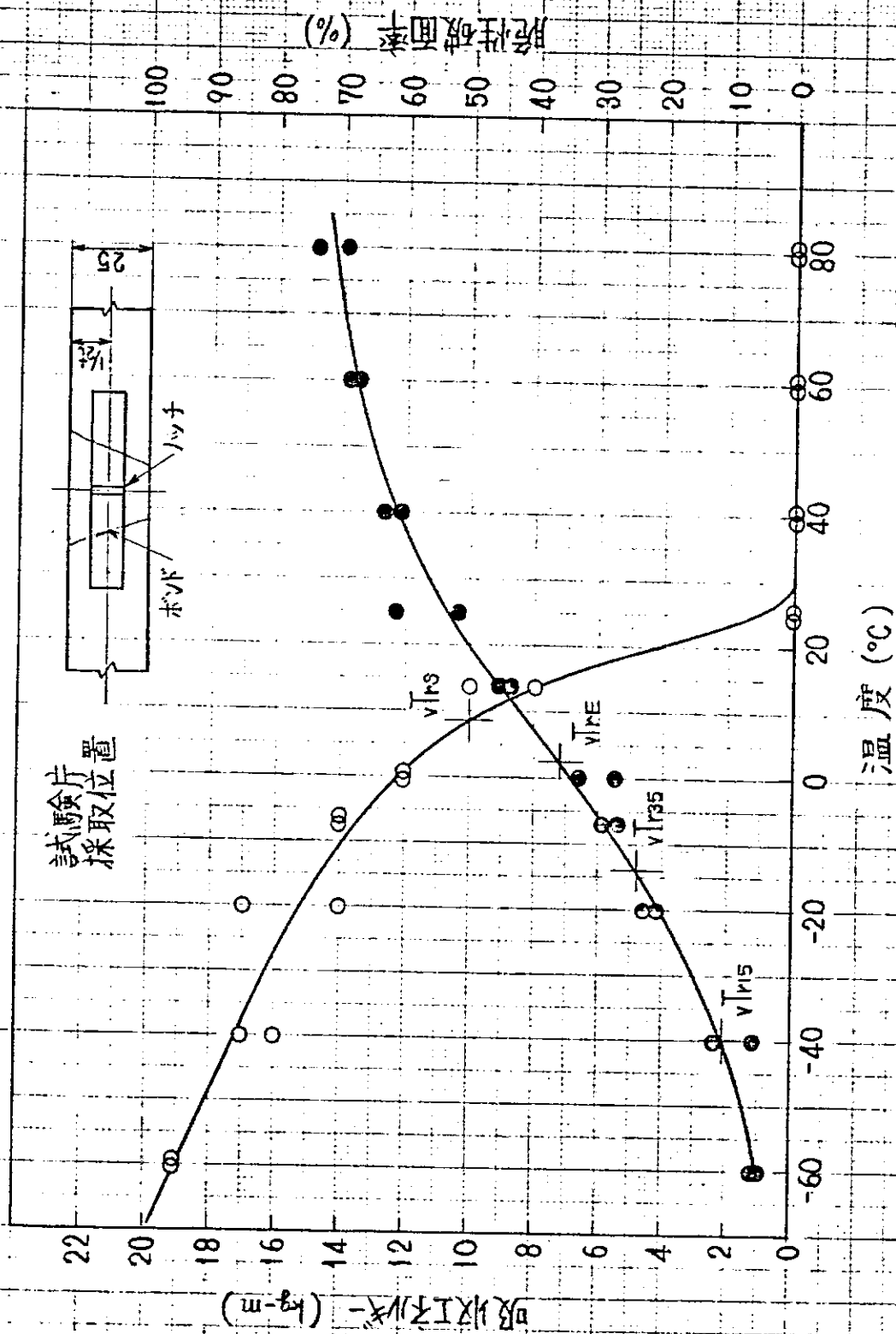


図4.3.30 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

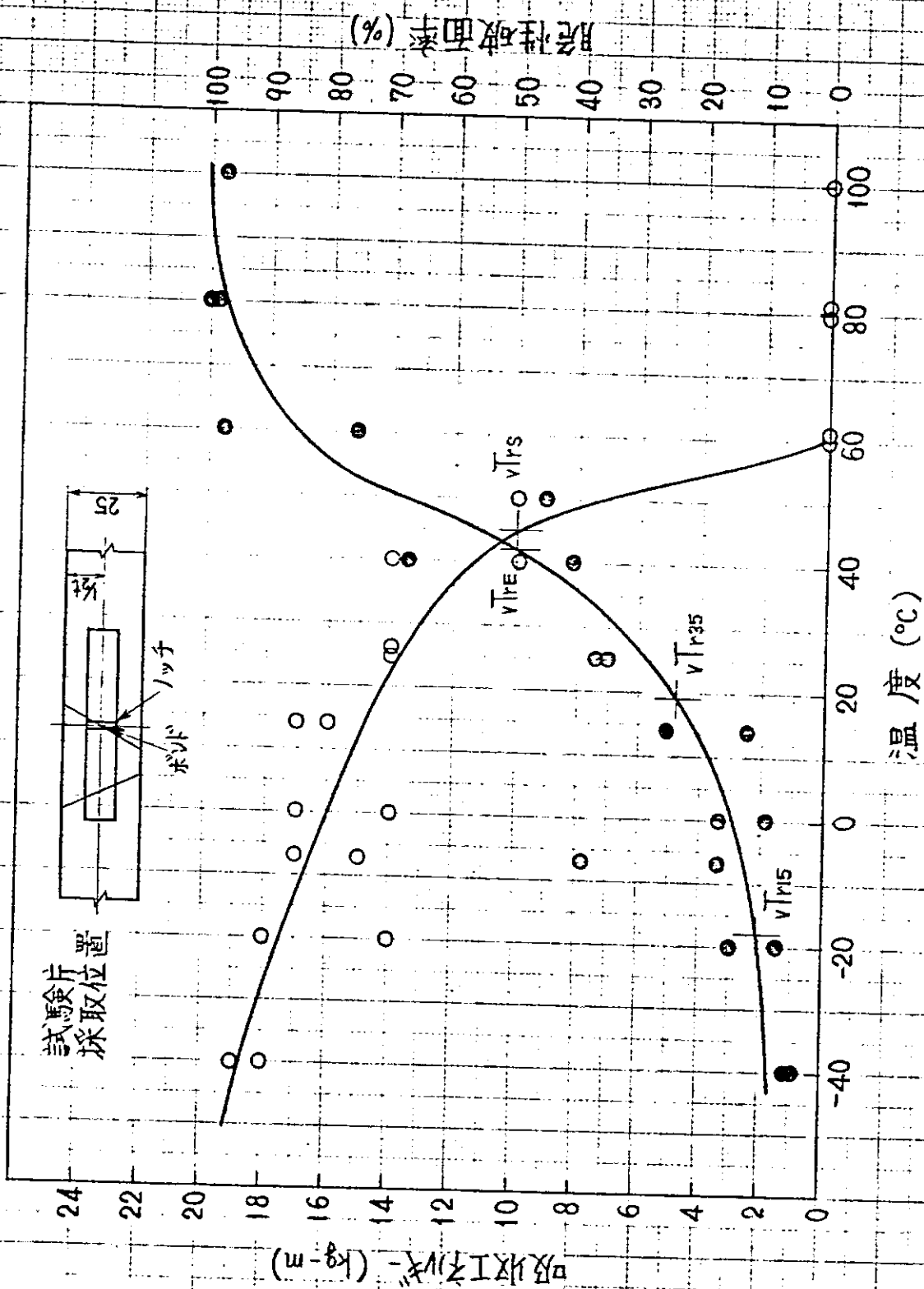


図4.3.31 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

図4.3.31

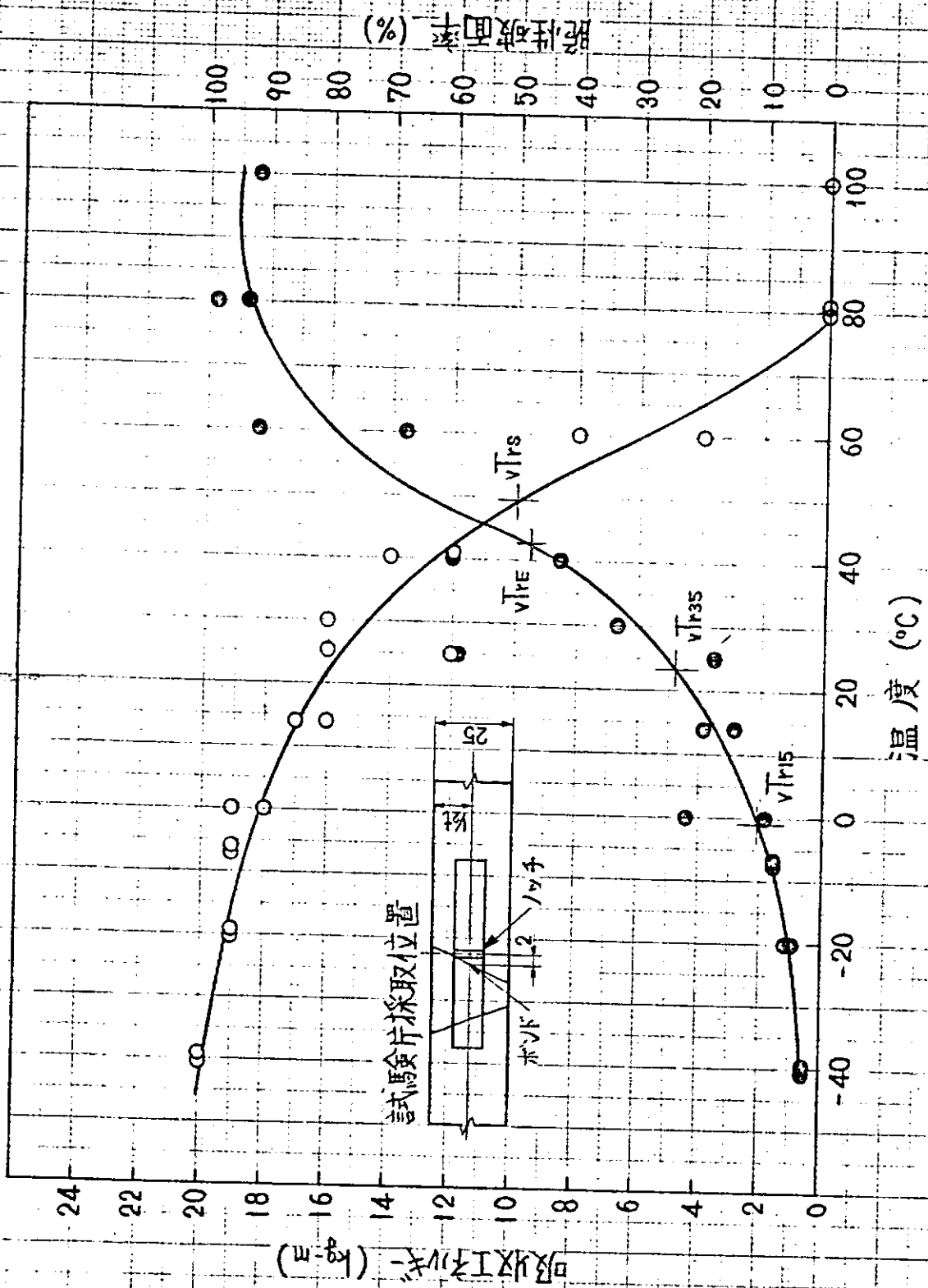


図 4.3.32 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

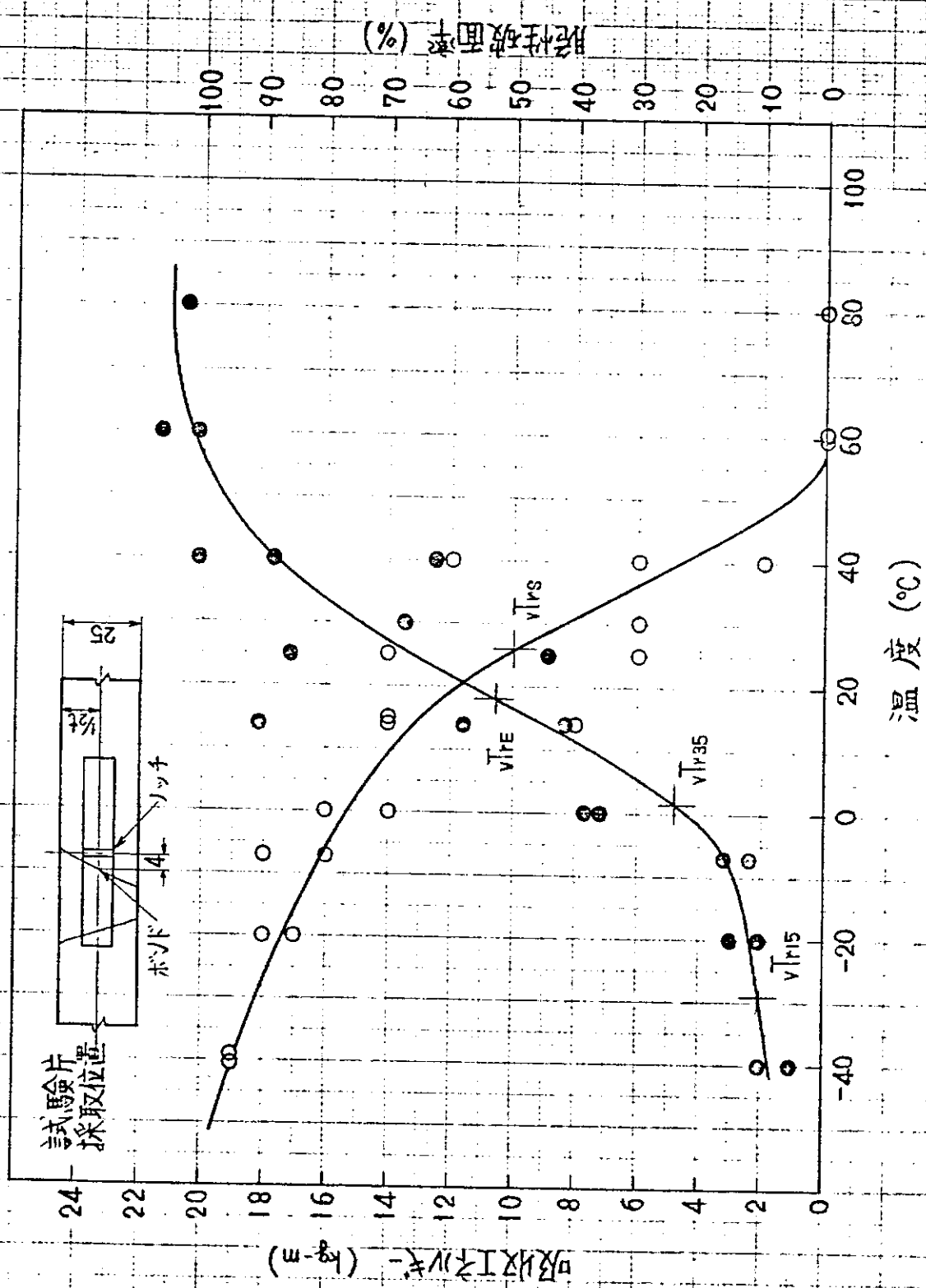


図4.3.33 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

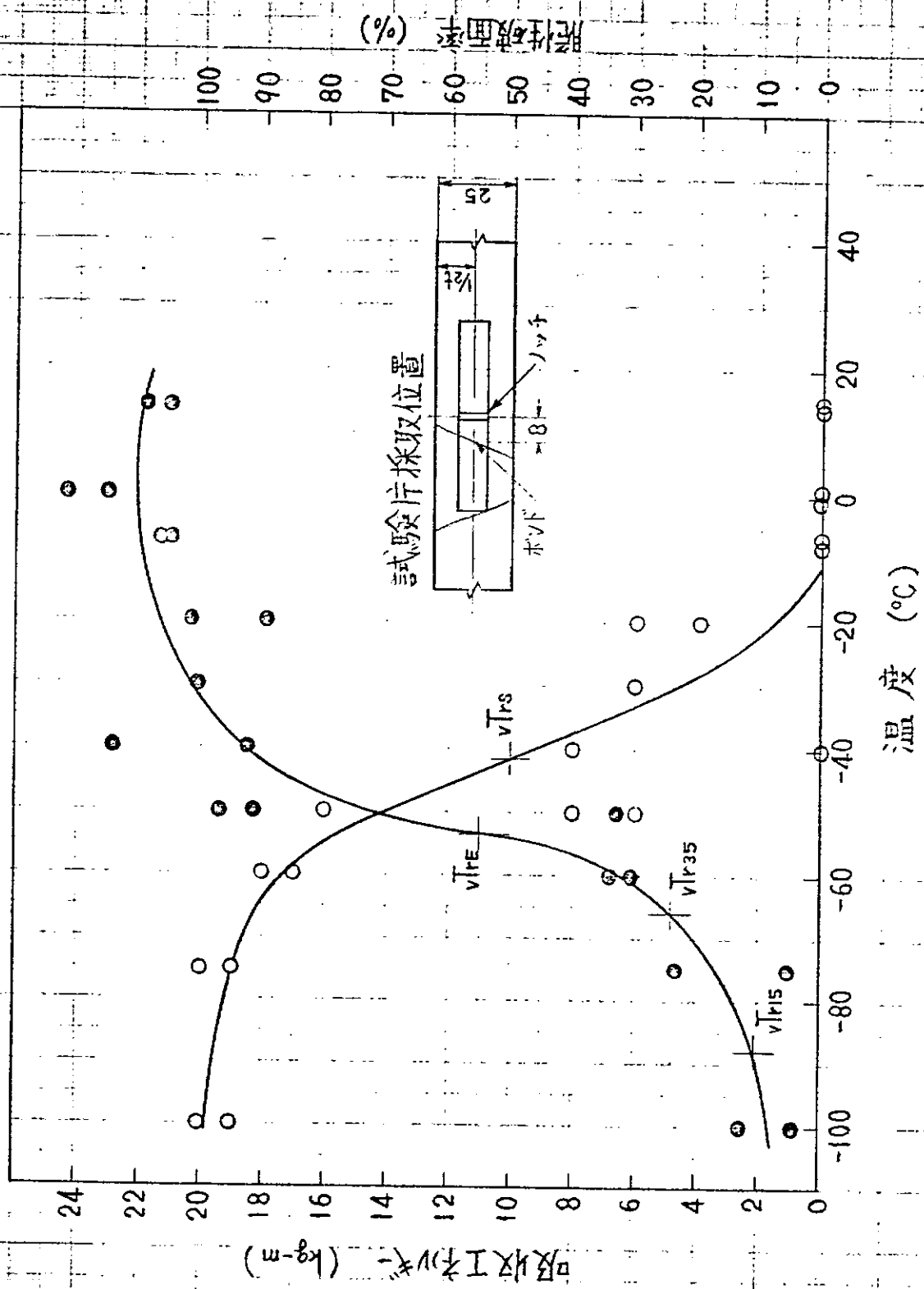


図4.3.34 V-ノッチシャルピ-試験結果
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

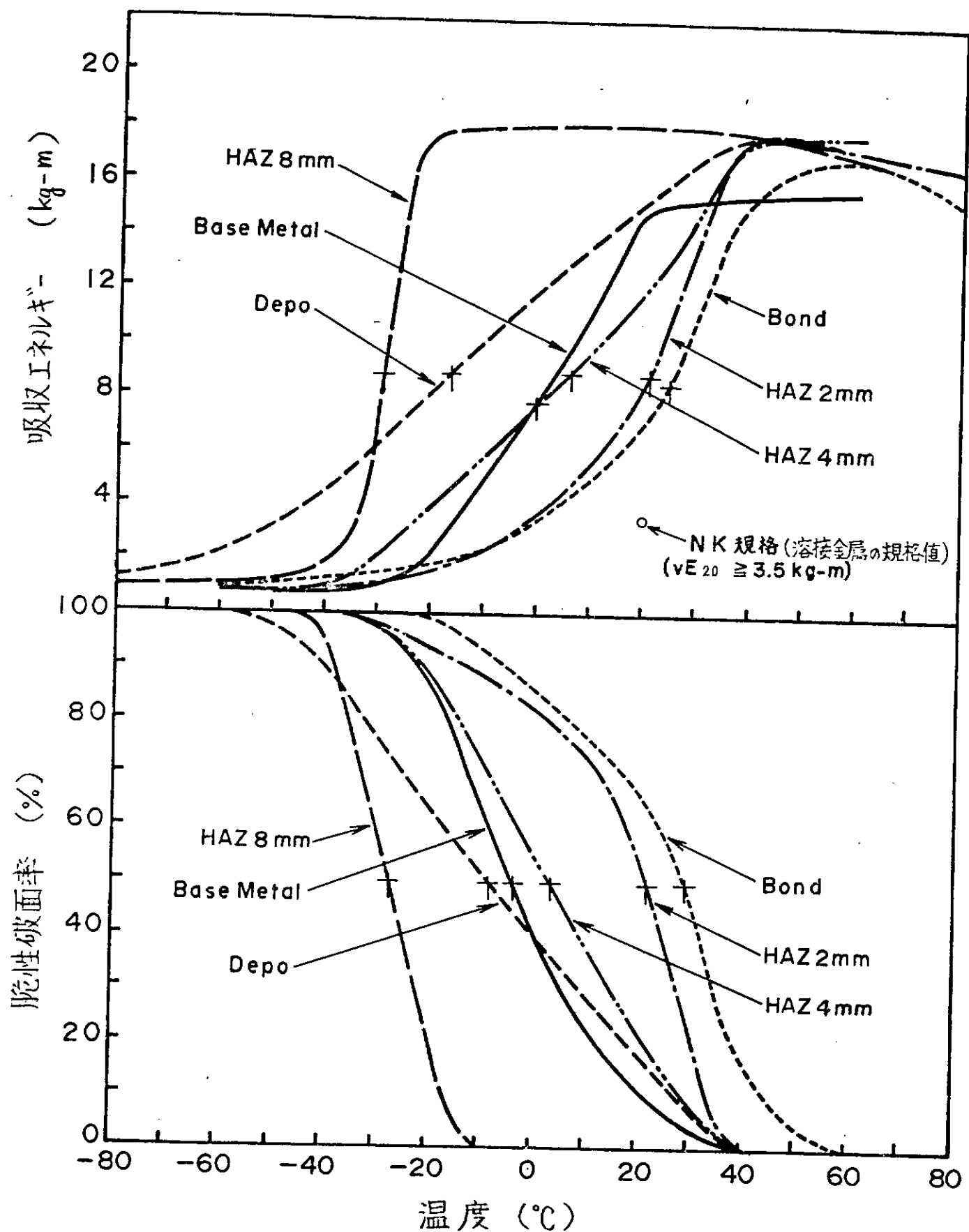


図4.3.35 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(KAS鋼, VASCON-II法溶接継手)

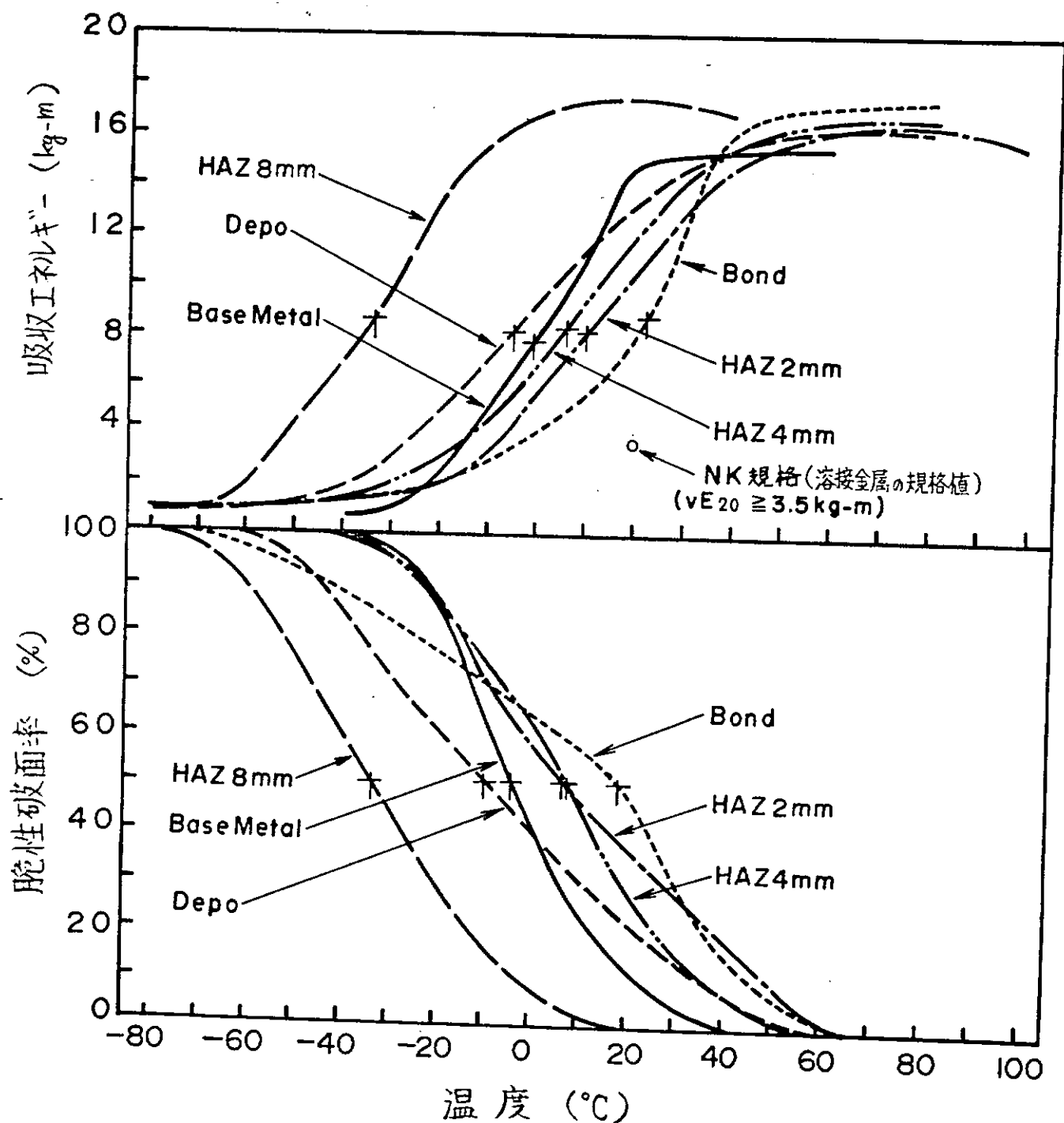


図4.3.36 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(KAS鋼, デルタオシレート法溶接継手)

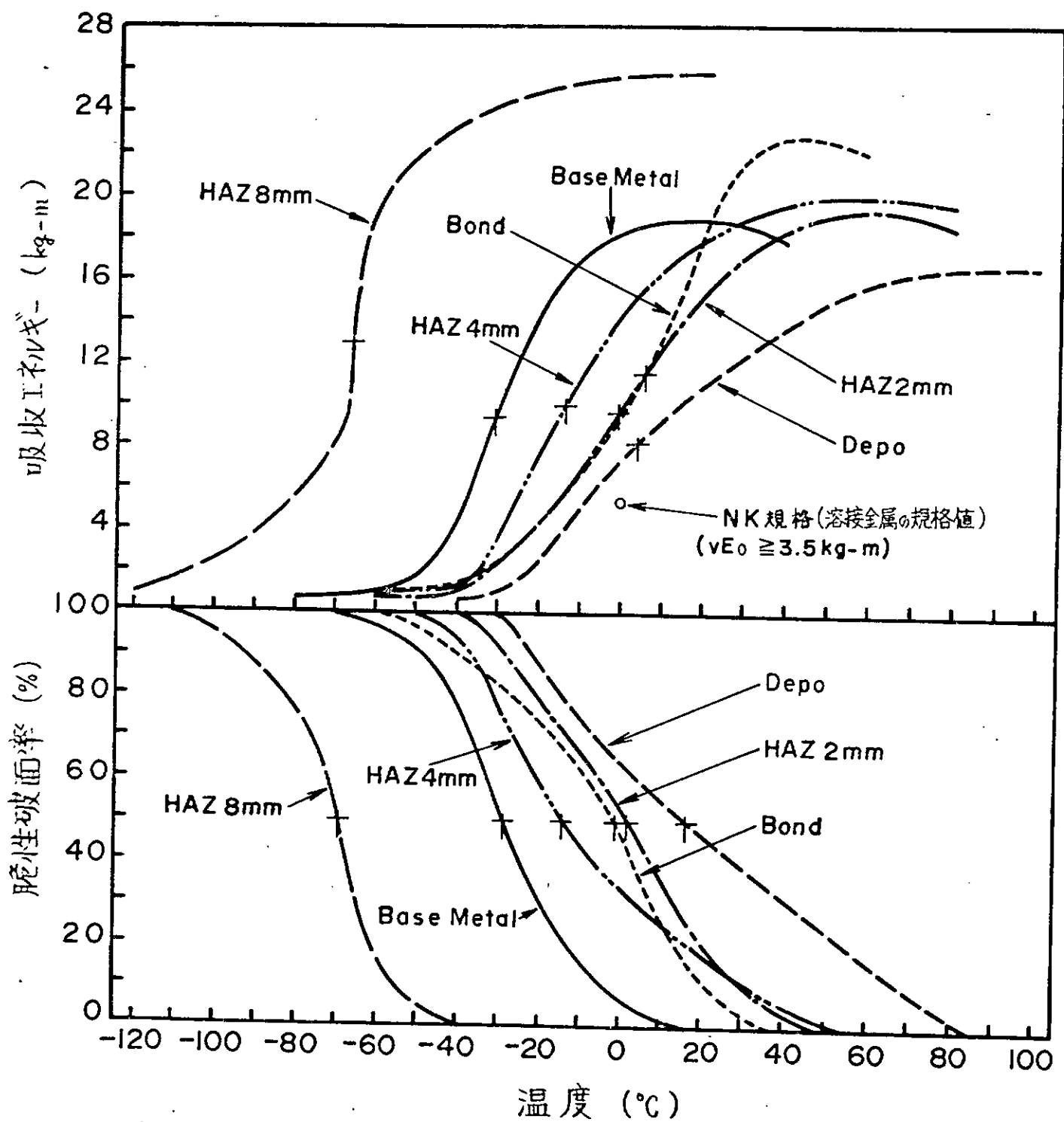


図4.3.37 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(KDK鋼, 3電極片面1層溶接継手)

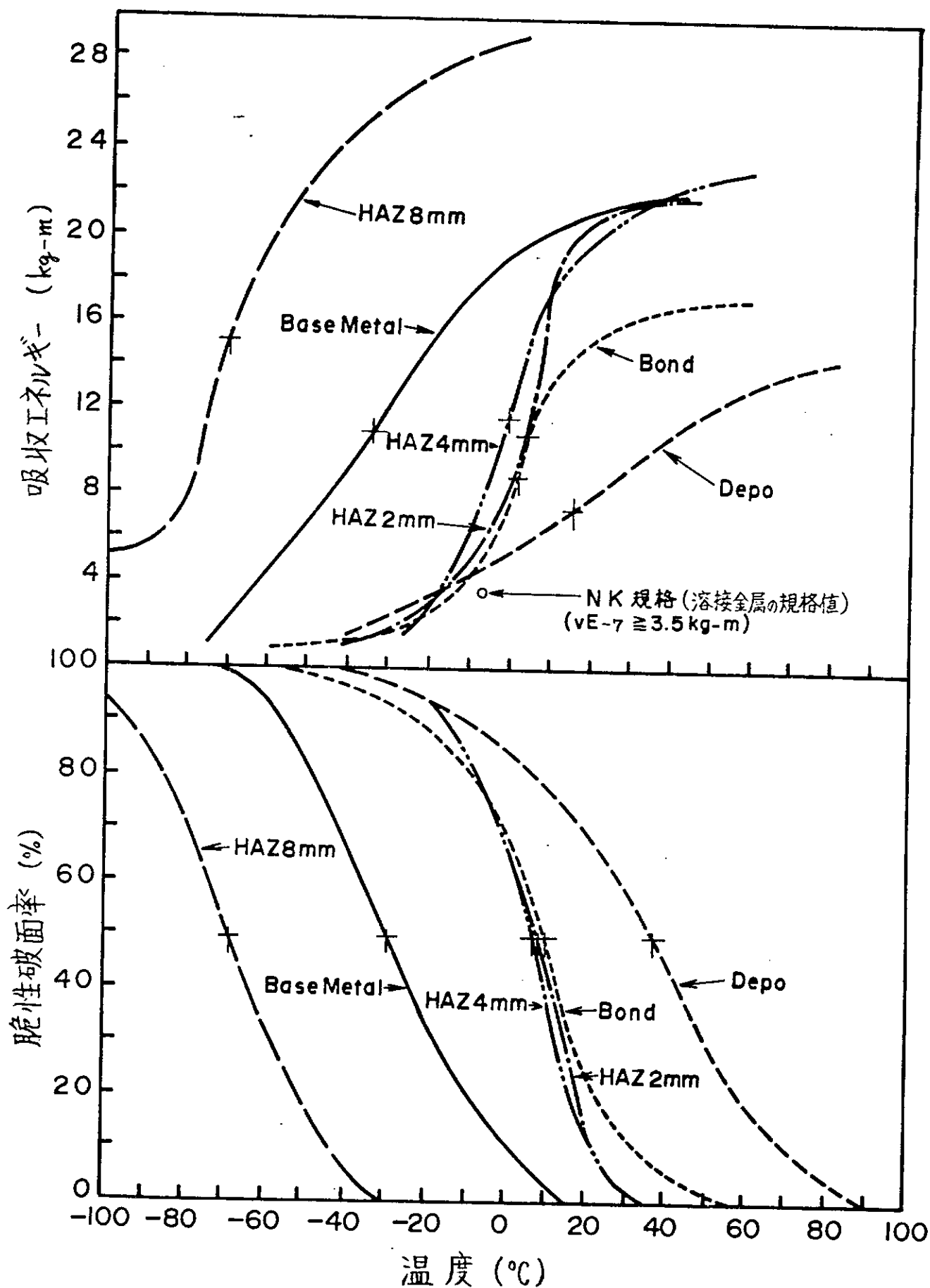


図4.3.38 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(K5D鋼, VASCON-II法溶接継手)

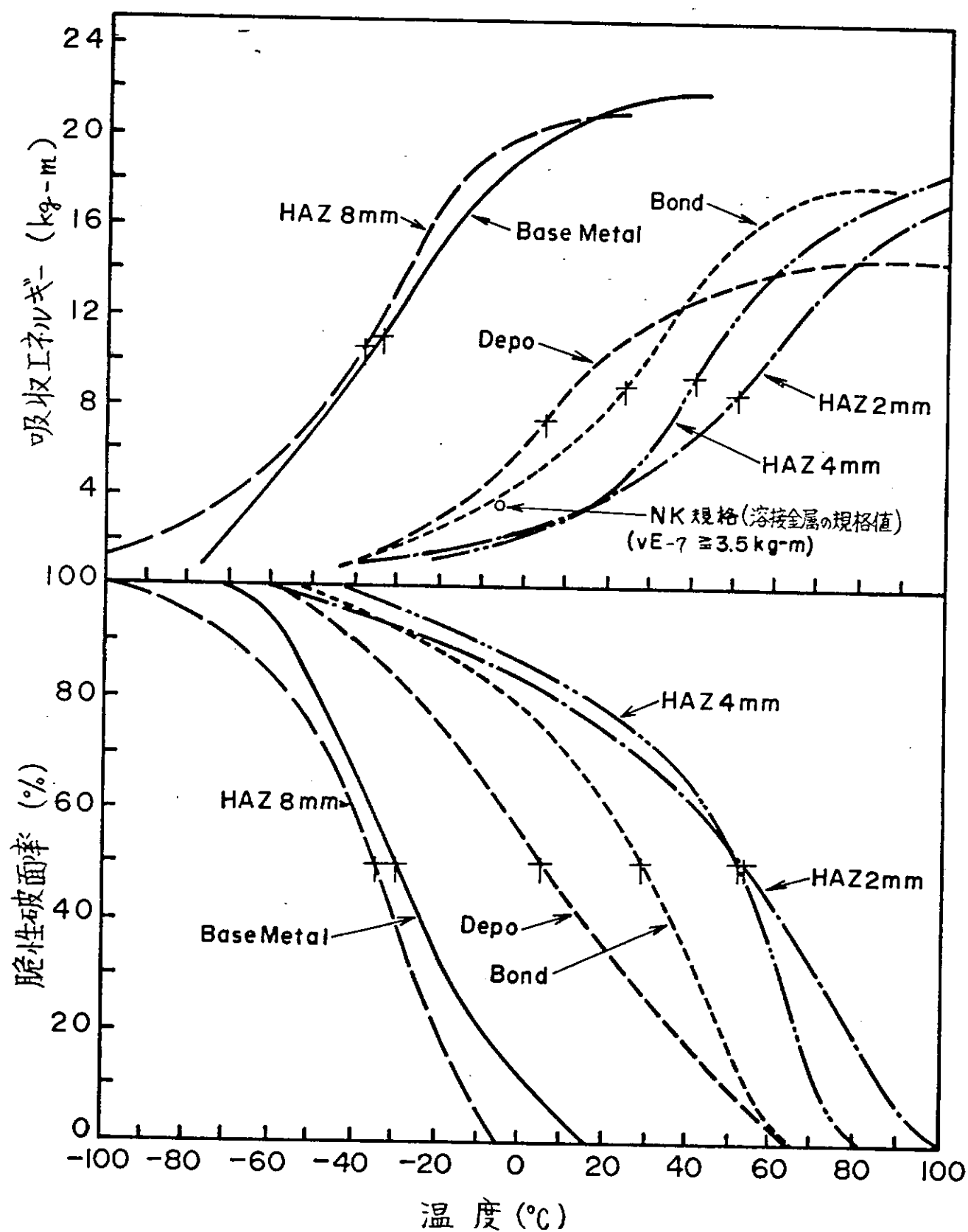


図4.3.39 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(K5D鋼, ティンバシ法溶接継手)

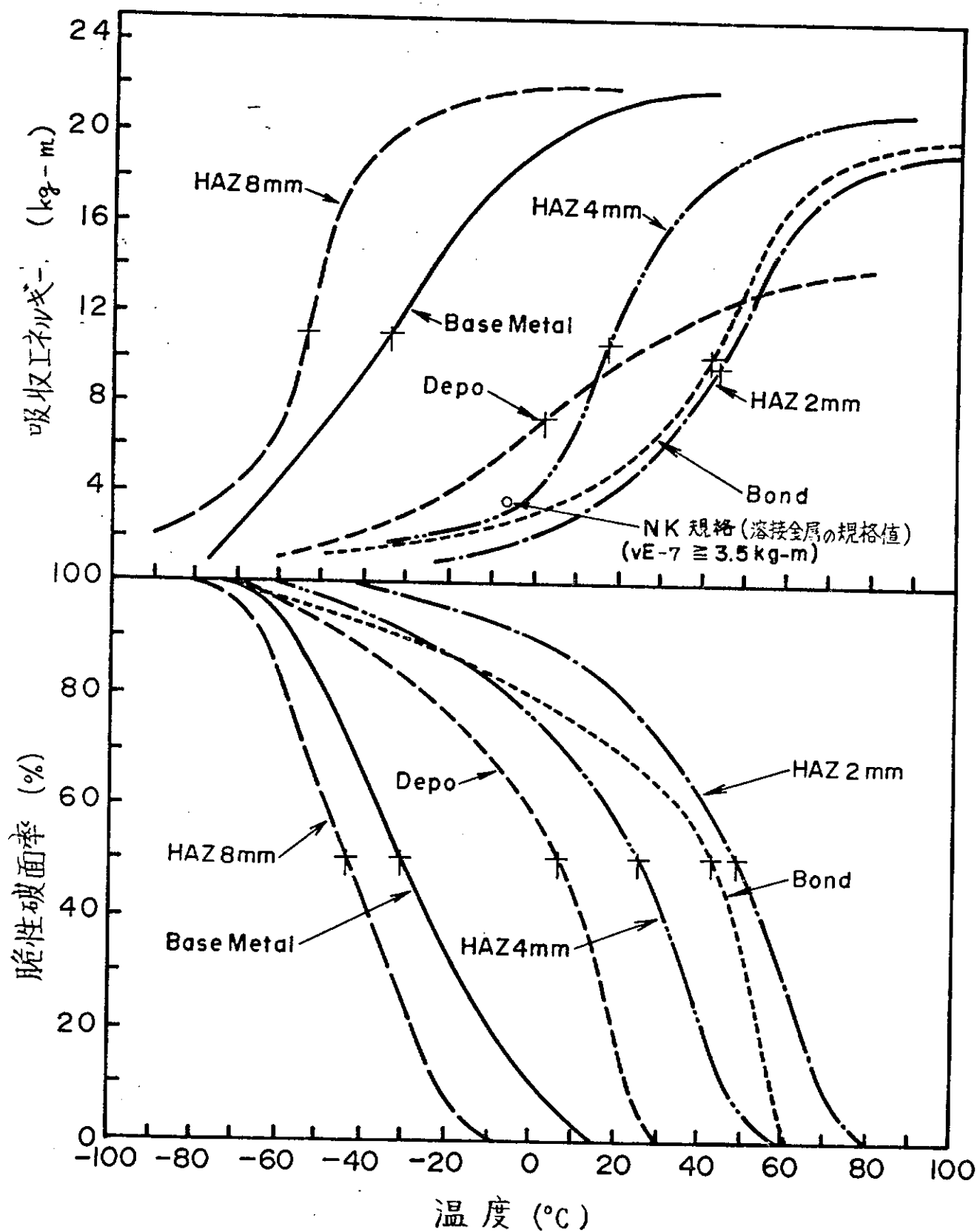


図4.3.40 V-ノッチシャルピー試験遷移曲線
(K5D鋼, 3電極片面1層溶接継手)

表 4.3.7 V-ノッチシャルピー衝撃試験結果

溶 接 法	鋼 種	ノ ッ チ 位 置	遷 移 温 度 (°C)				シエルフ エネルギー (kg-m)
			vTr 15	vTr 35	vTr E	vTr S	
母 材	KAS	1/2 ↑	- 21	- 11	- 1	- 4	15.6
	KDK		- 49	- 39	- 31	- 28	19.0
	K5D		- 70	- 58	- 33	- 30	22.0
VASOON-II 法 溶 接	KAS	溶接金属中央	- 61	- 39	- 17	- 9	17.8
		ボ ン ド	- 13	8	24	28	16.9
		ボンドより 2mm	- 15	5	21	21	17.8
		ボンドより 4mm	- 31	- 16	6	2	17.8
		ボンドより 8mm	- 39	- 33	- 30	- 28	18.1
デルタオブリート 法 溶 接		溶接金属中央	- 38	- 22	- 6	- 10	16.3
		ボ ン ド	- 18	5	23	18	17.4
		ボンドより 2mm	- 23	- 4	10	6	16.5
		ボンドより 4mm	- 30	- 10	6	8	16.7
		ボンドより 8mm	- 60	- 49	- 34	- 33	17.6
3電極片面1層 溶 接	KDK	溶接金属中央	- 23	- 12	5	16	16.6
		ボ ン ド	- 33	- 18	6	- 1	22.8
		ボンドより 2mm	- 32	- 19	- 1	2	19.4
		ボンドより 4mm	- 35	- 28	- 14	- 13	20.0
		ボンドより 8mm	- 105	- 84	- 66	- 69	25.8
VASOON-II 法 溶 接	K5D	溶接金属中央	- 35	- 6	15	38	14.5
		ボ ン ド	- 25	- 8	3	7	17.2
		ボンドより 2mm	- 26	- 11	5	9	22.0
		ボンドより 4mm	- 23	- 9	0	6	23.2
		ボンドより 8mm	—	—	- 67	- 68	29.9
デルタオブリート法 溶 接		溶接金属中央	- 27	- 8	4	5	14.7
		ボ ン ド	- 26	0	26	29	18.0
		ボンドより 2mm	- 6	28	51	54	17.2
		ボンドより 4mm	- 7	18	39	51	18.5
		ボンドより 8mm	- 89	- 63	- 39	- 35	21.0
3電極片面1層 溶 接		溶接金属中央	- 40	- 14	2	9	14.4
		ボ ン ド	- 18	19	42	45	20.0
		ボンドより 2mm	- 1	23	43	49	19.0
		ボンドより 4mm	- 29	1	18	26	21.0
		ボンドより 8mm	- 88	- 66	- 54	- 42	22.0

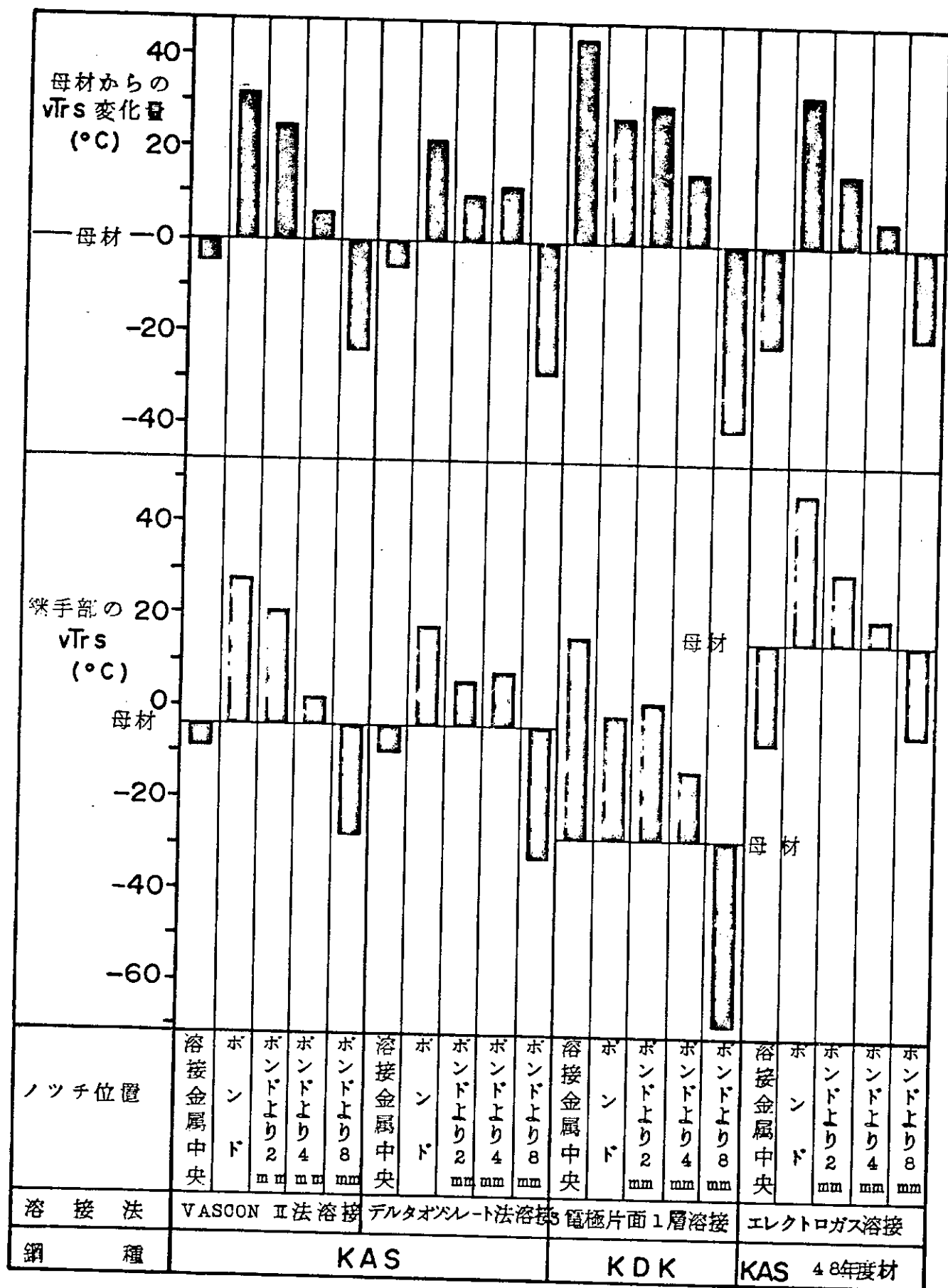


図 4.3.41 遷移温度 v_{Trs} の比較

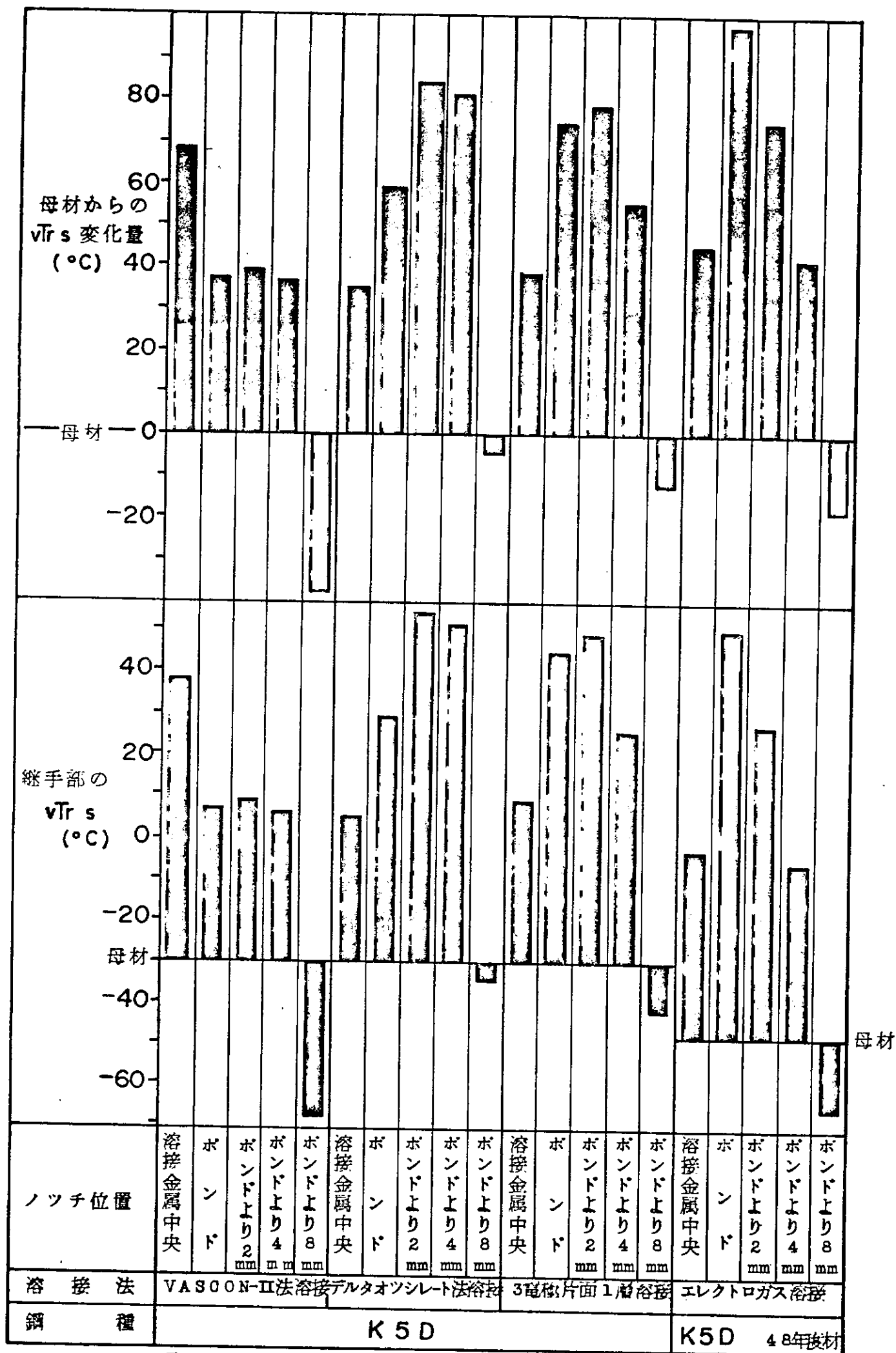


図4.3.42 遷移温度 $vTrs$ の比較

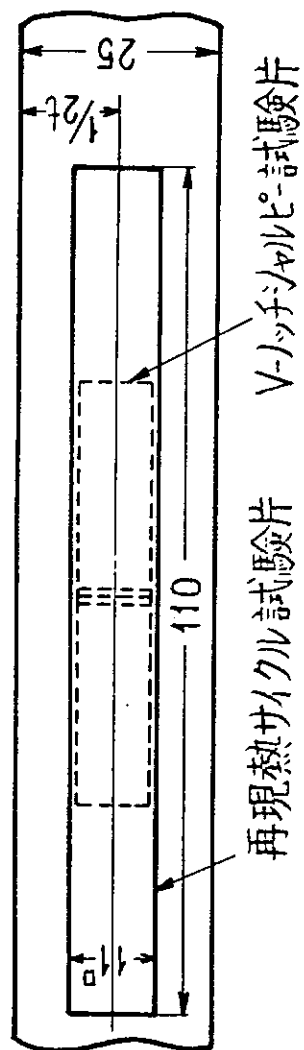


図4.4.1 試験片採取要領

表4.4.1 再現熱サイクル試験条件

記号	最高到達 温度 (°C)	800→500°C 冷却時間 (sec)	冷却用 ガス	対応する溶接法, 入熱および位置
A	1,350	12	He	サブマ-ジ溶接, H.I.22.5 kJ/cm ボンド
B	1,350	51	He	サブマ-ジ溶接, H.I.65.7 kJ/cm ボンド
C	1,350	81	N ₂	RAC 溶接 (狭間先エレクトロガス溶接) H.I.86.4 kJ/cm ボンド
D	1,350	168	N ₂	エレクトロガス溶接, H.I.148 kJ/cm ボンド
E	1,350	300	N ₂	CES 溶接, H.I.266 kJ/cm ボンド
F	1,300	168	N ₂	エレクトロガス溶接, H.I.148 kJ/cm ボンドより0.4mm
G	1,200	168	N ₂	エレクトロガス溶接, H.I.148 kJ/cm ボンドより1.7mm
H	1,000	168	N ₂	エレクトロガス溶接, H.I.148 kJ/cm ボンドより4.3mm
I	800	168	N ₂	エレクトロガス溶接, H.I.148 kJ/cm ボンドより6.9mm

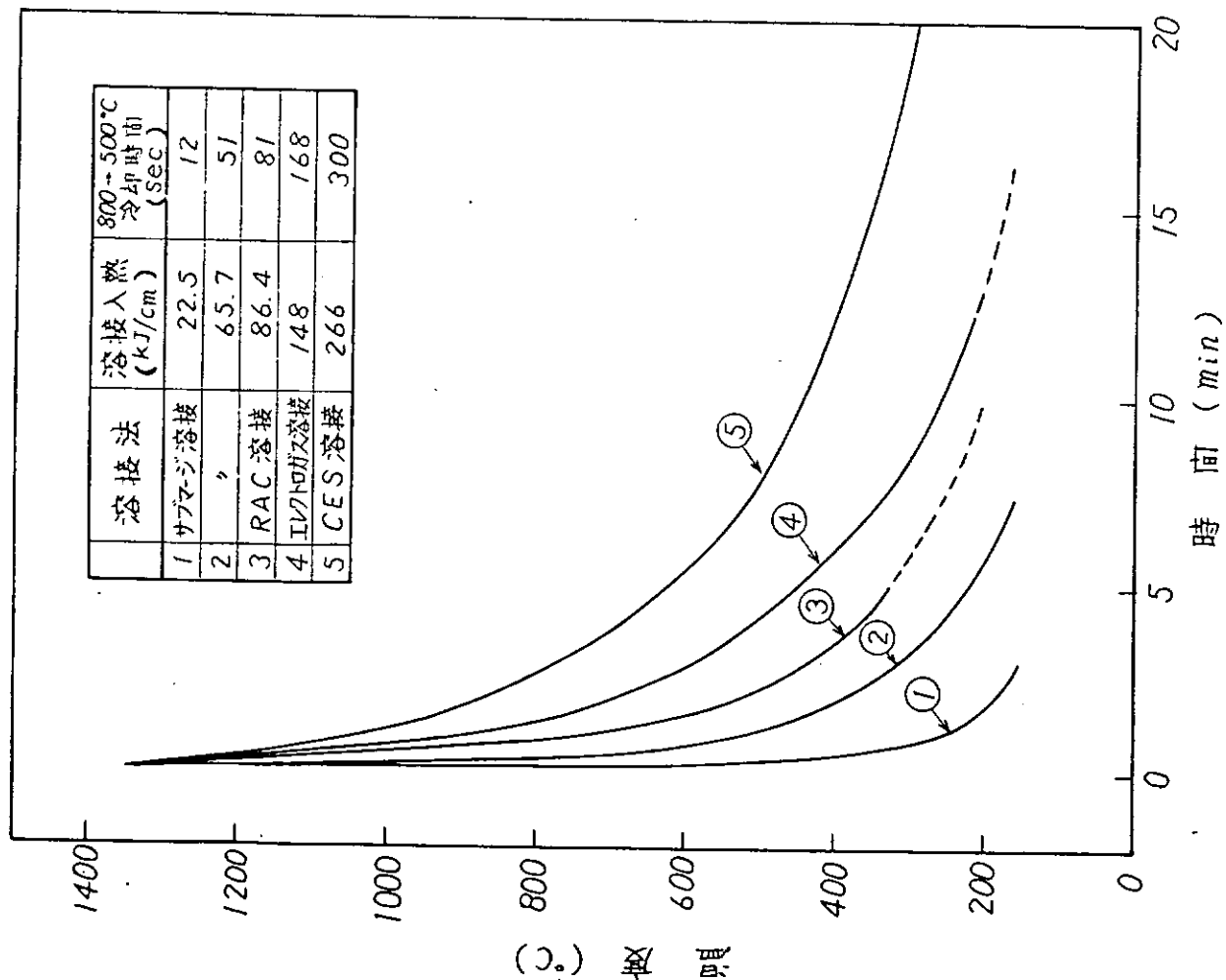


図4.4.2 各種溶接ボンドの熱サイクル

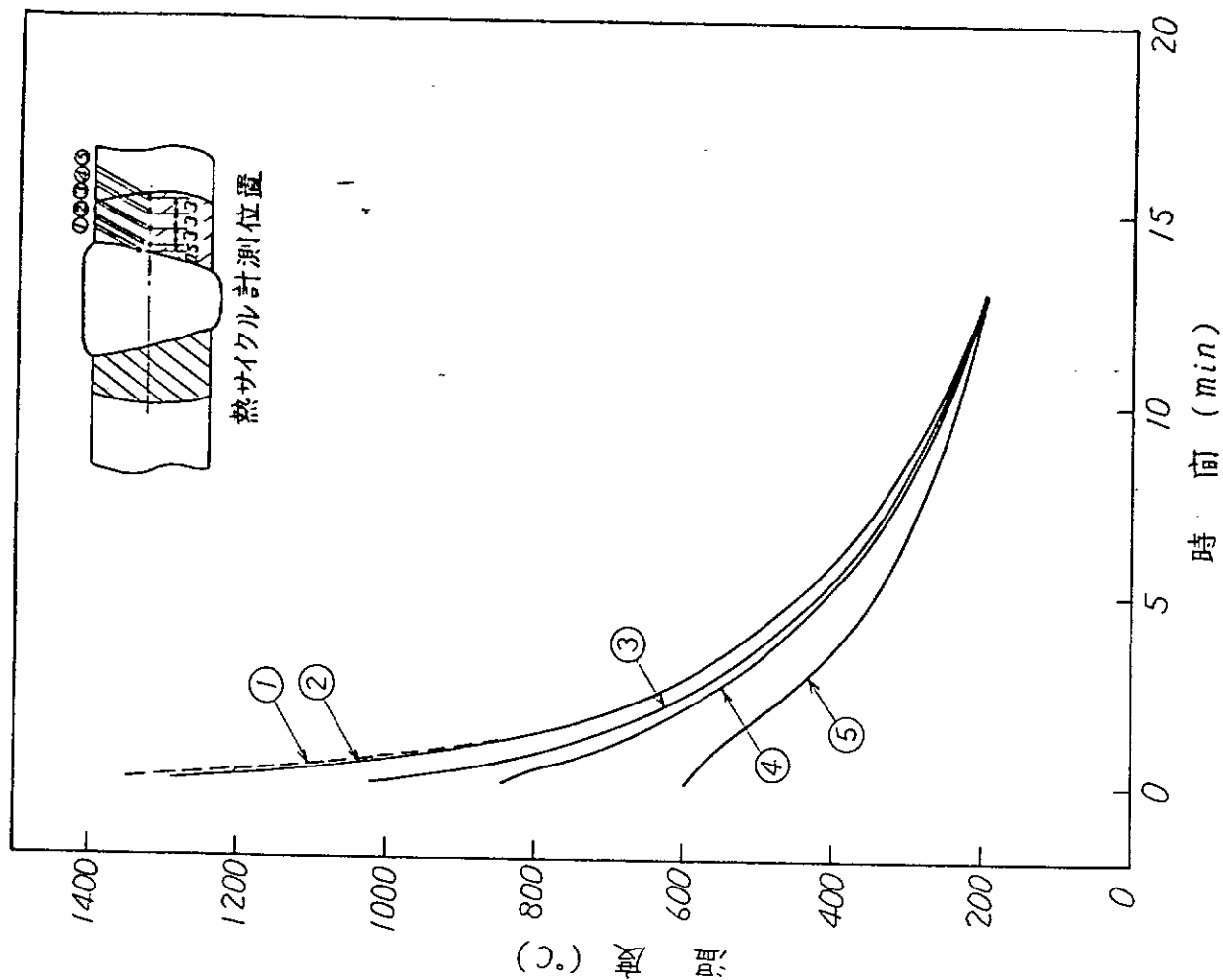


図4.4.3 エレクトロガス溶接(H.I. 148 kJ/cm)HAZの熱サイクル

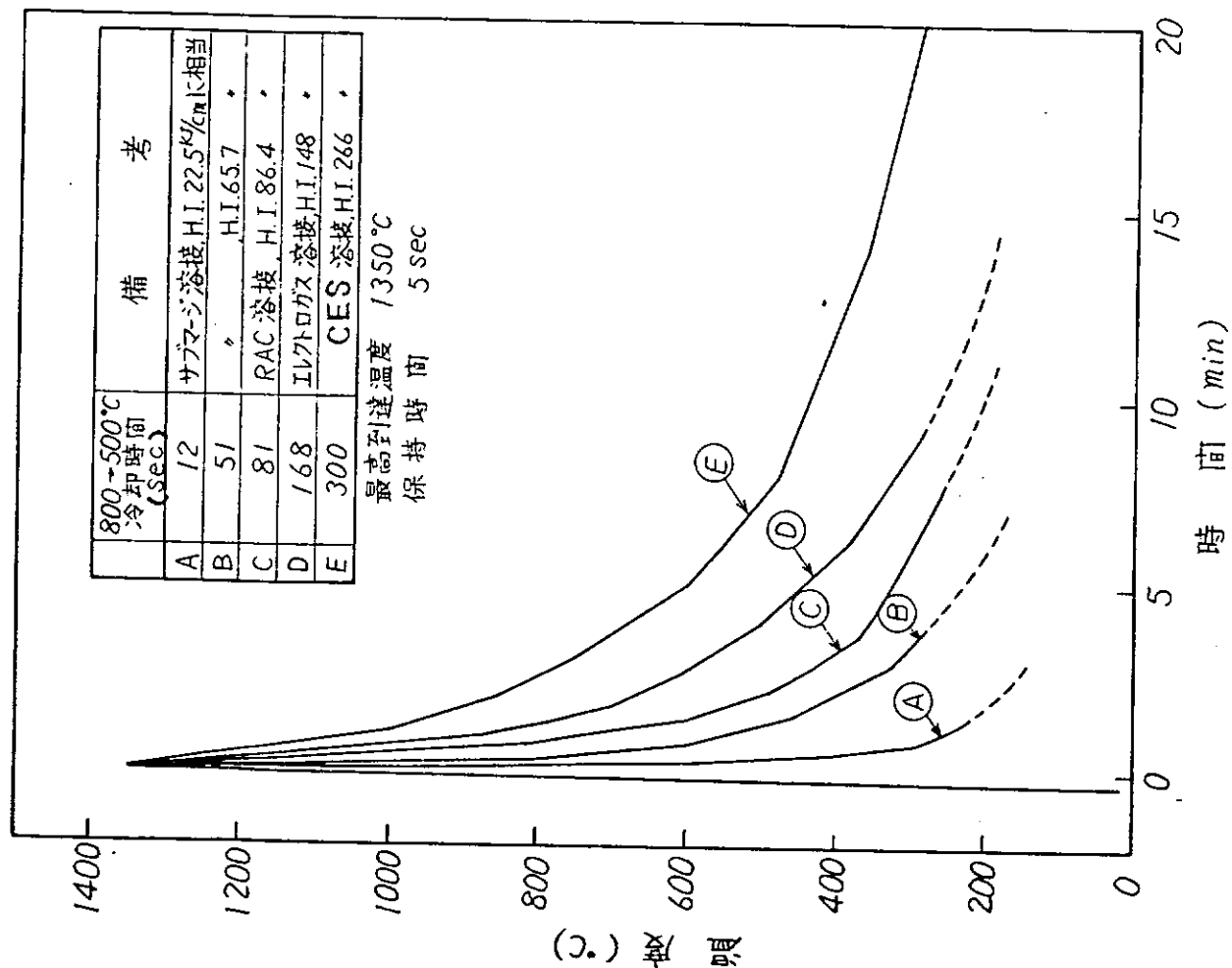


図 4.4.4 再現熱サイクル (I)

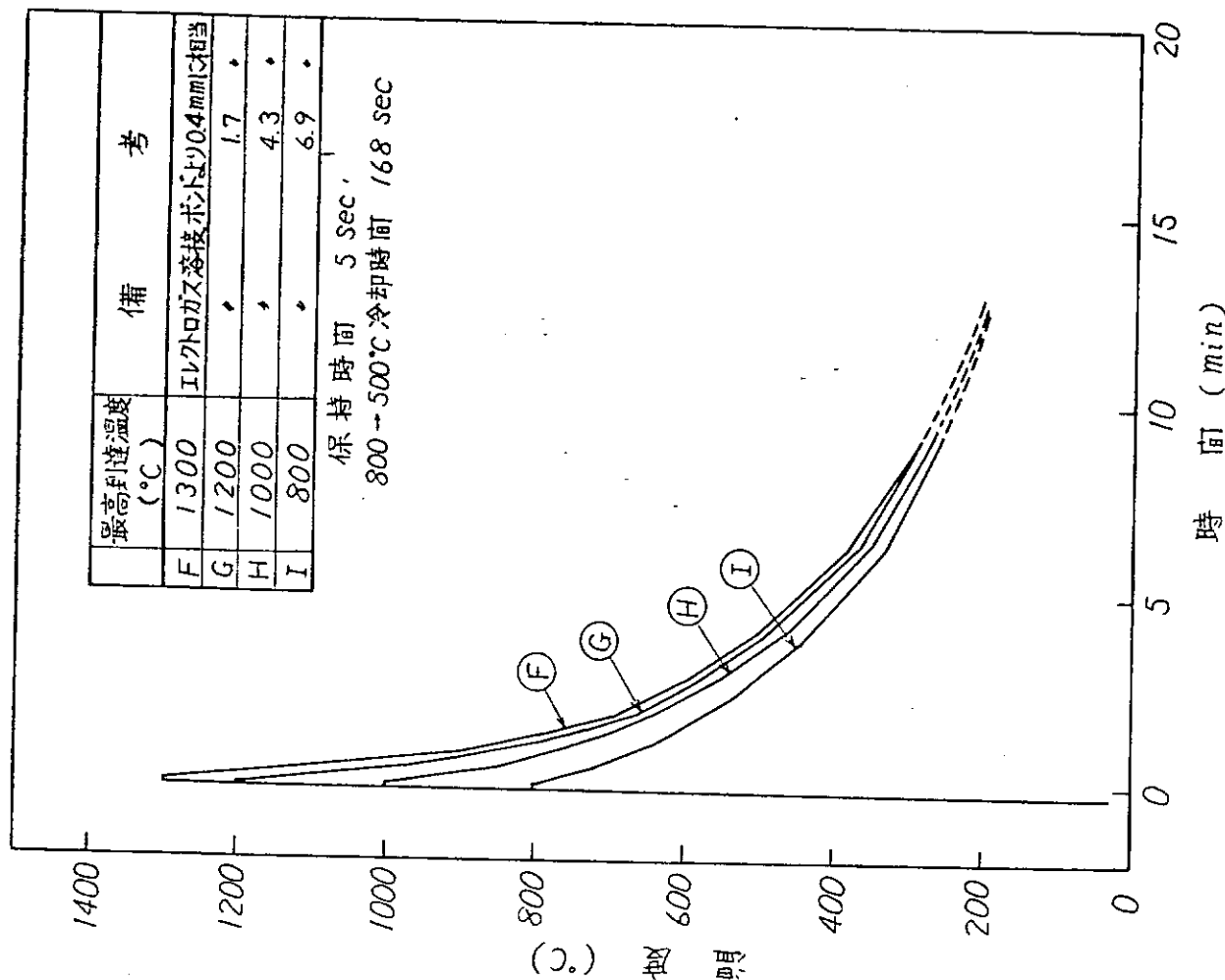
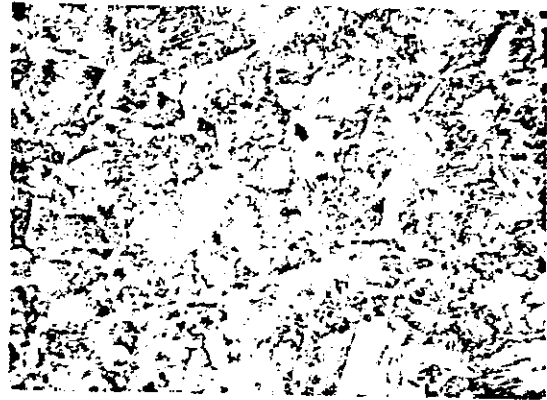
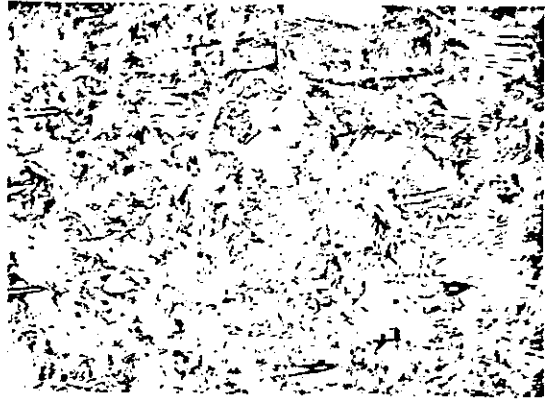


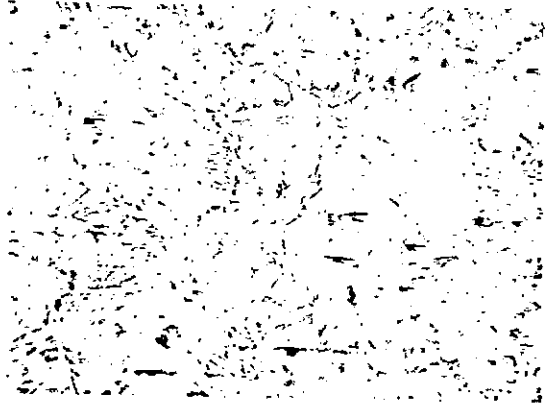
図 4.4.5 再現熱サイクル (II)



A (Hv193) x50



B (Hv163) x50



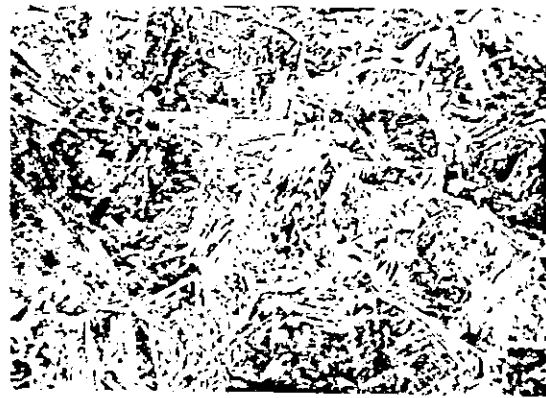
C (Hv164) x50



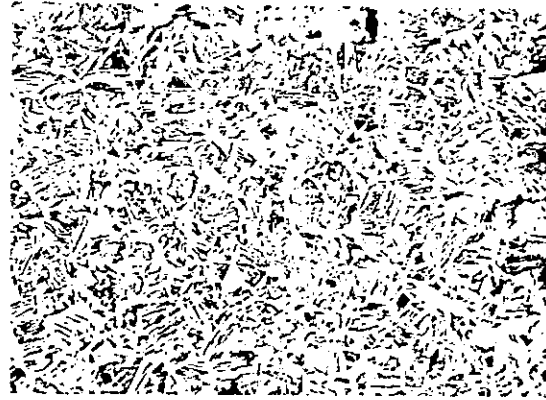
D (Hv162) x50



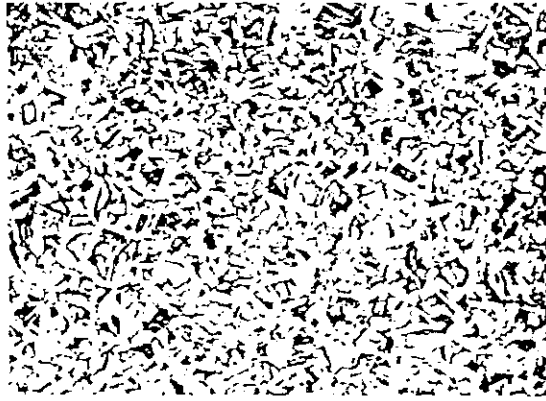
E (Hv151) x50



F (Hv165) x50



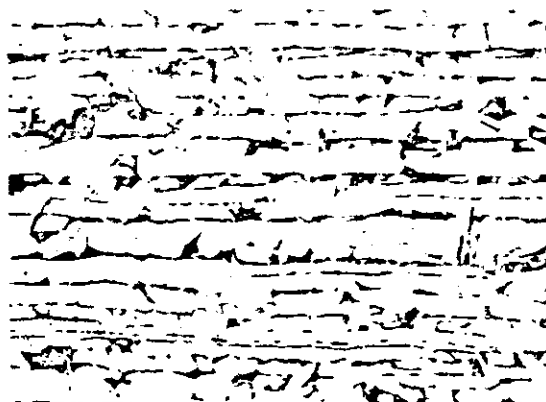
G (Hv149) x50



H (Hv143) x100



I (Hv140) x100

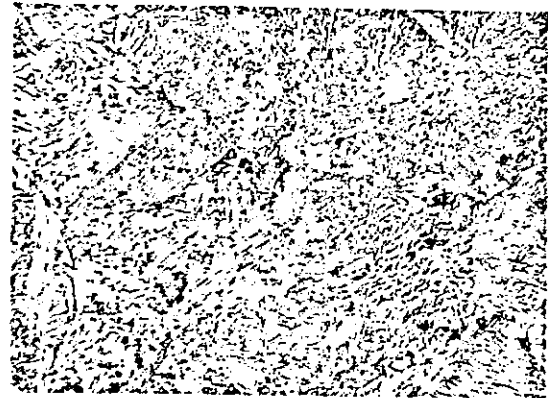


J (Hv127) x100

写真 4.4.1 KAS 鋼の再現熱サイクル顕微鏡組織



A (Hv 266)



B (Hv 203)



C (Hv 199)



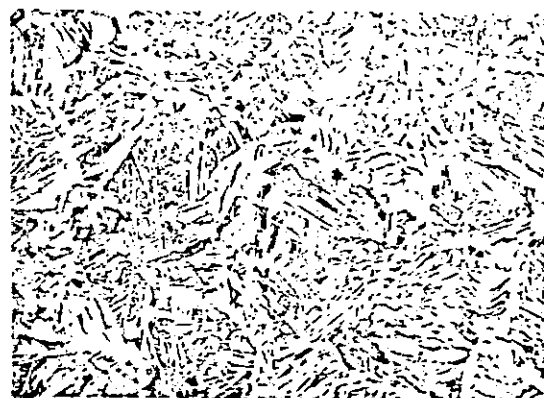
D (Hv 178)



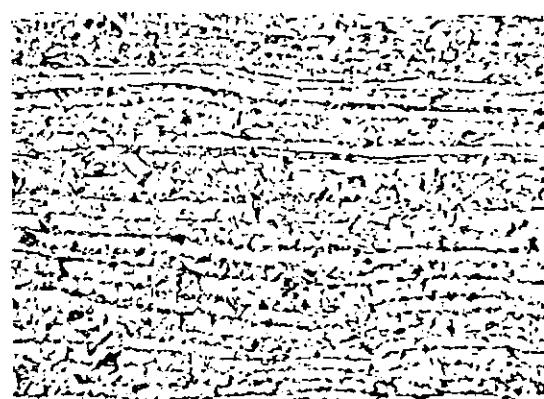
E (Hv 181)



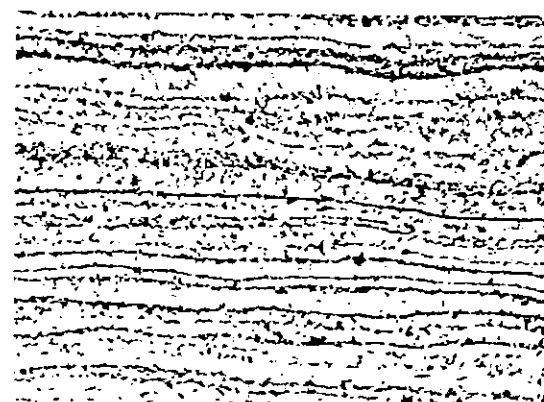
F (Hv 179)



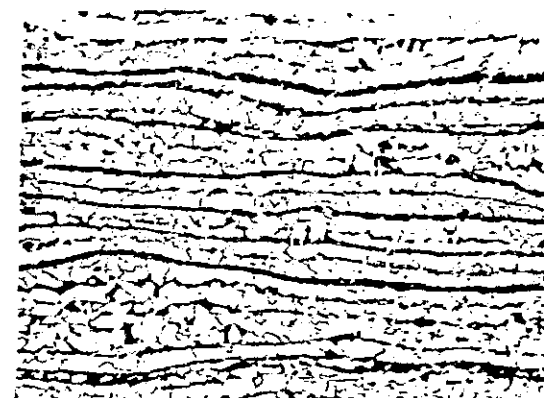
G (Hv 169)



H (Hv 160)



I (Hv 148)



母材 (Hv 151)

写真 4.4.2 K5D 鋼の再現熱サイクル顕微鏡組織 (×100)

表 4.4.2 V-ノッチシャルピー 試験結果 (KAS 鋼)

A			B			C			D			E		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
-40	0.46	100	-40	0.36	100	-40	0.56	100	-10	1.38	100	-10	1.27	100
"	0.56	100	"	0.56	100	"	0.76	100	"	0.86	100	"	0.56	100
-10	0.46	100	-10	1.06	100	-10	1.81	100	+20	3.31	85	+20	2.26	90
"	2.14	100	"	1.06	100	"	0.76	100	"	6.25	69	"	6.25	62
+20	4.67	80	+20	3.43	81	+20	0.86	100	+35	6.25	57	"	5.19	80
"	2.48	90	"	5.19	78	"	5.19	75	"	9.62	46	"	2.26	82
+50	7.63	66	+50	10.64	39	"	3.19	82	+50	8.90	47	+35	6.39	58
"	8.33	58	"	5.32	61	+35	6.11	63	"	12.69	25	"	3.67	64
+80	4.93	76	"	5.32	71	+50	10.64	42	"	12.55	31	+50	8.76	49
"	5.85	59	+80	7.21	34	"	10.20	45	+80	12.25	24	"	8.33	53
"	6.25	51	"	15.49	13	+80	14.02	0	"	15.79	0	+80	13.43	13
"	14.47	0	"	12.25	22	"	13.29	28	+110	13.73	0	"	12.69	19
+110	12.84	7	+110	13.58	0	+110	13.29	0	"	16.22	0	+110	15.35	0
"	14.17	0	"	13.43	0	"	12.99	5	+140	14.47	0	"	15.20	0
+140	12.55	0	+140	13.58	0	+140	13.43	0	"	15.79	0	+140	13.43	0
									"			"	14.61	0
F			G			H			I					
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)			
-40	0.66	100	-40	0.76	100	-40	1.17	100	-60	0.96	100			
"	0.56	100	"	1.18	100	"	0.76	100	"	0.86	100			
-10	1.38	85	-10	4.17	85	-25	1.27	95	-40	1.17	95			
"	2.83	80	"	1.49	90	"	2.95	95	"	1.27	94			
+20	7.07	56	+5	6.25	67	"	3.92	85	-25	7.07	53			
"	6.39	67	"	6.80	59	-10	8.90	52	"	1.70	85			
+30	8.33	55	"	6.52	67	"	5.98	67	"	5.72	60			
+40	12.10	31	+20	6.12	51	"	6.12	63	-10	7.91	52			
"	6.93	52	"	9.04	45	+5	10.78	32	"	12.69	20			
+60	5.19	57	+30	9.19	34	"	10.05	41	"	5.45	62			
"	10.34	32	"	11.51	35	+20	16.08	0	"	6.80	32			
+80	16.95	0	+50	15.49	15	"	14.61	20	+5	10.64	25			
"	13.58	20	"	16.51	11	+50	17.52	0	"	12.25	13			
+110	14.17	0	+80	16.37	0	"	17.09	0	+20	15.05	0			
"	15.05	0	"	12.84	0	+80	15.93	0	"	15.93	0			
									+50	14.76	0			

表 4.4.3 Vノッチシャルビー 試験結果 (K5D 鋼)

A			B			C			D			E		
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)
-7	1.64	95	-7	1.39	95	-7	1.50	95	-7	1.23	95	-30	1.48	100
"	2.27	95	"	1.37	100	"	1.59	95	"	1.37	95	-7	1.86	95
RT(+15)	4.94	85	RT(+15)	2.92	90	RT(+15)	2.74	90	RT(+15)	4.94	80	"	2.45	95
"	5.41	80	"	4.82	85	"	2.06	90	"	2.45	85	RT(+15)	4.80	90
+30	10.33	60	+30	3.22	90	+30	6.99	85	+30	5.57	80	"	5.88	80
"	7.04	80	"	6.67	90	"	6.72	80	"	5.54	80	+30	8.38	70
+50	11.08	40	+40	7.98	70	+50	16.96	40	+50	15.85	50	"	9.15	75
"	7.52	70	"	6.08	80	"	10.66	40	"	11.31	50	+50	11.29	60
+70	8.49	20	+50	17.08	40	"	5.91	70	"	8.38	70	"	11.14	60
"	19.92	0	"	13.97	40	+70	16.75	30	+70	18.74	0	+70	17.43	10
"	14.47	10	+70	16.06	30	"	17.64	20	"	15.54	40	"	18.14	0
+90	17.72	0	"	19.14	10	+90	18.74	0	+90	19.25	0	+90	18.84	0
"	18.00	0	+90	20.52	0	"	19.98	0	"	19.27	0	"	18.53	0
+110	17.43	0	"	19.98	0	+110	20.06	0	+110	19.63	0	+110	18.41	0
"	19.42	0	+110	19.14	0	"	19.98	0	"	18.14	0	"	18.65	0
F			G			H			I					
試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)	試験 温度 (°C)	吸収 エネルギー (kg-m)	脆性 破面率 (%)			
-30	0.93	100	-30	1.07	100	-70	1.52	100	-70	0.65	100			
"	0.93	100	"	1.78	95	"	2.94	95	"	1.25	100			
-7	3.89	95	-7	5.00	90	-60	0.95	100	-60	7.66	90			
"	1.72	95	"	2.04	95	"	6.85	90	"	2.13	95			
RT(+15)	6.58	75	RT(+15)	8.55	60	-50	7.29	80	-50	11.87	60			
"	2.64	80	"	5.30	70	"	7.23	85	"	7.43	80			
+30	4.56	80	+30	9.81	70	-40	18.50	40	-40	13.72	50			
"	6.72	80	"	7.81	60	"	13.45	60	"	14.23	50			
+50	7.35	70	+40	14.23	40	-30	20.26	30	-30	14.17	50			
"	8.07	70	"	13.00	40	"	19.98	30	"	16.75	40			
+70	18.00	30	+50	16.66	30	-7	13.48	50	-7	11.84	60			
"	12.46	40	"	19.71	10	"	21.78	20	"	23.39	0			
+90	18.71	0	+70	20.94	0	"	22.52	20	"	21.21	0			
"	20.06	0	"	17.08	0	RT(+15)	22.93	0	RT(+15)	22.75	0			
+110	18.56	0	+90	19.05	0	"	23.32	0	"	22.23	0			

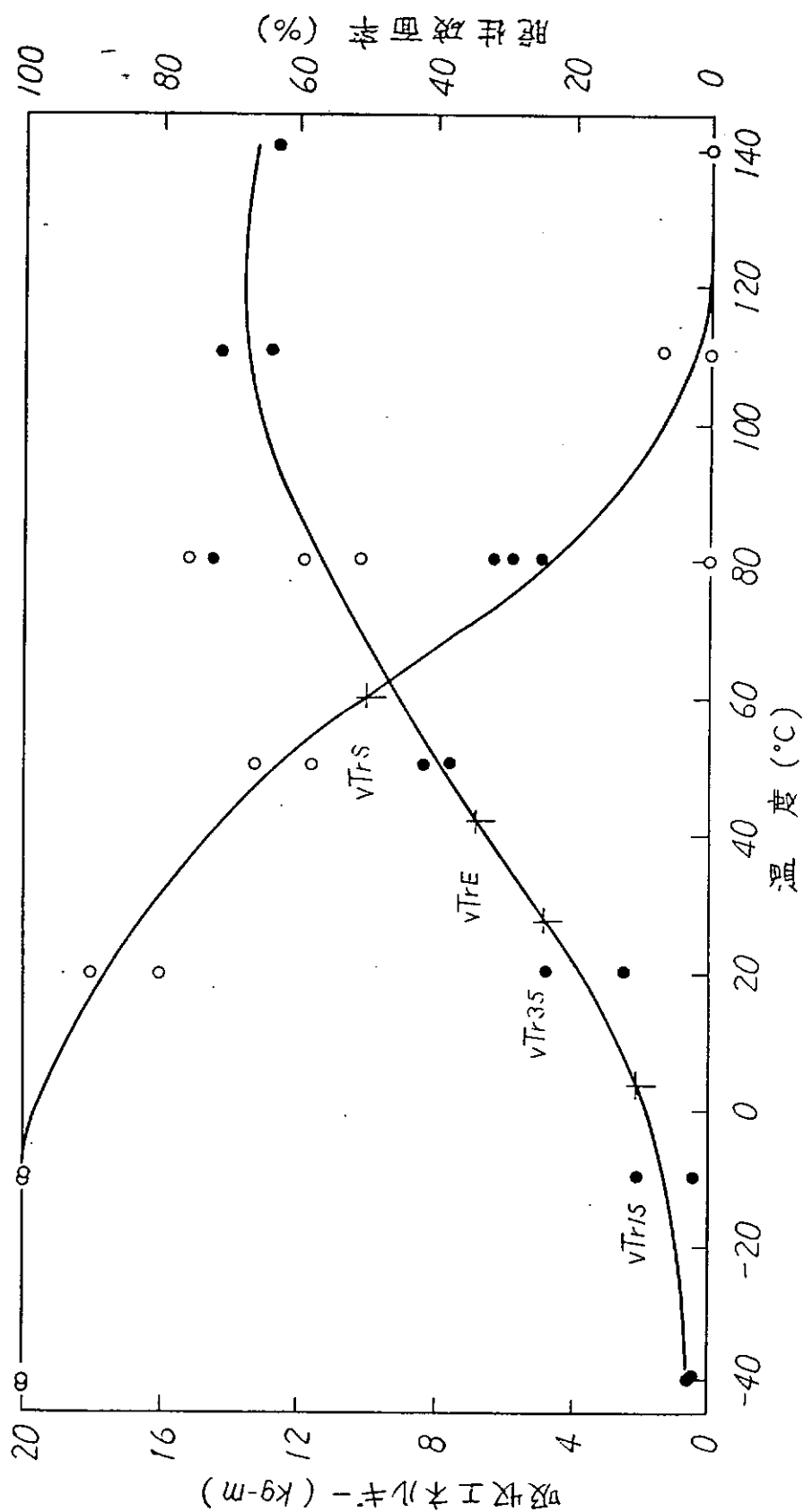


図4.4.6 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS鋼, 熱サイクル④)

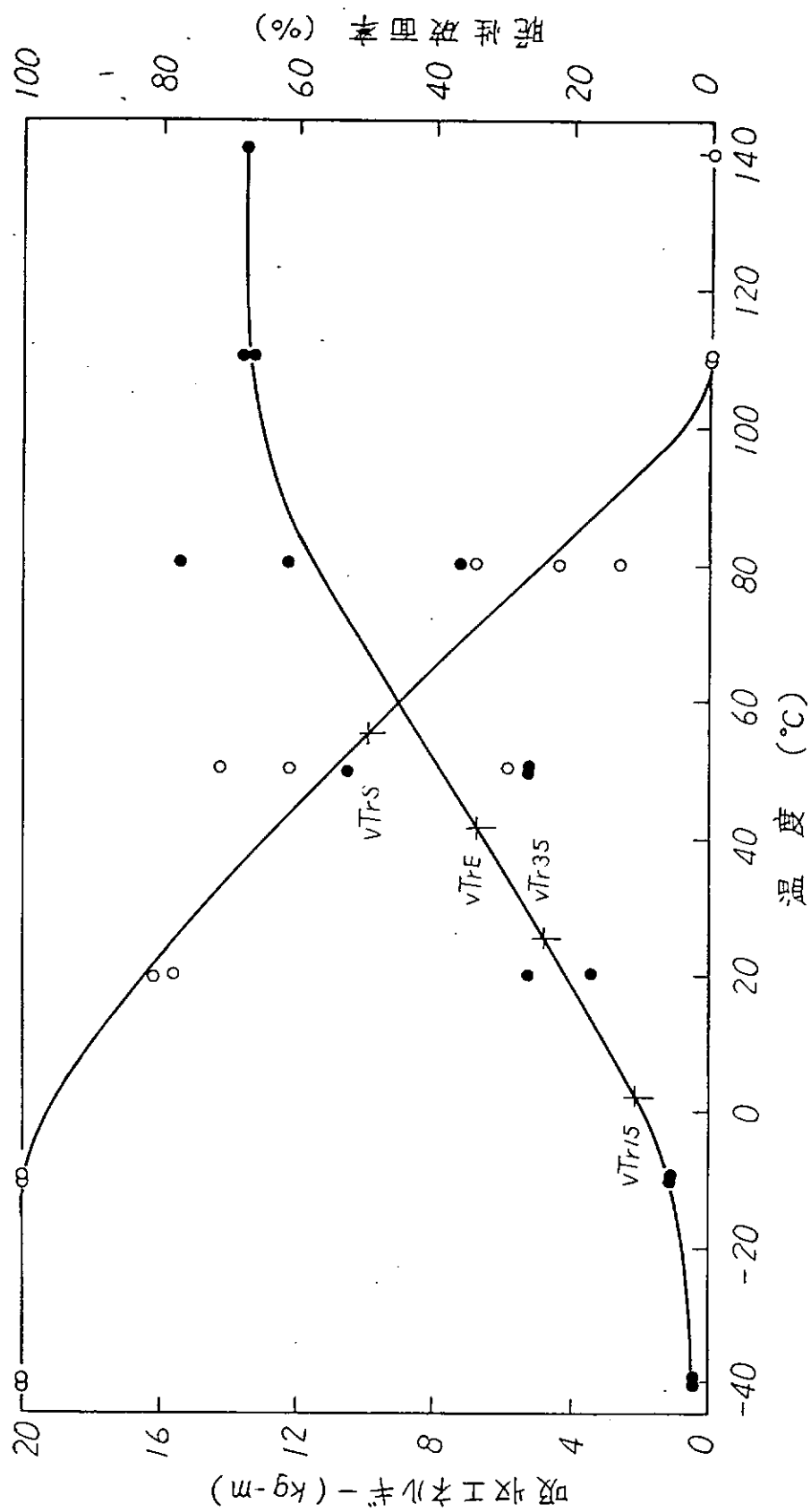


図 4.4.7 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル ②)

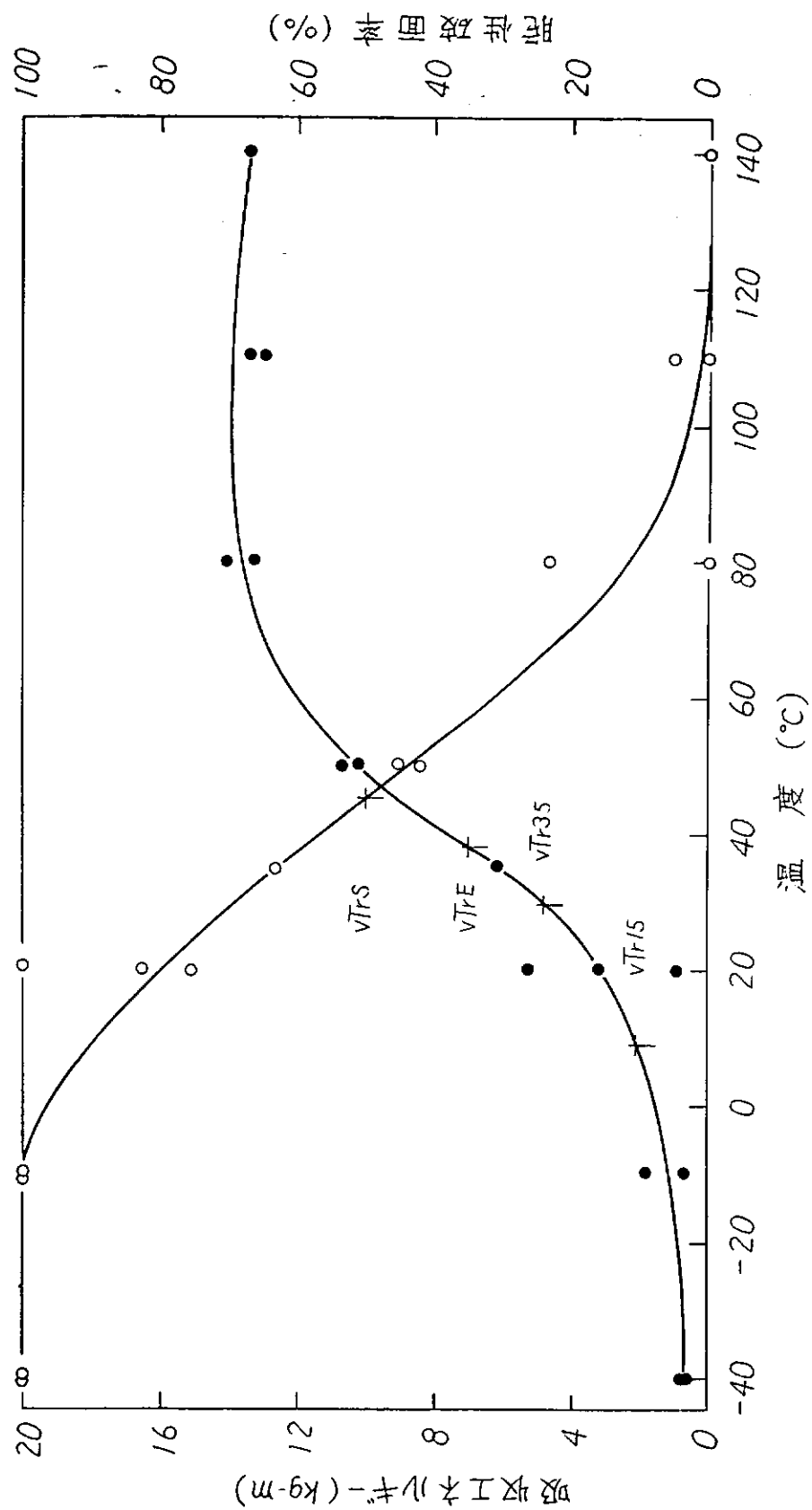


図 4.4.8 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル ©)

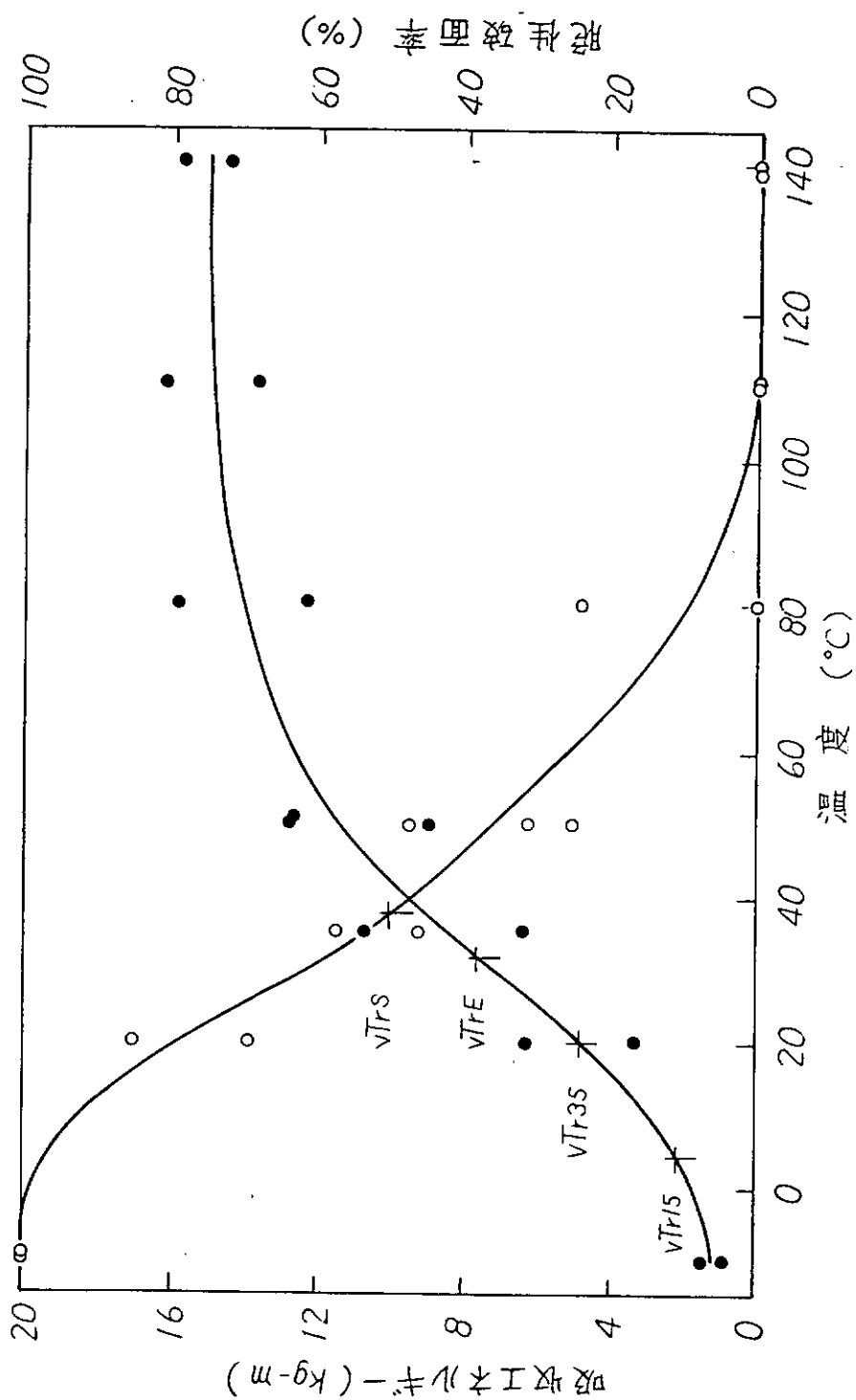


図4.4.9 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS鋼, 熱サイクル⑤)

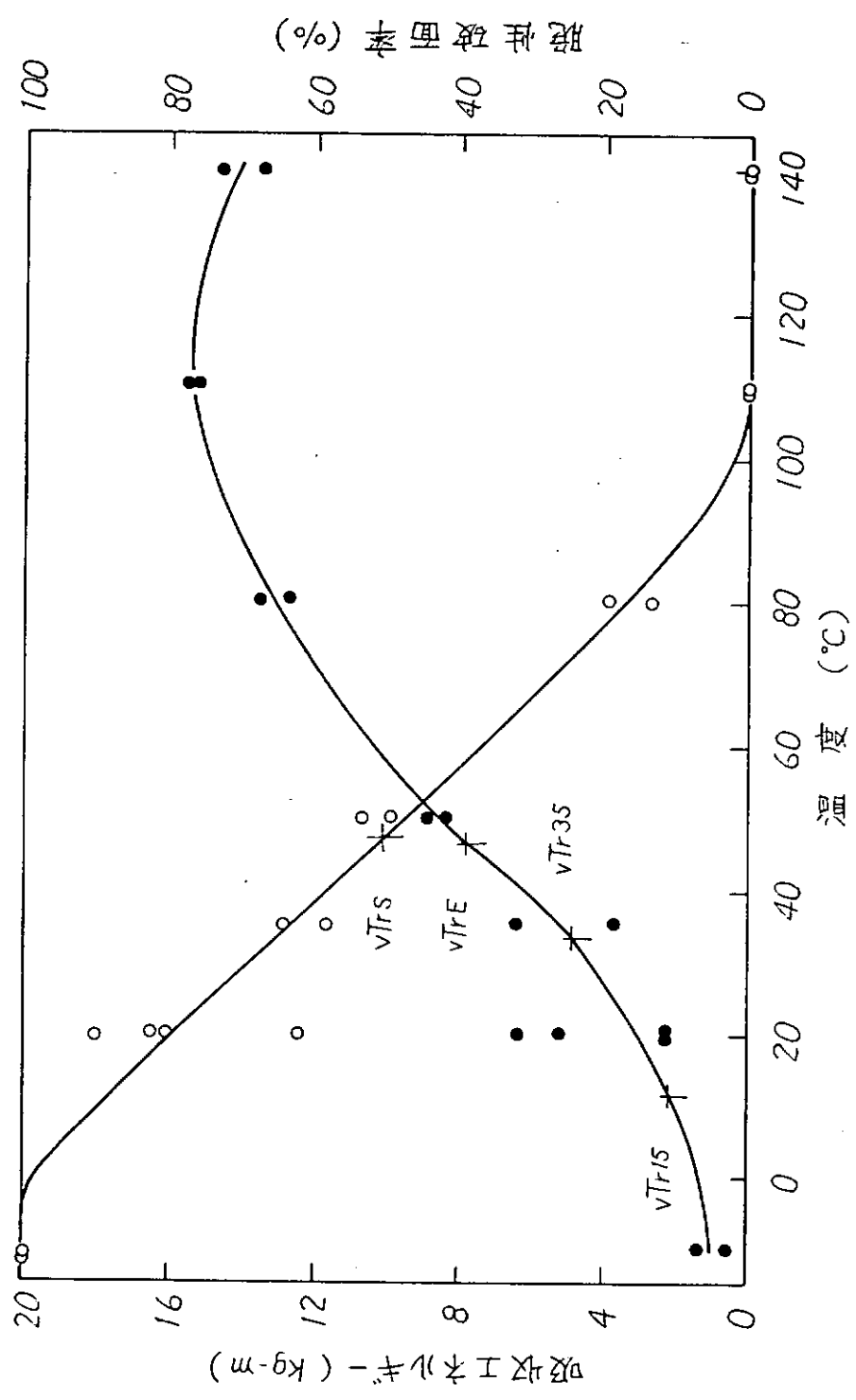


図 4.4.10 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル⑤)

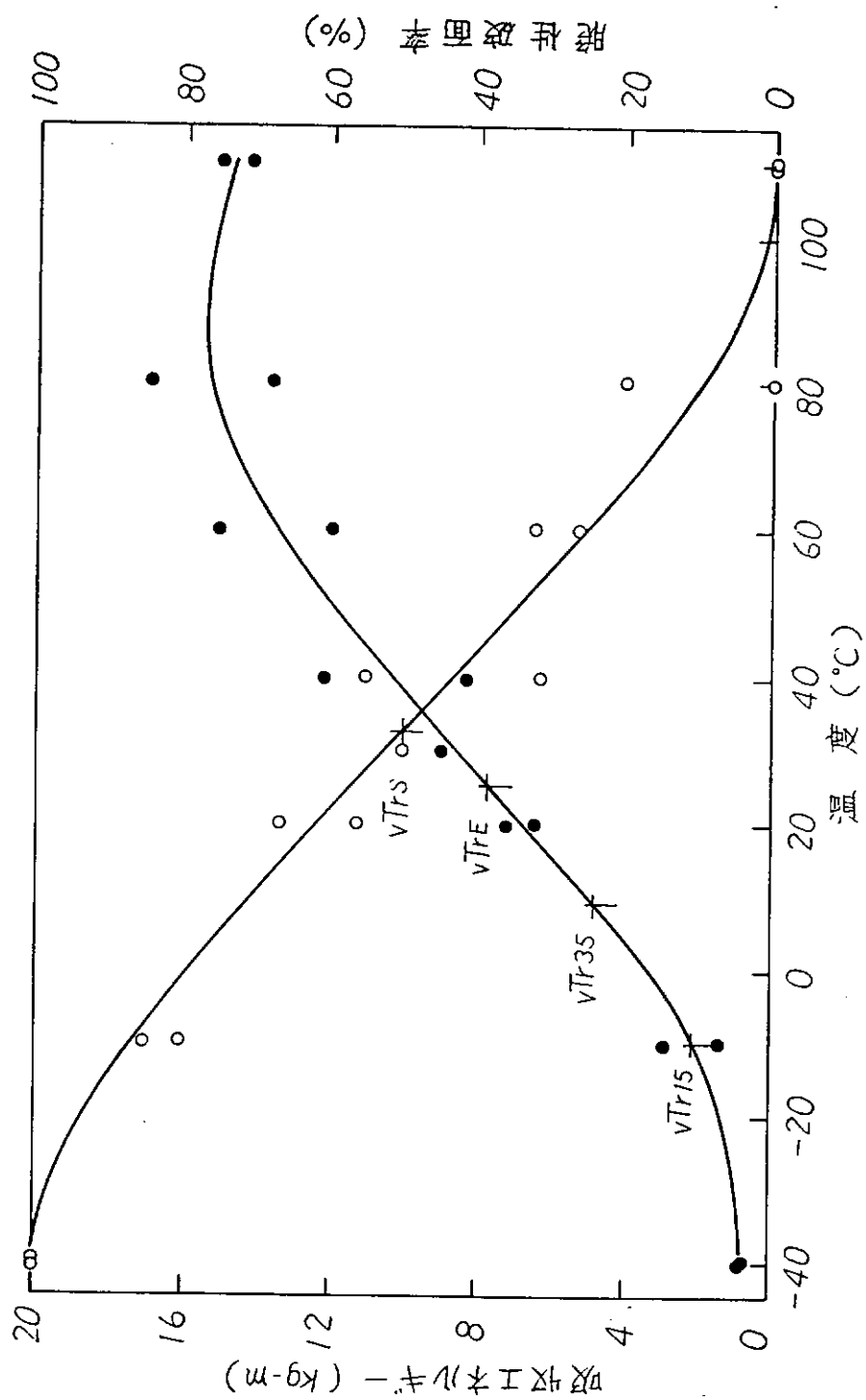


図 4.4.11 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル⑤)

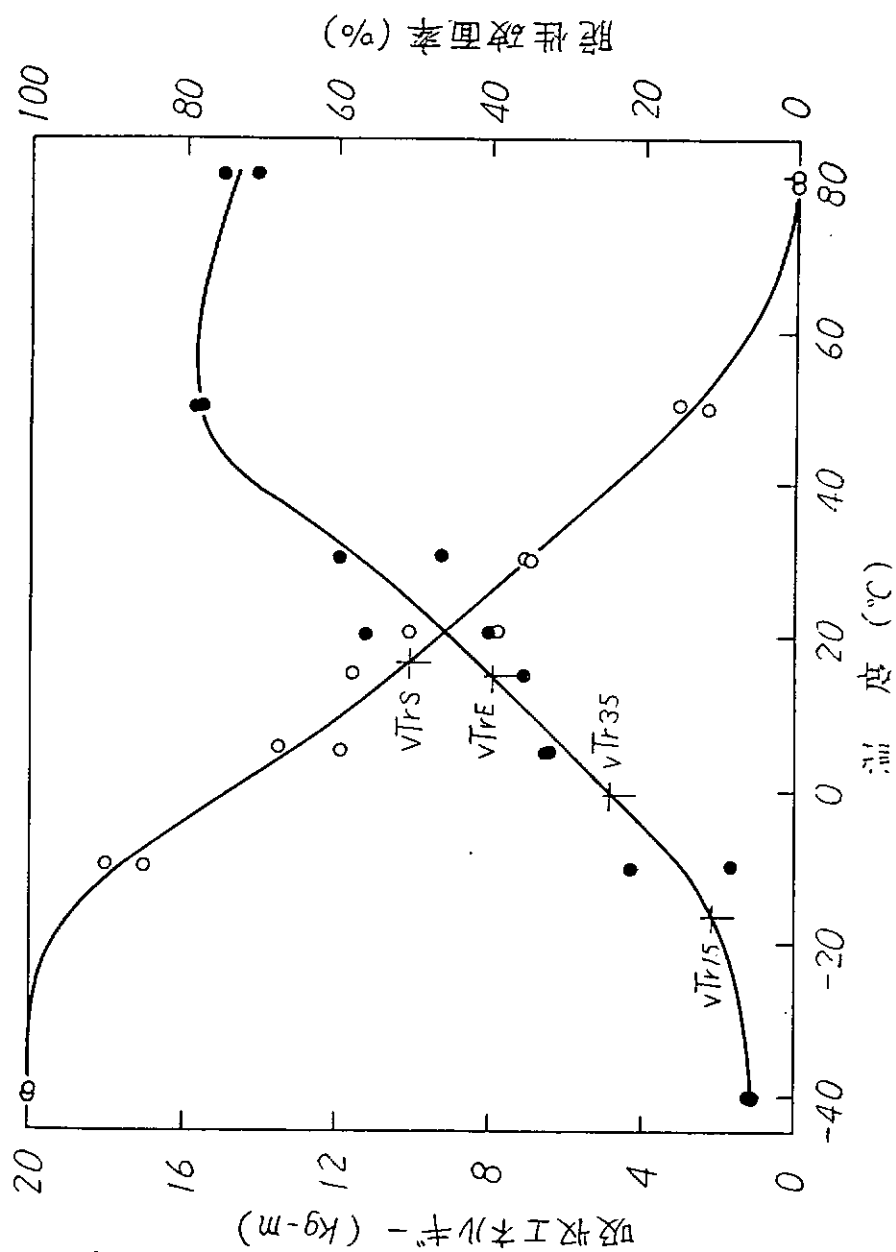


図 4.4.12 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル⑥)

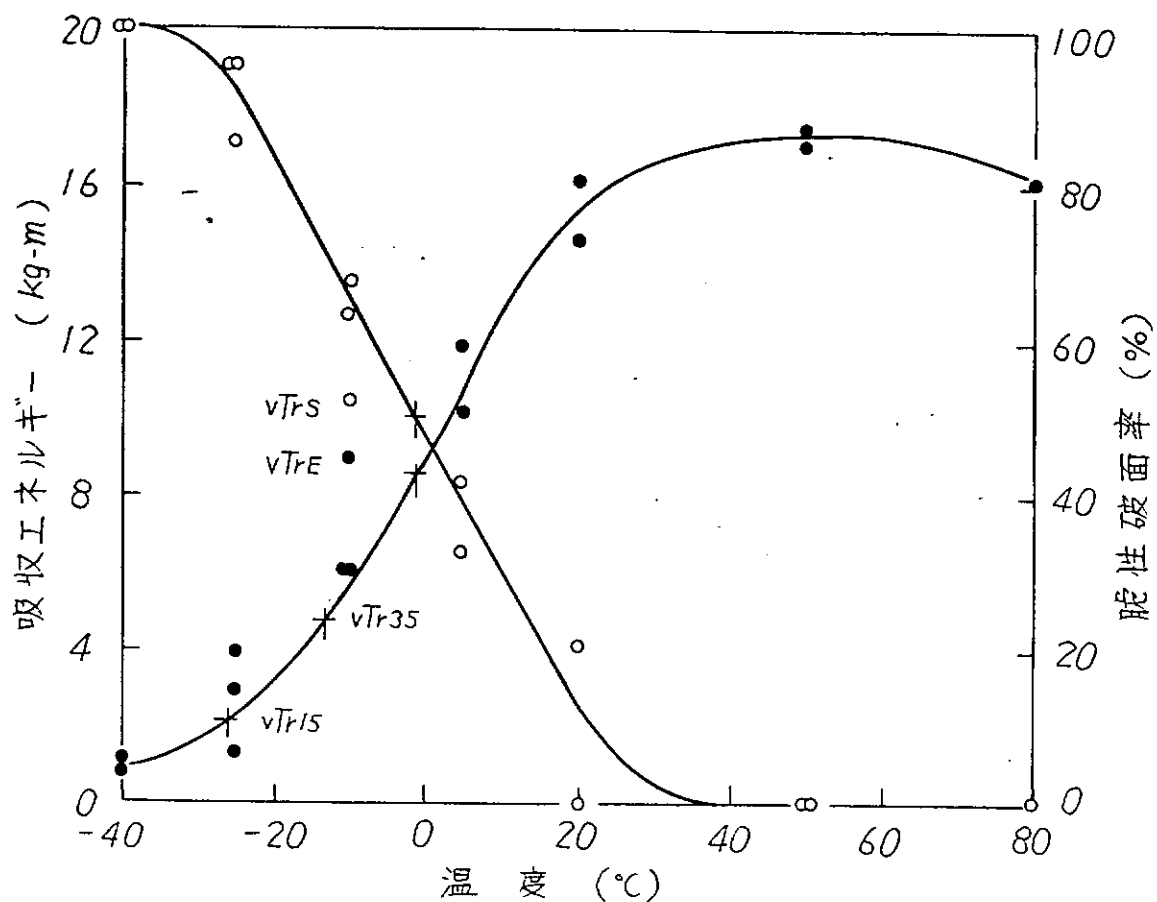


図4.4.13 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル⑨)

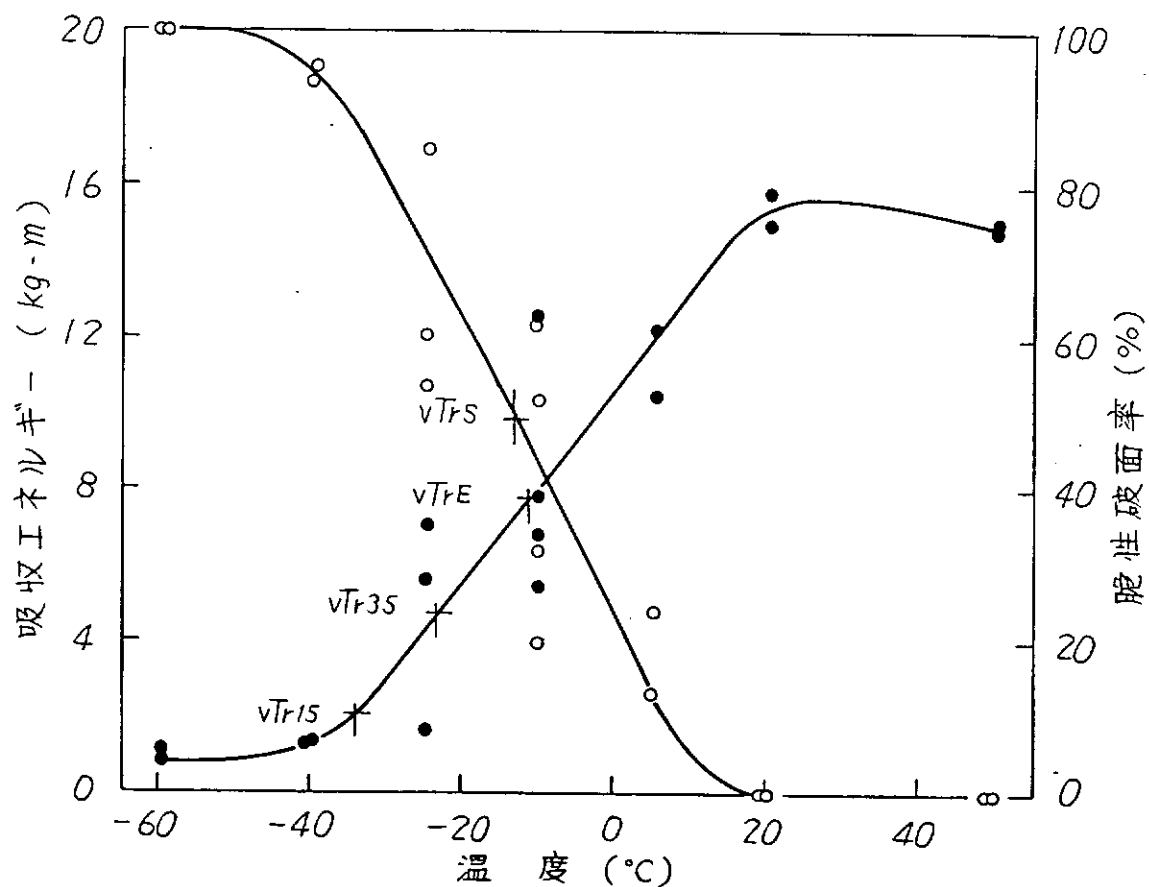


図4.4.14 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 熱サイクル⑩)

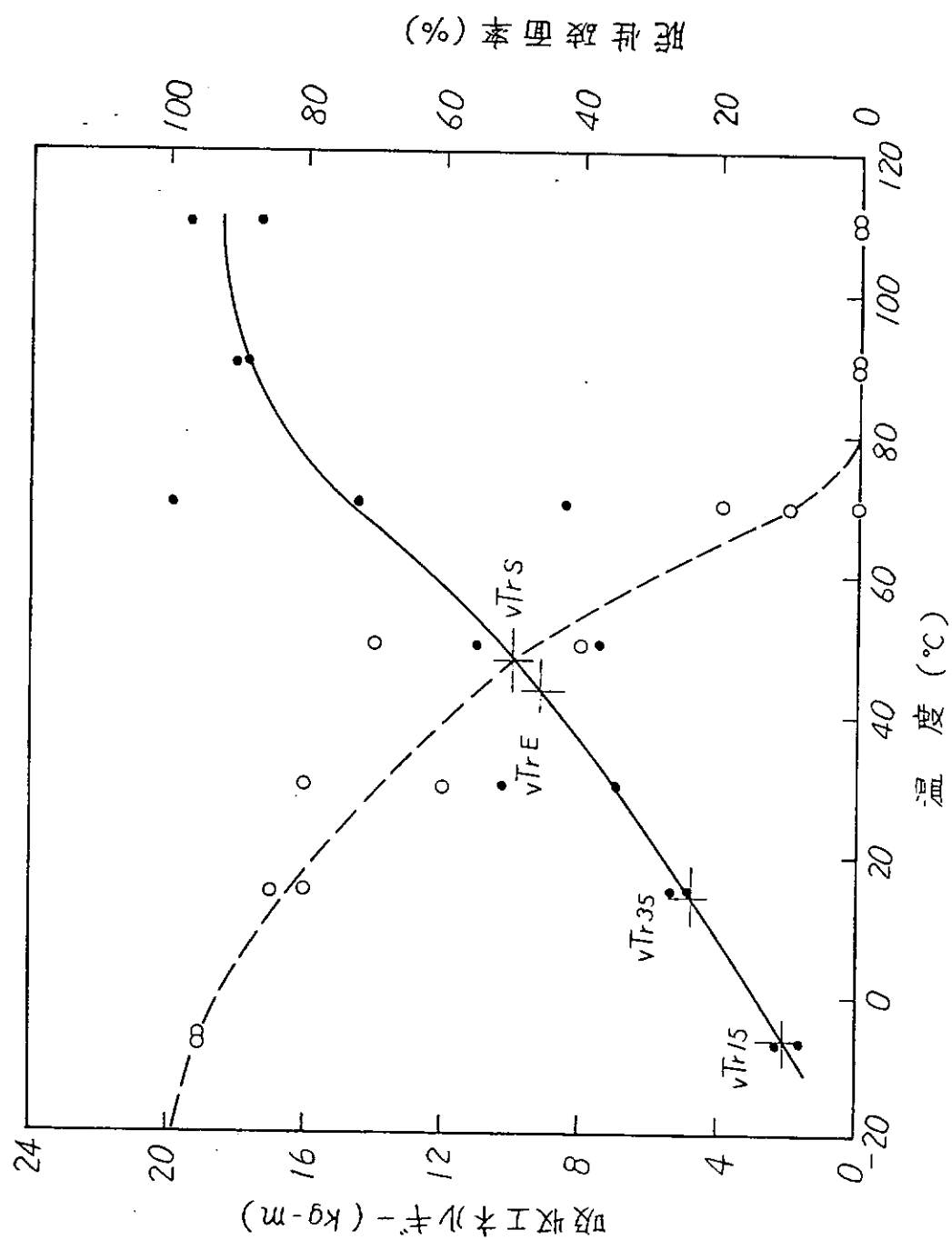


図 4.4.15 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼熱サイクル④)

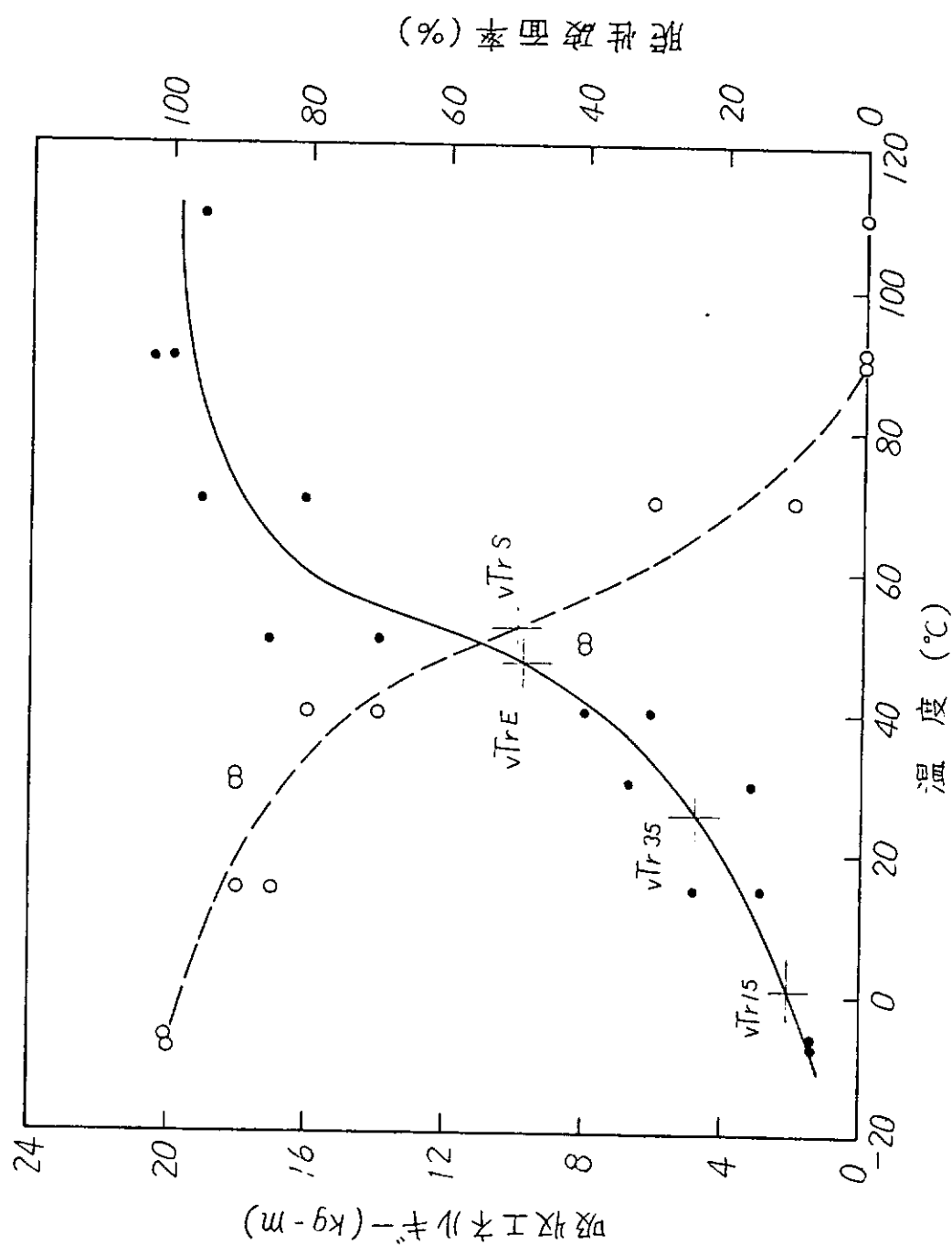


図 4.4.16 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼 熱サイクル⑧)

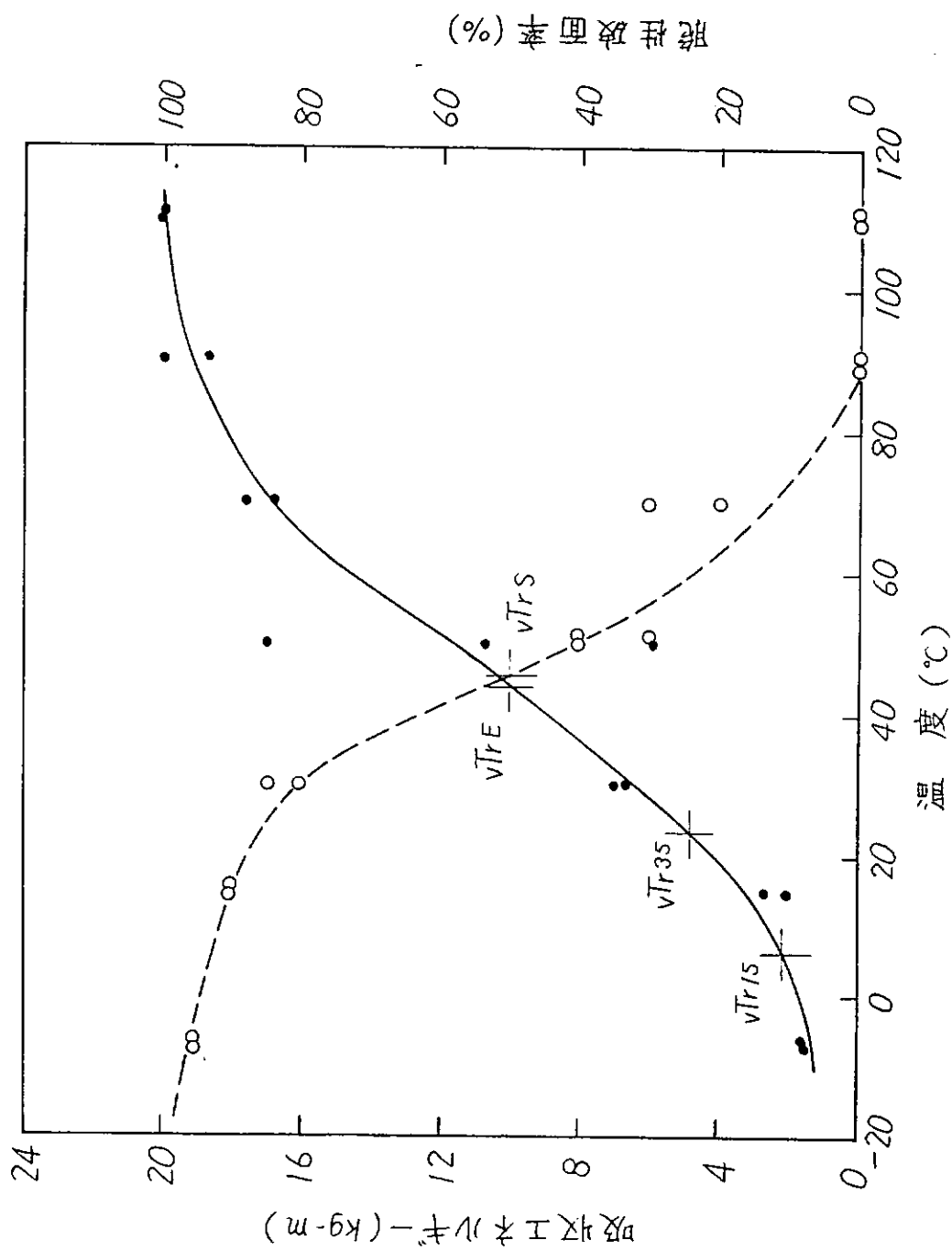


図 4.4.17 Vノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼 熱サイクル©)

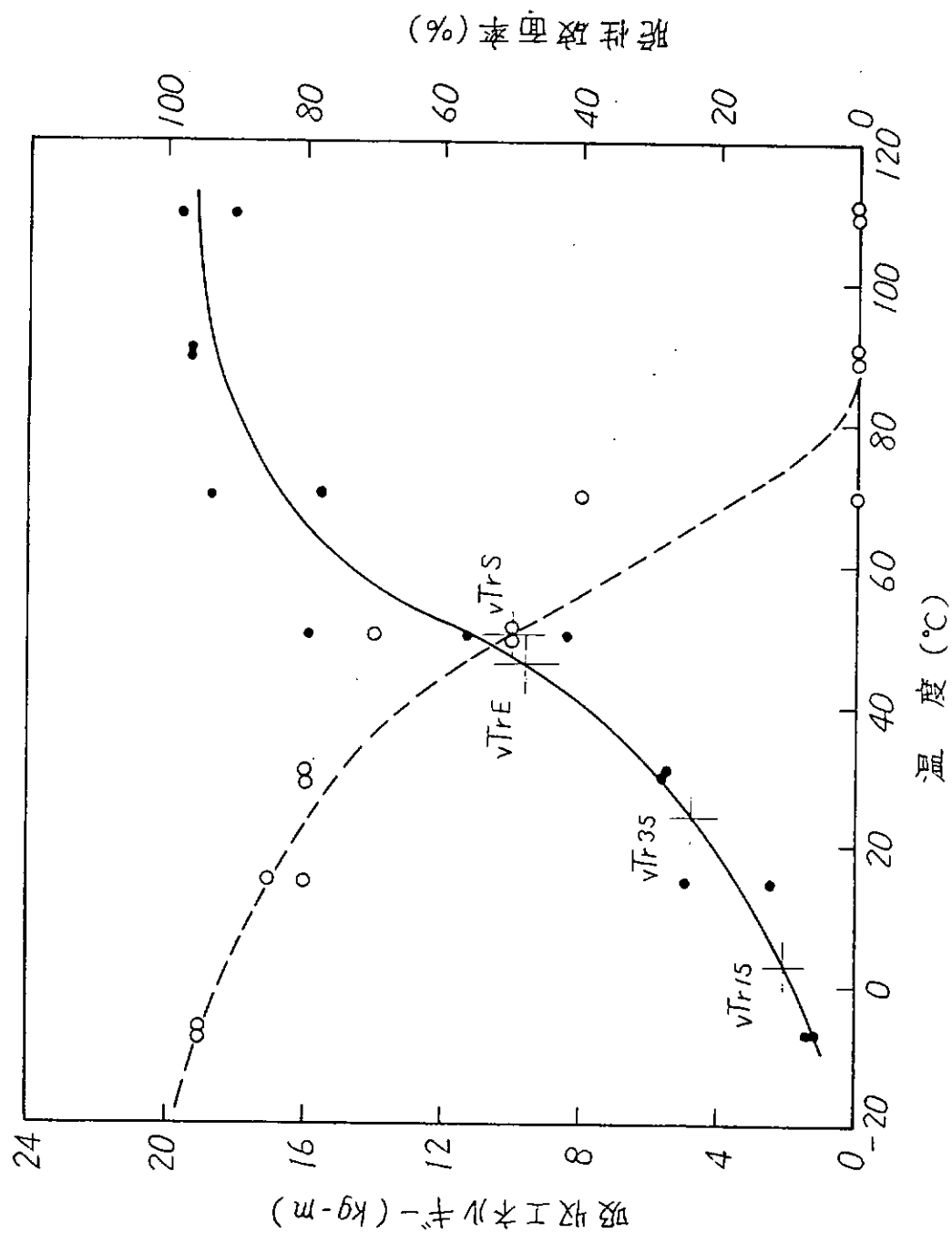


図 4.4.18 V-ノッチシャルピー試験結果 (K50 鋼 熱サイクル⑤)

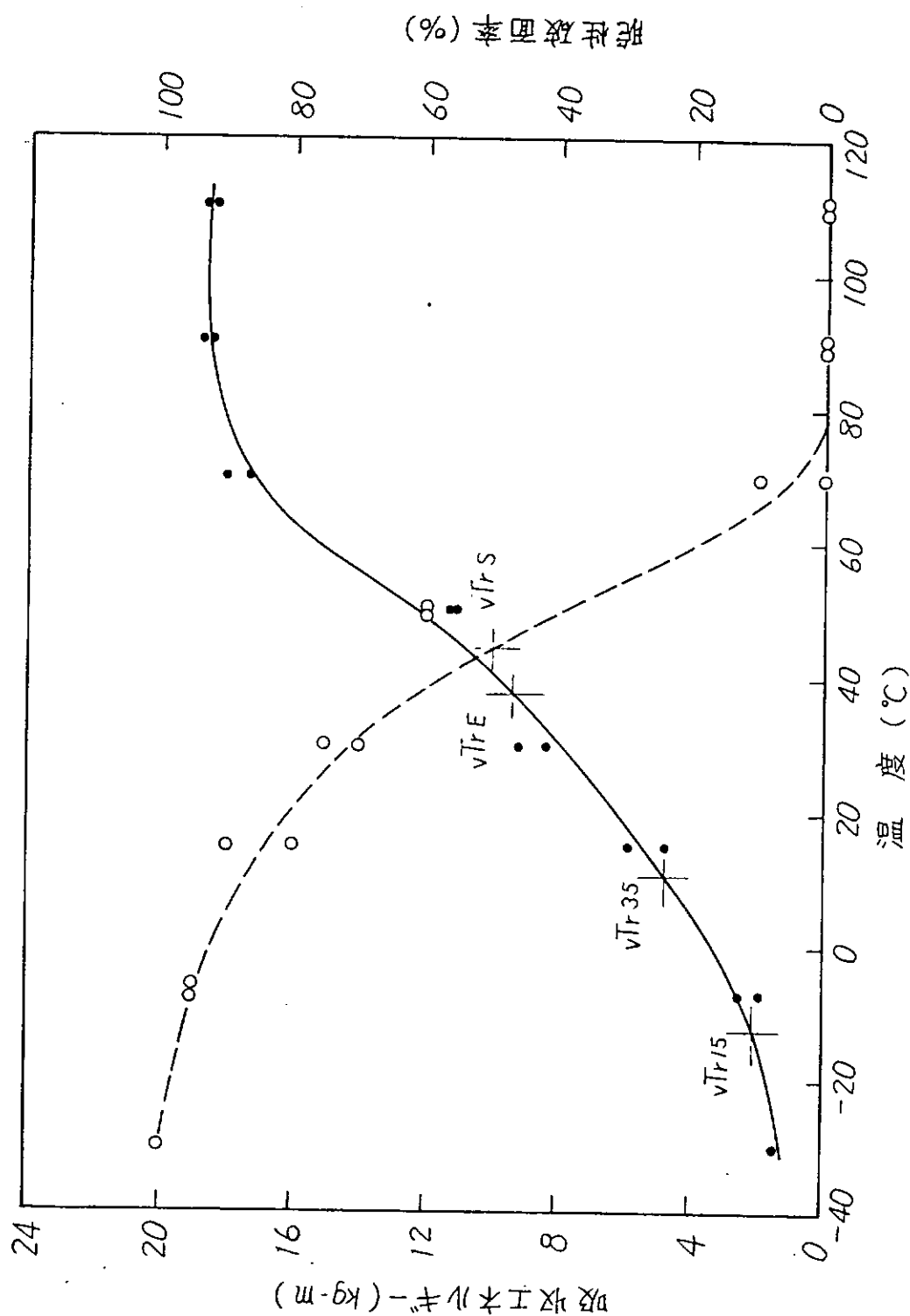


図 4.4.19 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼 熱サイクルE)

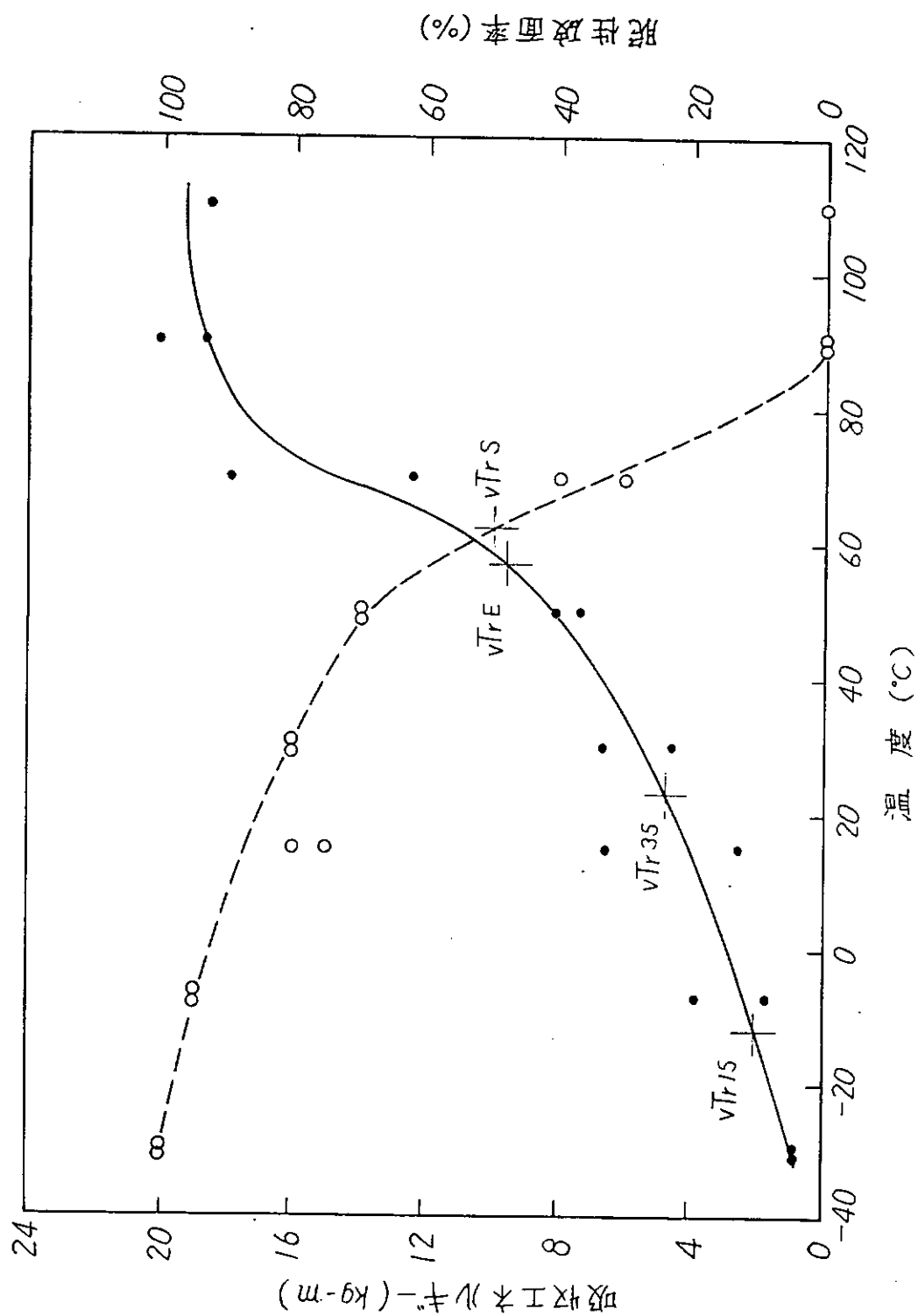


図 4.4.20 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼 熱サイクル⑤)

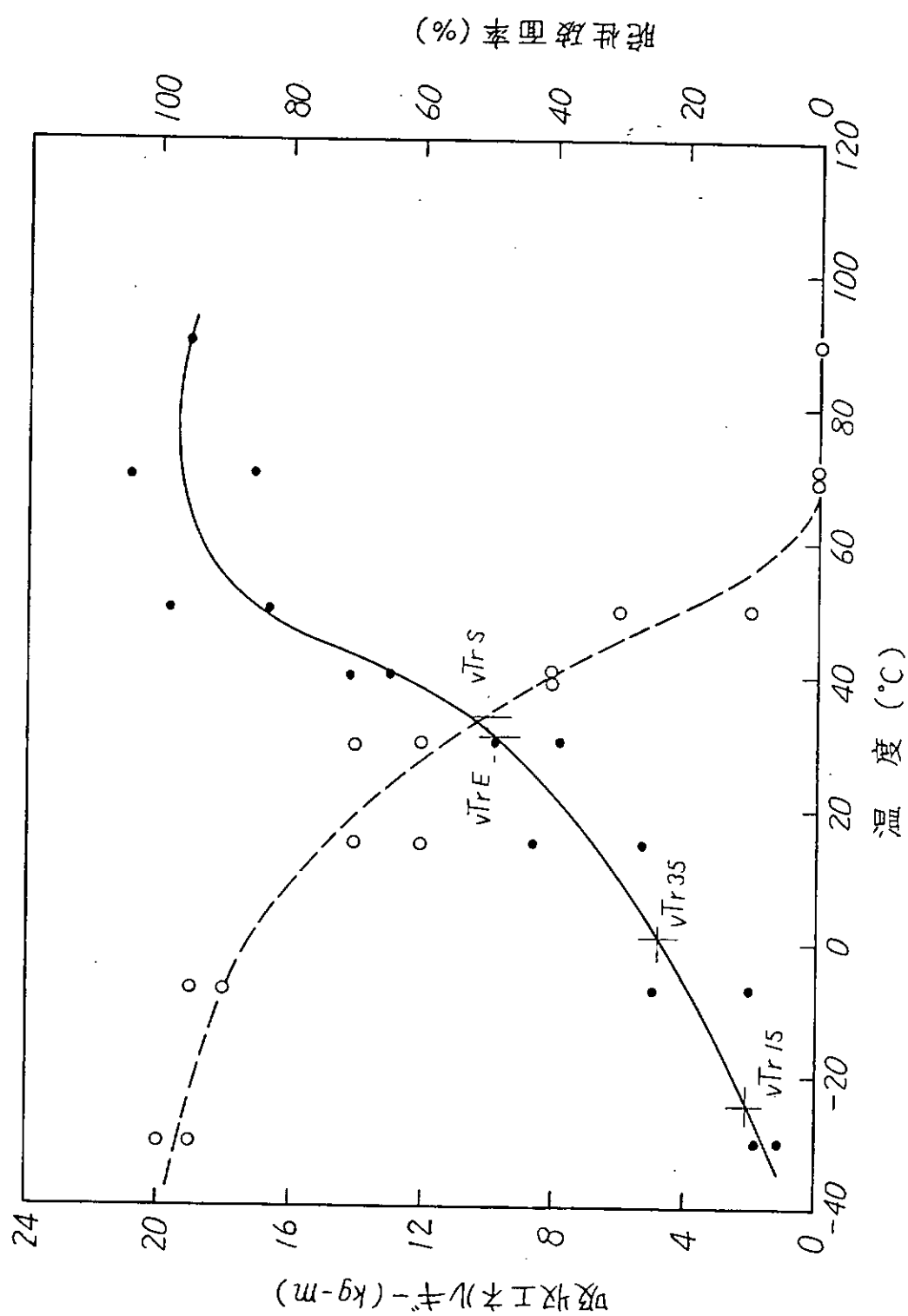


図 4.4.21 V-ノッチシャルビー試験結果 (K5D 鋼 熱サイクル®)

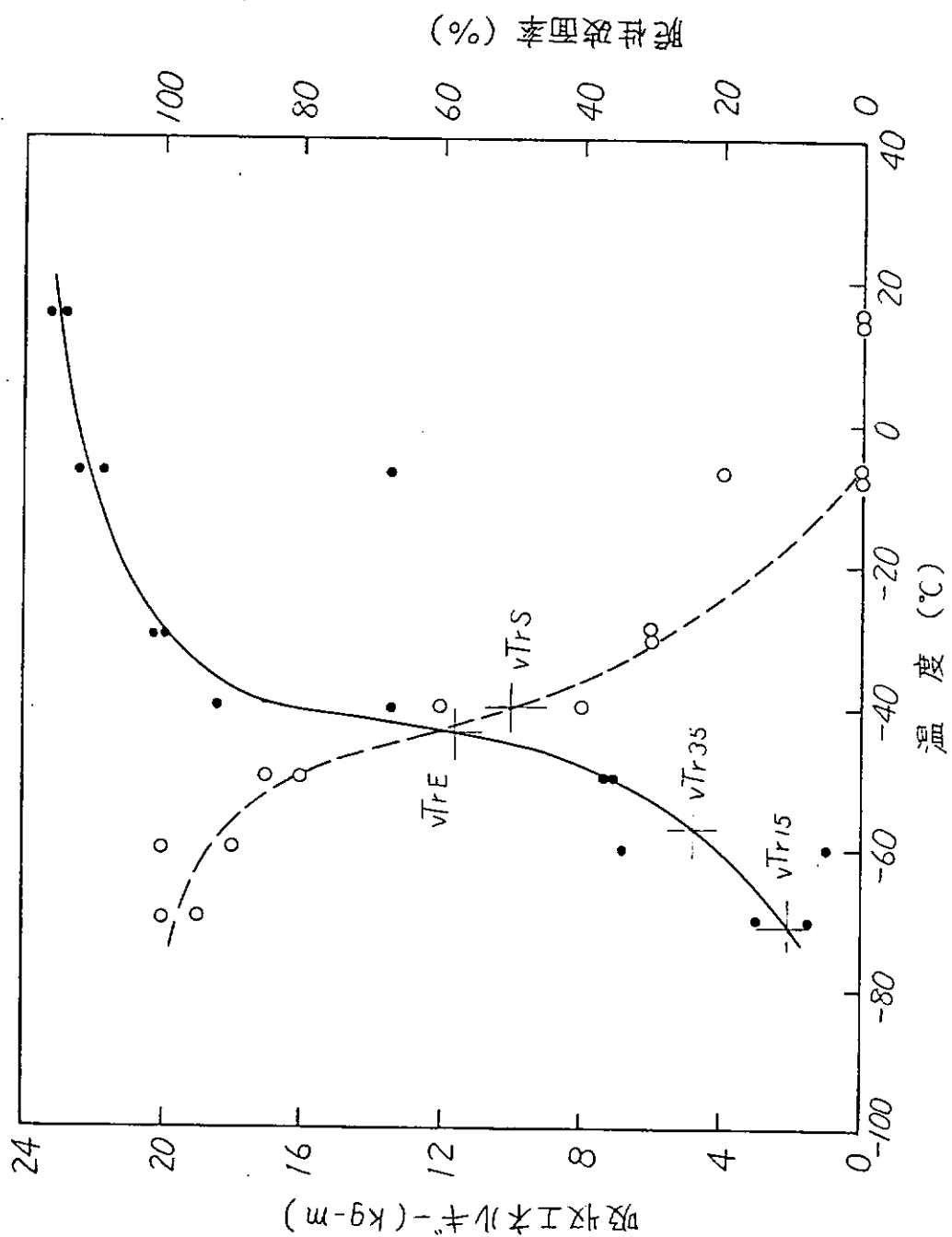


図 4.4.22 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼 熱サイクル^①)

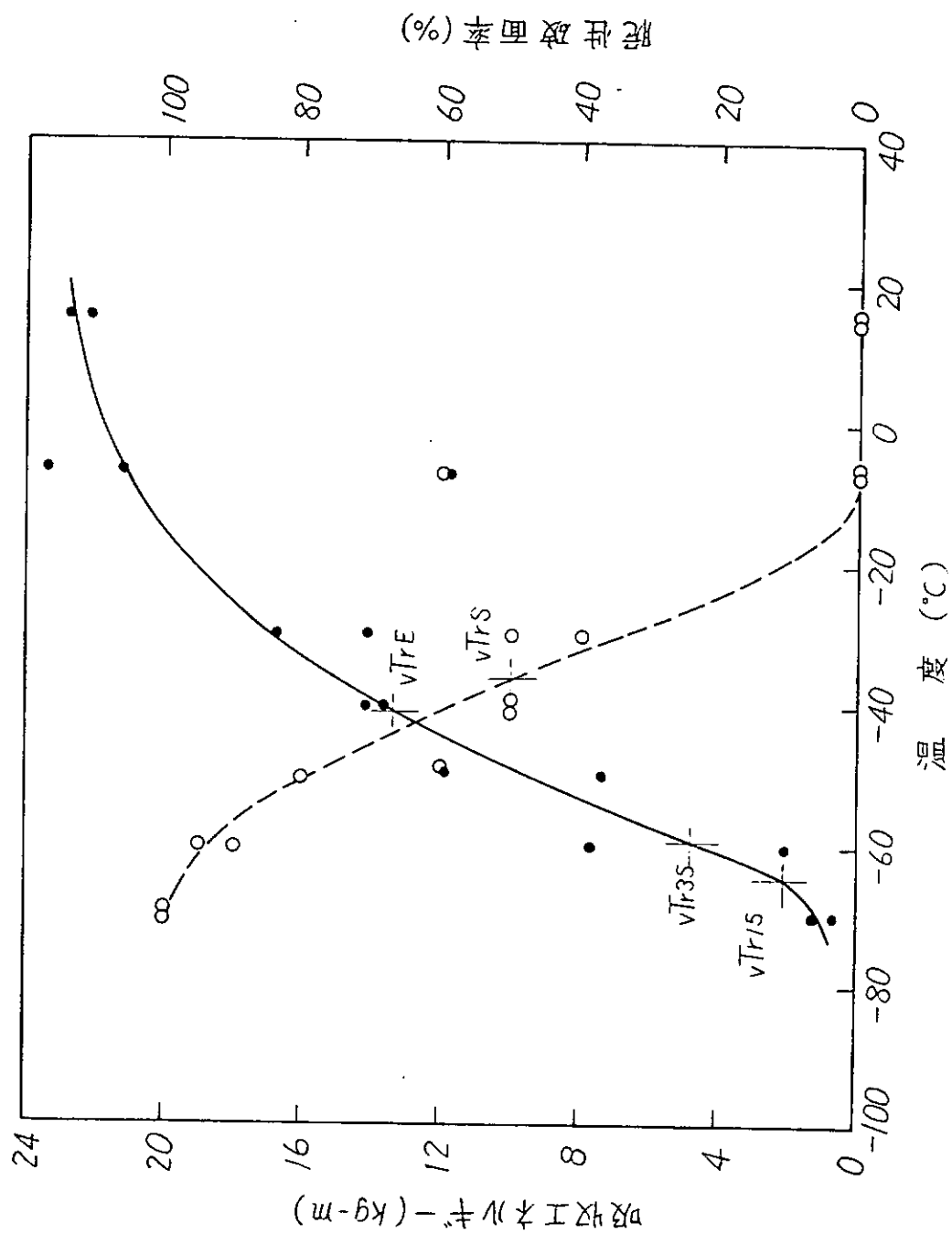


図 4.4.23 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼 熱サイクルⅠ)

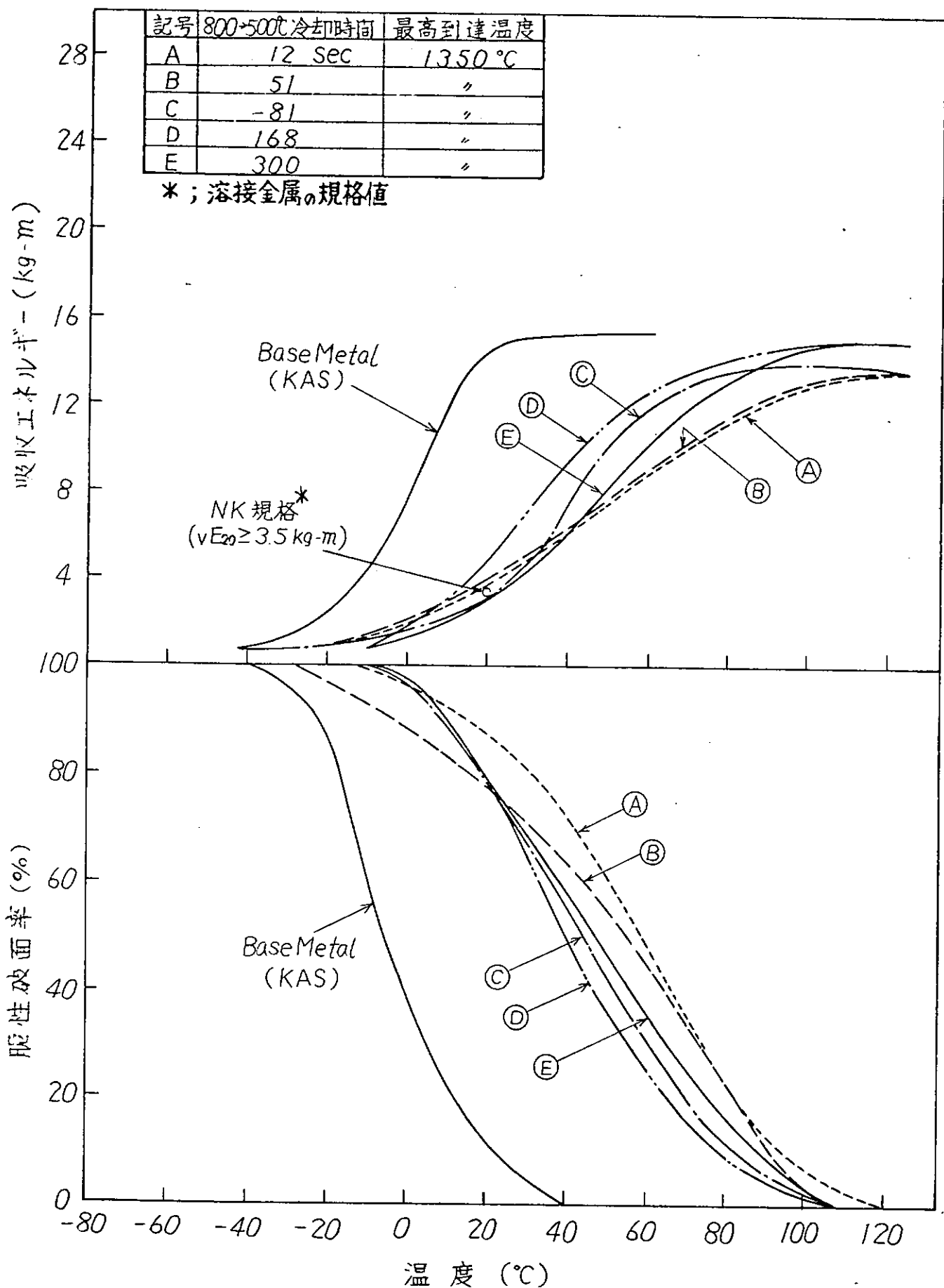


図4.4.24 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼, 冷却速度の影響)

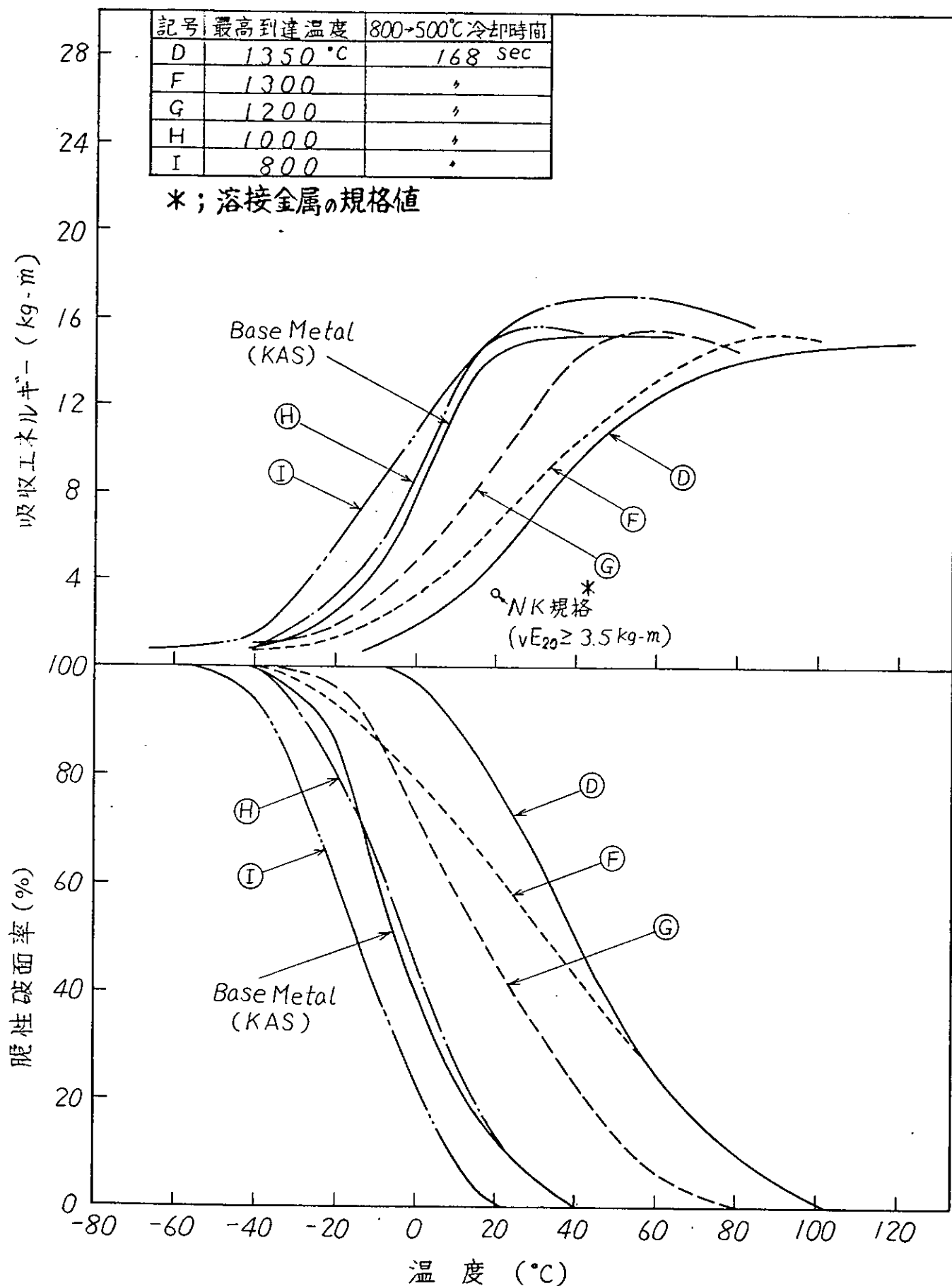


図4.4.25 V-ノッチシャルピー試験結果 (KAS 鋼、最高到達温度の影響)

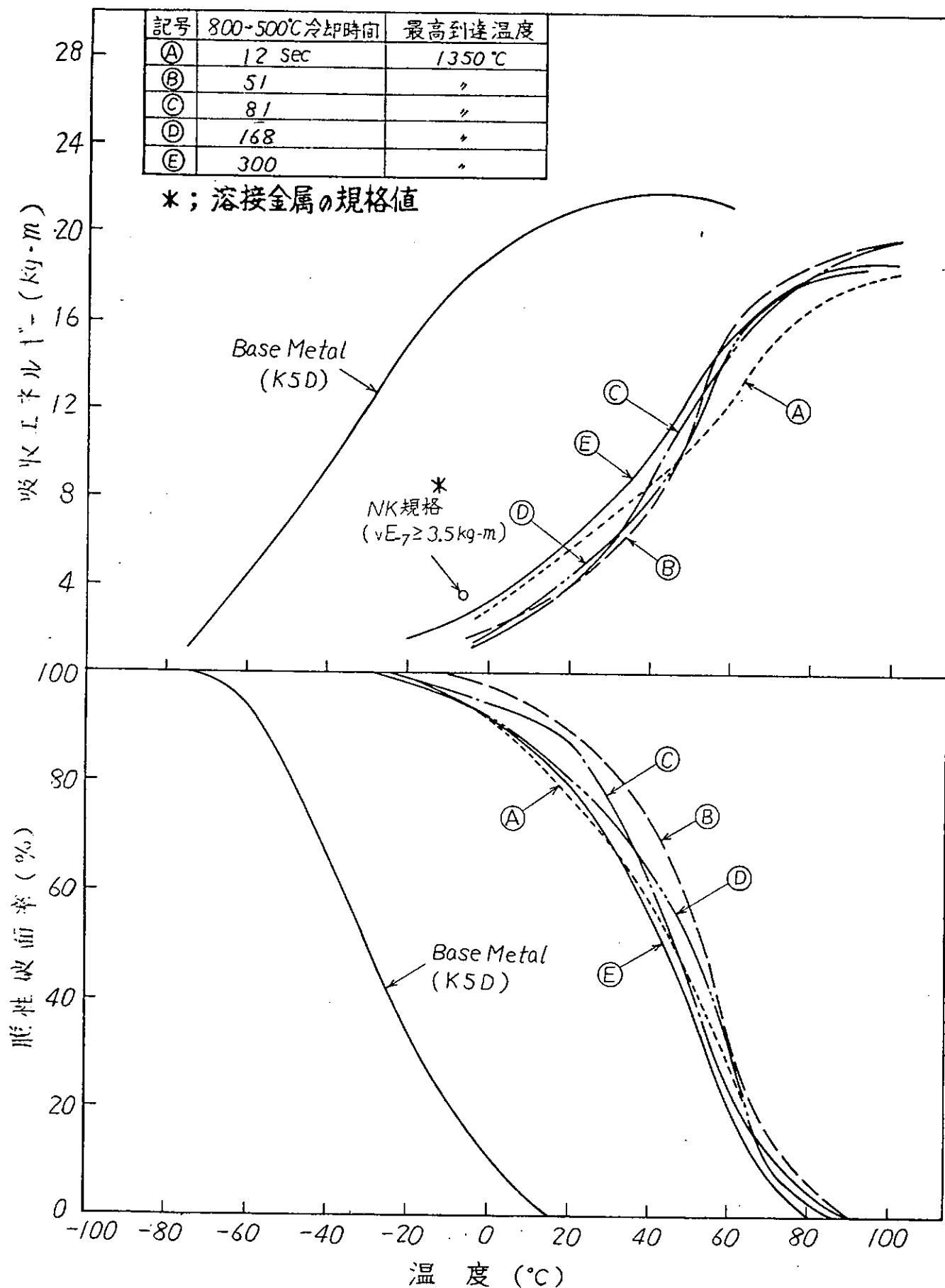


図 4.4.26 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D鋼, 冷却速度の影響)

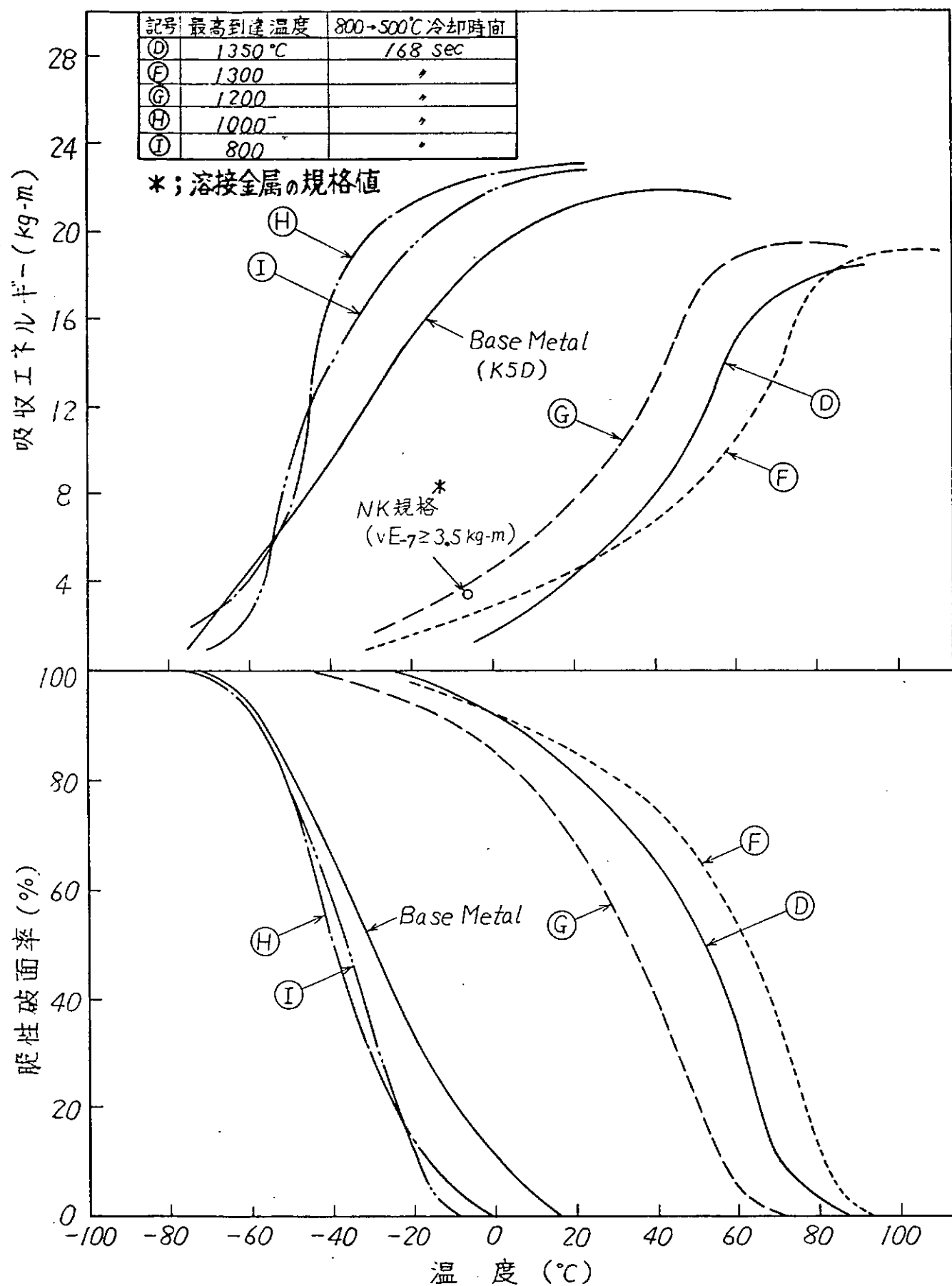


図 4.4.27 V-ノッチシャルピー試験結果 (K5D 鋼, 最高到達温度の影響)

表 4.4.4 各種遷移温度およびシエルフエネルギー値

鋼種	記号	最高到達 温度(°C)	800→500°C 冷却時間 (Sec)	等価溶接 入熱(KJ/cm)	遷 移 温 度 (°C)				シエルフ エネルギー (kg-m)
					vTr ₁₅	vTr ₃₅	vTr _E	vTr _S	
KAS	A	1350	12	22.5	4	28	42	60	13.6
	B	"	51	65.7	2	25	41	55	13.6
	C	"	81	86.4	9	30	38	45	14.0
	D	"	168	148	5	20	31	37	15.1
	E	"	300	266	11	33	46	47	15.4
	F	1300	168	148	-10	9	25	33	15.4
	G	1200	"	"	-17	-1	15	16	15.8
	H	1000	"	"	-26	-13	-1	-3	17.3
	I	800	"	"	-34	-24	-11	-14	15.8
	母材	—	—	—	-21	-11	-1	-4	15.6
K5D	A	1350	12	22.5	-6	14	43	48	18.5
	B	"	51	65.7	1	26	47	52	19.8
	C	"	81	86.4	6	23	44	46	20.0
	D	"	168	148	3	24	46	50	19.2
	E	"	300	266	-12	11	38	44	18.7
	F	1300	168	148	-12	23	57	62	19.3
	G	1200	"	"	-24	1	31	34	19.5
	H	1000	"	"	-71	-57	-44	-40	24.0
	I	800	"	"	-65	-59	-41	-36	22.8
	母材	—	—	—	-70	-58	-33	-30	22.0

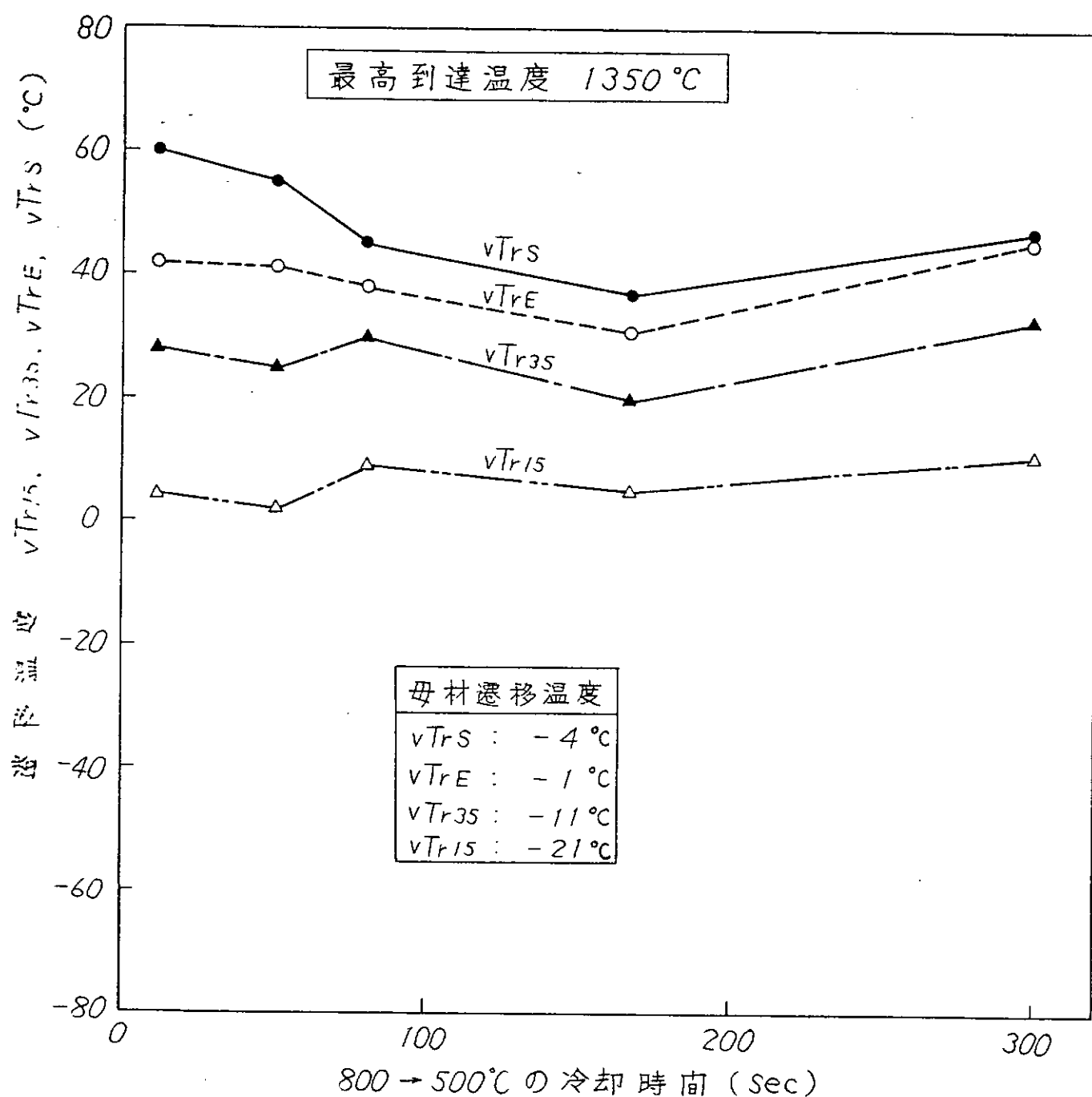


図 4.4.28 冷却速度と各種遷移温度の関係 (KAS 鋼)

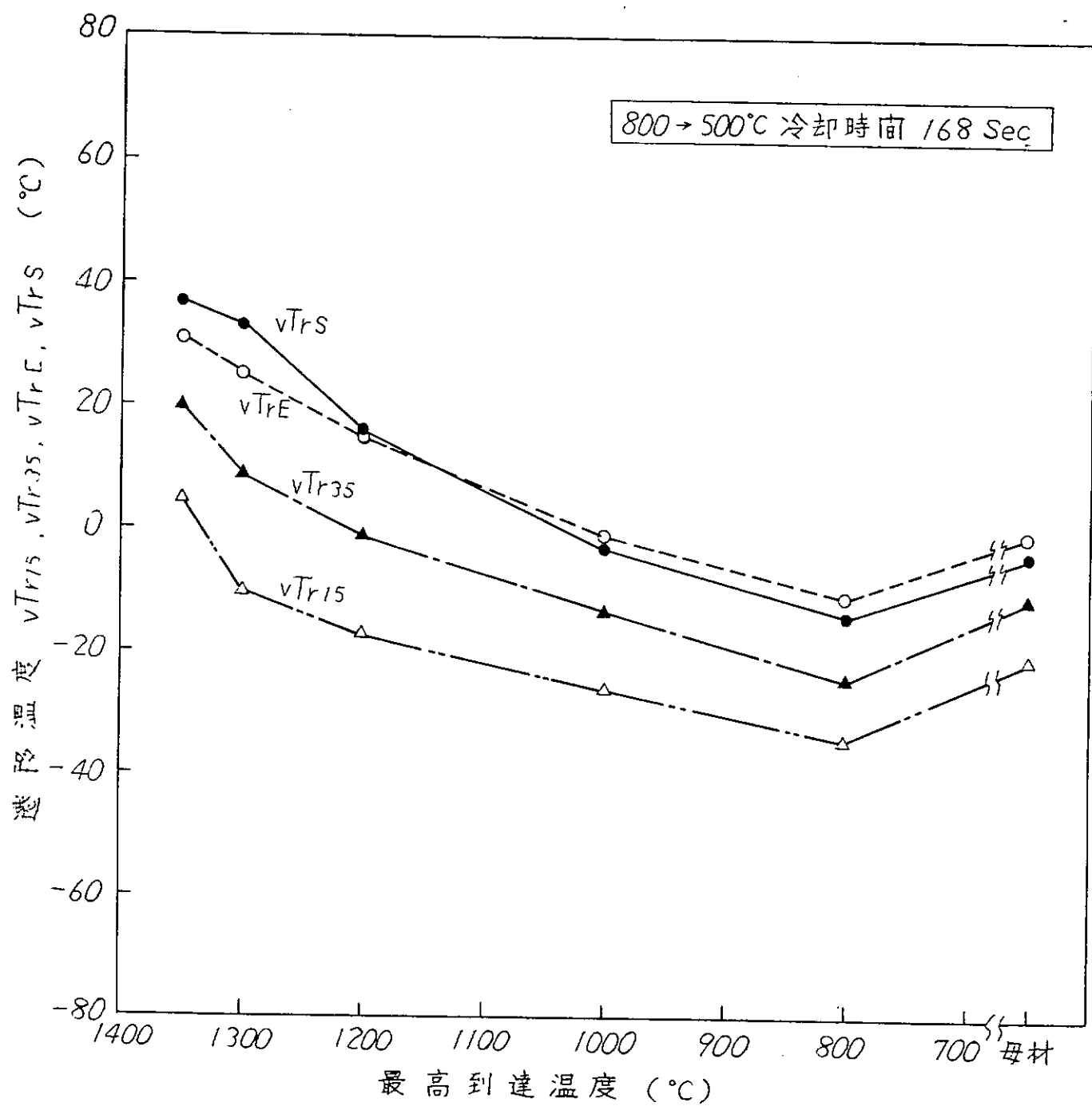


図 4.4.29 最高到達温度と各種遷移温度の関係 (KAS 鋼)

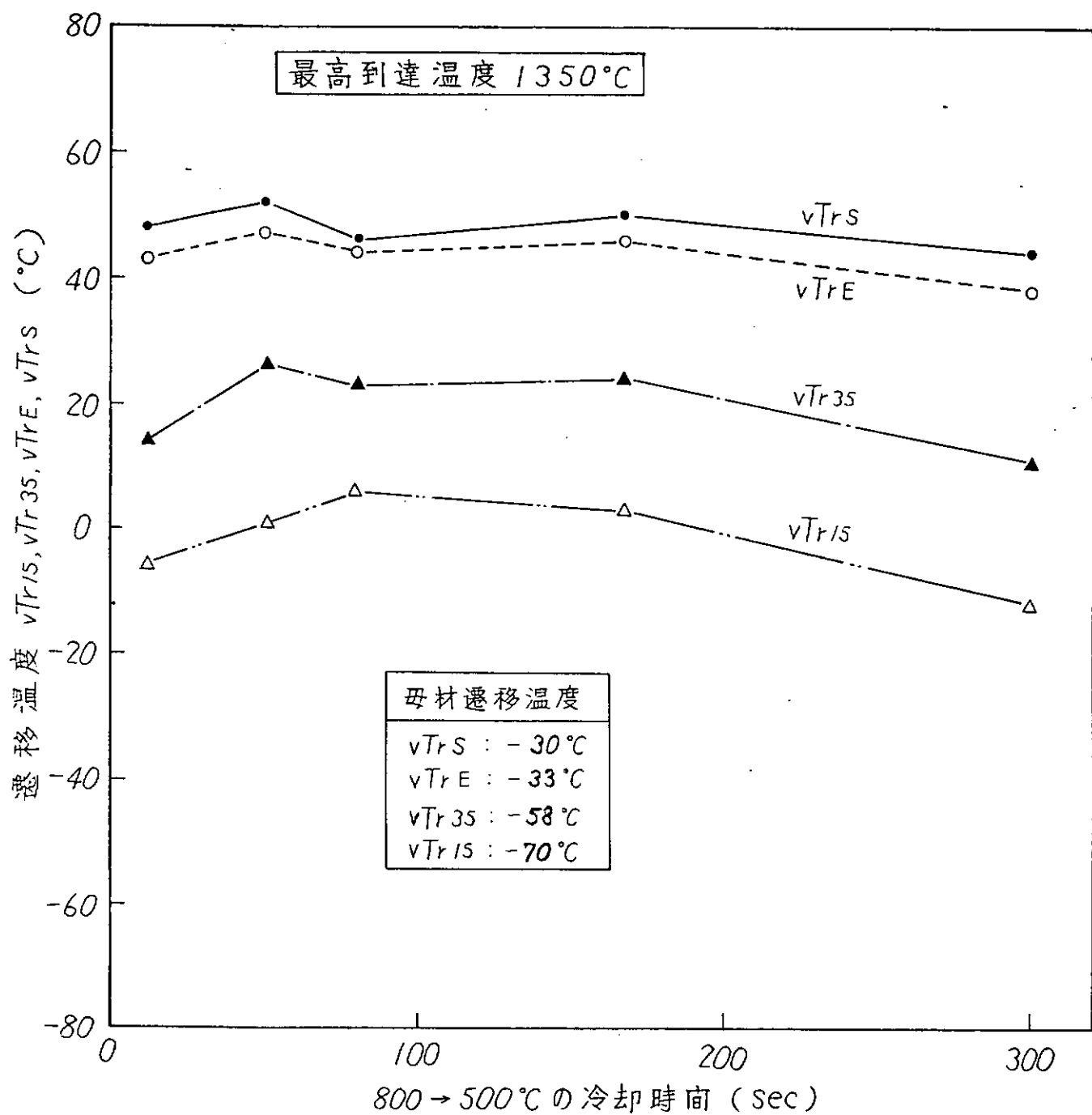


図 4.4.30 冷却速度と各種遷移温度の関係 (K5D鋼)

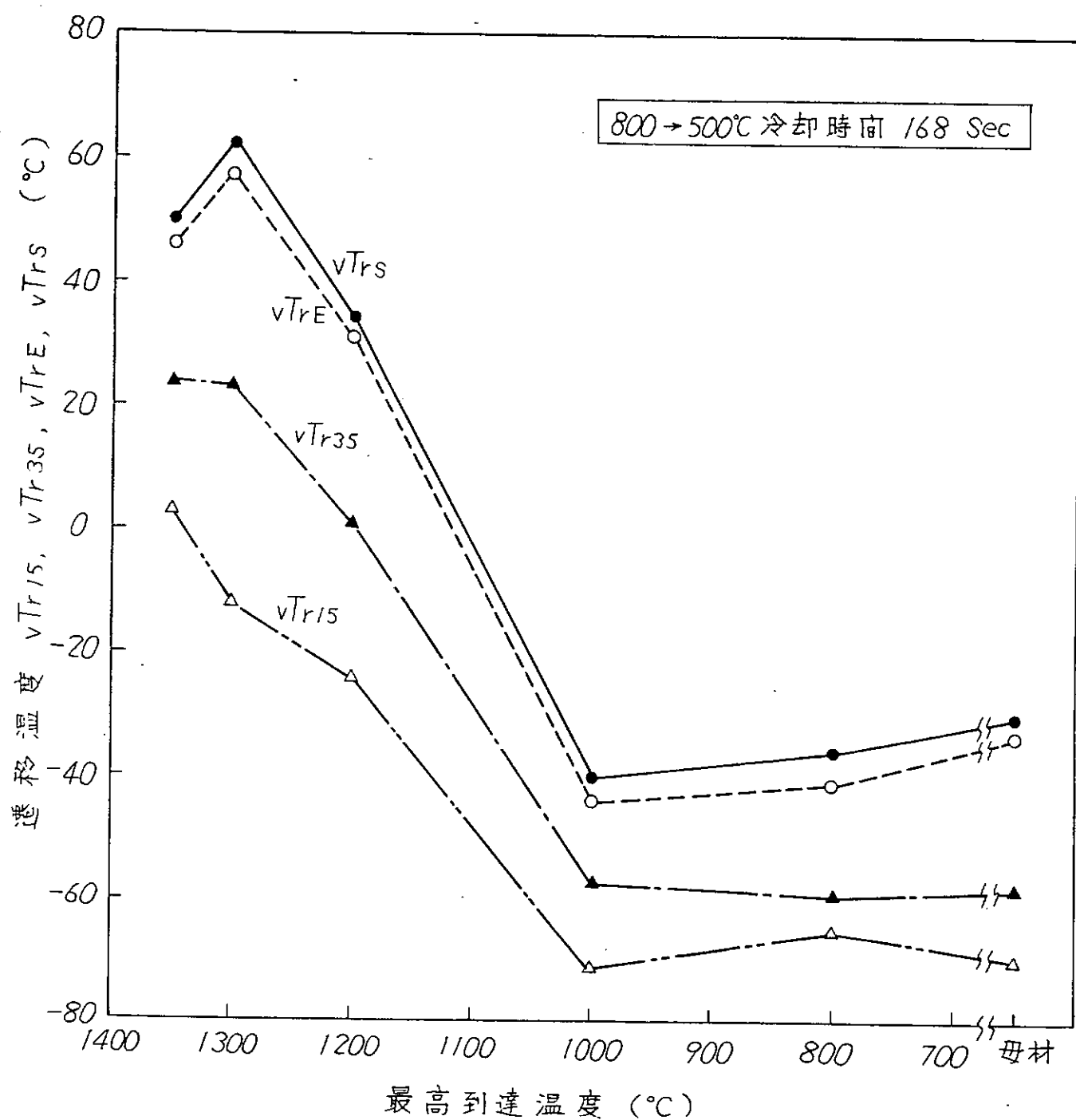
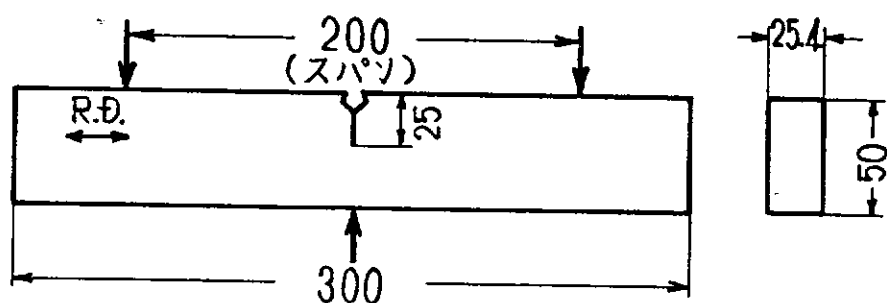
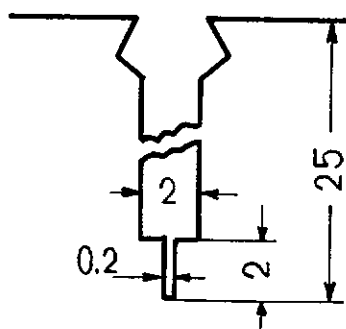


図 4.4.31 最高到達温度と各種遷移温度の関係 (K5D 鋼)



寸法単位: mm

ノッチ詳細



溶接部形状とボルト部試験片ノッチ位置

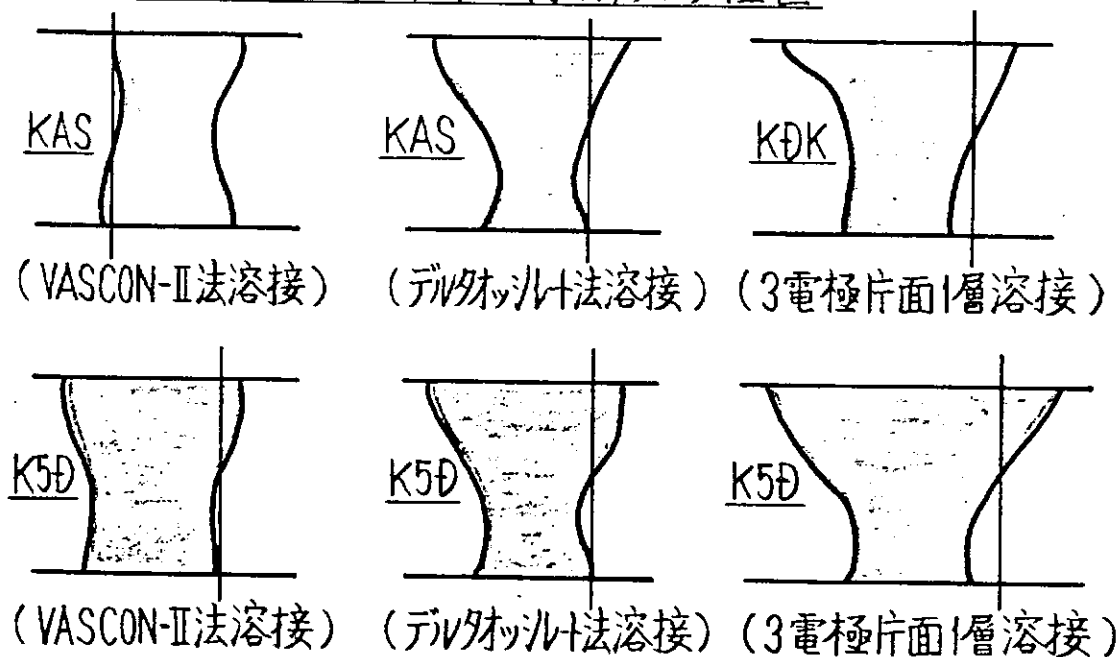


図4.5.1 試験片の形状と寸法

表4.5.1 (1) 小形COD曲げ試験結果 (KAS・母材)

試験片	試験温度	試験温度	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V_c (mm)	δ_c (mm)
	T (°C)	における σ_Y (kg/mm ²)	P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
KAS (25.4mm) 母材	-49	30.5	4.80	90.7	2.97	4.67	1.17
	-60	32.0	4.52	85.4	2.67	1.77	0.443
	-75	35.5	4.30	81.3	2.29	1.04	0.260
	-110	45.5	5.20	98.3	2.16	0.440	0.110
	-118	48.5	3.73	70.5	1.45	0.228	0.033
	-142	57.0	2.20	41.6	0.73	0.127	0.010
	-160	65.0	2.40	45.4	0.70	0.129	0.010

表4.5.1 (2) 小形COD曲げ試験結果 (KAS-VASCON-II法溶接継手)

試験片	試験温度 T (°C)	試験温度 における σ_Y (kg/mm ²)	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 Vc (mm)	δ_c (mm)
			P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
KAS (25.4mm) VASCON-II法溶接 (溶接金属)	10	33.0	5.75	108.7	3.29	4.43	1.11
	0	33.5	5.75	108.7	3.24	4.18	1.05
	-18	35.0	5.15	97.3	2.78	1.85	0.463
	-30	36.5	5.30	100.2	2.75	1.88	0.470
	-60	41.0	5.35	101.1	2.47	1.61	0.403
	-93	47.0	5.50	103.9	2.21	0.606	0.152
	-105	50.0	4.46	84.3	1.69	0.286	0.062
	-165	70.5	2.15	40.6	0.58	0.121	0.008
KAS (25.4mm) VASCON-II法溶接 (ボンド)	16	24.5	5.60	105.8	4.32	9.16	2.29
	0	25.0	5.45	103.0	4.12	3.86	0.965
	-29	28.0	4.90	92.6	3.31	1.62	0.405
	-32	28.0	5.55	104.9	3.75	>3.00	>0.725
	-60	32.0	4.70	88.8	2.78	0.708	0.177
	-94	40.5	5.32	100.5	2.48	0.620	0.155
	-119	48.5	5.52	104.3	2.15	0.429	0.107

表4.5.1(3) 小形COD曲げ試験結果(KAS・フィルタール法溶接継手)

試験片	試験温度 T (°C)	試験温度 における σ_Y (kg/mm ²)	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V _c (mm)	δ_c (mm)
			P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
KAS (25.4mm) フィルタール法溶接 (溶接金属)	22	37.0	5.610	106.0	2.865	—	—
	0	38.2	5.910	111.7	2.924	5.750	1.438
	-30	40.2	5.795	109.5	2.724	3.350	0.838
	-60	43.0	5.220	98.6	2.294	1.220	0.305
	-90	47.1	5.145	97.2	2.064	0.590	0.148
	-120	53.7	4.425	83.6	1.557	0.360	0.060
	-150	61.8	2.765	52.3	0.845	0.160	0.013
	-170	71.2	2.550	48.2	0.677	0.142	0.010
	-196	87.3	2.460	46.5	0.533	0.142	0.009
KAS (25.4mm) フィルタール法溶接 (ボルト)	22	24.0	5.250	99.2	4.134	4.720	1.180
	0	25.5	5.180	97.9	3.839	2.490	0.622
	-30	28.2	4.960	93.7	3.324	1.930	0.482
	-60	34.5	5.310	100.3	2.909	1.480	0.370
	-90	39.0	5.240	99.0	2.539	1.080	0.270
	-120	47.7	3.795	71.7	1.503	0.290	0.046
	-150	60.2	2.840	53.7	0.892	0.190	0.015
	-170	77.5	2.490	47.1	0.607	0.137	0.009
	-196	88.9	2.175	41.1	0.462	0.155	0.007

表4.5.1(4) 小形COD曲げ試験結果 (KDK・3電極片面層溶接継手)

試験片	試験温度	試験温度	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V_c (mm)	δ_c (mm)
	T (°C)	における σ_Y (kg/mm ²)	P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
KDK (25.4mm) 母材	20	26.2	4.91	92.8	3.542	—	—
	- 10	28.0	5.12	96.7	3.455	7.45	1.862
	- 40	30.5	4.54	85.8	2.813	2.89	0.723
	- 70	33.8	4.89	92.4	2.734	3.12	0.780
	-100	38.4	4.96	93.7	2.441	1.32	0.330
	-120	42.5	3.90	73.7	1.734	0.440	0.078
	-140	47.5	2.90	54.8	1.154	0.212	0.019
	-160	54.5	2.67	50.4	0.926	0.187	0.014
	-180	64.2	2.30	43.5	0.677	0.135	0.009
	-196	78.1	2.00	37.8	0.404	0.111	0.007
KDK (25.4mm) 3電極片面層溶接 (溶接金属)	20	37.3	6.17	116.6	3.126	7.58	1.895
	- 10	39.8	5.39	112.1	2.816	3.78	0.945
	- 40	42.9	5.07	95.8	2.233	1.19	0.297
	- 70	46.6	4.82	91.1	1.955	0.532	0.102
	-100	51.2	4.63	87.5	1.709	0.321	0.066
	-120	55.0	3.61	68.2	1.240	0.220	0.026
	-140	59.6	3.31	62.5	1.049	0.172	0.020
	-160	65.5	2.87	54.2	0.828	0.103	0.014
	-180	74.0	2.30	43.5	0.587	0.071	0.008
	-196	84.5	2.07	39.1	0.463	0.124	0.007
KDK (25.4mm) 3電極片面層溶接 (ボンド)	20	26.2	6.11	115.5	4.407	7.44	1.860
	- 10	28.0	6.13	115.8	4.137	5.24	1.310
	- 40	30.5	5.56	105.1	3.445	2.42	0.605
	- 70	33.8	5.23	98.8	2.924	1.15	0.287
	-100	38.4	4.90	92.6	2.411	0.387	0.097
	-120	42.5	3.89	73.5	1.730	0.225	0.051
	-140	47.5	2.84	53.7	1.130	0.154	0.018
	-160	54.5	2.75	51.9	0.953	0.240	0.014
	-180	64.2	2.60	49.1	0.765	0.104	0.011
	-196	78.1	2.62	49.5	0.634	0.112	0.010

表4.5.1(5) 小形COD曲げ試験結果 (K5D・母材)

試験片	試験温度 T (°C)	試験温度 における σ_Y (kg/mm ²)	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V _c (mm)	δ_c (mm)
			P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
K5D (25.4mm) 母材	-30	37.8	6.78	128	3.39	>10.0	>2.50
	-50	39.8	7.25	137	3.44	>7.60	>1.90
	-68	41.9	7.18	135	3.22	6.25	1.56
	-92	45.6	6.23	118	2.59	2.06	0.515
	-108	49.0	6.53	123	2.51	1.95	0.488
	-128	54.6	6.71	127	2.32	0.865	0.216
	-146	61.0	6.73	127	2.08	0.937	0.234
	-152	63.2	5.25	99.1	1.57	0.280	0.063
	-164	69.0	4.92	93.0	1.35	0.240	0.040
	-196	88.3	3.14	59.4	0.673	0.160	0.013

表4.5.1 (6) 小形COD曲げ試験結果 (K5D・VASCON-II法溶接継手)

試験片	試験温度	試験温度	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V_c (mm)	δ_c (mm)
	T (°C)	における σ_Y (kg/mm ²)	P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
K5D (25.4mm) VASCON-II法溶接 (溶接金属)	20	33.6	6.14	116	3.45	>10.0	>2.50
	-10	35.3	6.53	123	3.48	2.58	0.645
	-29	36.8	6.39	121	3.29	3.14	0.785
	-70	41.1	5.96	113	2.75	1.39	0.348
	-84	43.2	5.37	101	2.34	0.68	0.170
	-102	46.5	5.86	111	2.39	0.87	0.218
	-126	52.3	5.86	111	2.12	0.41	0.103
	-145	59.0	4.86	92.0	1.56	0.28	0.061
	-170	70.0	3.97	75.0	1.07	0.19	0.025
	-196	87.0	1.83	34.6	0.40	0.10	0.006
K5D (25.4mm) VASCON-II法溶接 (ボンド)	20	34.6	6.30	119	3.44	>10.0	>2.50
	-10	36.4	6.40	121	3.32	5.68	1.42
	-48	39.6	5.41	102	2.57	1.96	0.490
	-66	41.6	6.62	125	3.00	1.44	0.360
	-85	44.3	5.73	108	2.44	1.24	0.310
	-98	46.7	5.25	99.0	2.12	0.72	0.180
	-125	53.6	5.55	105	1.96	0.36	0.090
	-146	61.0	6.09	115	1.88	0.41	0.098
	-166	70.0	3.94	74.5	1.06	0.19	0.022
	-196	88.3	2.83	53.5	0.61	0.15	0.010

表 4.5.1 (7) 小形 COD 曲げ試験結果 (K5D・デルタオシルト法溶接継手)

試験片	試験温度 T (°C)	試験温度 における σ_Y (kg/mm ²)	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V _c (mm)	δ_c (mm)
			P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
K5D (25.4mm) デルタオシルト法溶接 (溶接金属)	-19	44	5.575	107.5	2.432	1.803	0.451
	-35	45.5	5.30	101.8	2.237	1.290	0.323
	-61	48.5	4.65	89.3	1.841	0.408	0.102
	-79	51	4.43	85.1	1.669	0.310	0.054
	-100	54.5	4.45	85.4	1.567	0.200	0.048
	-110	56.5	2.72	52.2	0.924	0.188	0.014
	-136	62	2.60	49.9	0.805	—	0.012
	-140	63.5	2.10	40.3	0.635	—	0.008
K5D (25.4mm) デルタオシルト法溶接 (ボンド)	21	35	6.05	116.1	3.318	>5.0	>1.25
	-1	36	4.80	92.1	2.560	1.251	0.313
	-19	36.5	4.50	86.4	2.367	0.857	0.214
	-39	37.5	4.99	95.8	2.554	1.040	0.260
	-60	39.5	4.42	84.8	2.148	0.315	0.079
	-77	42	5.025	96.4	2.297	0.575	0.144
	-101	47	4.00	76.8	1.634	0.175	0.045
	-147	61	1.65	31.6	0.519	0.123	0.006

表4.5.1(8) 小形COD曲げ試験結果 (K5D・3電極片面1層溶接継手)

試験片	試験温度 T (°C)	試験温度 における σ_Y (kg/mm ²)	破壊荷重		$\frac{\sigma_N}{\sigma_Y}$	クリップゲージ 変位 V_c (mm)	δ_c (mm)
			P (ton)	σ_N (kg/mm ²)			
K5D (25.4mm) 3電極片面層溶接 (溶接金属)	0	53.7	6.17	118.5	2.206	3.44	0.818
	- 20	54.6	6.05	116.2	2.129	2.39	0.568
	- 40	55.6	5.99	115.0	2.069	2.13	0.506
	- 60	56.8	5.40	103.7	1.824	0.77	0.130
	- 80	58.4	5.82	111.7	1.914	2.18	0.305
	-100	60.3	5.54	106.4	1.762	1.20	0.179
	-196	89.8	2.45	47.0	0.524	0.15	0.008
	-120	62.9	4.56	87.6	1.391	0.30	0.040
	-140	66.4	3.61	69.3	1.043	0.25	0.021
	-110	61.5	4.88	93.7	1.522	0.36	0.067
	- 50	56.2	5.58	107.1	1.907	0.98	0.160
	- 70	57.6	5.62	107.9	1.874	0.76	0.132
K5D (25.4mm) 3電極片面層溶接 (ボンド)	0	36.7	4.87	93.5	2.545	0.90	0.214
	- 20	37.8	5.95	114.2	3.024	2.06	0.490
	- 40	39.0	5.41	103.9	2.662	0.96	0.228
	- 60	40.6	5.44	104.4	2.575	1.28	0.304
	- 80	42.5	4.98	95.6	2.249	1.21	0.287
	-100	45.0	3.36	64.5	1.433	0.66	0.031
	-196	90.0	2.39	45.9	0.510	0.15	0.008
	-120	48.4	3.70	71.0	1.467	0.23	0.035
	-140	53.2	3.17	60.9	1.144	0.25	0.021
	-110	46.6	4.01	77.0	1.653	0.29	0.058
	- 95	44.3	5.34	102.5	2.313	0.47	0.111
	- 90	43.7	5.52	106.0	2.426	0.56	0.133

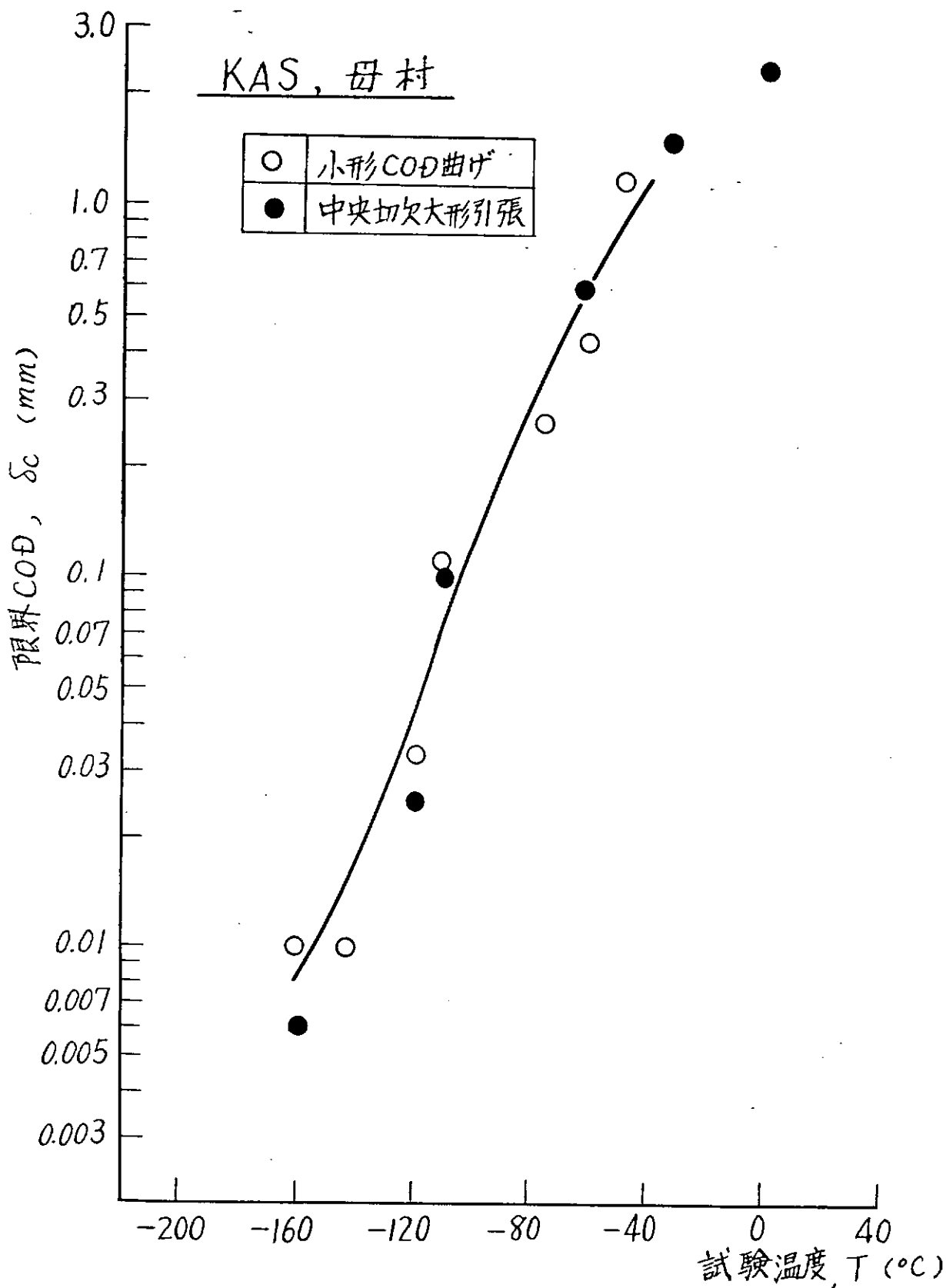


図4.5.2(i) 限界CODと温度の関係

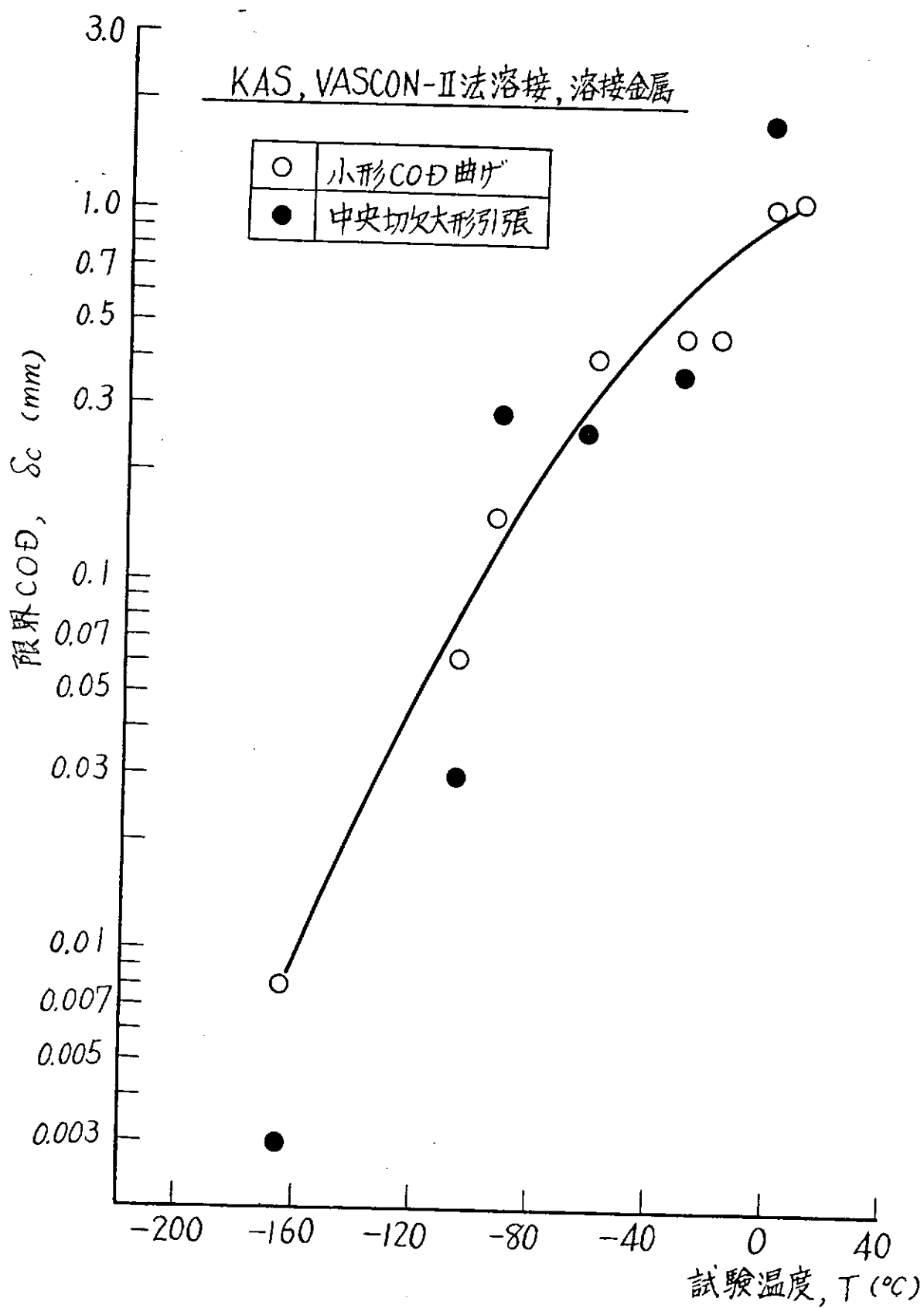


図4.5.2(2) 限界CODと温度の関係

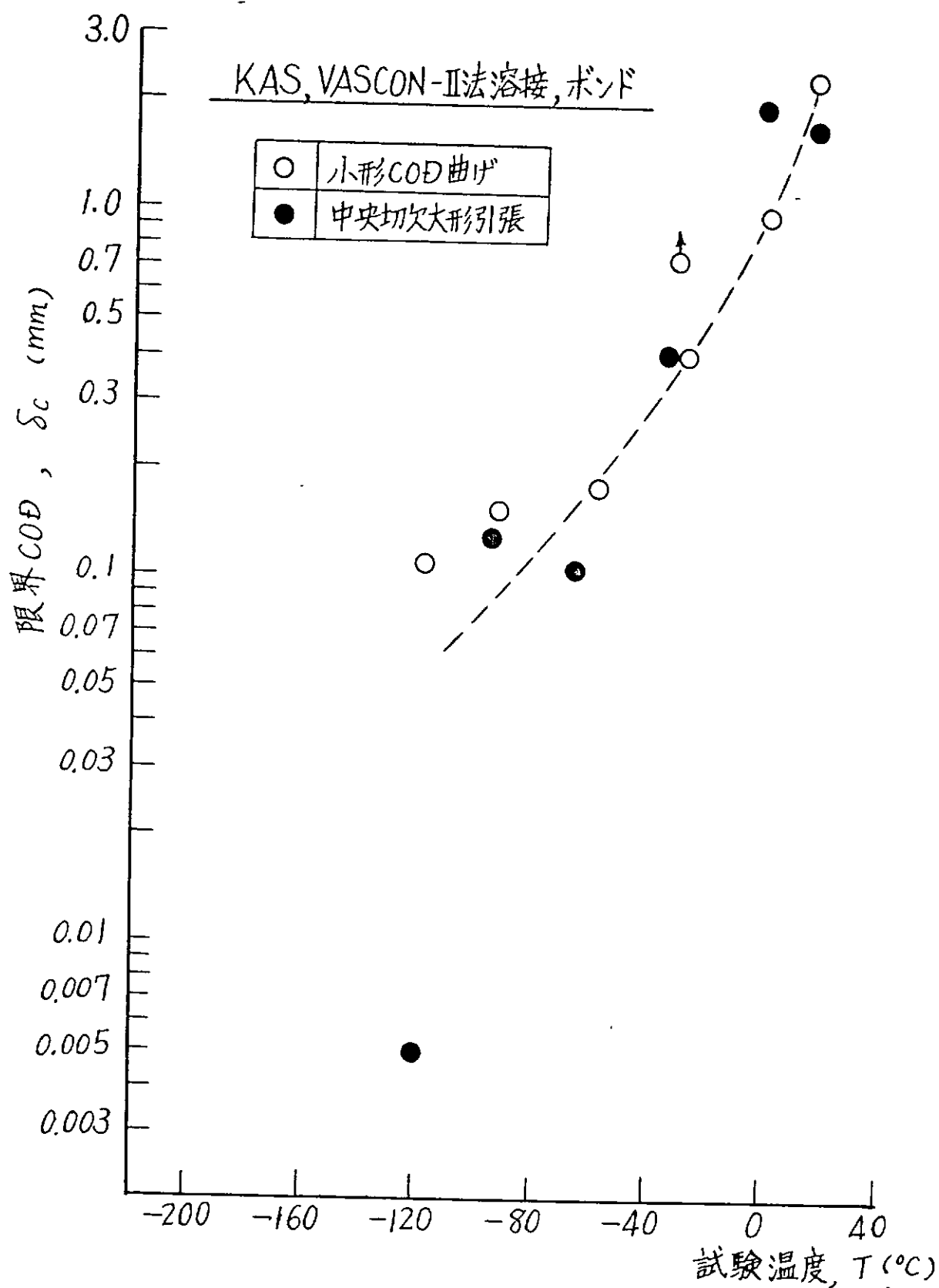


図4.5.2(3) 限界CODと温度の関係

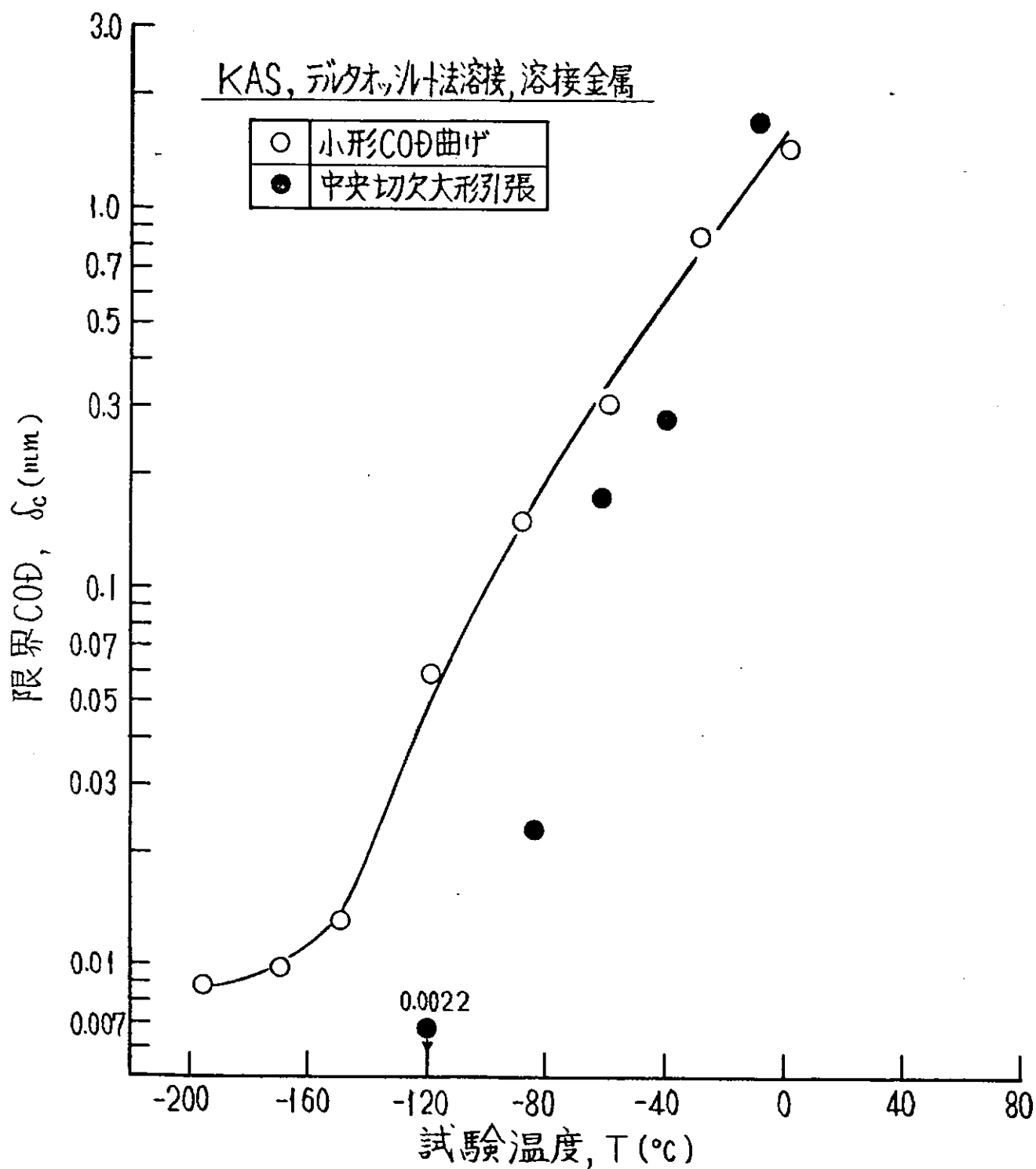


図4.5.2(4) 限界CODと温度の関係

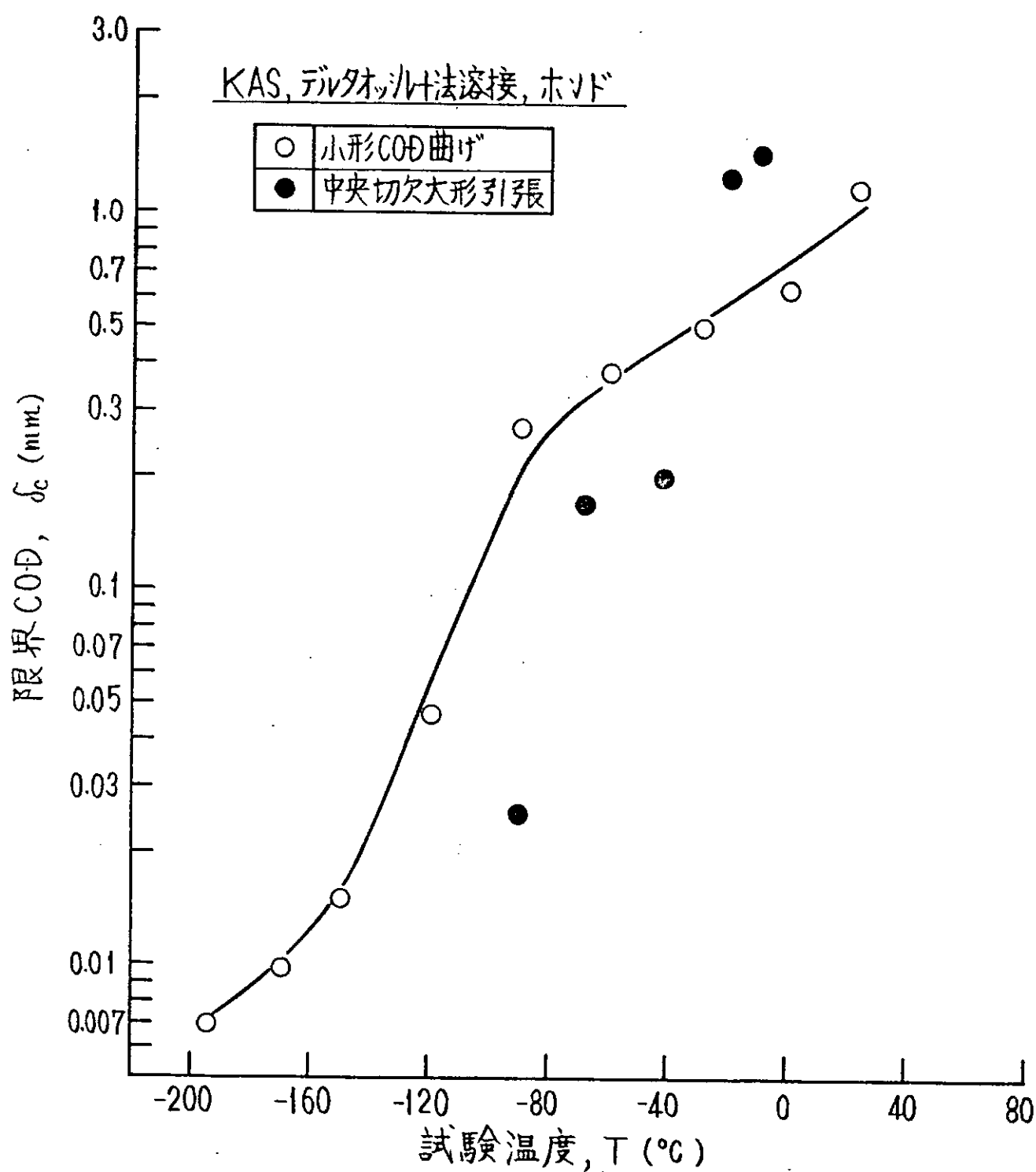


図4.5.2(5) 限界CODと温度の関係

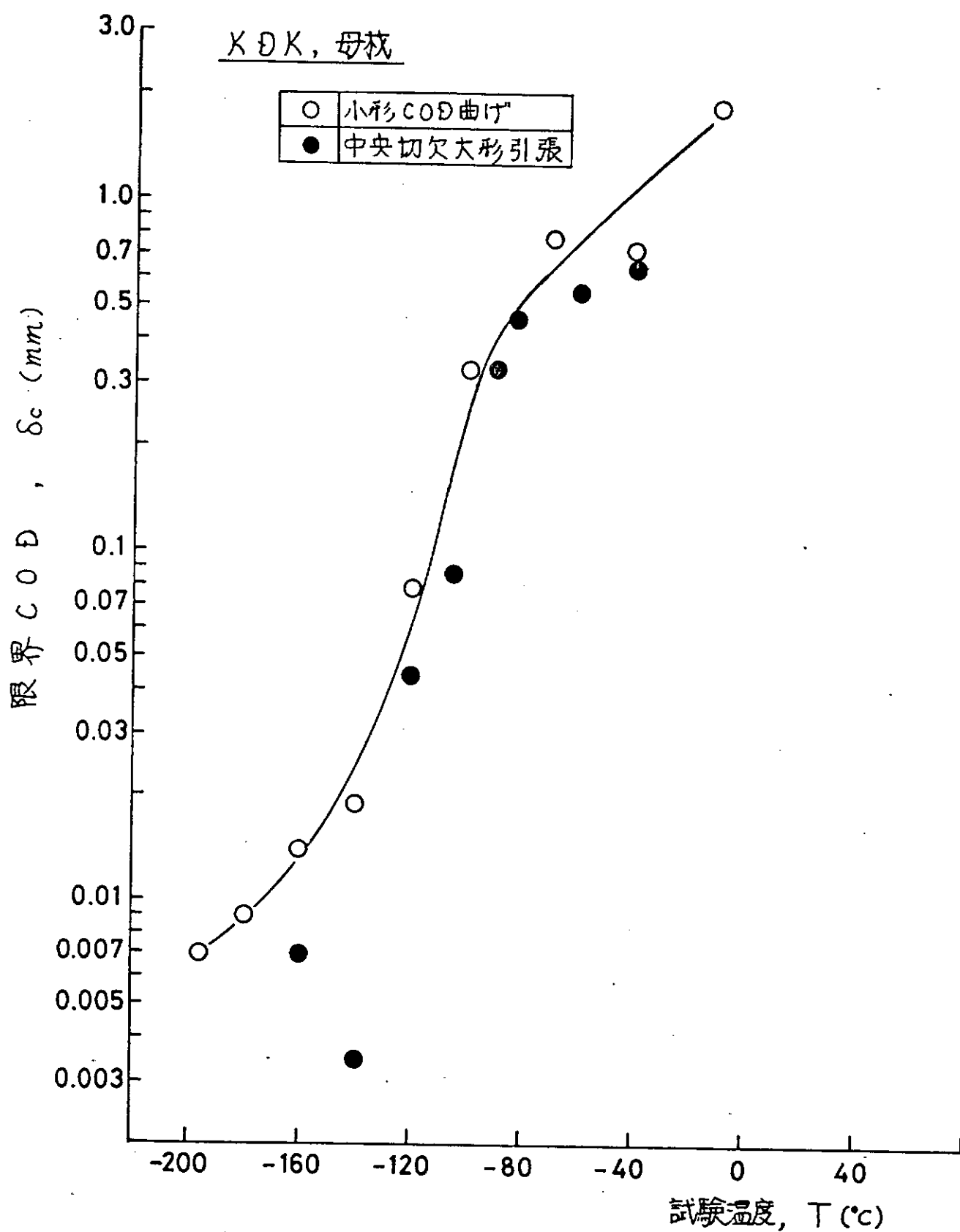


図 4.5.2(6) 限界CODと温度の関係

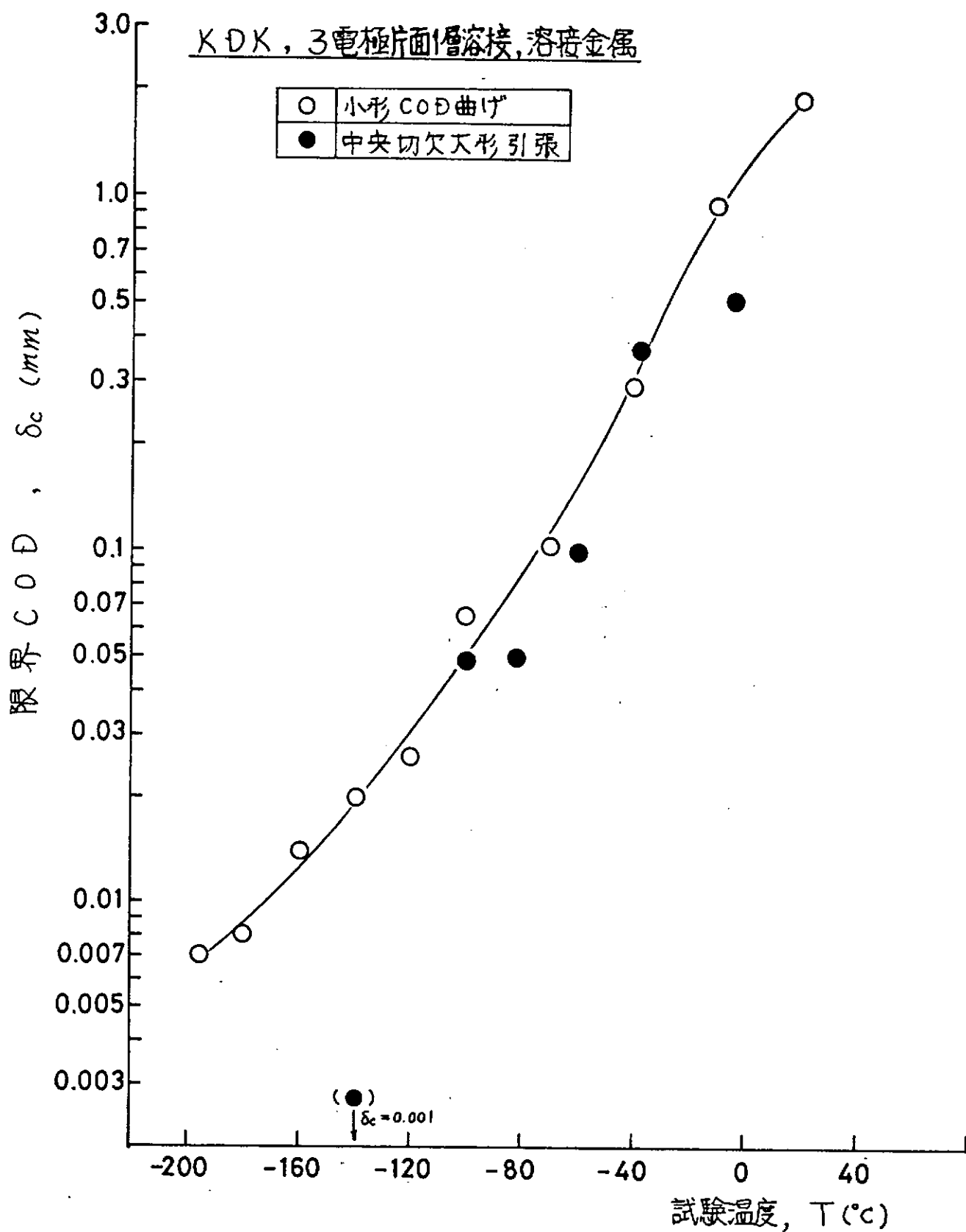


図4.5.2(7) 限界CODと温度の関係

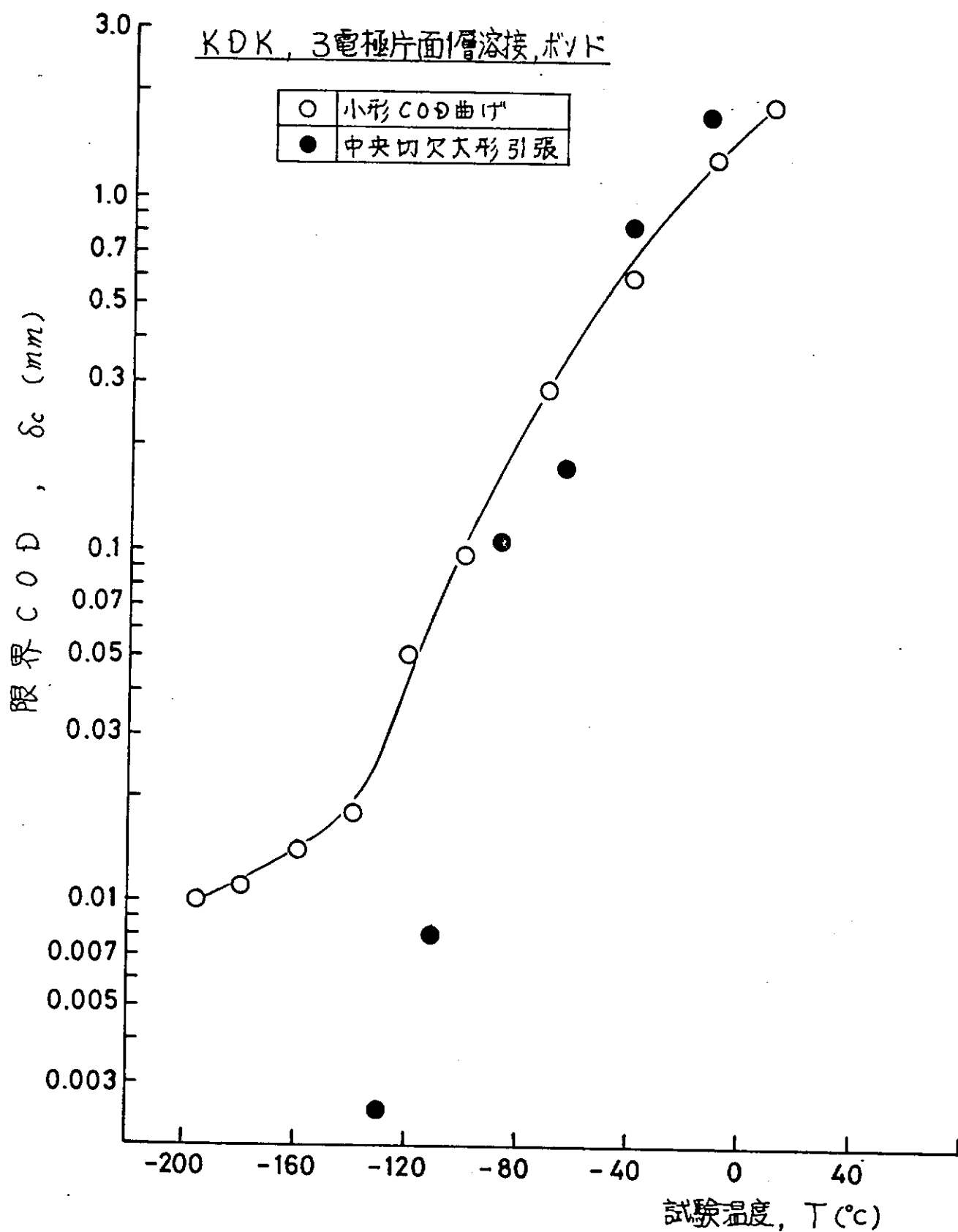


図4.5.2(8) 限界CODと温度の関係

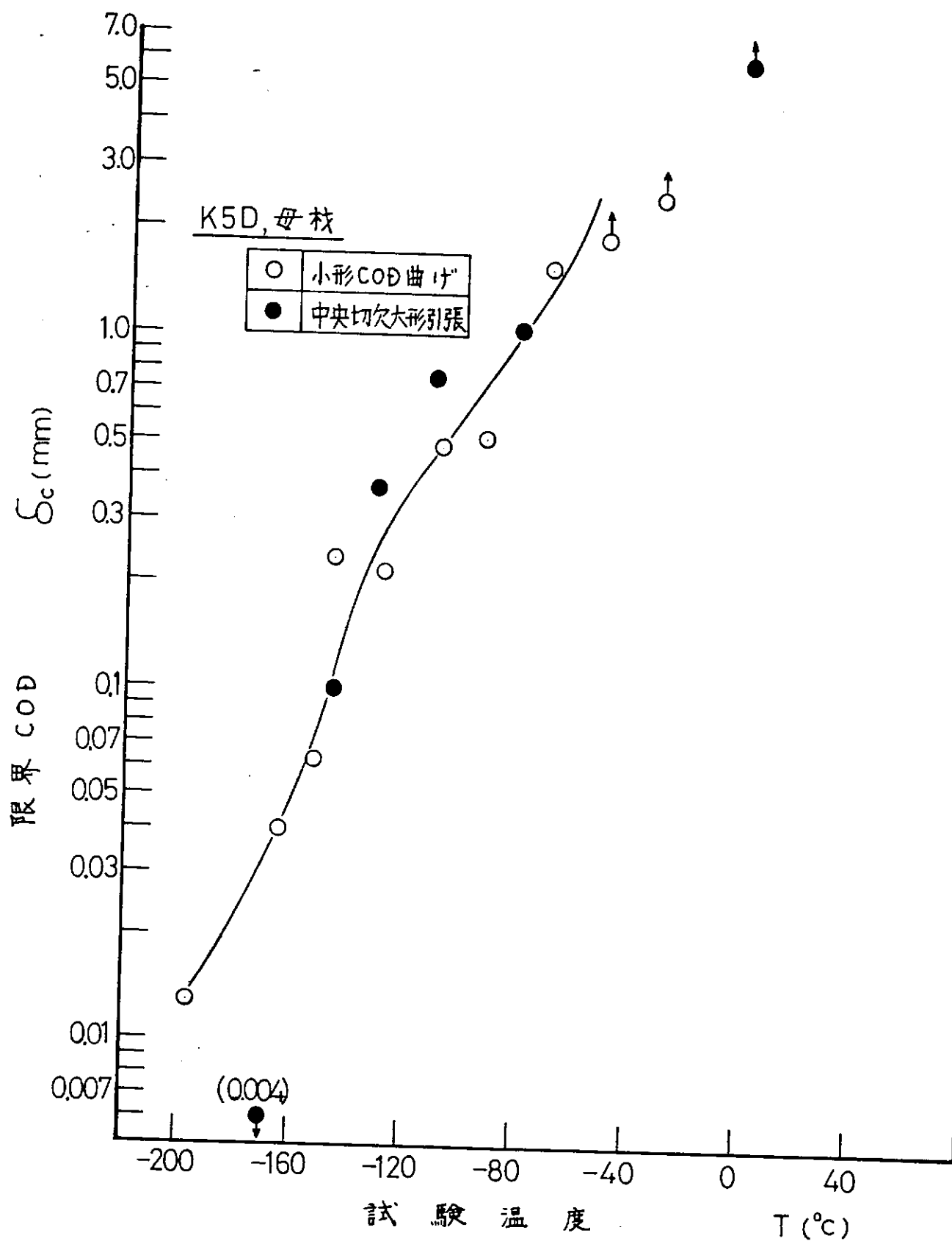


図4.5.2(9) 限界CODと温度の関係

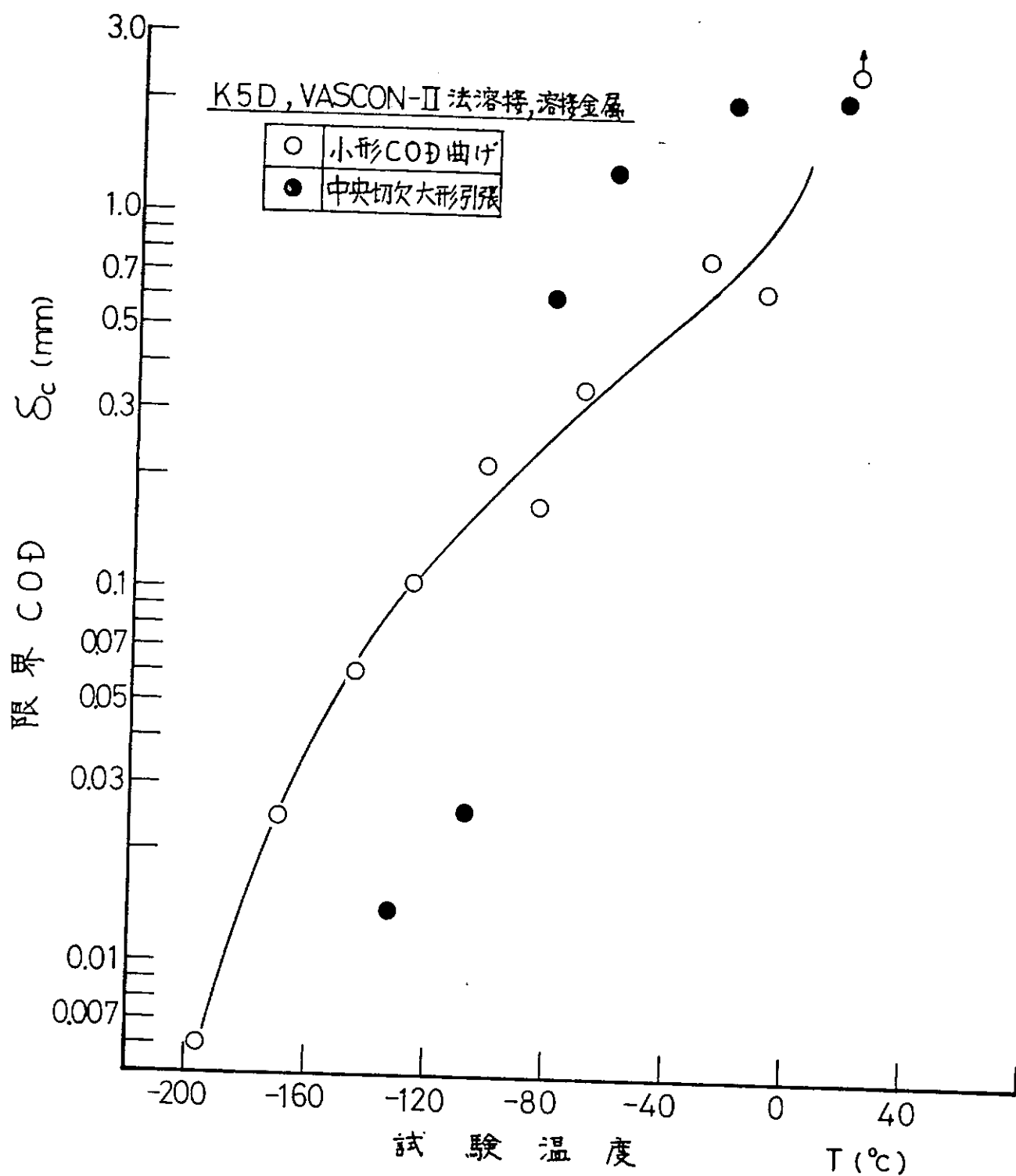


図4.5.2(10) 限界CODと温度の関係

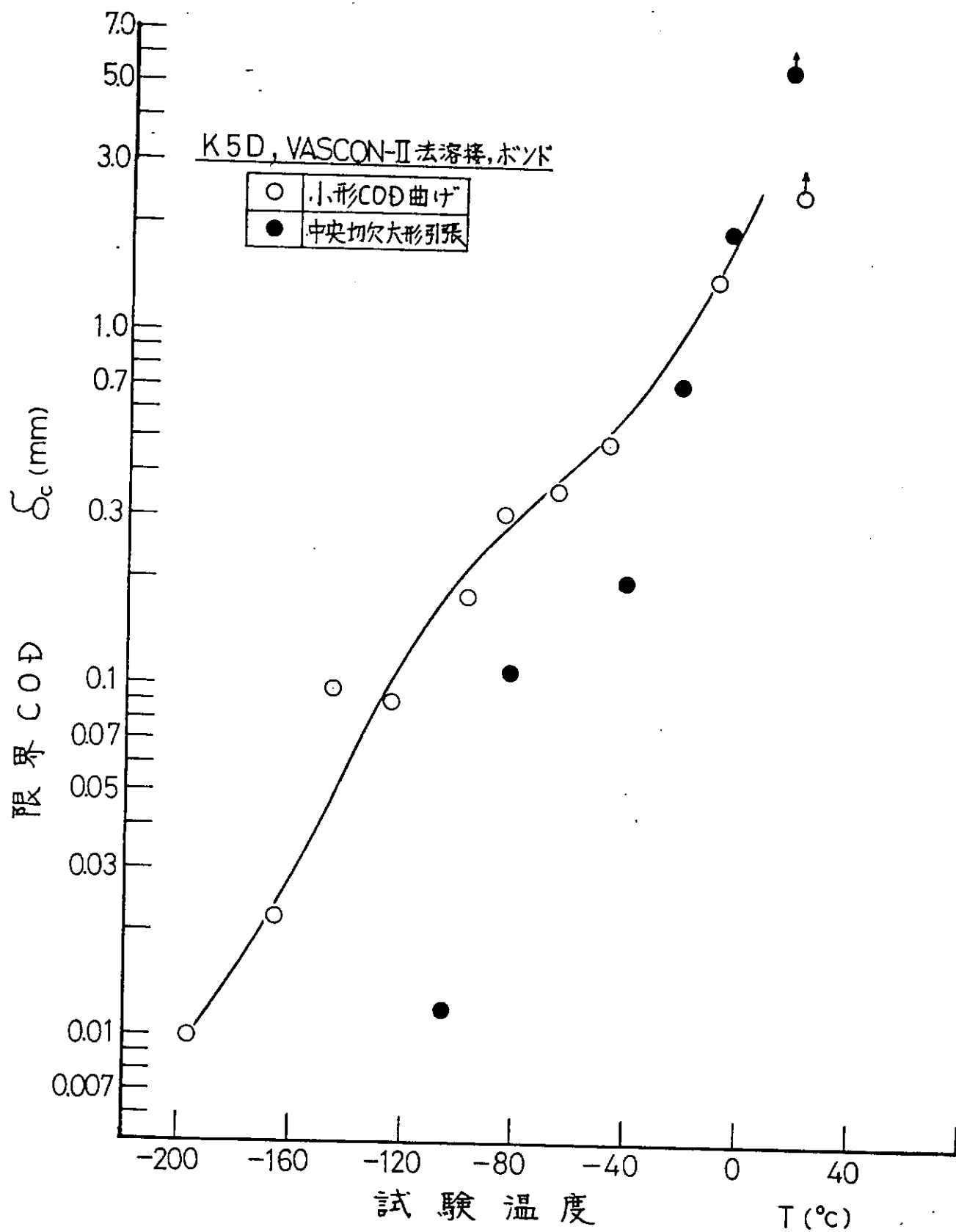


図4.5.2(II) 限界CODと温度の関係

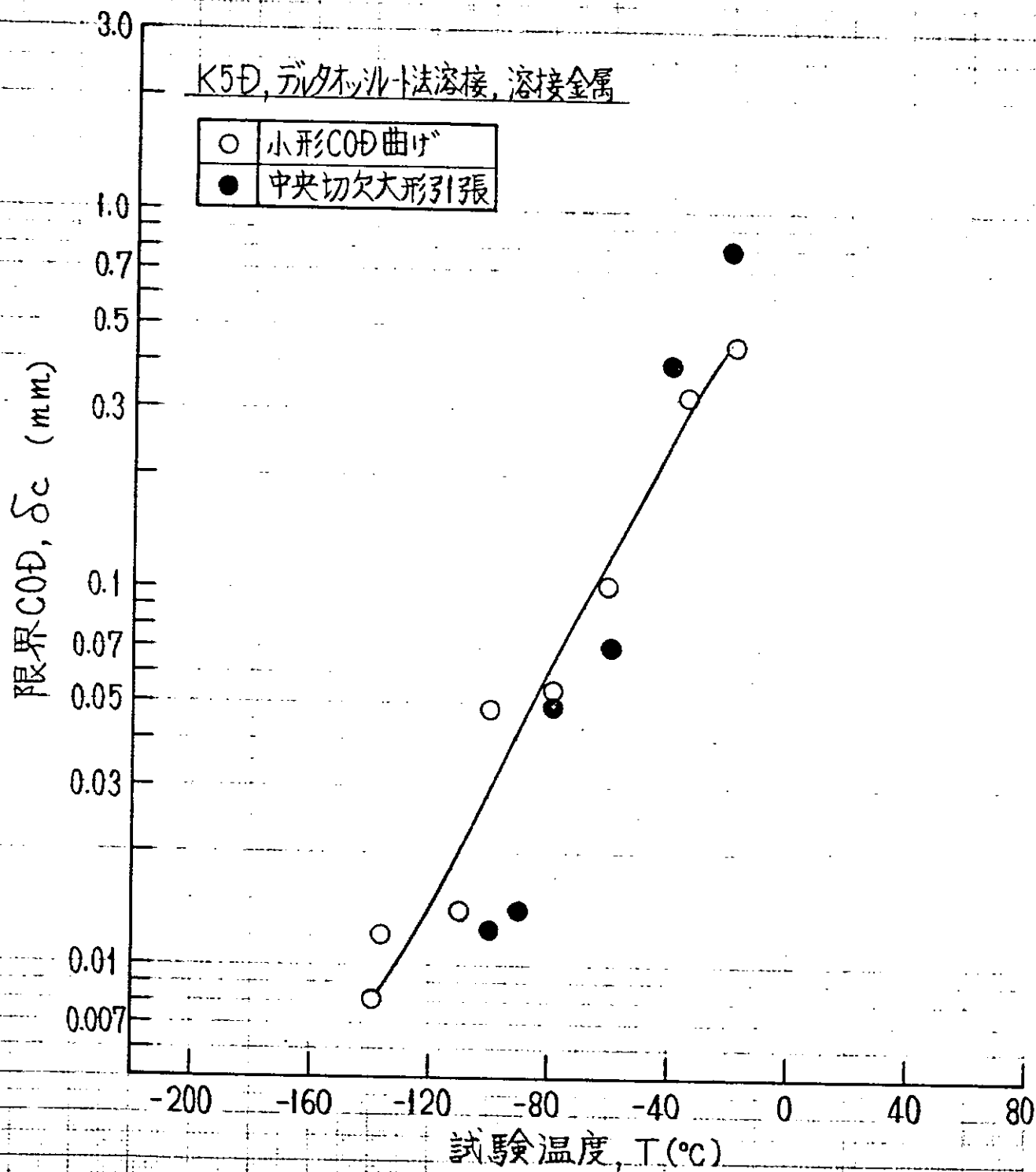


図4.5.2 (12) 限界CODと温度の関係

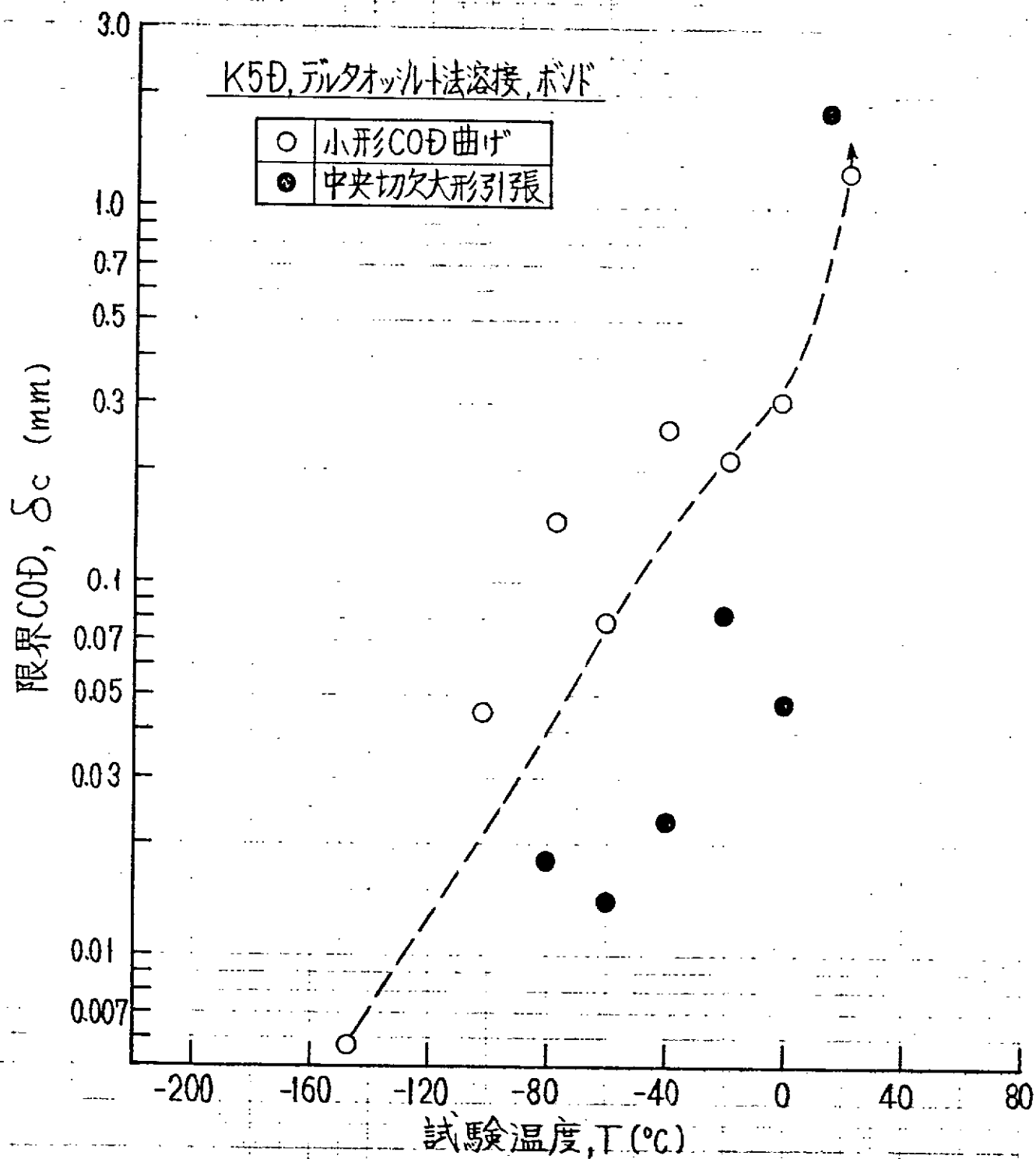


図4.5.2 (13) 限界CODと温度の関係

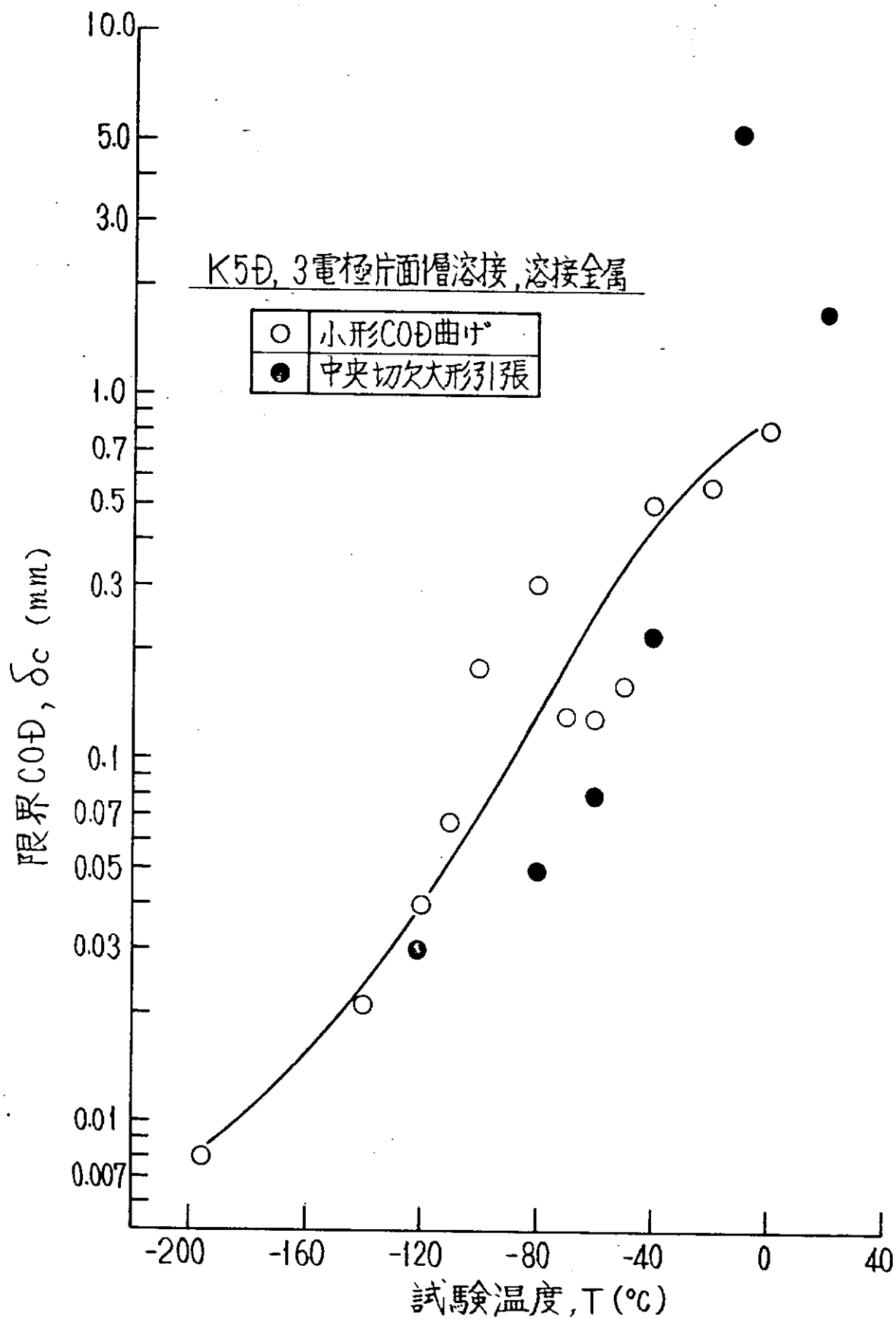


図4.5.2(14) 限界CODと温度の関係

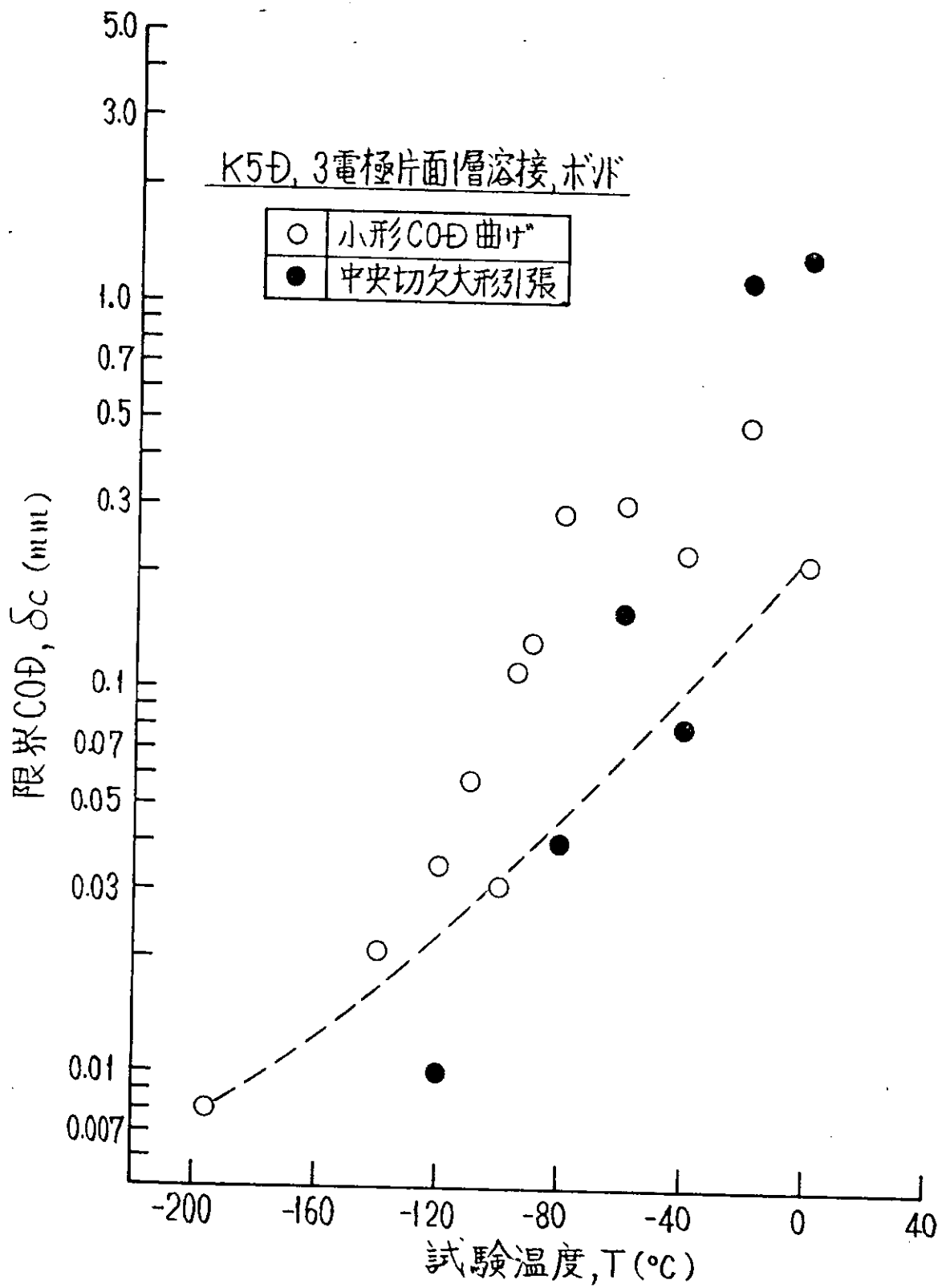


図4.5.2 (15) 限界CODと温度の関係

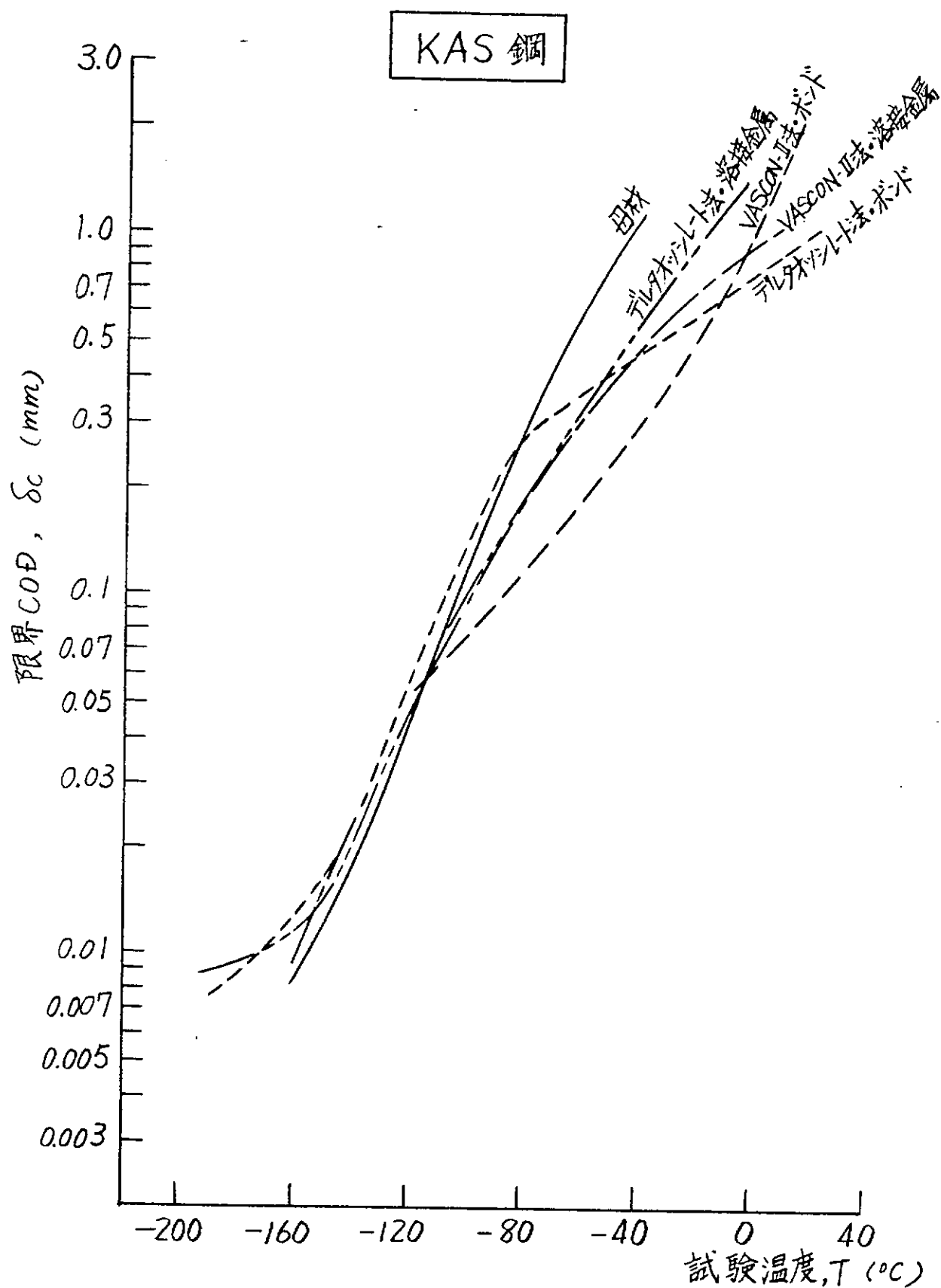


図4.5.3(1) 限界CODと温度の関係

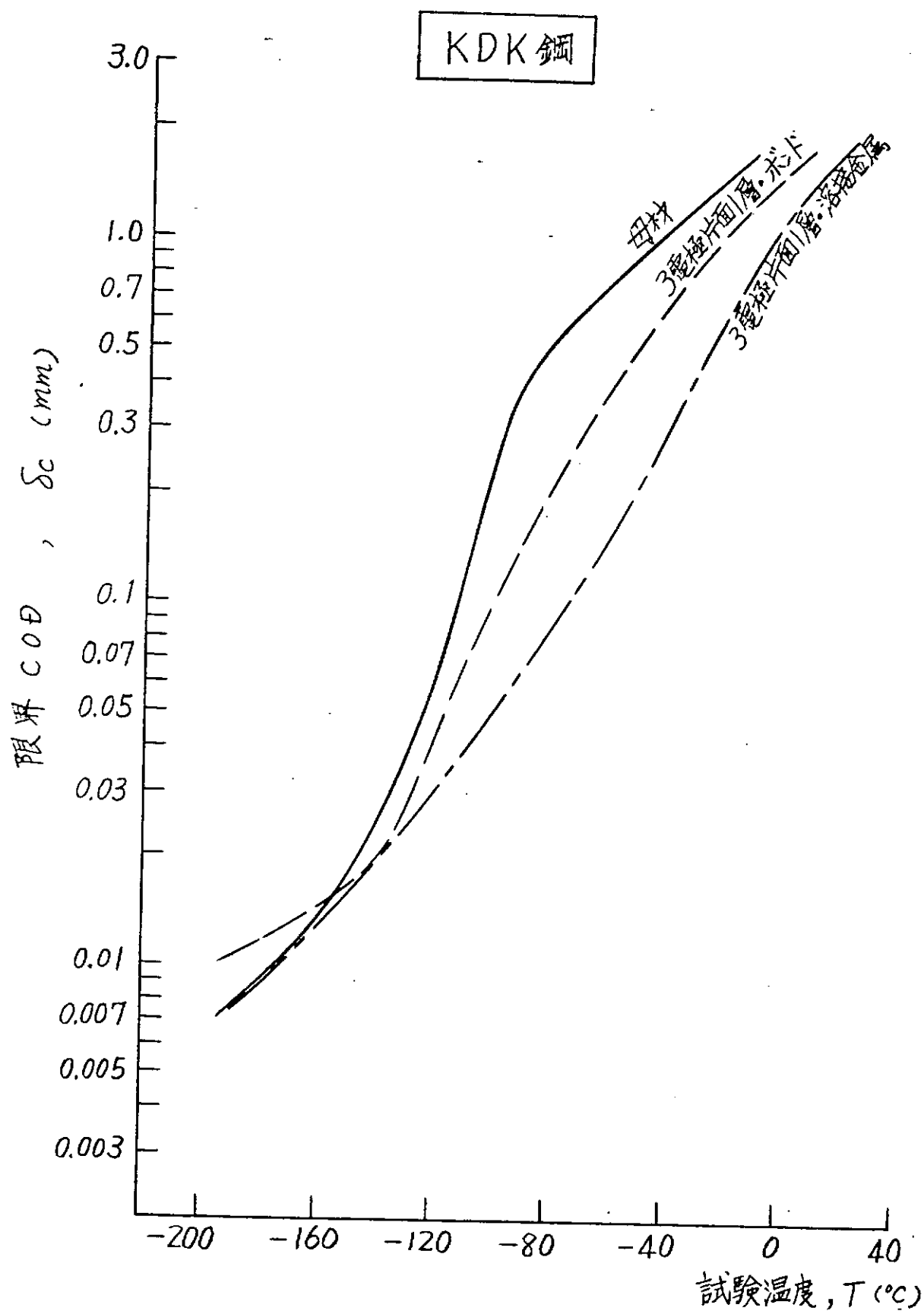


図4.5.3 (2) 限界CODと温度の関係

K5D 鋼

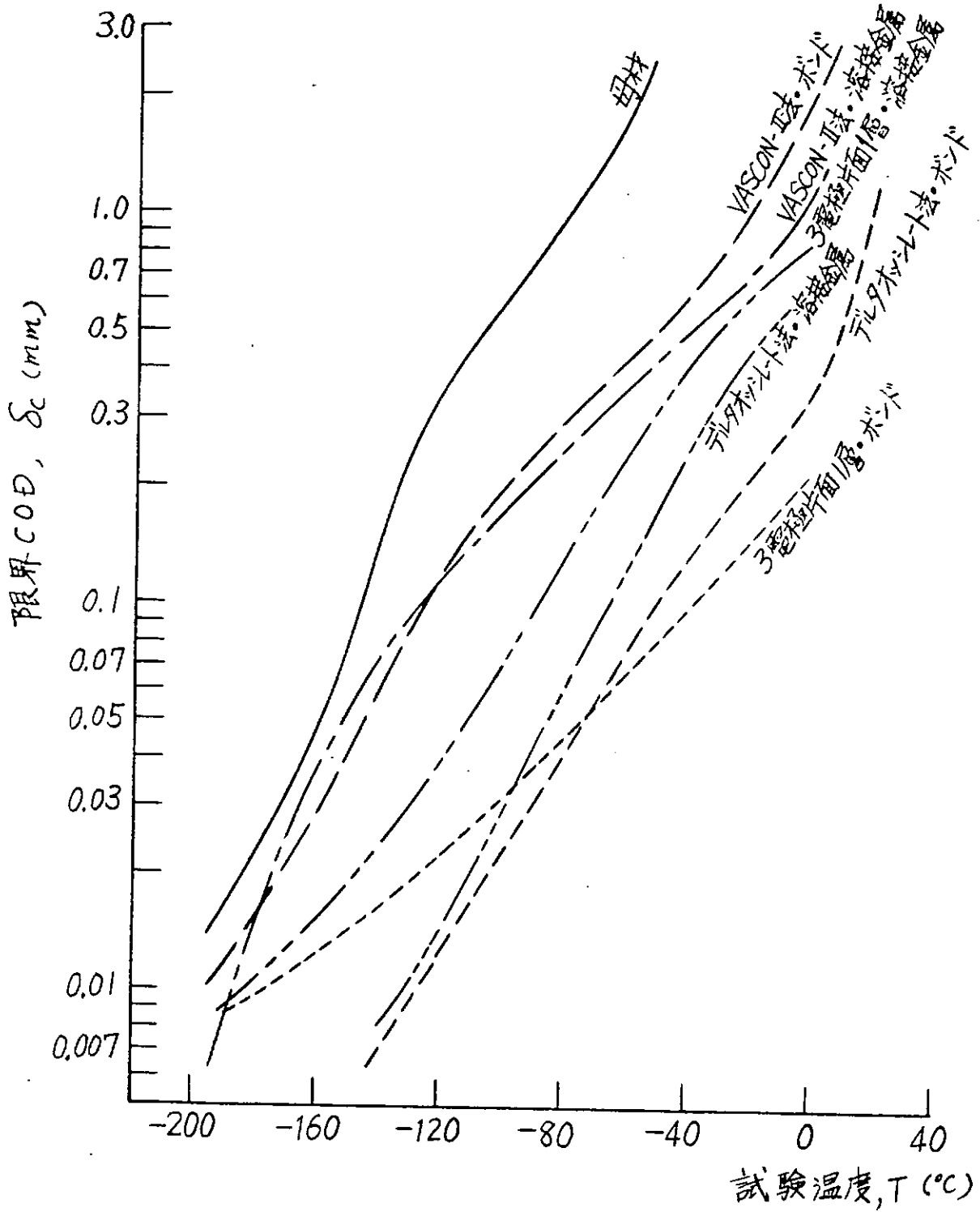
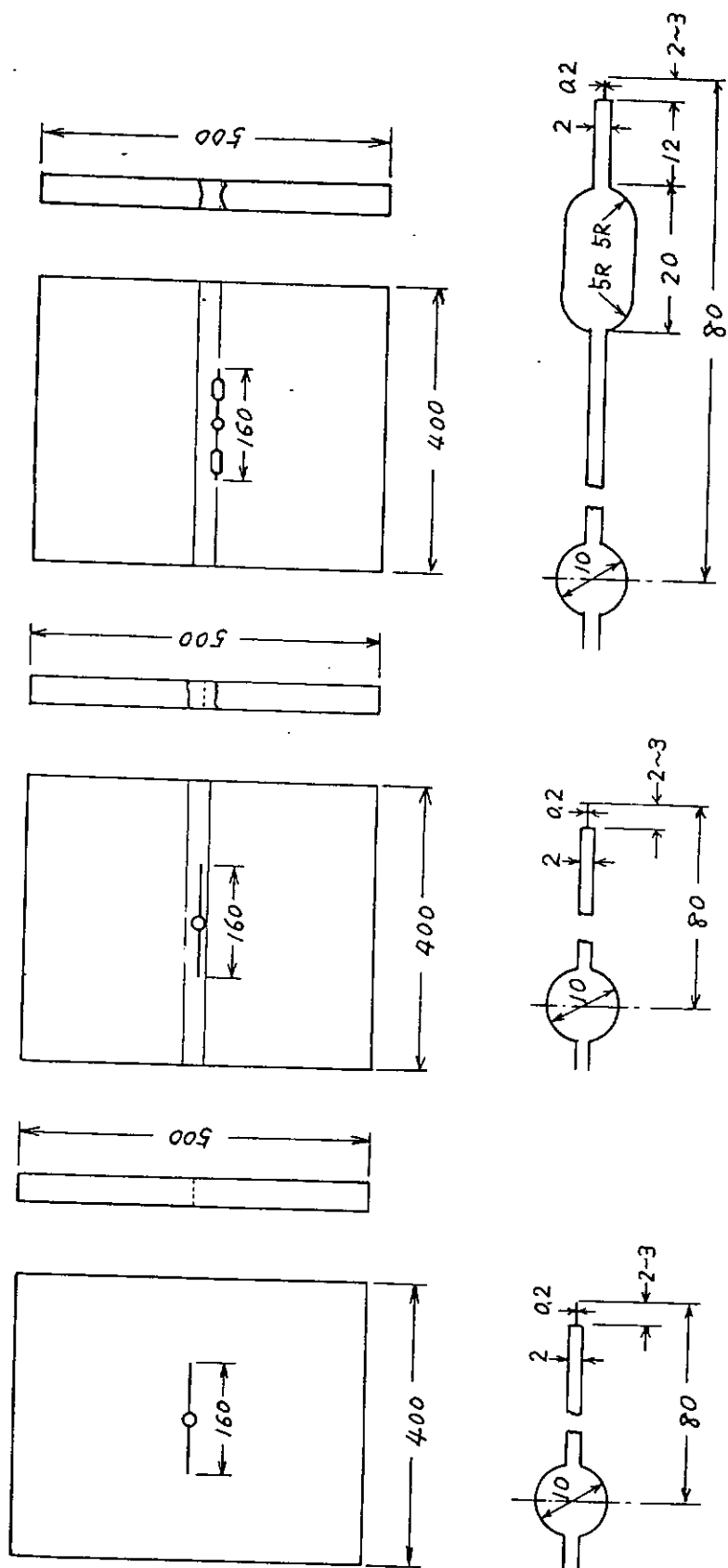


図4.5.3(3) 限界CODと温度の関係



単位 mm

ボンド切欠試験片

溶接金属切欠試験片

母材切欠試験片

図 5.1.1 中央切欠大形引張試験片の形状と寸法

表 5.1.1.1 中央切欠大形引張試験結果 (母材)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K _c (kg/mm ²)	クリップゲージ変位 V _c		限界COD δ _c			備考
				Gross σ _g (kg/mm ²)	Net σ _n (kg/mm ²)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
KAS	母材	-62	225	22.1	36.9	375	0.796	0.671	0.651	0.549	0.600	
		-109	169	16.6	27.7	282	0.180	0.155	0.108	0.093	0.101	
		-159	45	4.4	7.4	75	0.040	0.035	0.006	0.005	0.006	
		1	197	19.4	32.3	329	2.97	2.78	2.43	2.27	2.35	
		-32	193	19.0	31.7	322	1.83	1.81	1.50	1.48	1.49	
KDK	母材	-119	105	10.3	17.2	175	0.067	0.062	0.026	0.024	0.025	
		-40	269	44.1	26.5	452	0.821	0.753	0.664	0.616	0.640	
		-60	292	47.9	28.7	489	0.702	0.647	0.574	0.529	0.551	
		-83	315	51.7	31.0	528	0.590	0.545	0.482	0.445	0.464	
		-90	292	47.9	28.7	489	0.468	0.343	0.383	0.281	0.332	
		-105	177	29.0	17.4	300	0.143	0.135	0.089	0.082	0.086	
		-120	158	25.9	15.5	264	0.104	0.078	0.055	0.035	0.045	
		-140	77	12.6	7.6	129	0.028	0.024	0.004	0.003	0.004	
K5D	母材	-160	73	12.0	7.2	123	0.042	0.035	0.009	0.005	0.007	
		0	293	28.8	48.1	491	>7.30	>7.30	>6.0	>6.0	>6.0	
		-80	290	28.5	47.6	486	1.30	1.23	1.07	1.02	1.05	
		-110	330	32.5	54.1	554	1.00	0.83	0.83	0.69	0.76	
		-130	307	30.2	50.4	515	0.48	0.48	0.37	0.37	0.37	
		-145	204	20.1	33.5	343	0.20	0.16	0.11	0.09	0.10	
		-169	47	4.6	7.7	78	0.035	0.025	0.005	0.003	0.004	

表 5.1.2 中央切欠大形引張試験結果 (KAS 鋼, VASCON-II 法溶接)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K _c ($\frac{\text{kg}\sqrt{\text{mm}}}{\text{mm}^2}$)	クリップゲージ変位 V _c		限界 COD δ_c			備考
				Gross σ_g ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)	Net σ_n ($\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
KAS	VASCON-II 法 溶接 (溶接金属)	-106	103	10.1	16.9	171	0.089	0.072	0.033	0.027	0.030	
		-63	213	21.0	34.9	356	0.374	0.329	0.276	0.242	0.259	
		-1	213	21.0	34.9	356	2.27	2.08	1.86	1.70	1.78	
		-165	42	4.1	6.9	70	0.025	0.023	0.003	0.003	0.003	
		-92	262	25.8	43.0	438	0.426	0.336	0.323	0.254	0.289	
		-30	186	18.3	30.5	310	0.663	0.362	0.482	0.263	0.373	
	VASCON-II 法 溶接 (ボンド)	-66	146	14.4	24.0	244	0.170	0.151	0.112	0.100	0.106	
		-2	210	20.7	34.4	351	2.50	2.25	2.04	1.84	1.94	
		-95	192	18.9	31.5	321	0.206	0.168	0.143	0.116	0.130	
			43	4.2	7.1	71	0.033	0.025	0.006	0.004	0.005	
		-120	52	5.1	(8.5)	—	—	—	—	—	—	3 段破壊
			76	7.5	(12.5)	—	—	—	—	—	—	
		-35	190	18.7	31.2	317	0.575	0.431	0.470	0.352	0.411	
		16	204	20.1	33.5	341	2.08	2.05	1.70	1.68	1.69	

表5.1.3 中央切欠大形引張試験結果 (KAS鋼, デルタオシルト法溶接)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K _c ($\frac{kg\sqrt{mm}}{mm^2}$)	クリップガジ変位 V _c		限界COD δ _c			備考
				Gross σ _g (kg/mm ²)	Net σ _n (kg/mm ²)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
KAS	デルタオット 法溶接 (溶接金属)	20	242	23.8	39.7	406	—	—	—	—	—	
		- 10	215	21.2	35.3	361	2.350	2.225	1.780	1.686	1.733	2段破壊
			190	18.7	(31.2)	—	—	—	—	—	—	
		- 40	192	18.9	31.5	322	0.438	0.425	0.294	0.285	0.290	
		- 64	185	18.2	30.3	310	0.288	0.256	0.183	0.163	0.173	
		- 84	80	7.9	13.1	135	0.078	0.076	0.024	0.023	0.024	
		-120	30	3.0	4.9	51	0.021	0.021	0.002	0.002	0.002	
		20	233	22.9	38.2	390	—	—	—	—	—	
		- 10	198	19.5	32.5	332	1.850	1.750	1.510	1.430	1.470	
		- 20	186	18.3	30.5	312	1.650	1.531	1.340	1.250	1.295	2段破壊
			170	16.7	(27.9)	—	—	—	—	—	—	
			- 42	164	16.1	26.9	274	0.275	0.250	0.207	0.188	0.198
	- 68	164	16.1	26.9	274	0.263	0.238	0.180	0.163	0.172		
	- 90	80	7.9	13.1	135	0.072	—	0.026	—	0.026		

表5.1.4 中央切欠大形引張試験結果 (KDK鋼, 3電極片面1層溶接)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K _c ($\frac{\text{kg}\sqrt{\text{mm}}}{\text{mm}^2}$)	グリップゲージ変位 V _c		限界COD δ _c			備考
				Gross σ _g (kg/mm ²)	Net σ _n (kg/mm ²)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
KDK	3電極片面 1層溶接 (溶接金属)	- 4	251	24.7	41.2	421	0.702	0.537	0.574	0.439	0.507	
		- 38	227	22.3	37.2	380	0.567	0.348	0.464	0.279	0.372	
		- 60	178	17.5	29.2	298	0.171	0.146	0.110	0.088	0.099	
		- 82	76	7.5	12.5	128	0.114	0.091	0.058	0.042	0.050	
		-100	87	8.6	14.3	147	0.118	0.091	0.059	0.039	0.049	
	3電極片面 1層溶接 (ボンド)	-140	36	3.5	5.9	60	0.010	0.010	0.001	0.001	0.001	
		- 13	256	25.2	42.0	429	2.163	2.277	1.769	1.698	1.734	
		- 40	253	24.9	41.5	424	1.061	1.018	0.868	0.832	0.850	
		- 63	207	20.4	33.9	348	0.241	0.205	0.188	0.154	0.171	
		- 87	160	15.7	26.2	268	0.163	0.153	0.111	0.104	0.108	
		-111	83	8.2	13.6	140	0.036	0.036	0.009	0.007	0.008	
		-130	46	4.5	7.5	77	0.018	0.016	0.003	0.002	0.003	

表 5.1.1.5 中央切欠大形引張試験結果 (K5D 鋼, VASCON-II 法溶接)

鋼種	材 歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K_C ($\frac{kg\sqrt{mm}}{mm^2}$)	クリップゲージ変位 V_c		限界 COD δ_c			備考
				Gross σ_g (kg/mm^2)	Net σ_n (kg/mm^2)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
K5D	VASCON-II 法 溶接 (溶接金属)	16	246	24.2	40.4	413	2.70	2.38	2.23	1.97	2.10	破面にブローホール有り
		- 21	258	25.4	42.3	433	2.50	2.40	2.06	1.98	2.02	
		- 60	258	25.4	42.3	433	1.70	1.50	1.40	1.23	1.32	
		- 80	267	26.3	43.8	449	0.77	0.70	0.64	0.58	0.61	
		-107	81	8.0	13.3	137	0.09	0.07	0.029	0.023	0.026	
	VASCON-II 法 溶接 (ボンド)	-132	76	7.5	12.5	128	0.05	0.05	0.014	0.014	0.014	
		16	286	28.1	46.9	479	>7	>7	>5.8	>5.8	>5.8	
		- 5	248	24.4	40.7	416	2.40	2.35	1.98	1.94	1.96	
		- 22	241	23.7	39.5	405	0.92	0.82	0.76	0.68	0.72	
		- 41	196	19.3	32.2	329	0.30	0.25	0.22	0.18	0.20	
		- 82	184	18.1	30.2	309	0.17	0.15	0.11	0.10	0.11	
		-105	61	6.0	10.0	102	0.048	0.045	0.012	0.011	0.012	

表5.1.6 中央切欠大形引張試験結果 (K5D鋼,デルタショット法溶接)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K_c $(\frac{kg\sqrt{mm}}{mm^2})$	クリップゲージ変位 V_c		限界COD δ_c			備考
				Gross σ_g (kg/mm^2)	Net σ_n (kg/mm^2)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
K5D	デルタショット法 溶接 (溶接金属)	-100	60	5.8	9.7	99	0.083	0.040	0.016	0.008	0.012	
		-79	150	14.5	24.2	247	0.113	0.091	0.054	0.045	0.049	
		-90	68	6.7	11.2	114	0.062	0.053	0.015	0.013	0.014	
		-60	145	14.4	24.0	245	0.159	0.124	0.080	0.062	0.071	
		-20	260	25.7	42.9	438	1.106	0.880	0.879	0.699	0.789	
		-40	245	24.6	41.1	419	0.528	0.521	0.397	0.392	0.395	
	デルタショット法 溶接 (ボンド)	-60	75	7.3	12.1	124	0.045	0.042	0.015	0.014	0.014	
		-80	80	8.0	13.3	136	0.060	0.053	0.019	0.017	0.018	
		-40	90	9.1	15.1	155	0.057	0.054	0.024	0.023	0.023	2段破壊
			110	10.6	(18.4)	—	—	—	—	—	—	
		-20	148	14.8	24.7	252	0.141	0.127	0.087	0.078	0.082	
		0	120	11.6	19.4	198	0.090	—	0.048	—	0.048	2段破壊
			230	22.2	(37.2)	—	—	—	—	—	—	
		15	250	24.3	40.5	414	2.308	2.107	1.882	1.718	1.800	3段破壊
			245	23.8	(39.7)	—	—	—	—	—	—	
			220	21.4	(35.6)	—	—	—	—	—	—	

表5.1.7 中央切欠大形引張試験結果 (K5D鋼, 3電極片面1層溶接)

鋼種	材歴 (切欠位置)	試験温度 T (°C)	破壊荷重 P (ton)	破壊応力		K_c ($\frac{kg\sqrt{mm}}{mm^2}$)	クリップゲージ変位 V_c		限界COD δ_c			備考
				Gross σ_g (kg/mm^2)	Net σ_n (kg/mm^2)		大 (mm)	小 (mm)	大 (mm)	小 (mm)	平均 (mm)	
K5D	3電極片面 1層溶接 (溶接金属)	20	315	30.5	50.8	520	2.45	1.99	1.91	1.56	1.73	
		- 10	320	30.9	51.5	527	7.31	6.53	5.67	5.06	5.37	
		- 60	180	17.4	28.9	296	0.18	0.14	0.09	0.07	0.08	
		- 40	238	23.0	38.3	392	0.36	0.35	0.22	0.22	0.22	
		-121	60	5.8	9.6	98	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	
	3電極片面 1層溶接 (ボンド)	- 80	150	14.4	24.1	246	0.15	0.12	0.06	0.05	0.06	
		- 40	139	13.4	22.3	228	0.15	0.14	0.08	0.07	0.08	
		- 20	274	26.4	43.9	449	1.44	1.43	1.16	1.15	1.16	
		-120	76	7.3	12.2	125	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01	
		- 80	128	12.3	20.6	210	0.10	0.08	0.05	0.03	0.04	
		0	275	26.6	44.4	454	1.70	1.61	1.37	1.29	1.33	
		- 60	190	18.3	30.4	311	0.27	0.22	0.17	0.15	0.16	

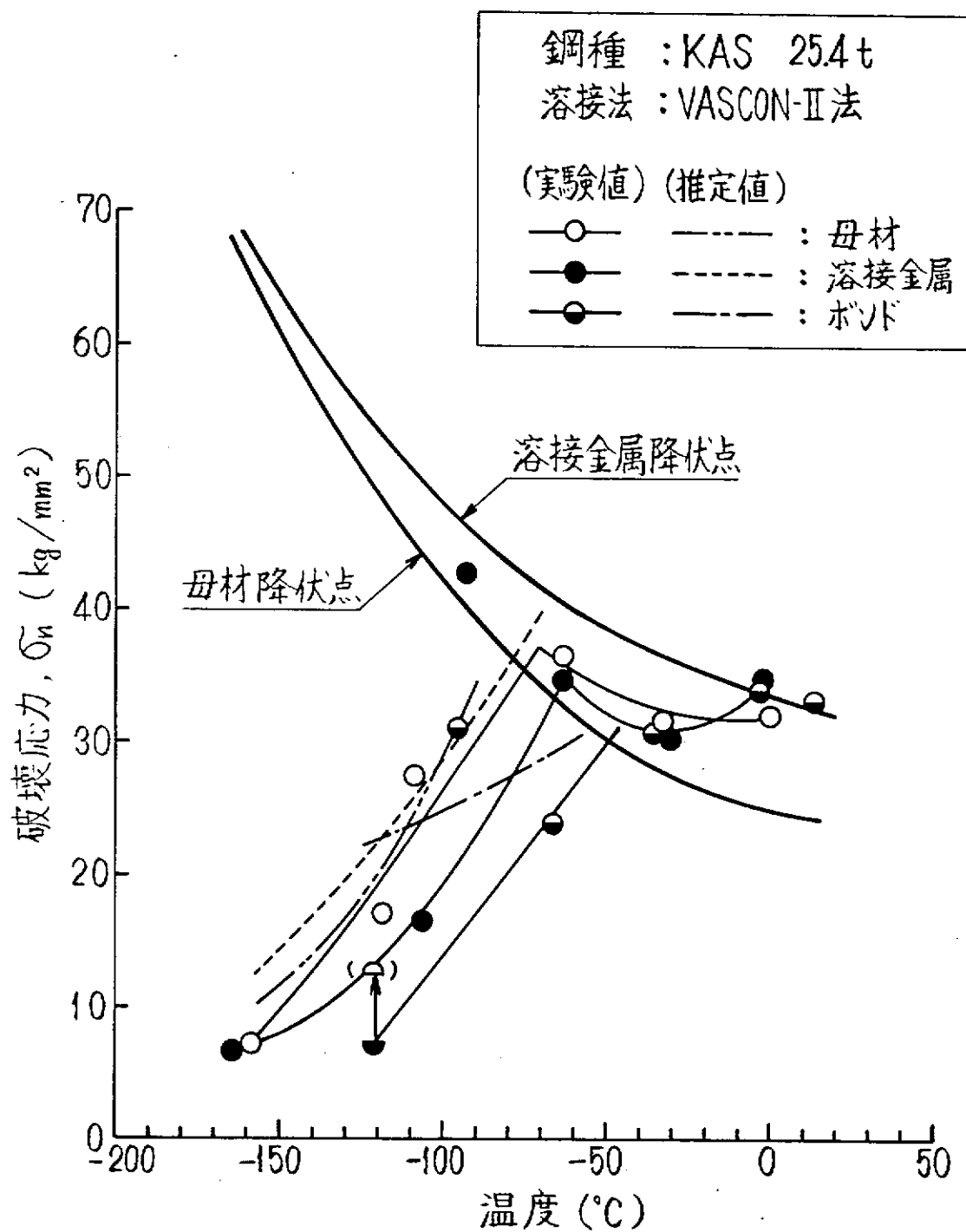


図5.1.2(1) 中央切欠大形引張試験結果(KAS鋼,VASCON-II法溶接)
(破壊応力と温度の関係)

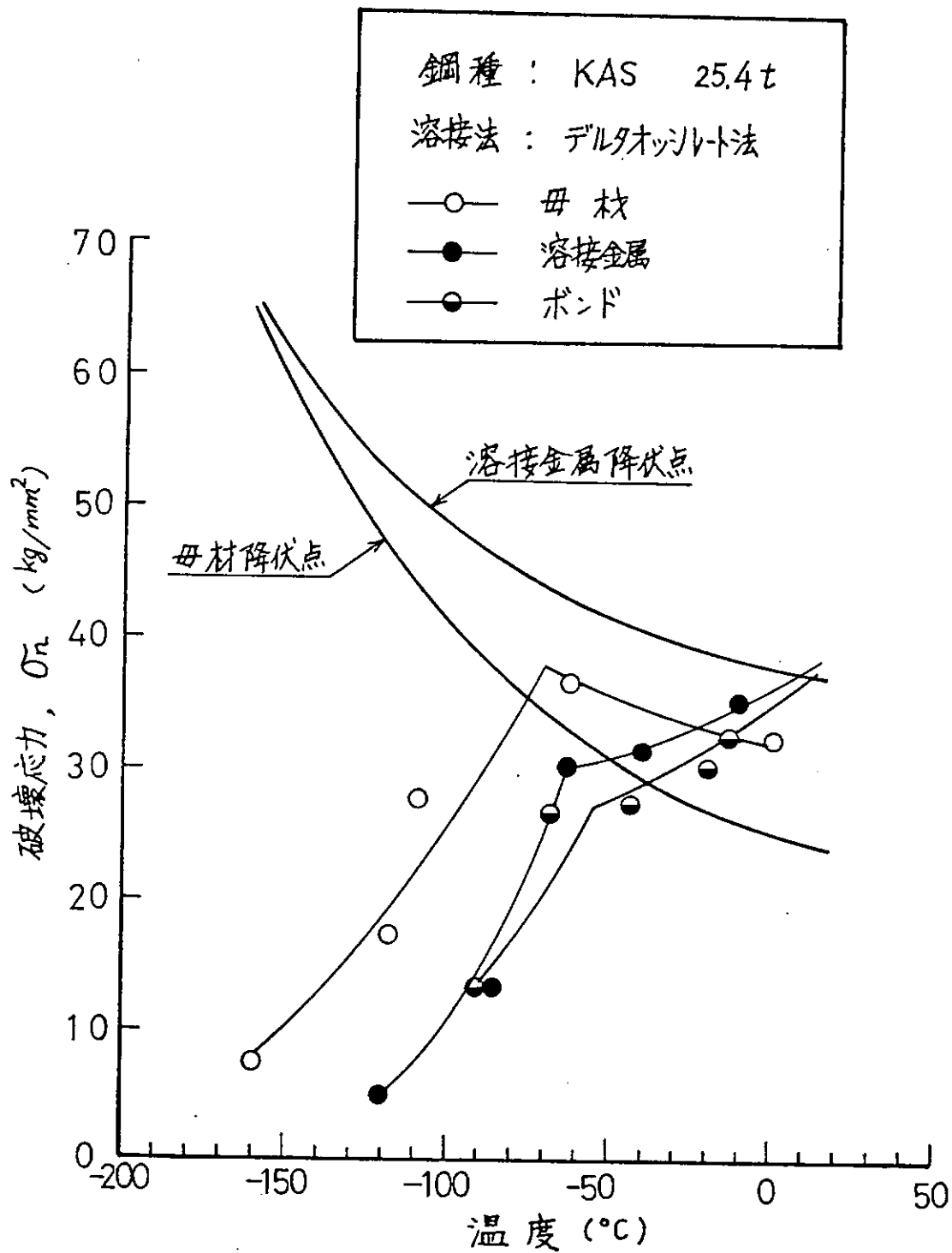


図5.1.2(2) 中央切欠大形引張試験結果 (KAS鋼, デルタオット法溶接)
(破壊応力と温度の関係)

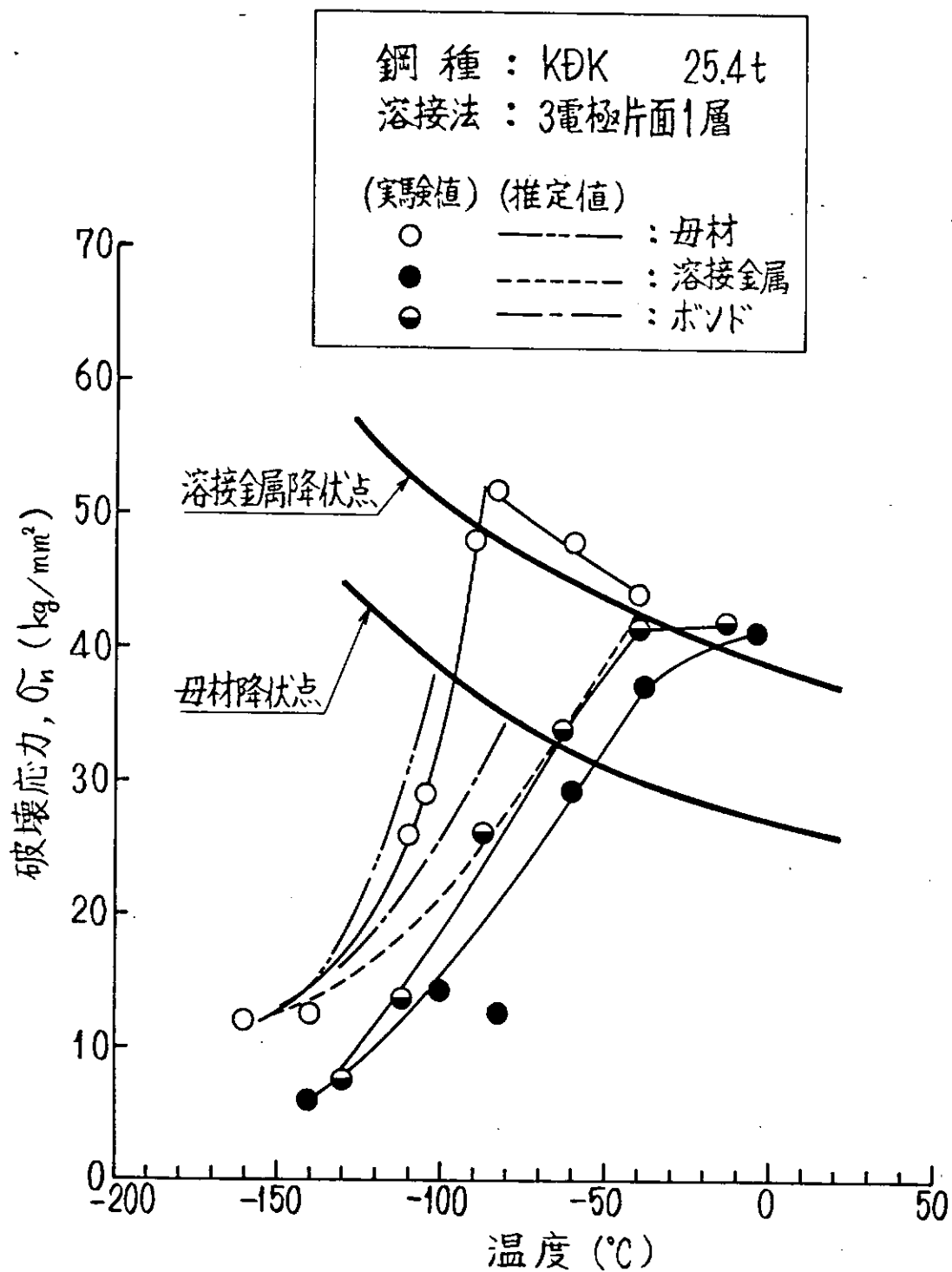


図5.1.2(3) 中央切欠大形引張試験結果(KDK鋼, 3電極片面1層溶接)
(破壊応力と温度の関係)

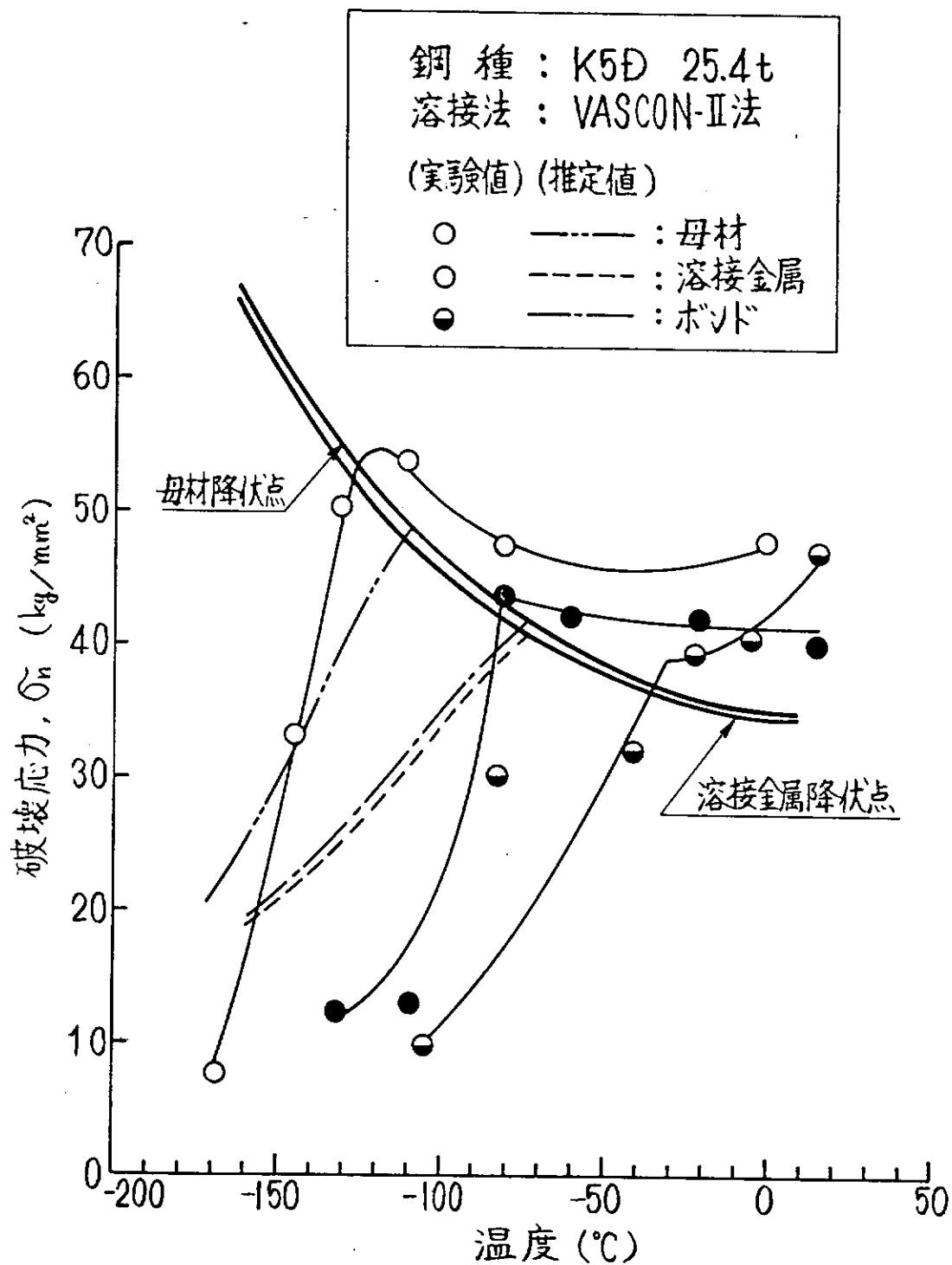


図5.1.2(4) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼,VASCON-II法溶接)
(破壊応力と温度の関係)

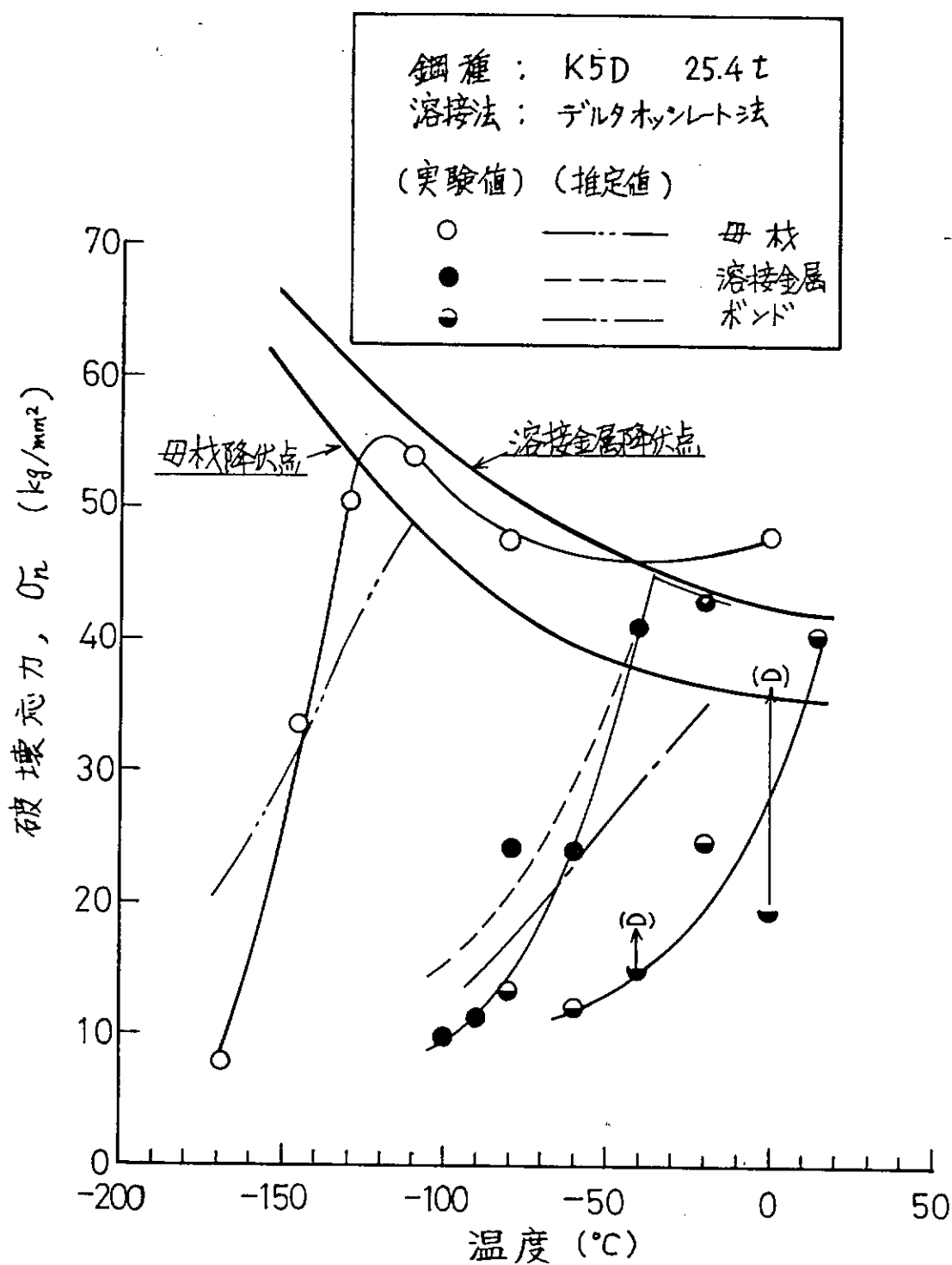


図5.1.2(5) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼,デルタオンレット法溶接)
(破壊応力と温度の関係)

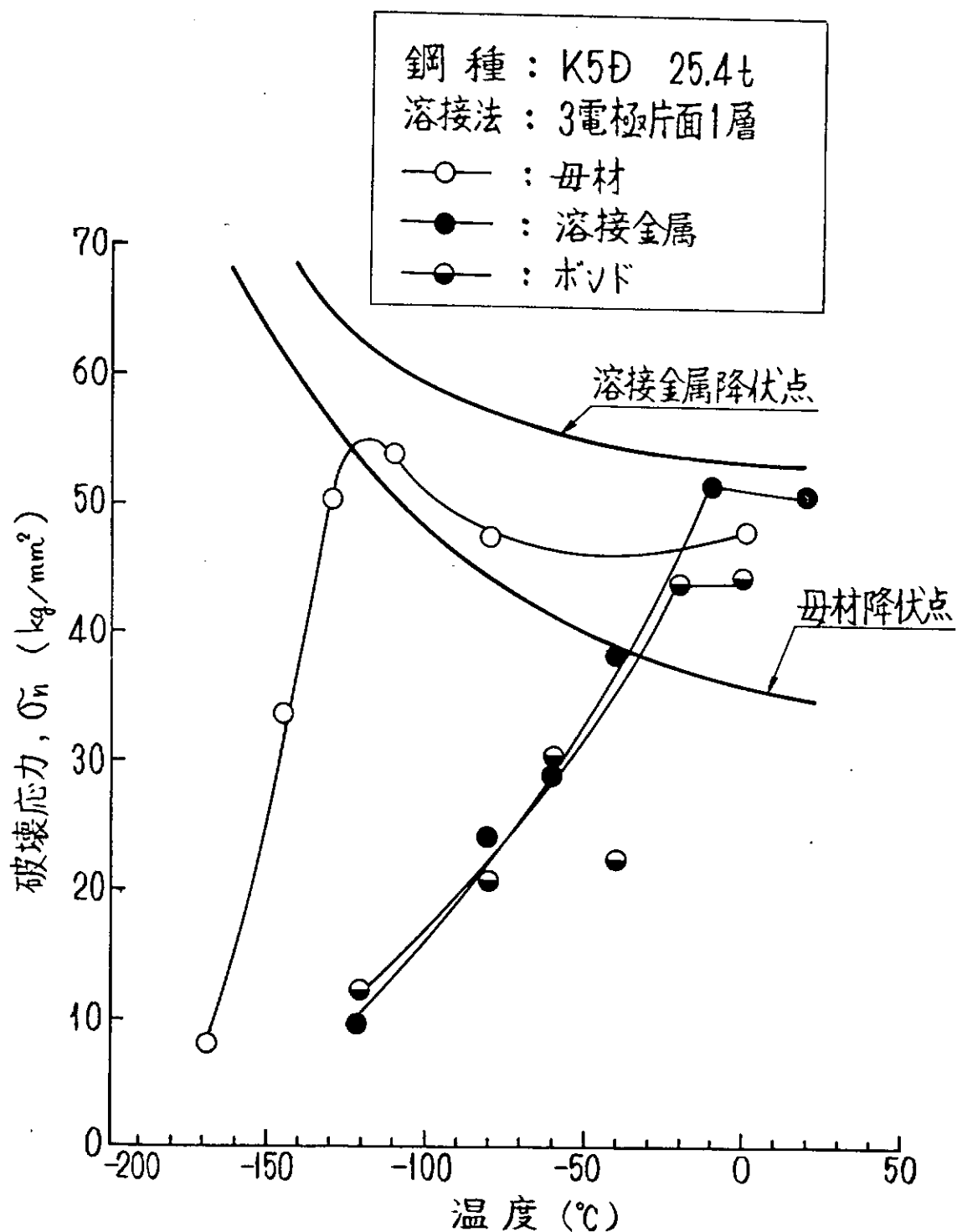


図5.1.2(6) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼, 3電極片面1層溶接)
(破壊応力と温度の関係)

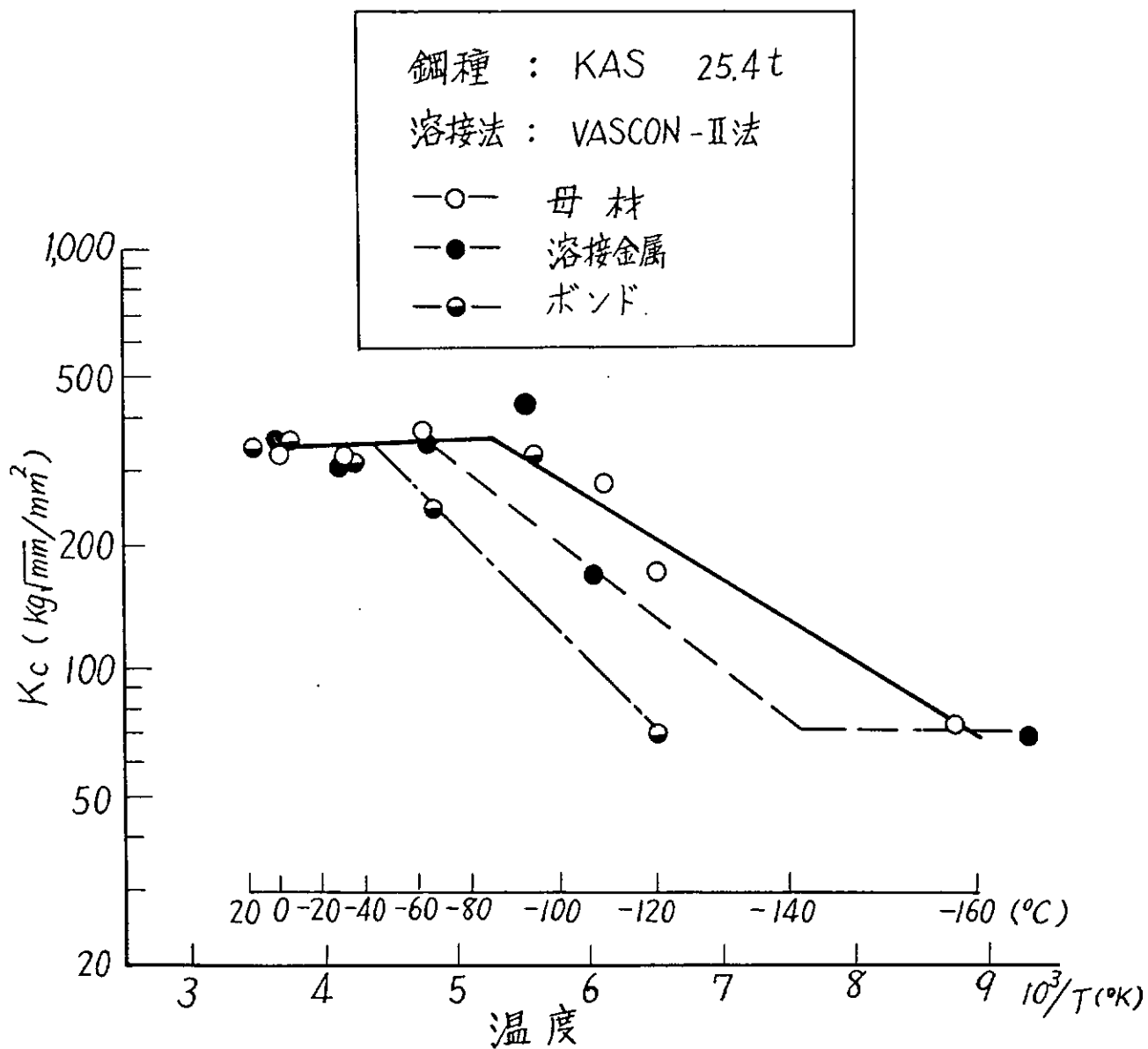


図5.1.3(1) 中央切欠大形引張試験結果(KAS鋼,VASCON-II法溶接)
(K_c と温度の関係)

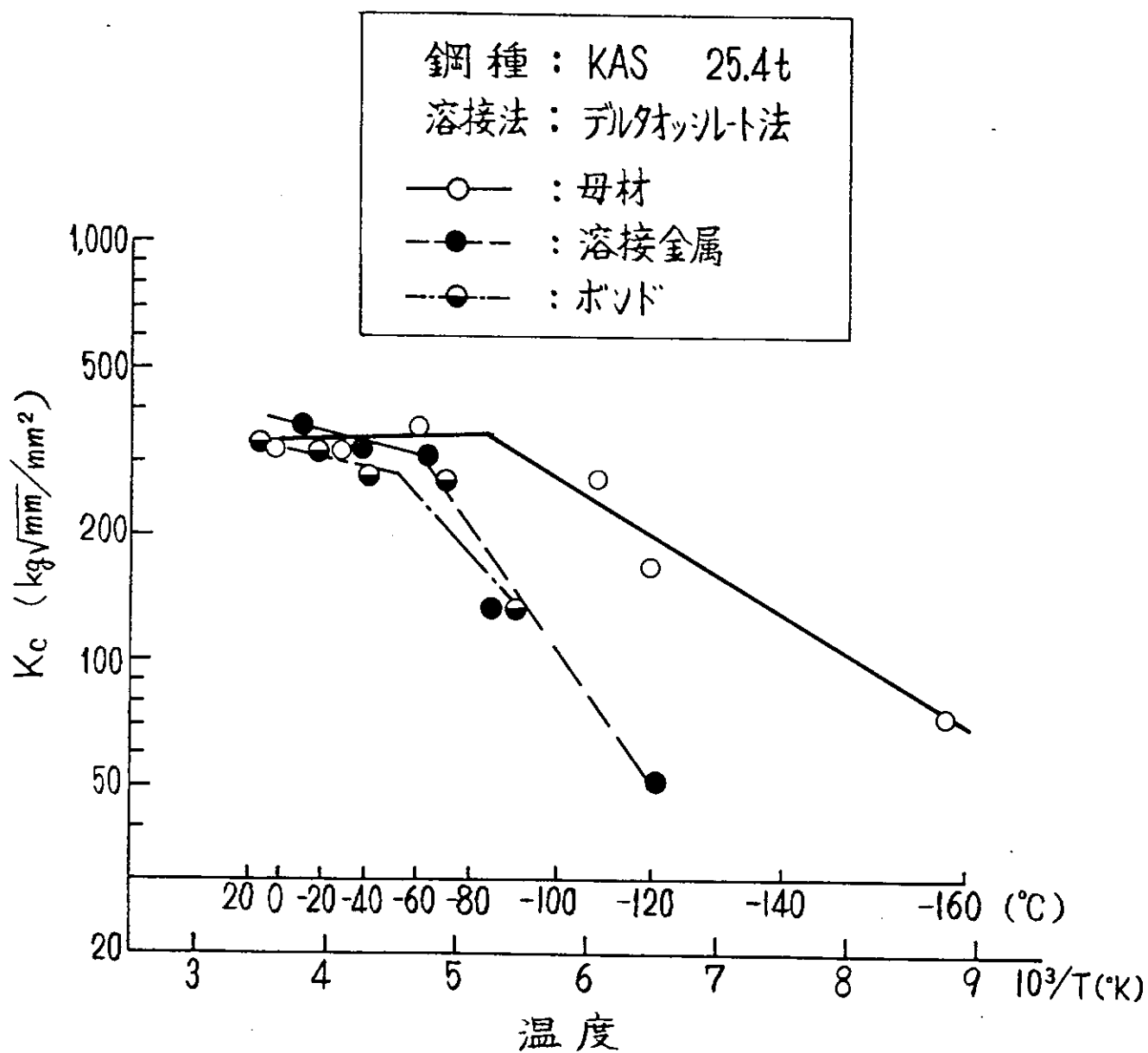


図5.1.3(2) 中央切欠大形引張試験結果 (KAS鋼,デルタオシルト法溶接)
(Kc値と温度の関係)

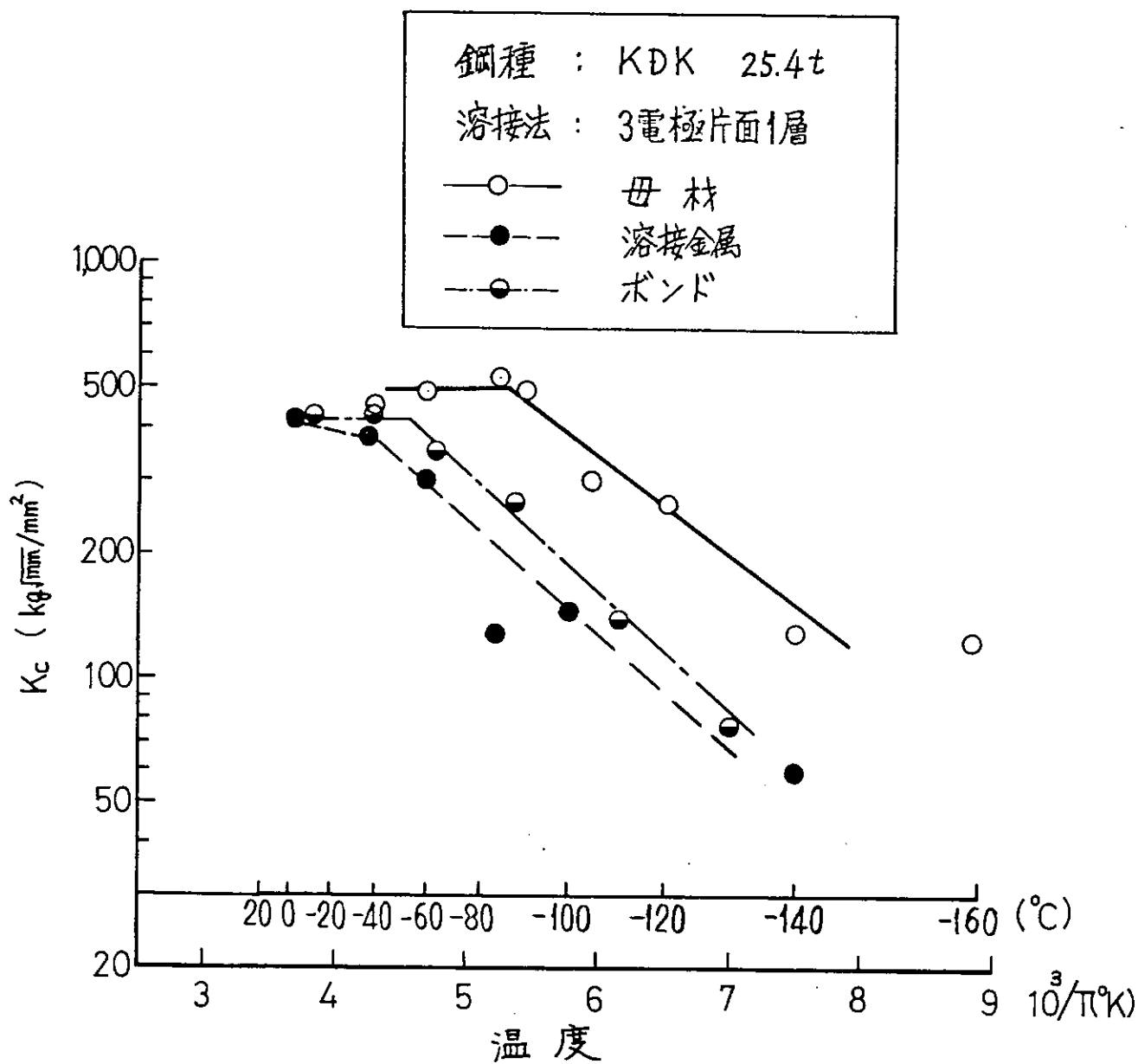


図5.1.3(3) 中央切欠大形引張試験結果(KDK鋼,3電極片面1層溶接)
(K_c 値と温度の関係)

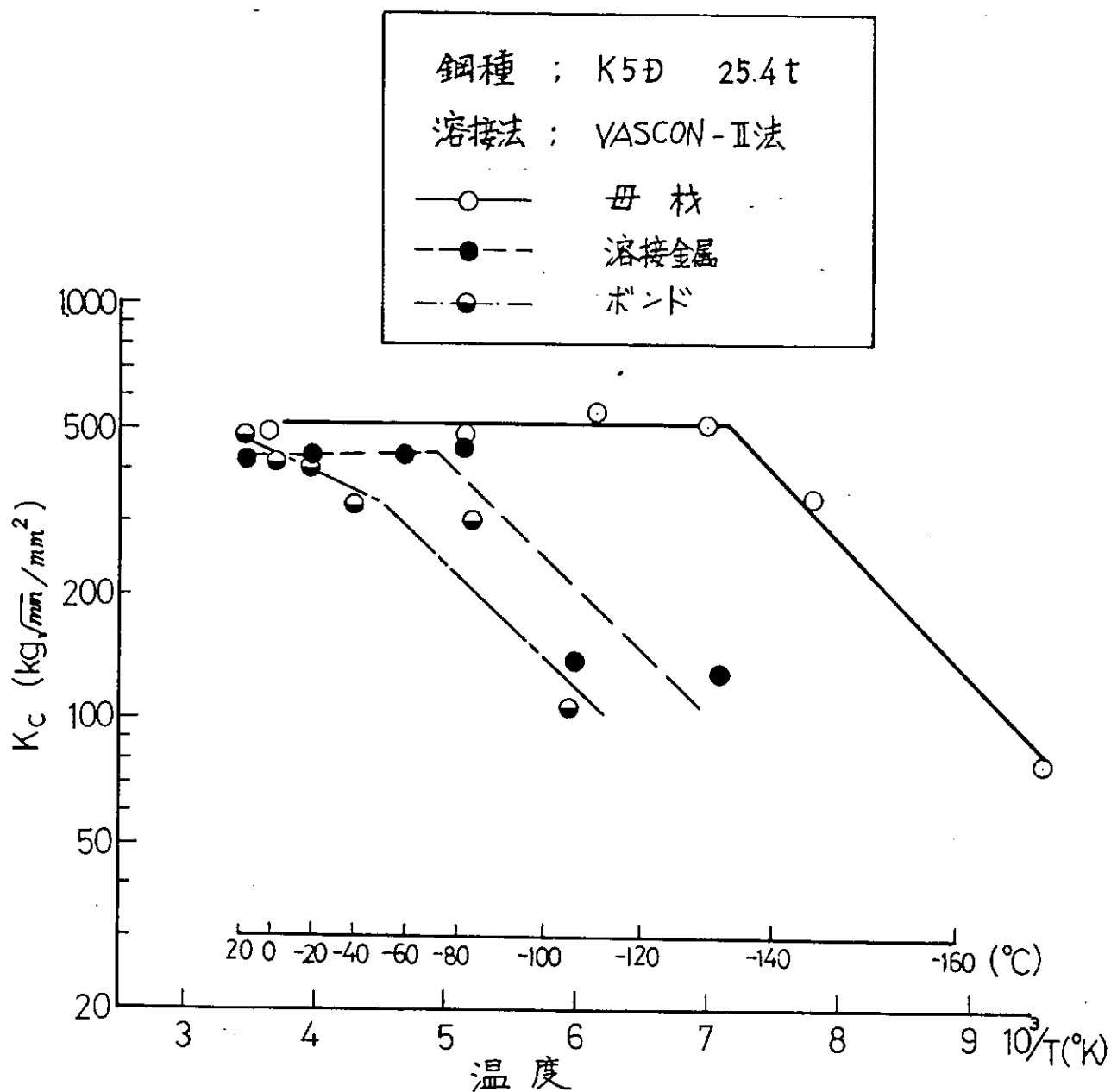


図5.1.3(4) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼, VASCON-II法溶接)
(K_c 値と温度の関係)

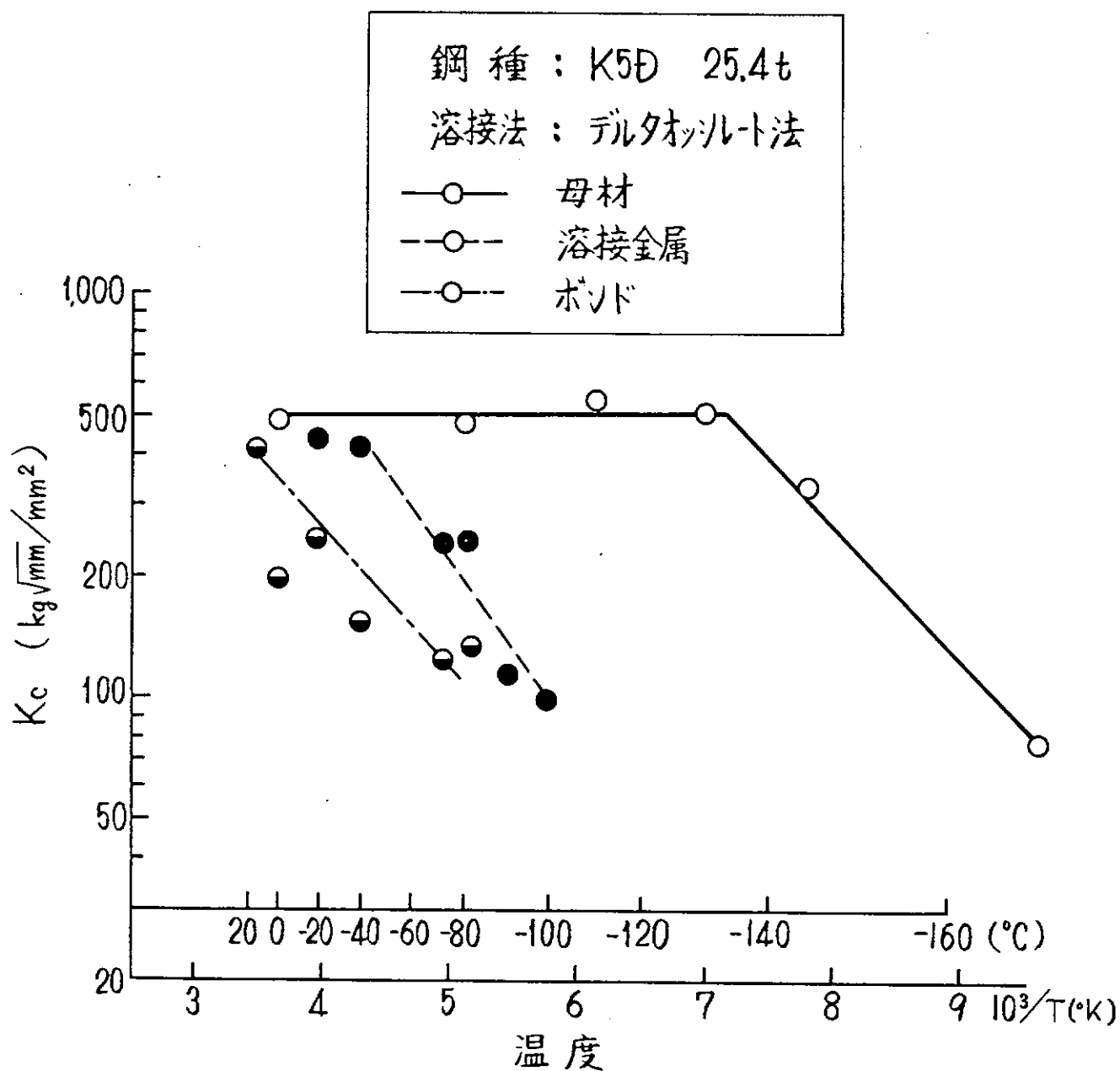


図5.1.3(5) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼,ティタニウム法溶接)
(Kc値と温度の関係)

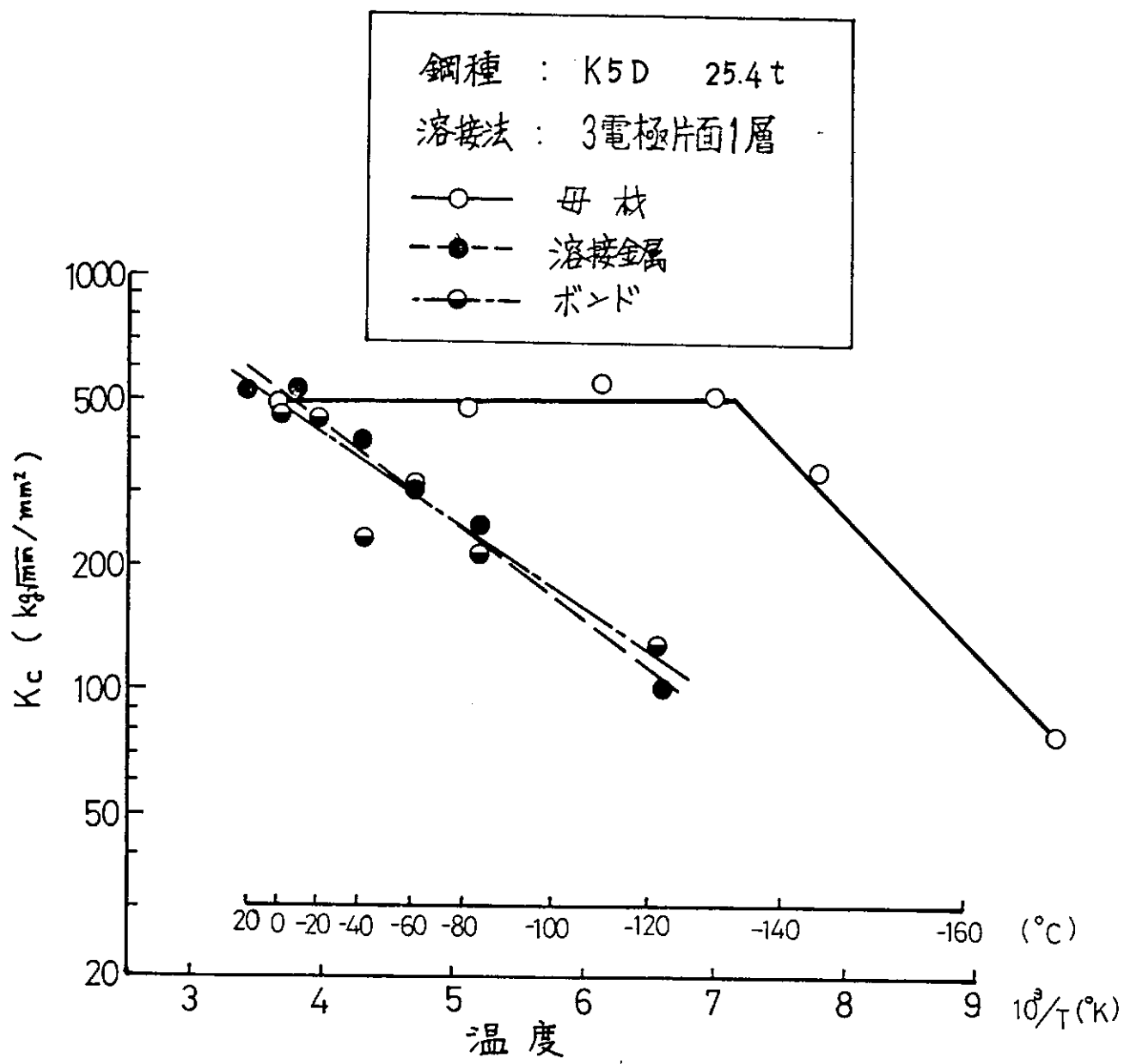


図5.1.3(6) 中央切欠大形引張試験結果(K5D鋼,3電極片面1層溶接)
(Kc値と温度の関係)

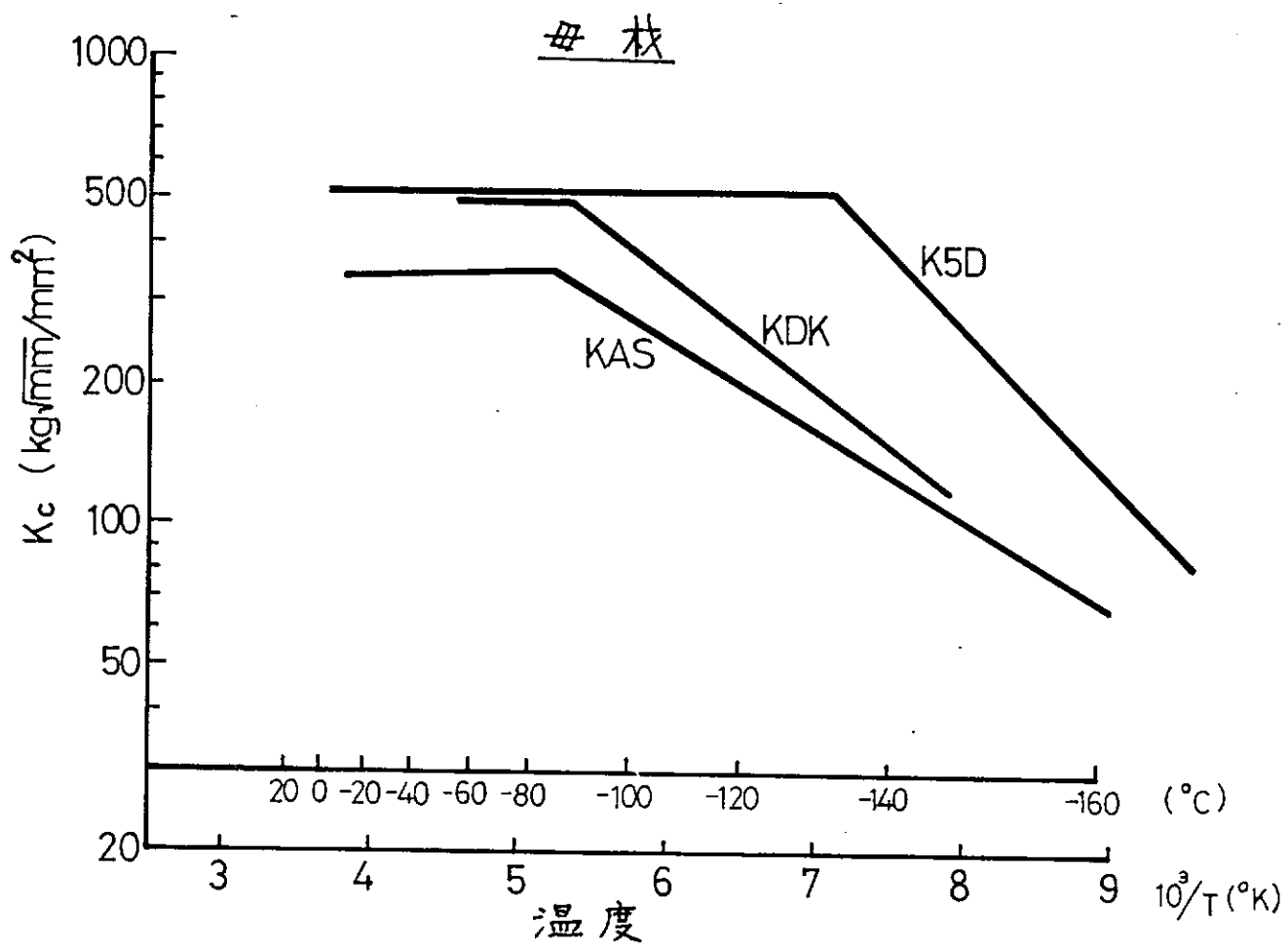


図 5.1.4 (1) 中央切欠大形引張試験結果 (母材)
(K_c 値と温度の関係)

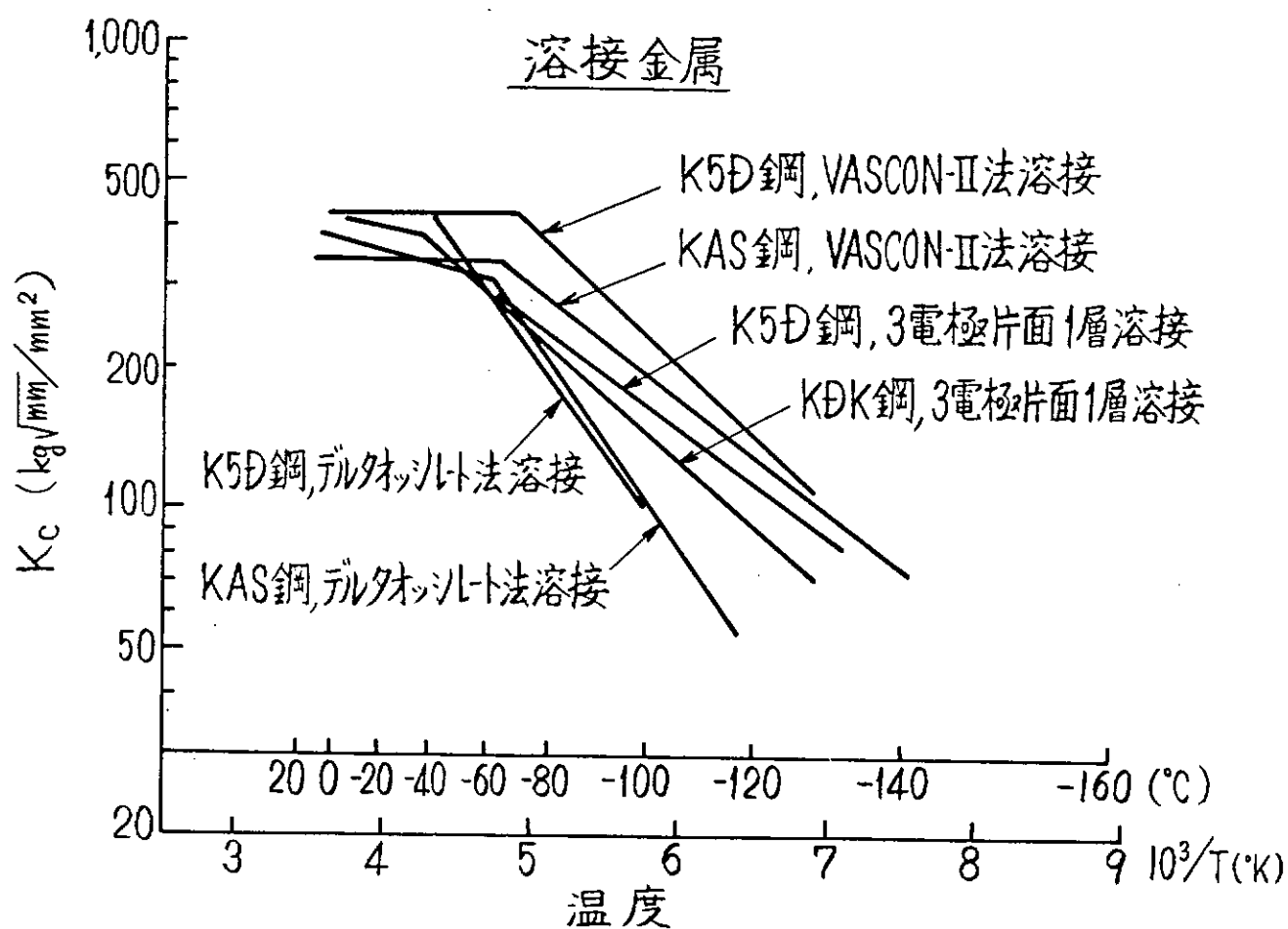


図5.1.4(2) 中央切欠大形引張試験結果(溶接金属)
(K_c 値と温度の関係)

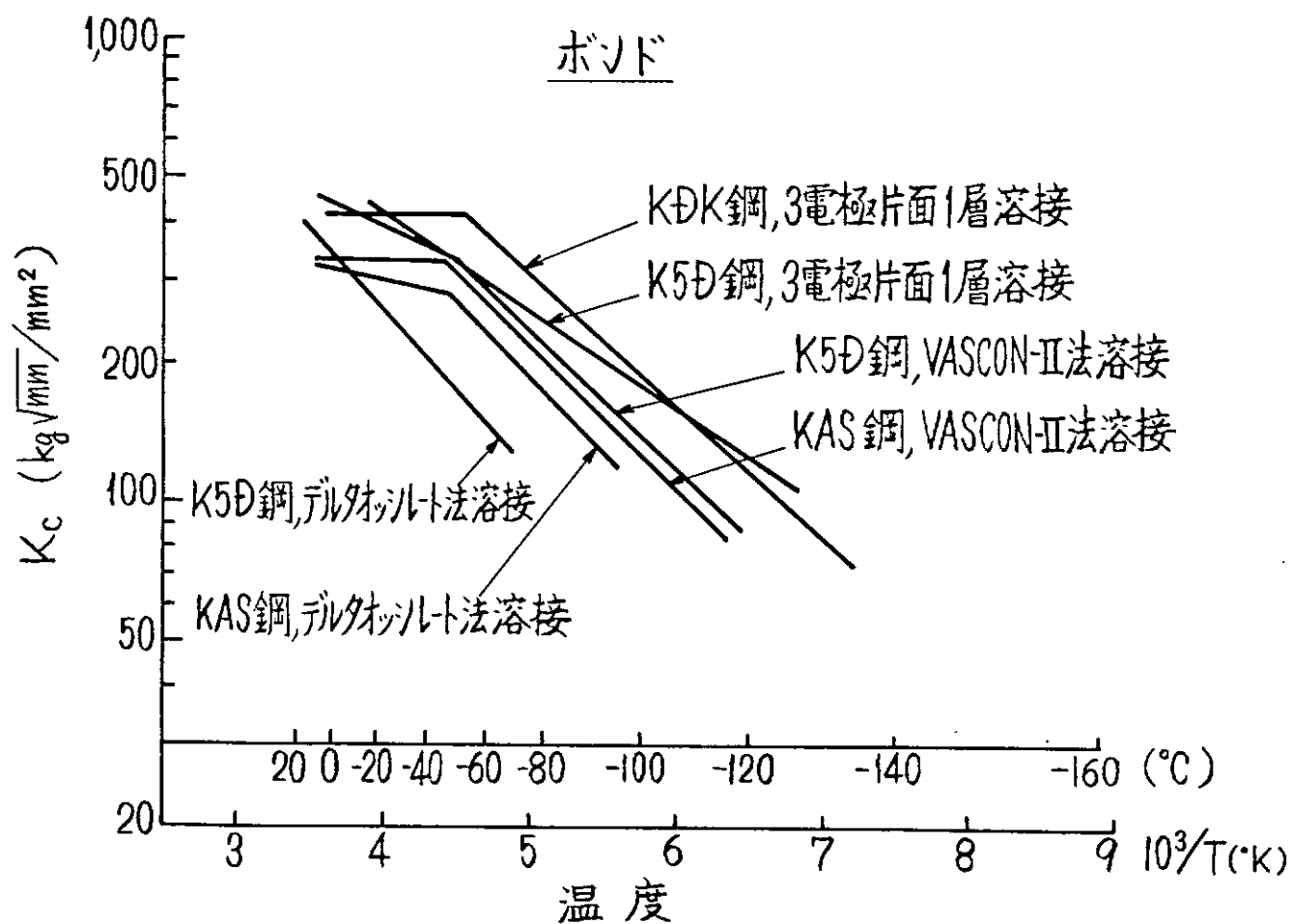
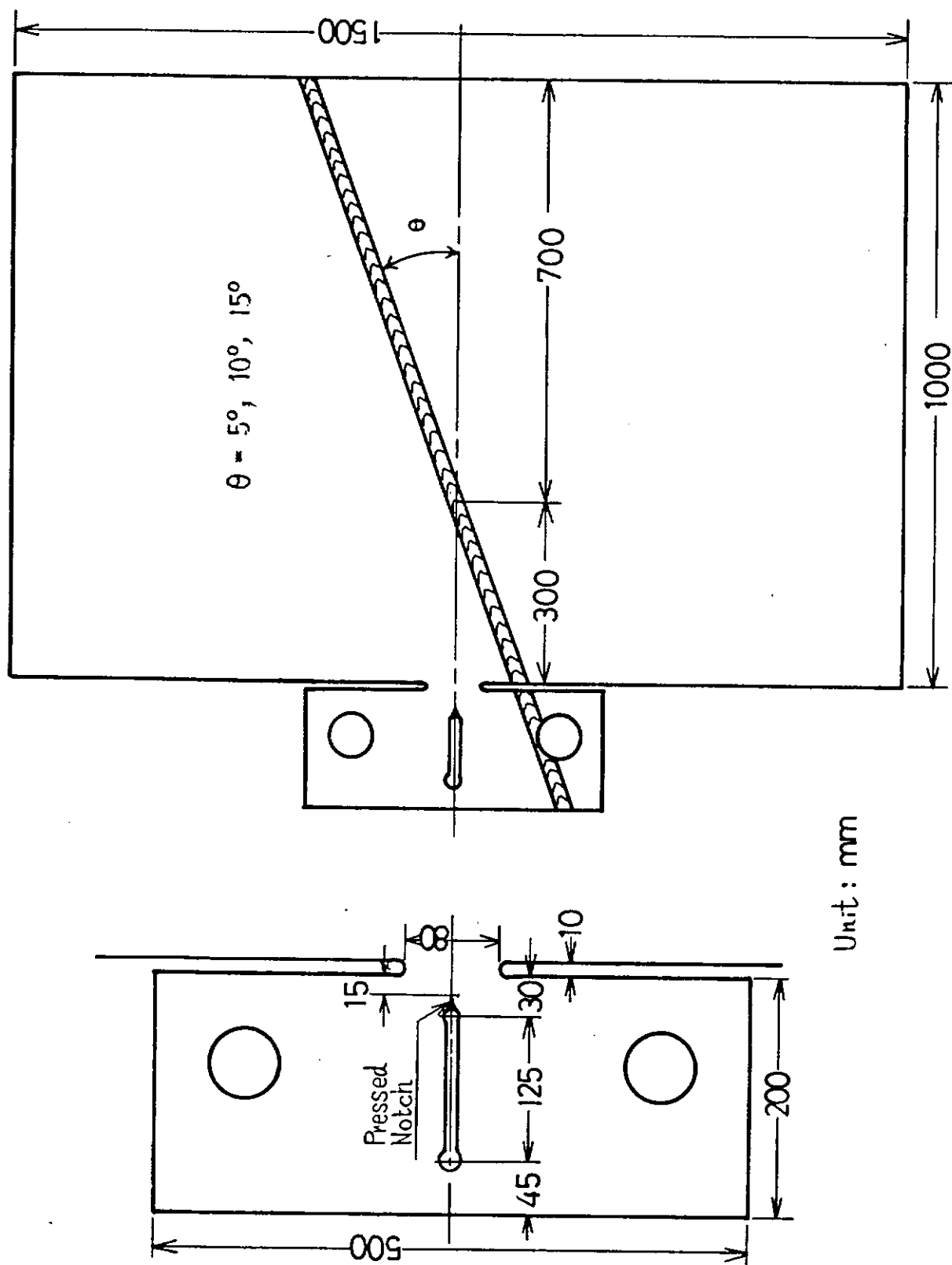


図5.1.4(3) 中央切欠大形引張試験結果(ボンド)
(K_c 値と温度の関係)



Unit : mm

図6.1.1 斜め継手伝播試験片形状（二重引張型，その1）

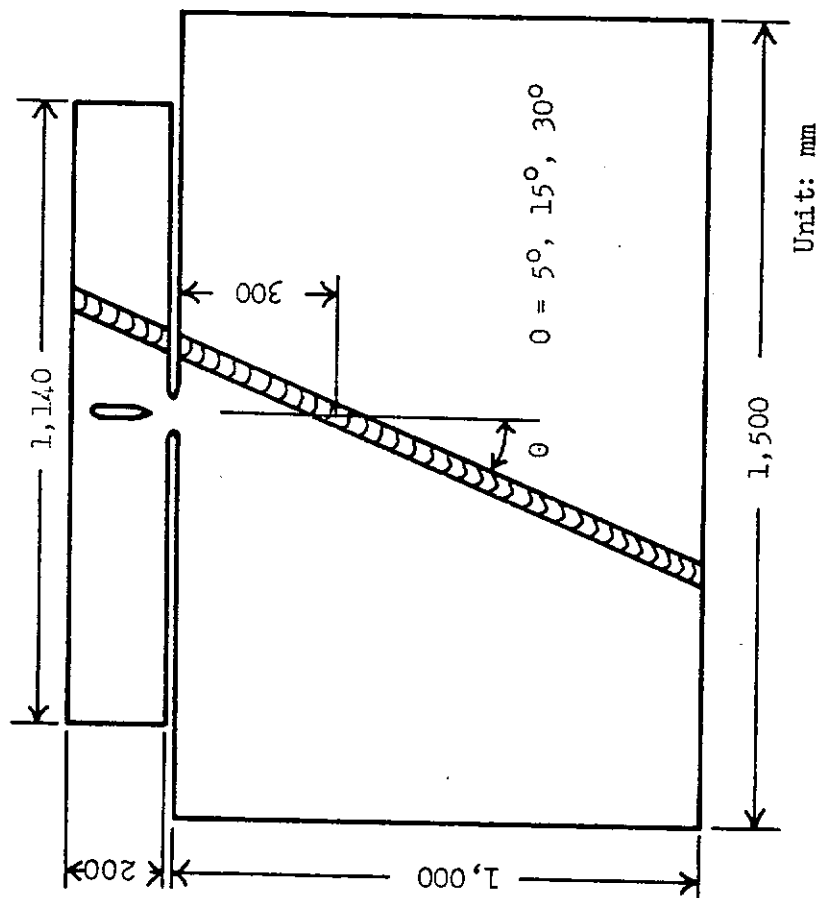
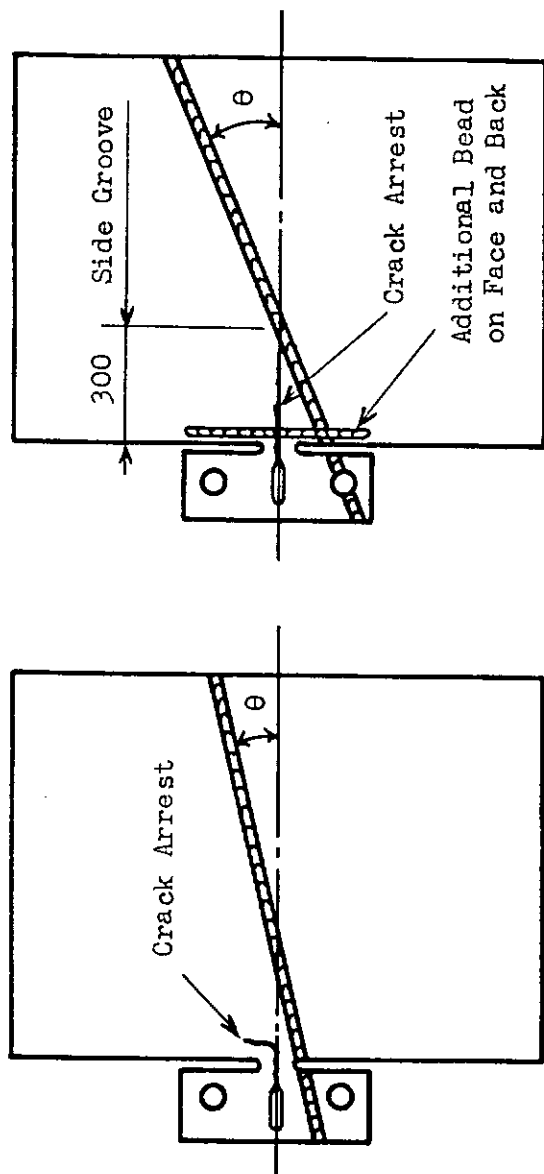


図6.1.2 斜め継手伝播試験片形状（二重引張型，その2）



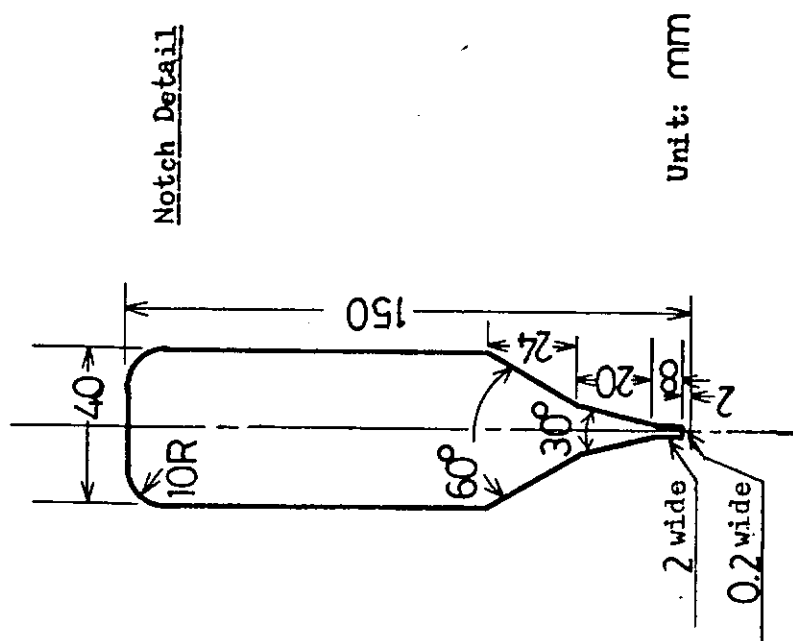
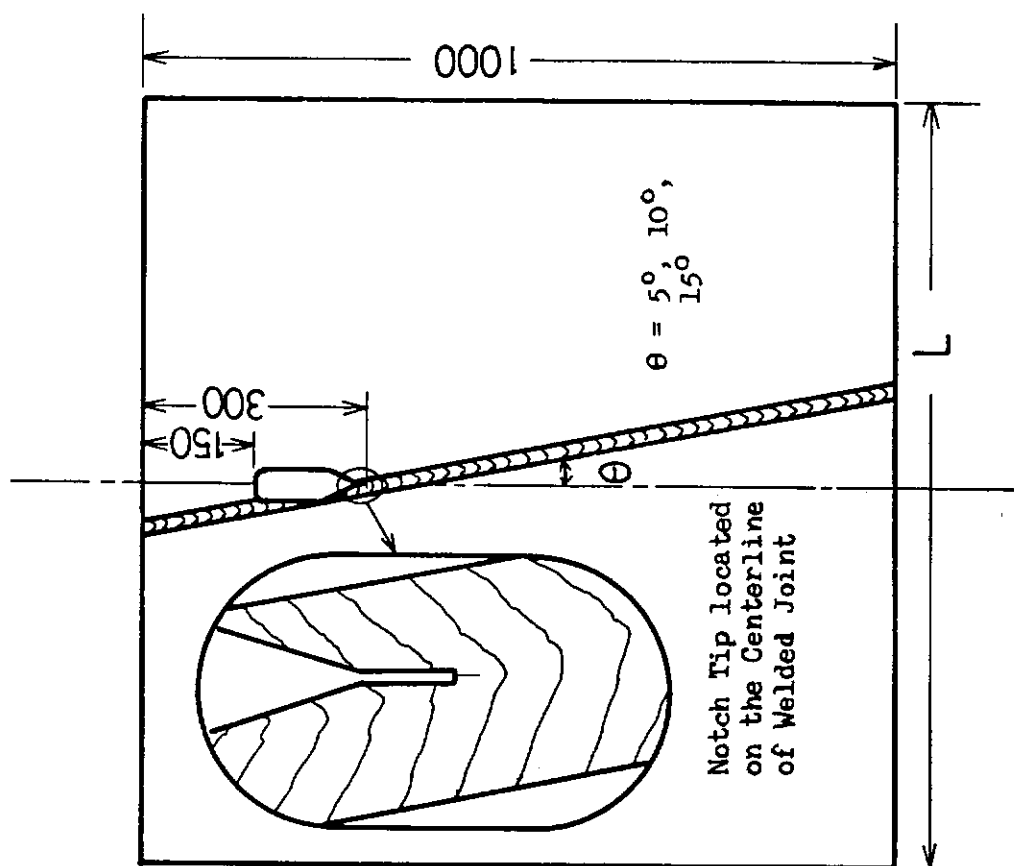
(a) i) $\sigma = 8 \text{ kg/mm}^2$ ($1/4 \sigma_Y$)
 $T = -300^\circ\text{C}$
 $\theta = 50^\circ$

Failed
 ii) $\sigma = 8 \text{ kg/mm}^2$ ($1/4 \sigma_Y$)
 $T = -500^\circ\text{C}$
 $\theta = 100^\circ$
 Failed

(b) $\sigma = 8 \text{ kg/mm}^2$ ($1/4 \sigma_Y$)
 $T = -500^\circ\text{C}$
 $\theta = 150^\circ$

Side Groove: Face-Back
 Length 300 mm
 Depth 5 mm
 Width 1 mm
 Failed

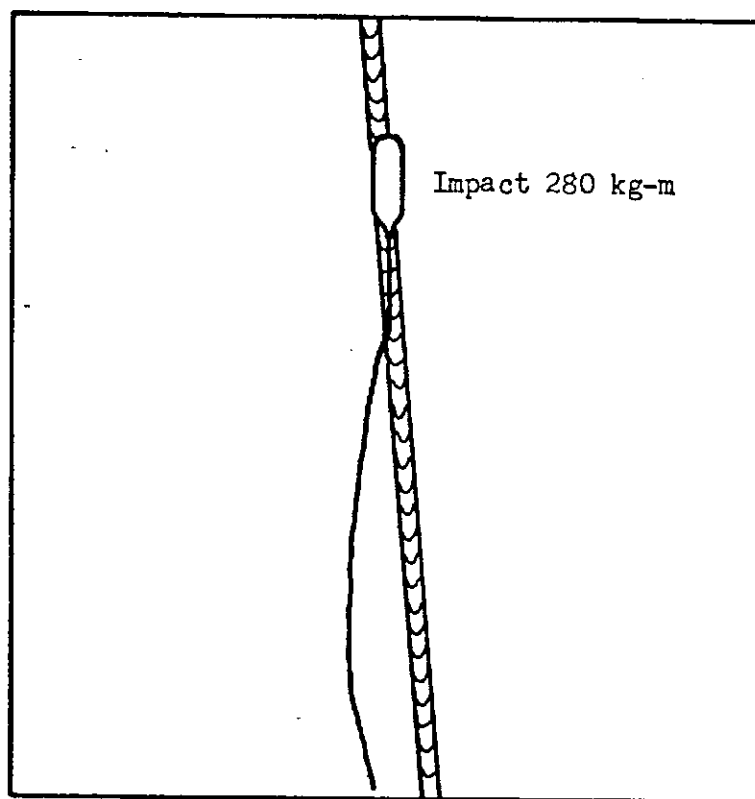
図6.1.3 斜め継手伝播試験結果(二重引張型)
 (低荷重($1/4 \sigma_Y$)での試験結果)



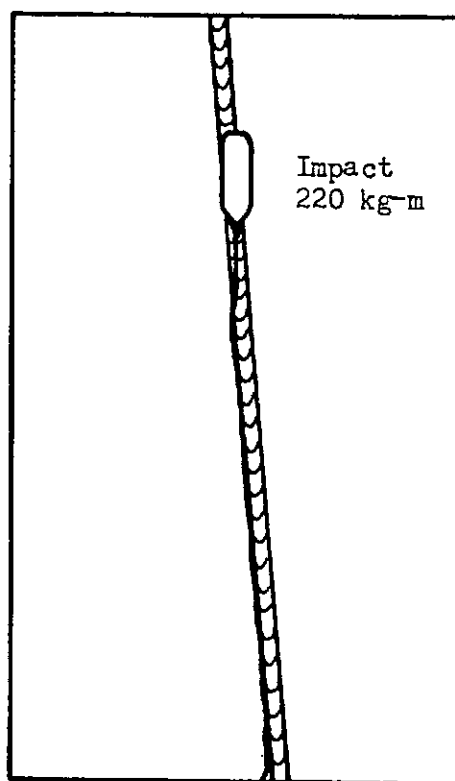
$L = 600$ mm for Test Specimen Nos. 2, 3, 4 and 5

$L = 1000$ mm for Test Specimen Nos. 1 and 6

図 6.1.4 斜め継手伝播試験片形状 (内部切欠型)

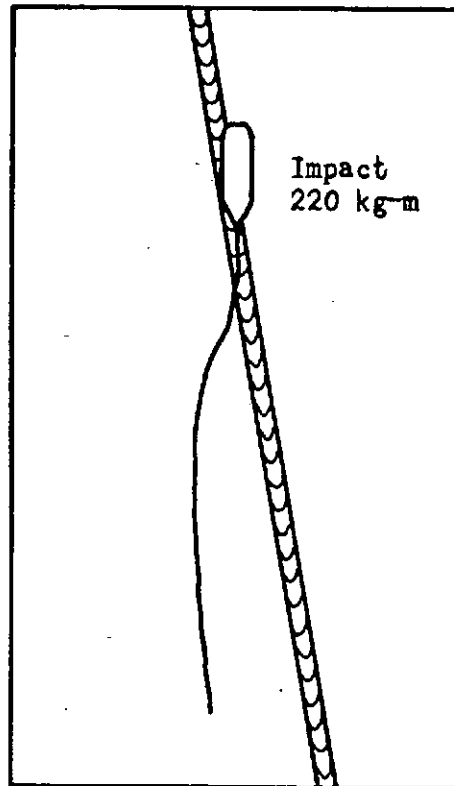


(a) Test Specimen No. 1
 $\sigma = 24 \text{ kg/mm}^2$ ($3/4 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ$

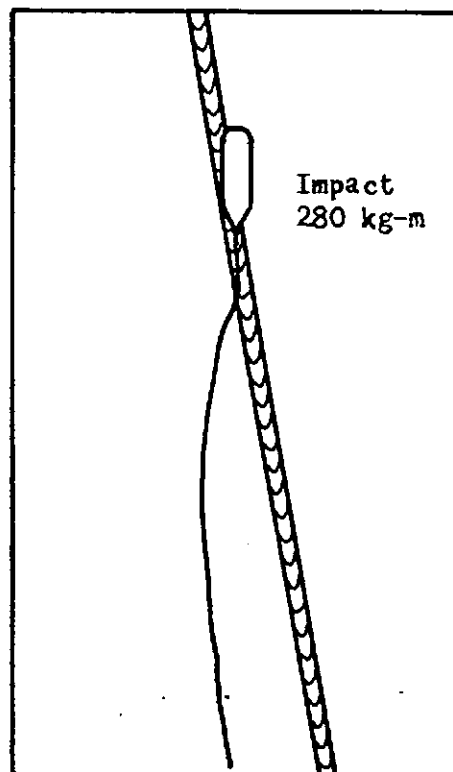


(b) Test Specimen No. 2
 $\sigma = 12 \text{ kg/mm}^2$ ($3/8 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ$

図6.15 斜め継手伝播試験結果(内部切欠型)
 $(\theta = 5^\circ \text{ の場合})$

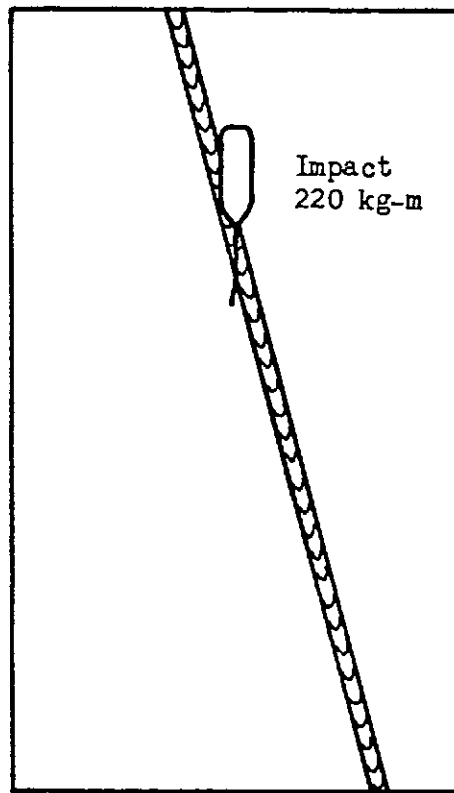


(a) Test Specimen No. 3
 $\sigma = 16 \text{ kg/mm}^2$ ($1/2 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ\text{C}$

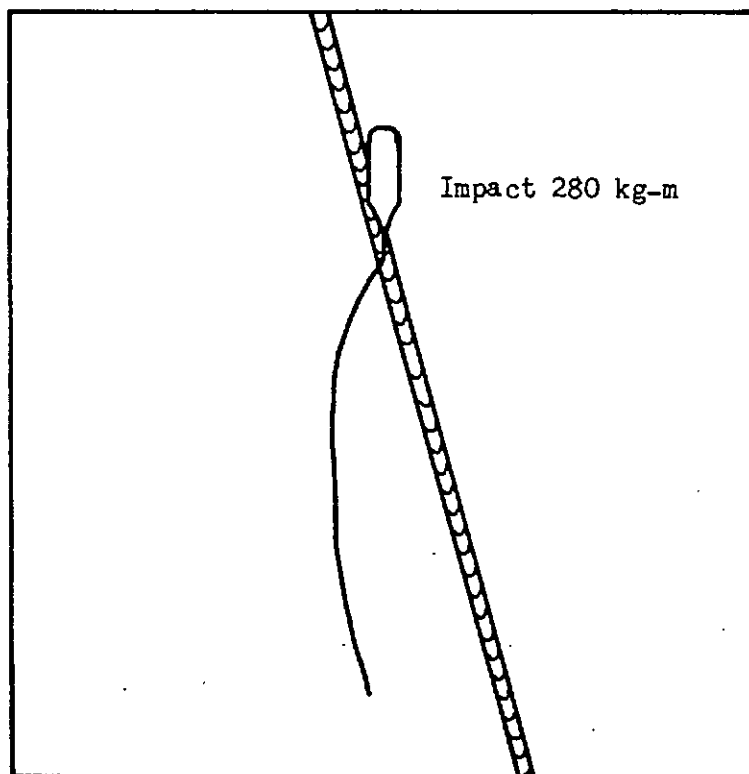


(b) Test Specimen No. 4
 $\sigma = 20 \text{ kg/mm}^2$ ($5/8 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ\text{C}$

図6.1.6 斜め継手伝播試験結果(内部切欠型)
 $(\theta = 10^\circ \text{の場合})$



(a) Test Specimen No. 5
 $\sigma = 24 \text{ kg/mm}^2$ ($3/4 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ\text{C}$



(b) Test Specimen No. 6
 $\sigma = 12 \text{ kg/mm}^2$ ($3/8 \sigma_Y$)
 $T = -30^\circ\text{C}$

図6.1.7 斜め継手伝播試験結果(内部切欠型)
 $(\theta = 15^\circ \text{の場合})$

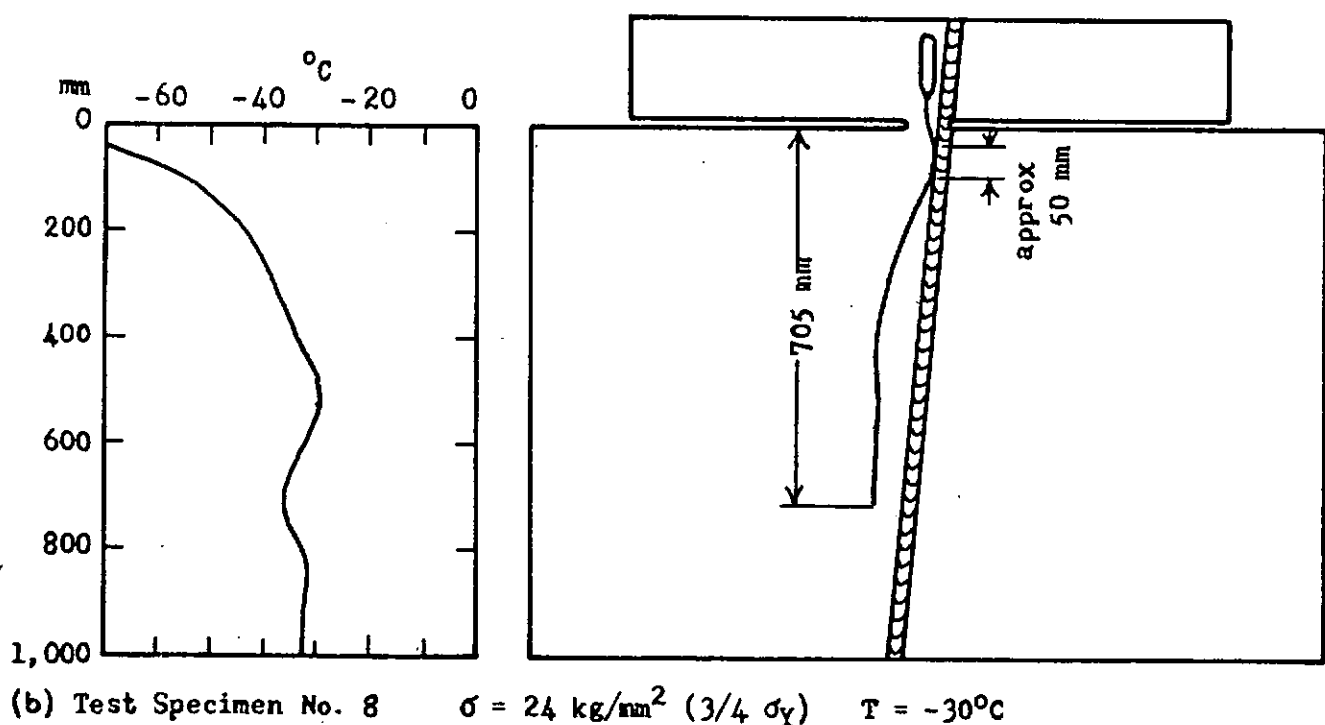
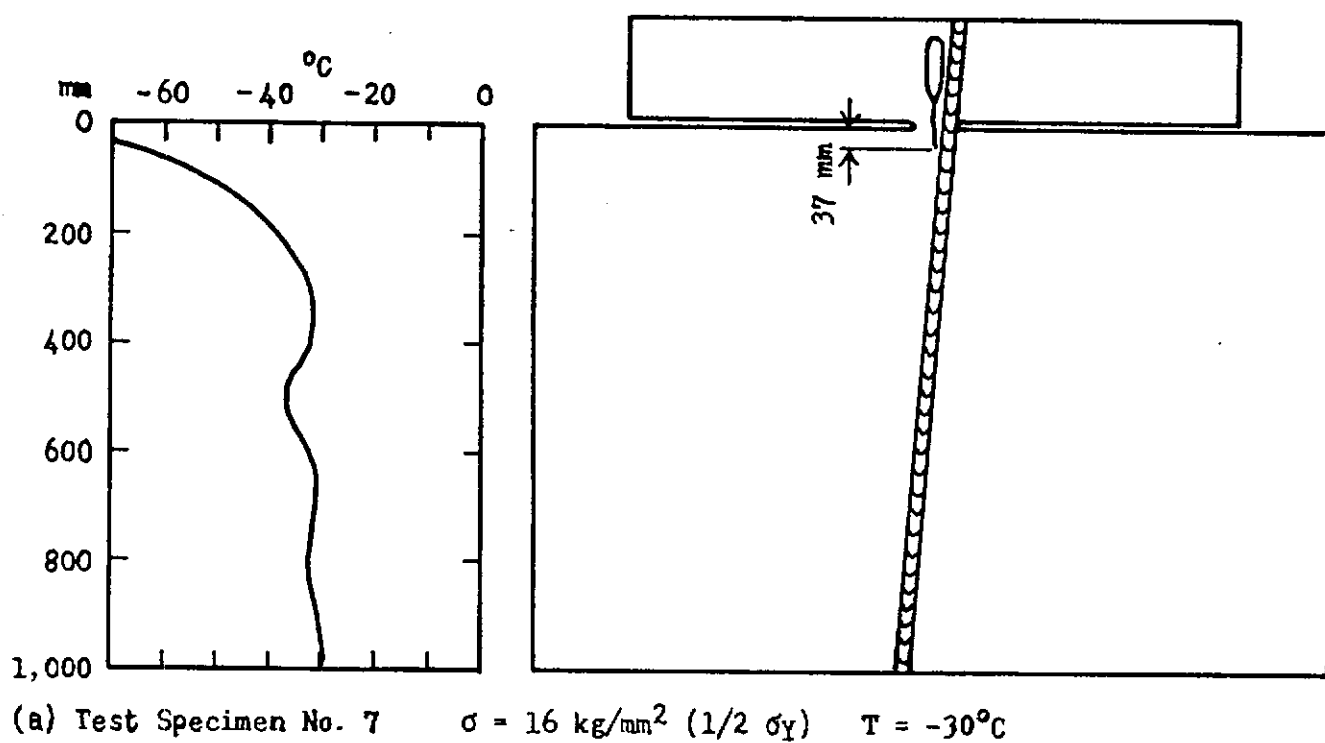


図6.1.8 斜め継手伝播試験結果 (二重引張型)
($\theta=5^\circ$ の場合)

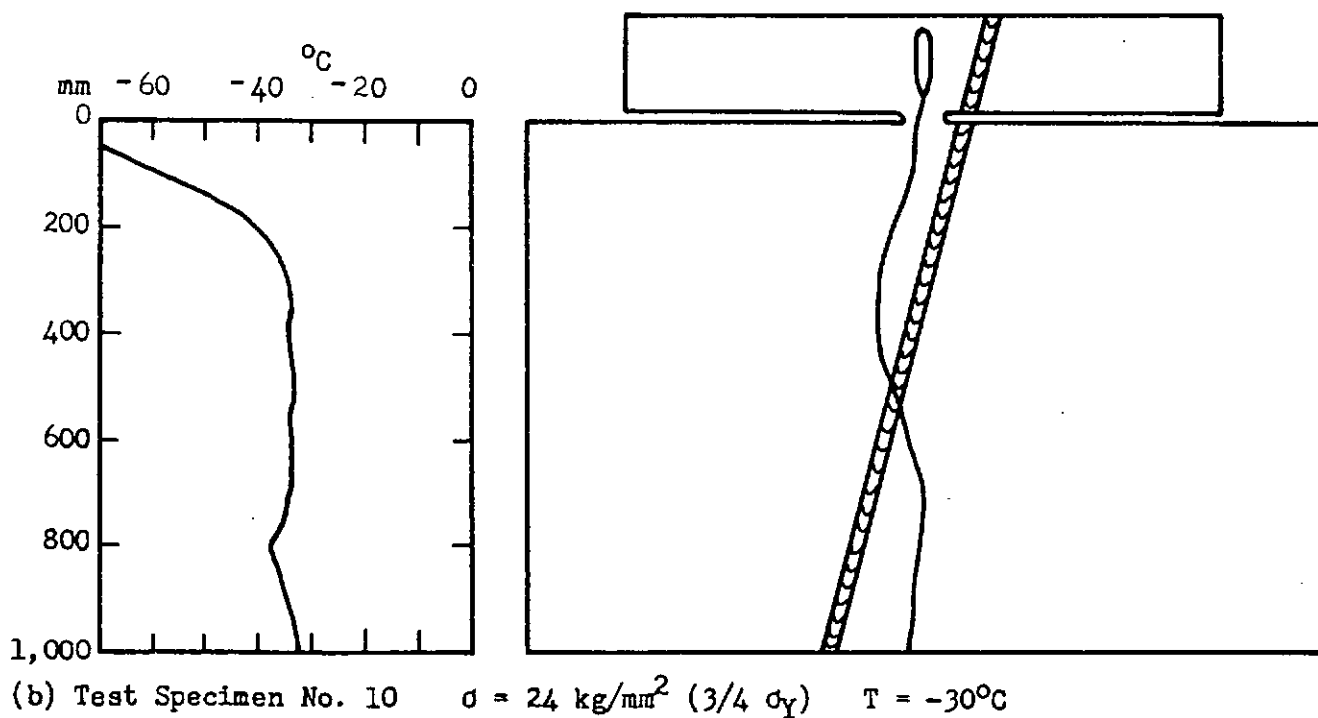
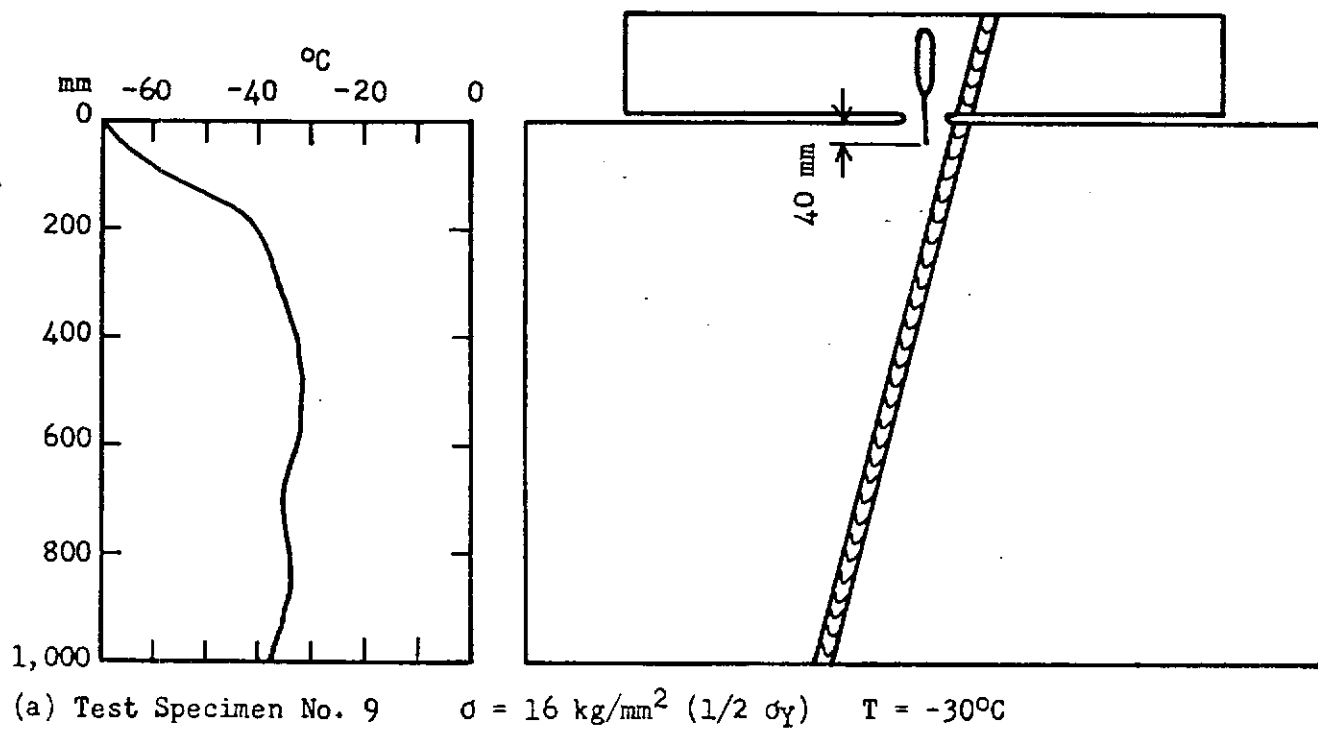


図6.1.9 斜め継手伝播試験結果(二重引張型)
($\theta = 15^\circ$ の場合)

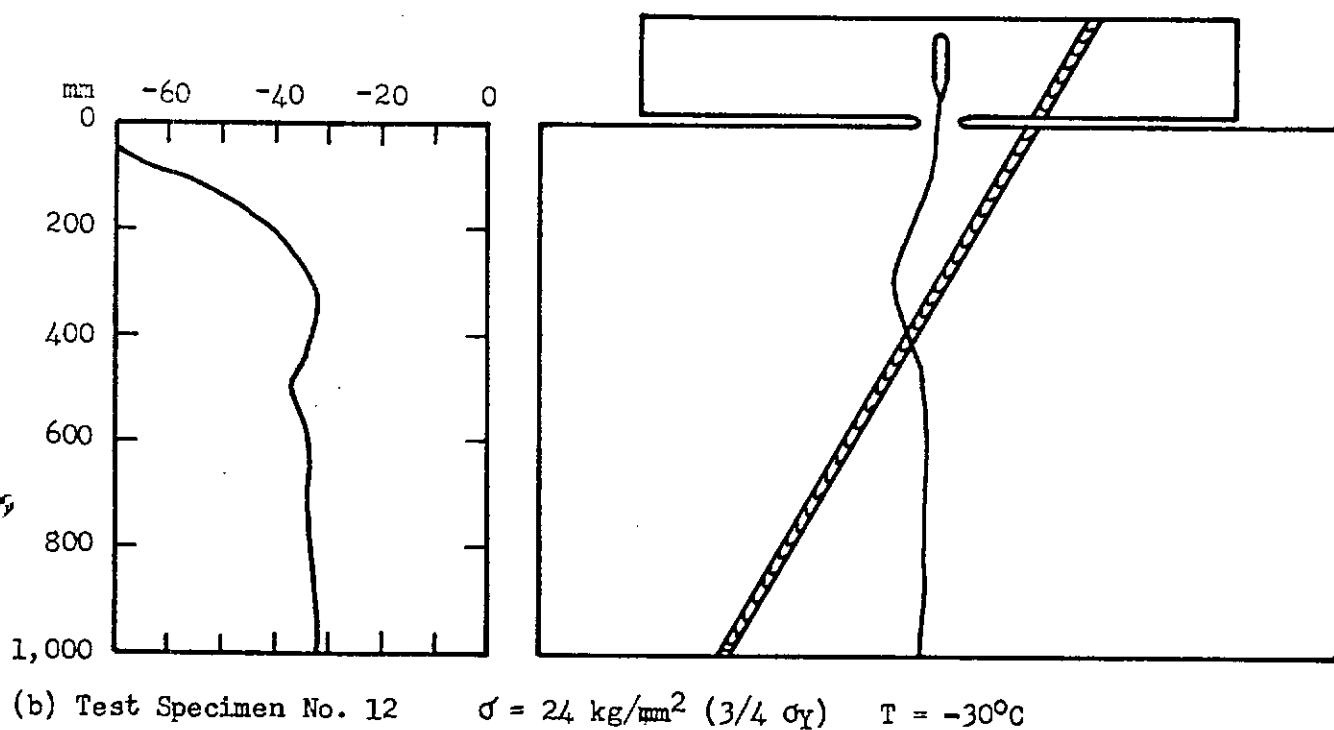
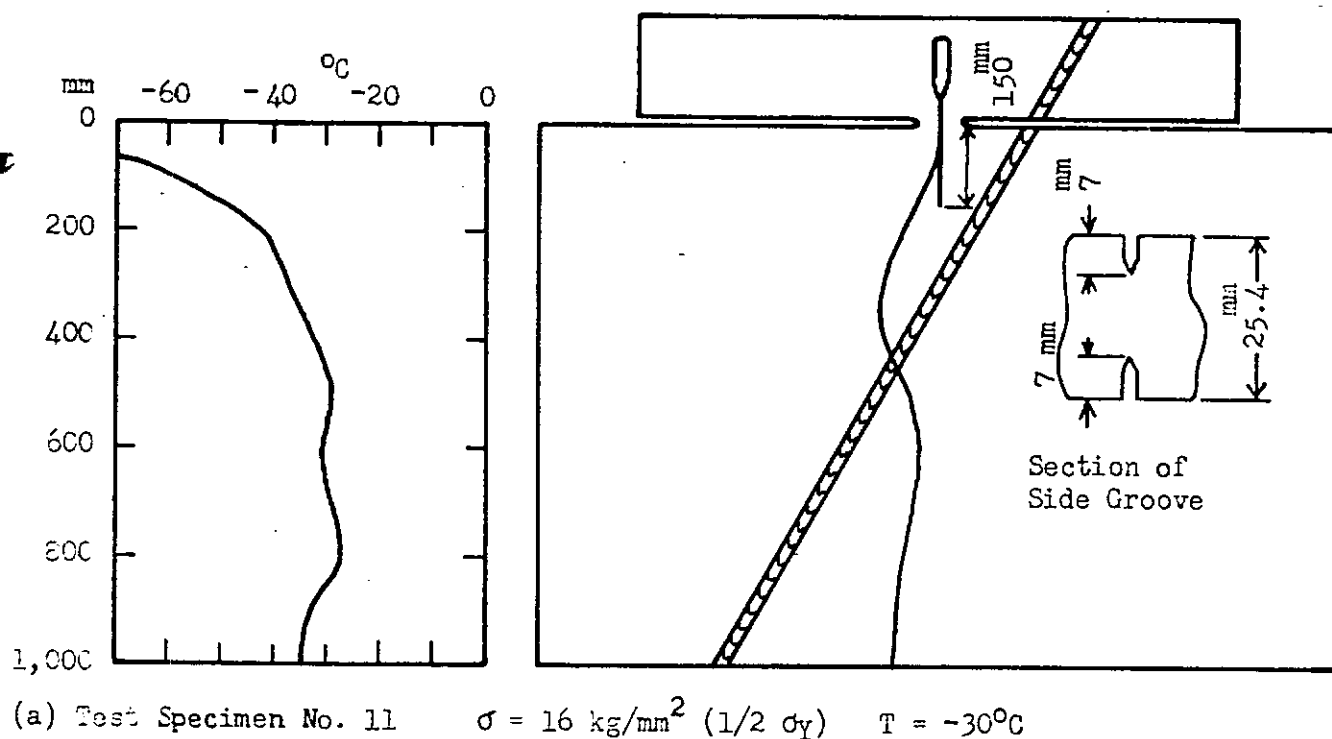


図6.1.10 斜め継手伝播試験結果(二重引張型)
($\theta = 30^\circ$ の場合)

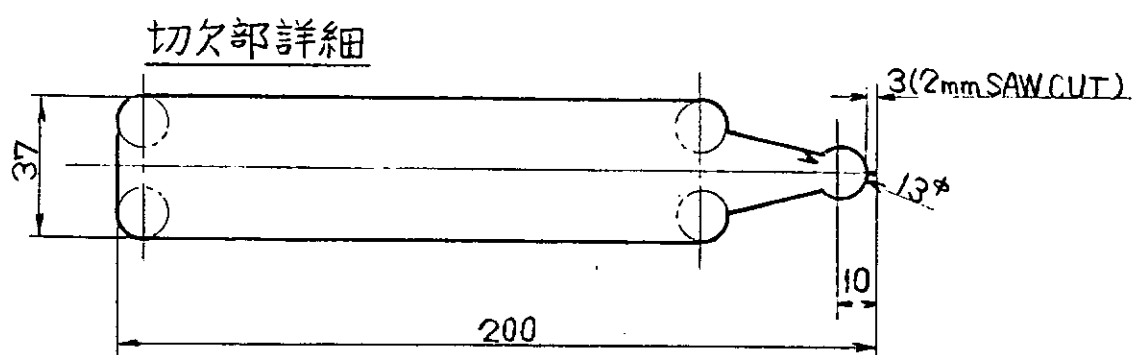
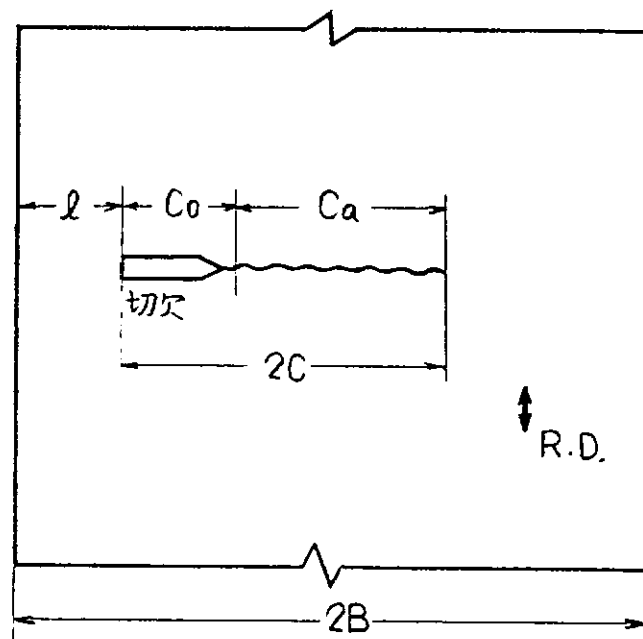


図6.2.1 伝播特性試験片形状

表 6.2.1 伝播特性試験結果一覧
(K5D鋼母材およびエレクトロガス溶接継ぎ)

鋼種	溶接法	試験番号	試験片寸法			試験温度 分布形式	衝撃エネルギー E_I (kg·m)	ガス応力 σ_g (kg/mm ²)	停止距離 C_a (mm)	停止温度 T_a (°C)	脆性破壊 伝播抵抗値 K_{ICa} (kg√mm/mm ^{3/2})	備考
			2B (mm)	C_0 (mm)	l (mm)							
K5D (25.4)	母材	K5D-M-1	1,500	200	200	平坦	300	20	—	—	—	試験温度 0°C 平坦 温度分布では、ノッチ部に 衝撃エネルギーを与えても脆性亀裂は発生せず。
		K5D-M-1 Re Test	1,500	200	200	勾配	300	20	660	-3	904	ノッチ先端温度を-66°Cにして再試験、破壊発生。
		K5D-M-2	1,500	200	200	平坦	300	20	437	-2	728	① ノッチ先端温度 -32°C にて破壊せず。 ② ノッチ先端温度 -57°C で破壊発生。
	エレクトロガス	K5D-EG-1	1,500	200	200	平坦	300	20	613	-1	866	クラックはボルトを 593mm 伝播後 母材にそれ停止。
		K5D-EG-2	2,000	200	300	平坦	300	15	100	-10	339	クラックはボルトを 85mm 伝播後 母材にそれ停止。
		K5D-EG-4	1,400	200	200	平坦	300	22	160	-12	571	① ノッチ先端温度 0°C で未破壊。 ② クラックはボルトを 130mm 伝播後 母材にそれ停止。
		K5D-EG-5	2,000	200	200	平坦	300	15	290	-7	466	ボルト停止。
		K5D-EG-6	1,500	200	200	平坦	300	20	195	-1	544	クラックはボルトを 180mm 伝播後 母材にそれ停止。

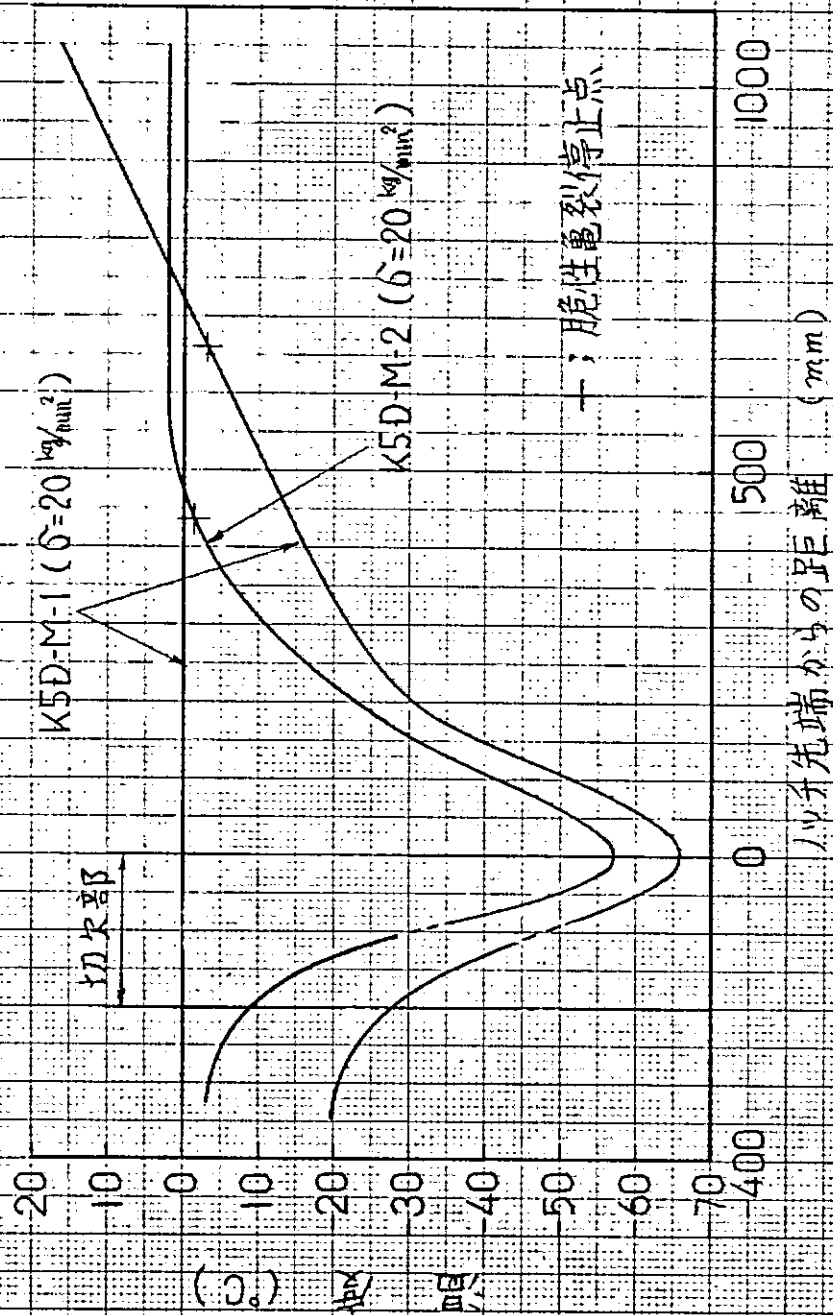


図6.2.2 伝播特性試験における温度分布
(K5D鋼, 板厚25.4 mm, 母材)

K5D-EG-4 K5D-EG-1.6 K5D-EG-2.5

K5D-EG-2 ($\delta=15 \text{ kg/mm}^2$, $T_a=-10^\circ\text{C}$)

K5D-EG-4 ($\delta=22 \text{ kg/mm}^2$, $T_a=-12^\circ\text{C}$)

K5D-EG-6 ($\delta=20 \text{ kg/mm}^2$, $T_a=-1^\circ\text{C}$)

K5D-EG-5 ($\delta=15 \text{ kg/mm}^2$, $T_a=-7^\circ\text{C}$) K5D-EG-1 ($\delta=20 \text{ kg/mm}^2$, $T_a=-1^\circ\text{C}$)

100 mm
100 mm

図 6.2.4 伝播特性試験による脆性亀裂伝播経路
(K5D鋼, 板厚 25.4 mm, エレクトロガス溶接継手)

記号	鋼 種	切欠位置	備 考
○	注) K5D鋼(25.4)	母 材	中形伝播試験
●		エレクトラス溶接部	
△	注) K5D鋼(25.4)	母 材	大形伝播試験(参考)

注) 表3.1参照

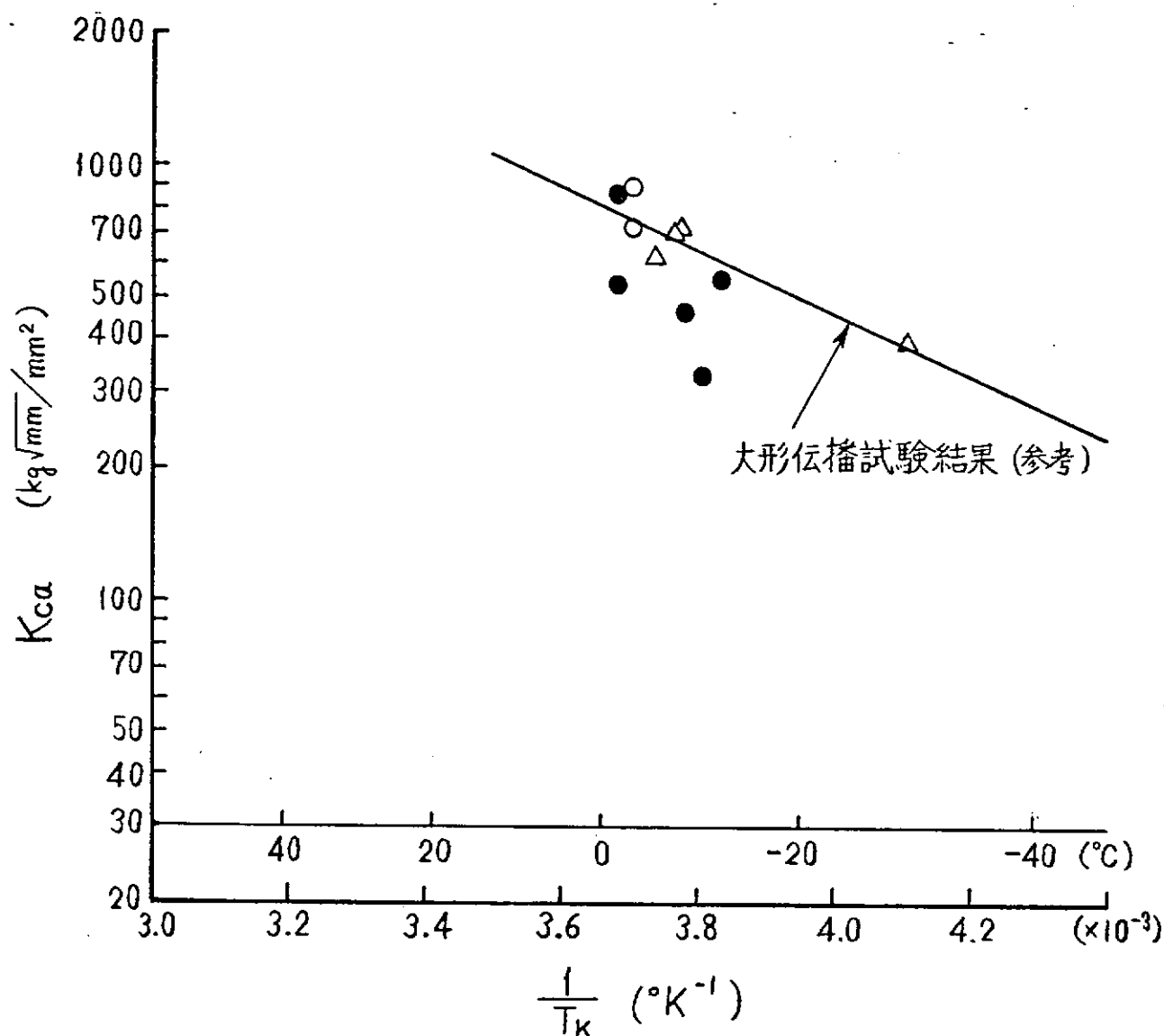


図6.2.5 伝播特性試験によるK5D鋼母材およびエレクトラス溶接継手部の脆性破壊伝播特性

表6.3.1 大形伝播試験内容一覧

鋼種	溶接法	板幅 (mm)	使用試験機および試験片と タフ板との溶接に用いた溶接法*
KAS (25.4)	(母材)	2,000	A
	VASCON-II法		
	デルタオシレート法	2,000 または 1,500	
KDK (25.4)	(母材)	2,000	B
	3電極片面1層		
K5D (25.4)	(母材)	2,000 または 1,700	A
	VASCON-II法	2,000 または 1,500	
	3電極片面1層	2,000	B
	デルタオシレート法		

* A; 800tonテストリグ (ピン間距離約6m), CO₂半自動溶接

B; 3000tonテストリグ (ピン間距離約5m), 消耗/ズリ式エレクトロslag溶接

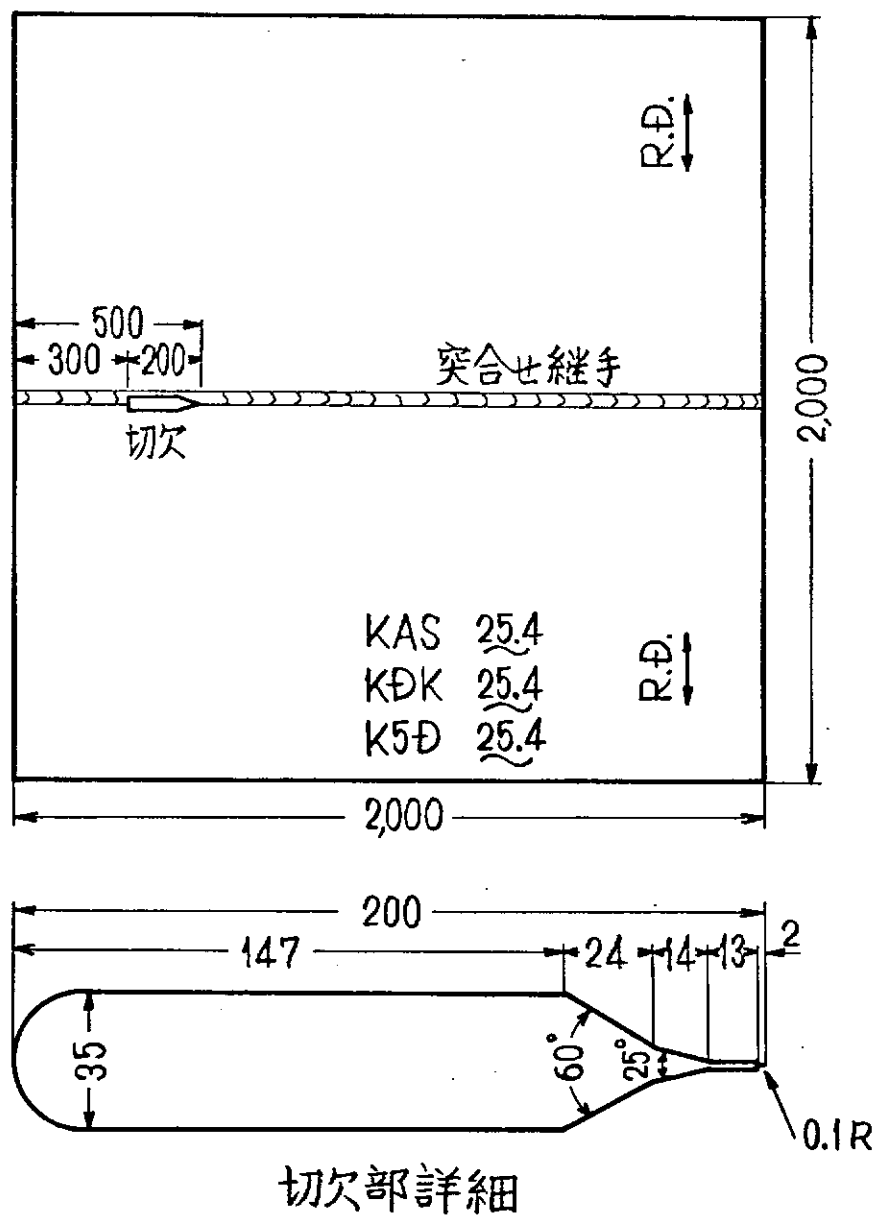
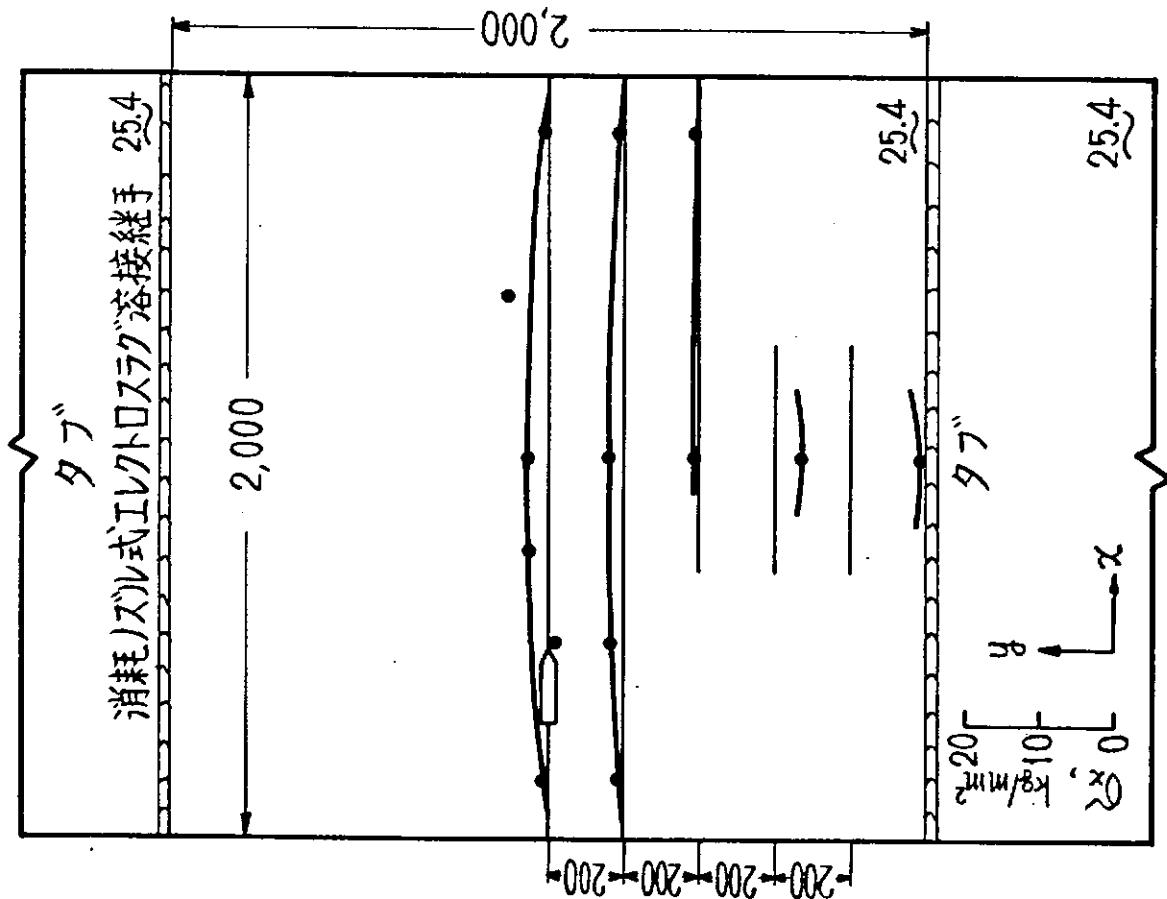
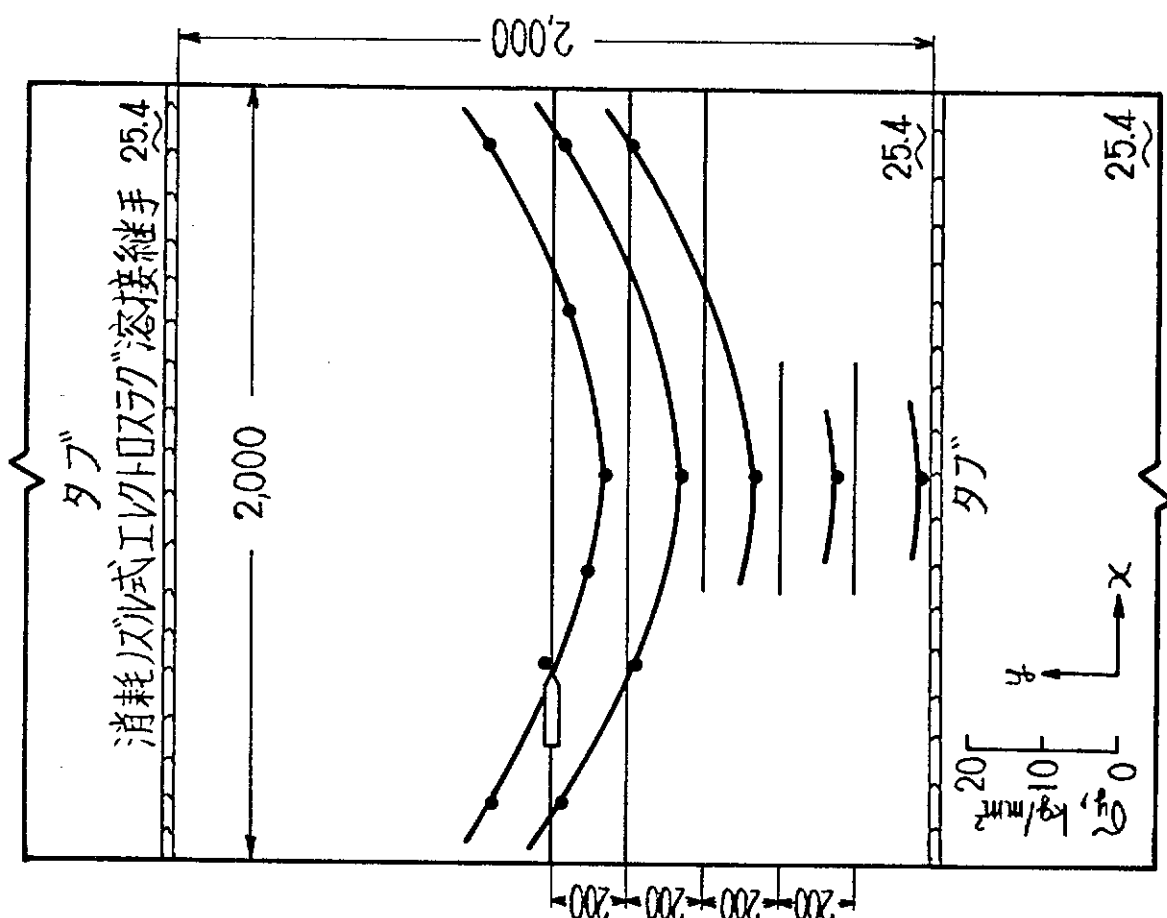


図 6.3.1 大形伝播試験片形状



a) X方向の残留応力



b) Y方向の残留応力

図6.3.2 タブ溶接による試験片中央部附近での残留応力測定結果
(KDK鋼, 板厚25.4mm, 母材試験片)

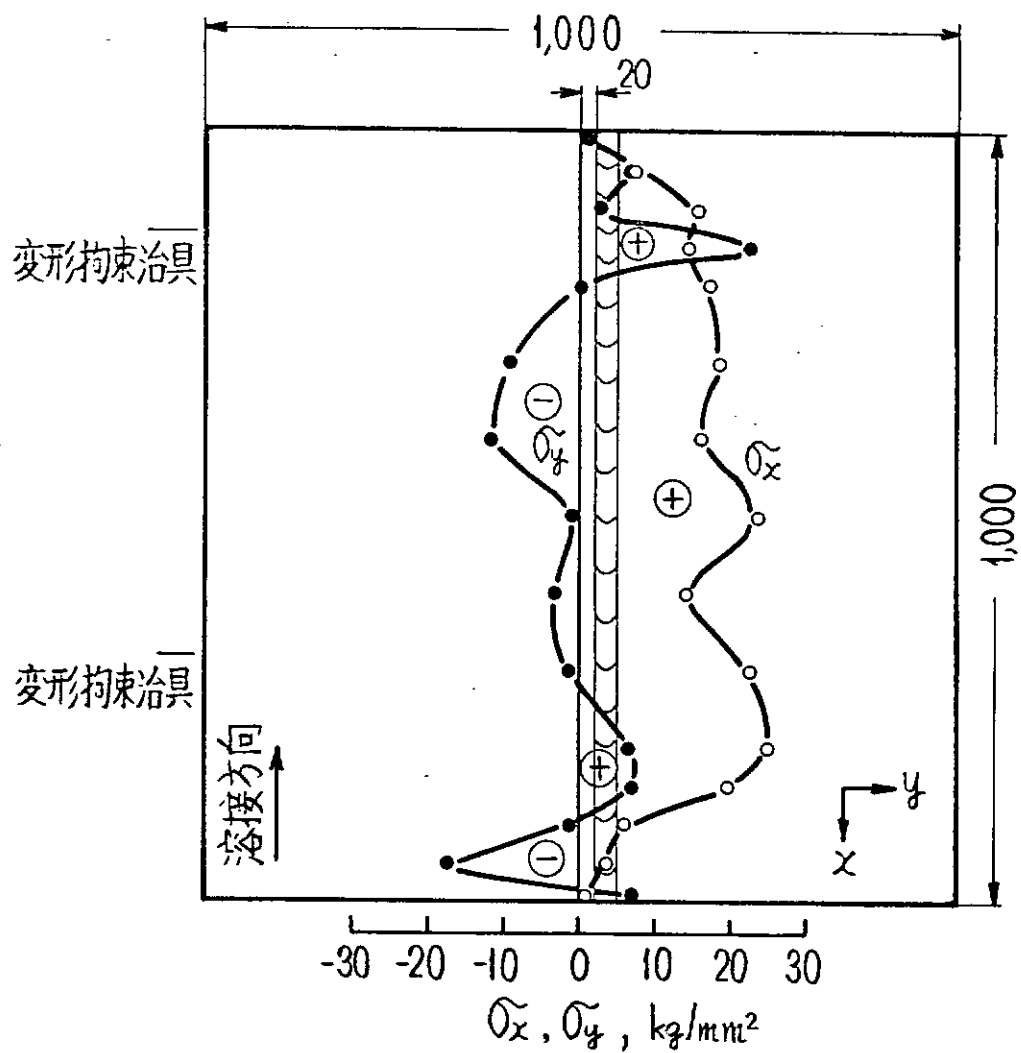


図6.3.3 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接継手部の残留応力
(KDK鋼, 板厚25.4mm)

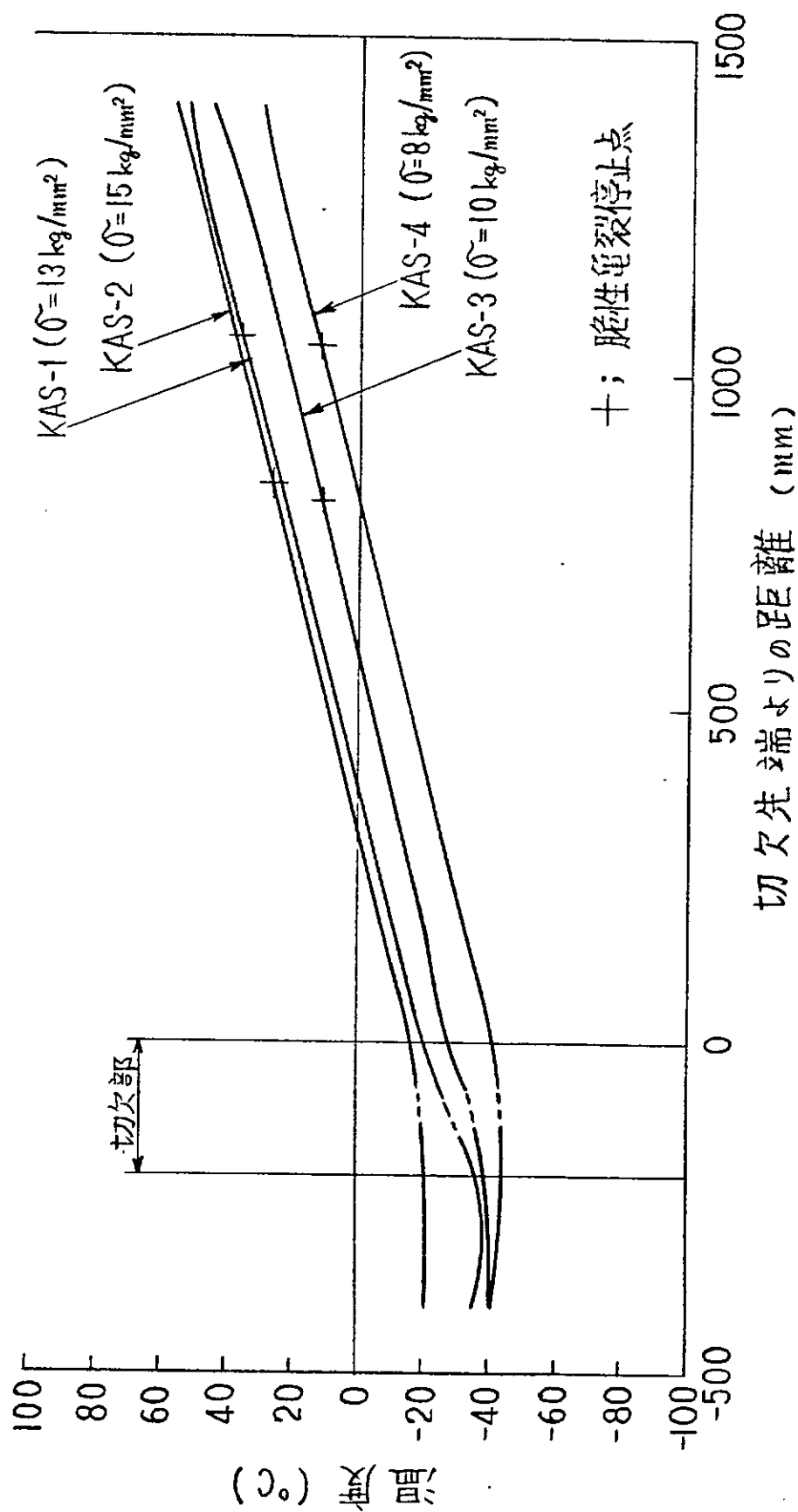


図6.3.4 大形伝播試験における温度分布
(KAS鋼, 板厚25.4 mm, 母材)

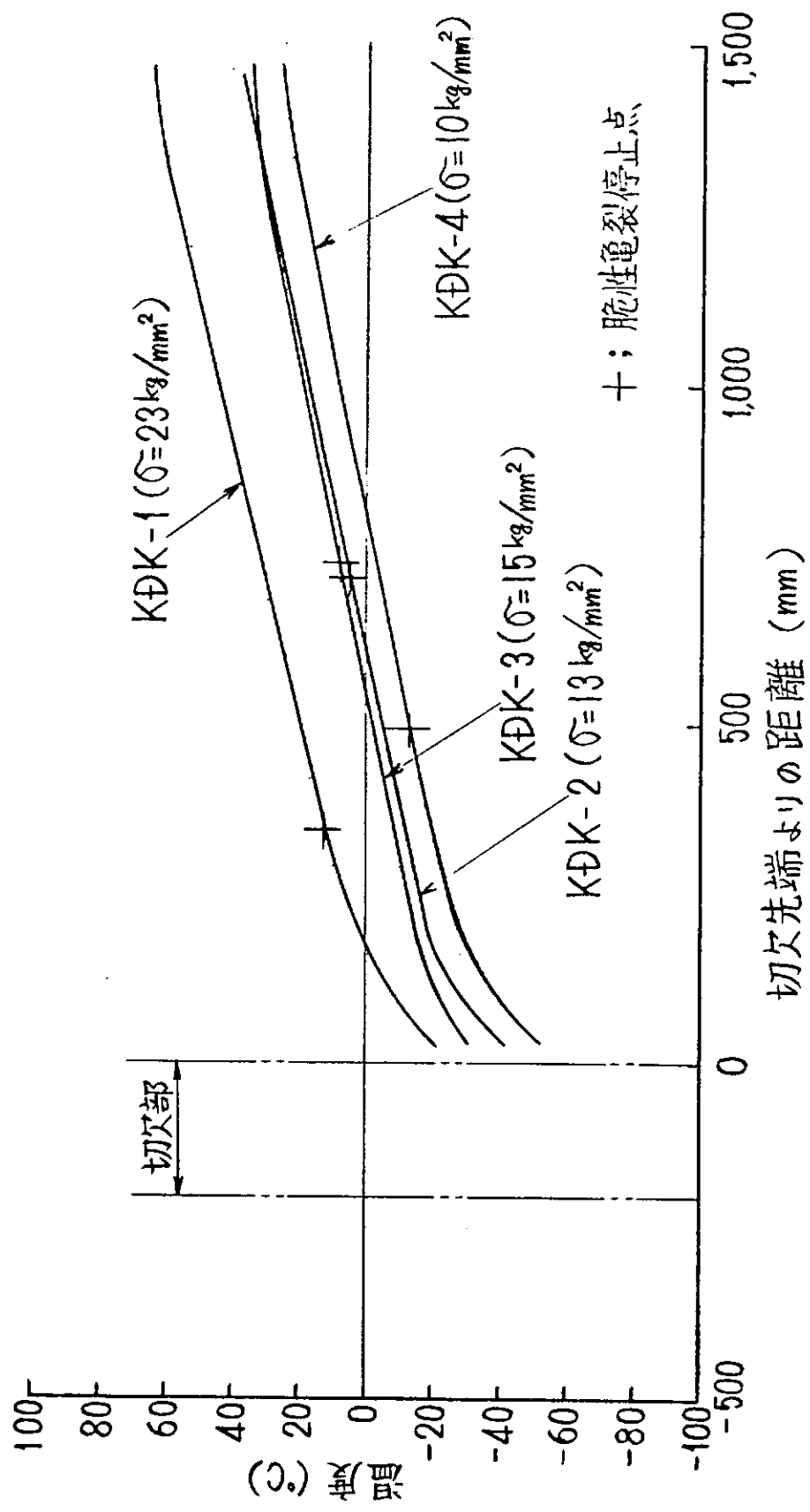


図6.3.5 大形伝播試験における温度分布
(KDK鋼, 板厚 25.4 mm, 母材)

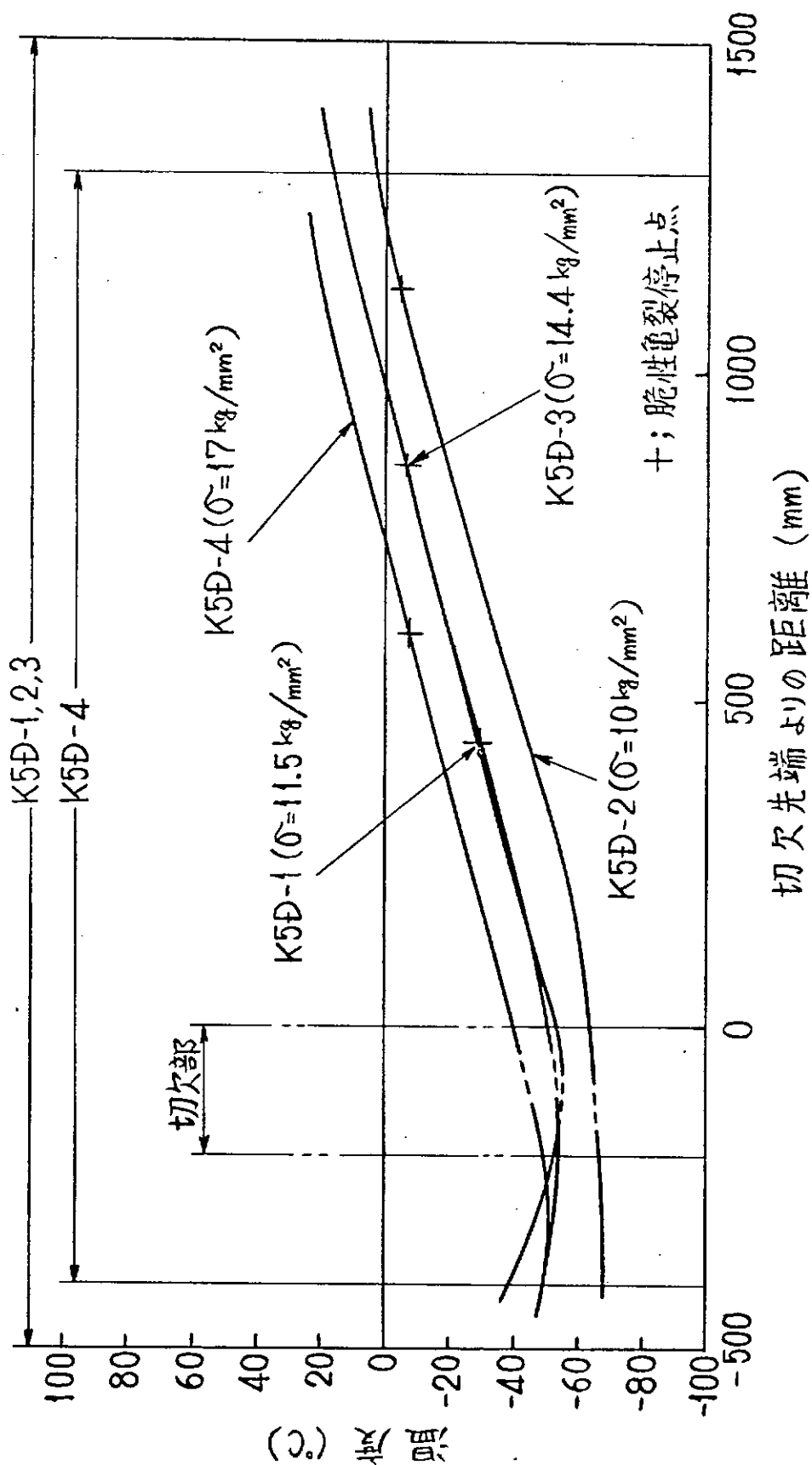


図6.3.6 大形伝播試験における温度分布
(K5D鋼, 板厚 25.4 mm, 母材)

表6.3.2 各種母材の大形伝播試験結果一覧

鋼種	試験片符号	試験温度 分布形式	衝撃エネルギー E_I (kg·m)	グロス応力 σ_g (kg/mm ²)	停止クラック長さ C_a (mm)	停止温度		脆性破壊伝播抵抗値 K_{ca} (kg√mm/mm ²)
						T_a (°C)	$10^3/T_k$ (°K ⁻¹)	
KAS (25.4)	KAS-1	勾配型	235	13.0	1055	36	3.24	754
	KAS-2			15.0	835	26	3.34	723
	KAS-3			10.0	810	11	3.52	472
	KAS-4			8.0	1040	12	3.51	457
KDK (25.4)	KDK-1	勾配型	170	23.0	345	13	3.50	575
	KDK-2			13.0	712	5	3.60	297
	KDK-3			15.0	736	8	3.56	394
	KDK-4			10.0	496	-13	3.85	150
K5D (25.4)	K5D-1	勾配型	235	11.5	430	-29	4.10	401
	K5D-2			10.0	1130	-5	3.73	626
	K5D-3			14.4	860	-7	3.76	710
	K5D-4			17.0	600	-8	3.77	723

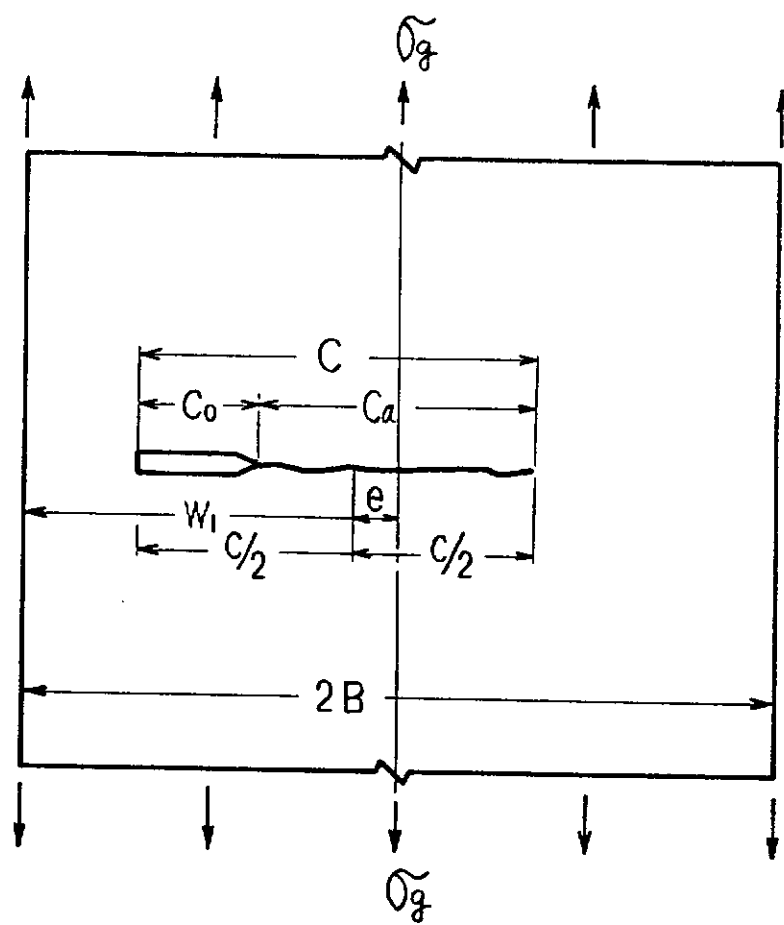


図6.3.7 偏心クラックを有する有限板

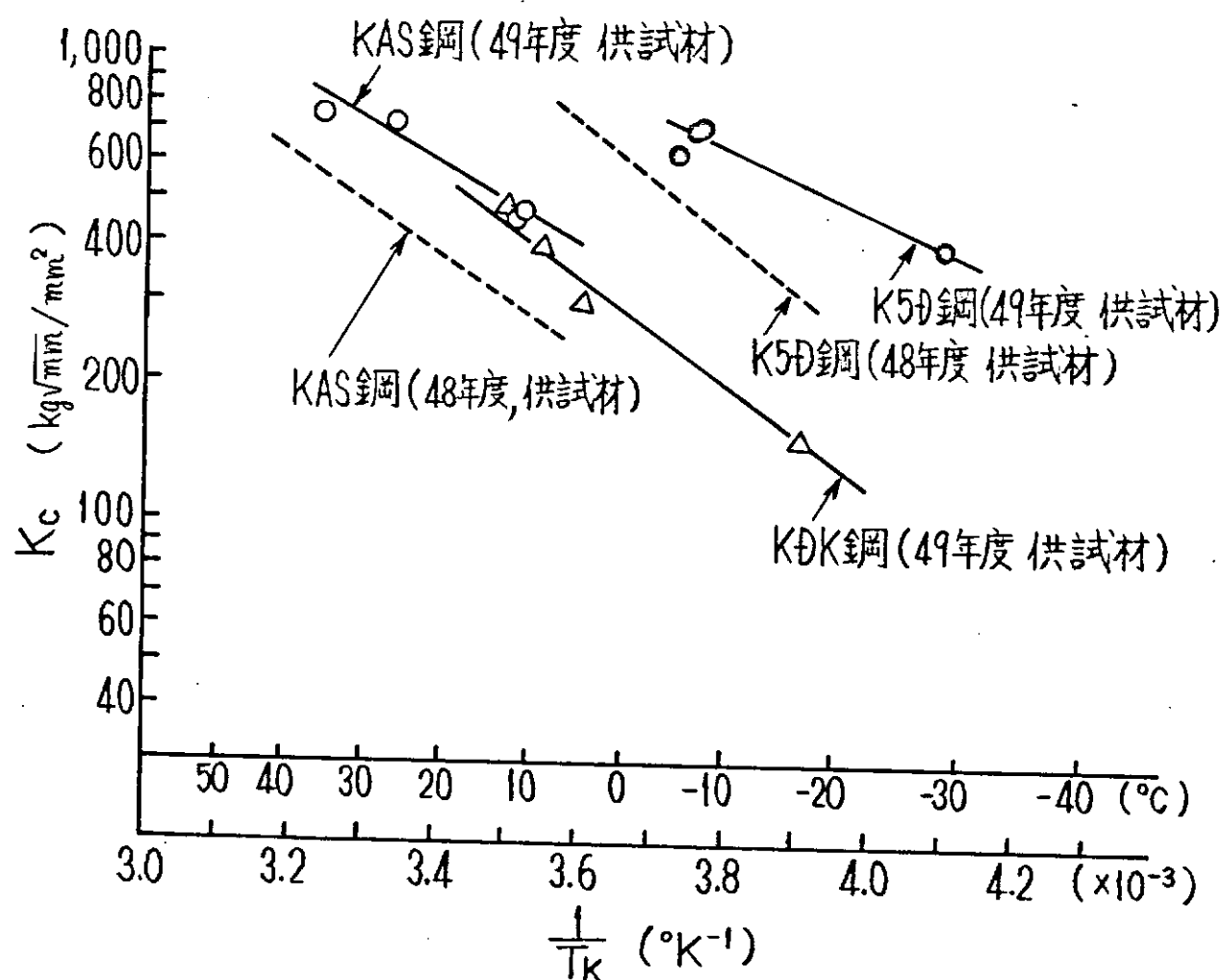


図6.3.8 大形伝播試験による各種母材の脆性破壊伝播特性

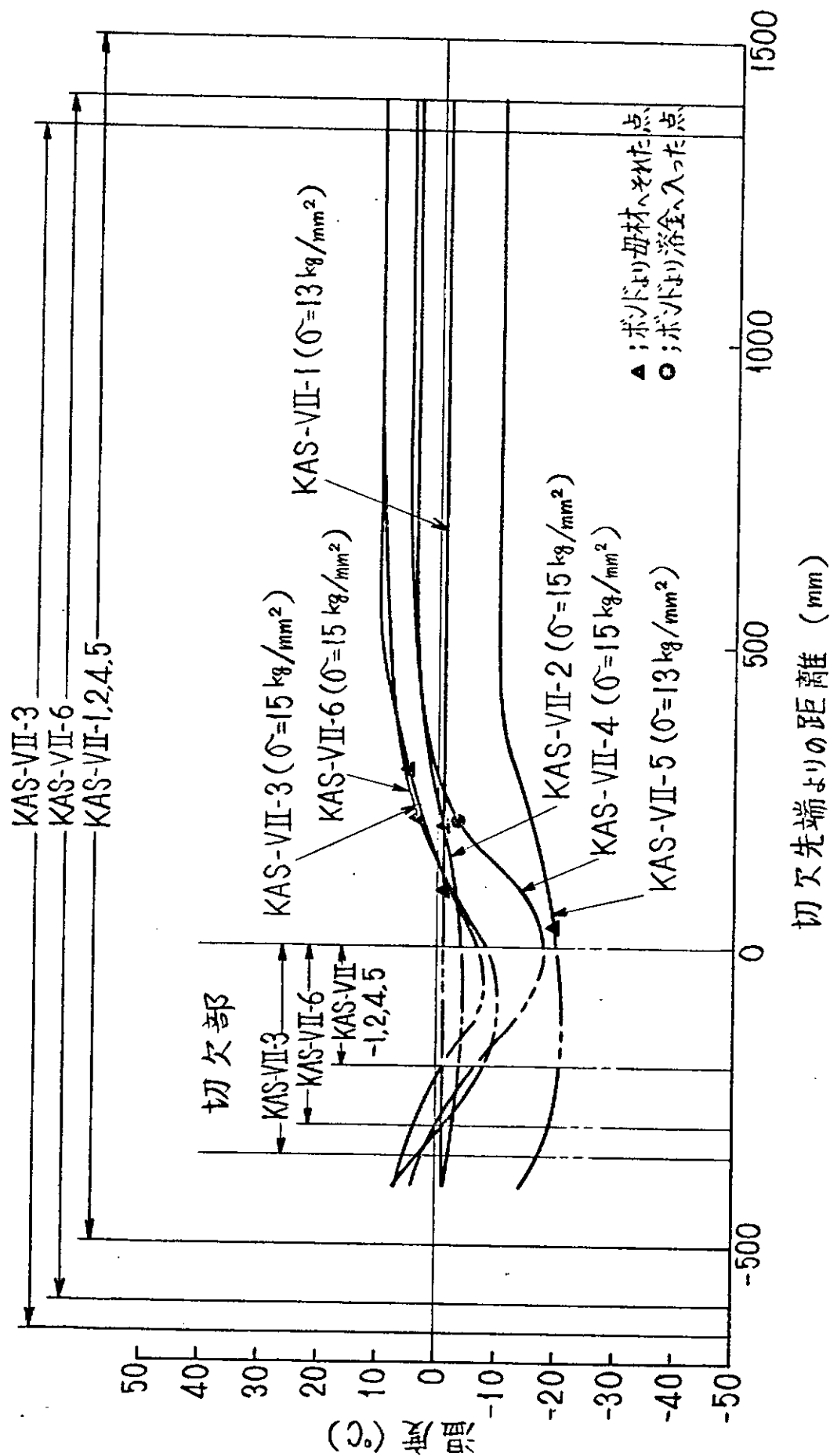


図6.3.9 大形伝播試験における温度分布
(KAS鋼, 板厚25.4mm, VASCON-II法溶接継手)

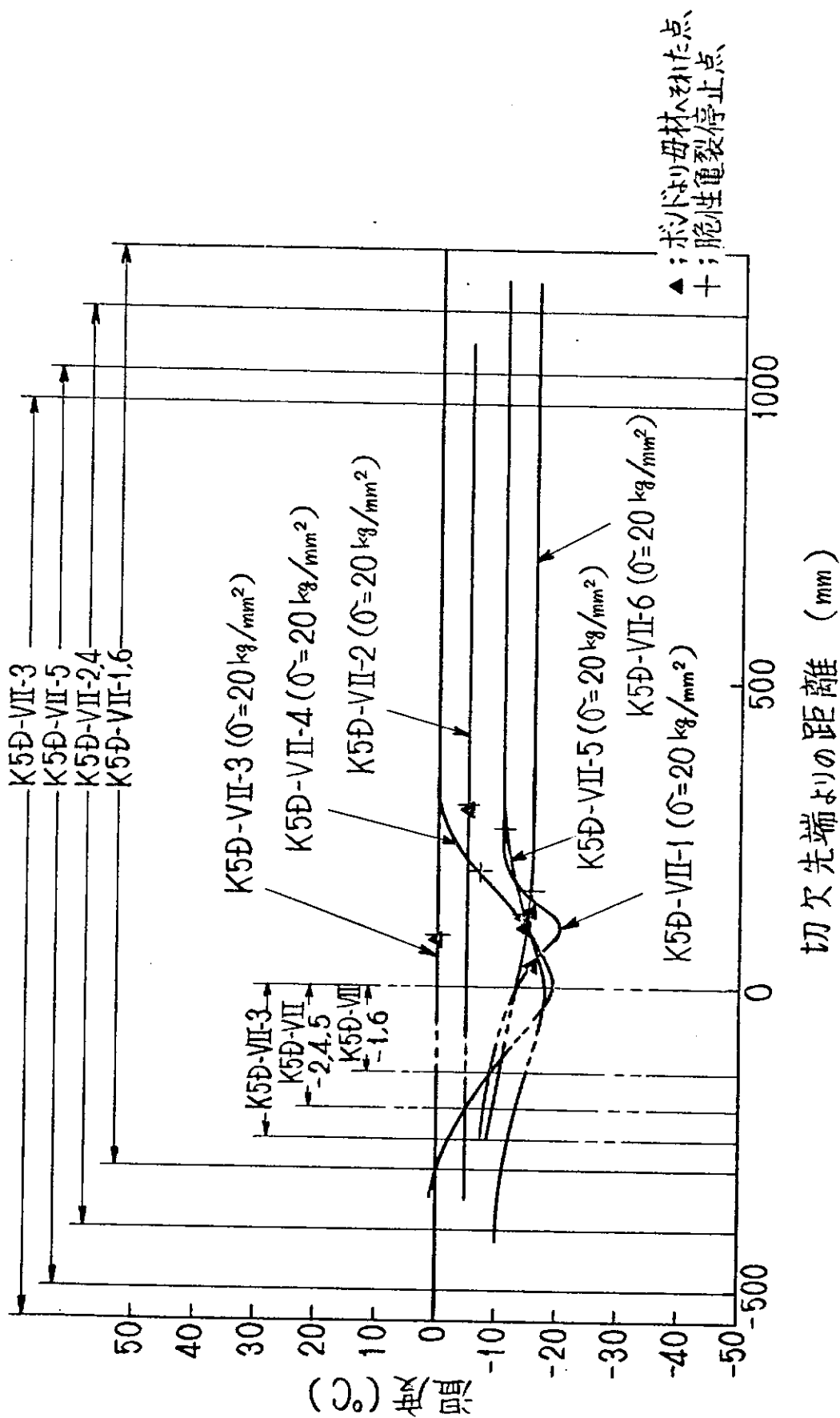
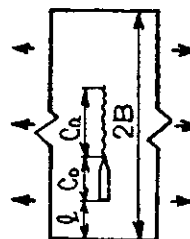


図6.3.10 大形伝播試験における温度分布
(K5D鋼, 板厚 25.4 mm, VASCON-II法溶接継手)

表6.3.3 VASCON-II法溶接継手についての大形伝播試験結果一覧

鋼種	溶接法	試験片番号	試験片寸法			試験温度 分布形式	衝撃工初値 E _I (kg・m)	グロス応力 σ _g (kg/mm ²)	伝播クラック長さ C _a (mm)	停止温度 T _a (°C)	脆性破壊 伝播速度 K _{Ca} (kg ^{1/2} /m ^{3/2})	備考
			2B (mm)	C ₀ (mm)	l (mm)							
KAS (25.4)	VASCON - II 法	KAS-VII-1	2000	200	300	平坦	200	13	> 95	> -1	< 480	クラックはボンド部を95mm伝播した後母材へそれ破断。
		KAS-VII-2	2000	200	300	平坦	200	15	> 200	> -1	< 614	クラックはボンド部を200mm伝播した後母材へそれ破断。
		KAS-VII-3	2000	200 350	300	平坦	200 200	15 15	> 70 > 295	> -12 > 5	— < 805	①クラックはボンド部を70mm伝播し停止。切欠きを再加工。 ②クラックはボンド部を295mm伝播した後母材へそれ破断。
		KAS-VII-4	2000	200	300	平坦	200	15	> 500	> 4	< 846	クラックはボンド部を210mm伝播した後溶接金属へ入り、溶接金属を貫通破断。
		KAS-VII-5	2000	200	300	平坦	200	13	> 35	> -20	—	クラックはボンド部を35mm伝播した後母材へそれ C=65mmにて枝分れし破断。
		KAS-VII-6	2000	300	300	平坦	200	15	> 210	> 3	< 699	①打撃3回でクラック発生せず。切欠きを再加工。 ②クラックはボンド部を210mm伝播した後母材へそれ破断。
K5D-VII-1		1500	140	160	平坦	200	20	> 36	> -16	—	クラックはボンド部を36mm伝播した後母材へそれ、 枝分れし停止。	
K5D-VII-2		1500	200	200	平坦	300	20	290	-5	830	溶接金属中央に切欠きを入れた試験。クラックは溶接金属とボンド寄りに伝わり、 C=230mmで逆ボンド寄りに移り。C _a =290mmにて母材へそれHAZで停止。	
K5D-VII-3		1500	250	300	平坦	200	20	> 80	> 0	< 630	①C=20kg/mm ² で保持中クラック発生。切欠きを再加工。 ②クラックはボンド部を80mm伝播した後母材へそれ停止。	
K5D-VII-4		1500	200	200	平坦	300	20	> 100	> -14	< 602	溶接金属中央に切欠きを入れた試験。クラックはC=100mm にてボンドと母材の切り目へそれ、母材にて停止。	
K5D-VII-5		2000 1500	200 200	300 300	平坦 平坦	200 200	15 20	> 30 120	> -24 -14	— 627	①試験中(60kg/mm ²)クラック発生。切欠きを再加工。②クラックはボンド部を 80mm伝播後溶接金属を貫切り他方のボンドを伝播しHAZにて停止。	
K5D-VII-6		1500	140	160	平坦	200	20	> 120	> -15	< 552	クラックはボンド部を120mm伝播した後母材へそれ停止。	
K5D (25.4)												



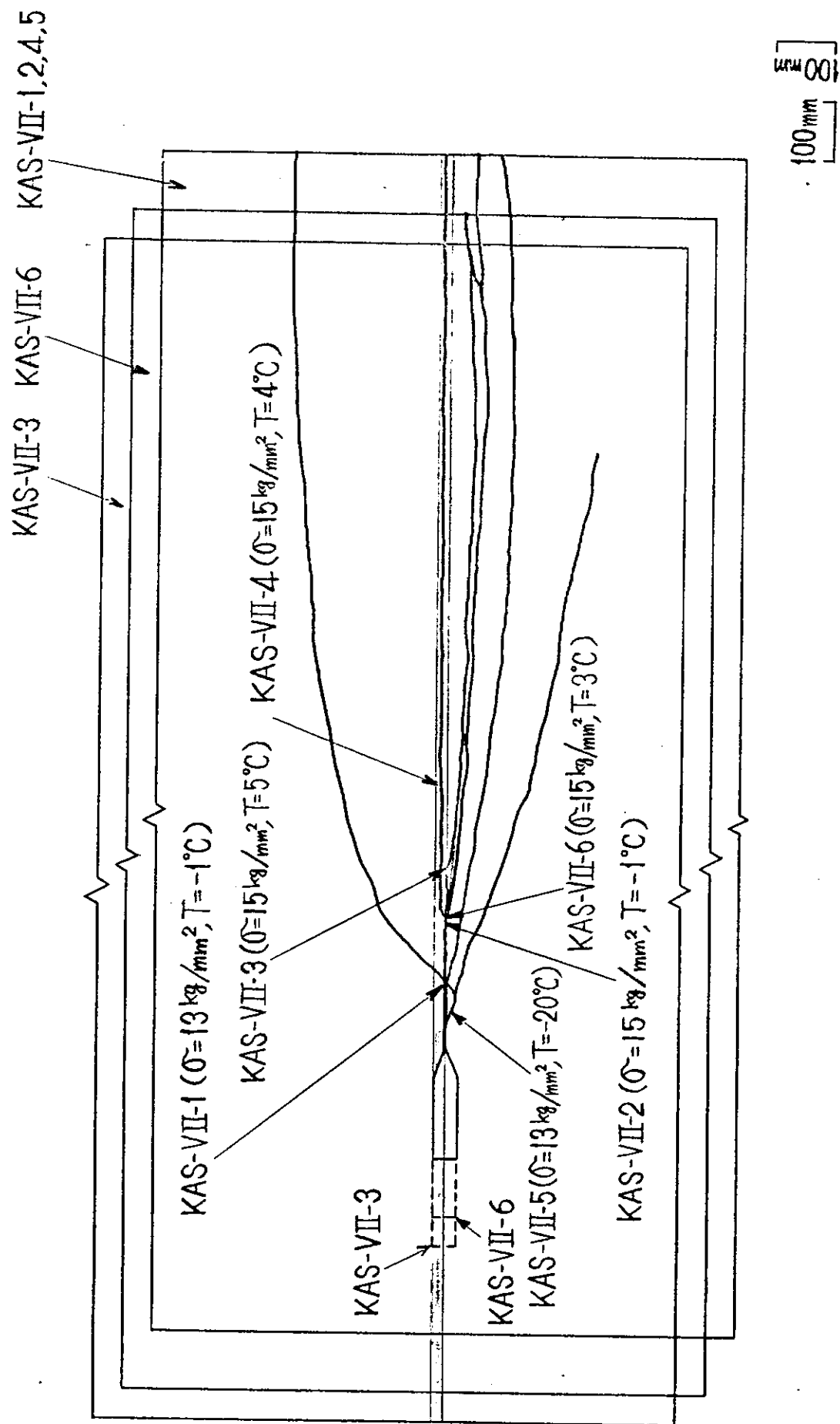


図6.3.11 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
(KAS鋼, 板厚 25.4 mm, VASCON-II法溶接継手)

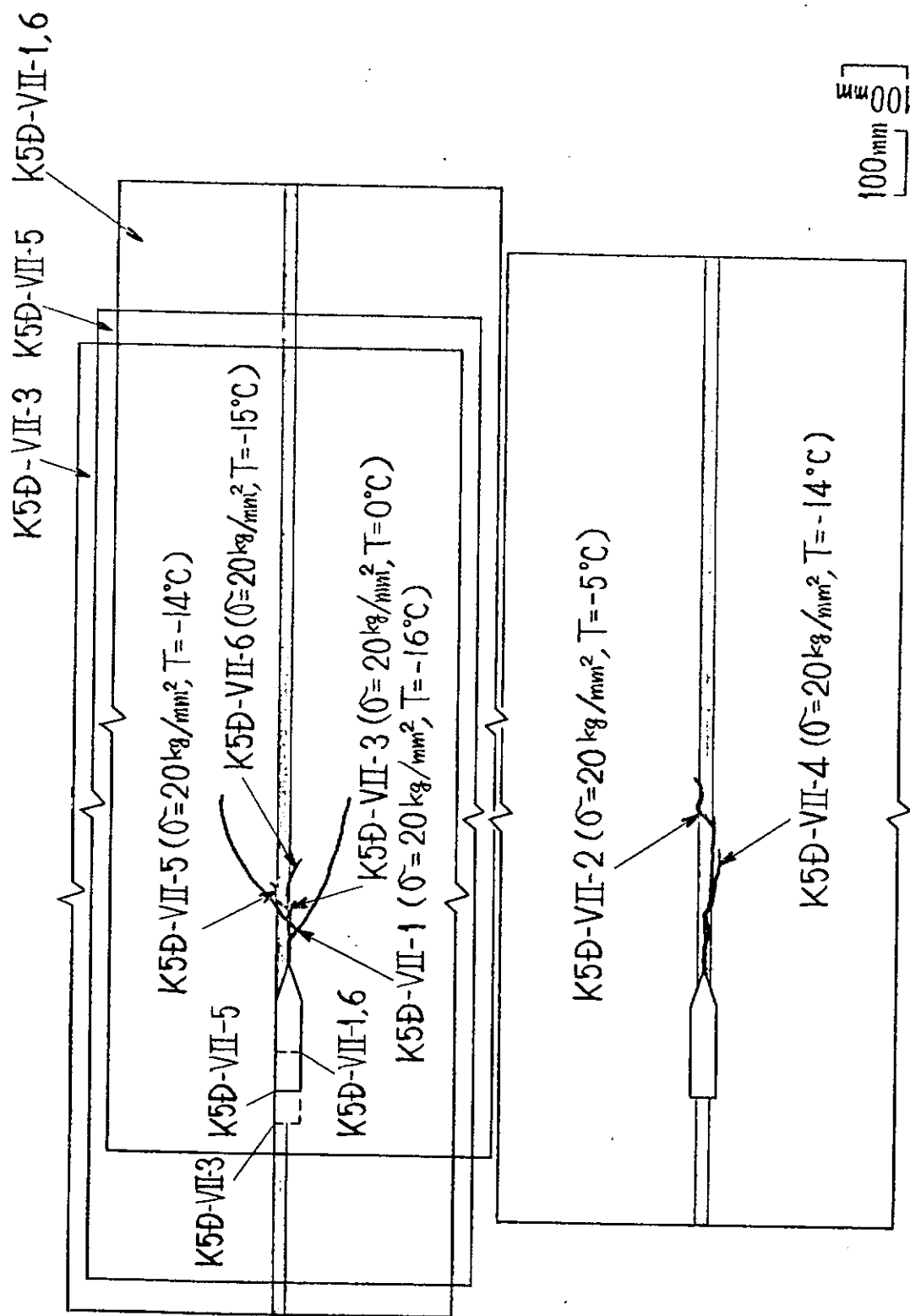


図6.3.12 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
(K5D鋼, 板厚25.4 mm, VASCON-II法溶接継手)

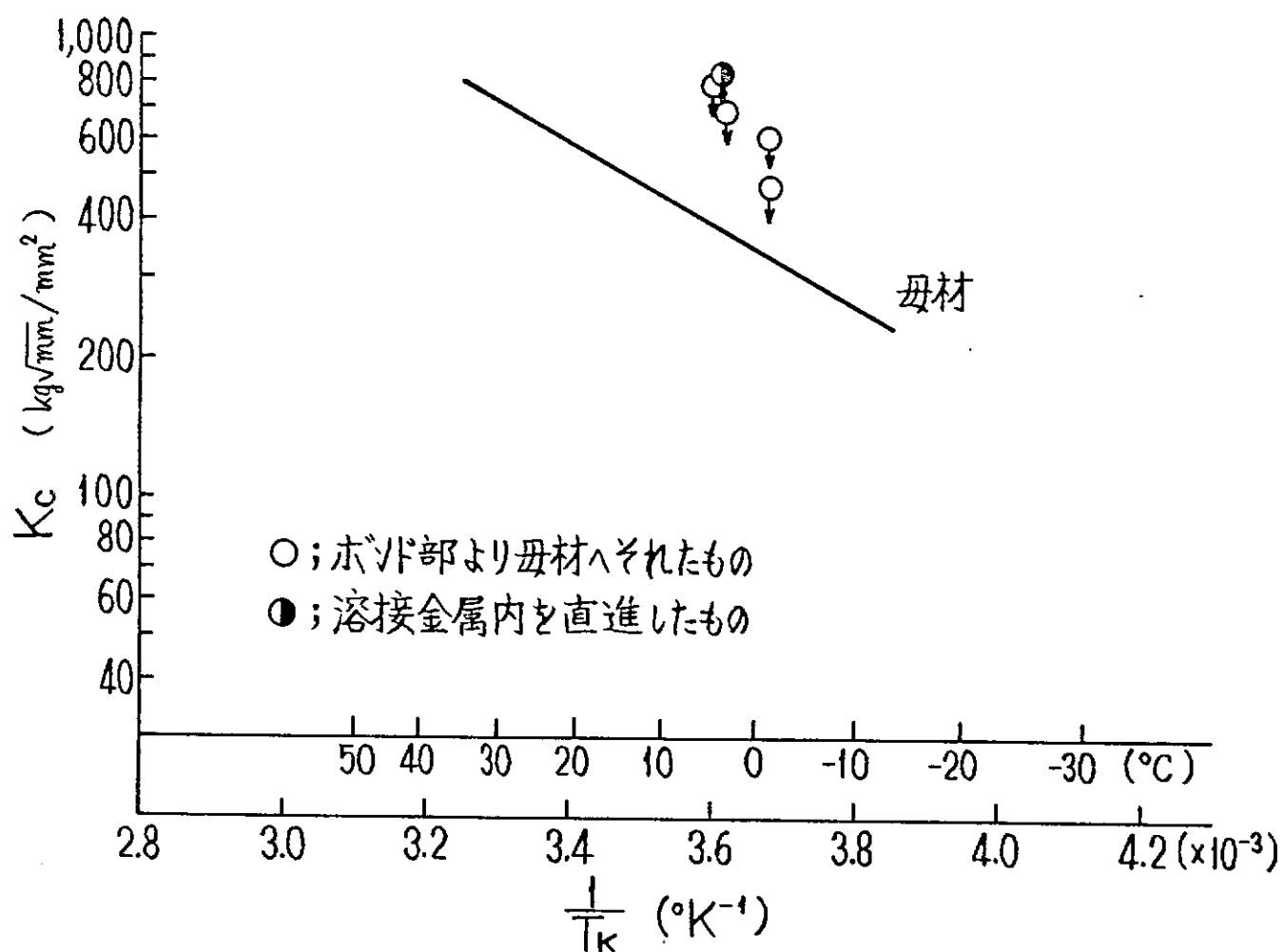


図6.3.13 大形伝播試験によるKAS鋼VASCON-II法
溶接継手部の脆性破壊伝播特性

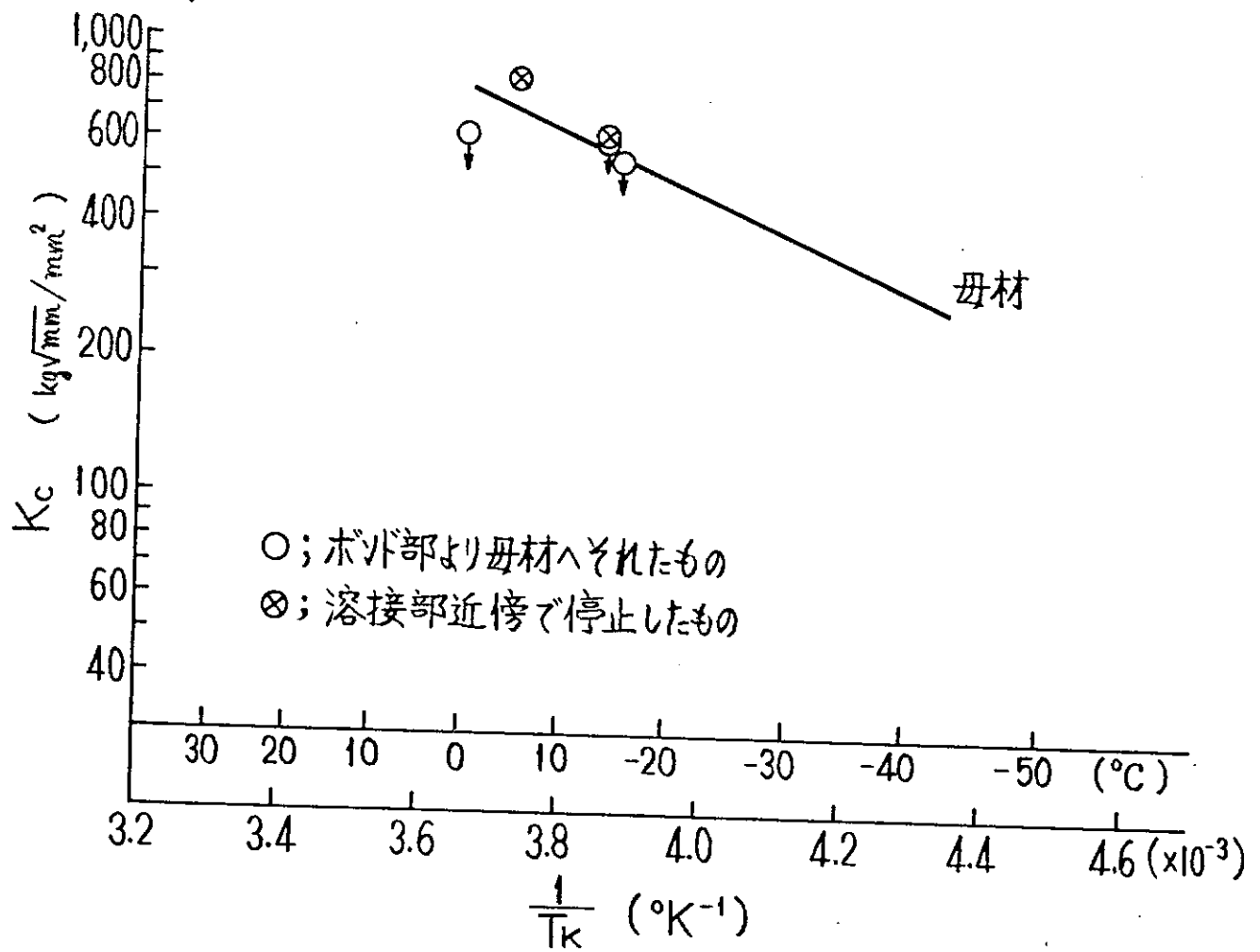


図6.3.14 大形伝播試験によるK5D鋼VASCON-II法
 溶接継手部の脆性破壊伝播特性

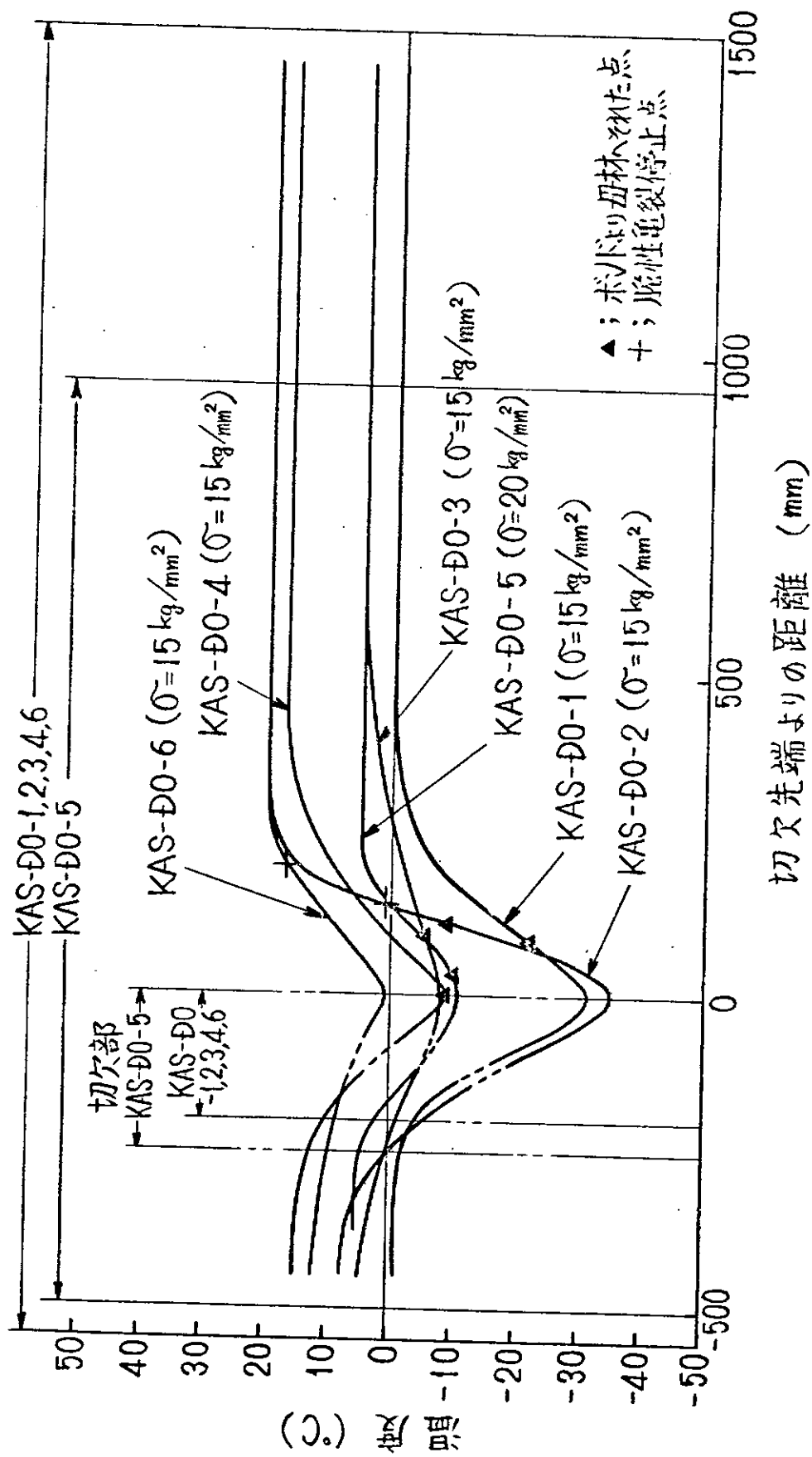


図6.3.15 大形伝播試験における温度分布
(KAS鋼, 板厚25.4mm, デルタシフト法溶接継手)

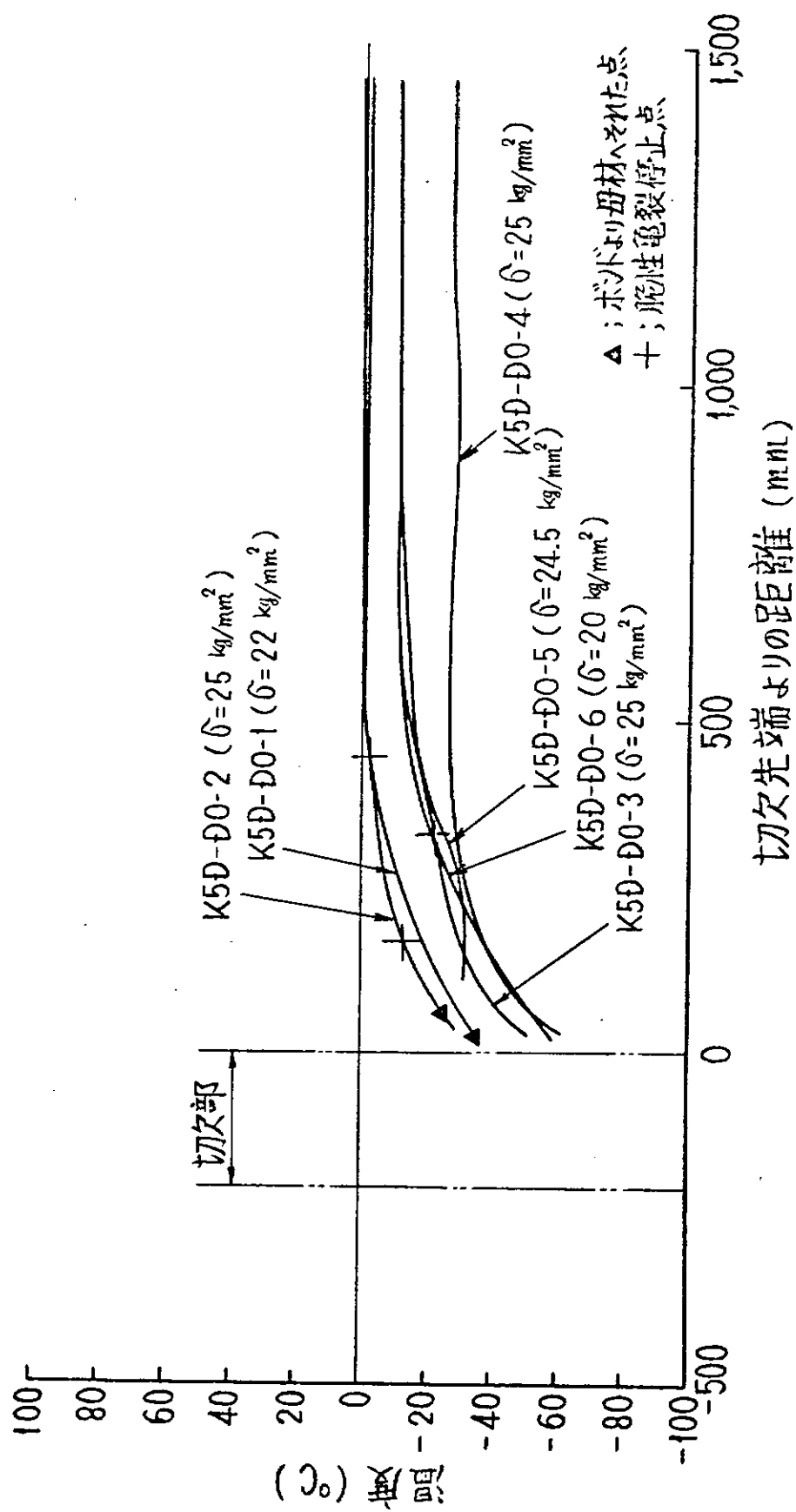
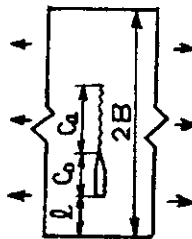


図6.3.16 大形伝播試験における温度分布
(K5D鋼, 板厚 25.4 mm, ティタニウム法溶接継手)

表6.3.4 デルタシールド溶接継手についての大形伝播試験結果一覧*

鋼種	溶接法	試験番号	試験片符号		試験温度 分布形式	衝撃エネルギー E_I (kg·m)	ガス応力 O_g (kg/mm ²)	伝播長さ C_a (mm)	停止温度 T_a (°C)	原性破壊 伝播抵抗値 K_{Ca} (kg/mm ²)	備考
			2B (mm)	C_0 (mm)							
KAS (25.4)	デルタシールド法	KAS-D0-1	2,000	200	300	200	15	> 85	> -22	< 515	クラックは85mmボルト部を伝播した後、母材へそれ破断。
		KAS-D0-2	2,000	200	300	300	15	> 110	> -9	< 526	クラックは110mmボルト部を伝播した後、母材へそれ破断。
		KAS-D0-3	2,000	200	300	300	15	> 90	> -6	< 519	クラックは90mmボルト部を伝播した後、母材へそれ破断。
		KAS-D0-4	2,000	200	300	300	15	—	—	—	クラックは切欠より直ちに母材へそれ破断。
		KAS-D0-5	1,500	200 250	200 200	200 200	20 20	— > 30	— > -10	— < 555	①クラックは切欠より母材へそれ停止、切欠を再加工。 ②クラックは30mmボルト部を伝播した後、母材へそれ破断。
		KAS-D0-6	2,000	200	200	300	15	200	17	615	クラックは200mmボルト部を伝播し溶接中斷箇所にて停止。
K5D (25.4)	デルタシールド法	K5D-D0-1	2,000	200	300	170	22	(445)	(-2)	(775)	クラックは切欠より直ちに母材へそれ、 $C_a=445$ mmにて停止。
		K5D-D0-2	2,000	200	300	170	25	(170)	(-12)	(636)	クラックは63mmボルト部を伝播した後、母材へそれ $C_a=170$ mmにて停止。
		K5D-D0-3	2,000	200	300	170	25	330	-22	785	クラックは溶接金属を330mm伝播して停止。
		K5D-D0-4	2,000	200	300	170	25	> 420	> -27	< 850	クラックはボルト部を貫通破断。
		K5D-D0-5	2,000	310	300	170	24.5	> 500	> -16	< 910	①クラックは $C_a=110$ mmにて停止、切欠を再加工 ②負荷中($\sigma=24.5$ kg/mm ²)にクラック発生、溶接金属を貫通破断。
		K5D-D0-6	2,000	200	300	170	20	> 600	> -10	< 806	クラックは溶接金属を貫通破断。

*; ()内は母材にて停止したものに対する値。



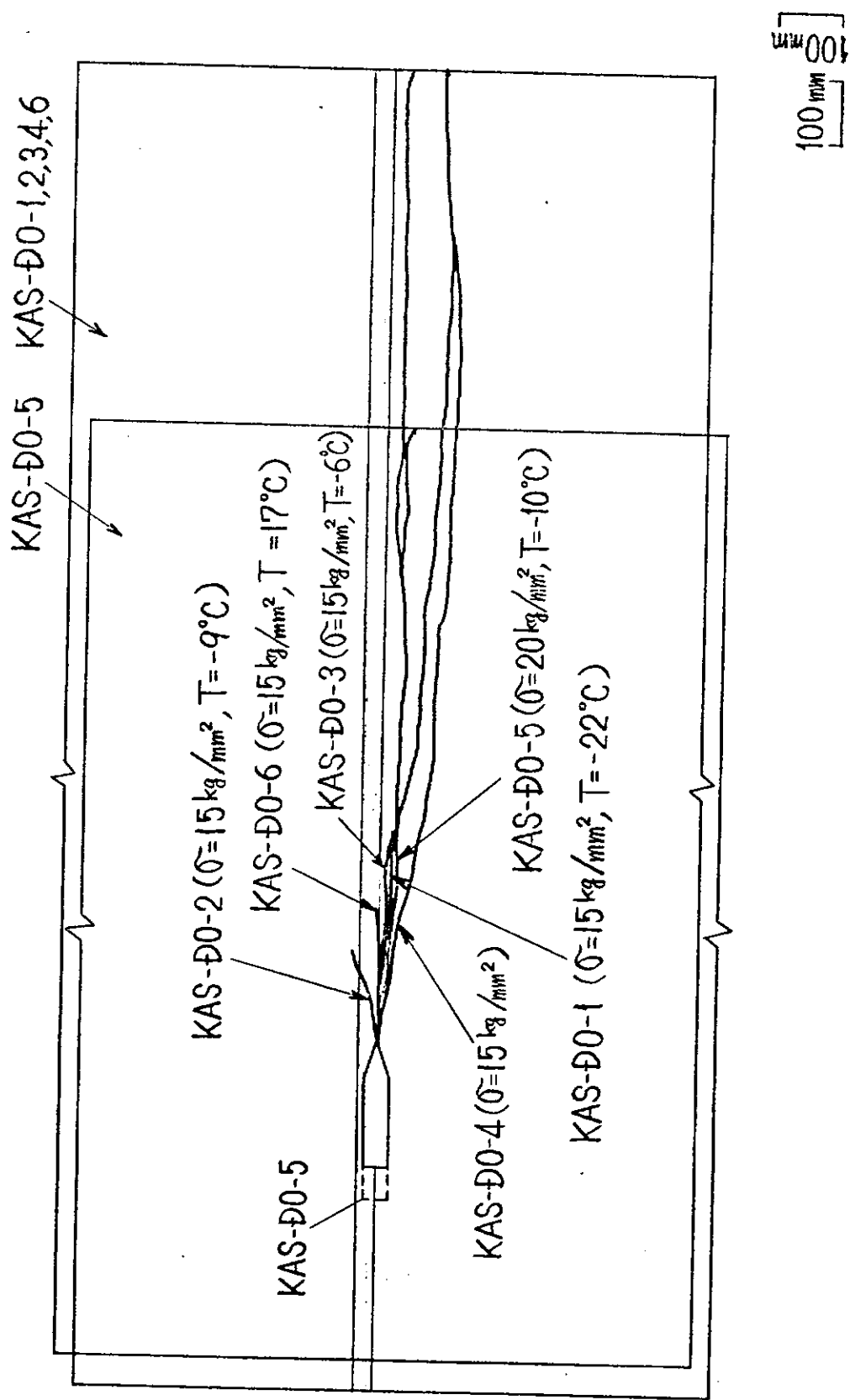


図6.3.17 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
(KAS鋼, 板厚 25.4 mm, デルタショット法溶接継手)

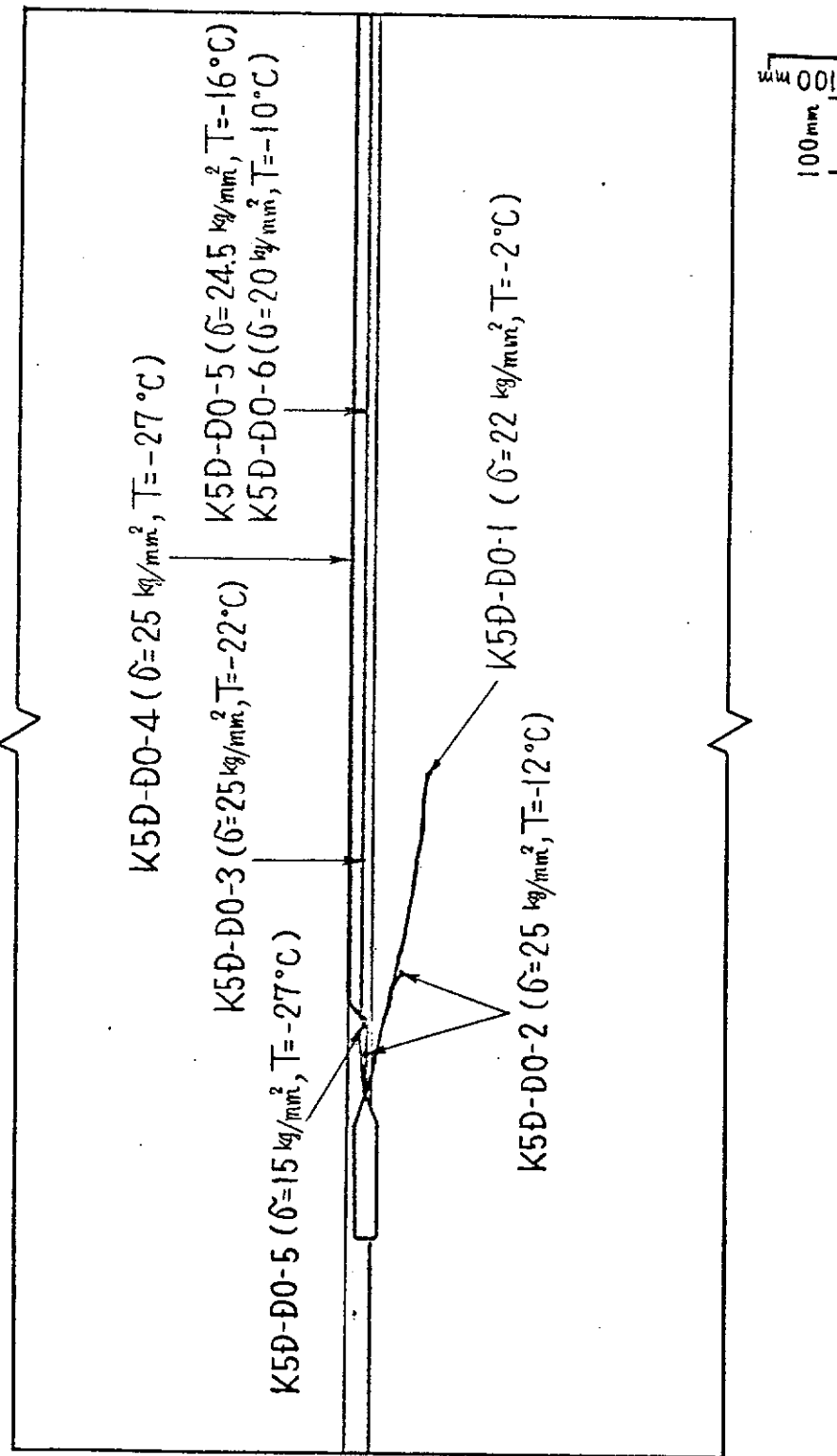


図 6.3.18 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
(K5D鋼, 板厚 25.4 mm, デルタホイルト法溶接継手)

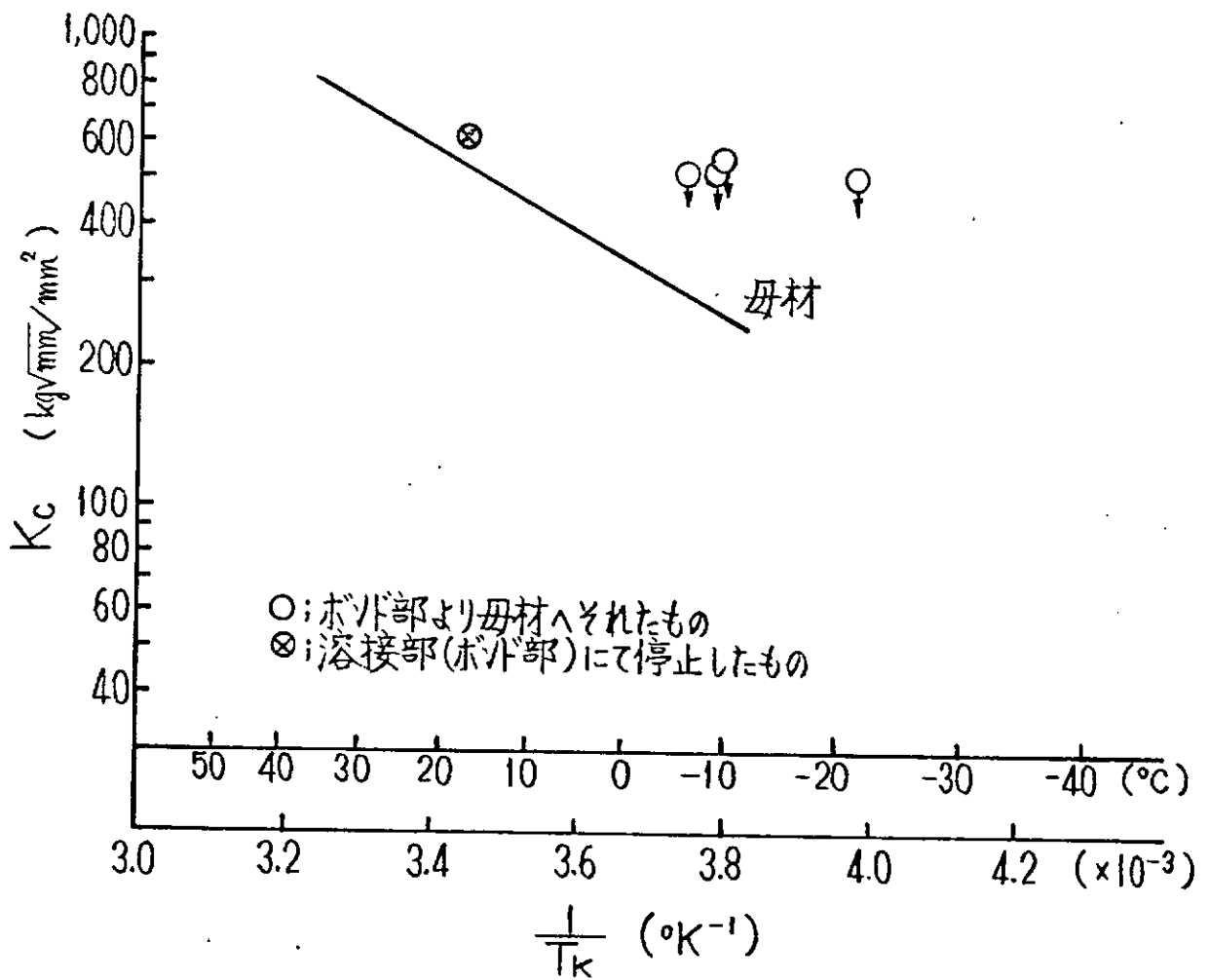


図6.3.19 大形伝播試験によるKAS鋼デルタオシレート法
溶接継手部の脆性破壊伝播特性

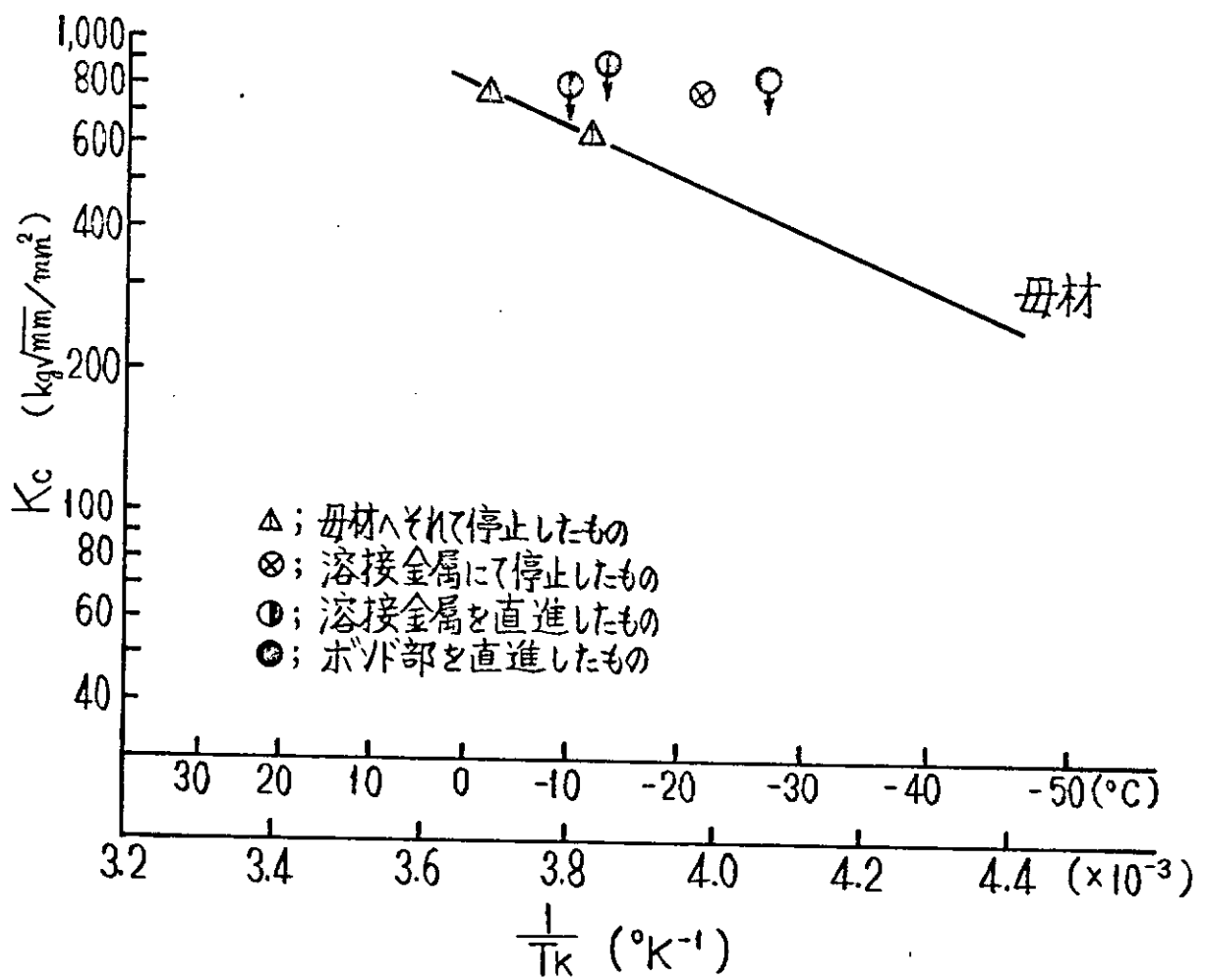


図6.3.20 大形伝播試験によるK5D鋼のワット法
溶接継手部の脆性破壊伝播特性

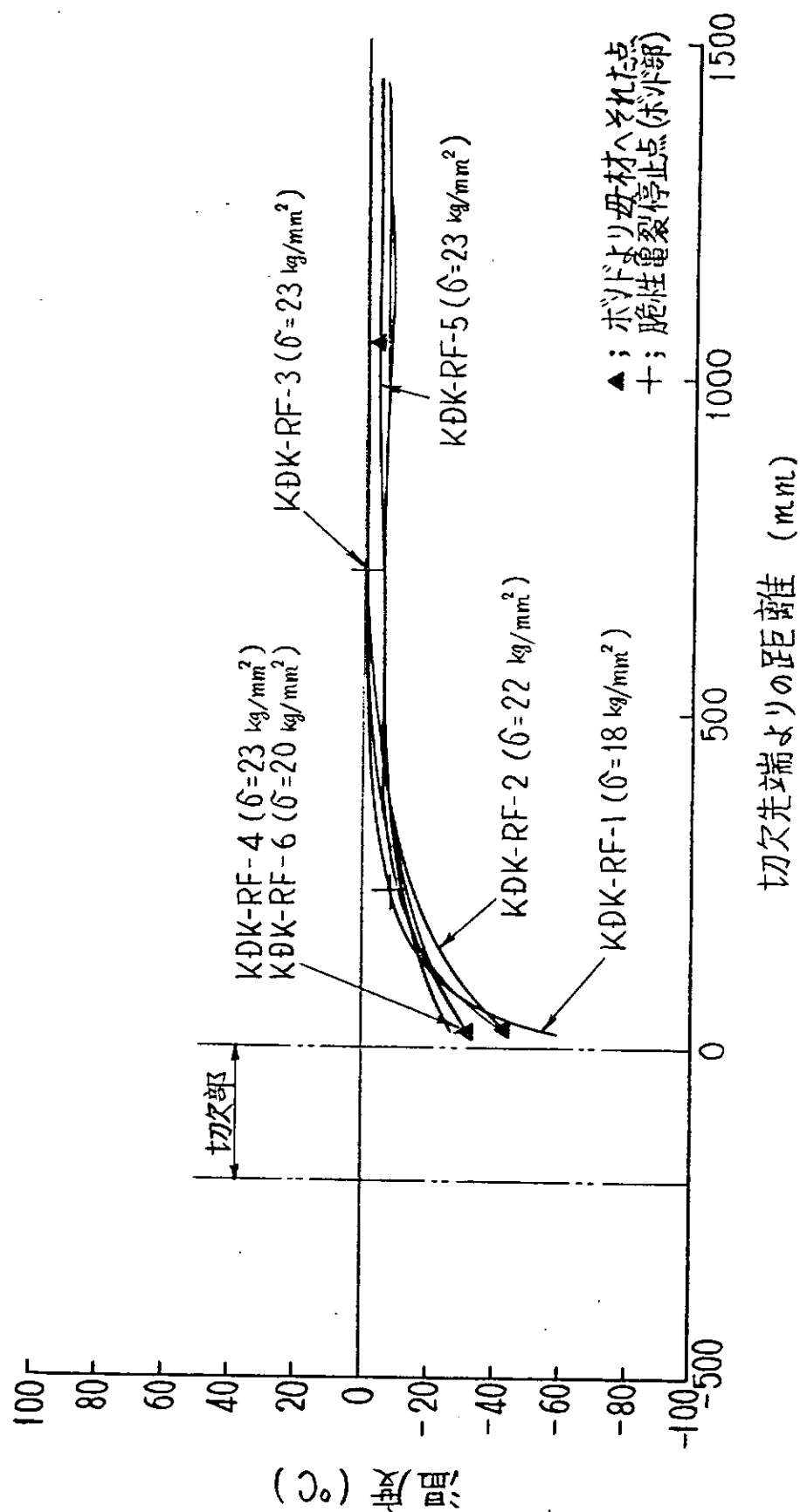


図6.3.21 大形伝播試験における温度分布
(KDK鋼, 板厚25.4mm, 3電極片面層溶接継手)

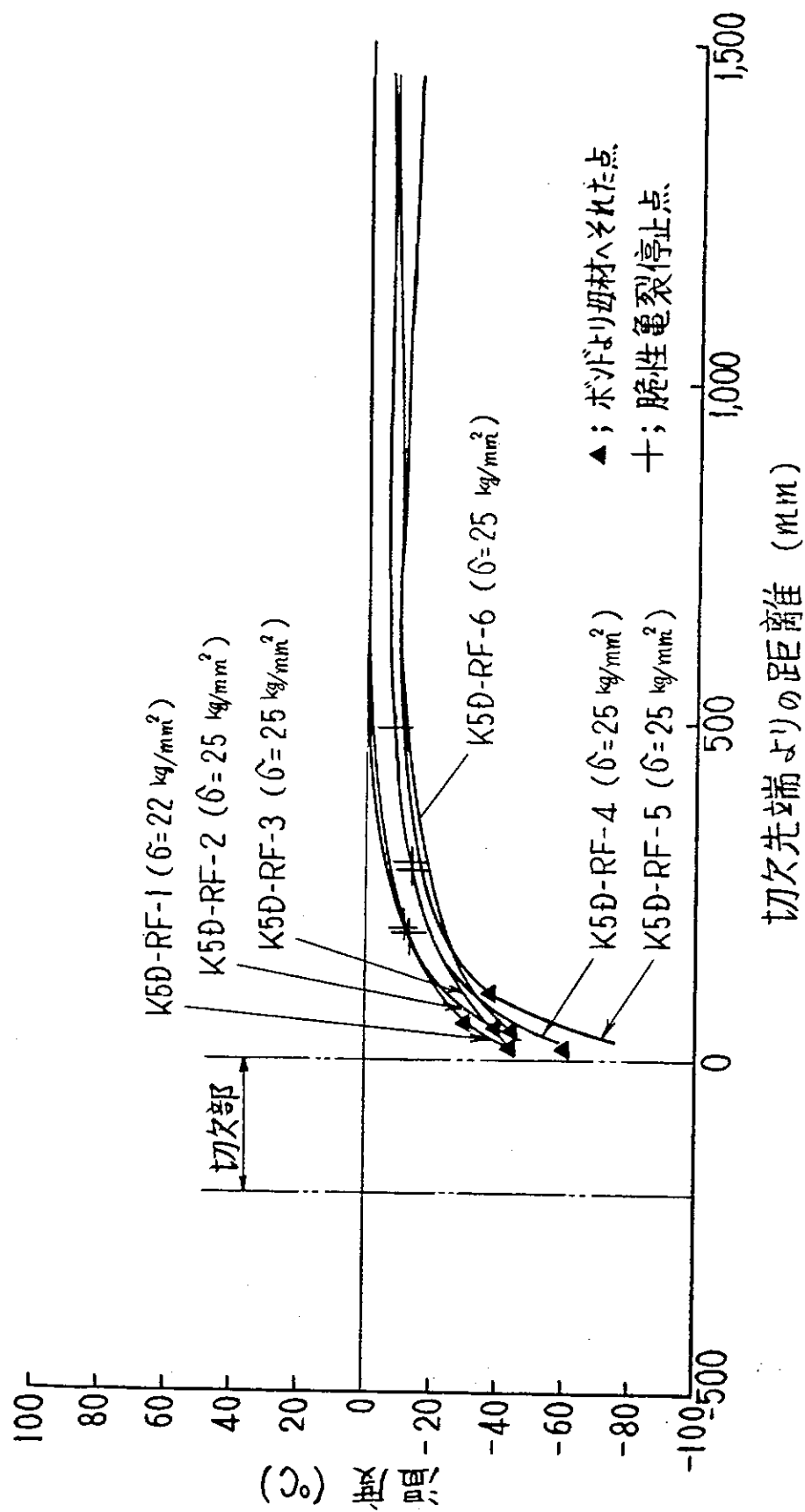
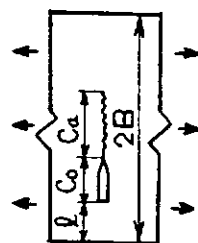


図6.3.22 大形伝播試験における温度分布
(K5D鋼, 板厚25.4mm, 3電極片面層溶接継手)

表6.3.5 3電極片面1層溶接継手についての大形伝播試験結果一覧

鋼種	溶接法	試験番号	試験片符号			試験温度 分布形式	衝撃初速 E_I (kg·m)	ガス応力 σ_g (kg/mm ²)	母材長さ C_a (mm)	停止温度 T_a (°C)	脆性破壊 伝播長さ K_{Ca} (kg/mm ²)	備考
			2B (mm)	C_o (mm)	l (mm)							
KDK (25.4)	3電極 片面1層	KDK-RF-1	2,000	200	300	平坦型	170	18	240	-8	506	クラックは240mmボリ部を伝播して停止。
		KDK-RF-2						22	—	—	—	クラックは切欠より直ちに母材へそれ破断。
		KDK-RF-3						23	712	-2	1,013	クラックは溶接金属を420mm、ボリ部を312mm伝播して停止。
		KDK-RF-4						23	—	—	—	クラックは切欠より直ちに母材へそれ破断。
		KDK-RF-5						23	>550	>-5	<891	クラックは溶接金属を700mm、ボリ部を360mm伝播した後、母材へそれ破断（溶接部を直進したのみ）。
		KDK-RF-6						20	—	—	—	クラックは切欠より直ちに母材へそれ破断。
K5D (25.4)		K5D-RF-1	2,000	200	300	平坦型	170	22	>65 (190)	>-29 (-12)	<465 (576)	クラックは65mmボリ部を伝播した後、母材へそれ $C_a=190mm$ にて停止。
		K5D-RF-2						25	>50 (190)	>-37 (-14)	<514 (655)	クラックは50mmボリ部を伝播した後、母材へそれ $C_a=190mm$ にて停止。
		K5D-RF-3						25	(290)	(-14)	(746)	クラックは切欠より直ちに母材へそれ $C_a=290mm$ にて停止。
		K5D-RF-4						25	(280) (490)	(-14) (-8)	— (920)	クラックは切欠より直ちに母材へ枝分かれし、 $C_a=280mm$ および490mmにて停止。
		K5D-RF-5						25	>100 240	>-39 -18	— 702	クラックは100mmガイド溝（ボリ部）を伝播したのち枝分かれし、一方は母材へそれ破断。一方はボリ部を伝播し $C_a=240mm$ にて停止。
		K5D-RF-6						25	>54	>-42	<515	クラックは54mmガイド溝（ボリ部）を伝播した後、母材へそれ破断。

*; ()内は母材にて停止したものに對する値。



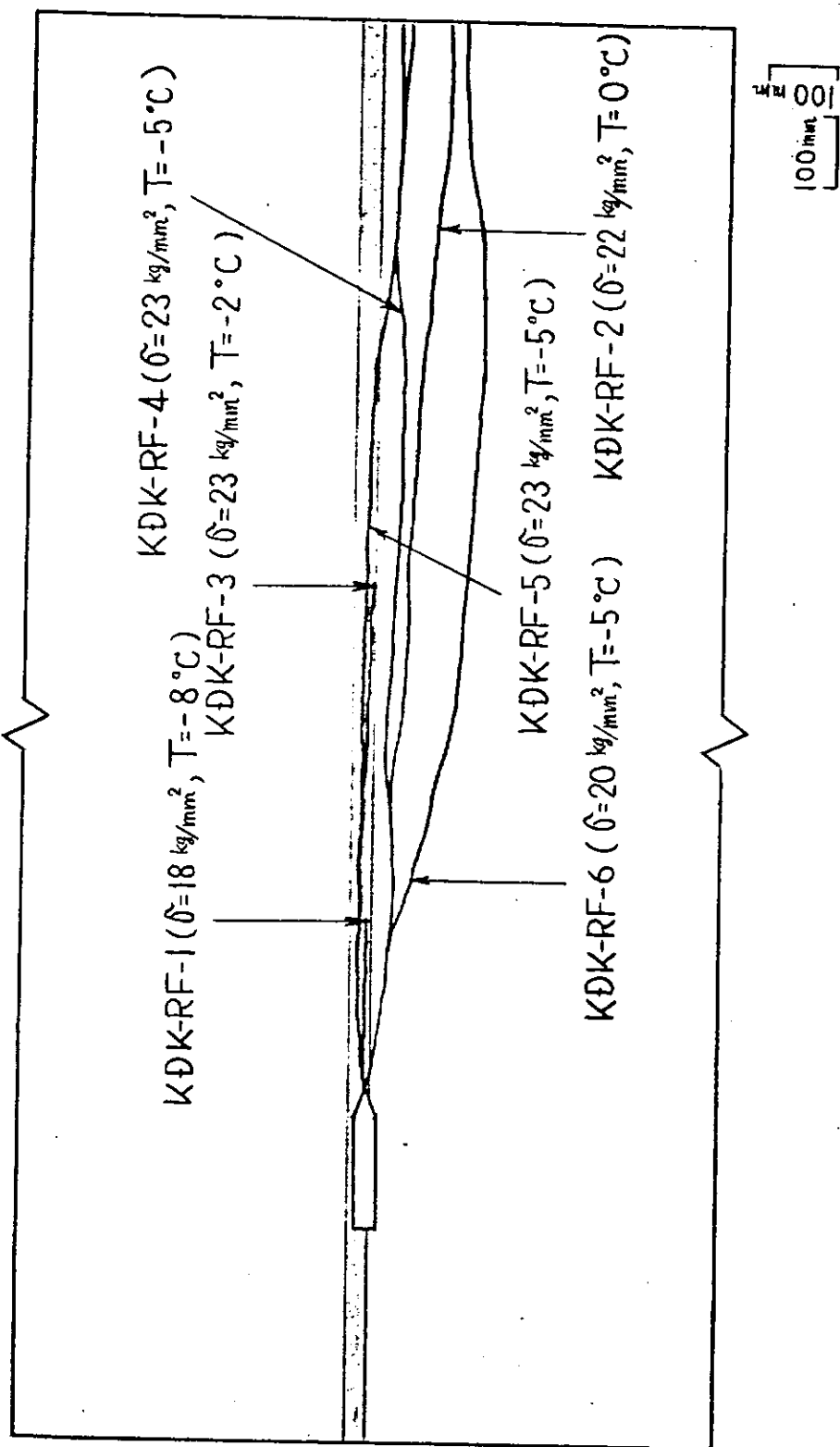


図6.3.23 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
(KDK鋼, 板厚25.4mm, 3電極片面1層溶接継手)

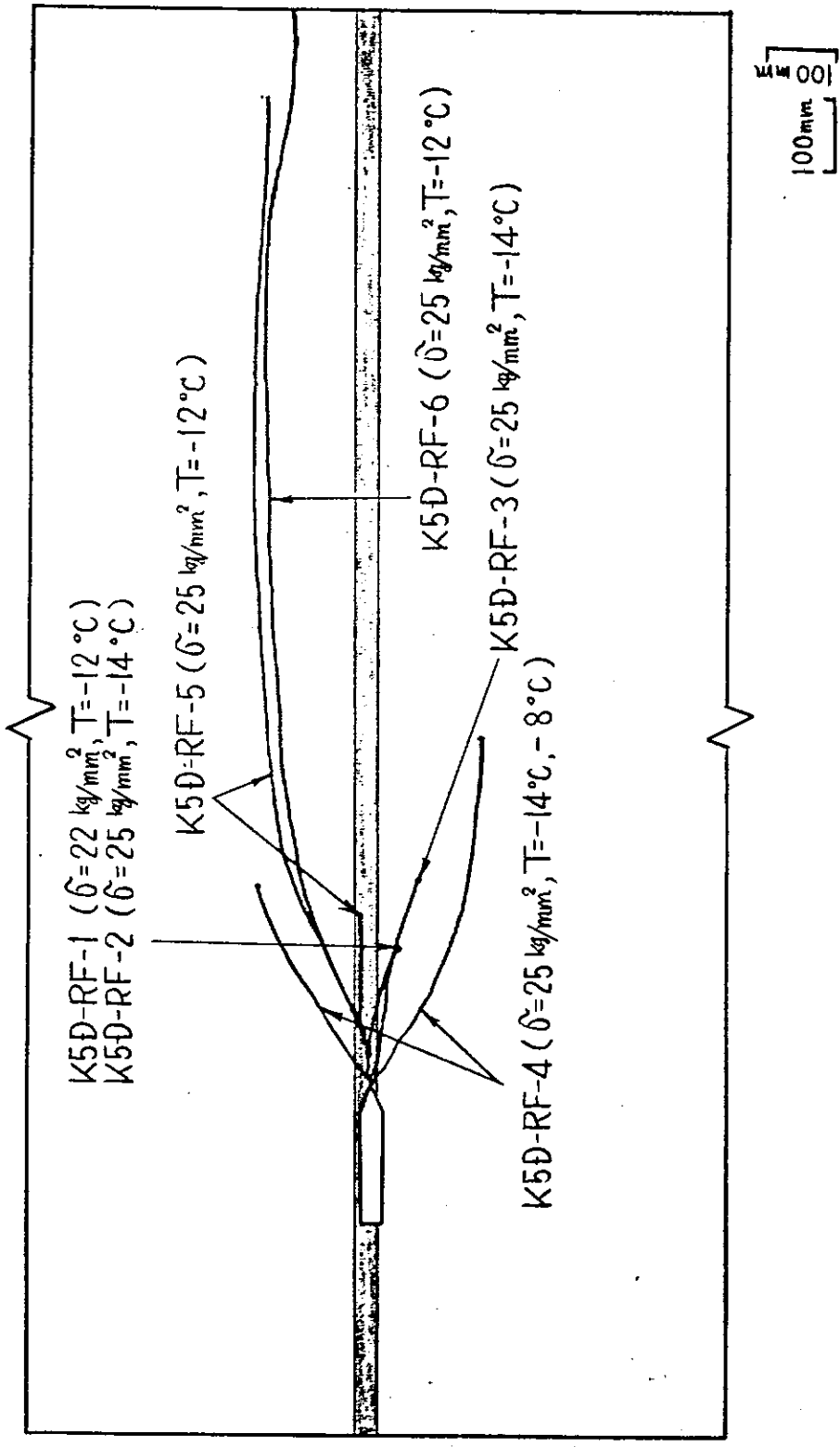


図6.3.24 大形伝播試験による脆性亀裂伝播経路
 (K5D鋼, 板厚25.4mm, 3電極片面層溶接継手)

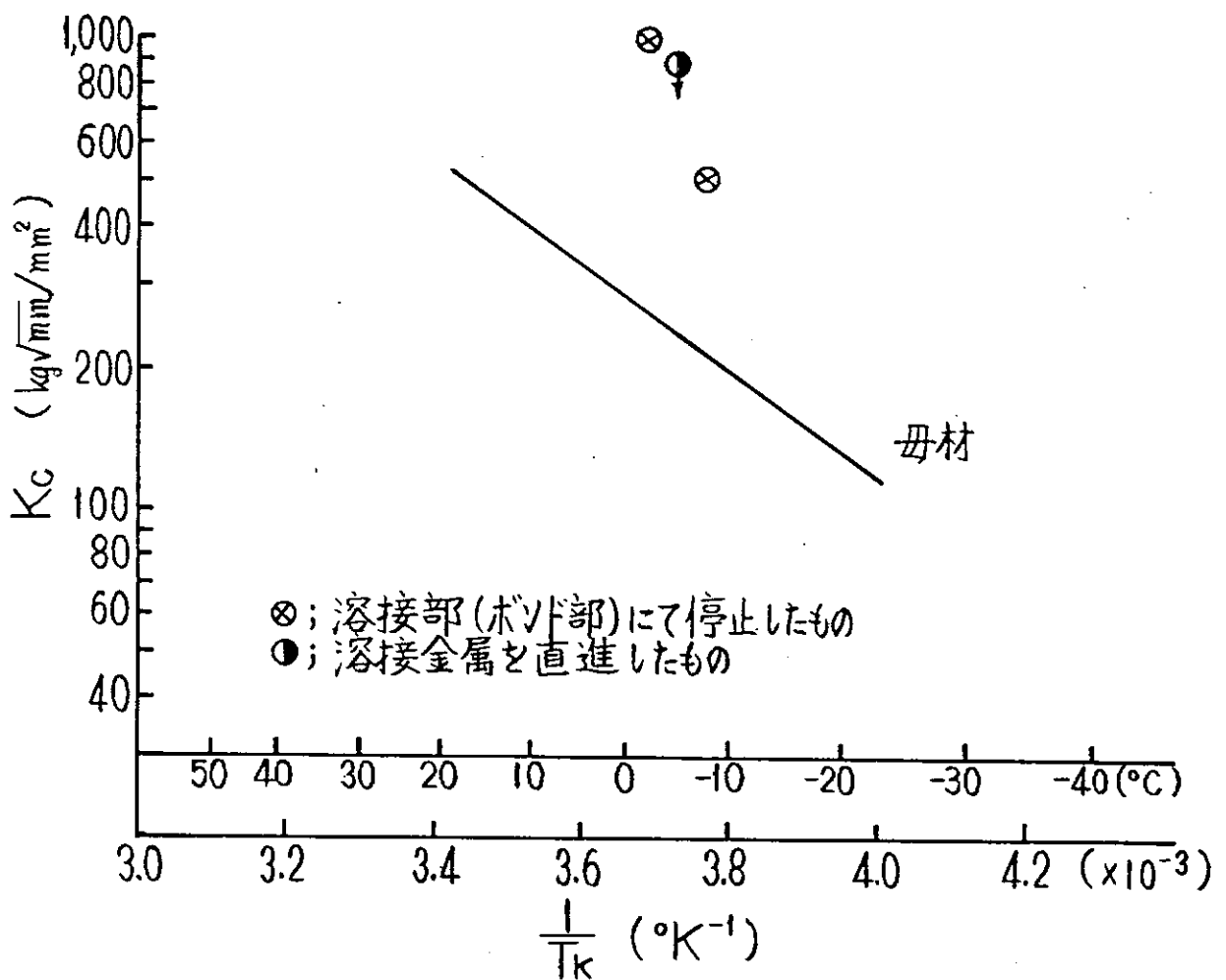


図6.3.25 大形伝播試験によるKDK鋼3電極片面1層溶接継手部の脆性破壊伝播特性

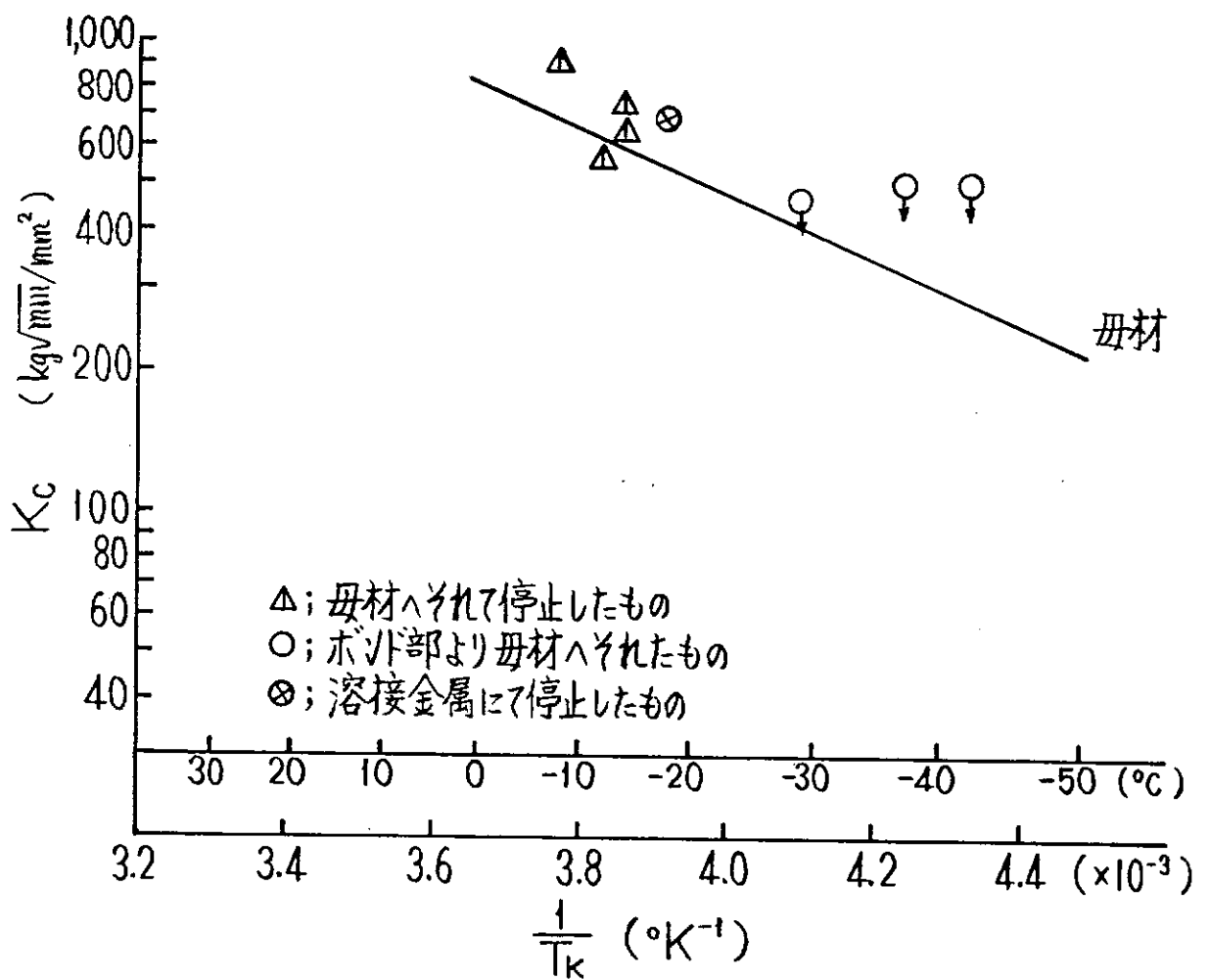


図6.3.26 大形伝播試験によるK5D鋼3電極片面1層溶接継手部の脆性破壊伝播特性

表6.4.1 試験項目一覧表

試験項目	モデル	工ポキシ母材	接着型モデル	溝付き型モデル	残留応力型モデル	備考
1	動的破壊靱性試験	○	○	○		K _{cd} の把握
2	静的解放試験	○			○	解析法の確認, 残留応力によるK値
3	動的伝播試験	□	≡	≡	≡	試験片略図
	a 伝播試験	○	○	○	○	動的効果,負荷応力, 残留応力
	b 伝播停止試験	○	○	○		K _{ca} の把握
	c 枝分れ試験	○		○		亀裂の直進性
モデル化要素			○	○	○	
					○	

表6.4.2 供試材の光弾性感度および機械的性質

番号	供試材	光弾性感度 α (mm/kg)		ヤング率 E (kg/mm ²)		密度 ρ (g/cm ³)	縦波の速度 C_1 (m/sec)		機械的性質			備考
		静的	動的	静的	動的		静的	動的	耐力ある点 (kg/mm ²)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	
1	エポキシ樹脂 (Araldite B)	1.0	—	300~330	—	1.24	1615	—	2	6	2	三菱長崎 (CASTING)
2	エポキシ樹脂 (Araldite B)	0.824	0.824	341	376	—	—	—	—	—	—	注3
3	Hamalite-100	0.394	0.370	382	475	1.279	1710	1907	—	—	—	注4
4	軟鋼	—	—	21000	—	7.8	5137	—	28	45	30	参考値

注. 1) 光弾性解析

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{N}{\alpha \cdot t}$$

ここで, σ_1 ; 最大主応力
 σ_2 ; 最小主応力
 N ; 縞次数
 α ; 光弾性感度
 t ; 試験片の板厚

2) 縦波の速度

$$C_1 = \sqrt{E/\rho}$$

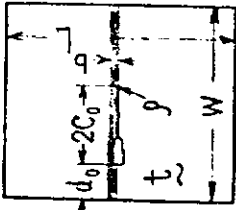
3) 文献調査より

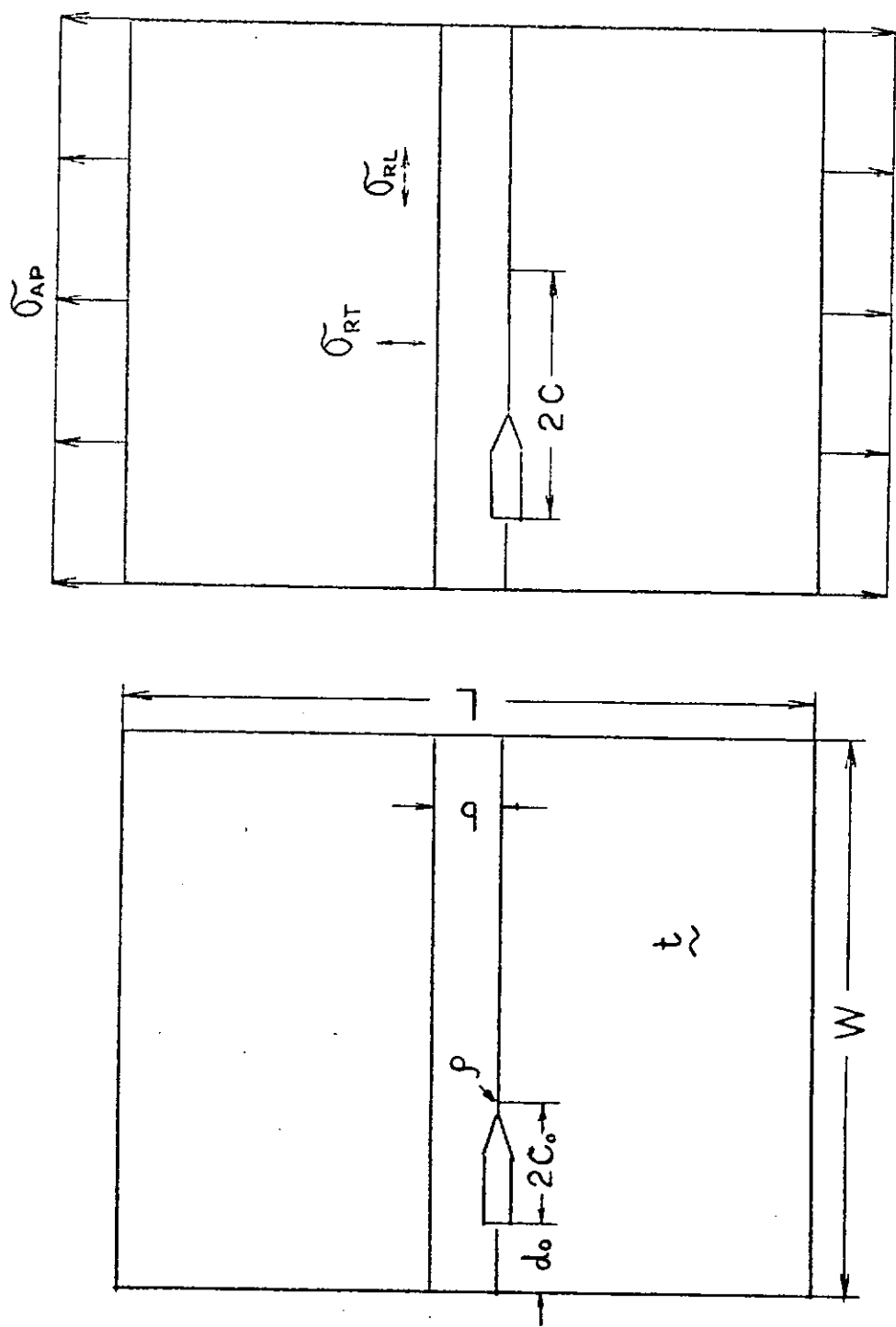
A.B.J. Clark and R.T. Sanford;
 Comparison of Static and Dynamic
 Properties of Photoelastic Materials
 Experimental Mechanics, June 1963

4) 文献調査より

ワシントン大学機械工学科
 Albert S. Kobayashi 研究室の
 実験結果, 1973

表6.4.3 試験片の形状寸法

	試験片名	型名	板厚 t (mm)	板幅 W (mm)	板の長さ L (mm)	溶接ビードに 相当する幅 b (mm)	切欠位置 d_0 (mm)	切欠先端半径 ρ (mm)	初期き裂長さ $2C_0$ (mm)	備考
1	動的破壊靱性 試験片	D5	5	400	550	0	100	0.05	200	5割中央切欠型
		D6	5	400	550	0	80	0.05	240	6割中央切欠型
2	静的解放試験片 および伝播試験片	A	6	300	500	0	30	0.05	30	 偏心切欠型
		B	5	380	600	0 あるいは7.2	45	0.05	45	
		C	5	400	600	0 あるいは7.2	50	0.05	50	
3	鋼の伝播試験片	—	25.4	2,000	1,500	20 ~40	300	0.05	200	参考値



記号

t ; 試験片の板厚

W ; 試験片の板幅

L ; 試験片の長さ

b ; 溶接ビードに相当する幅

d_0 ; 切欠位置

ρ ; 切欠先端半径

$2C_0$; 初期亀裂長さ

$2C$; 亀裂長さ

σ_{AP} ; 負荷応力

σ_{RT} ; 相当する溶接ビード直角方向の残留応力

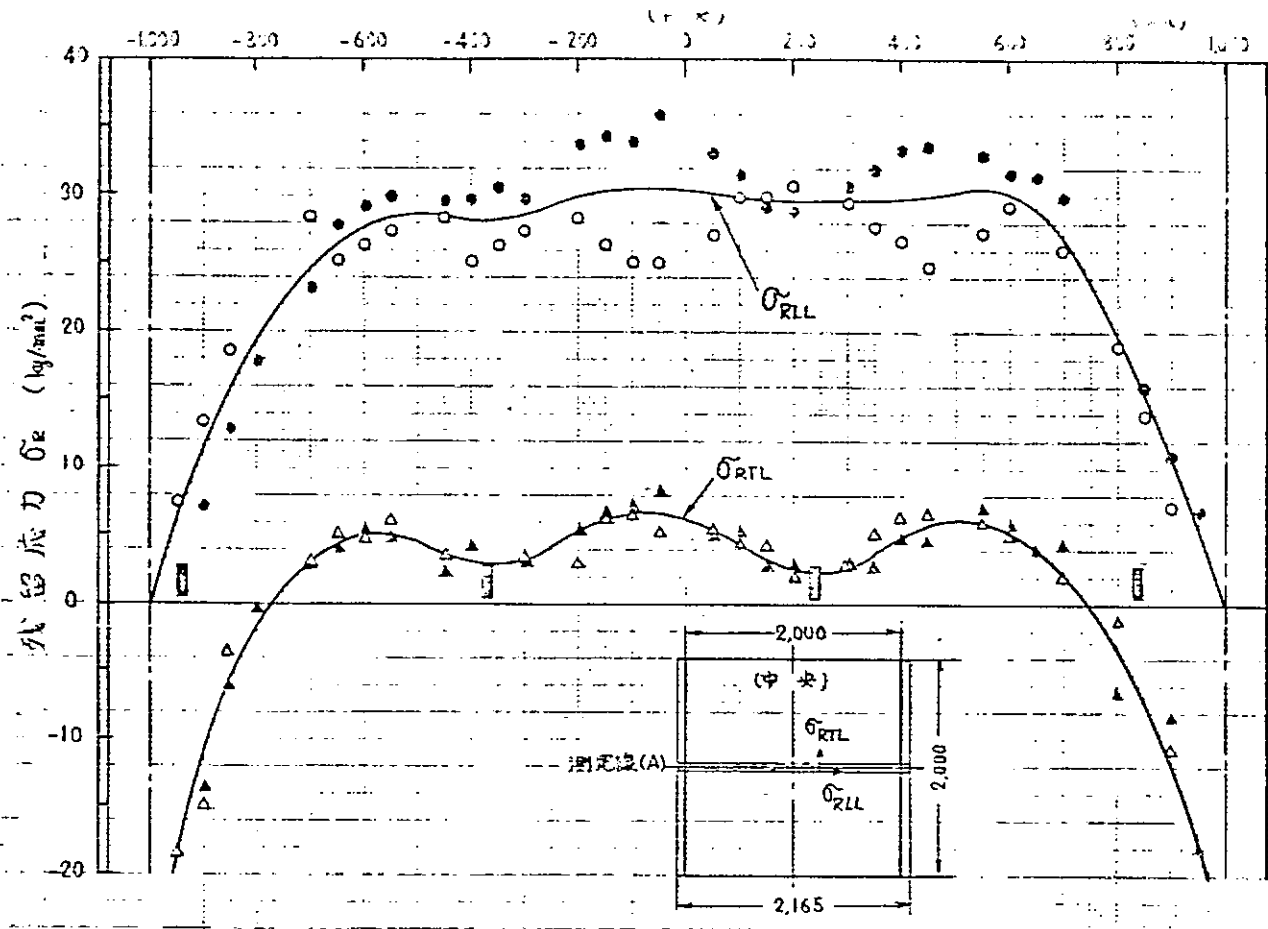
σ_{RL} ; 相当する溶接ビード平行方向の残留応力

V ; 亀裂伝播速度

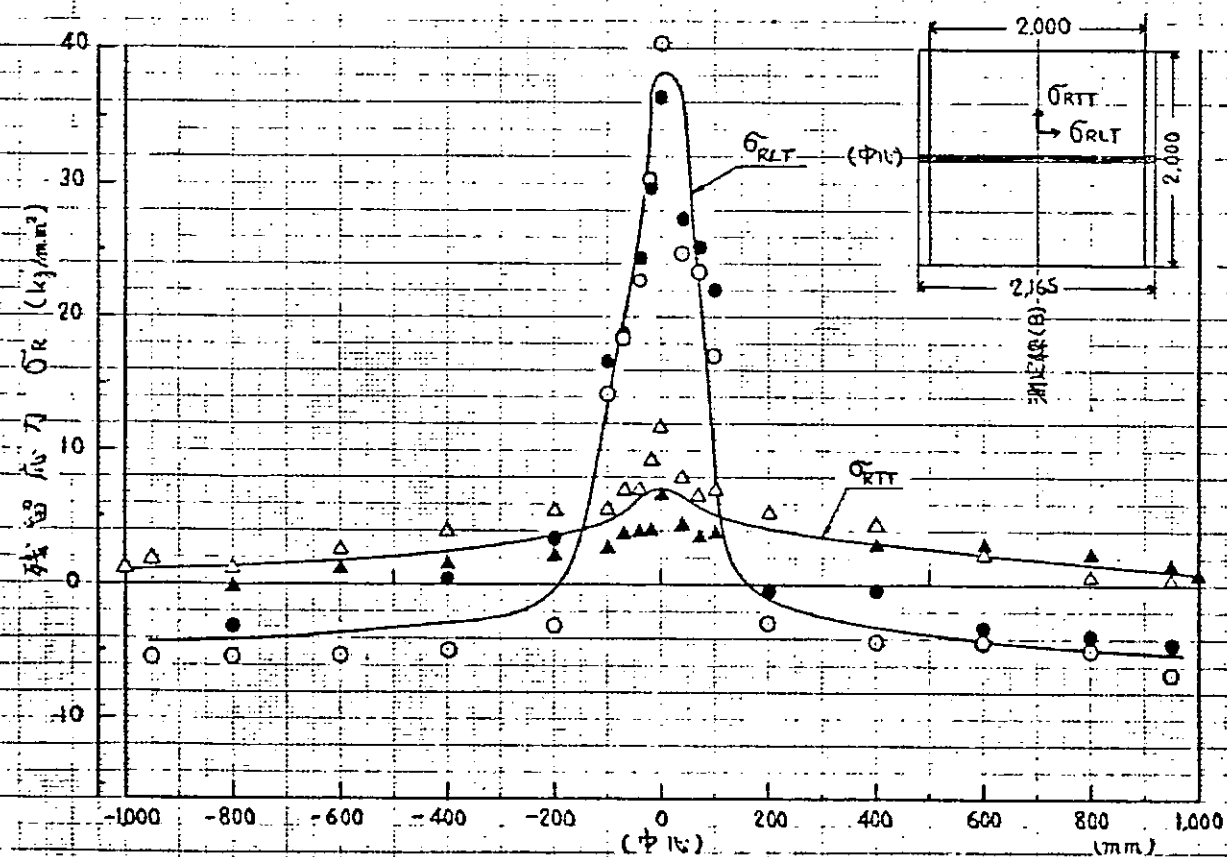
$C_1 = \sqrt{E/\rho}$ 試験片の縦波速度

$C_2 = \sqrt{G/\rho}$ 試験片の横波速度

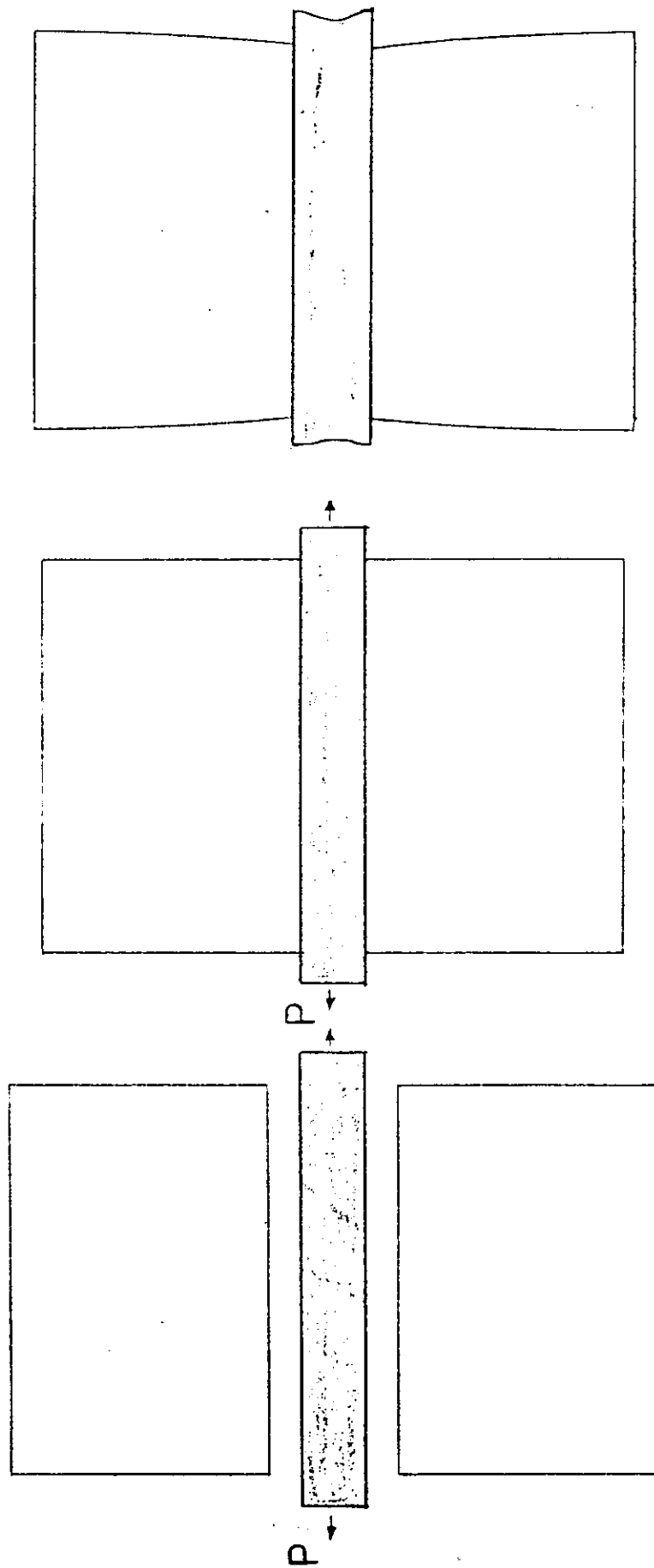
図6.4.1 溶接部モデル試験片



a) 溶接ボンド部における残留応力分布 (KAS鋼板外口ガス溶接継手, 継手長さ 2000mm)



b) 試験片中央部における残留応力の溶接線直角方向での分布 (KAS鋼板外口ガス溶接継手, 継手長さ 2000mm)



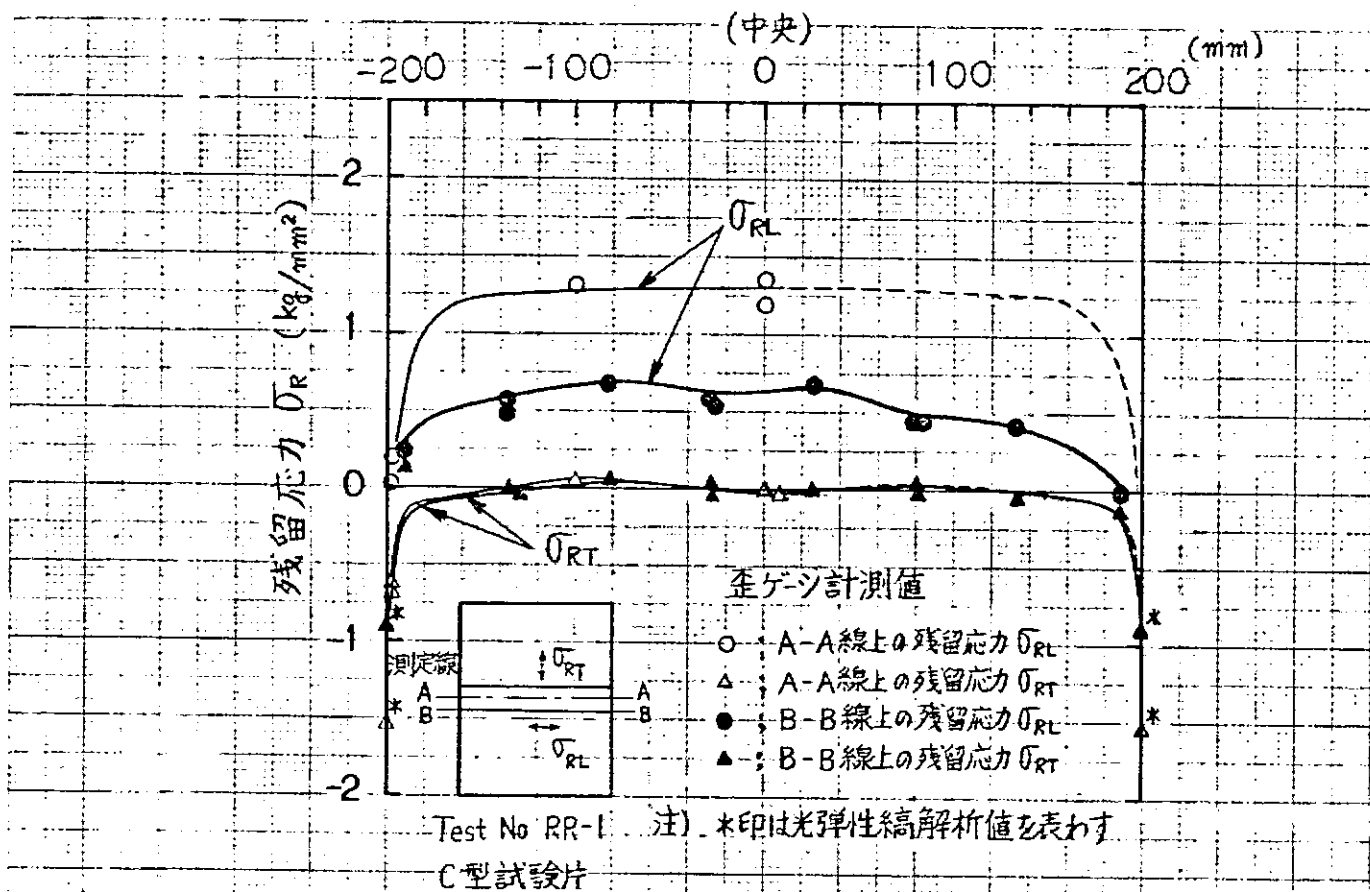
第1段階

第2段階

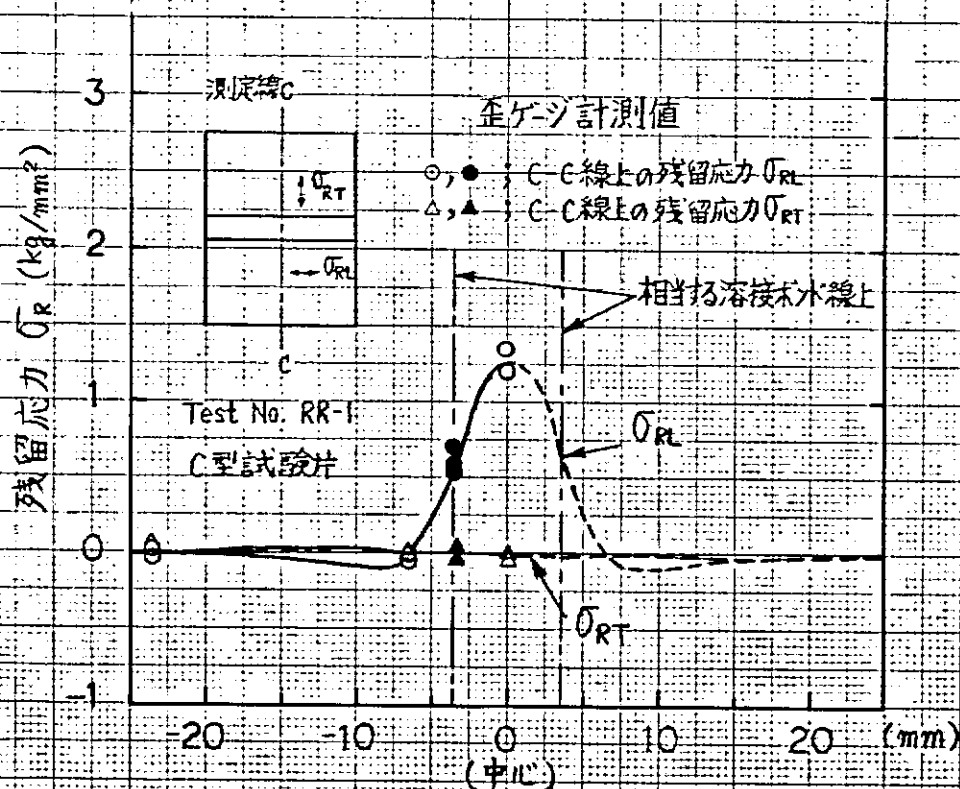
第3段階

溶接金属に相当する棒を引張る。 棒を引張った後、接着する。 接着後、除荷する。

図6.4.3 溶接残留応力に相当する内部応力の与え方



a) 残留応力型モデルの溶接部に相当する部分の残留応力分布



b) 残留応力型モデル試験片中央部における、相当する溶接線直角方向の残留応力分布

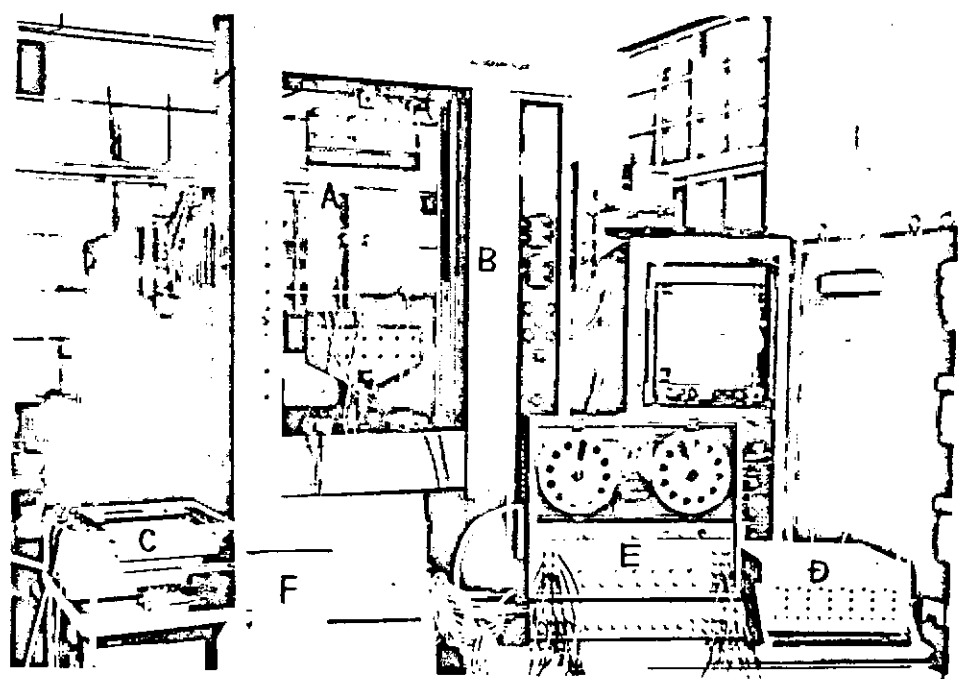


図6.4.5 動的破壊靱性試験装置

- A: 試験片
- B: イストロン引張試験機
- C: XYレコーダ
- D: 直流アンプ(動歪)
- E: データレコーダ
- F: 電磁オシログラフ

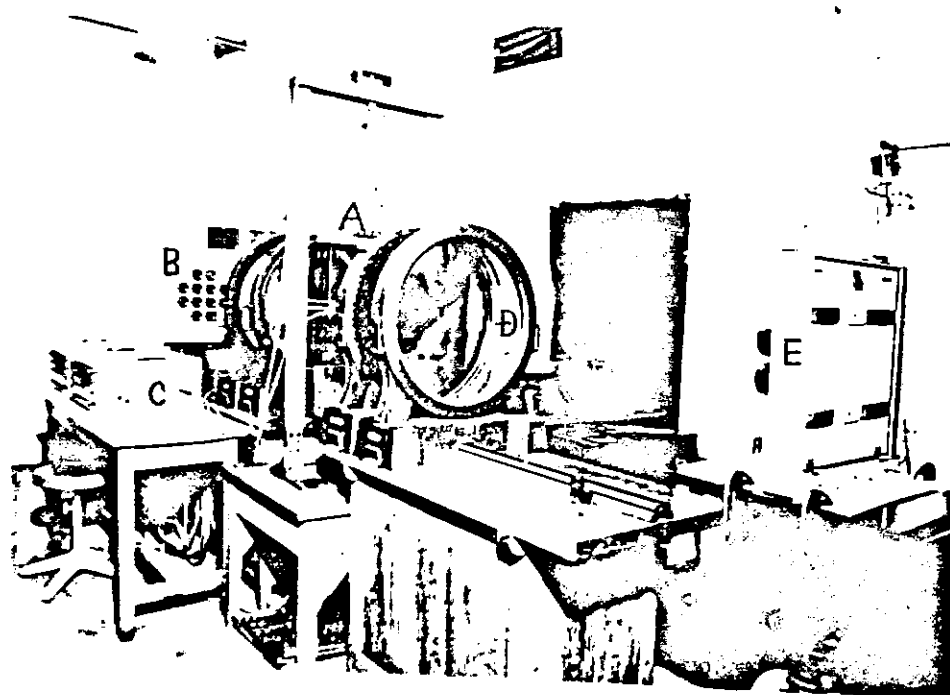


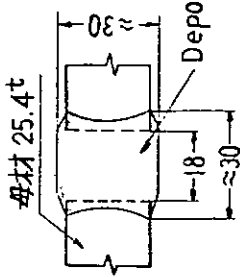
図6.4.6 動的伝播試験装置

- A: 試験片
- B: 光源部
- C: 発光遅延装置
- D: 光学系
- E: カメラ部

表6.4.4 供試材の化学成分ならびに機械的性質

鋼種	熱処理	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%)					機 械 的 性 質		
			C	Si	Mn	P	S	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
KAS	As Rolled	25.4	0.19	0.04	0.88	0.015	0.023	26	45	27

表6.4.5 溶接条件

鋼種	溶接法	溶接棒	雰囲気	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	自由長 (mm)	入熱量 (Joul/cm)	継手部形状
KAS (25.4)	エレクトロ ガス溶接	HS42G 3.2φ	CO ₂ ガス 25ℓ/min	560	36	6	60±10	173×10 ³	
				580	37	7		214×10 ³	

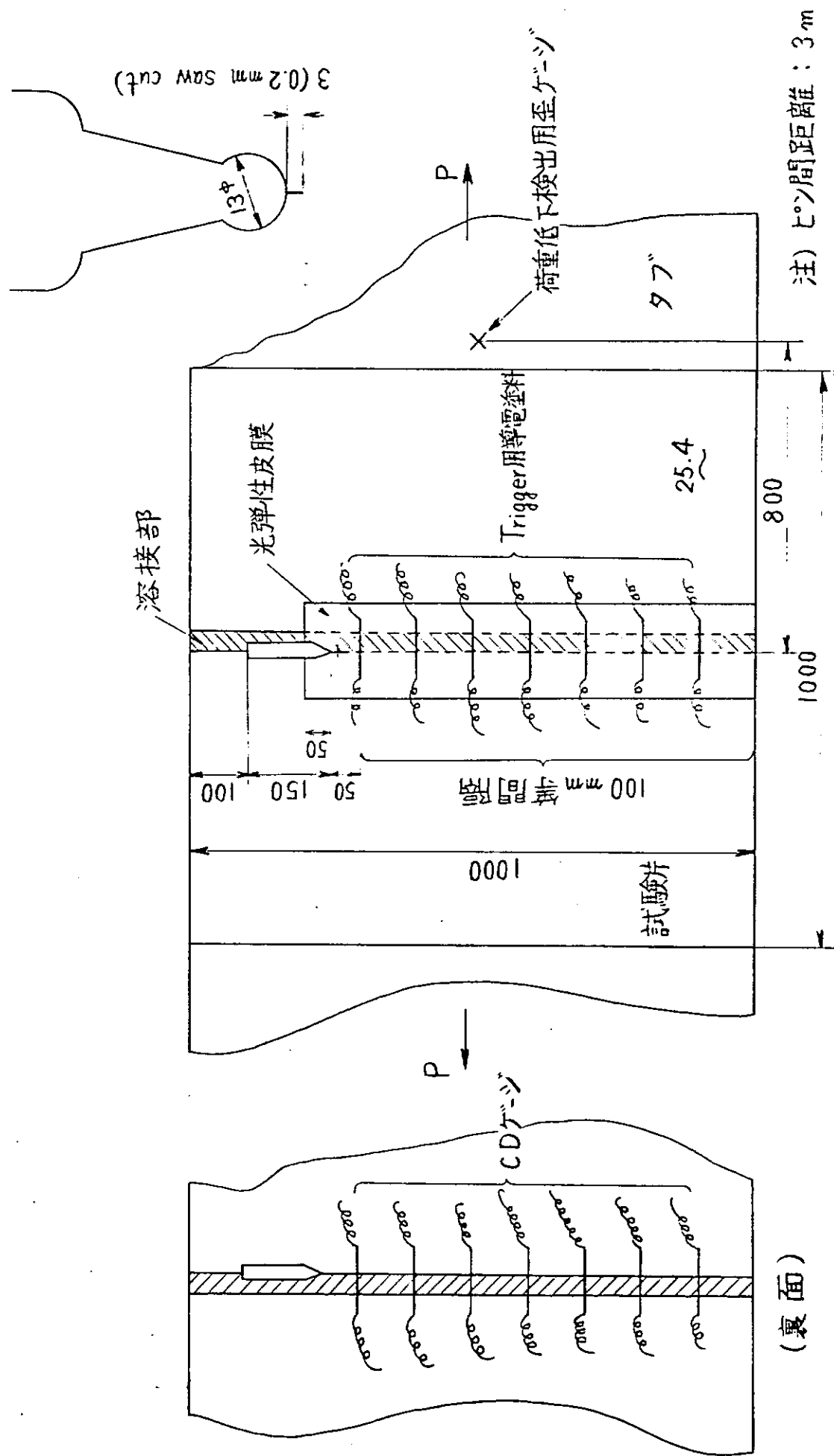
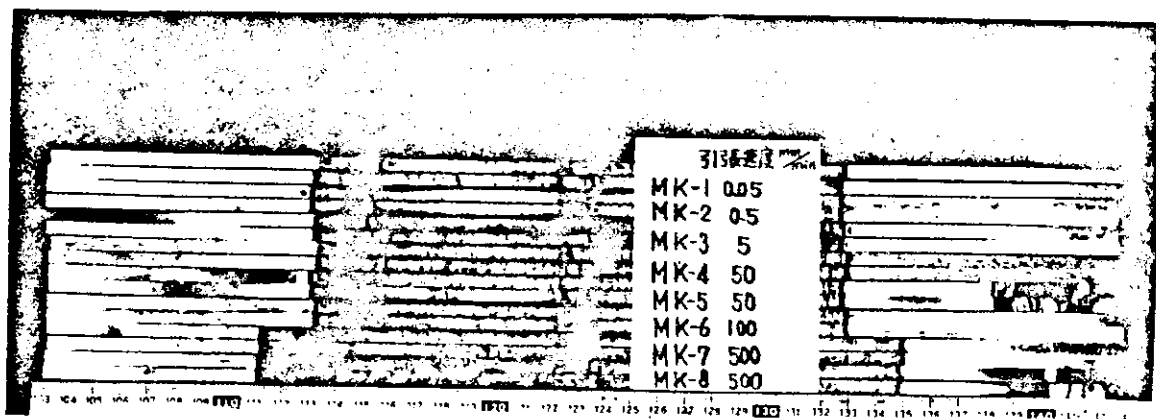


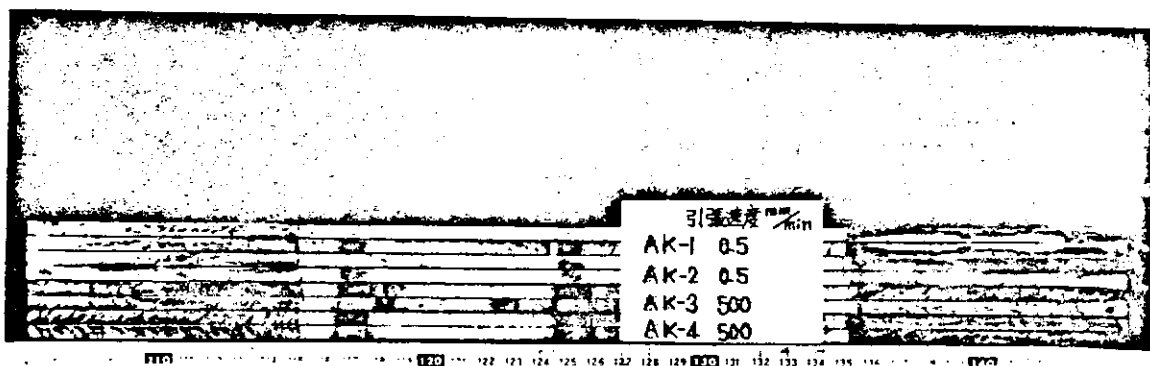
図6.4.7 光弾性皮膜法試験片形状



a) エポキシ母材

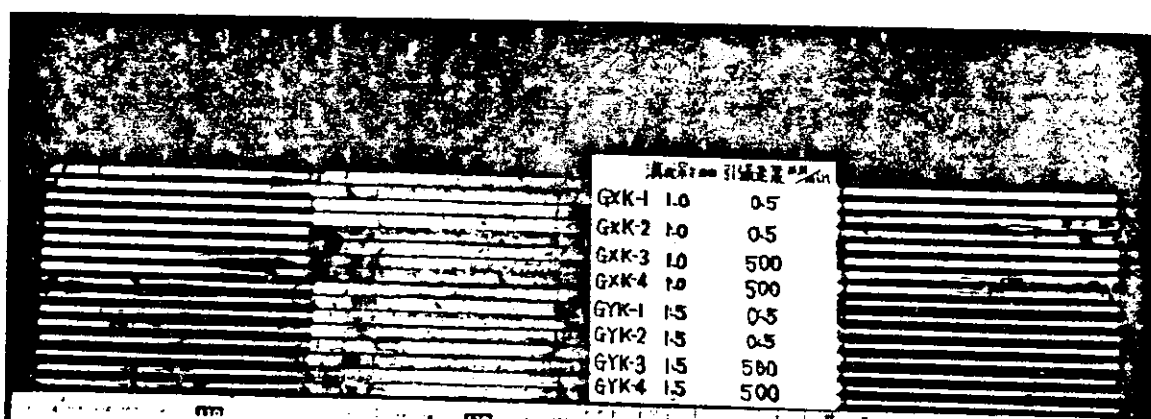
MK-1~6 $\phi 5$ 型試験片

MK-7,8 $\phi 6$ 型試験片



b) 接着型モデル

$\phi 5$ 型試験片



c) 溝付き型モデル

$\phi 5$ 型試験片

X; 溝の深さ1mm

Y; 溝の深さ1.5mm

図6.4.8 動的破壊靱性試験片の破面写真

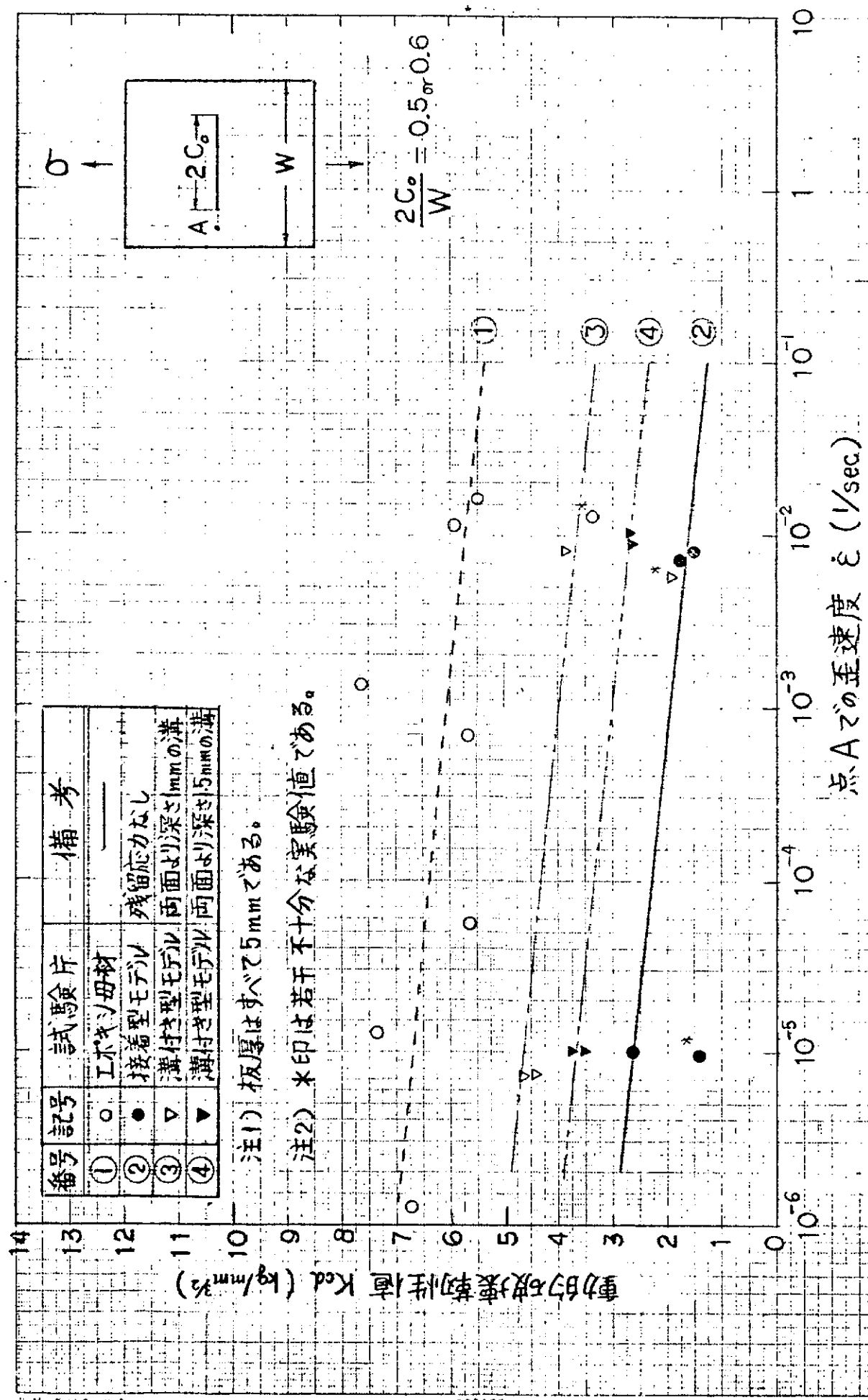


図6.4.9 エポキシ樹脂材の動的破壊靱性値 K_{cd}

$K_1 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$
 $K_2 = 0.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$

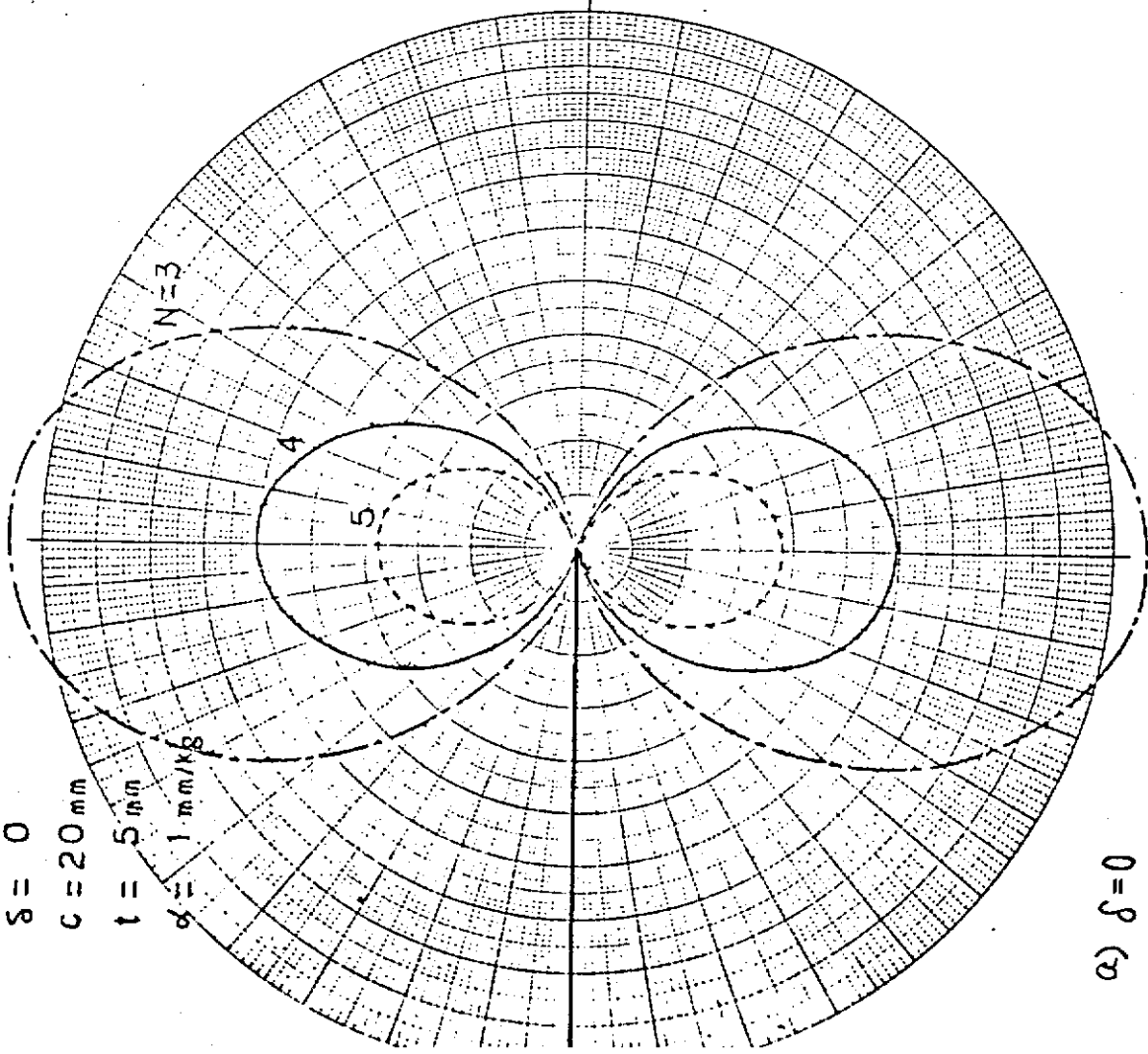
$\delta = 0$

$c = 20 \text{ mm}$

$t = 5 \text{ mm}$

$\alpha = 1 \text{ mm/kg}$

1 mm



a) $\delta = 0$

$K_1 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$
 $K_2 = 0.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$

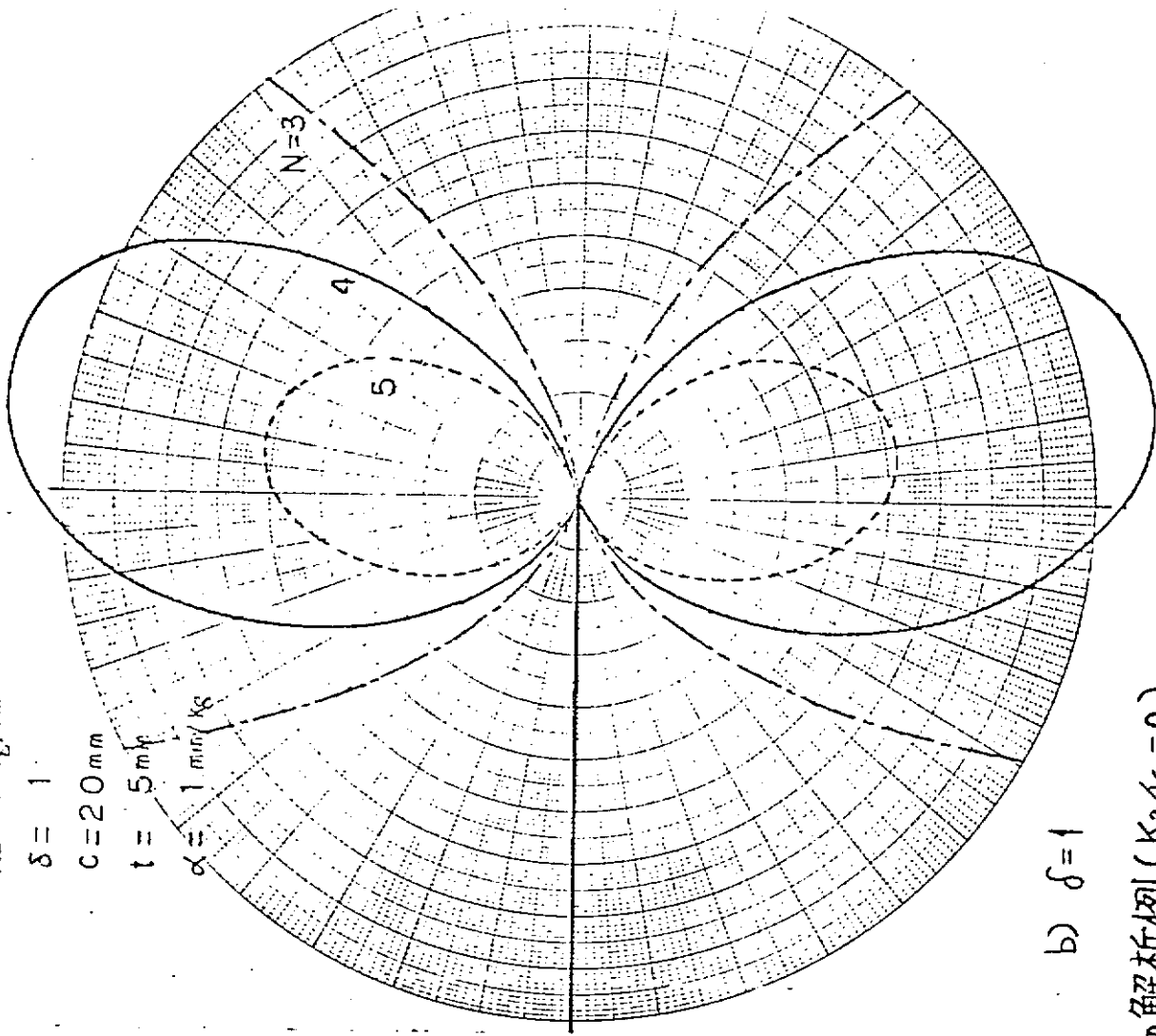
$\delta = 1$

$c = 20 \text{ mm}$

$t = 5 \text{ mm}$

$\alpha = 1 \text{ mm/kg}$

1 mm



b) $\delta = 1$

図6.4.10 光弾性縞の解析例 ($K_2/K_1 = 0$)

$$K_1 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

$$K_2 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

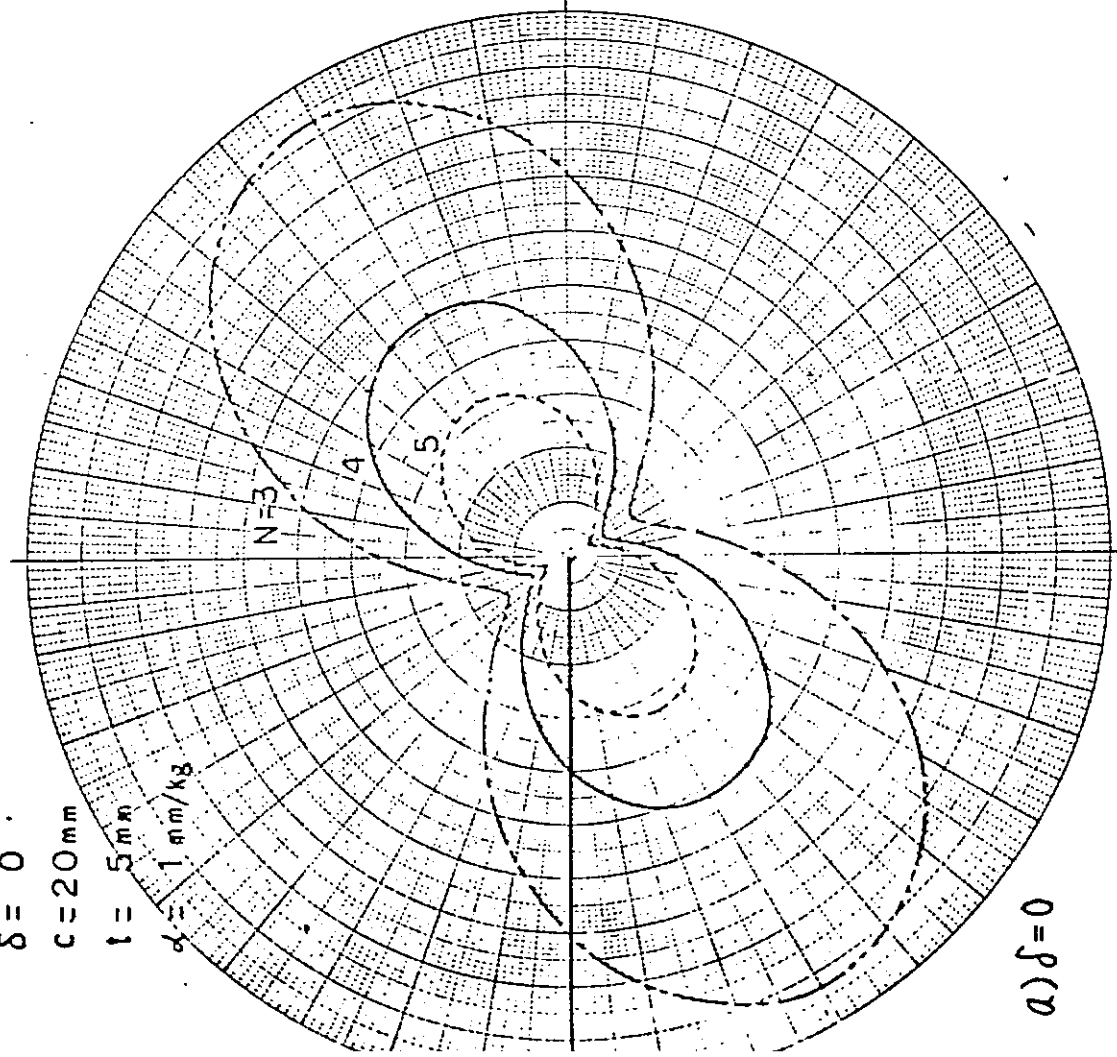
$$\delta = 0$$

$$c = 20 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1 \text{ mm/kg}$$

1 mm



a) $\delta = 0$

$$K_1 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

$$K_2 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

$$\delta = 1$$

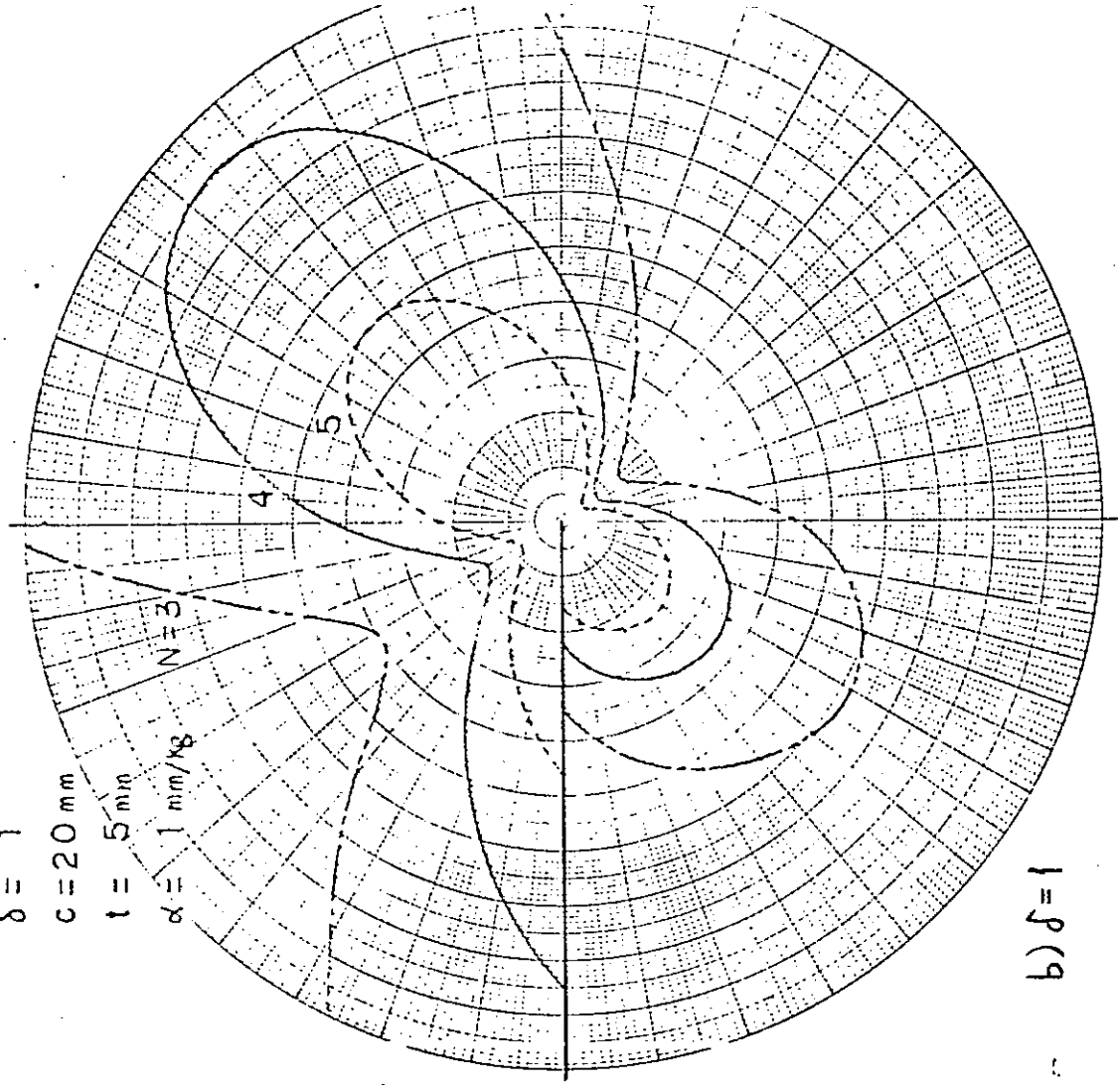
$$c = 20 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1 \text{ mm/kg}$$

$$N = 3$$

1 mm



b) $\delta = 1$

図6.4.11 光弾性縮の解析例 ($K_2/K_1 = 1$)

$$K_1 = 0.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

$$K_2 = 2.0 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

δ に無関係

$$c = 20 \text{ mm}$$

$$t = 5 \text{ mm}$$

$$\alpha = 1 \text{ mm/kg}$$

1 mm

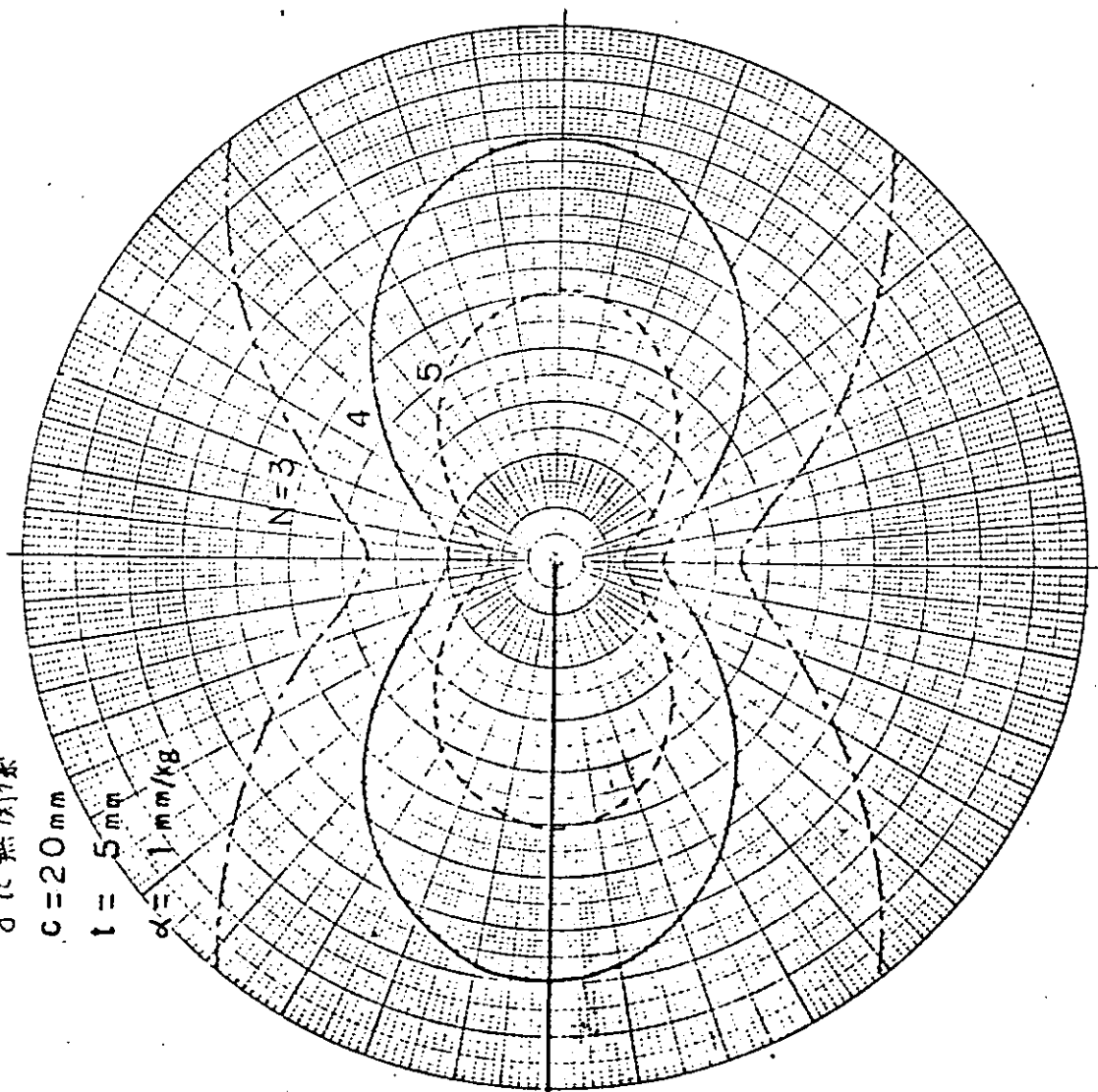
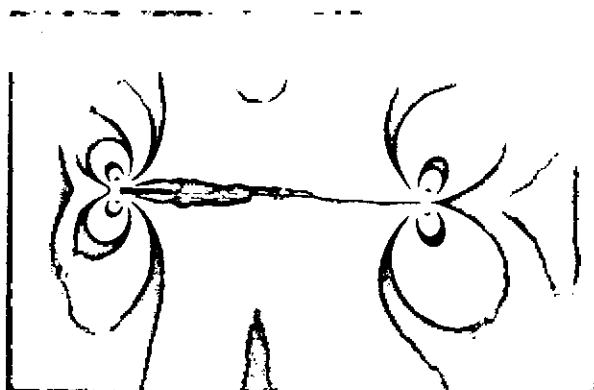


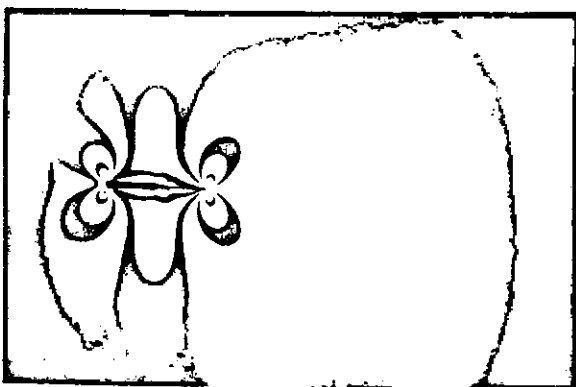
図6.4.12 半弾性線の角析例 ($K_1/K_2=0$)



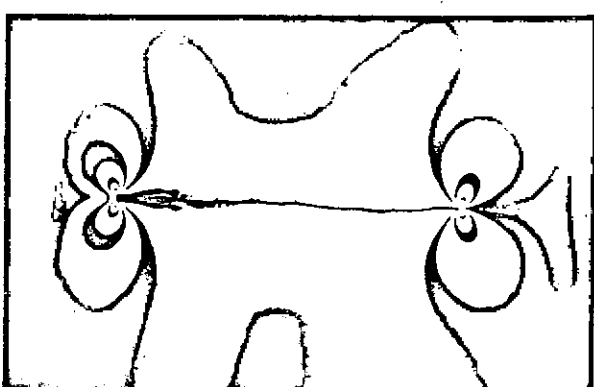
1) $\bar{\sigma} = 0.266 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.246$



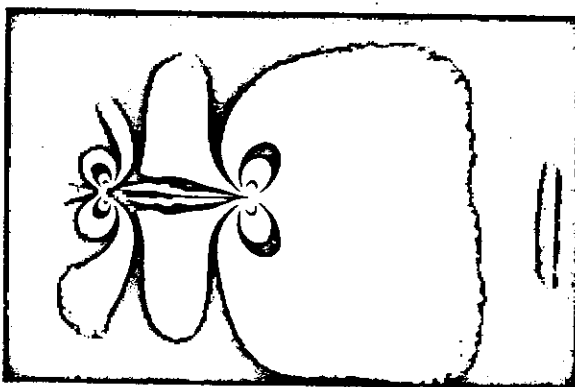
5) $\bar{\sigma} = 0.122 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.708$



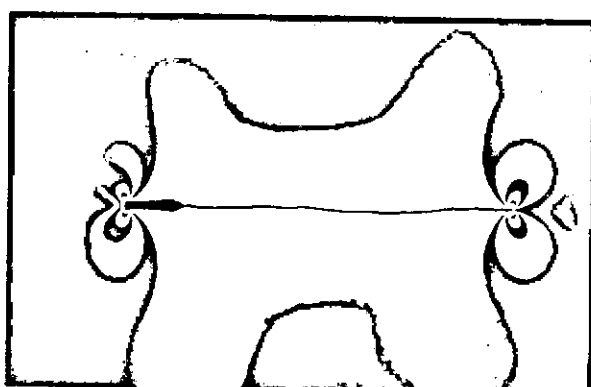
2) $\bar{\sigma} = 0.241 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.324$



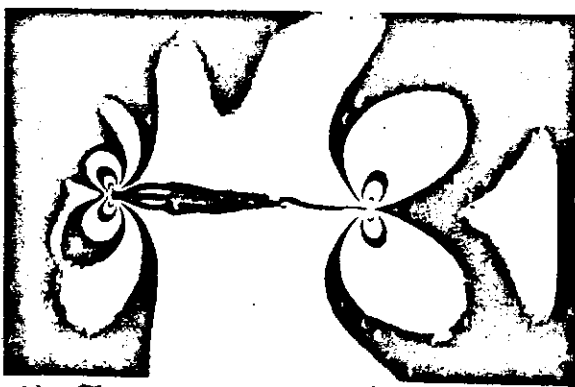
6) $\bar{\sigma} = 0.097 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.785$



3) $\bar{\sigma} = 0.217 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.402$



7) $\bar{\sigma} = 0.075 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.864$



4) $\bar{\sigma} = 0.147 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.626$



8) $\bar{\sigma} = 0.051 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d\sigma+2C}{W} = 0.947$

図6.4.13 エポキシ母材中の静的き裂光弾性縞写真
Test No. MS-1, B型試験片

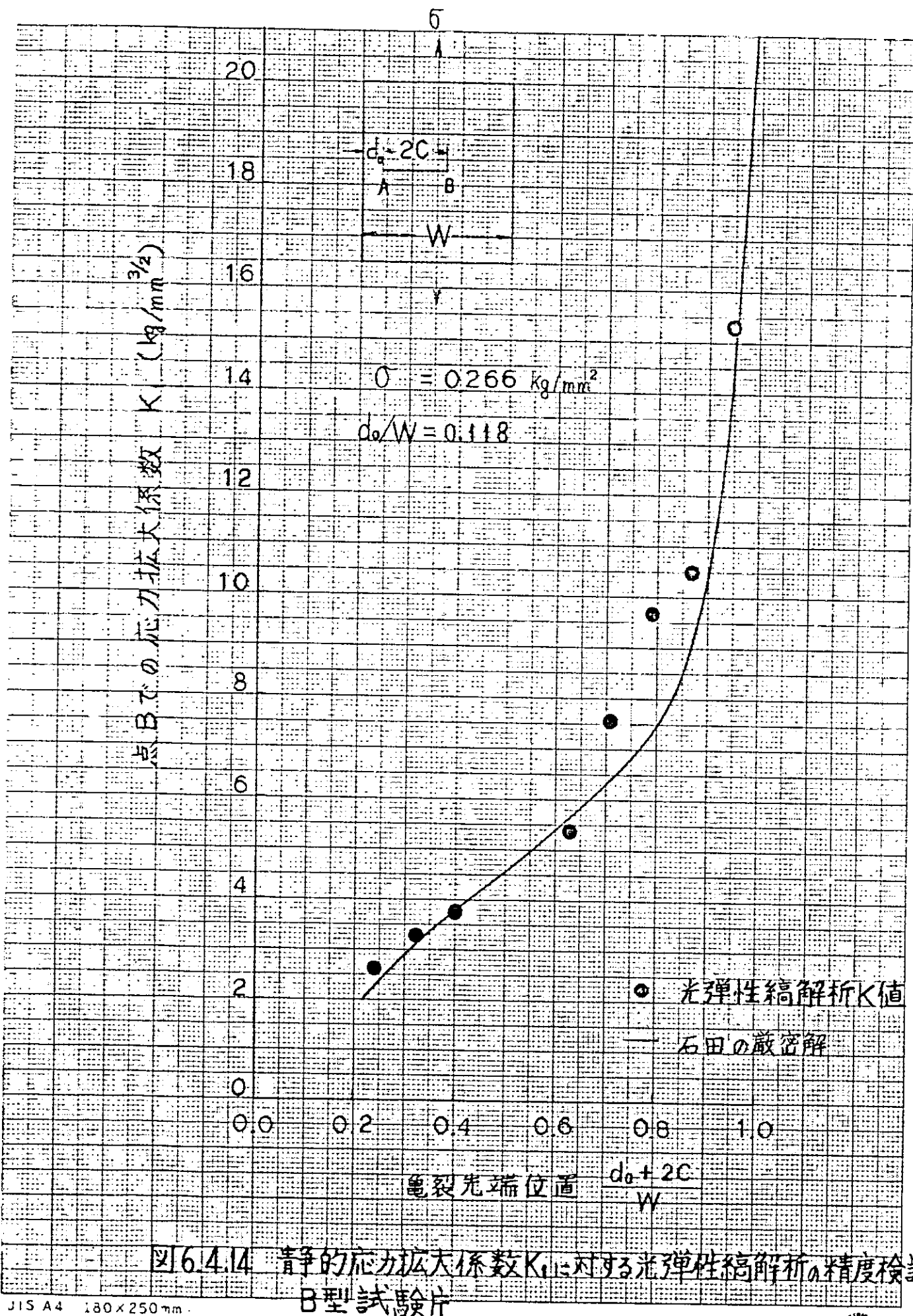
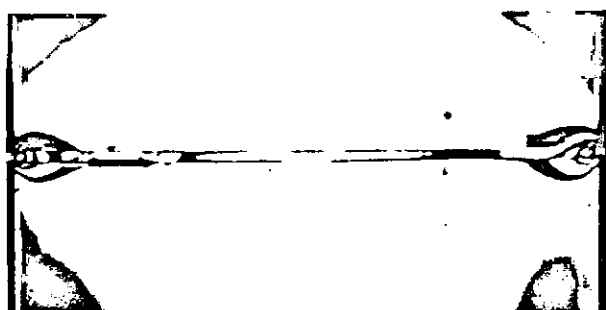
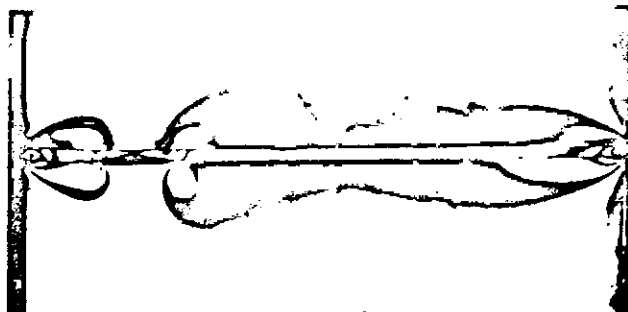


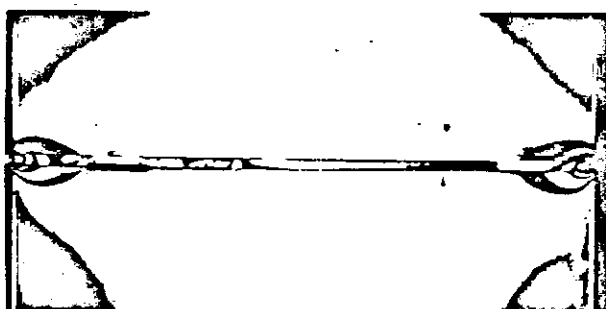
図6.4.14 静的応力拡大係数 K_I に対する光弾性縞解析の精度検討
B型試験片



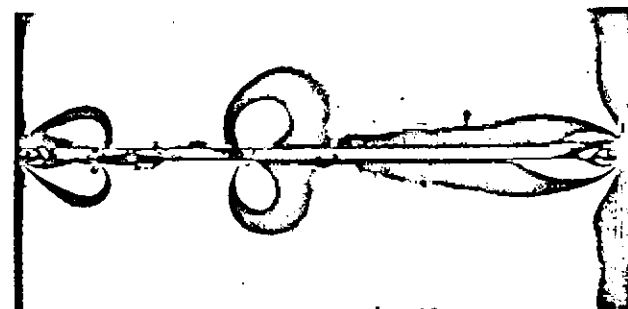
1) $\bar{\sigma} = 0 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.25$



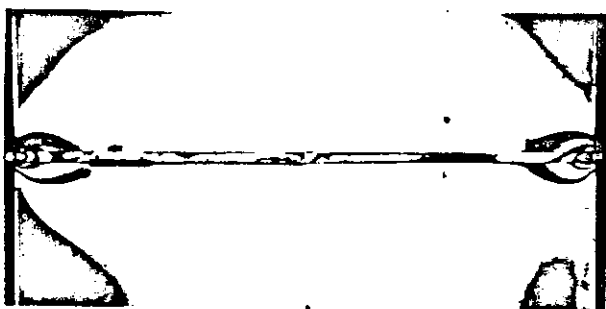
1') $\bar{\sigma} = 0.0923 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.25$



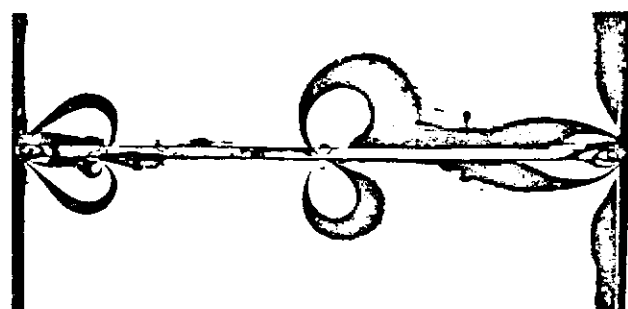
2) $\bar{\sigma} = 0 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.376$



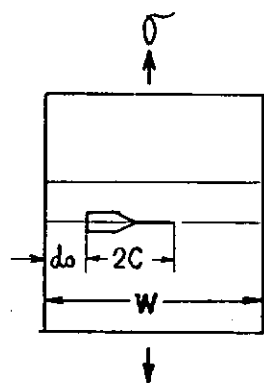
2') $\bar{\sigma} = 0.0798 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.376$



3) $\bar{\sigma} = 0 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.501$



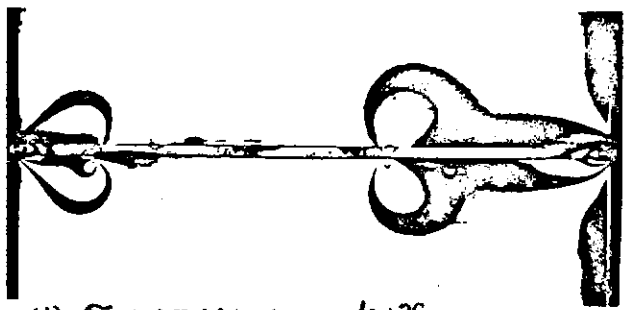
3') $\bar{\sigma} = 0.0676 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.501$



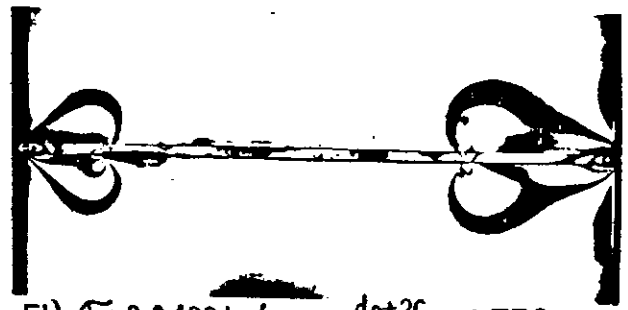
$d_0/W = 0.125$

相当する溶接部中央の残留応力

$\bar{\sigma}_{RL} - \bar{\sigma}_{RT} = 1.35 \text{ kg/mm}^2$



4') $\bar{\sigma} = 0.0548 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.627$



5') $\bar{\sigma} = 0.0423 \text{ kg/mm}^2$, $\frac{d_0+2C}{W} = 0.752$

図6.4.15 残留応力モデル中の静的き裂光弾性縞写真
Test No.RS-1, C型試験片

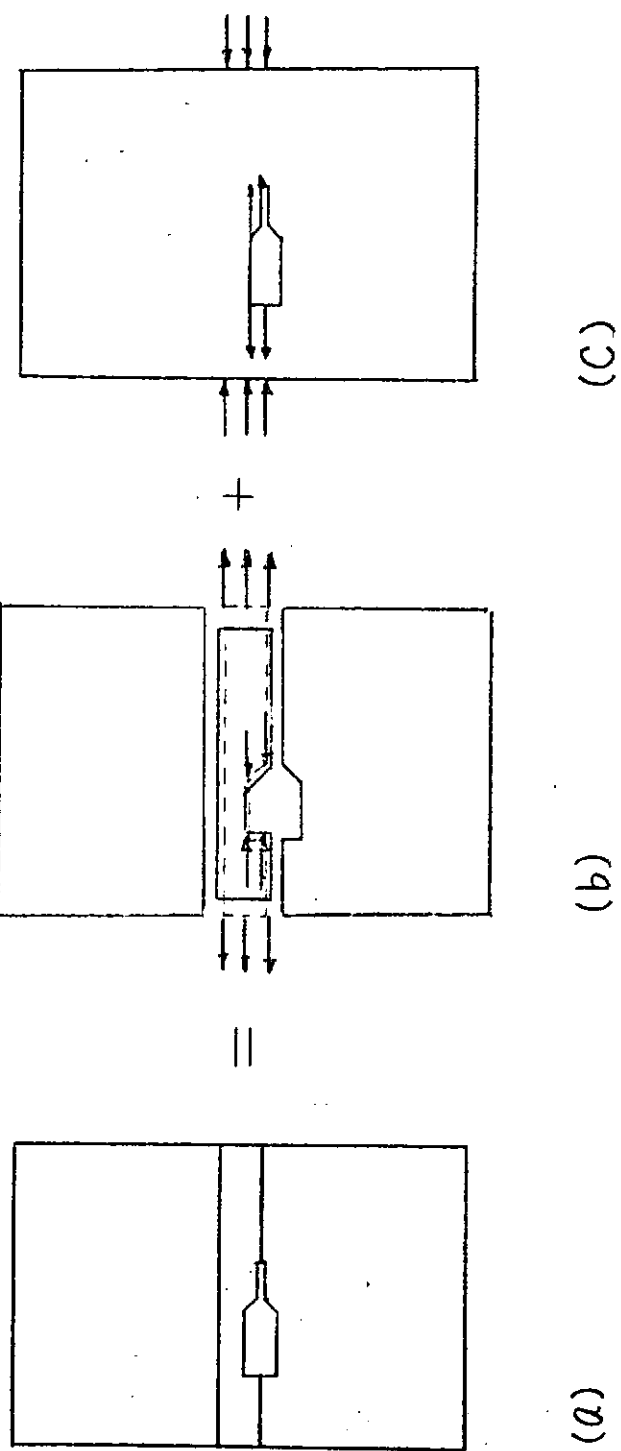


図6.4.17 溶接ボルト部に入れたき裂のK値計算問題に対する分解モデル
(切欠の影響あり)

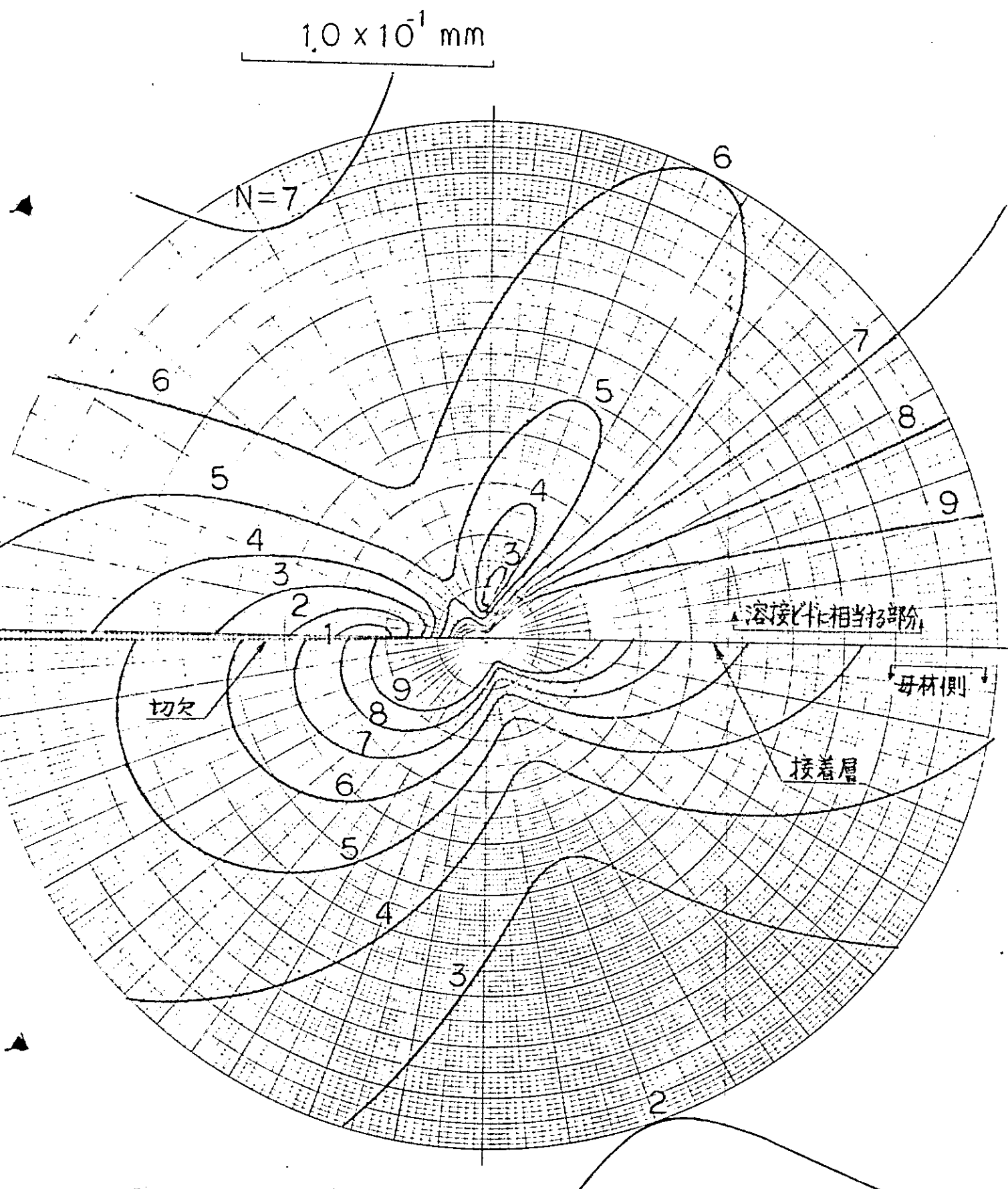


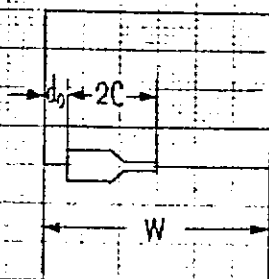
図6.4.19 残留応力モデルを裂先端近傍の光弾性縞解析例 (計算値)

$$K_1 = 0.245 \text{ kg/mm}^{3/2}$$

$$K_2 = 0.469 \text{ kg/mm}^{3/2}$$



Polar Section (図6.4.19)



- 光弾性縞解析 K_1 値
- 光弾性縞解析 K_2 値

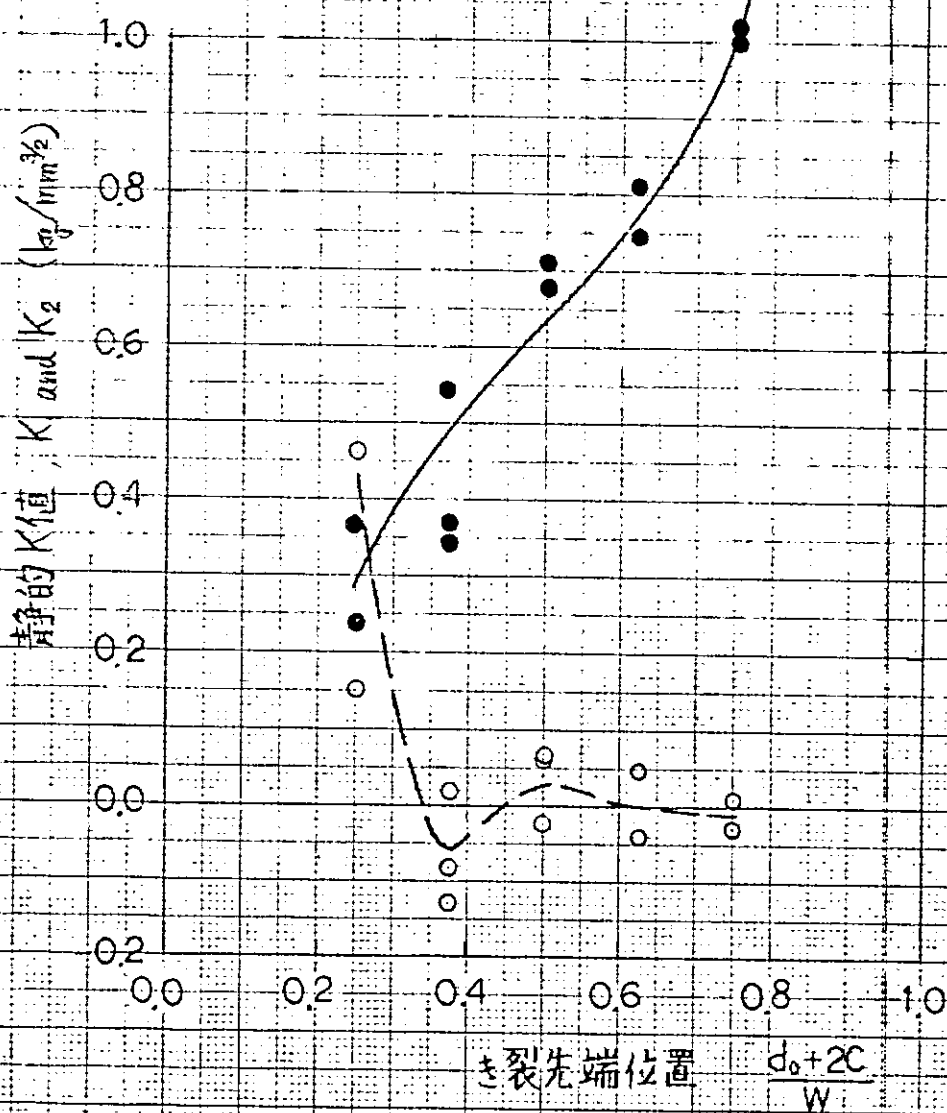
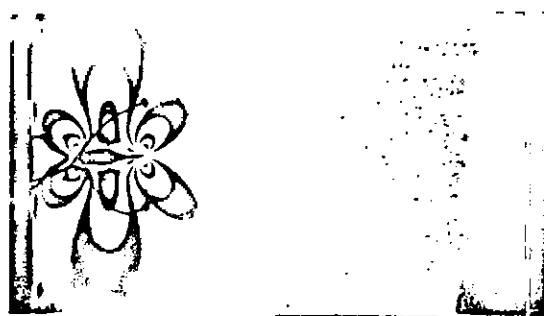


図 6.4.20 残留応力のみによって生ずる静的 K 値

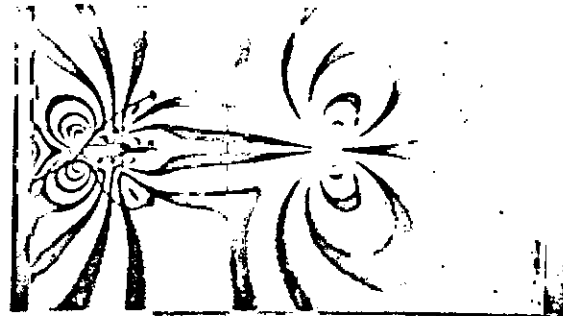
Test No. RS-1, C型試験片

表 6.4.6 動的伝播試験結果一覽表

試験項目	Test No.	試験片	平均負荷応力 (kg/mm^2)	荷重分布形状	応力比 σ_2/σ_1	打撃エネルギー ($\text{kg}\cdot\text{m}$)	K_{ci} ($\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$)	K_{ca} ($\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$)	$(V/c)_\text{max}$	溝の深さ (mm)	備考
伝播試験	M Φ 2	A	0.352	uniform	1	—	6.4	—	0.235	—	エポキシ母材
	M Φ 3	B	0.534	uniform	1	—	6.4	—	0.353	—	エポキシ母材
	A Φ 1	C	0.245	uniform	1	—	2.6	—	0.458	—	接着型モデル
	G Φ 1	C	0.1994	uniform	1	0.0271	4.6	—	0.229	1.18	溝付き型モデル
	R Φ 1	C	0.109	uniform	1	—	2.3	—	0.365	—	残留応力型モデル
	R Φ 2	B	0.23	uniform	1	—	2.3	—	0.508	—	残留応力型モデル
	R Φ 3	C	0.276	uniform	1	—	2.3	—	0.217	—	残留応力型モデル
	MA1	C	0.1251	decreasing	-0.5	0.0473	6.4	1.75	0.192	—	エポキシ母材
	MA2	C	0.1259	decreasing	-0.5	0.0473	6.4	1.60	0.365	—	エポキシ母材
伝播停止試験	AA1	C	0.0761	decreasing	-0.5	0.0122	2.6	1.55	0.217	—	接着型モデル
	GA1	C	0.0740	decreasing	-0.5	0.0271	4.6	1.45	0.186	1.19	溝付き型モデル
	GA2	C	0.0767	decreasing	-0.5	0.0122	3.6	1.25	0.189	1.63	溝付き型モデル
枝分れ試験	MB1	C	0.510	increasing	-11	0.1012	6.4	—	0.378	—	エポキシ母材
	GB1	C	0.300	increasing	-11	0.0473	4.6	—	0.248	1.24	溝付き型モデル



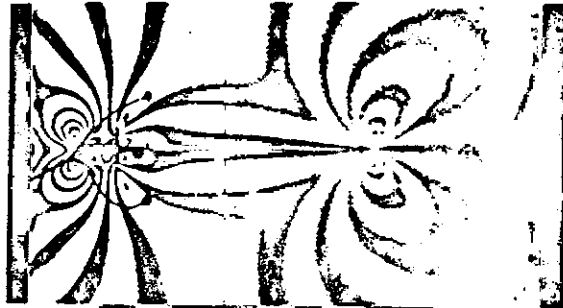
1) き裂発生前



6) $t = 280 \mu\text{sec}$



2) $t = 5 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



7) $t = 350 \mu\text{sec}$



3) $t = 70 \mu\text{sec}$



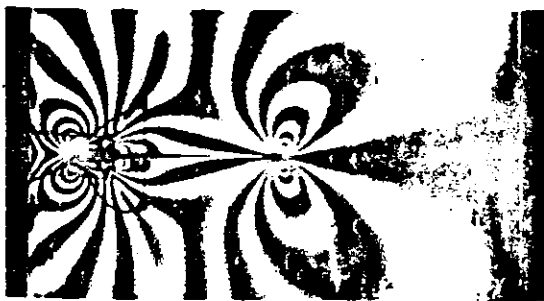
8) $t = 420 \mu\text{sec}$



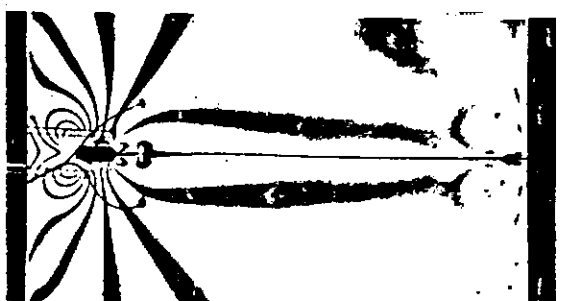
4) $t = 140 \mu\text{sec}$



9) $t = 490 \mu\text{sec}$



5) $t = 210 \mu\text{sec}$

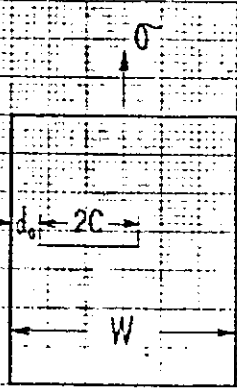


10) $t = 630 \mu\text{sec}$

図6.4.21 エポキシ母材中の動的き裂光弾性縞写真

Test No. MB-2, A型試験片

負荷応力 $\sigma = 0.352 \text{ kg/mm}^2$, 打撃によるき裂発生



$\sigma = 0.352 \text{ kg/mm}^2$
 $d_0/W = 0.1$

Test No. MD-2, A型試験片

- 静的K値 (石田の解)
- 静的破壊靱性値 K_{ci}
- 光弾性解析 K値 K_d
- 打撃直前の K値
- x き裂伝播速度 V
- 定常伝播速度 V

$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

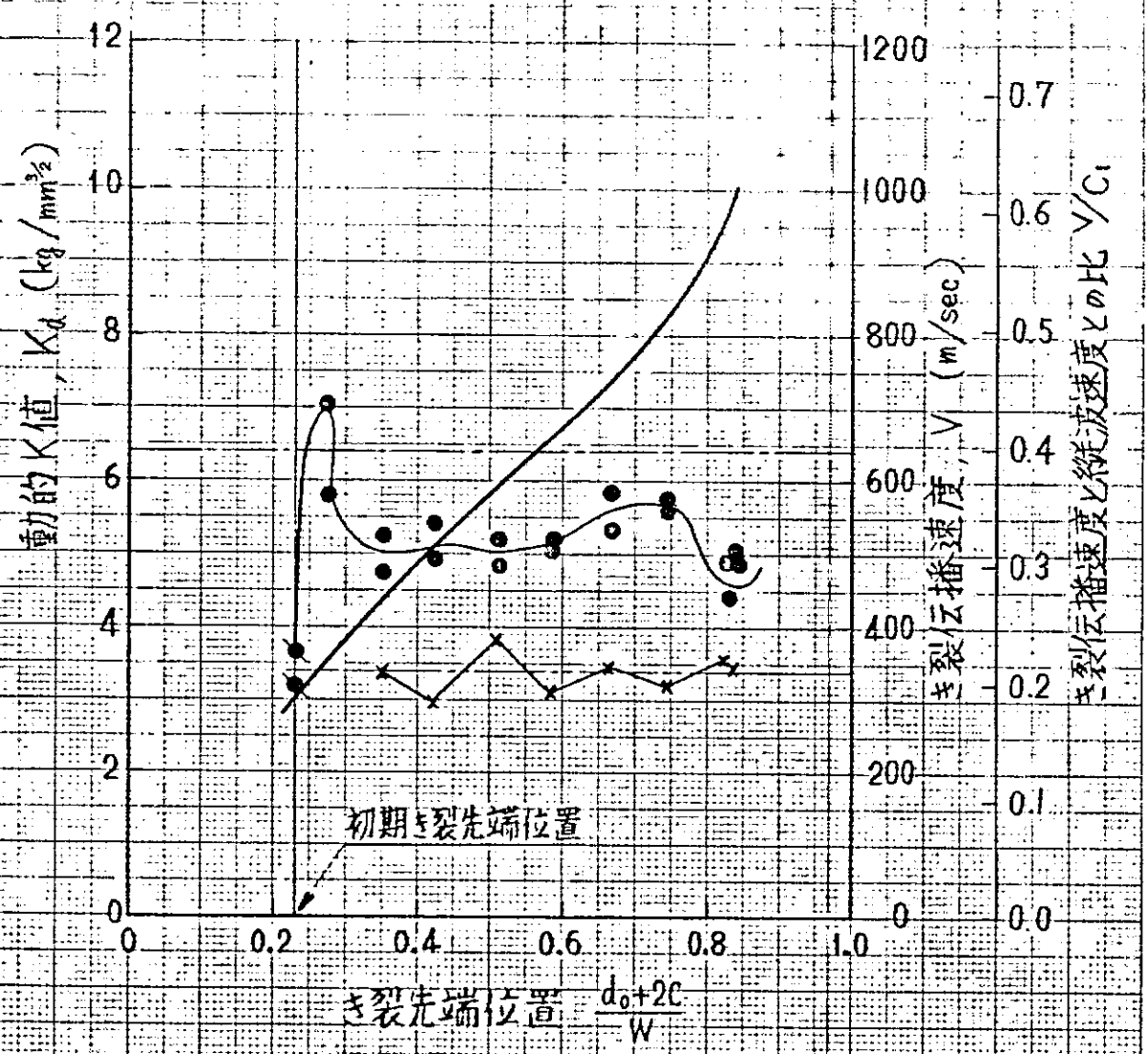


図6.4.22 イボキシ母材伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

試験番号	負荷応力 (kg/mm ²)
MD-6	0.367
MD-7	0.367
MD-8	0.276

注) ×印は破断点を示す。

Test No. MD-7
Test No. MD-6
Test No. MD-8

A型試験片

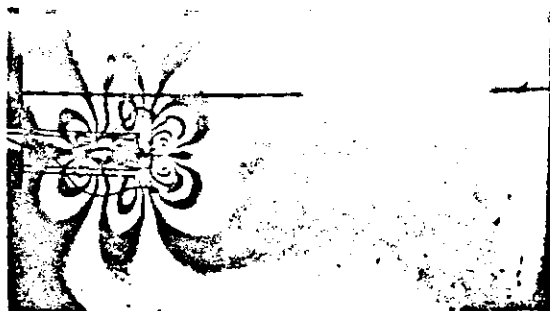
$t = 6 \text{ mm}$
 $d_0 = 30 \text{ mm}$
 $2C_0 = 30 \text{ mm}$
 $W = 300 \text{ mm}$

き裂伝播時間 t (μsec)

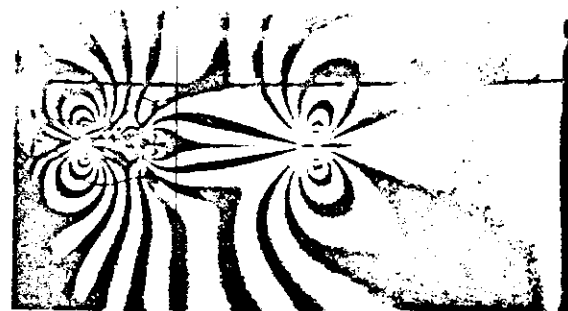
荷重低下率とき裂伝播時間の関係

図 6.4.23

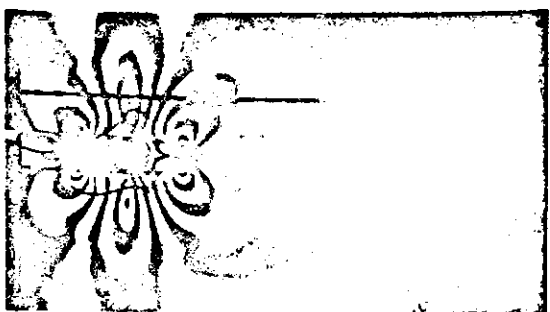
荷重低下率 $P(t)/P(0)$



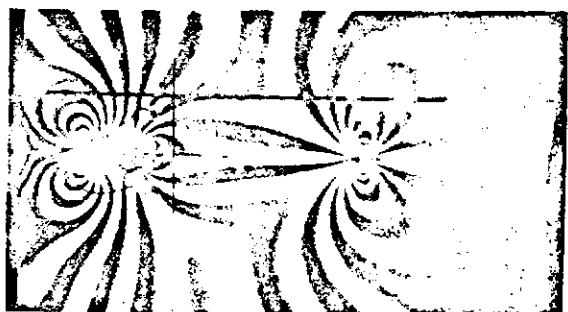
1) $t = 3 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



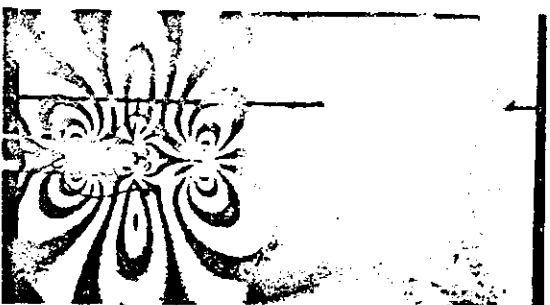
6) $t = 300 \mu\text{sec}$



2) $t = 50 \mu\text{sec}$



7) $t = 400 \mu\text{sec}$



3) $t = 100 \mu\text{sec}$



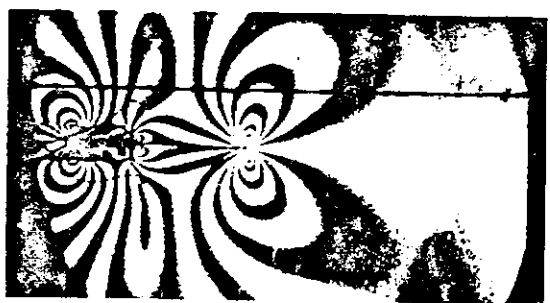
8) $t = 500 \mu\text{sec}$



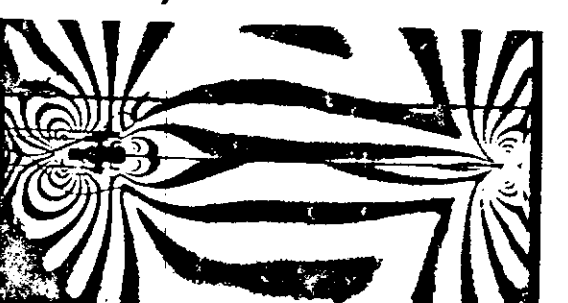
4) $t = 150 \mu\text{sec}$



9) $t = 600 \mu\text{sec}$



5) $t = 200 \mu\text{sec}$

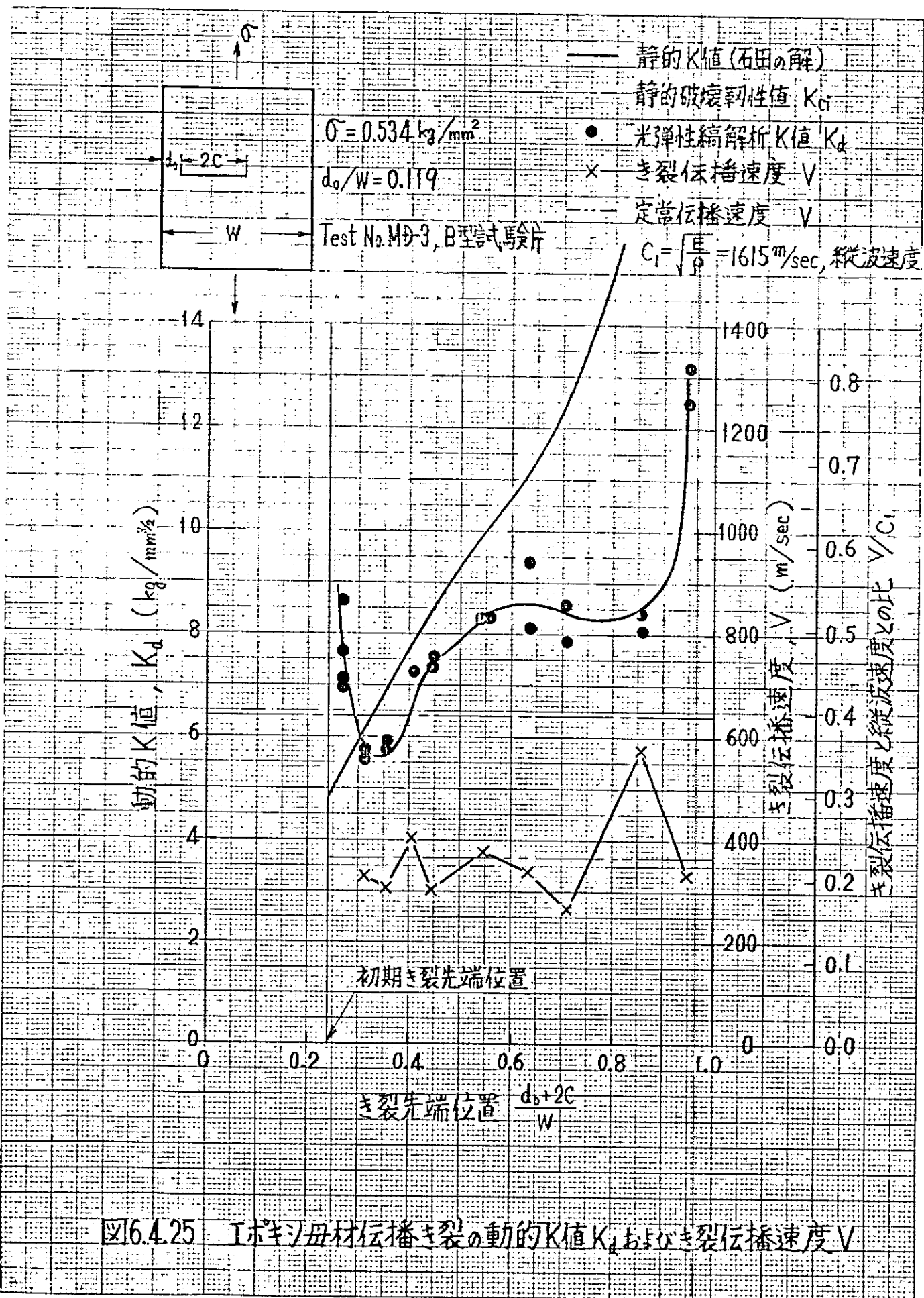


10) $t = 700 \mu\text{sec}$

図6.4.24 エポキシ母材中の動的き裂光弾性縞写真

Test No. MB-3, B型試験片

負荷応力 $\sigma = 0.534 \text{ kg/mm}^2$, 打撃によるき裂発生



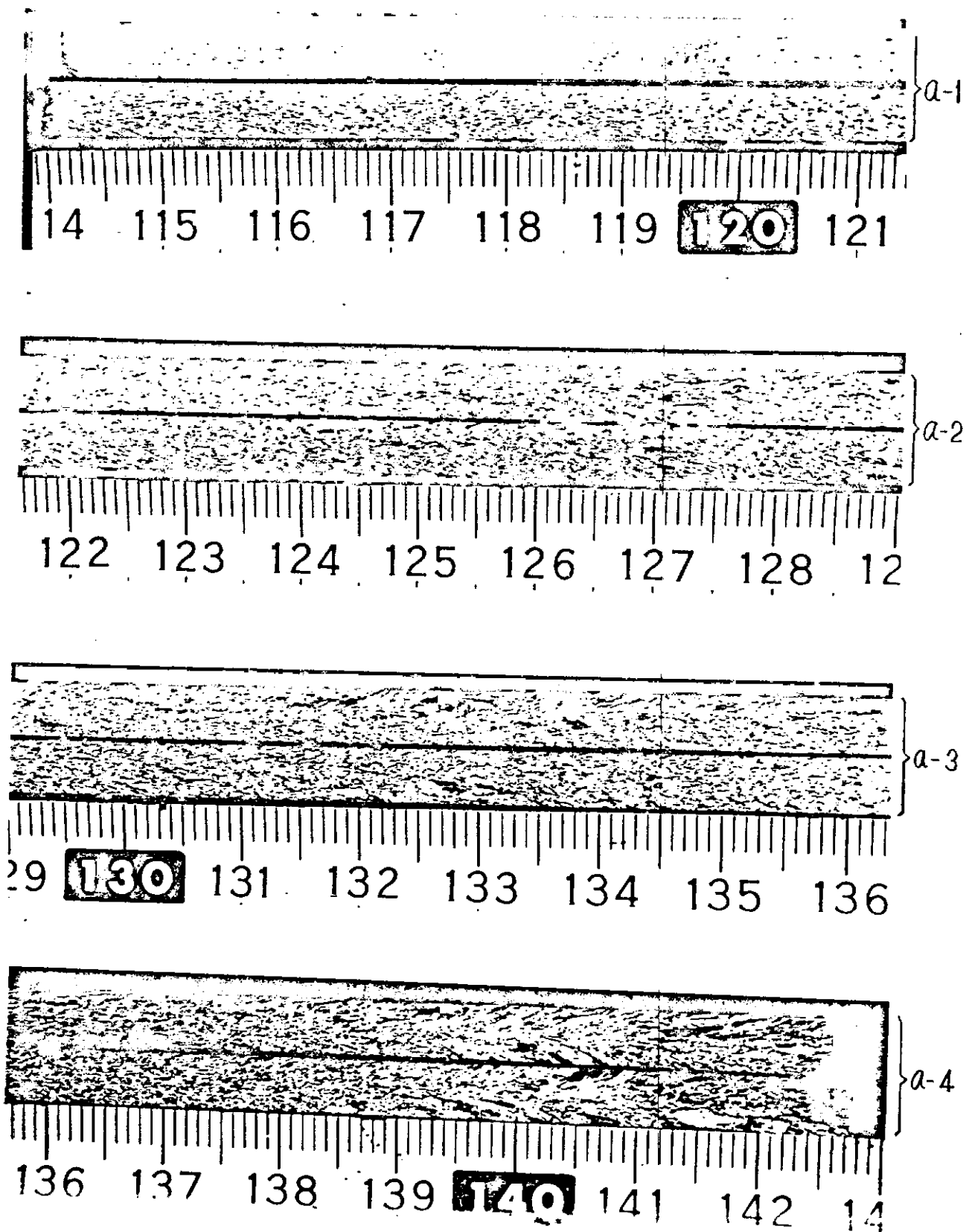
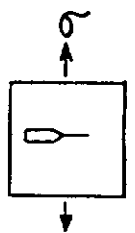


図6.4.26 動的伝播試験片の破面写真(倍率2倍)

伝播試験(エポキシ母材)

a) Test No. MD-3, B型試験片, 定荷重条件 $\sigma = 0.534 \text{ kg/mm}^2$





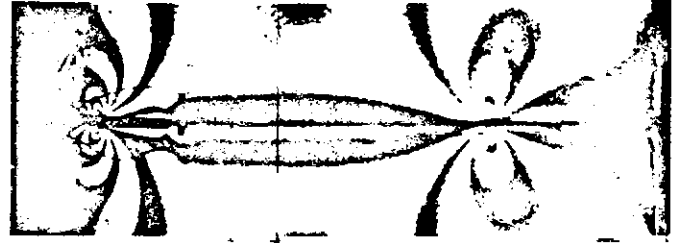
1) $t = 50 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



6) $t = 300 \mu\text{sec}$



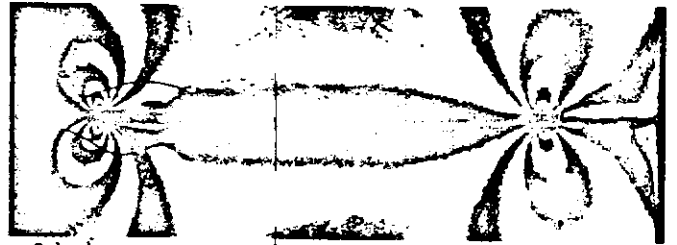
2) $t = 100 \mu\text{sec}$



7) $t = 350 \mu\text{sec}$



3) $t = 150 \mu\text{sec}$



8) $t = 400 \mu\text{sec}$



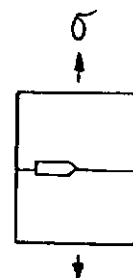
4) $t = 200 \mu\text{sec}$

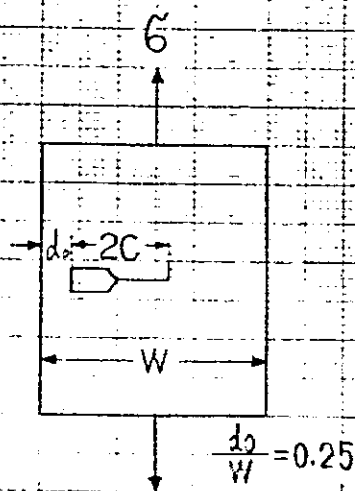


5) $t = 250 \mu\text{sec}$

図6.4.27 接着型モデル中の動的き裂光弾性縞写真
伝播試験

Test No. AD-1, C型試験片
定荷重条件 $\sigma = 0.245 \text{ kg/mm}^2$
打撃によるき裂発生





- 静的K値(石田の解)
- 静的破壊靱性値 K_{Ic}
- 光弾性解析K値 K_d
- × き裂伝播速度
- $C_I = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

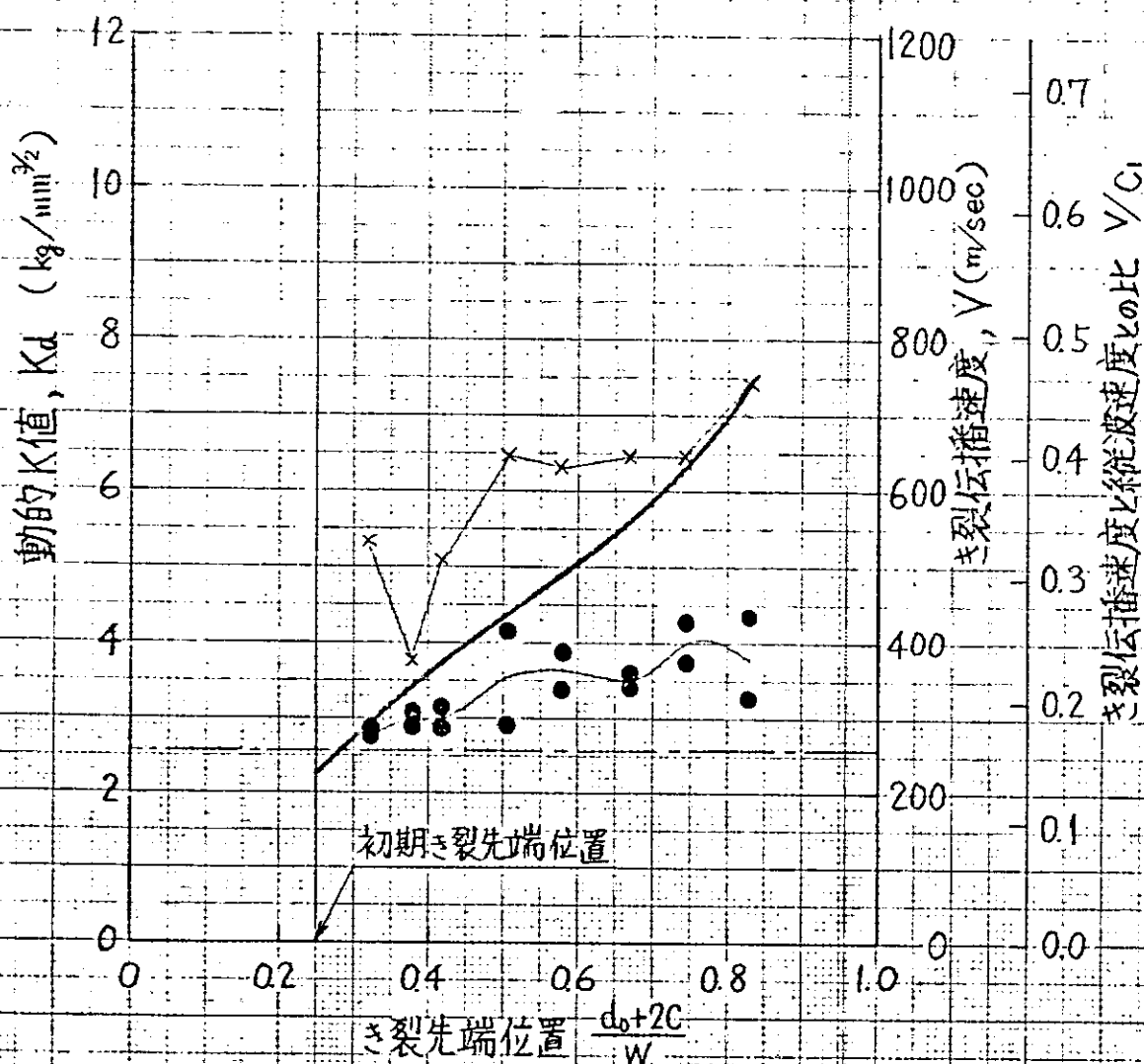


図6.4.28 接着型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

伝播試験

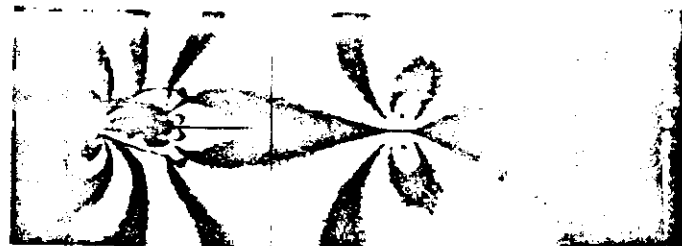
Test No. AD-1, C型試験片

定荷重条件 $\sigma = 0.245 \text{ kg/mm}^2$

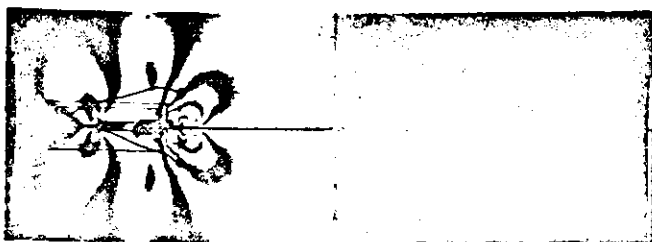
打撃によるき裂発生



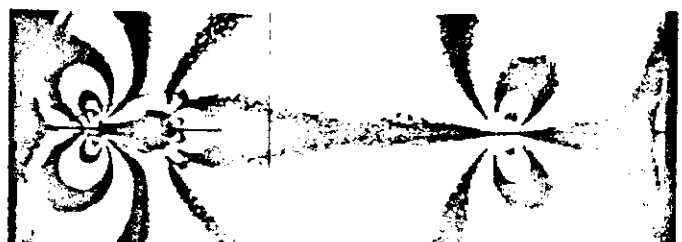
1) き裂発生前



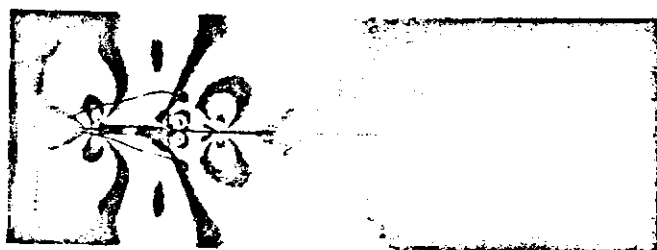
7) $t = 400 \mu\text{sec}$



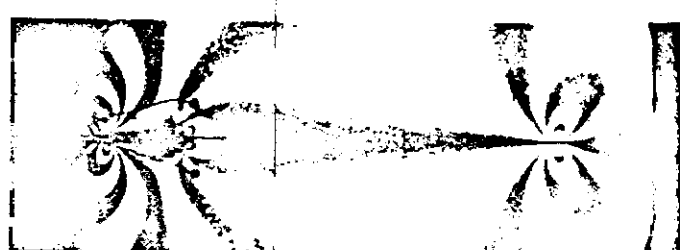
2) $t = 3 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



8) $t = 600 \mu\text{sec}$



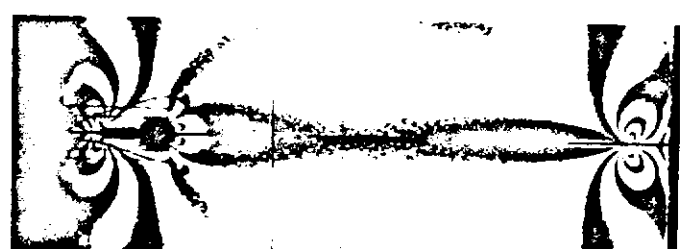
3) $t = 50 \mu\text{sec}$



9) $t = 700 \mu\text{sec}$



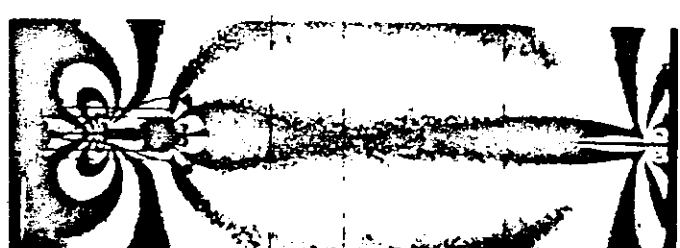
4) $t = 100 \mu\text{sec}$



10) $t = 800 \mu\text{sec}$



5) $t = 200 \mu\text{sec}$



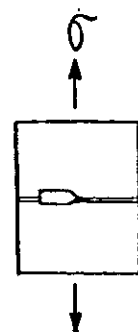
11) $t = 900 \mu\text{sec}$

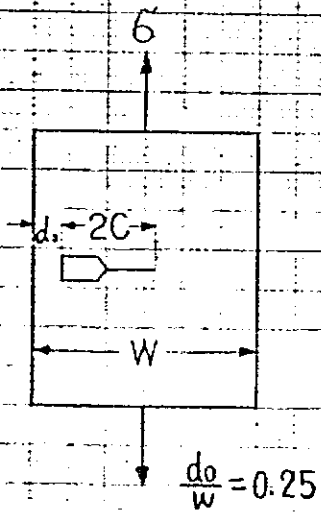


6) $t = 300 \mu\text{sec}$

図6.4.29 溝付き型玉デリ中の動的き裂光弾性縞写真
伝播試験

Test No. GD-1, C型試験片, 溝の深さ1.18 mm
定荷重条件 $\sigma = 0.1994 \text{ kg/mm}^2$
打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー; 0.0271 kg·m





- 静的K値 (石田の解)
- 静的破壊靱性値 K_{ci}
- 光弾性経解析K値 K_d
- 打撃直前のK値
- × き裂伝播速度
- $C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

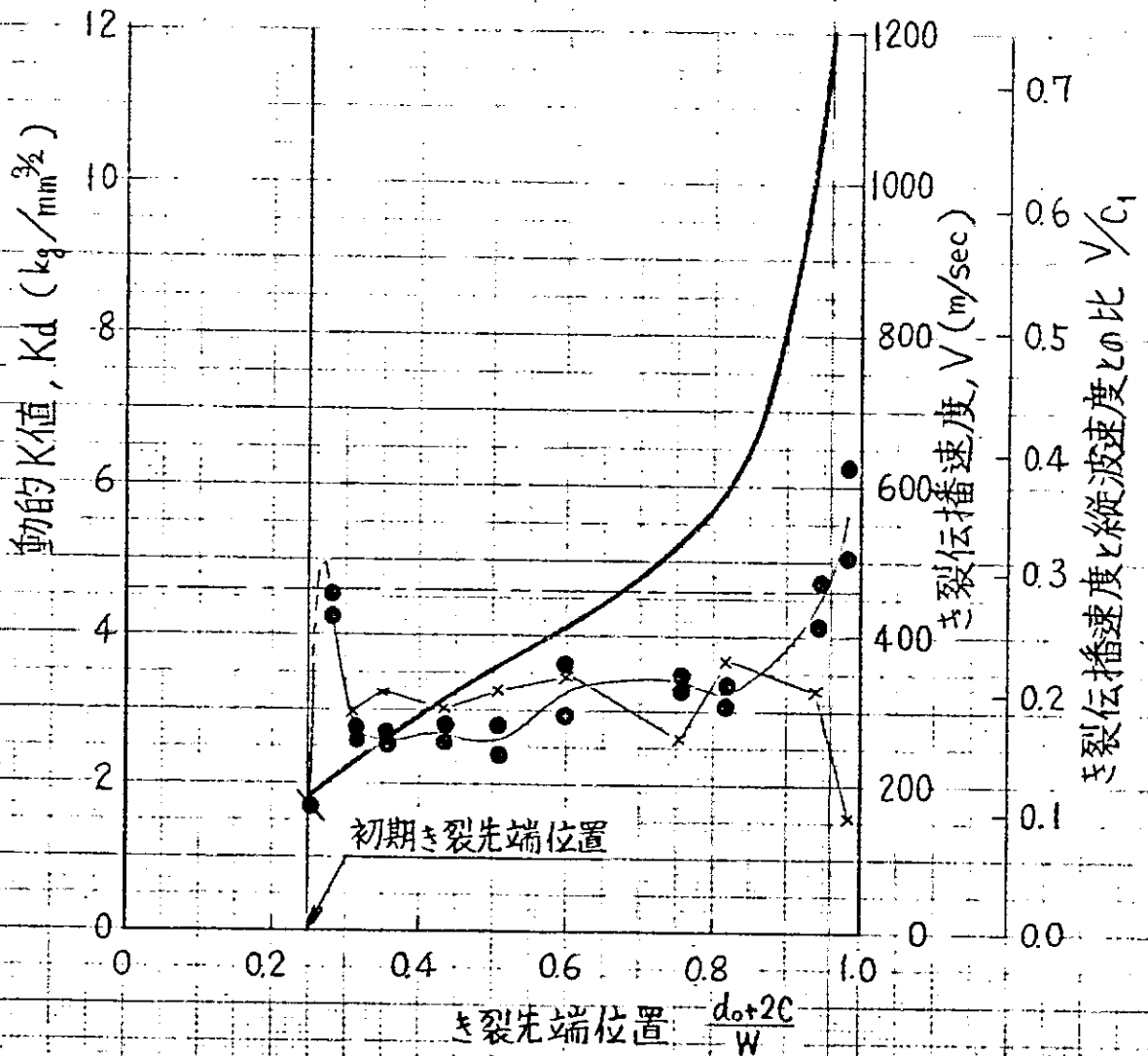


図6.4.30 溝付き型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V
 伝播試験

Test No. GD-1, C型試験片
 定荷重条件 $\sigma = 0.1994 \text{ kg}/\text{mm}^2$
 打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー; $0.0271 \text{ kg}\cdot\text{m}$

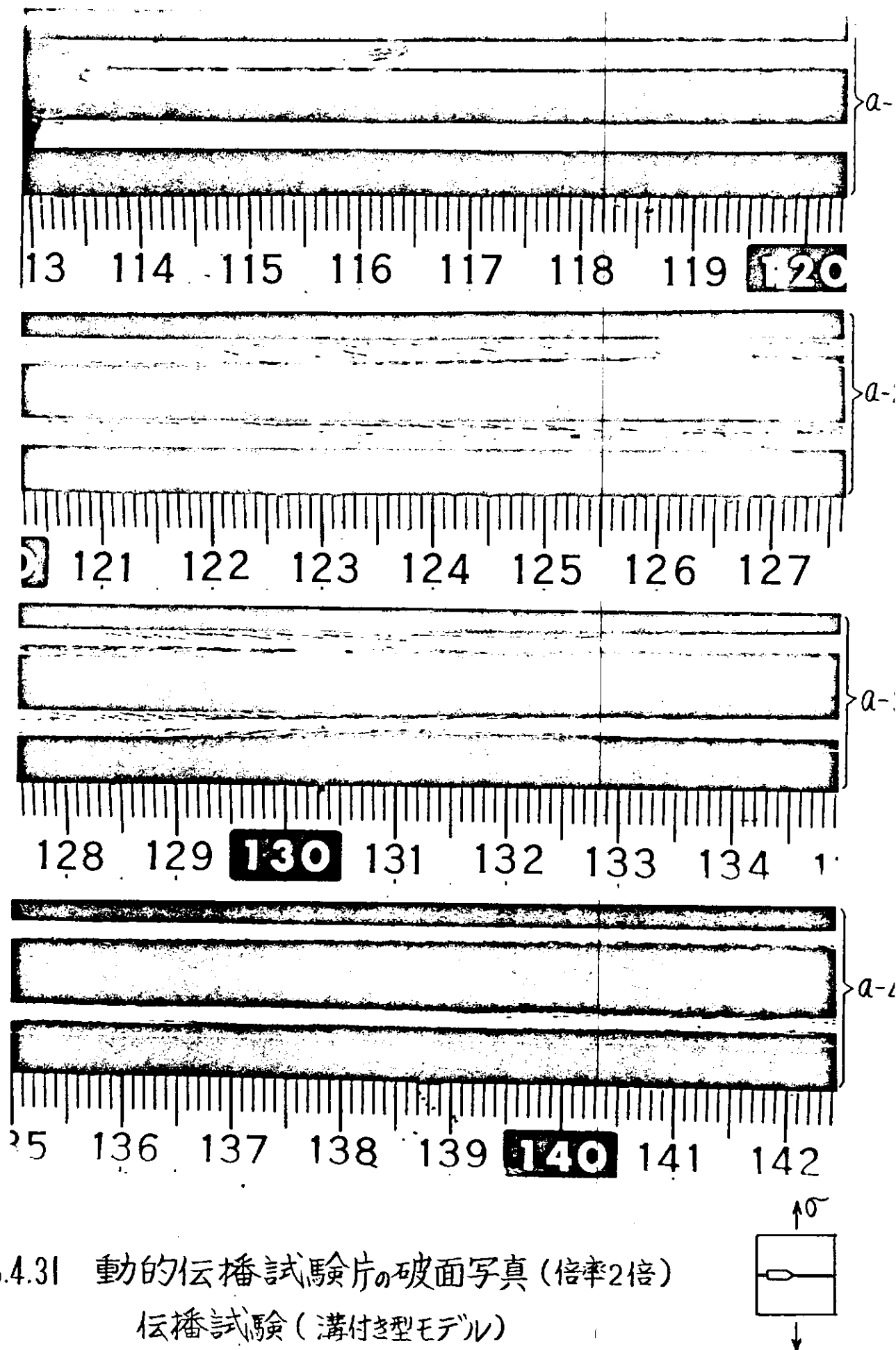
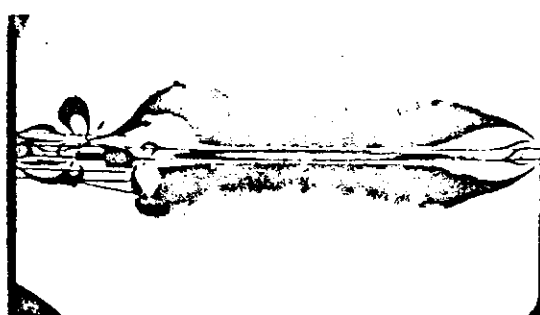


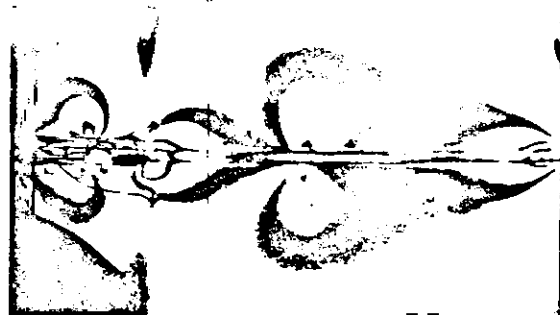
図6.4.31 動的伝播試験片の破面写真(倍率2倍)

伝播試験(溝付き型モデル)

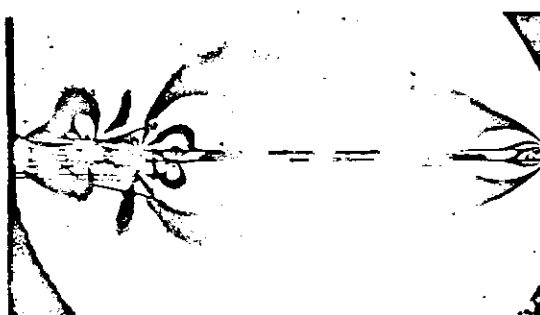
a) Test No. GD-1, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma = 0.1994 \text{ kg/mm}^2$



1) き裂発生前



6) $t = 300 \mu\text{sec}$



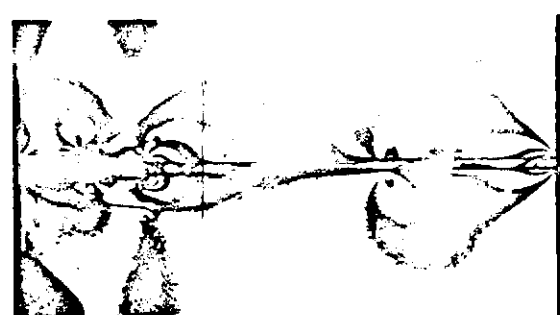
2) $t = 5 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



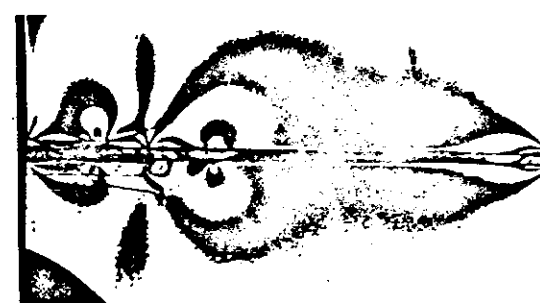
7) $t = 400 \mu\text{sec}$



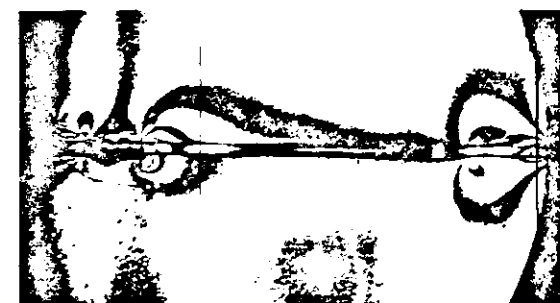
3) $t = 50 \mu\text{sec}$



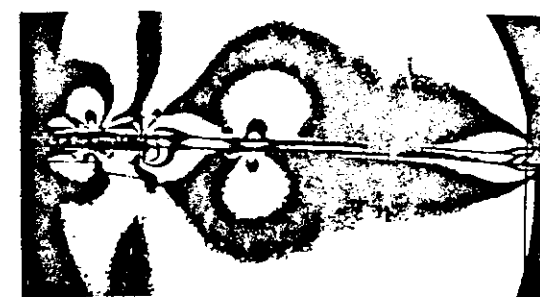
8) $t = 500 \mu\text{sec}$



4) $t = 100 \mu\text{sec}$



9) $t = 600 \mu\text{sec}$



5) $t = 200 \mu\text{sec}$



10) $t = 700 \mu\text{sec}$

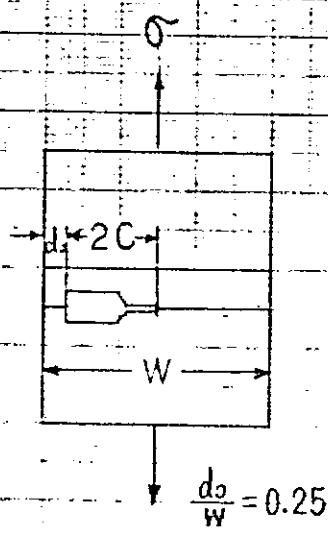
図 6.4.32 残留応力モデル中の動的き裂光弾性縞写真

Test No. RD-1, C型試験片

負荷応力 $\sigma = 0.109 \text{ kg/mm}^2$

相当する溶接部中央の残留応力 $\sigma_{RL} - \sigma_{RT} = 1.36 \text{ kg/mm}^2$

打撃によるき裂発生



- 静的K値 (石田の解; 残留応力無視)
- 静的破壊靱性値 K_{ci}
- 光弾性縞解析K値 K_{d1}
- 光弾性縞解析K値 K_{d2}
- ⊗ 打撃直前の K_1 値
- ⊗ 打撃直前の K_2 値
- × き裂伝播速度

$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

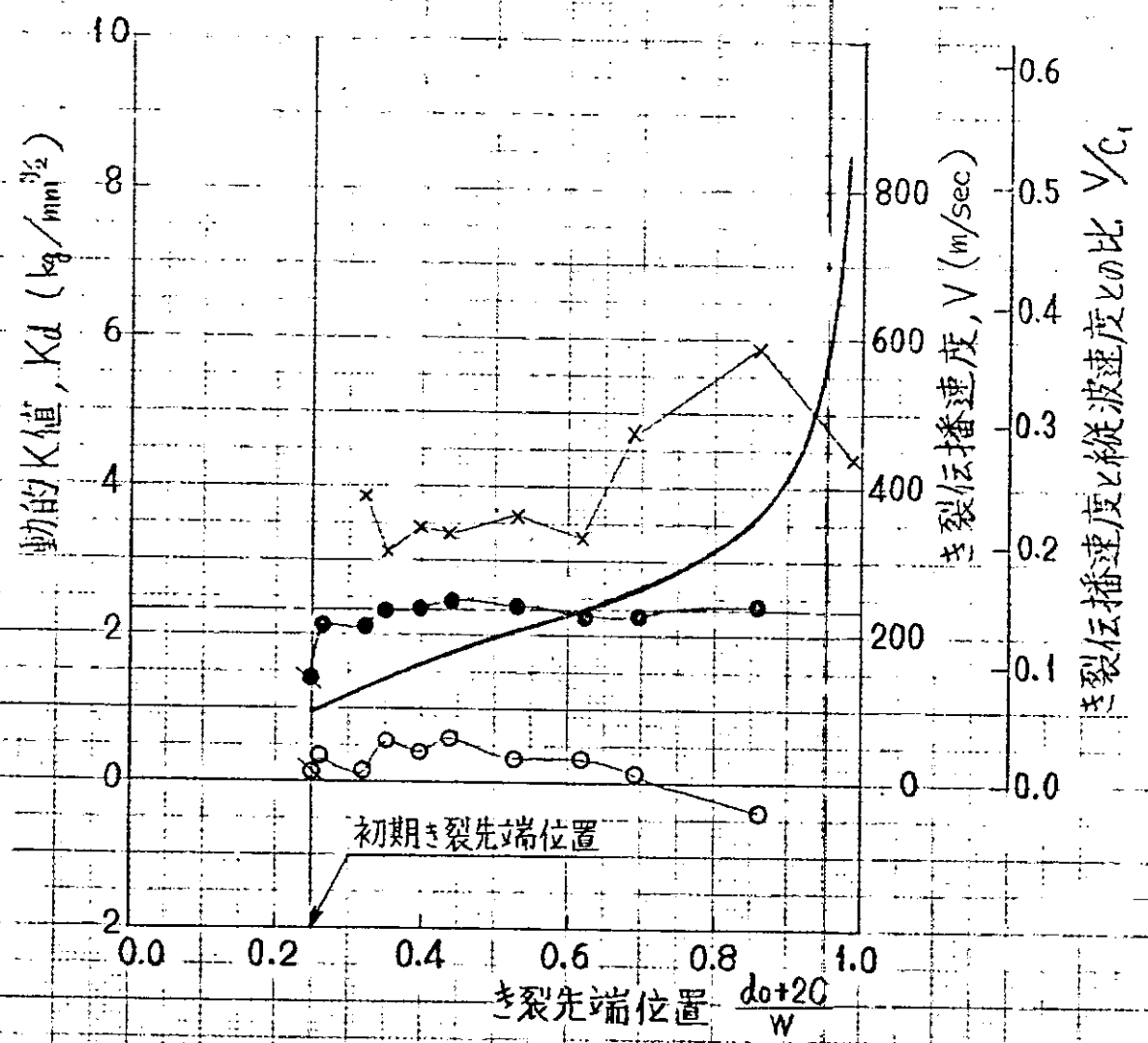
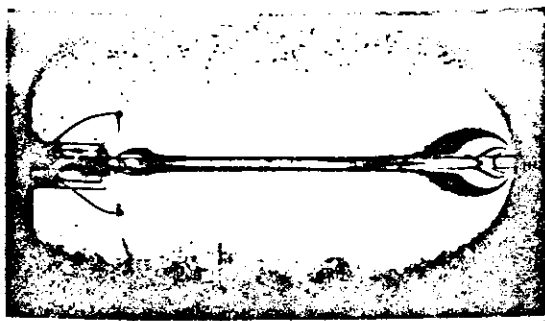
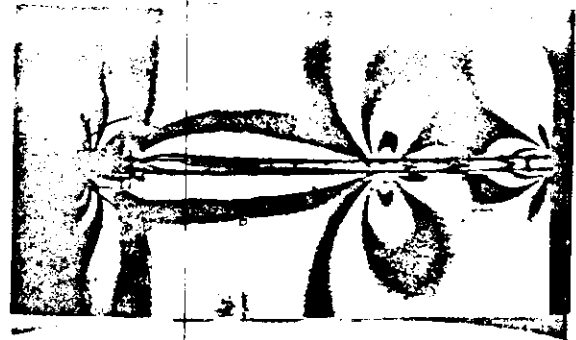


図6.4.33 残留応力モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V
伝播試験

Test No. RD-1, C型試験片
定荷重条件 $\sigma = 0.109 \text{ kg}/\text{mm}^2$
打撃によるき裂発生



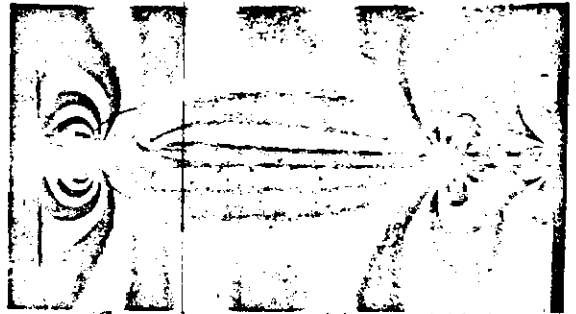
1) き裂発生前 (残留応力のみ)



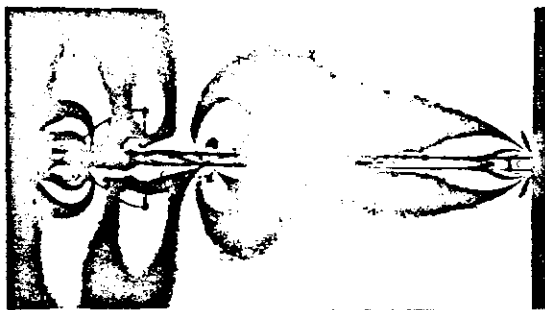
6) $t = 240 \mu\text{sec}$



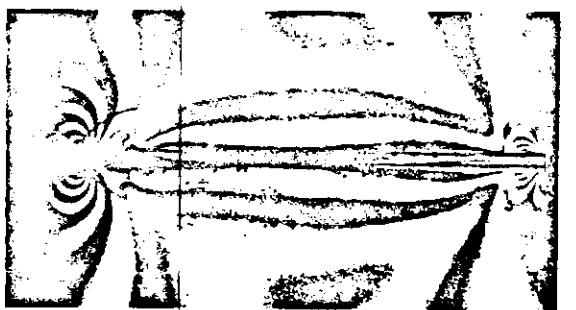
2) $t = 5 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



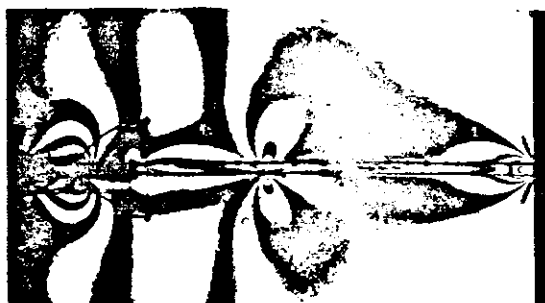
7) $t = 300 \mu\text{sec}$



3) $t = 60 \mu\text{sec}$



8) $t = 360 \mu\text{sec}$



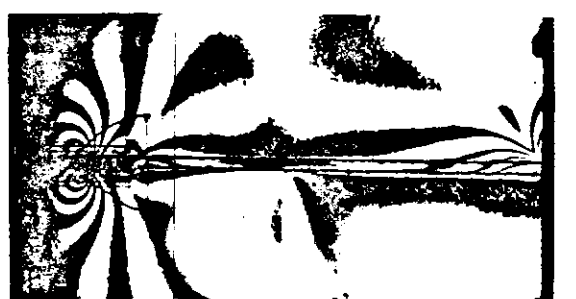
4) $t = 120 \mu\text{sec}$



9) $t = 440 \mu\text{sec}$



5) $t = 180 \mu\text{sec}$



10) $t = 600 \mu\text{sec}$

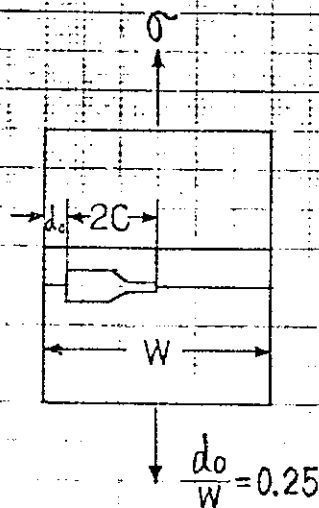
図6.4.34 残留応力モデル中の動的き裂光弾性縞写真

Test No. RD-2, B型試験片

負荷応力 $\sigma = 0.23 \text{ kg/mm}^2$

相当する溶接部中央の残留応力 $\sigma_{RL} - \sigma_{RT} = 1.94 \text{ kg/mm}^2$

高応力負荷によるき裂自然発生



- 静的K値(石田の解; 残留応力無視)
- - - 静的破壊靱性値 K_{Ic}
- 光弾性縞解析K値 K_{d1}
- 光弾性縞解析K値 K_{d2}
- 打撃直前の K_{I1} 値
- 打撃直前の K_{I2} 値
- × き裂伝播速度

$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度
注); () は残留応力のみによる値を示す。

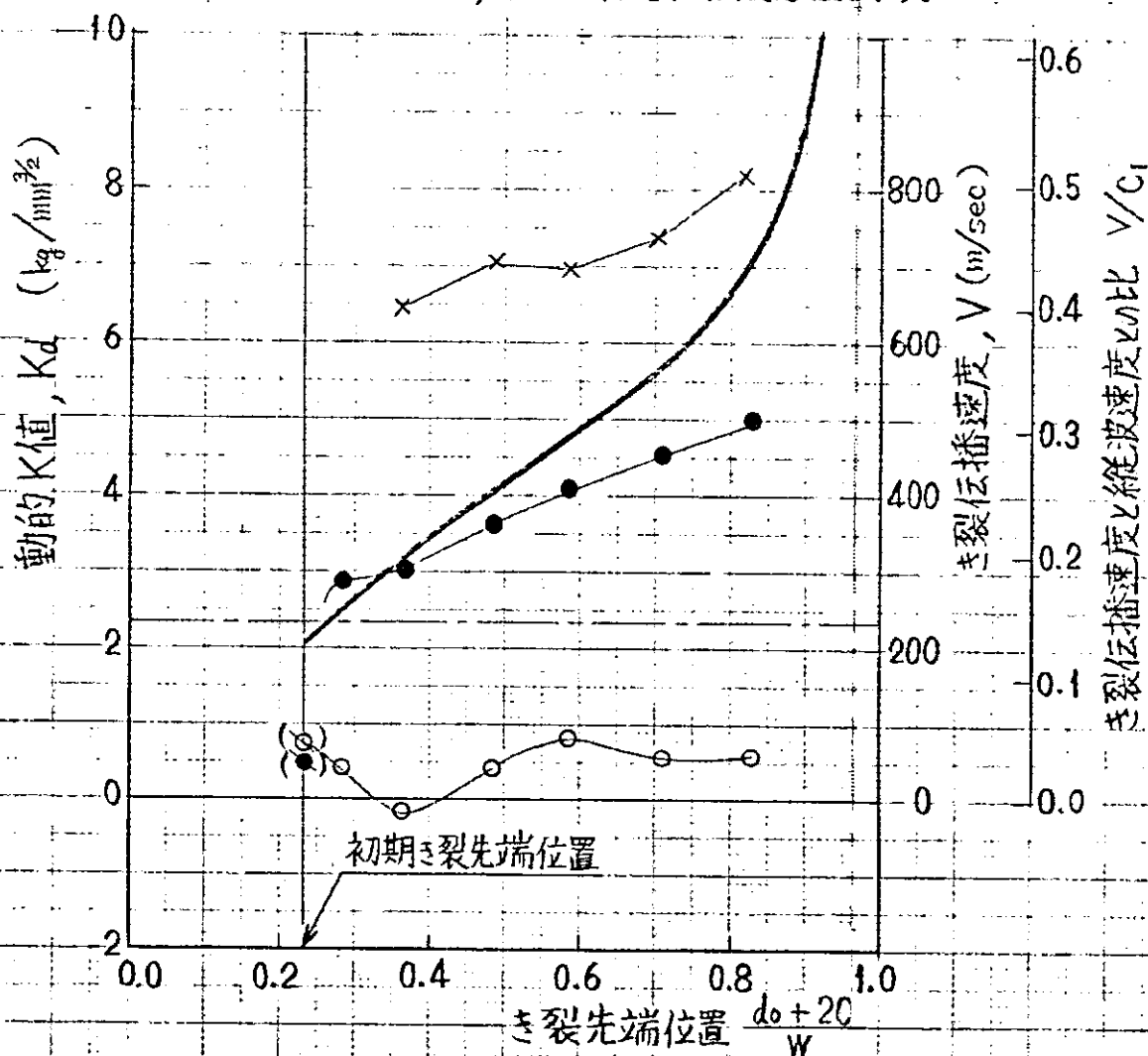
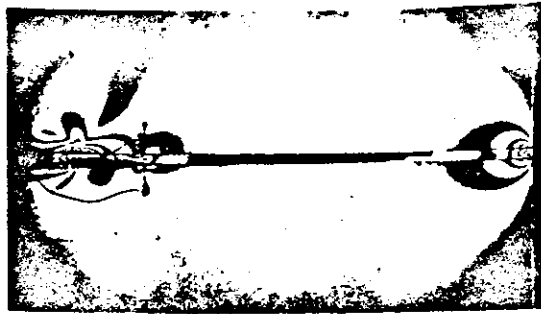
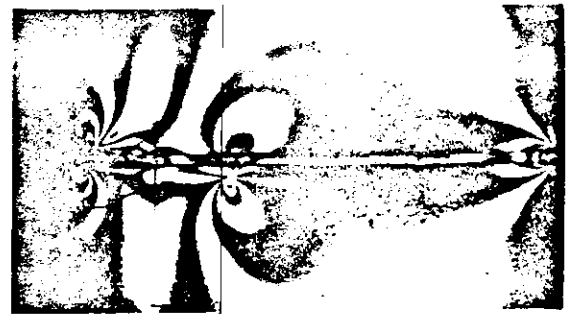


図6.4.35 残留応力モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V
伝播試験

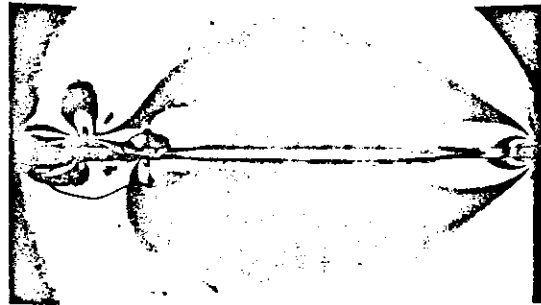
Test No. RD-2, B型試験片
定荷重条件 $\sigma = 0.23 \text{ kg}/\text{mm}^2$
打撃によるき裂発生



1) き裂発生前 (残留応力のみ)



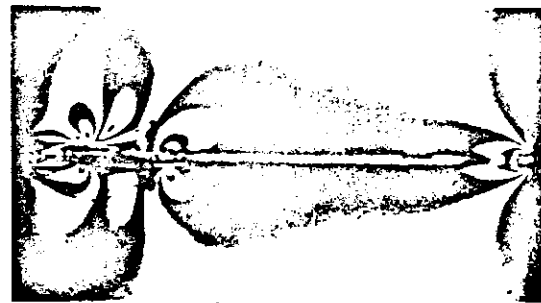
6) $t = 150 \mu\text{sec}$



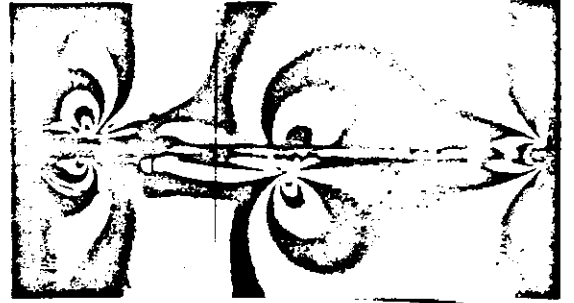
2) き裂発生前 ($\sigma = 0.129 \text{ kg/mm}^2$)



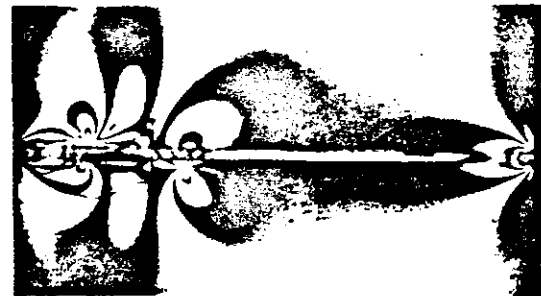
7) $t = 200 \mu\text{sec}$



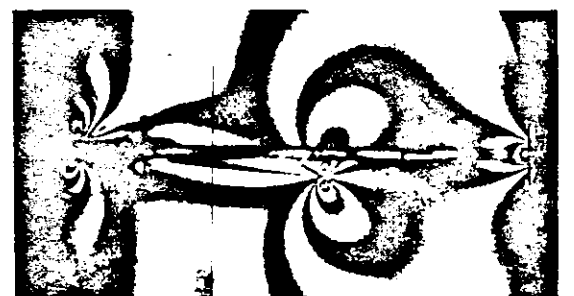
3) $t = 3 \mu\text{sec}$ ($\sigma = 0.276 \text{ kg/mm}^2$ でき裂発生)



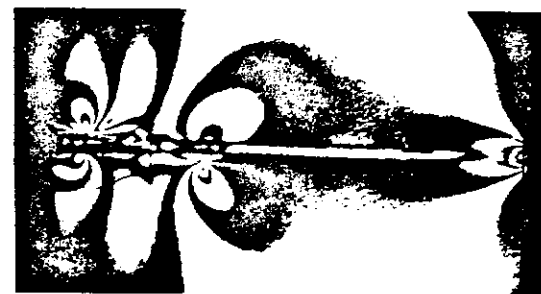
8) $t = 300 \mu\text{sec}$



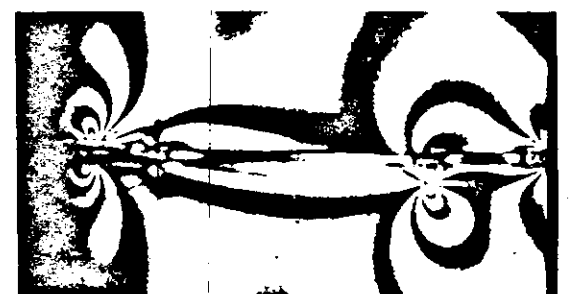
4) $t = 50 \mu\text{sec}$



9) $t = 400 \mu\text{sec}$



5) $t = 100 \mu\text{sec}$



10) $t = 600 \mu\text{sec}$

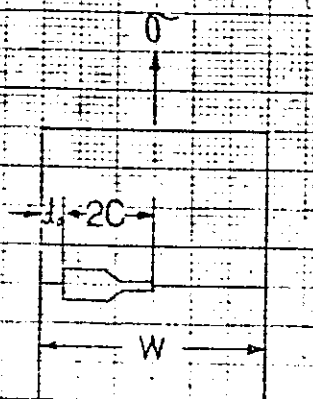
図6.4.36 残留応力モデル中の動的き裂光弾性縞写真

Test No. RD-3, C型試験片

負荷応力 $\sigma = 0.276 \text{ kg/mm}^2$

相当する溶接部中央の残留応力 $\sigma_{\text{RL}} - \sigma_{\text{RT}} = 1.87 \text{ kg/mm}^2$

高応力負荷によるき裂自然発生。き裂は全中が接合層から母材にわたる。



$$\frac{d_0}{W} = 0.25$$

- 静的K値 (石田の解; 残留応力無視)
- 静的破壊靱性値 K_{Ic}
- 光弾性綫解析K値 K_{d1}
- 光弾性綫解析K値 K_{d2}
- ⊙ 打撃直前の K_1 値
- ⊗ 打撃直前の K_2 値
- × き裂伝播速度

$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度
注); () は残留応力のみによる値を示す。

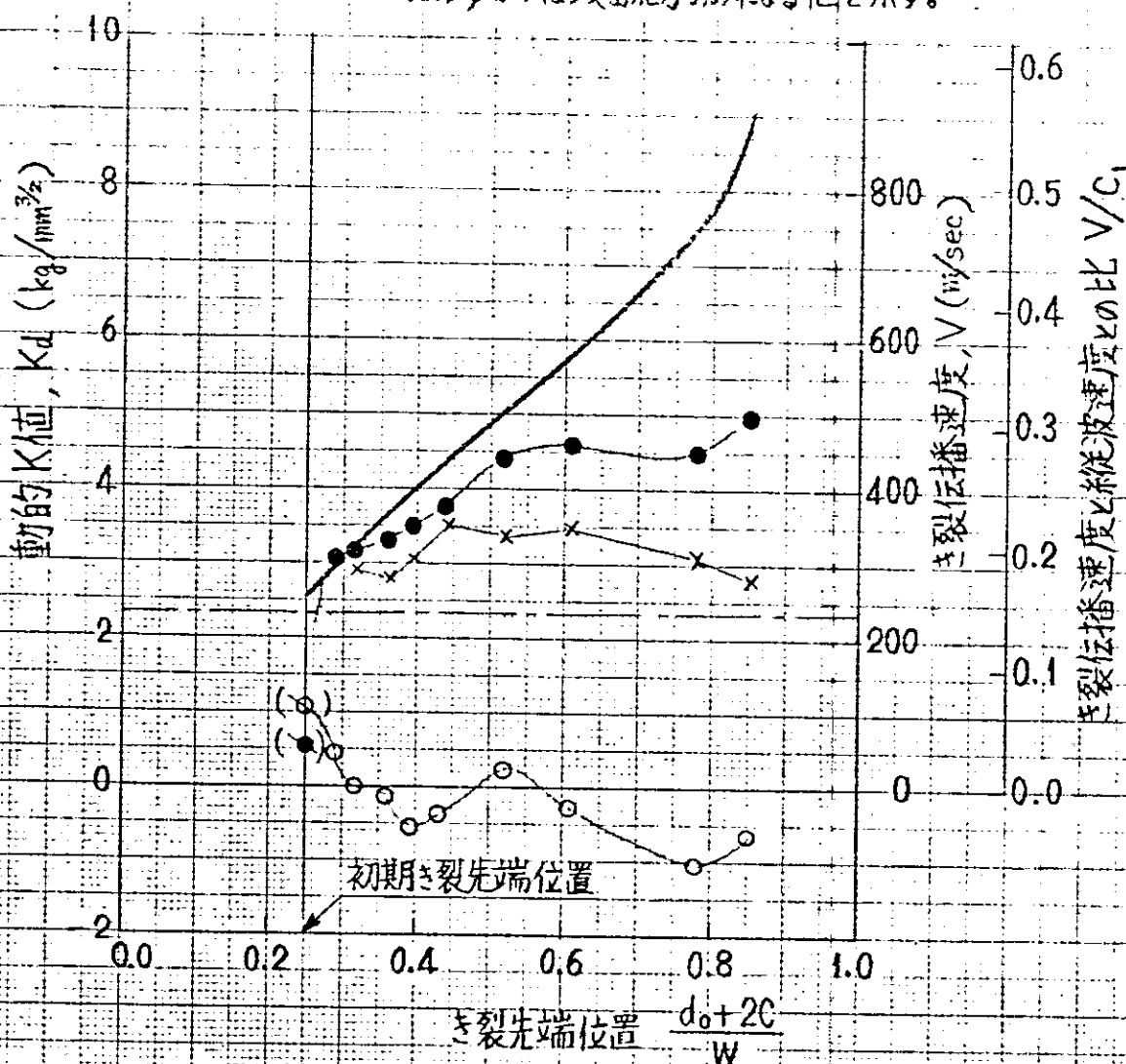


図6.4.37 残留応力モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度伝播試験

Test No. RD-3

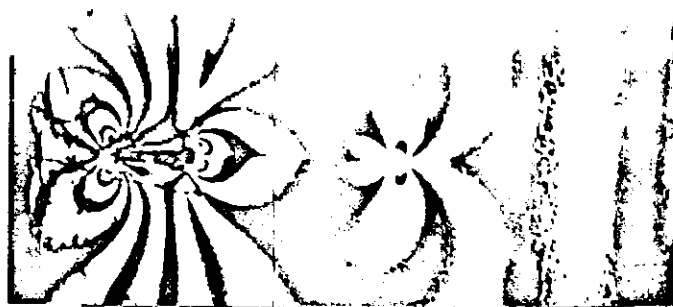
定荷重条件 $\sigma = 0.276 \text{ kg/mm}^2$

打撃によるき裂発生

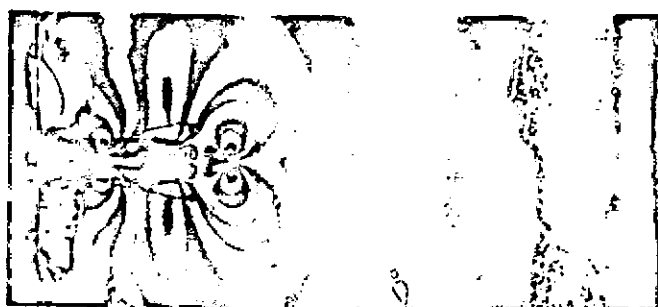
(き裂発生直後、き裂は接着層からはずれ母材を走った)



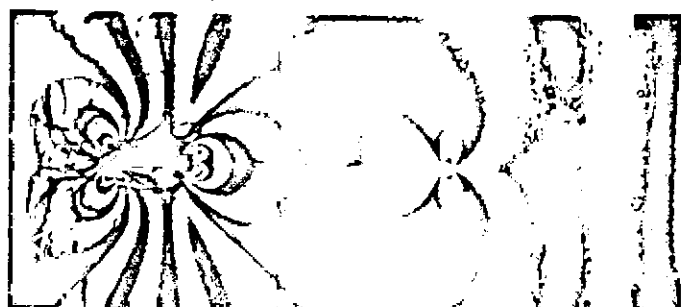
1) き裂発生前



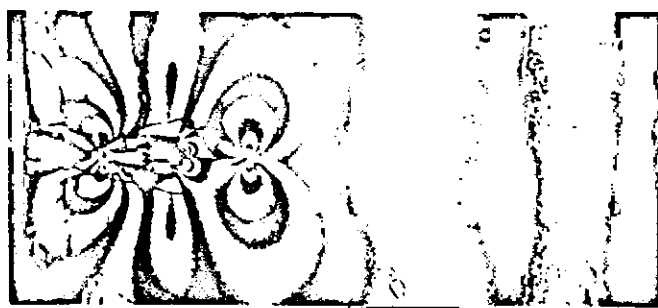
6) $t = 400 \mu\text{sec}$



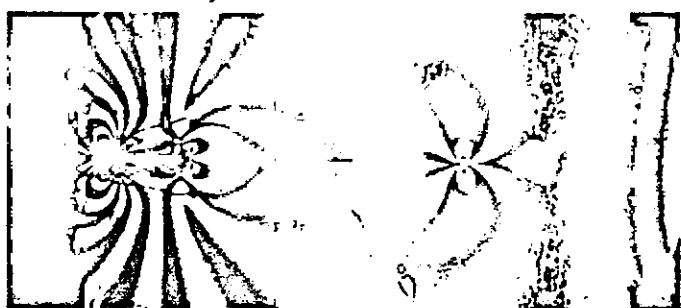
2) $t = 50 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



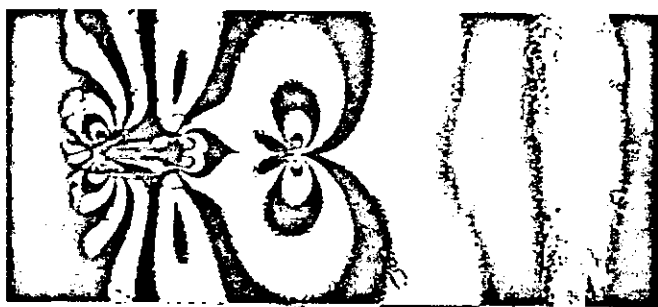
7) $t = 600 \mu\text{sec}$



3) $t = 100 \mu\text{sec}$



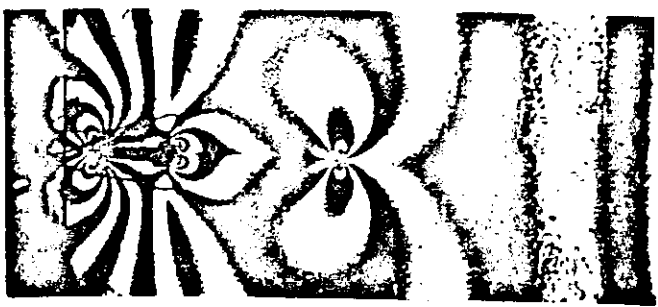
8) $t = 1000 \mu\text{sec}$



4) $t = 200 \mu\text{sec}$



9) $t = 2000 \mu\text{sec}$



5) $t = 300 \mu\text{sec}$



10) $t = 10000 \mu\text{sec}$

図6.4.38

工ボキシ母材中の動的き裂光弾性縞写真

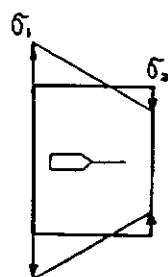
Arrest 試験

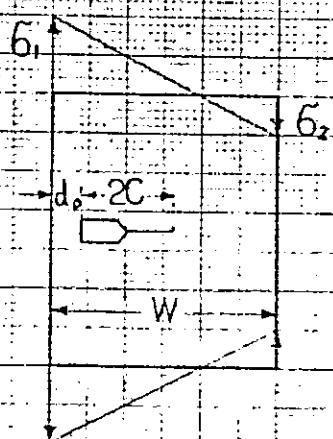
Test No. MA-1, C型試験片

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.1251 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー: 0.0473 kg m





$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 = 0.1251 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_2 / \sigma_1 = -0.5$$

$$\sigma_1 > 0$$

$$d_0 / W = 0.125$$

— 静的K値 (EE. M. 解)

--- 静的破壊靱性値 K_{ci}

● 光弾性縞解析K値 K_d

⊗ 打撃直前のK値

× き裂伝播速度

$$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec, 縦波速度}$$

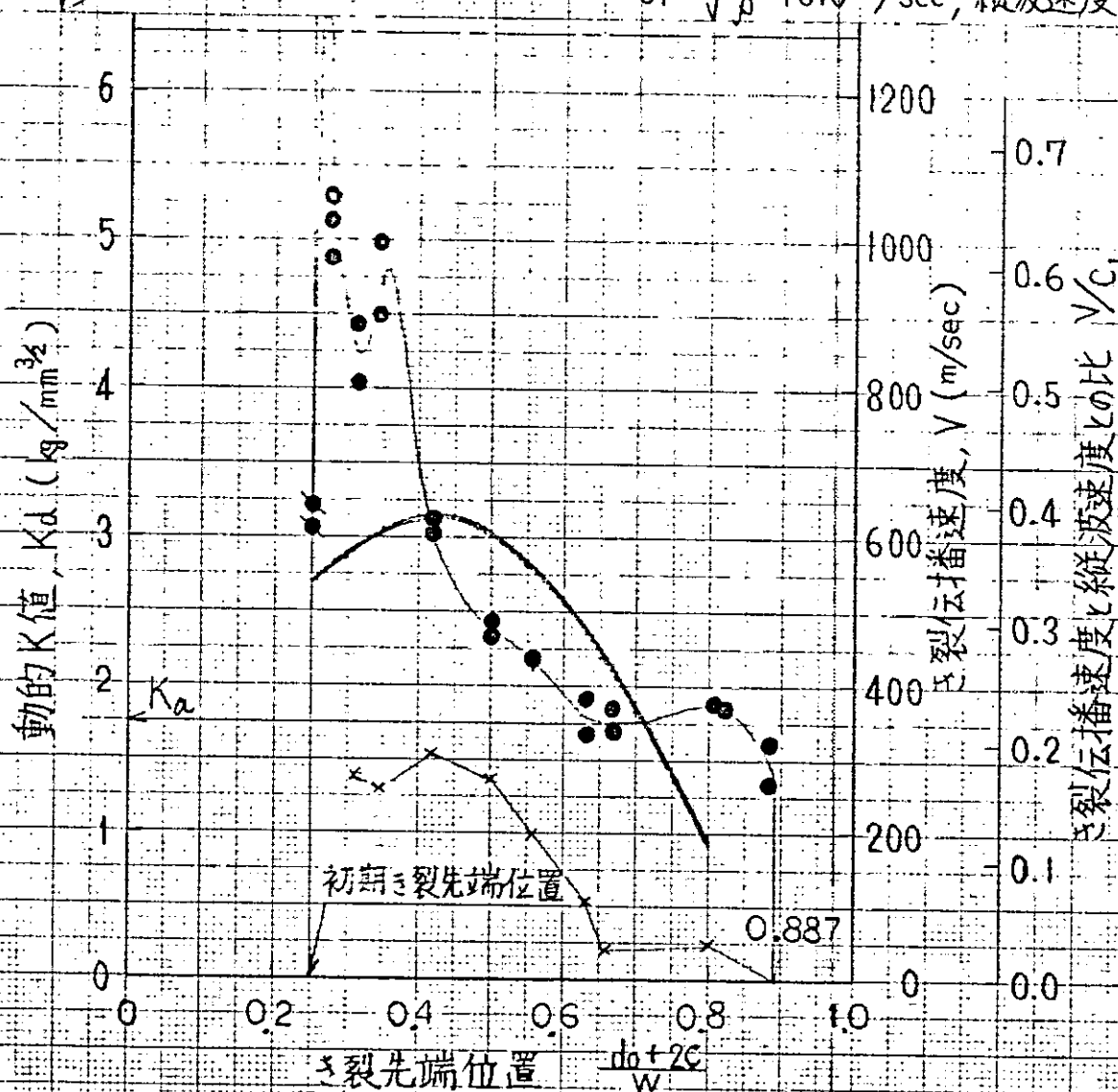


図6.4.39 Tボキッ母材伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Arrest試験

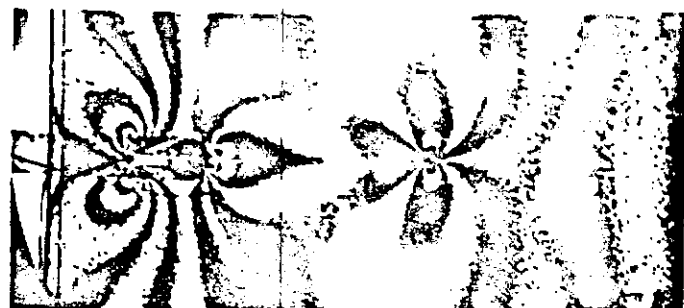
Test No. MA-1; C型試験片

定荷重条件 (decreasing)

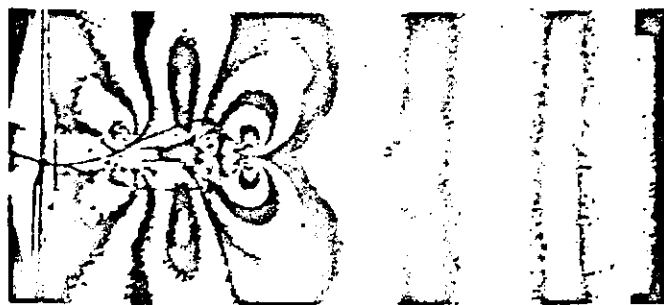
打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー, 0.0473 kg·m



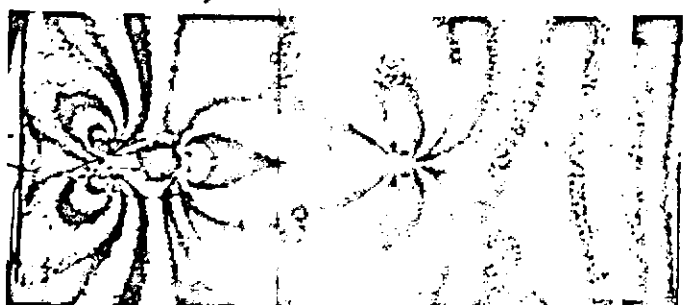
1) き裂発生前



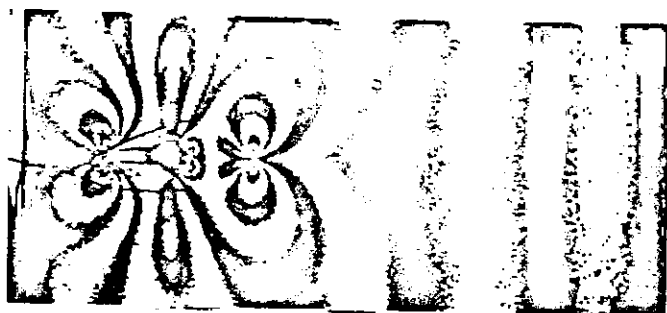
6) $t = 400 \mu\text{sec}$



2) $t = 50 \mu\text{sec}$ (き裂発生前後)



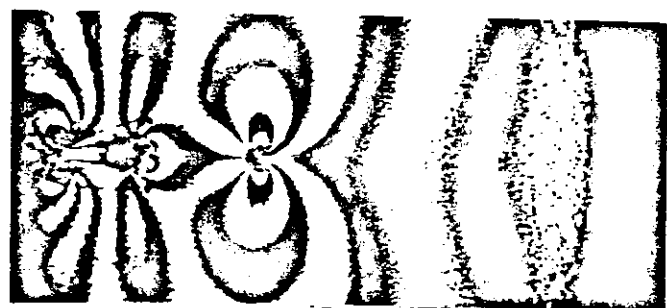
7) $t = 500 \mu\text{sec}$



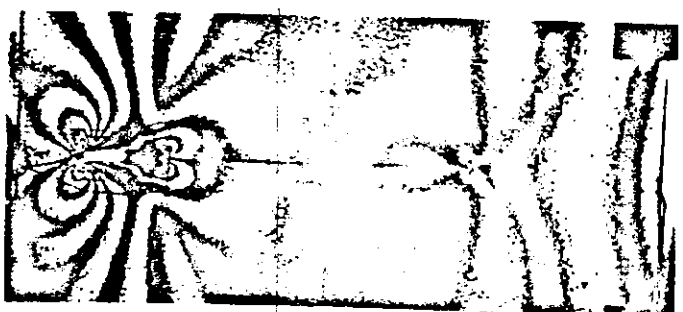
3) $t = 100 \mu\text{sec}$



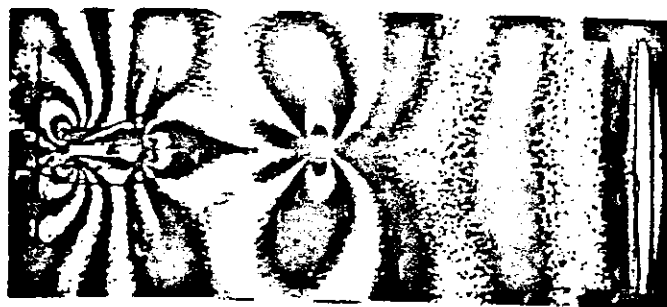
8) $t = 600 \mu\text{sec}$



4) $t = 200 \mu\text{sec}$



9) $t = 2000 \mu\text{sec}$



5) $t = 300 \mu\text{sec}$



10) き裂伝播停止後

図6.4.40 エポキシ母材中の動的き裂光弾性縞写真

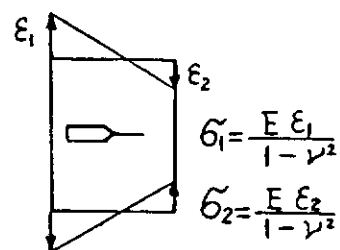
Arrest 試験

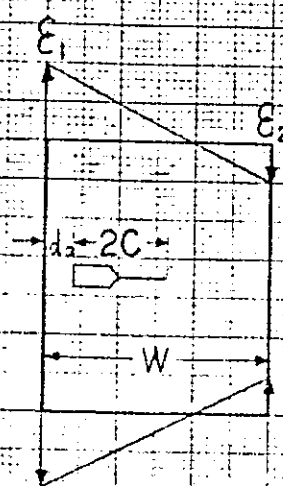
Test No. MA-2, C型試験片

定変位条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.1259 \text{ kg/mm}^2$

$\epsilon_2/\epsilon_1 = -0.5, \epsilon_1 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー: 0.0473 kg.m





$$\sigma_m = \frac{E}{1-\nu^2} \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2}$$

$$= 0.1259 \text{ kg/mm}^2$$

$$\lambda = \epsilon_2 / \epsilon_1 = -0.5$$

$$(\epsilon_2 < 0)$$

$$\frac{d_0}{W} = 0.25$$

- 静的K値 (E.E.M. 解)
- 静的破壊靱性値 K_{ci}
- 光弾性高解析値 K_d
- ⊗ 打撃直前のK値
- ⊙ き裂伝播停止時のK値
- × き裂伝播速度
- $C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

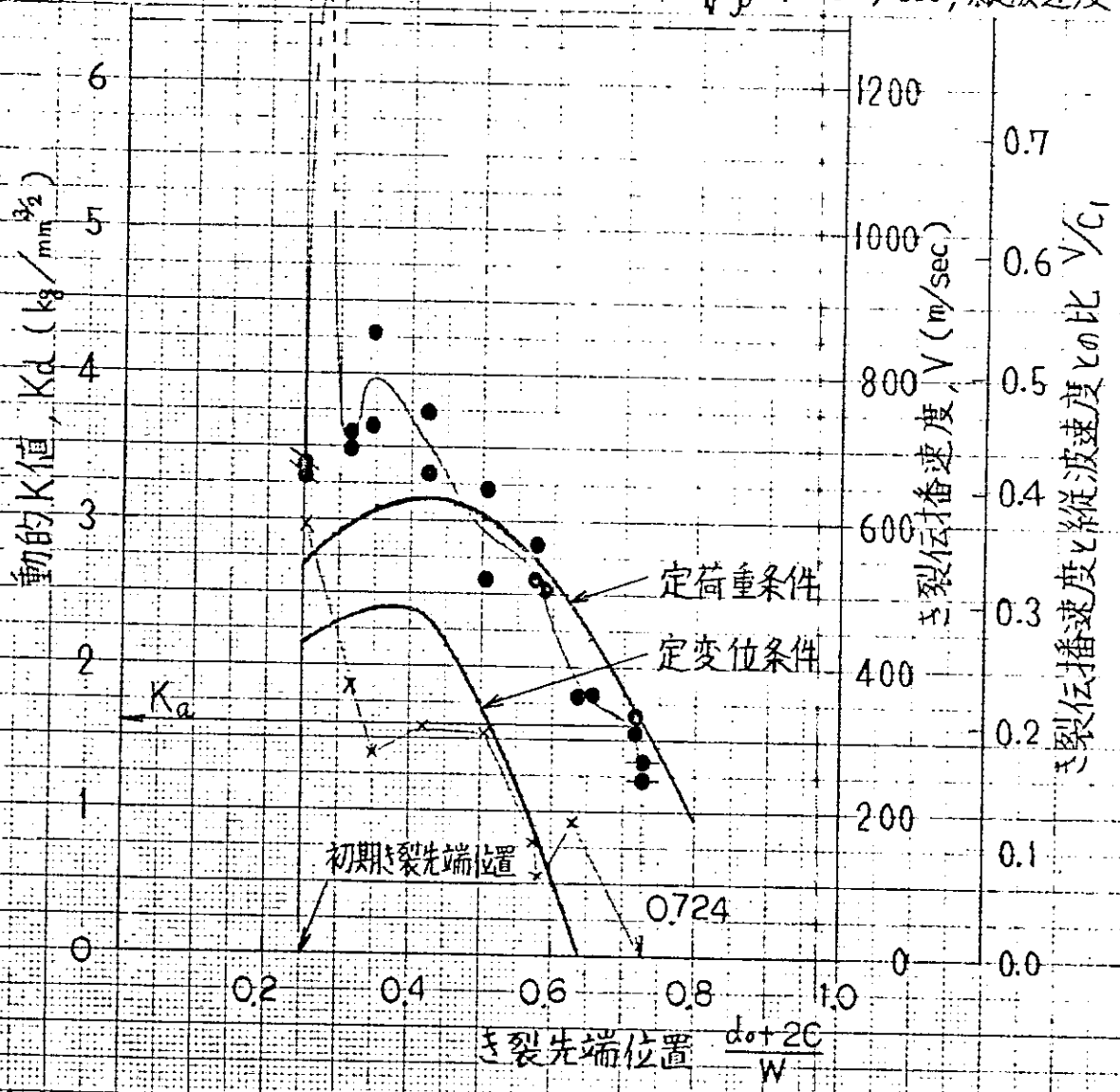


図6.4.41 Iボキシ母材中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Arrest試験

Test No. MA-2; C型試験片
定変位条件 (decreasing)

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー, 0.0473 kg·m

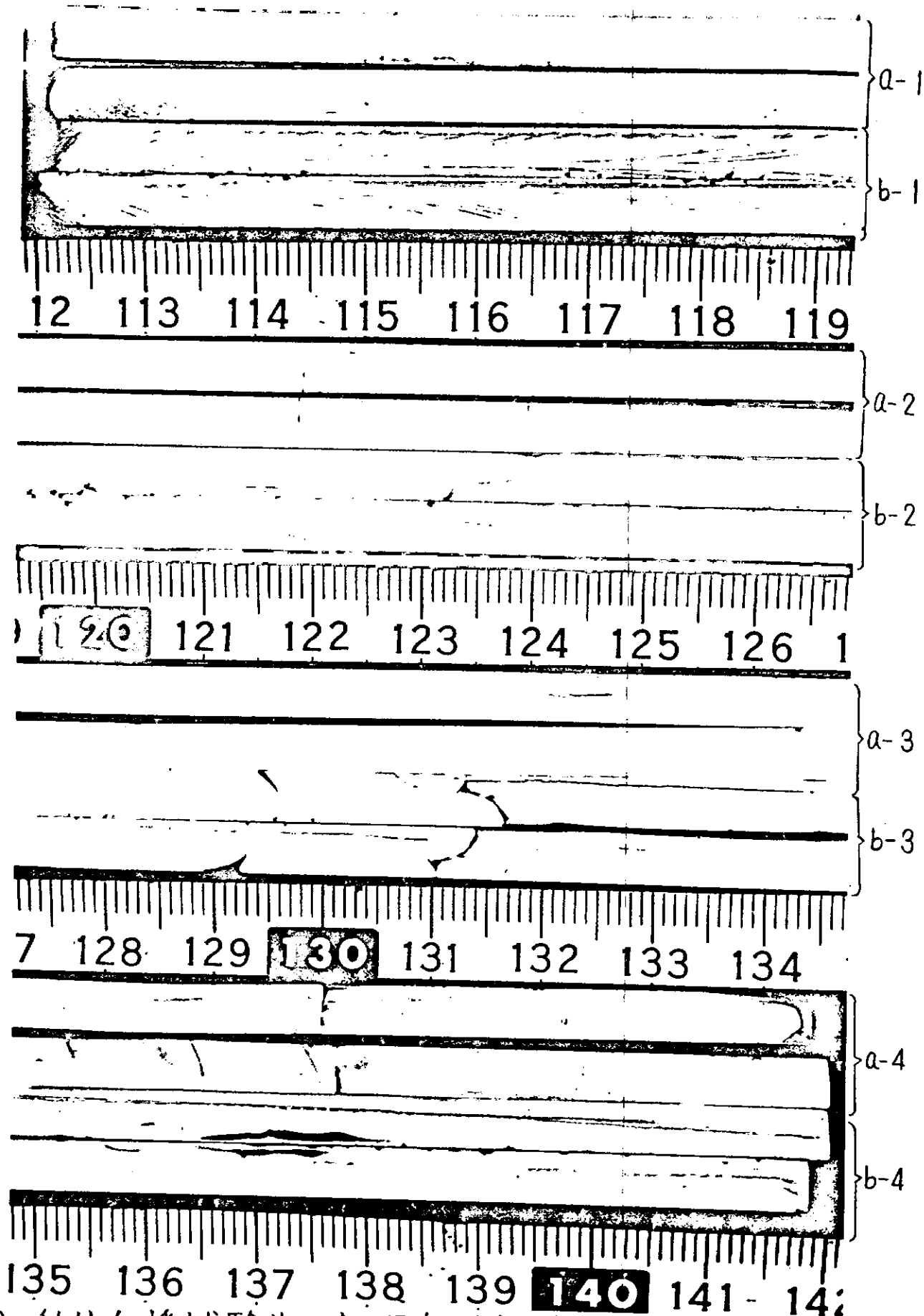


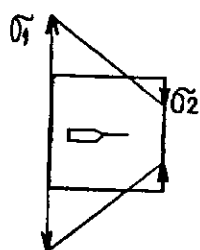
図6.4.42 動的伝播試験片の破面写真 (倍率2倍)

Arrest 試験 (エポキシ母材)

a) Test No. MA-1, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma_m = 0.1251 \text{ kg/mm}^2$

b) Test No. MA-2, C型試験片, 定変位条件 $\sigma_m = 0.1259 \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2, \sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$$



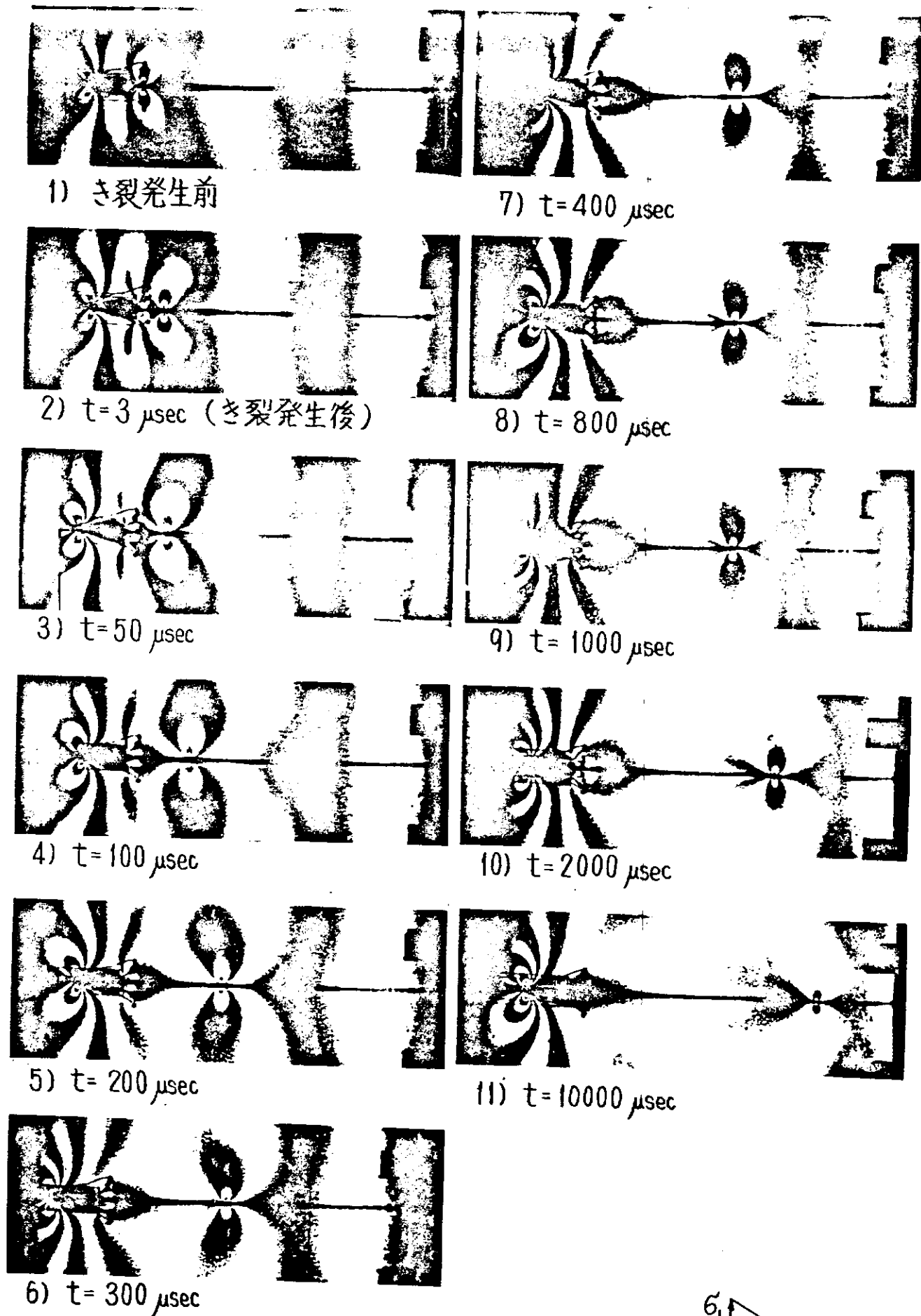


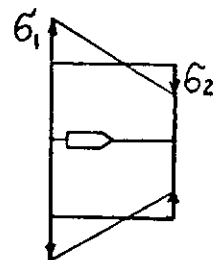
図6.4.43 接着型モデル中の動的き裂光弾性縮写真
Arrest 試験

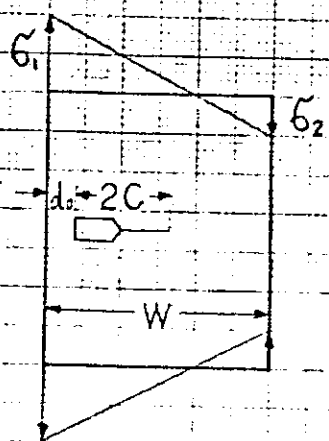
Test No. AA-1, C型試験片

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.0761 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー $0.0122 \text{ kg}\cdot\text{m}$





$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2 = 0.0761 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_2 / \sigma_1 = -0.5$$

$$\sigma_1 > 0$$

$$d_0 / W = 0.25$$

— 静的K値 (FEM解)

— 静的破壊靱性値 K_{IC}

● 光弾性解析K値 K_d

● 打撃直前のK値

× き裂伝播速度

$$C_1 = \sqrt{E/\rho} = 1615 \text{ m/sec, 縦波速度}$$

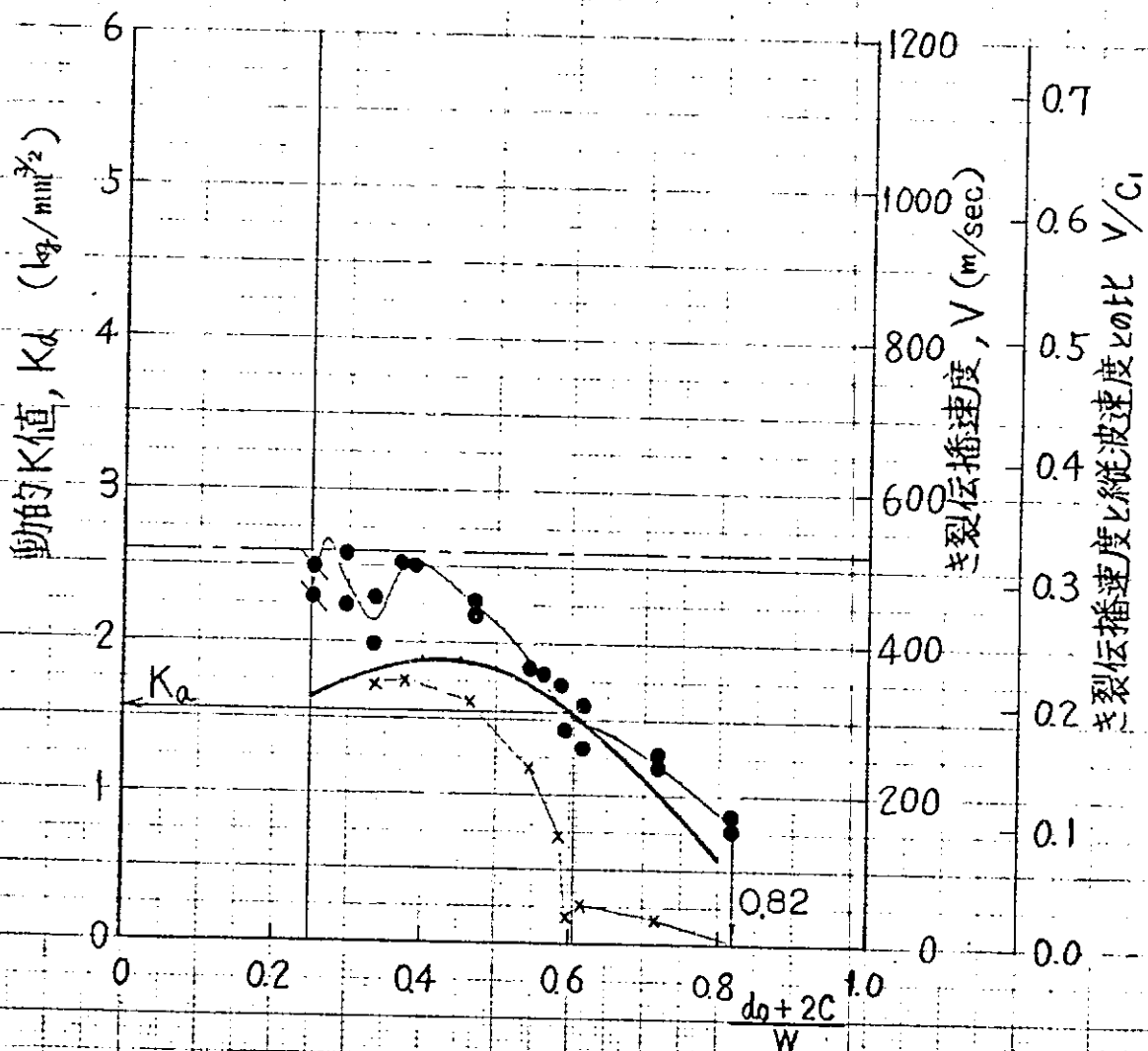


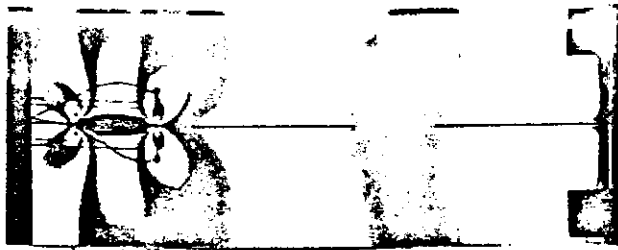
図6.4.44 接着型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Arrest試験

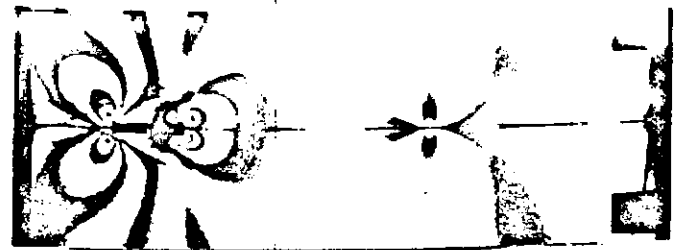
Test No. AA-1, C型試験片

定荷重条件 (decreasing)

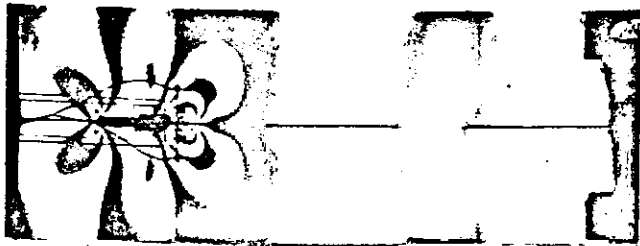
打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー; 0.0122 kg·m



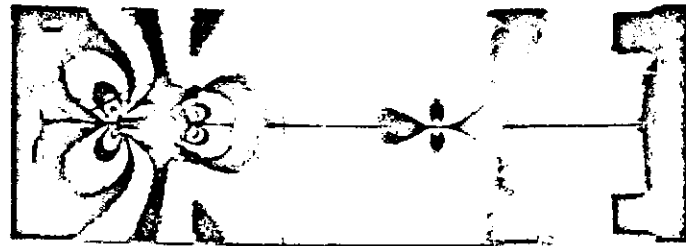
1) き裂発生前



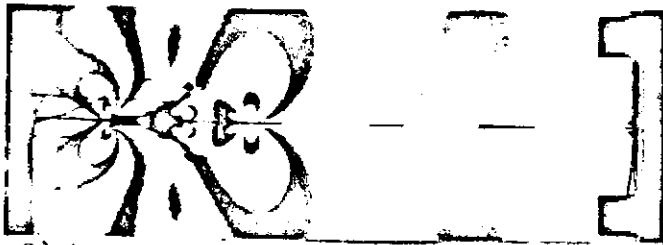
7) $t = 600 \mu\text{sec}$



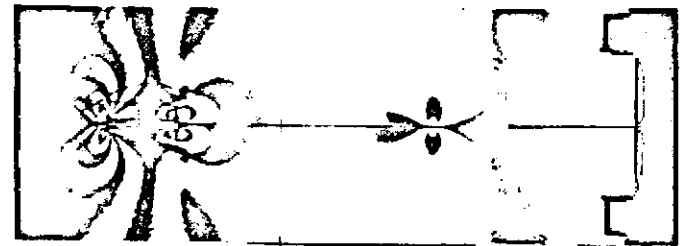
2) $t = 3 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



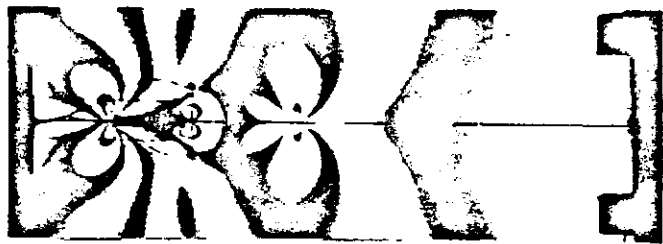
8) $t = 800 \mu\text{sec}$



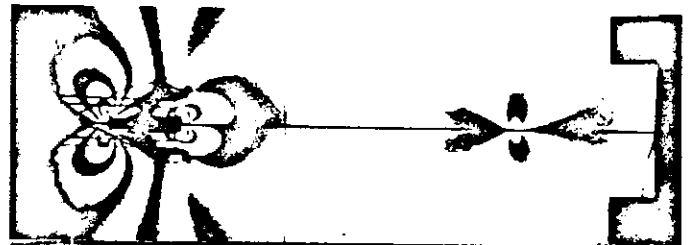
3) $t = 100 \mu\text{sec}$



9) $t = 1000 \mu\text{sec}$



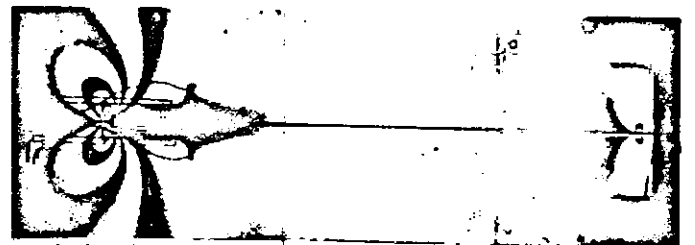
4) $t = 200 \mu\text{sec}$



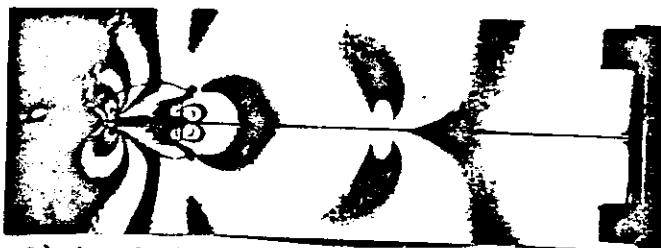
10) $t = 2000 \mu\text{sec}$



5) $t = 300 \mu\text{sec}$



11) $t = 10000 \mu\text{sec}$



6) $t = 400 \mu\text{sec}$

図6.4.45 溝付き型モデル中の動的き裂光弾性縞写真

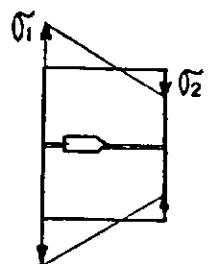
Arrest 試験

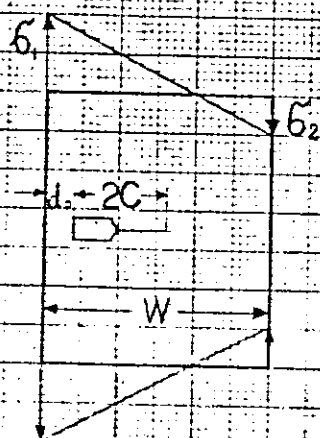
Test No. GA-1, C試験片, 溝の深さ 1.19 mm

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.0740 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー; 0.0271 kg·m





$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2$ — 静的K値 (F.E.M 解)
 $= 0.0740 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2 / \sigma_1 = -0.5$

$\sigma_1 > 0$

$d_1 / W = 0.125$

— 静的破壊靱性値 K_{ci}

● 光弾性高解析 K値 K_d

● 打撃直前のK値

× き裂伝播速度

$C_1 = \sqrt{E/\rho} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

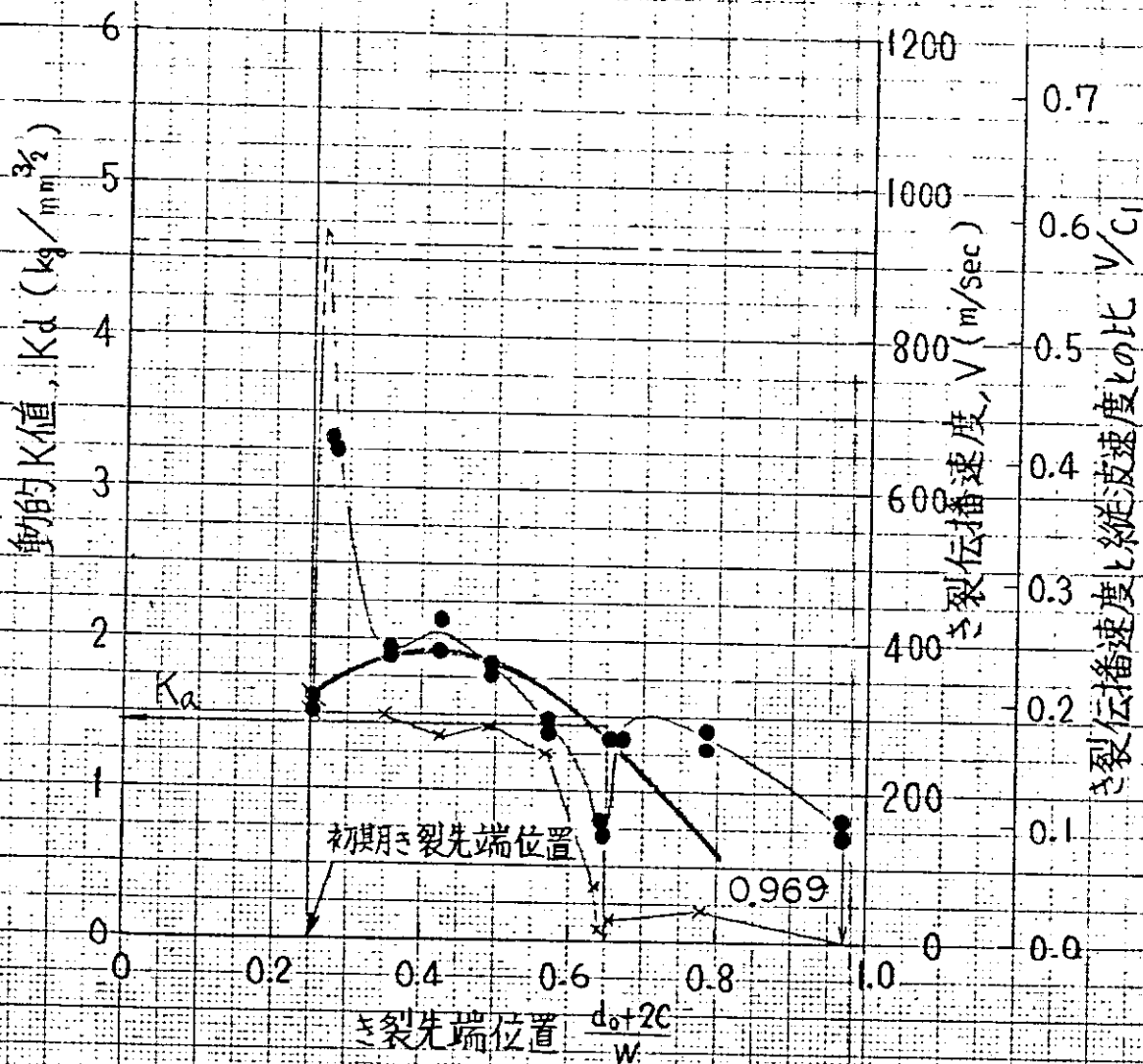


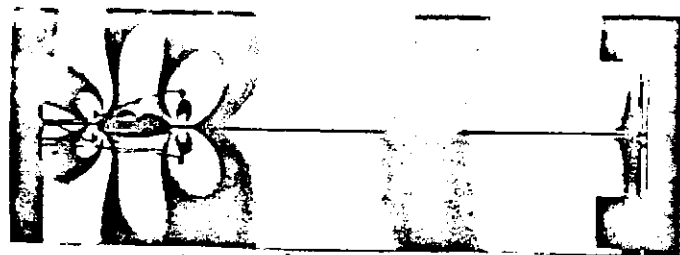
図6.4.46 溝付き型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Arrest試験

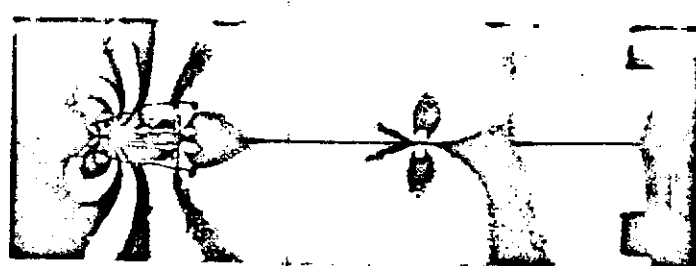
Test No. GA-1, C型試験片, 溝の深さ1.19 mm

定荷重条件 (decreasing)

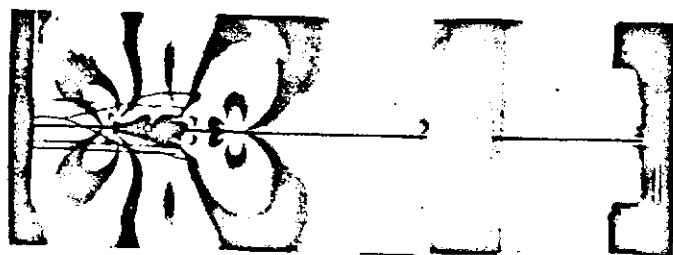
打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー $= 0.0271 \text{ kg}\cdot\text{m}$



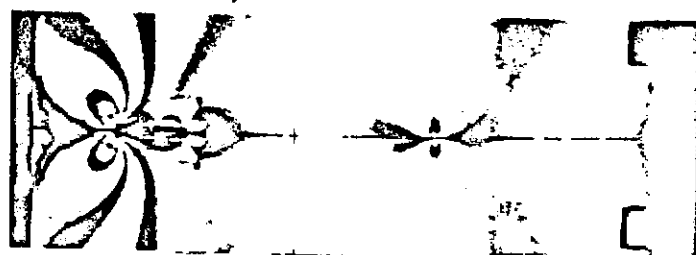
1) き裂発生前



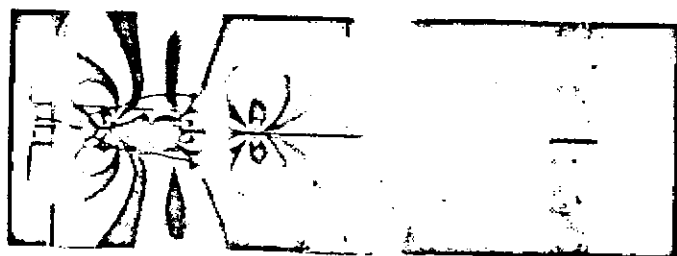
7) $t = 400 \mu\text{sec}$



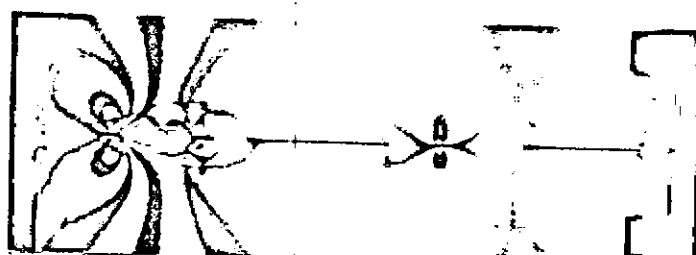
2) $t = 3 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



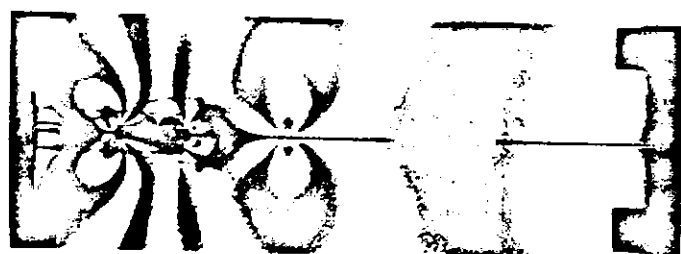
8) $t = 600 \mu\text{sec}$



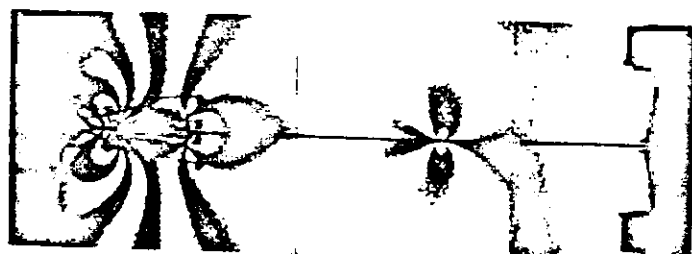
3) $t = 50 \mu\text{sec}$



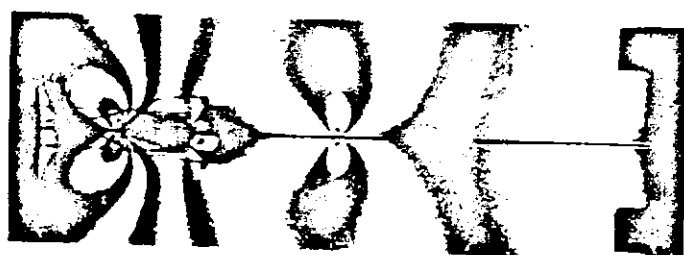
9) $t = 800 \mu\text{sec}$



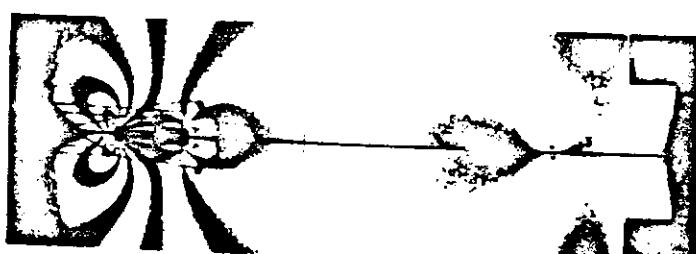
4) $t = 100 \mu\text{sec}$



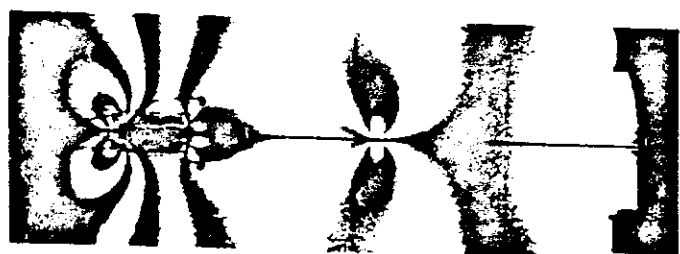
10) $t = 1000 \mu\text{sec}$



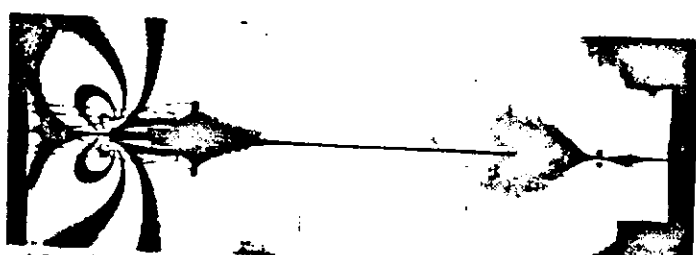
5) $t = 200 \mu\text{sec}$



11) $t = 2000 \mu\text{sec}$



6) $t = 300 \mu\text{sec}$



12) $t = 10000 \mu\text{sec}$

図6.4.47 溝付き型モデル中の動的き裂光弾性縞写真

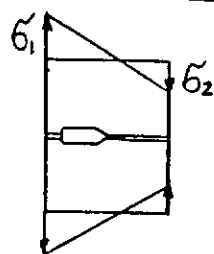
Arrest試験

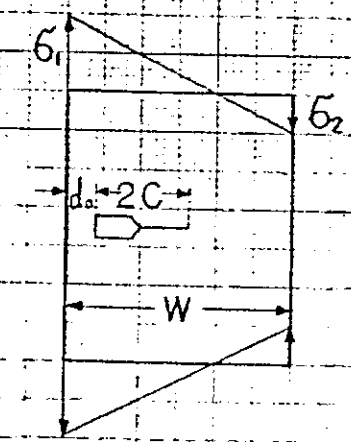
Test No. GA-2, C型試験片, 溝a深さ1.63mm

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.0767 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー-0.0122 kg.m





$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2$
 $= 0.0767 \text{ kg/mm}^2$
 $\sigma_2 / \sigma_1 = -0.5$
 $\sigma_1 > 0$
 $d_0 / W = 0.25$

- 静的K値 (F.E.M.解)
- 静的破壊靱性値 K_{ci}
- 光弾性解析 K値 K_d
- ⊗ 打撃直前の K 値
- × き裂伝播速度
- $C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec}$, 縦波速度

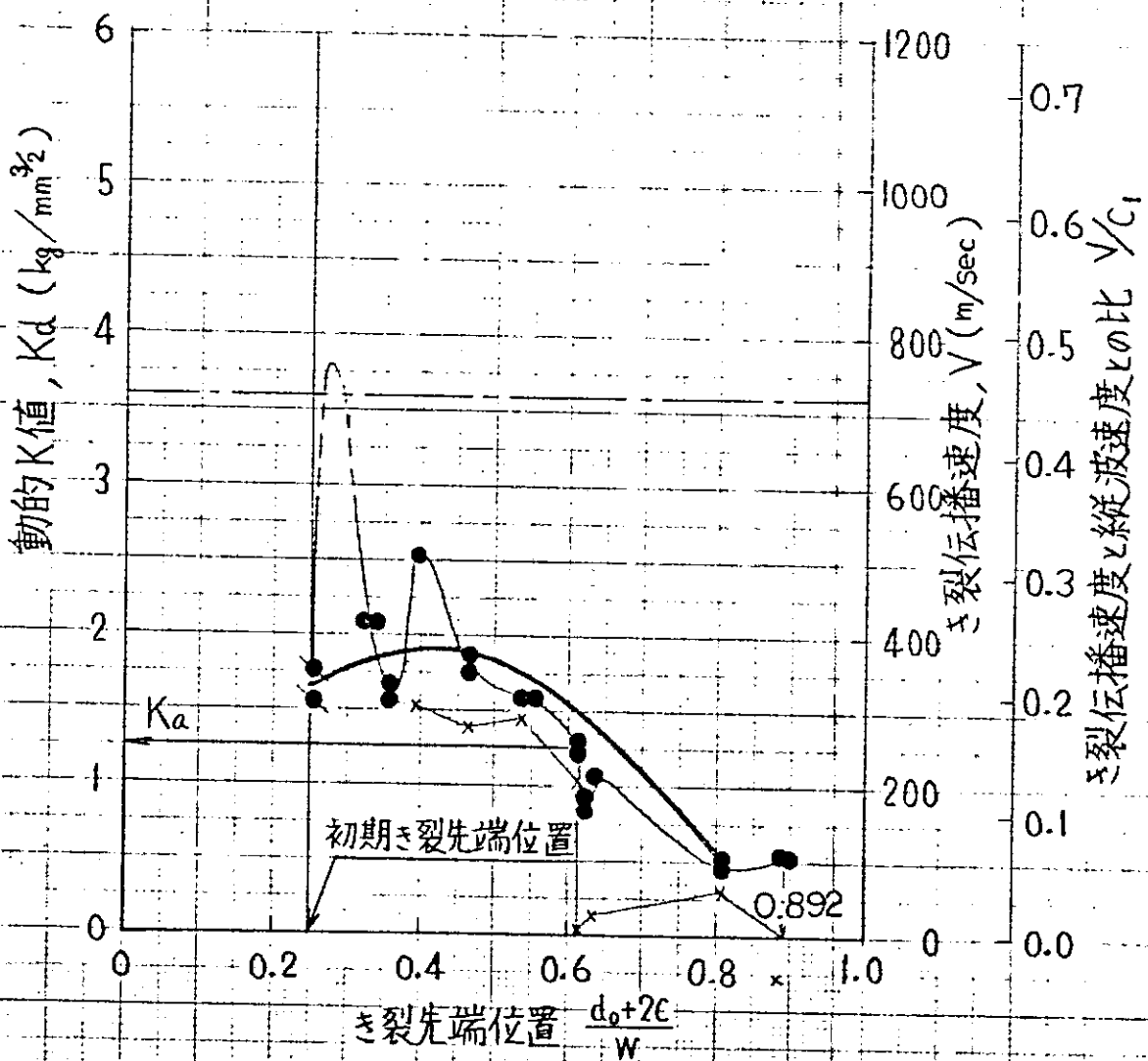


図6.4.48 溝付き型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V
 Arrest試験

Test No. GA-2, C型試験片, 溝の深さ 1.63 mm
 定荷重条件 (decreasing)
 打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー 0.0122 kg.m

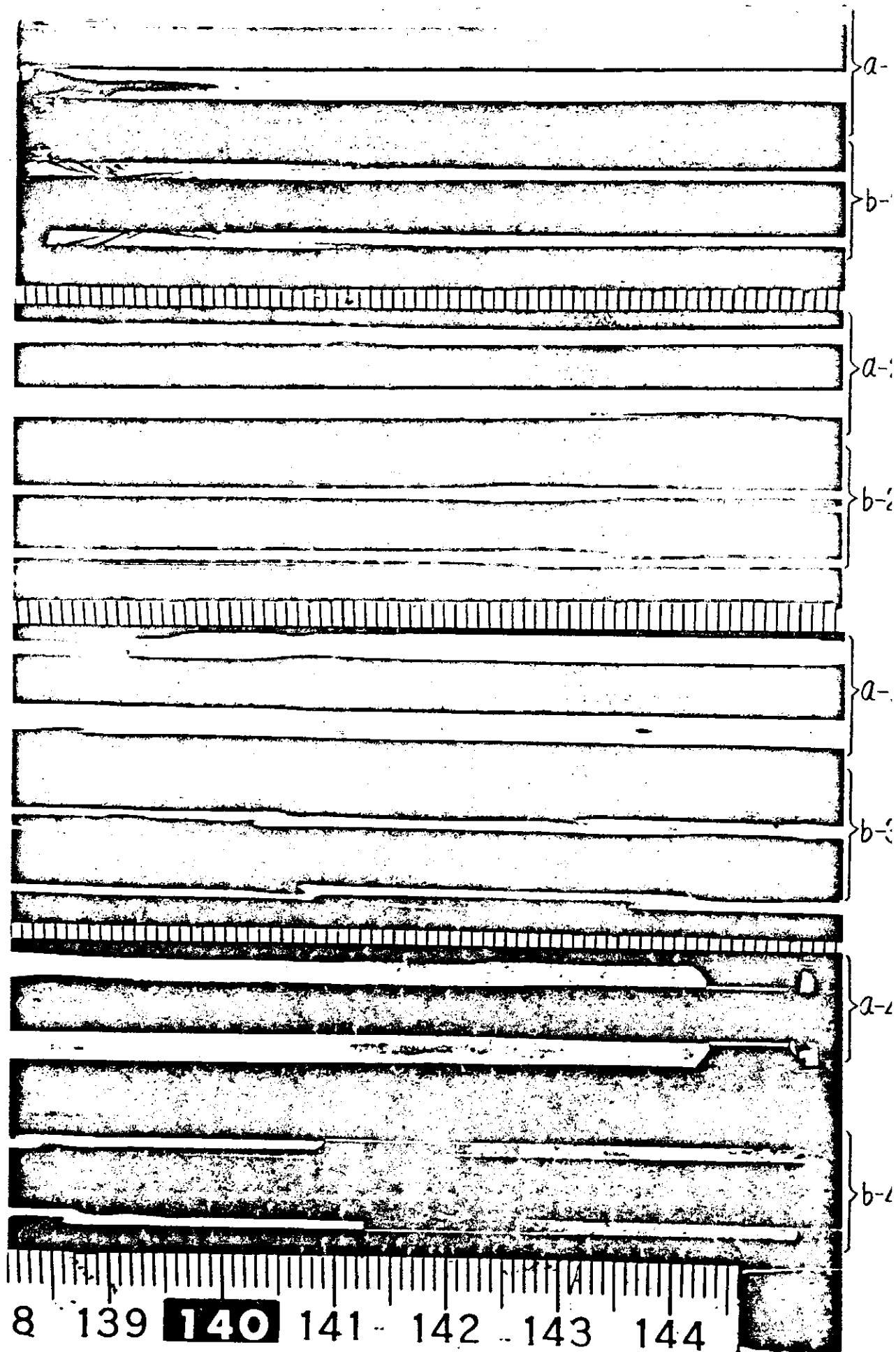


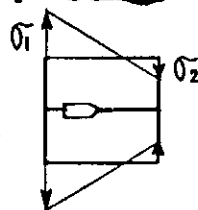
図6.4.49 動的伝播試験片の破面写真 (倍率2倍)

Arrest 試験 (溝付き型モデル)

a) Test No. GA-1, C型試験片, 定荷重条件 $\bar{\sigma}_m = 0.0740 \text{ kg/mm}^2$

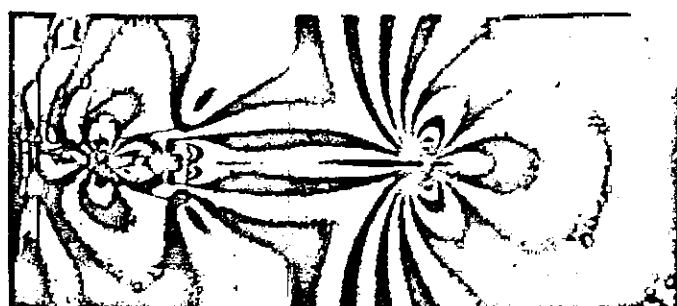
b) Test No. GA-2, C型試験片, 定荷重条件 $\bar{\sigma}_m = 0.0767 \text{ kg/mm}^2$

$$\bar{\sigma}_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2, \sigma_2/\sigma_1 = -0.5, \sigma_1 > 0$$





1) き裂発生前



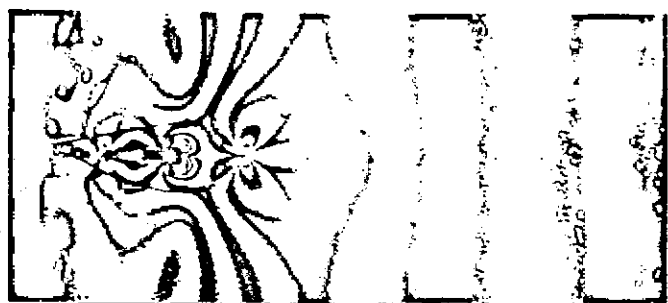
6) $t = 400 \mu\text{sec}$



2) $t = 50 \mu\text{sec}$ (き裂発生後)



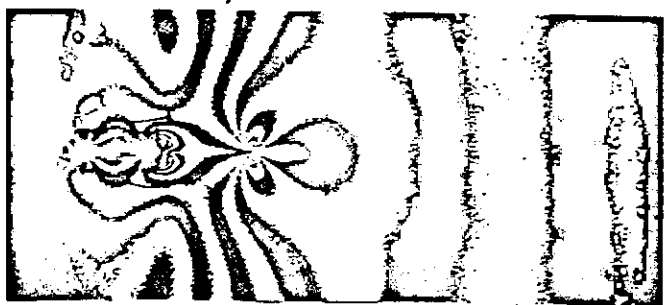
7) $t = 500 \mu\text{sec}$



3) $t = 100 \mu\text{sec}$



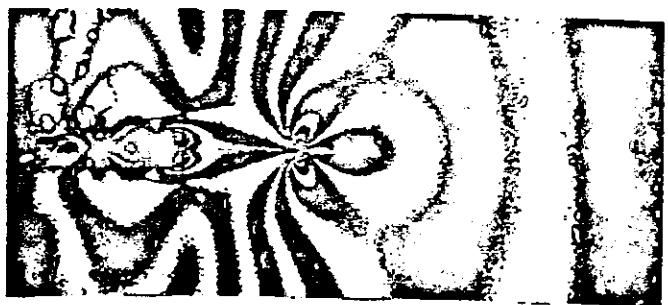
8) $t = 600 \mu\text{sec}$



4) $t = 150 \mu\text{sec}$



9) $t = 700 \mu\text{sec}$



5) $t = 200 \mu\text{sec}$

図6.4.50 エポキシ母材中の動的き裂光弾性縞写真

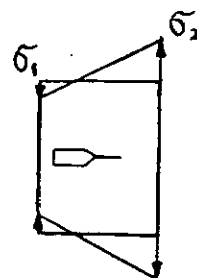
Branching 試験

Test No. MB-1, C型試験片

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.510 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -11, \sigma_2 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー: $0.1012 \text{ kg}\cdot\text{m}$



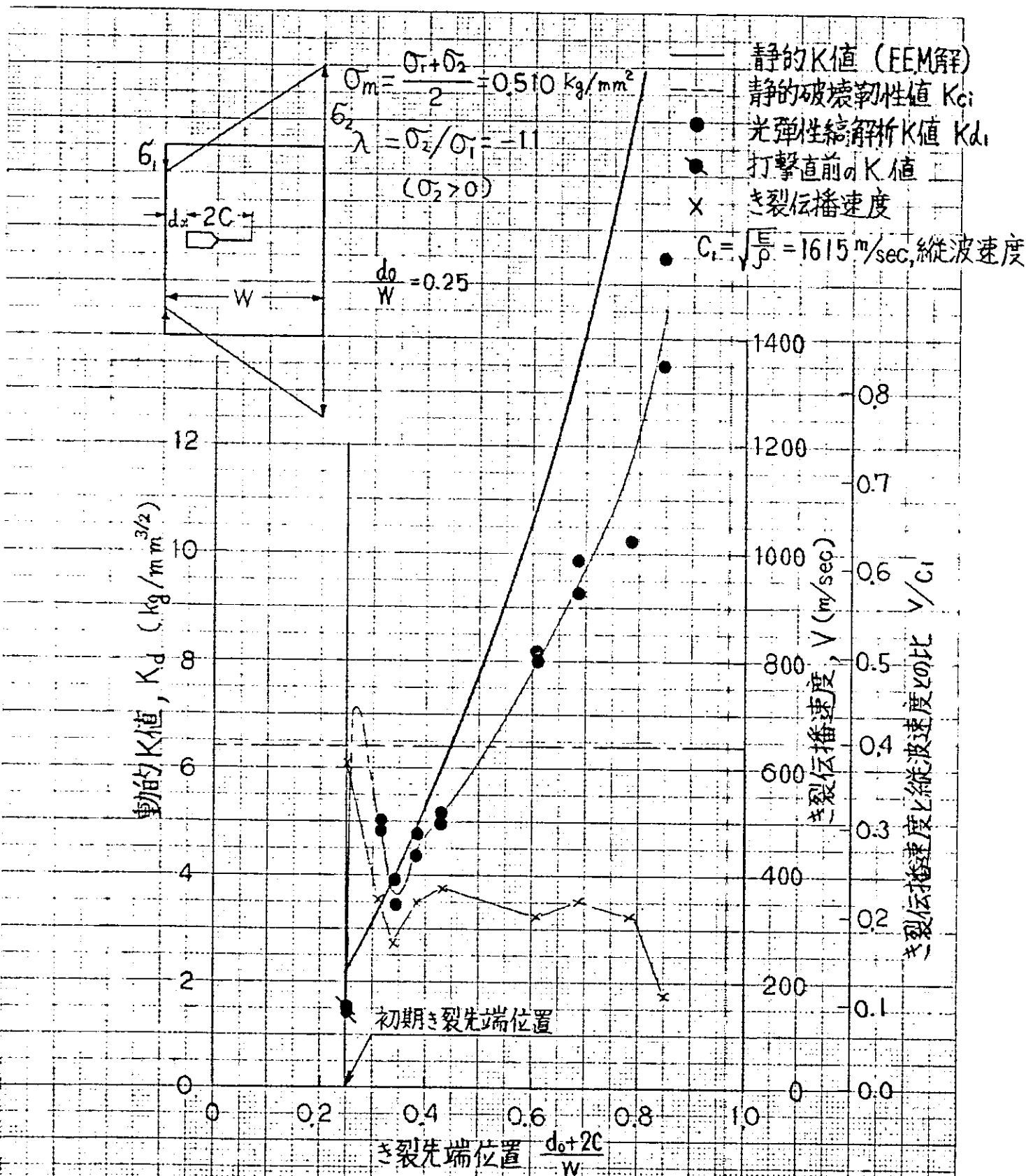


図6.4.51 工ホキシ母材中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Branching試験

Test No. MB-1, C型試験片

定荷重条件 (increasing)

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー: 0.1012 kg·m

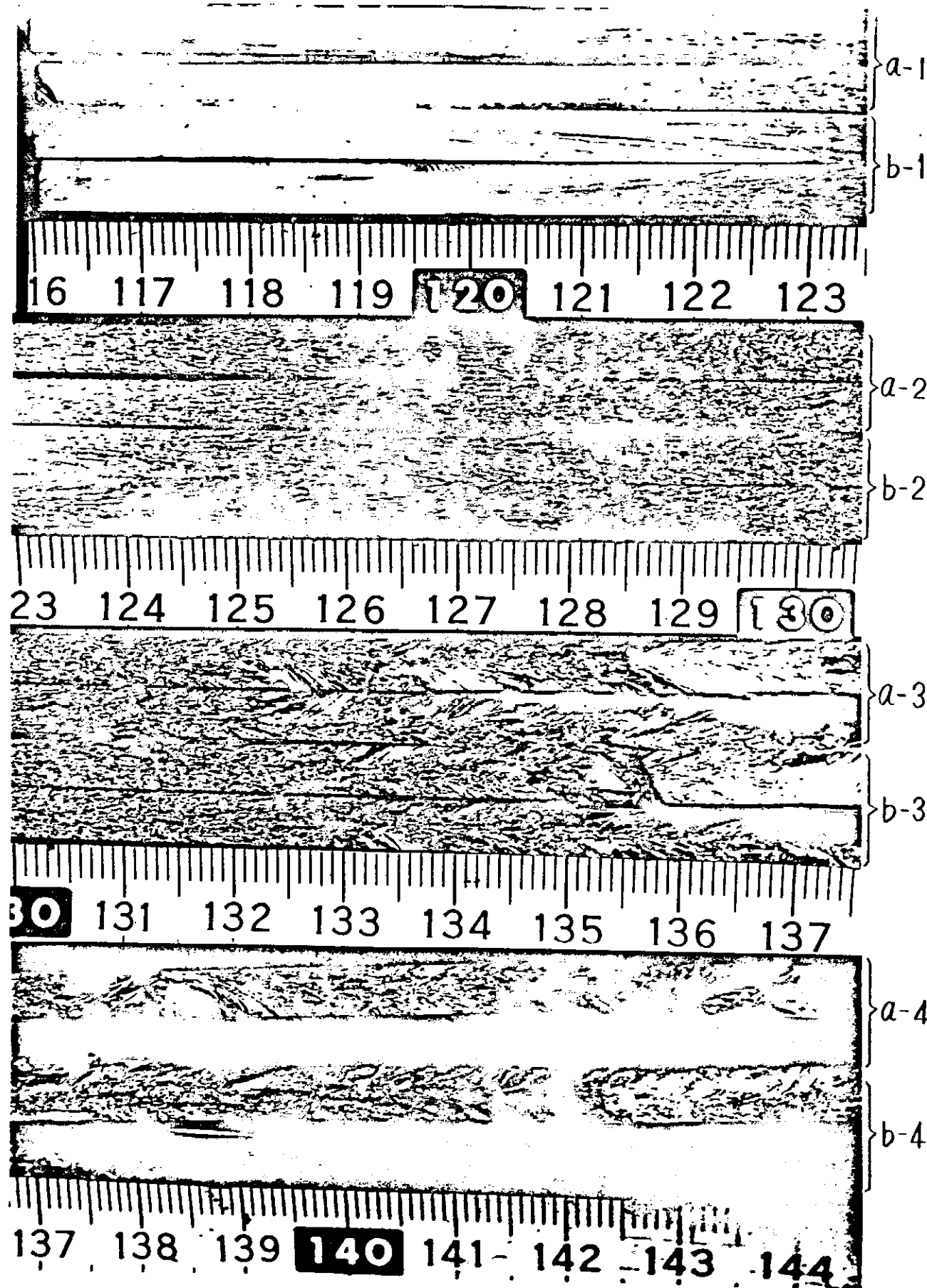


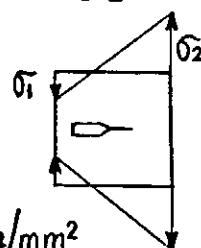
図6.4.52 動的伝播試験片の破面写真 (倍率2倍)

Branching試験 (工ホキシ母材)

a) Test No. MB-1, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma_m = 0.510 \text{ kg/mm}^2$

b) Test No. MB-2, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma_m = 0.506 \text{ kg/mm}^2$

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2, \quad \sigma_2/\sigma_1 = -11, \quad \sigma_2 > 0$$

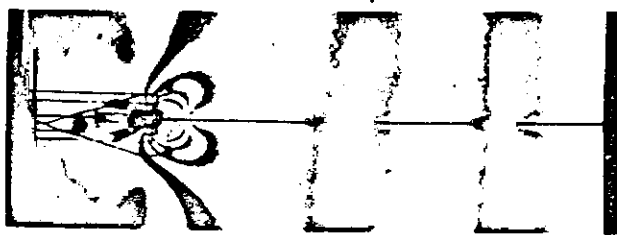




1) き裂発生前



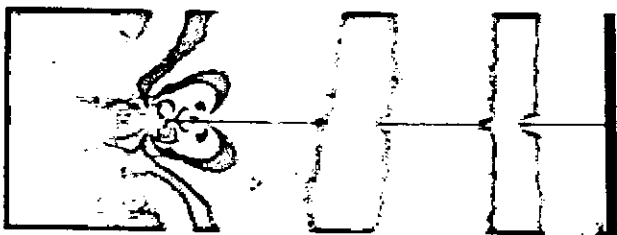
7) $t = 400 \mu\text{sec}$



2) $t = 3 \mu\text{sec}$



8) $t = 500 \mu\text{sec}$



3) $t = 50 \mu\text{sec}$



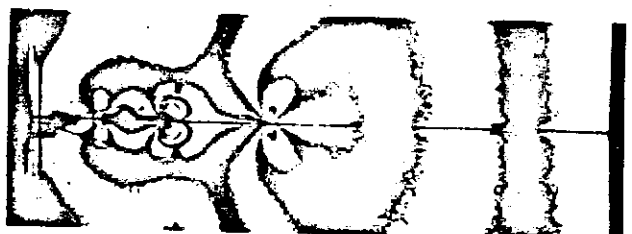
9) $t = 600 \mu\text{sec}$



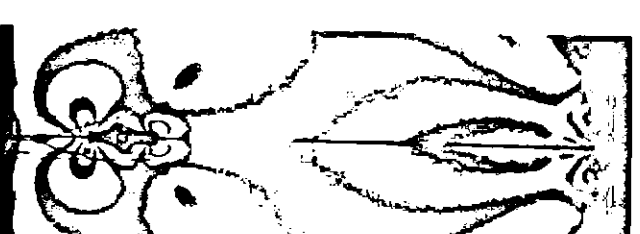
4) $t = 100 \mu\text{sec}$



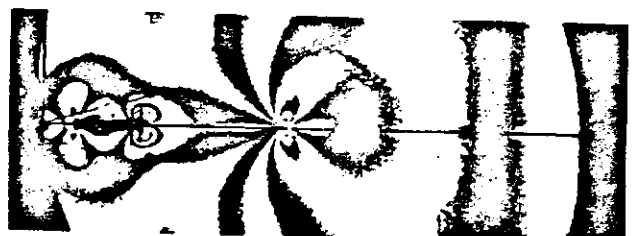
10) $t = 700 \mu\text{sec}$



5) $t = 200 \mu\text{sec}$



11) $t = 800 \mu\text{sec}$



6) $t = 300 \mu\text{sec}$



12) $t = 1000 \mu\text{sec}$

図6.4.53 溝付き型モデル中の動的き裂光弾性縞写真

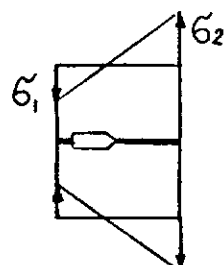
Branching 試験

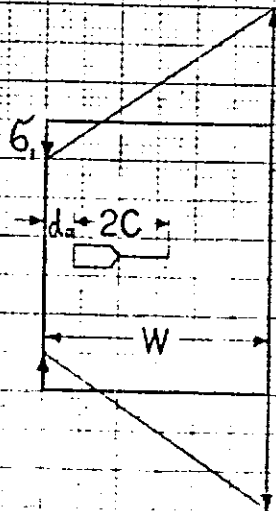
Test No. GB-1, C型試験片, 溝の深さ 1.24 mm

定荷重条件 $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.300 \text{ kg/mm}^2$

$\sigma_2/\sigma_1 = -11, \sigma_2 > 0$

打撃によるき裂発生, 打撃エネルギー 0.0473 J/m





$$\bar{\sigma}_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2 = 0.300 \text{ kg/mm}^2$$

$$\sigma_2/\sigma_1 = -1.1$$

$$\sigma_2 > 0$$

$$\frac{da}{W} = 0.25$$

— 静的K値 (FEM解)

- - - 静的破壊靱性値 K_{ci}

● 光弾性解析K値 K_d

● 打撃直前のK値

x き裂伝播速度

$$C_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 1615 \text{ m/sec, 縦波速度}$$

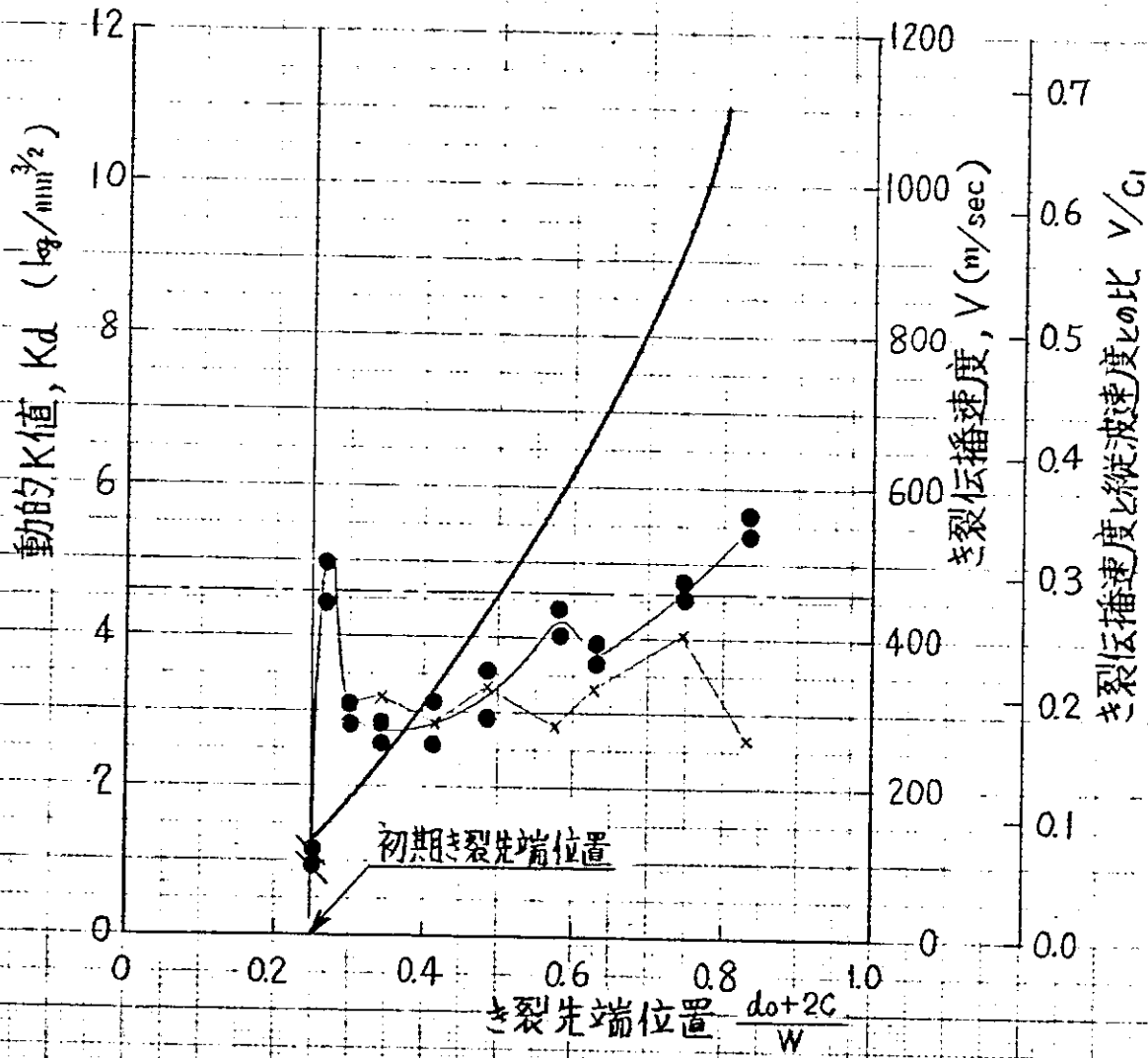


図6.4.54 溝付き型モデル中伝播き裂の動的K値 K_d およびき裂伝播速度 V

Branching試験

Test No. GB-1, C型試験片, 溝の深さ1.24 mm

定荷重条件 (increasing)

打撃によるき裂発生, 打撃I初値 $-0.0473 \text{ kg}\cdot\text{m}$

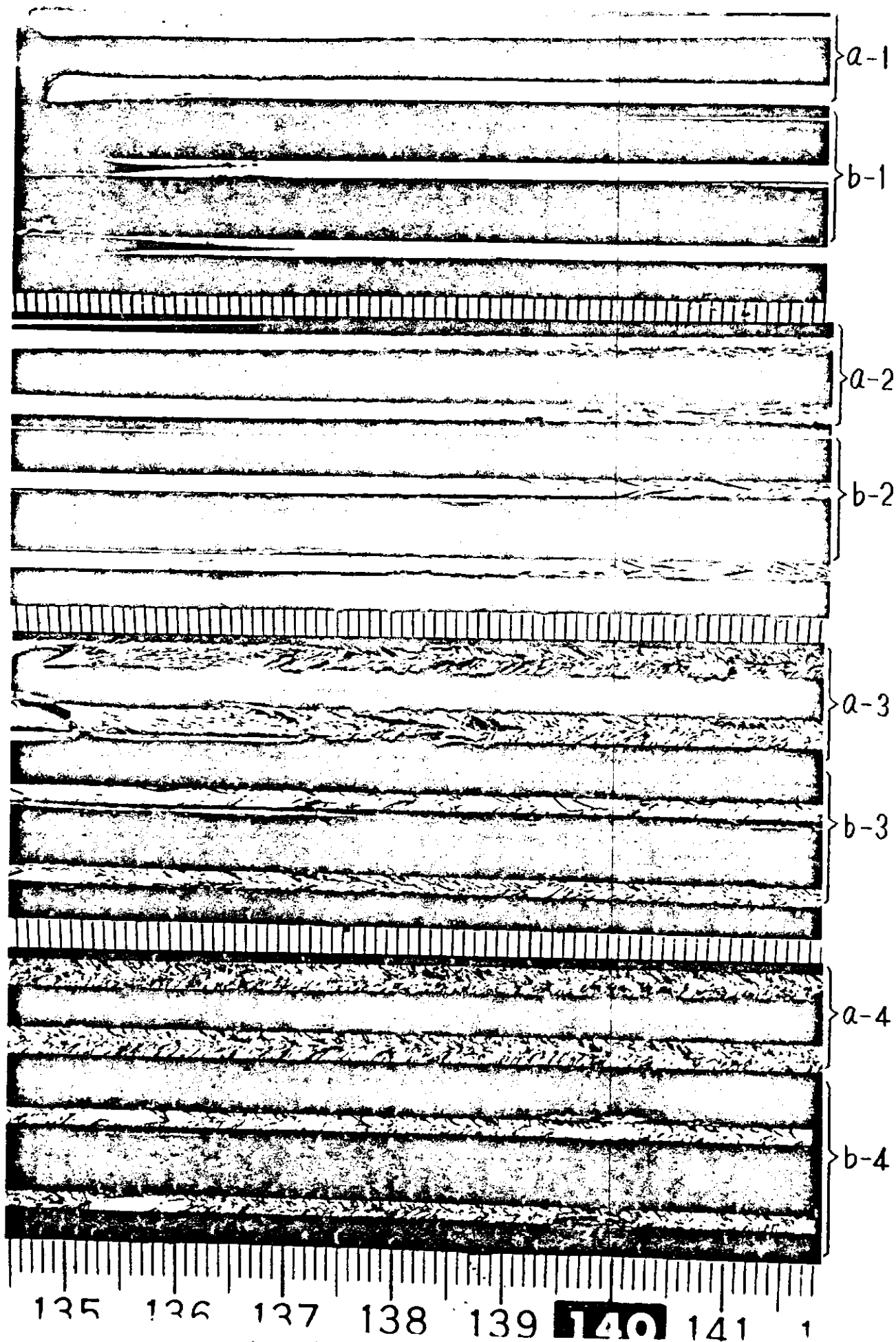


図6.4.55 動的伝播試験片の破面写真 (倍率2倍)

Branching 試験

a) Test No. GB-1, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma_m = 0.300 \text{ kg/mm}^2$

b) Test No. GB-2, C型試験片, 定荷重条件 $\sigma_m = 0.1997 \text{ kg/mm}^2$

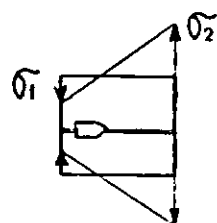


表7.1.1 X線応力測定条件

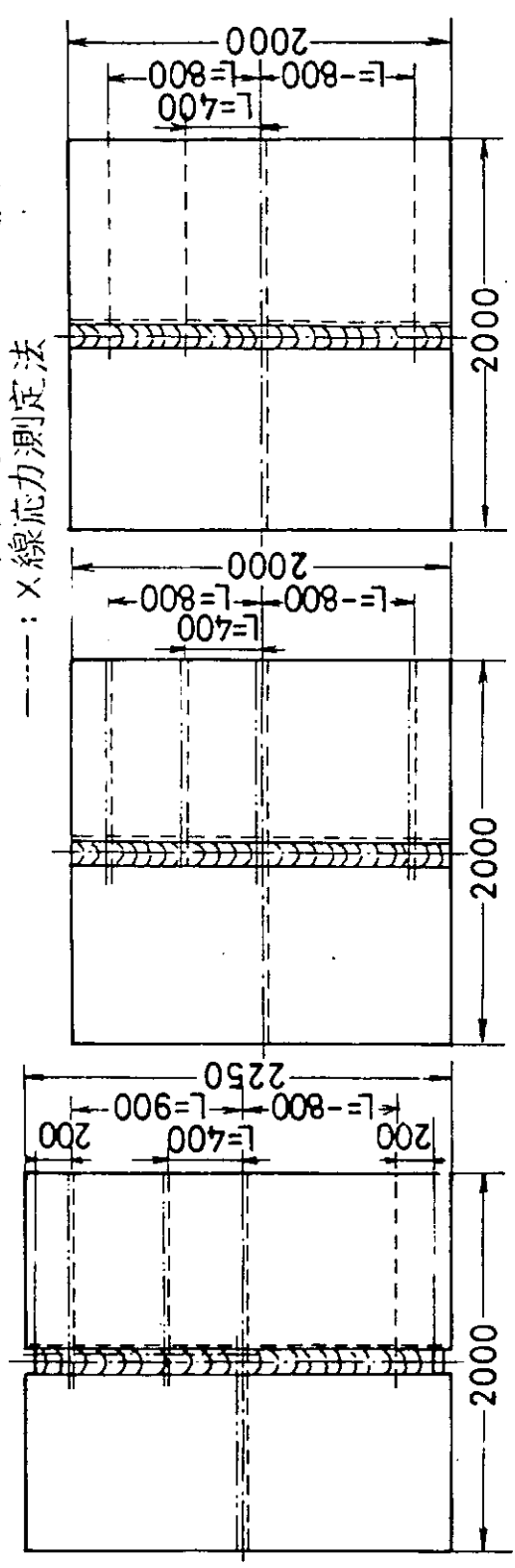
継 手	KAS鋼周VASCON-II法溶接継手		K5D鋼部材ボルト法溶接継手
装置, 検出器	理学 Strain flex MSF シンチレーショントラッキングカウンタ		島津SMX-50, 同左
X線, フィルター	Cr-K α (211), V		同 左
揺動の有無	無*, 0°	有**, $\pm 3^\circ$	有, $\pm 2.5^\circ$
照射面積	16 $\times$ 4	4 $\times$ 4	2 $\times$ 4
管電圧, 電流	30KVP, 7mA	30KVP, 10mA	30KVP, 8mA
時定数	1	16	8
フルスケール	20 KCPS	8 KCPS	10 KCPS
検出器走査速度	4°/min	2°/min	2°/min
チャート送り速度	80mm/min	40mm/min	40mm/min
表面処理	化学研磨 + 電解研磨 表面より 250 ~ 300 μ		電解研磨 同 右

* 母材部の測定条件

** 溶接金属, HAZ, ボルトから100mm以内の位置における測定条件

L: ビードに直角な中心線からの距離 (mm)

- : ひずみゲージによる応力弛緩法
- : X線応力測定法



KAS鋼VASCON-II法溶接継手 K5D鋼ポリソールト法溶接継手 KDK鋼3電極片面層溶接継手

図7.1.1 残留応力測定位置

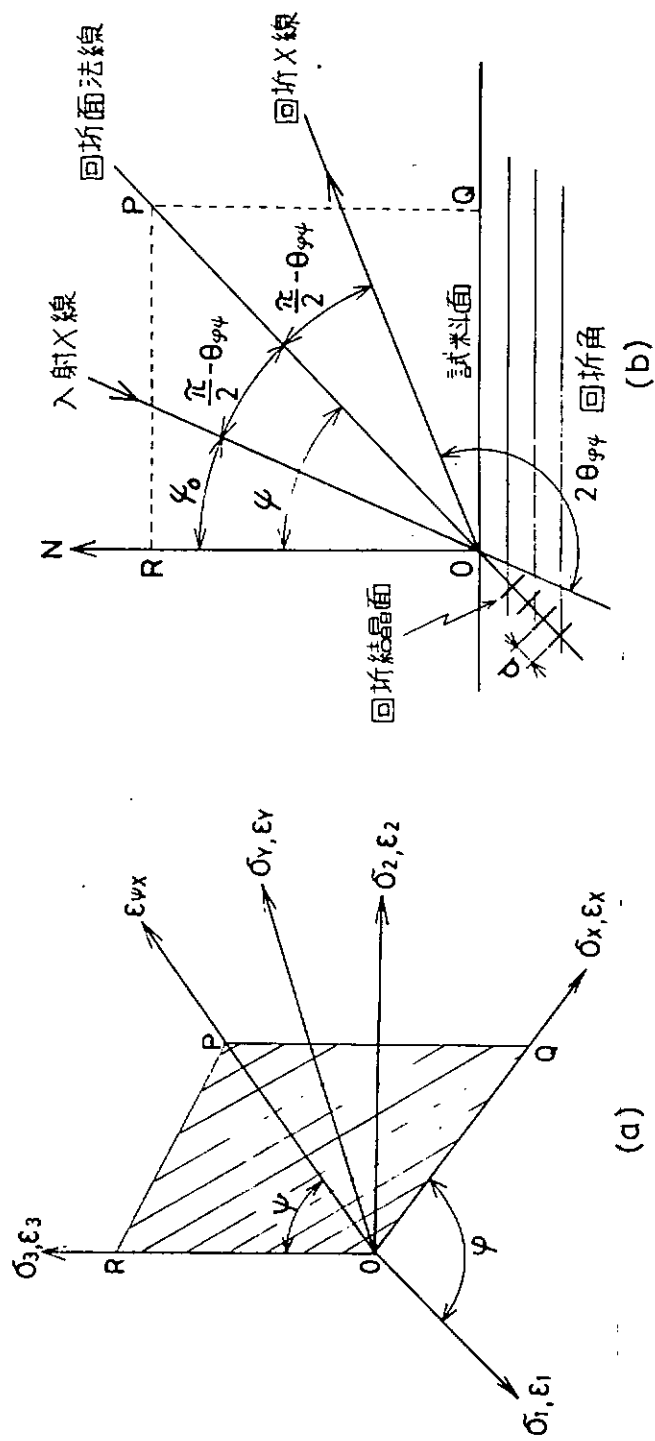
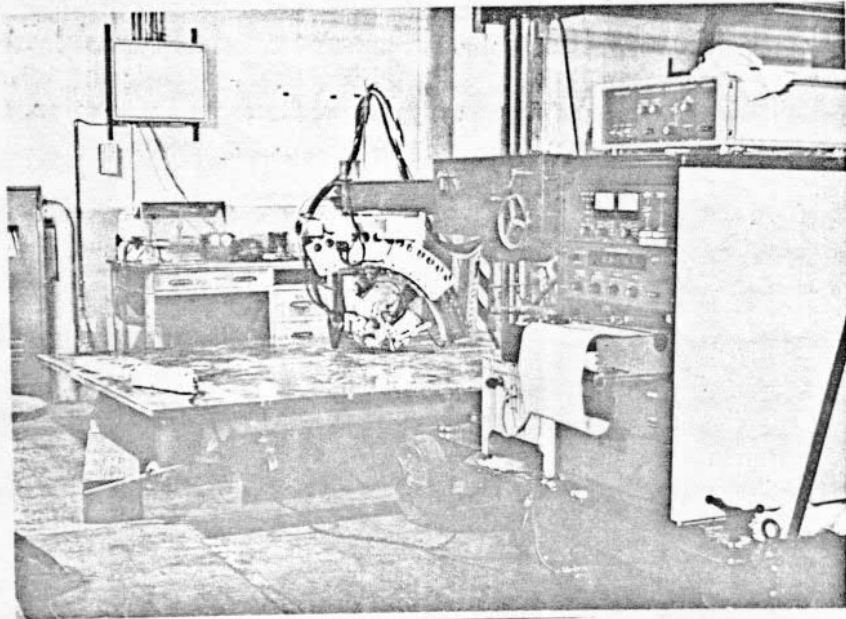


図7.1.2 X線応力測定法の原理



KAS鋼VASCON-II法溶接継手(理学電機 KK製 MSF)



K5D鋼デルタオシレート法溶接継手(KK島津製作所製 SMX-50)

写真 7.1.1 X線応力測定装置および測定状況

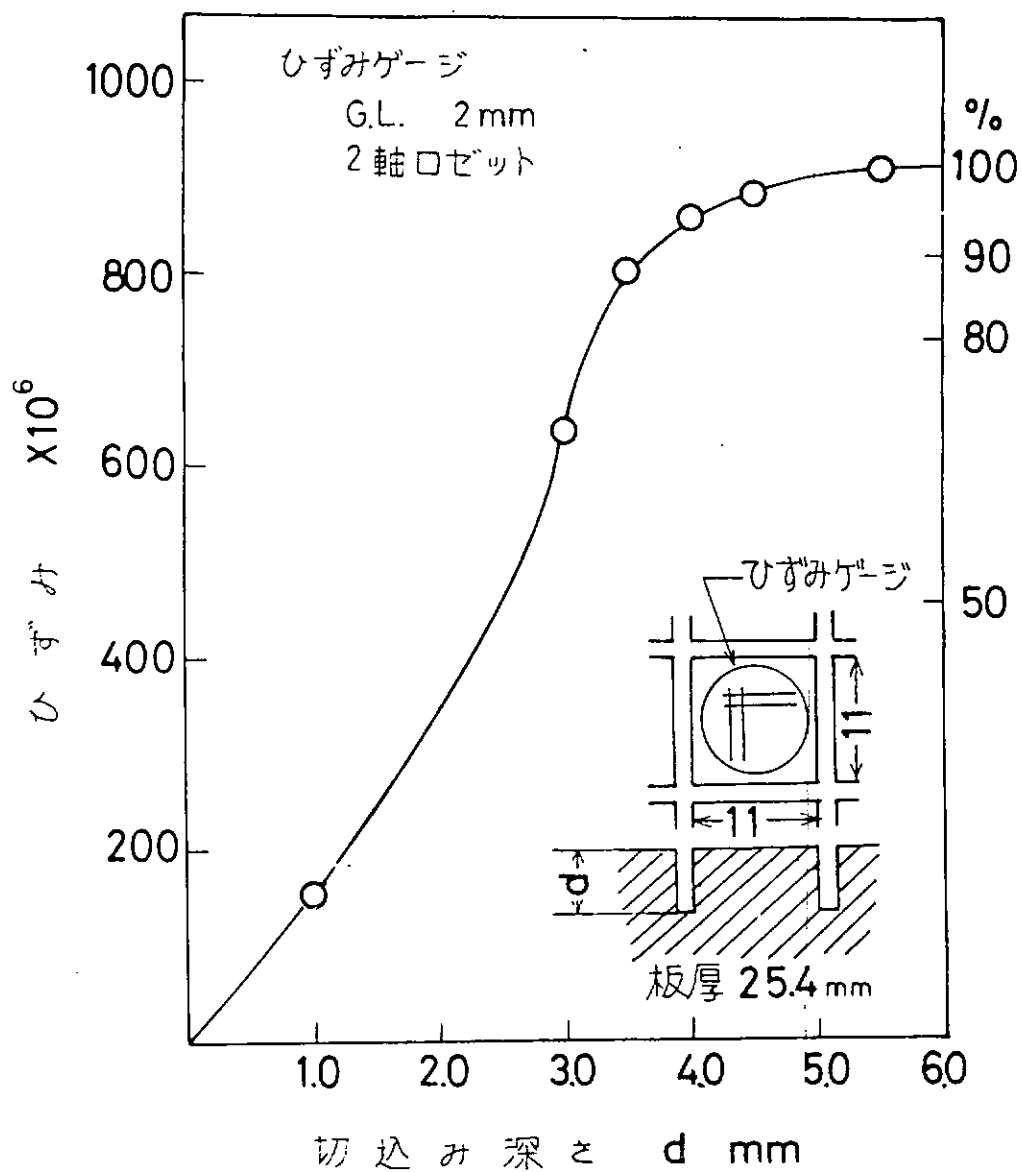
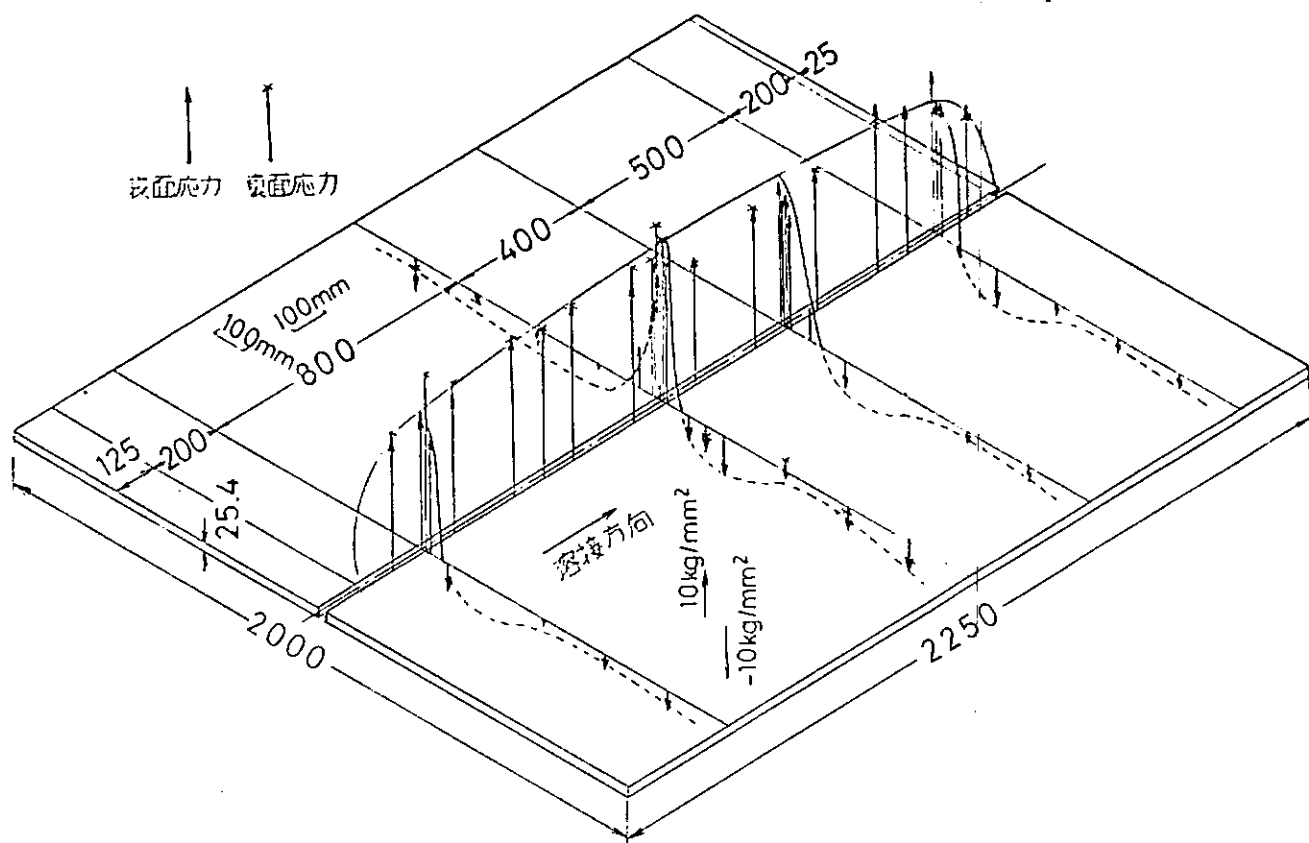
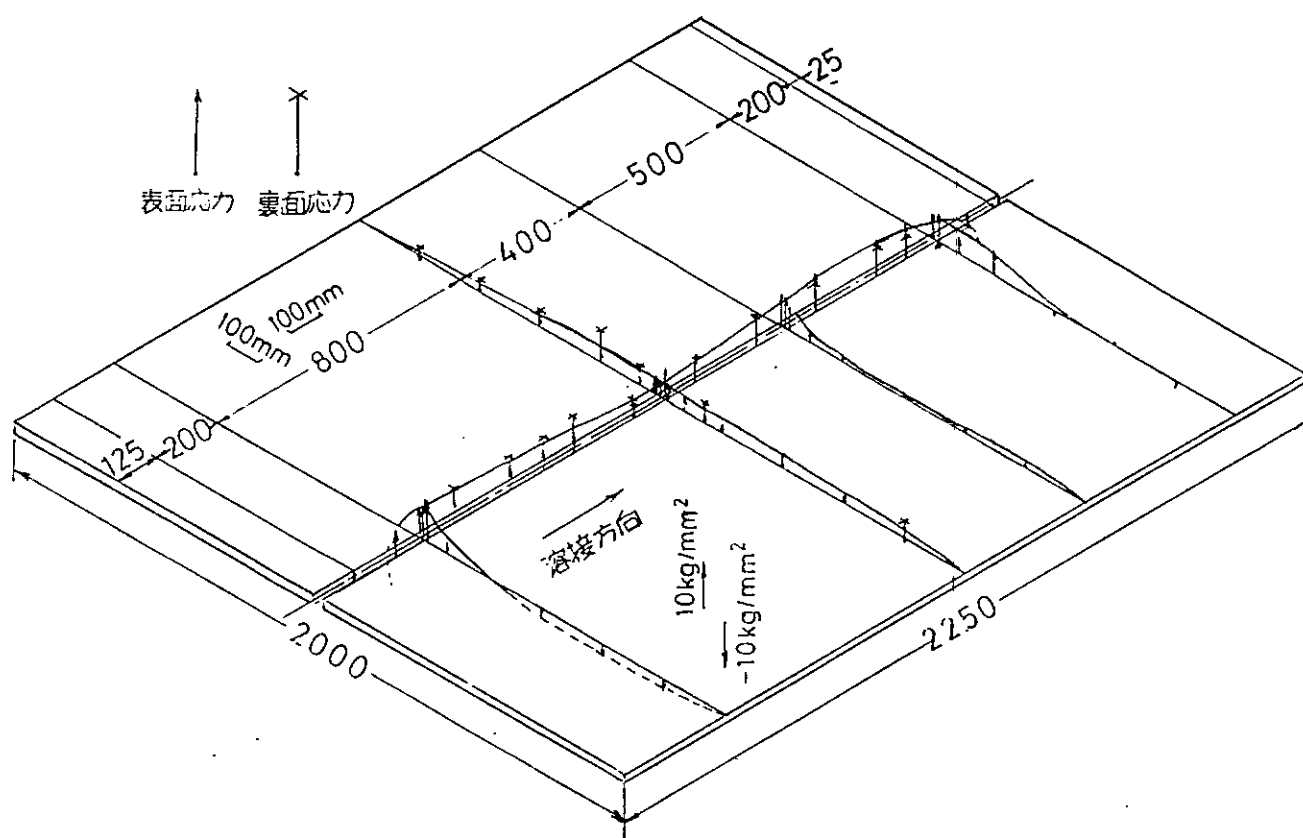


図7.1.3 表面解放によるひずみの変化

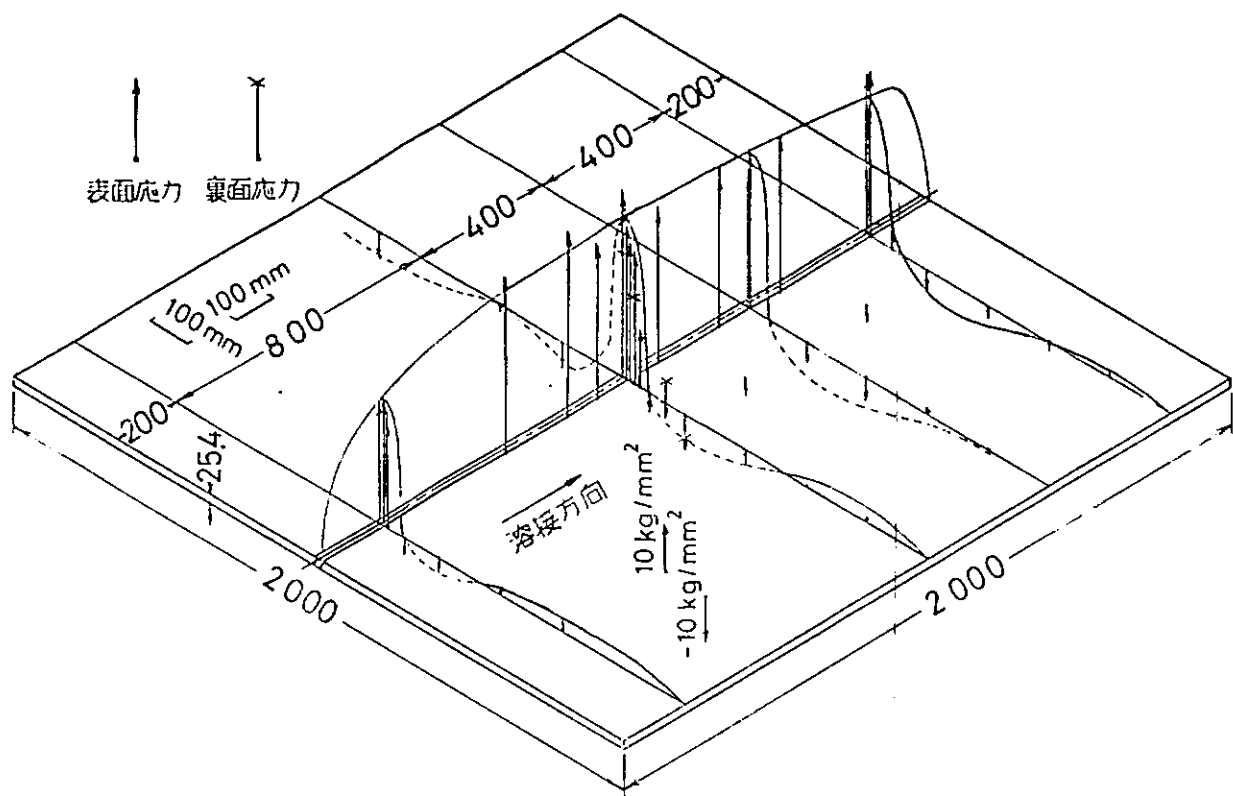


溶接ビード平行方向 σ_{RL}

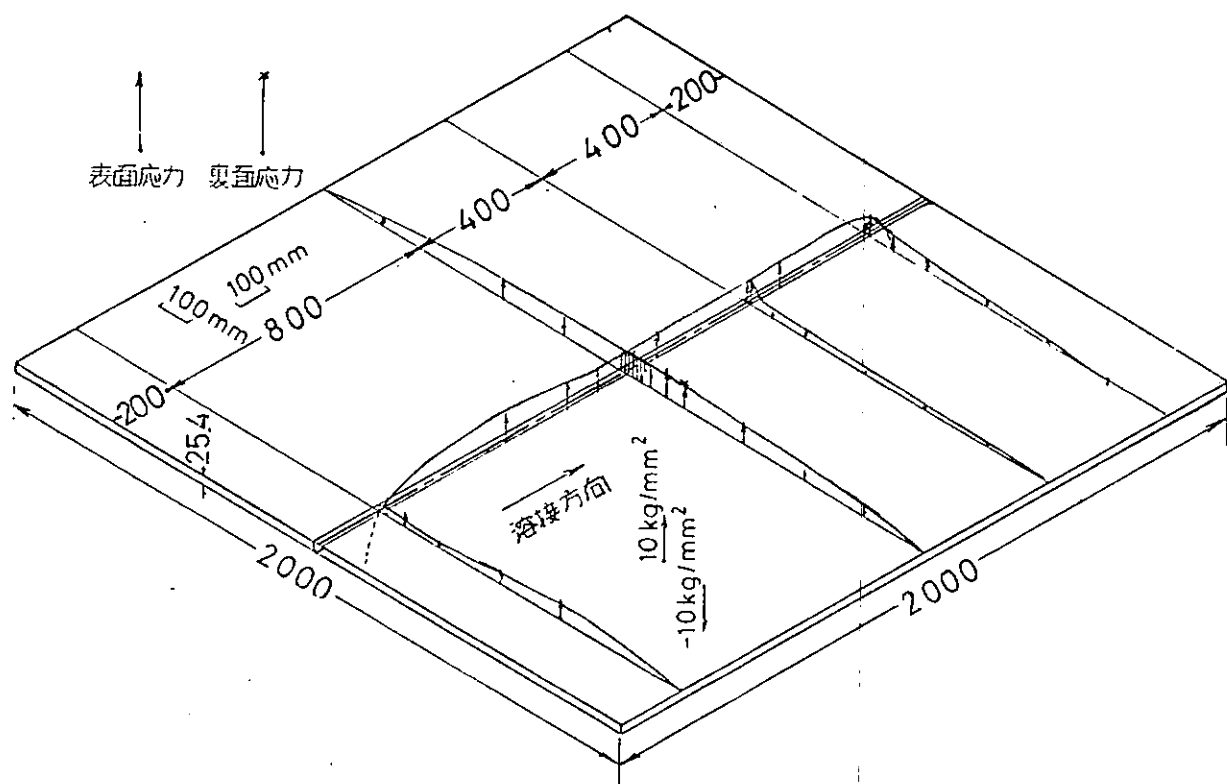


溶接ビード直角方向 σ_{RT}

図7.1.4 KAS鋼VASCON-II法継手の残留応力分布

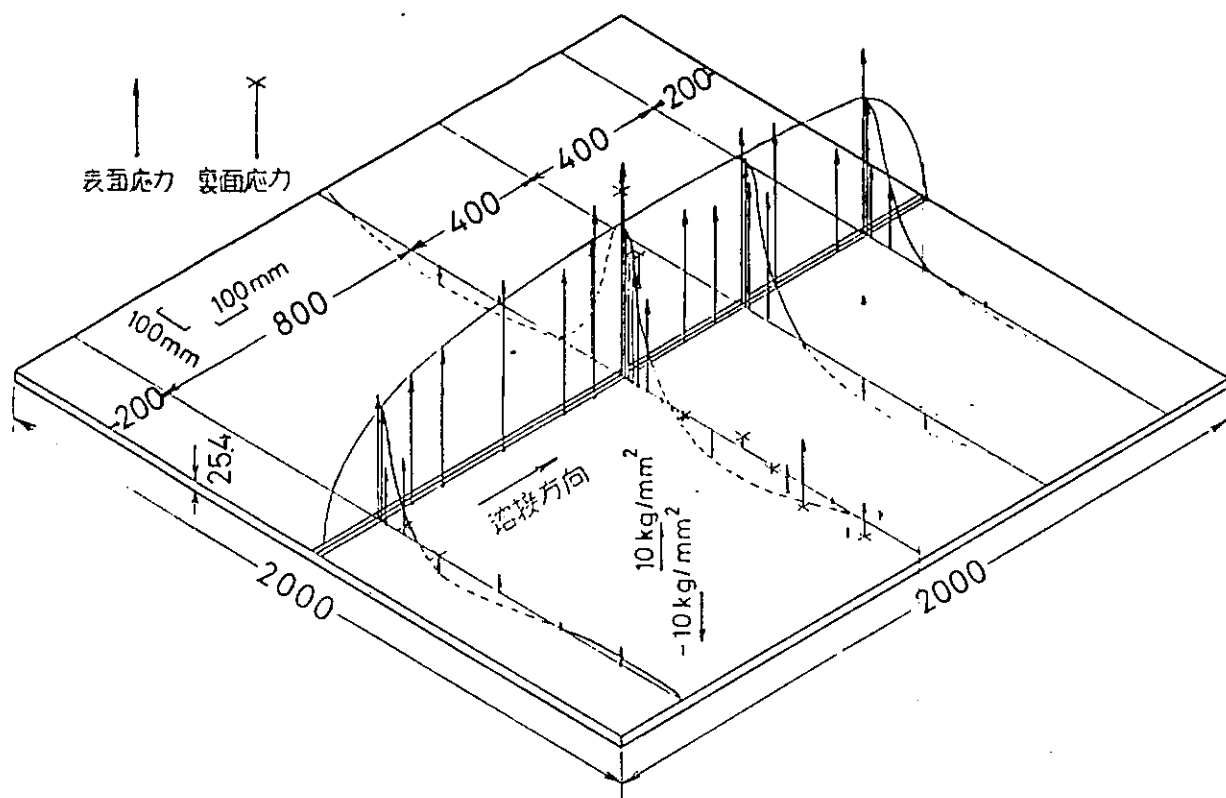


溶接ビード平行方向 σ_{RL}

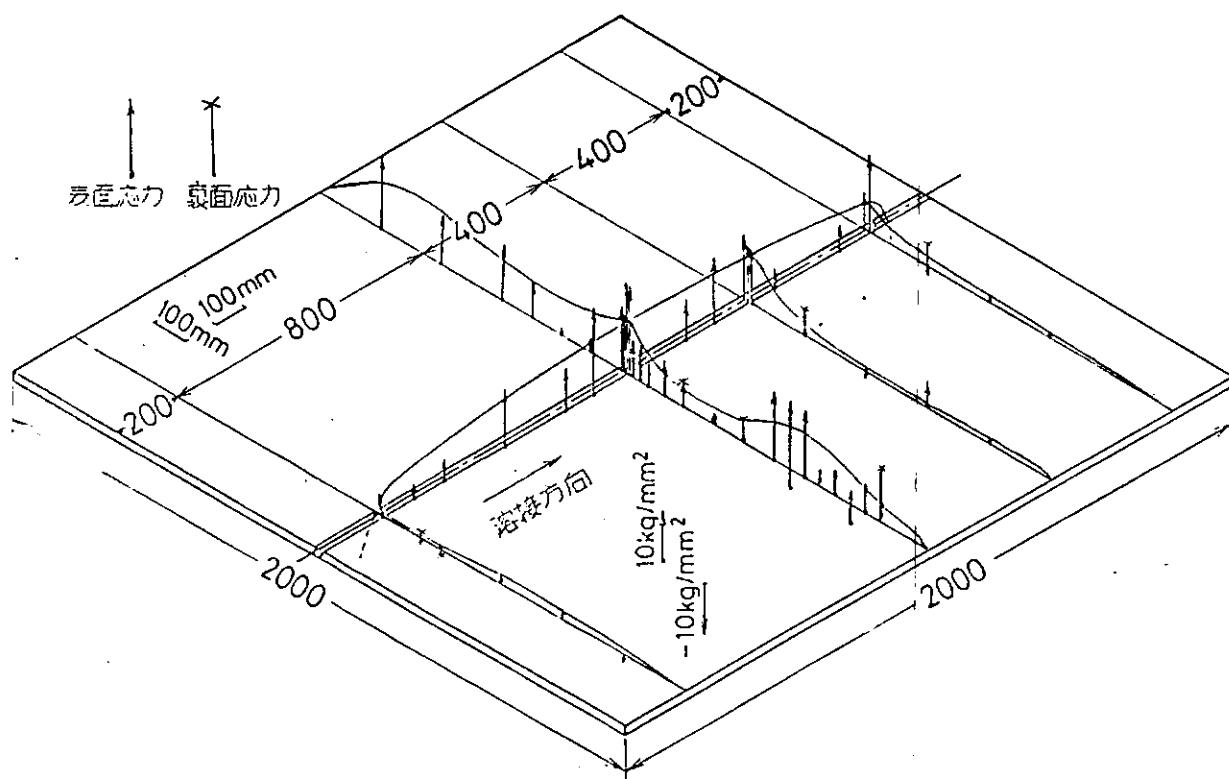


溶接ビード直角方向 σ_{RT}

図7.1.5 K5D鋼デルタオシレート法溶接継手の残留応力分布

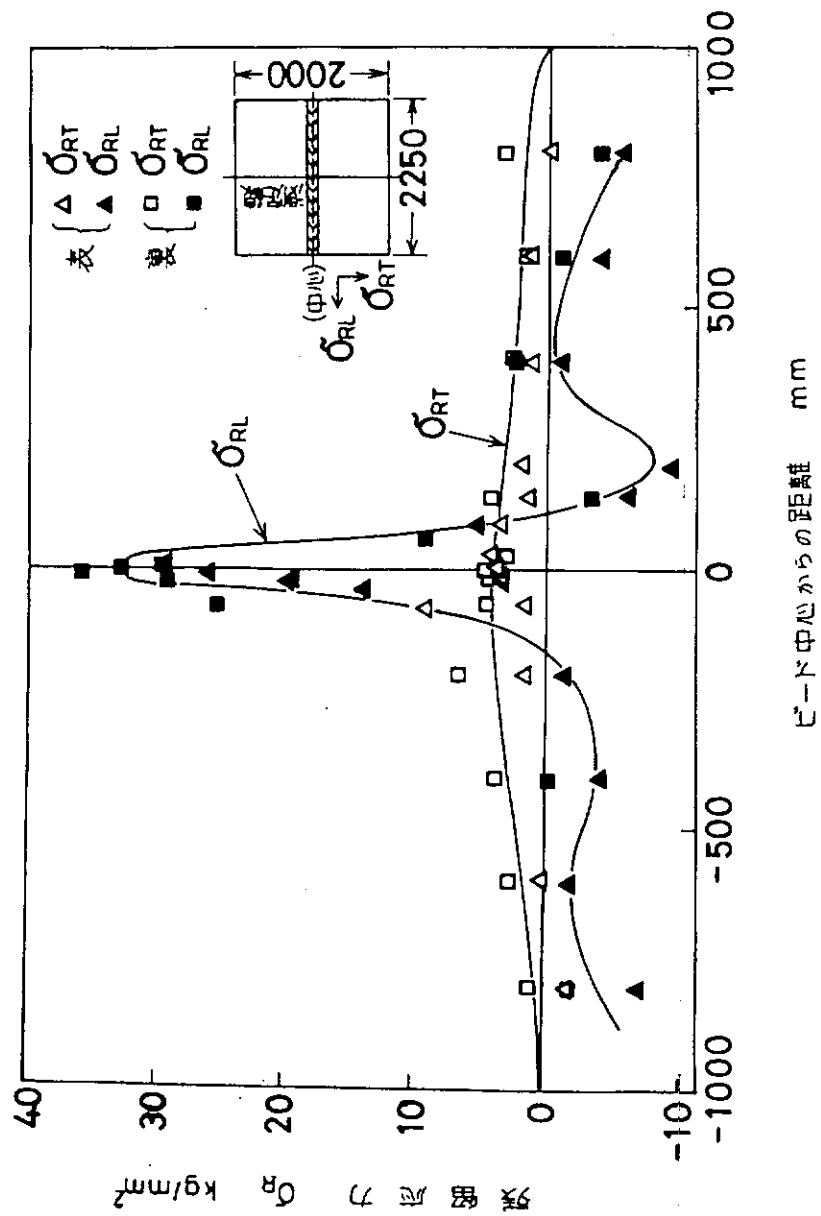


溶接ヒード平行方向 σ_{RL}



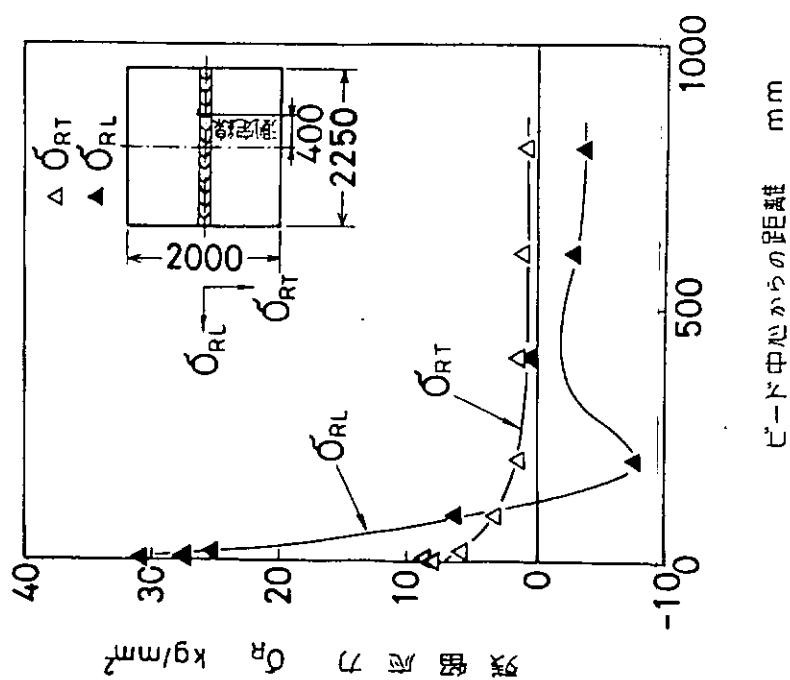
溶接ヒード直角方向 σ_{RT}

図 7.1.6 KDK鋼3電極片面1層溶接継手の残留応力分布

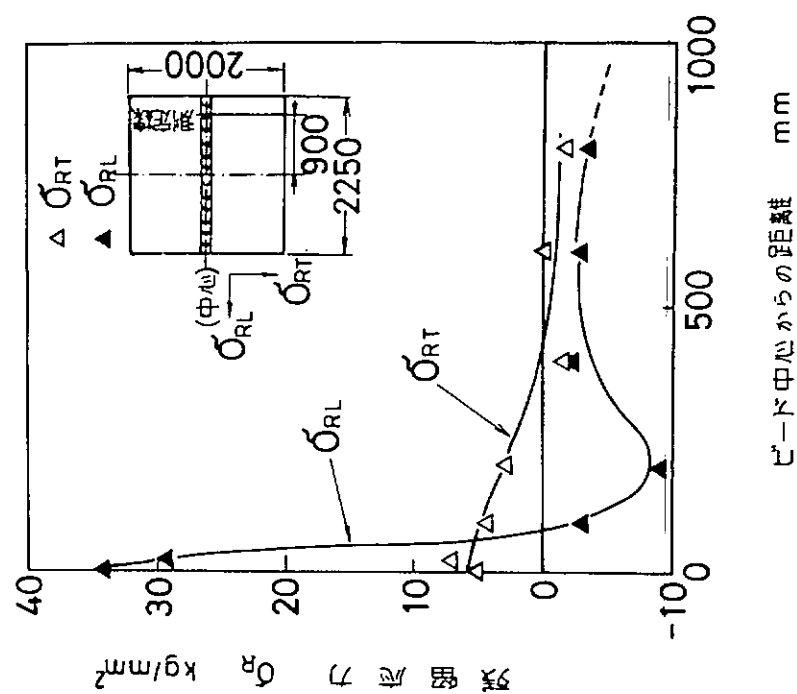


ビードに直角方向 $L=0$ 線上の分布

図7.1.7 (I) KAS鋼VASCON-II法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果

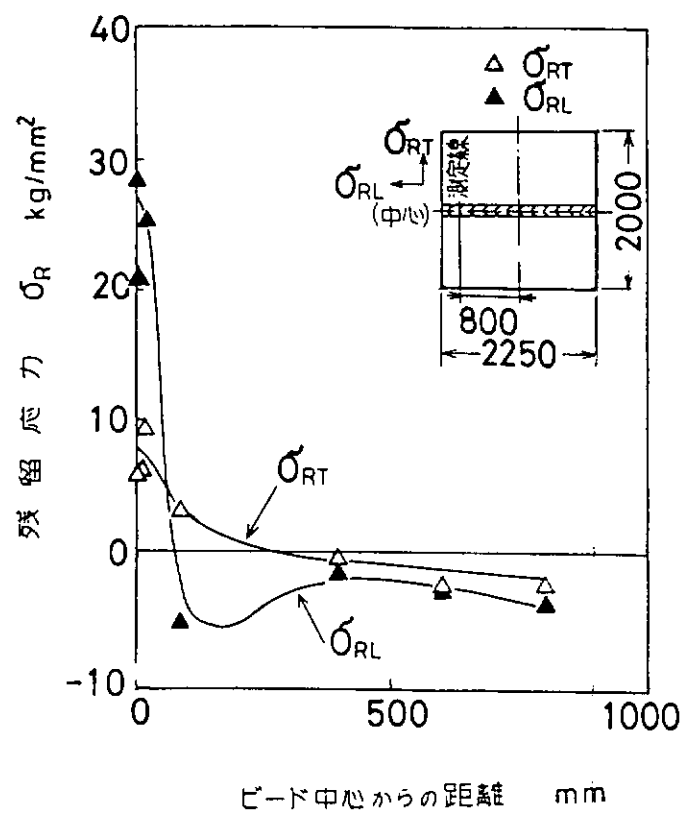


ビードに直角方向 $L=400$ 線上の分布



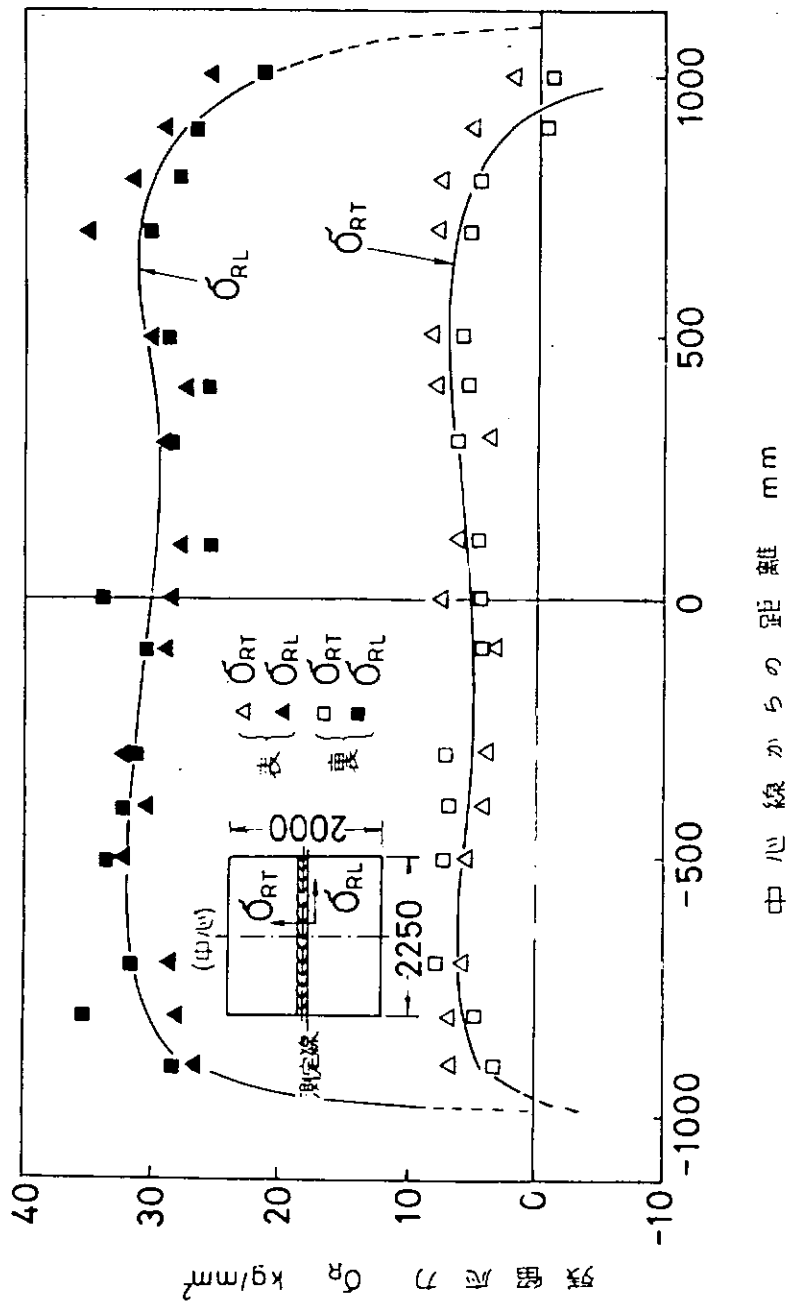
ビードに直角方向 $L=900$ 線上の分布

図7.1.7(2) KAS鋼VASCON-II法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果



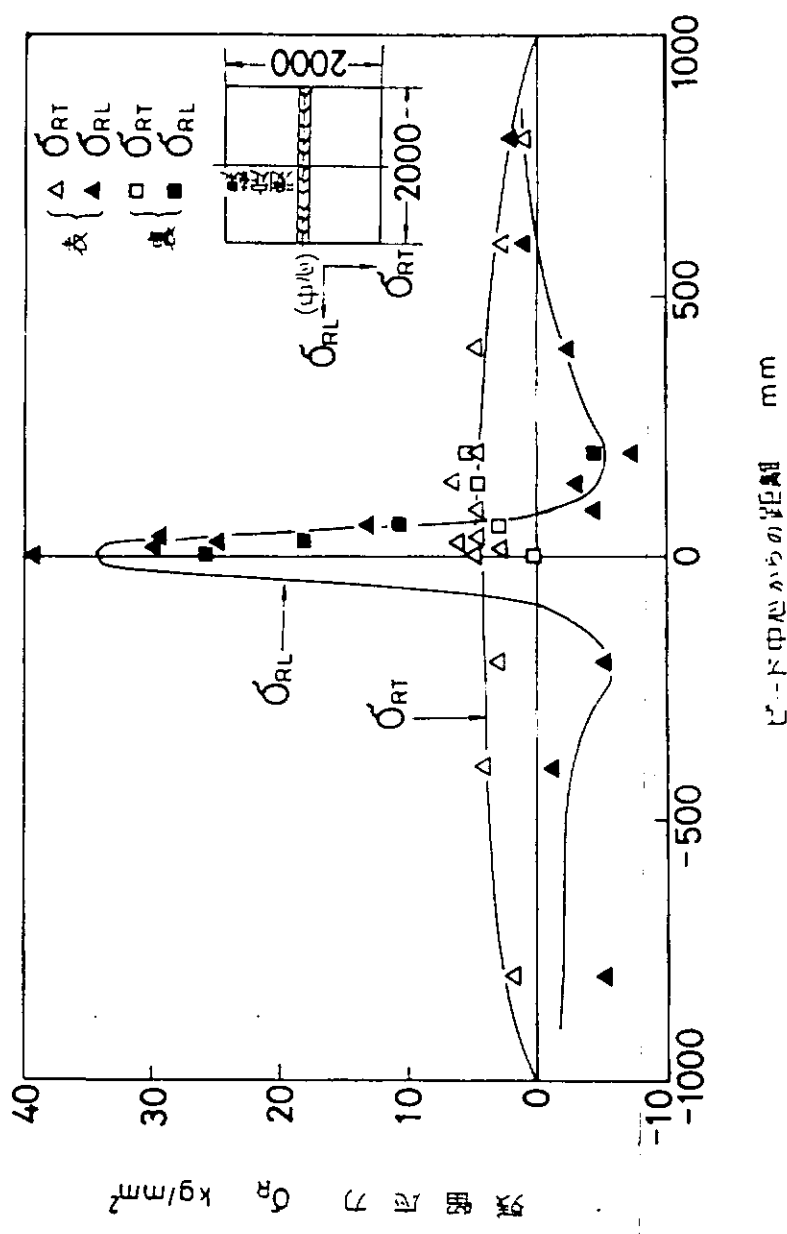
ビードに直角方向 $L=-800$ 線上の分布

図7.1.7(3) KAS鋼VASCON-II法溶接継手の
ひずみゲージによる残留応力測定結果



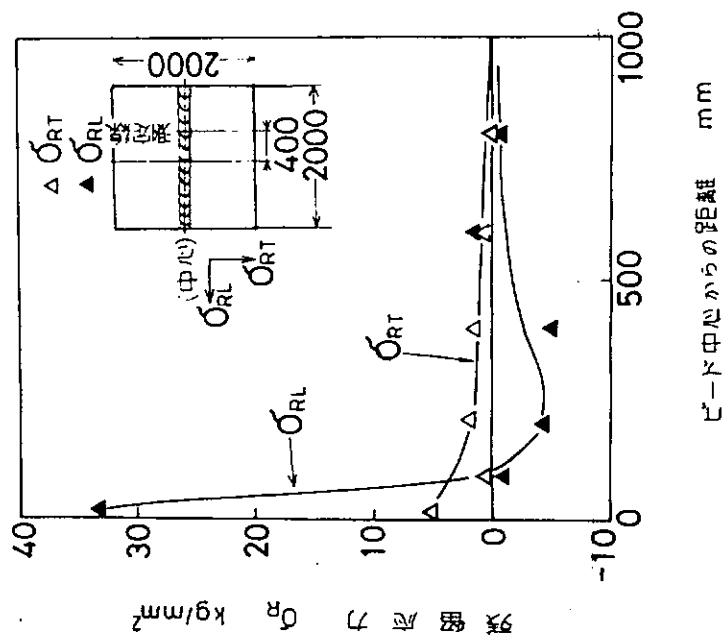
ボンド線上の分布

図7.1.7(4) KAS鋼 VASCON-II法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定分布

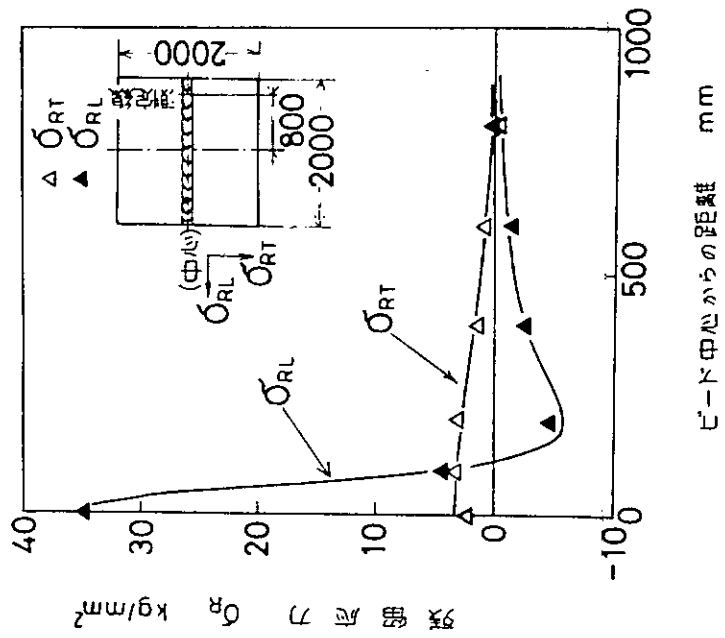


ビードに直角方向 $L=0$ 線上の分布

図7.1.8 (1) K5D鋼タタホット法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果

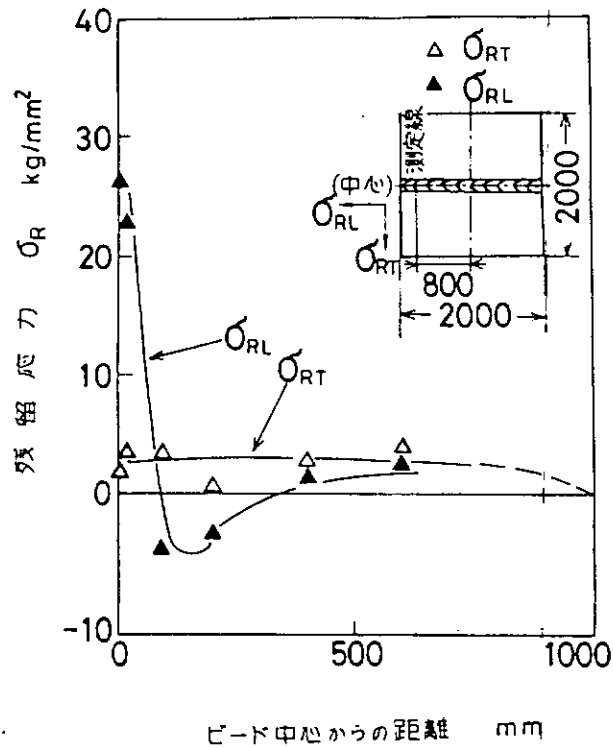


ビードに直角方向 $L=400$ 線上の分布



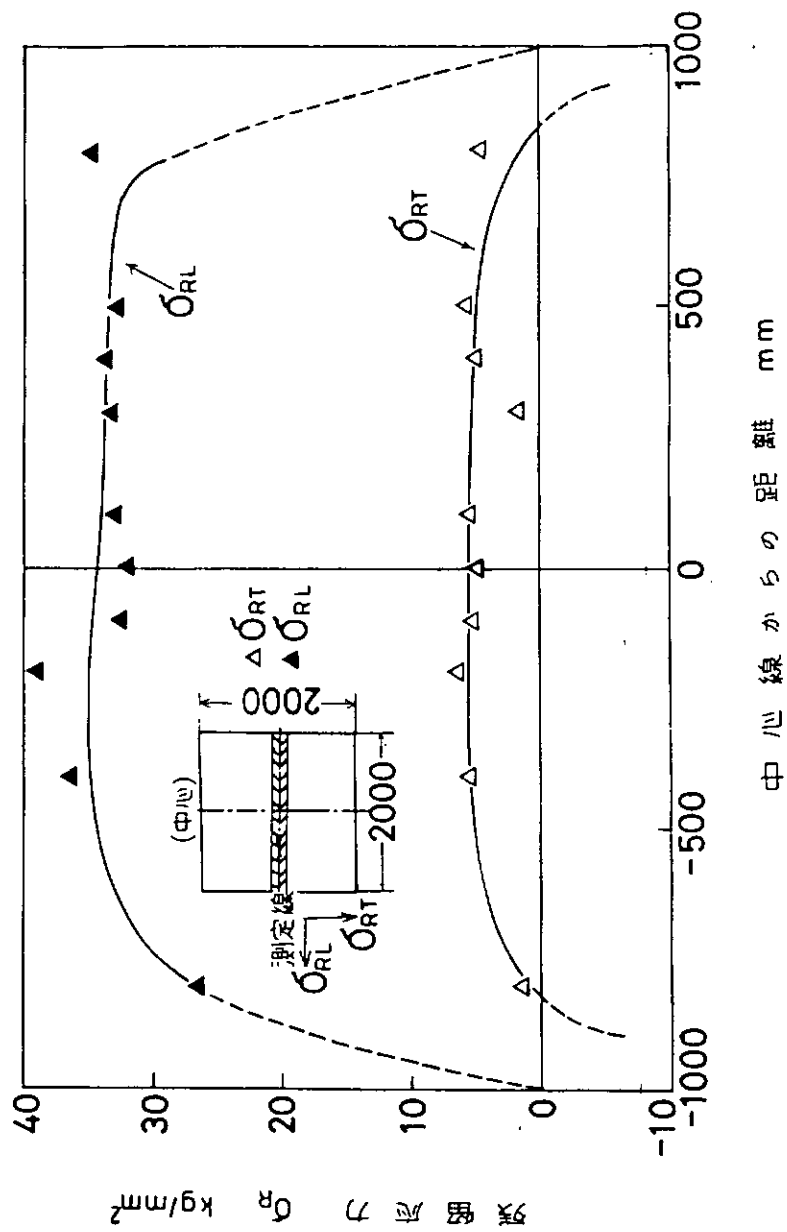
ビードに直角方向 $L=800$ 線上の分布

図 7.1.8 (2) K5D 鋼デルタジョイント法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果



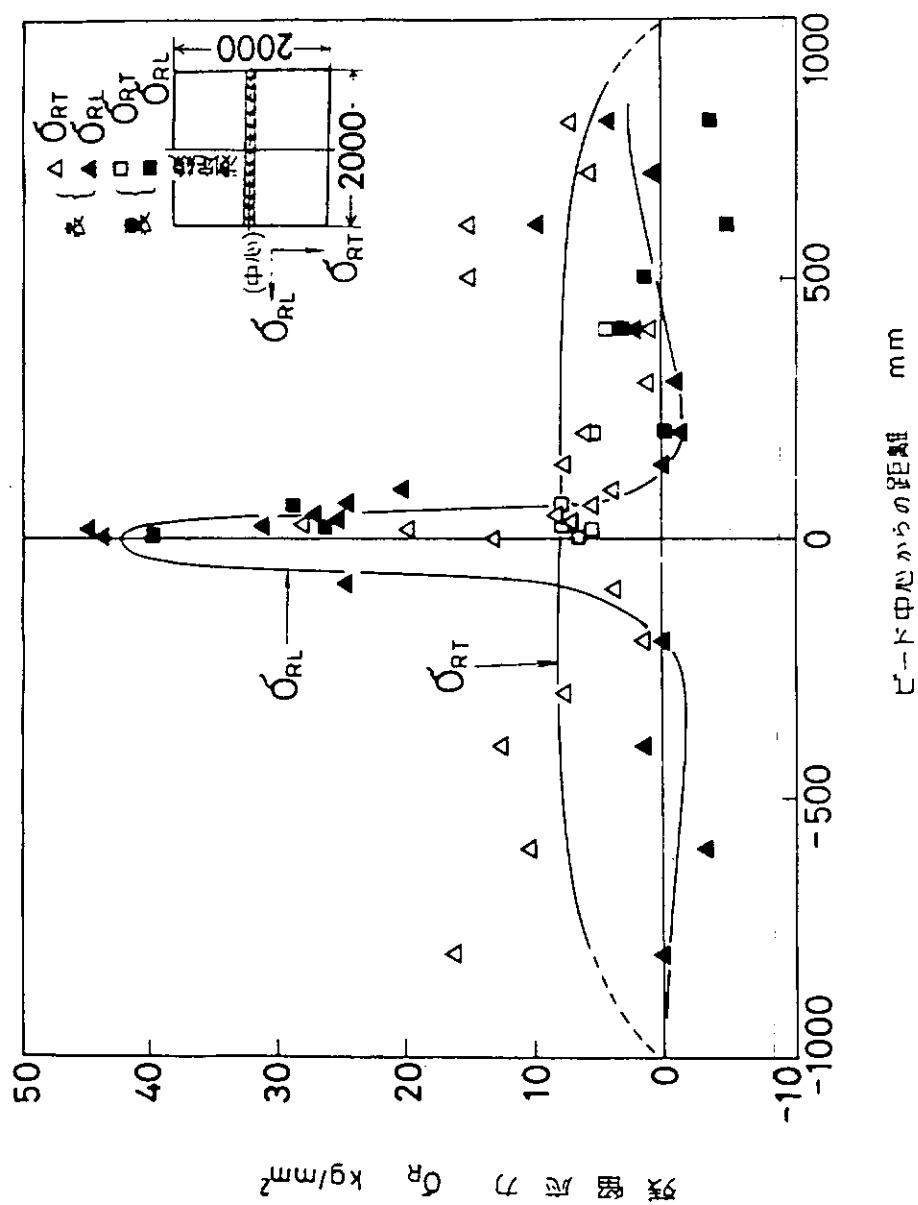
ビードに直角方向 $L=-800$ 線上の分布

図7.1.8(3) K5D鋼デルタオシレート法溶接継手のひずみゲジによる残留応力測定結果



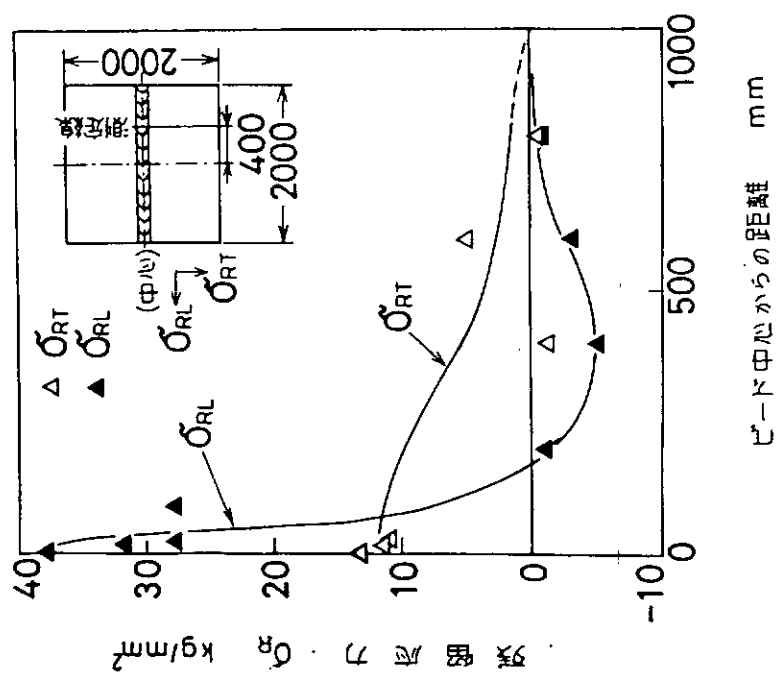
ボンド線上の分布

図7.1.8(4) K5D鋼タタホールド法溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果

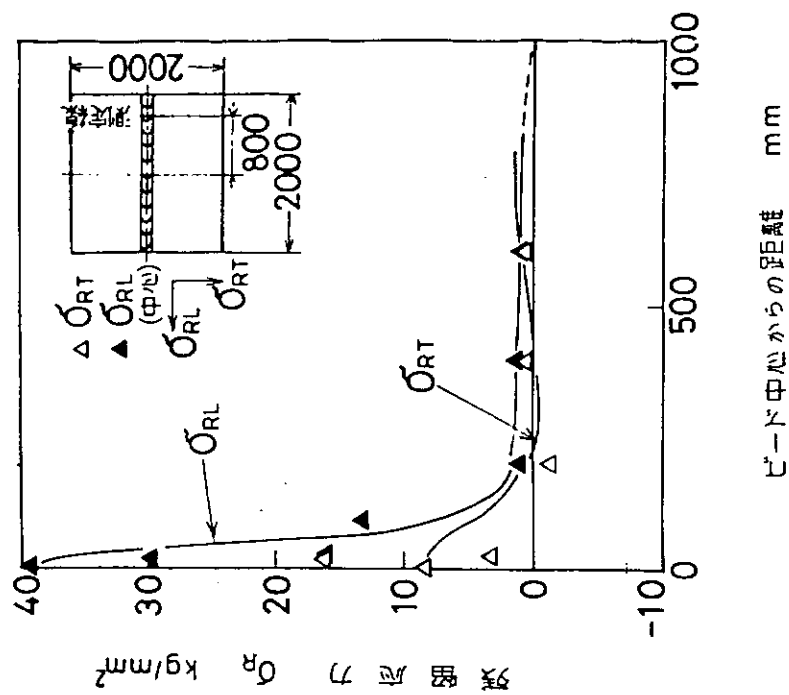


ビードに直角方向 $L=0$ 線上の分布

図7.1.9(1) KDK鋼3電極片面層溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果

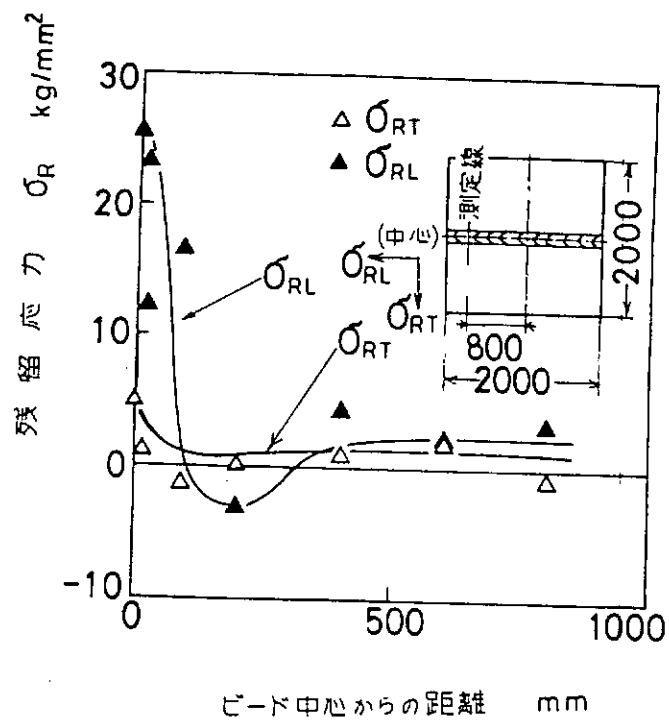


ビードに直角方向 L=400 線上の分布



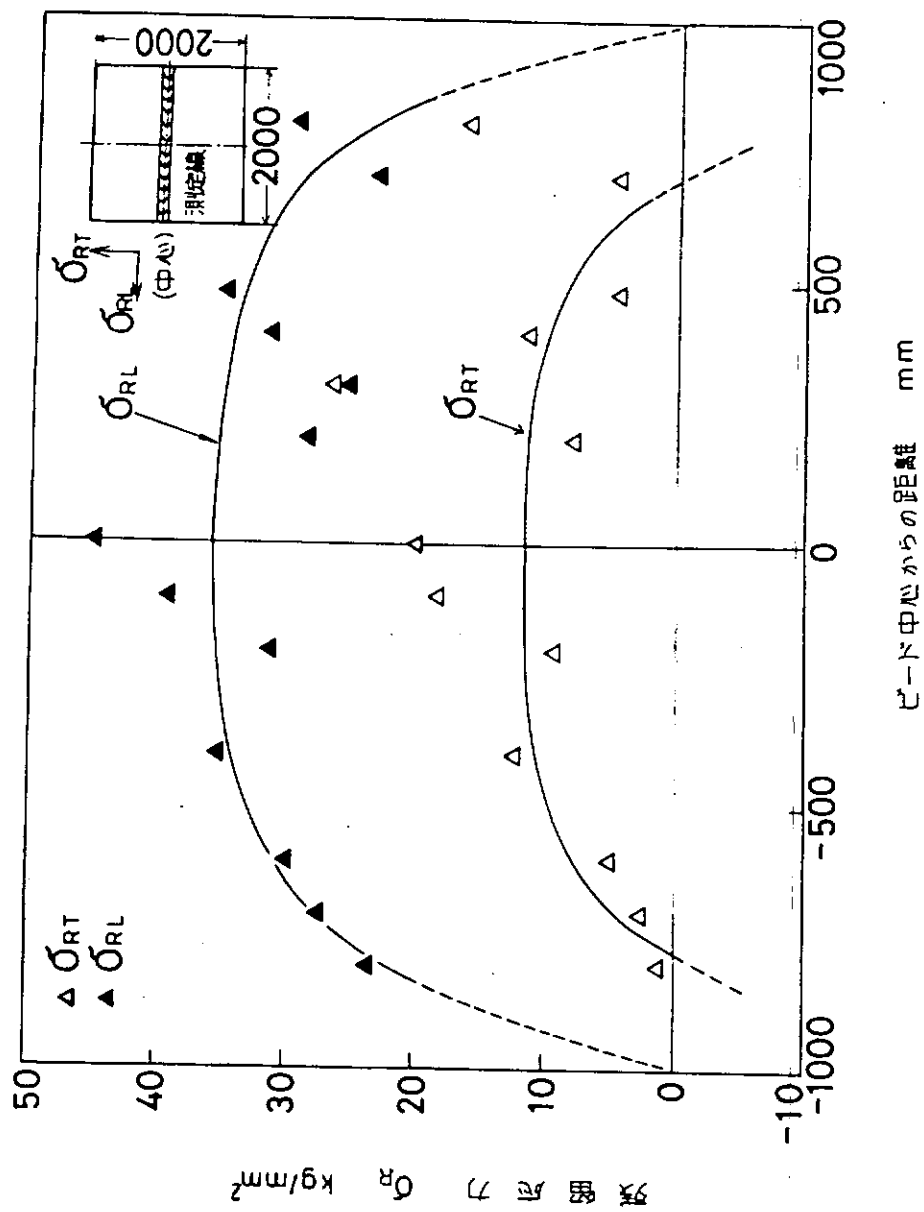
ビードに直角方向 L=800 線上の分布

図7.1.9(2) KDK鋼3電極片面1層溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果



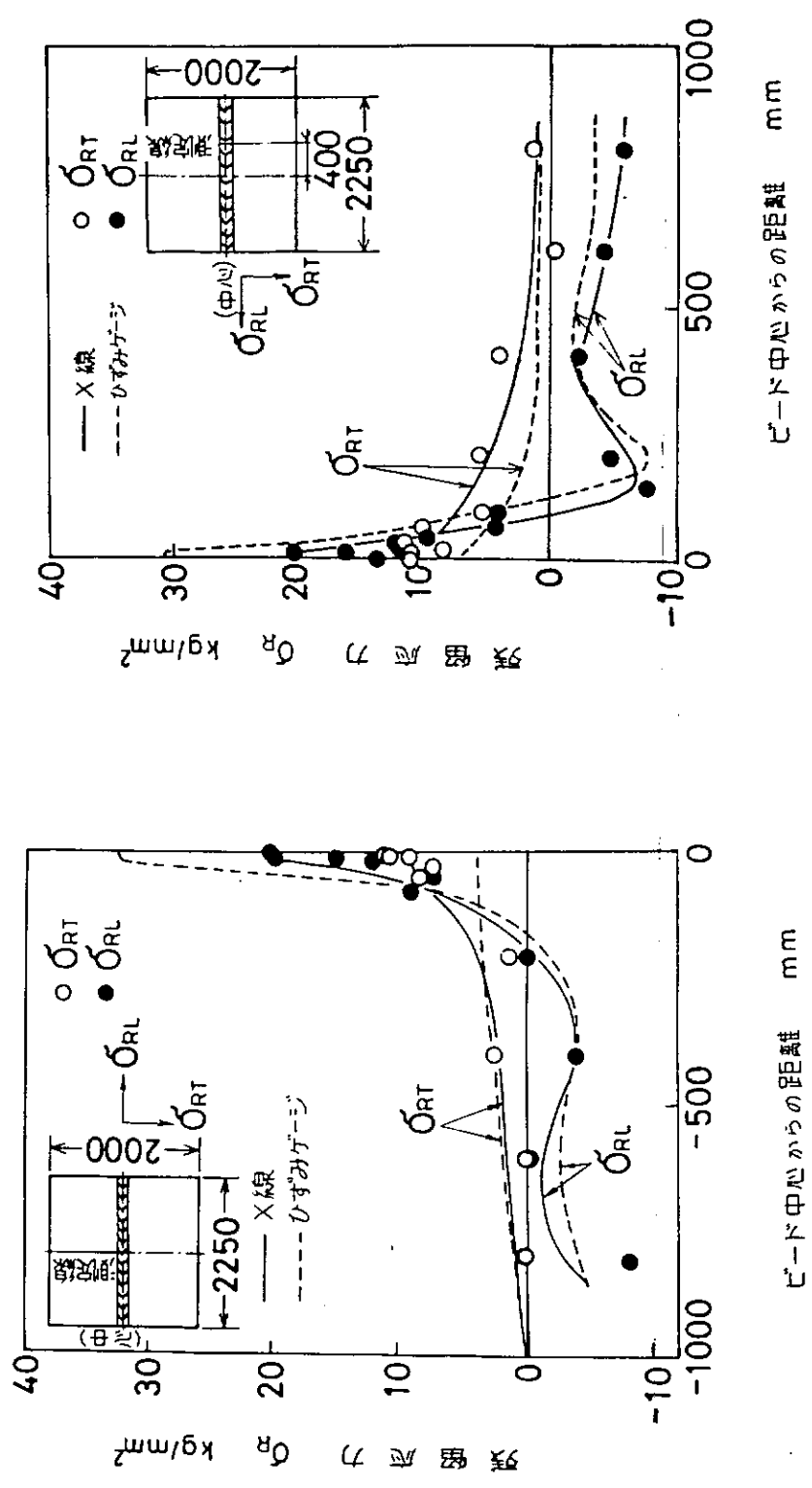
ビードに直角方向 L=-800 線上の分布

図7.1.9(3) KDK鋼3電極片面1層溶接継手の
ひずみゲージによる残留応力測定結果



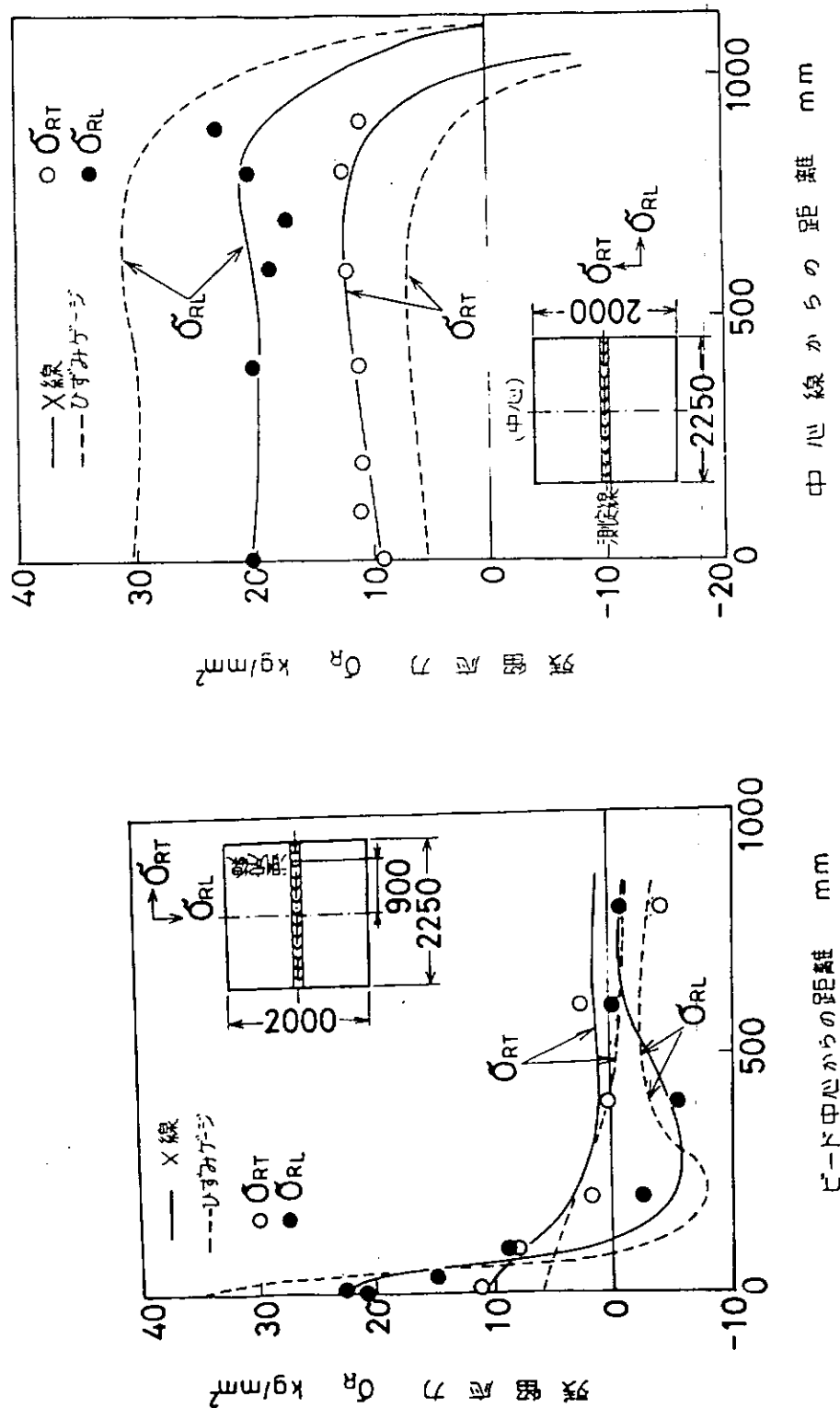
ボンド線上の分布

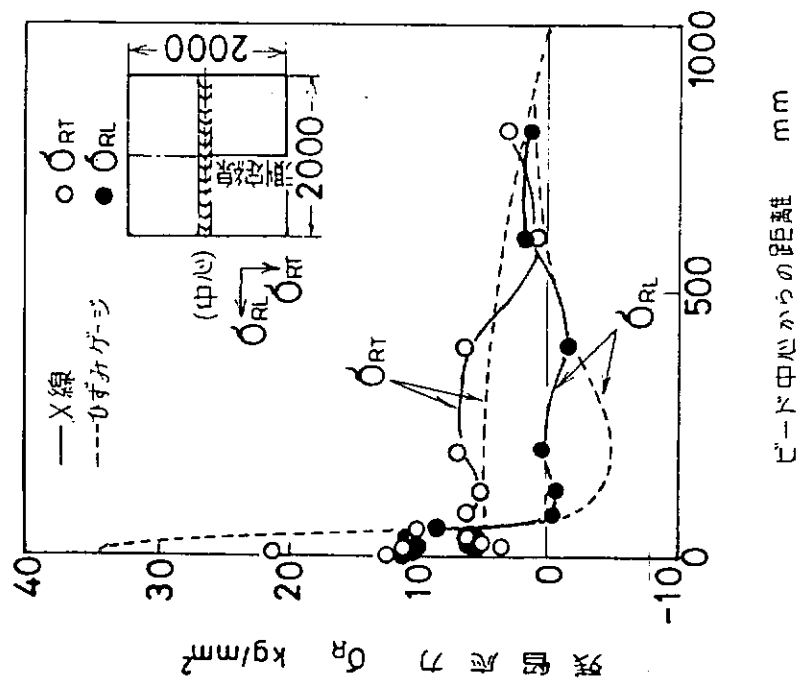
図7.1.9 (4) KDK鋼3電極片面層溶接継手のひずみゲージによる残留応力測定結果



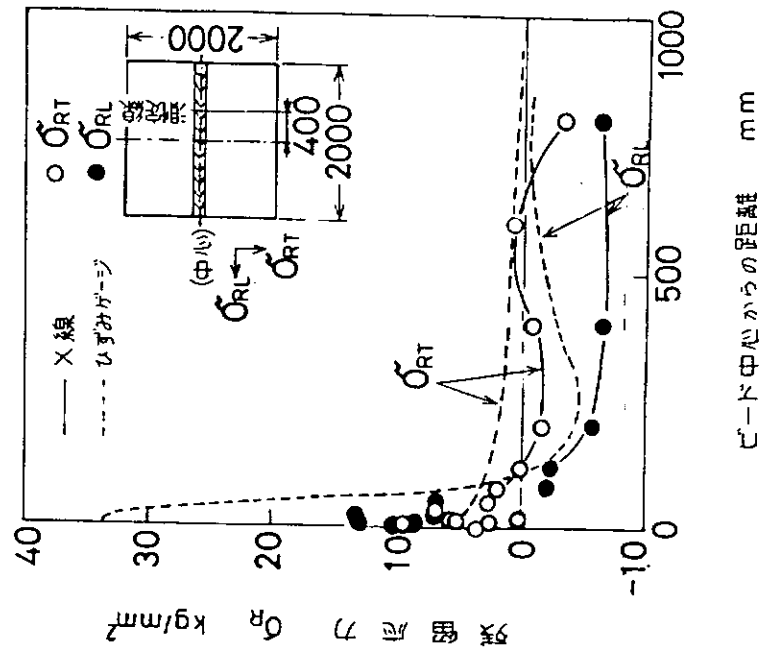
ビードに直角方向 $L=0$ 線上の分布 ビードに直角方向 $L=400$ 線上の分布

図7.1.10(1) KAS鋼 VASCON-II法溶接継手のX線による残留応力測定結果



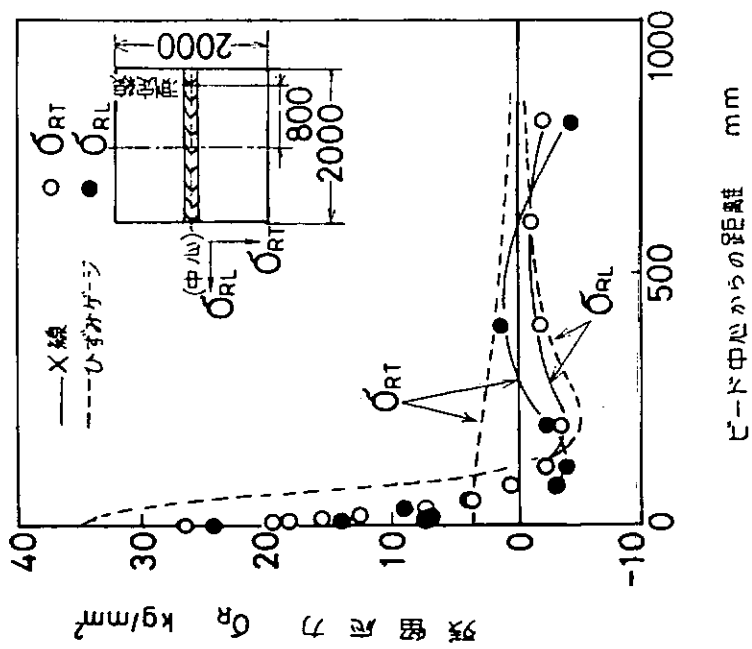


ビードに直角方向 $L=0$ 線上の分布

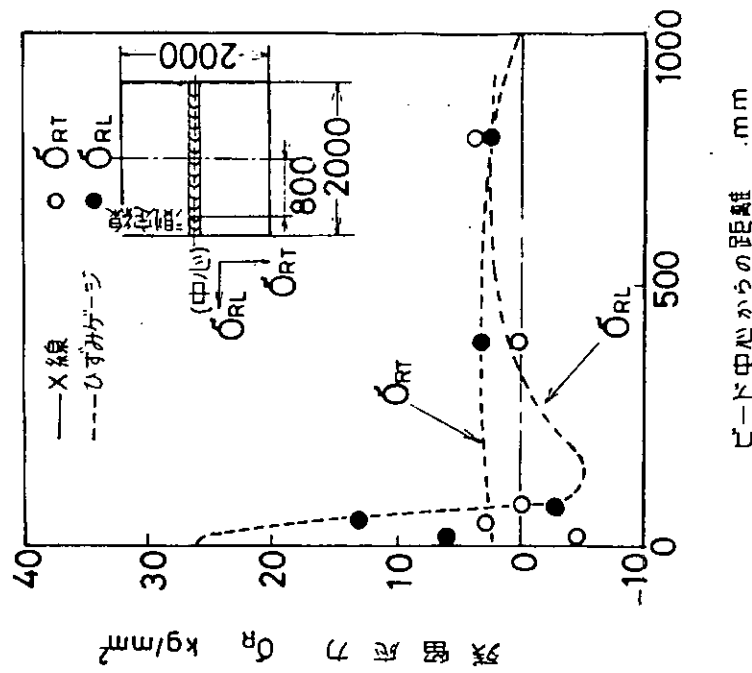


ビードに直角方向 $L=400$ 線上の分布

図7.1.11(1) K5D鋼デルタオシレート法溶接継手のX線による残留応力測定結果



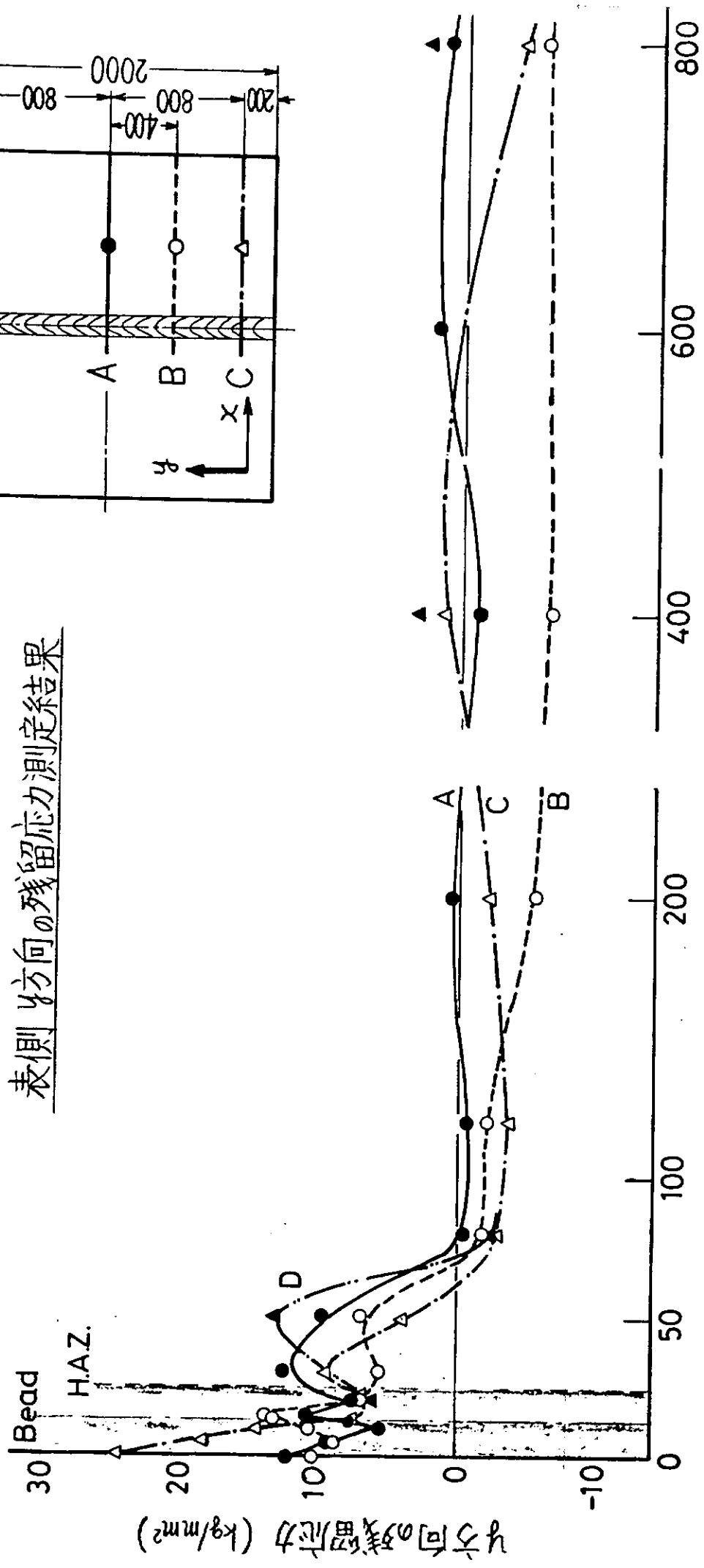
ビードに直角方向 $L=800$ 線上の分布



ビードに直角方向 $L=-800$ 線上の分布

図7.1.11(2) K5D鋼デルタオシレート法溶接継手のX線による残留応力測定結果

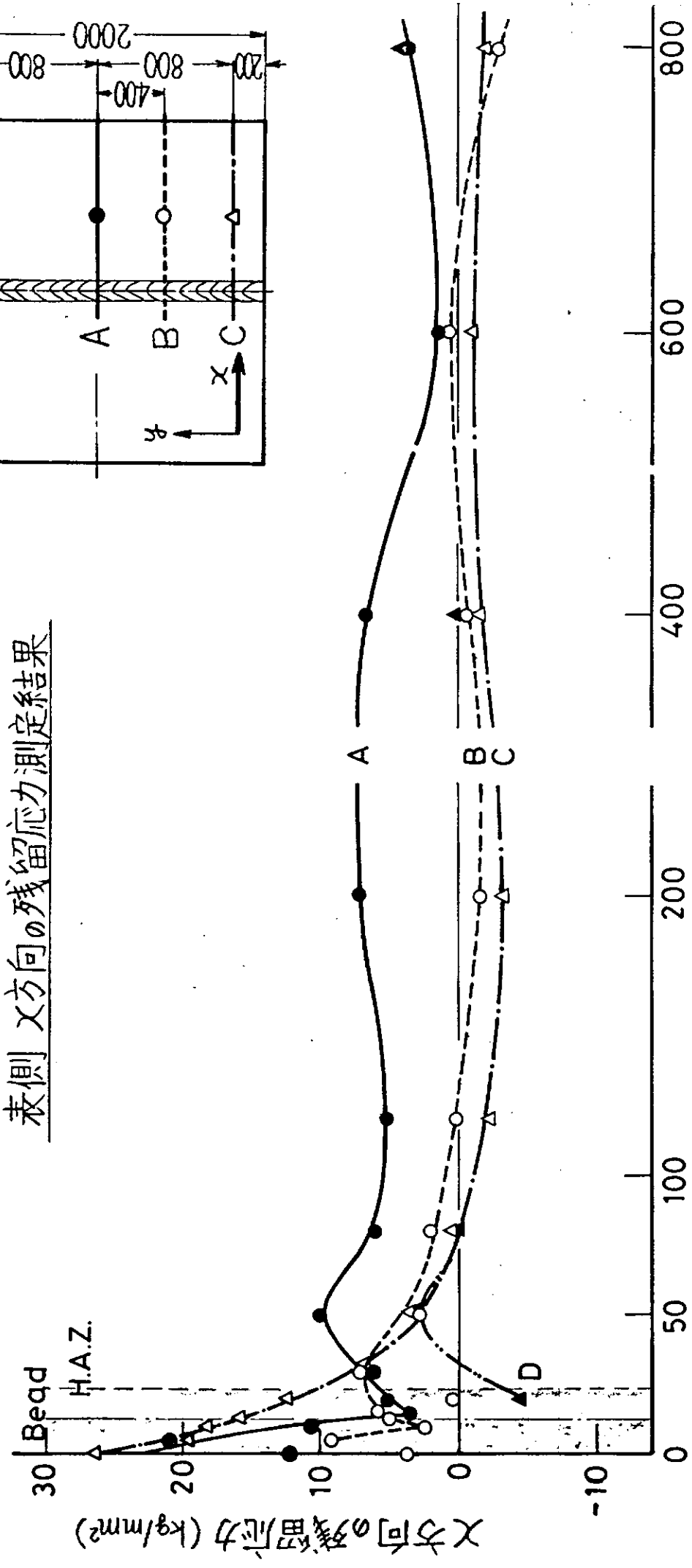
表側 y 方向の残留応力測定結果



ビード中心からの距離 (mm)

図 7.1.12 (1) K50 鋼, 25.4 mm 厚, $2000 \times 2000 \text{ mm}^2$ 試験片の応力分布
(X 線応力測定値)

表側 X方向の残留応力測定結果



ビード中心からの距離 (mm)

図 7.1.12(2) K5D鋼, 25.4mm厚, 2000×2000mm²試験片の応力分布
(×線応力測定値)

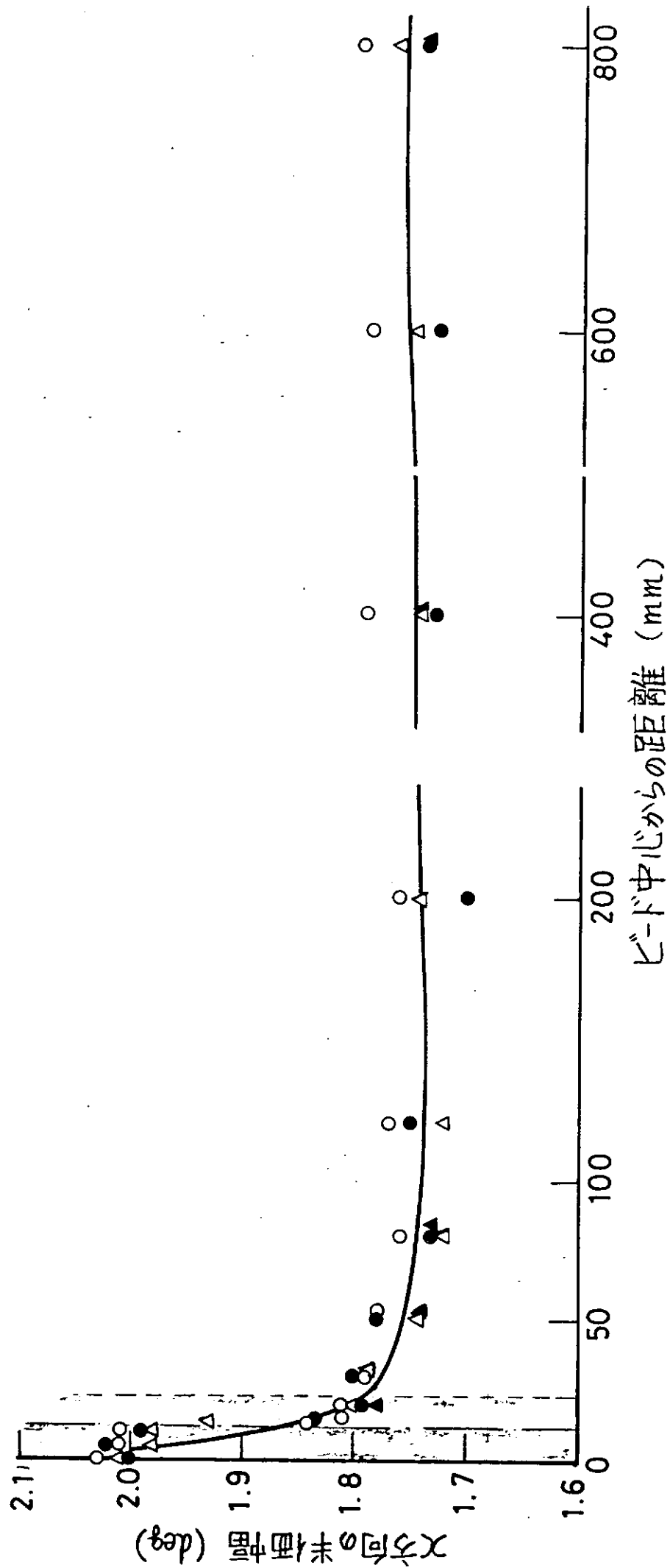


図7.1.12(3) K5D鋼, 25.4mm厚, 2000×2000mm²試験片の応力分布
(半価幅)

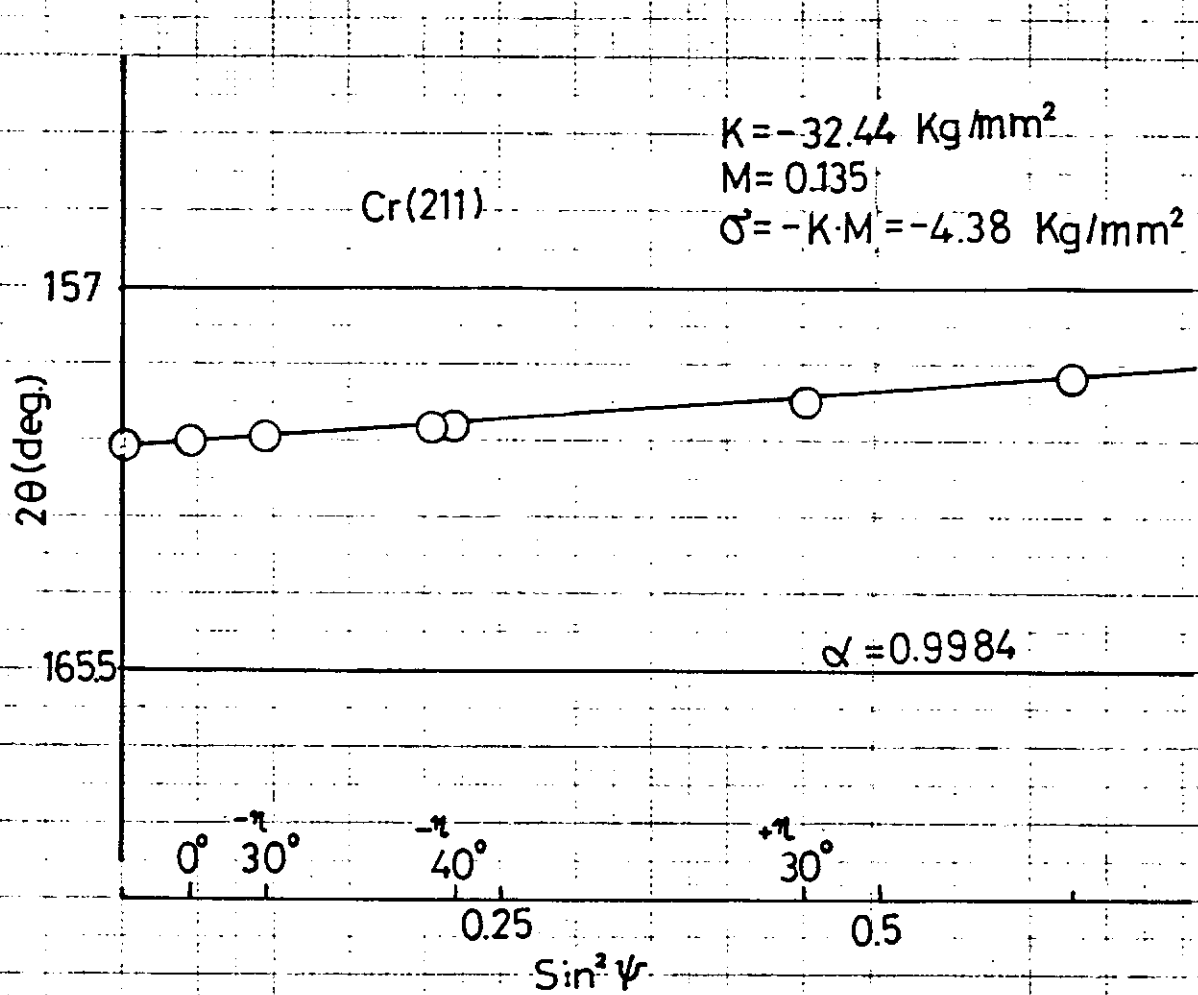


図 7.1.13 $\sin^2 \psi$ 線図の [例]

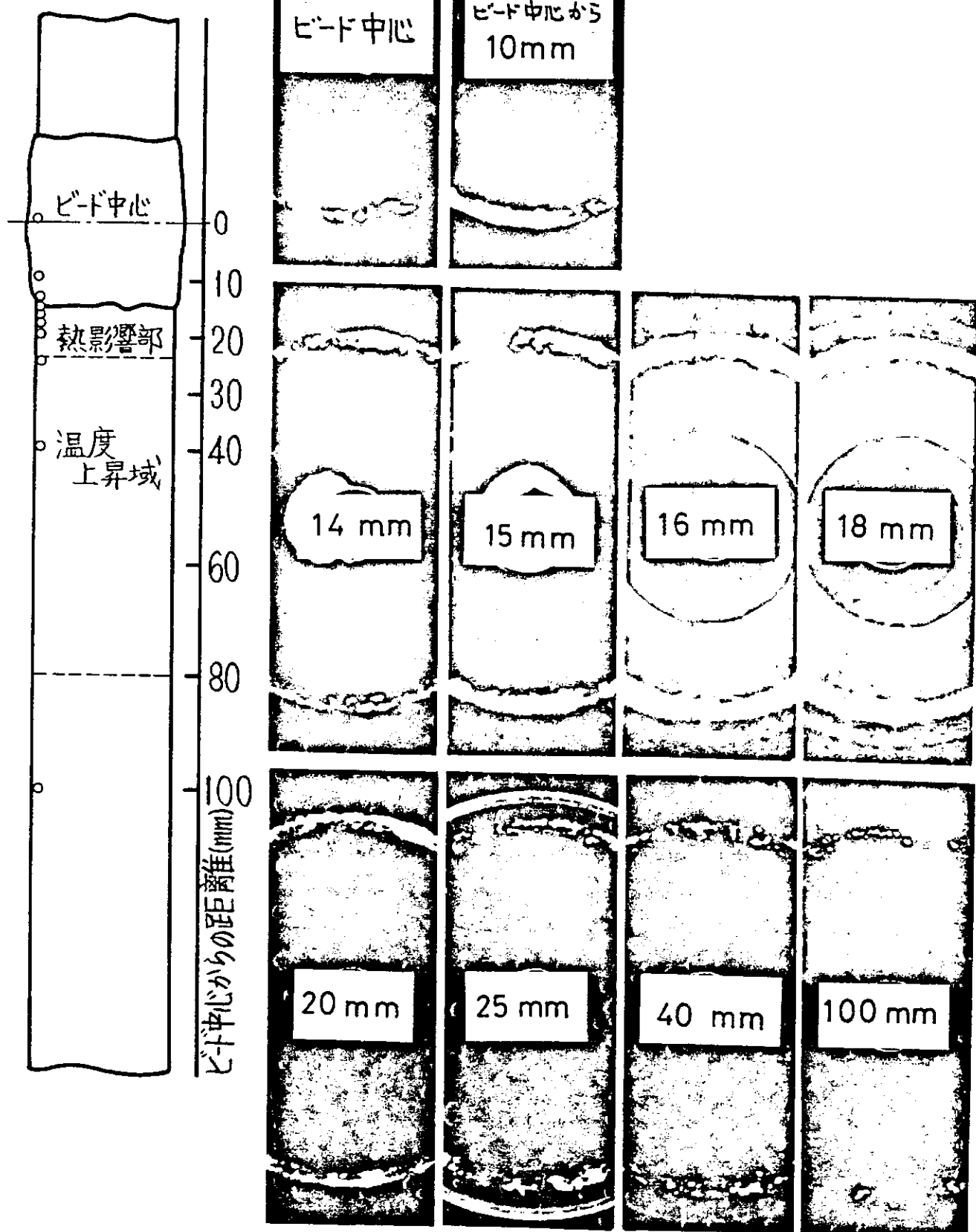


図7.1.14 背面反射写真と撮影位置

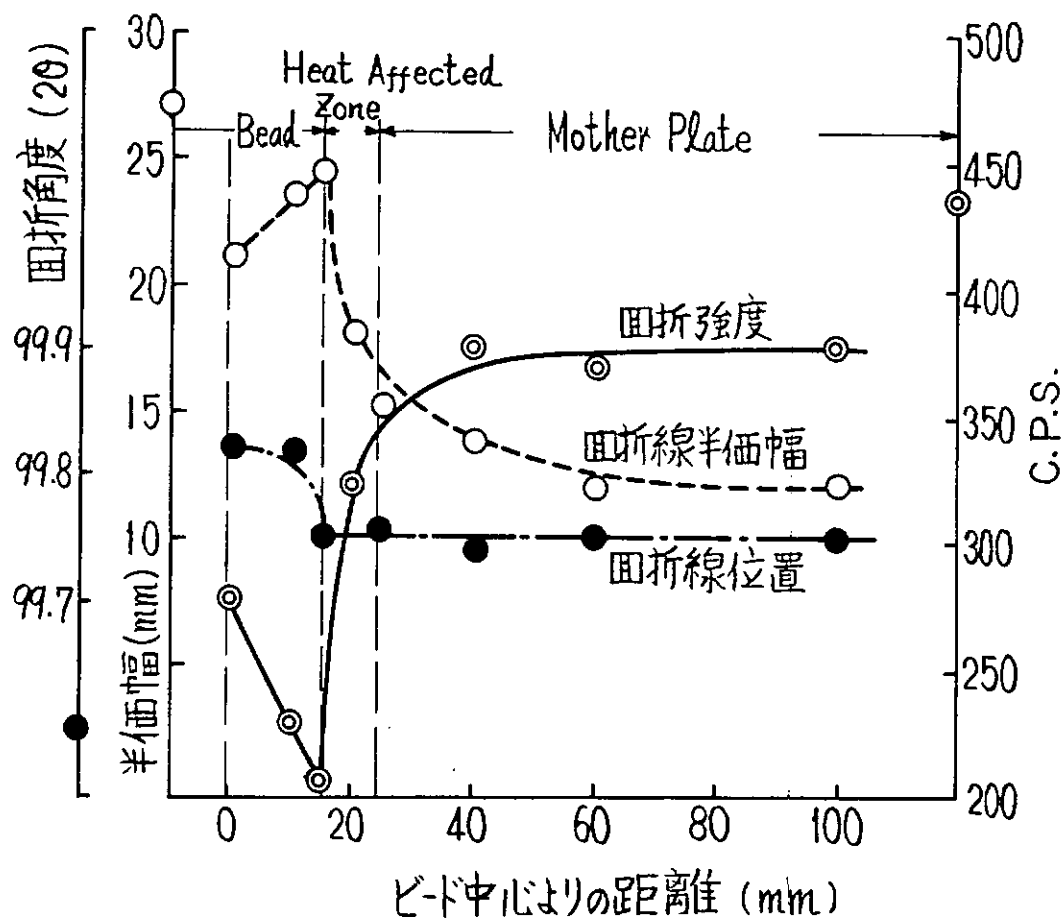


図7.1.15 溶接継手部の格子常数、屈折強度と半価幅

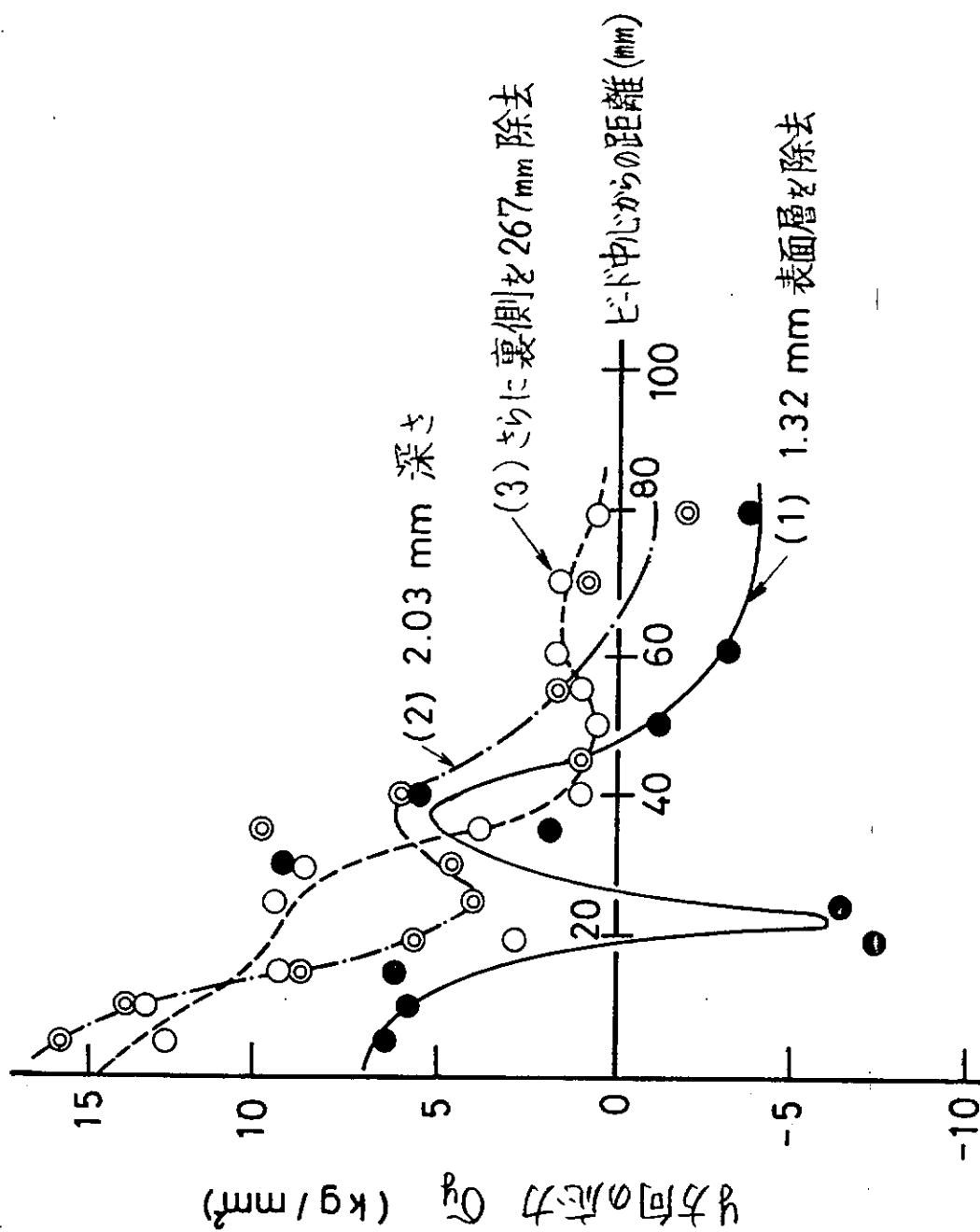
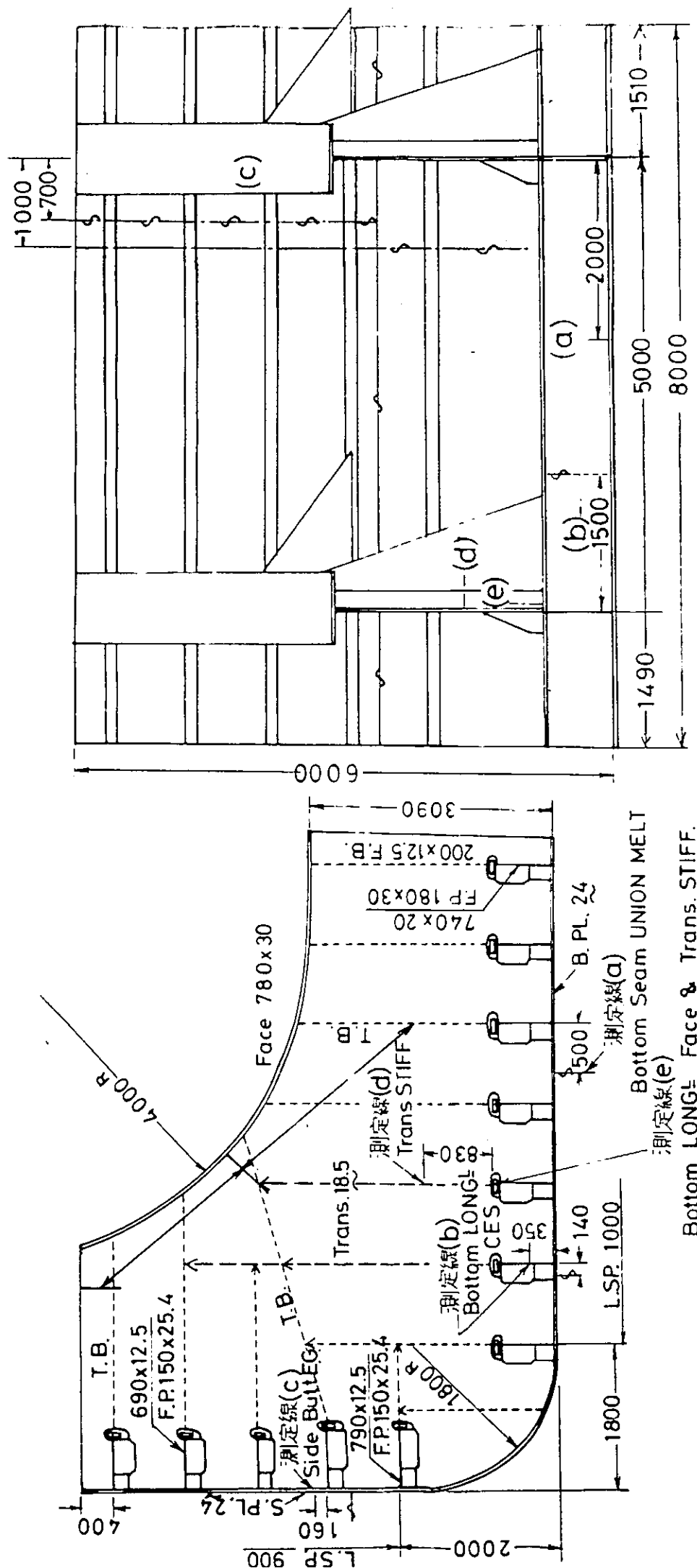
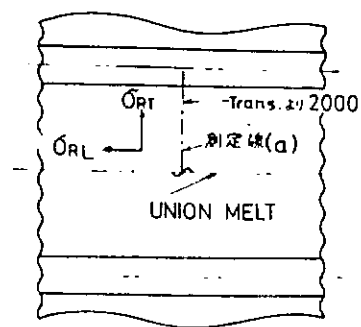


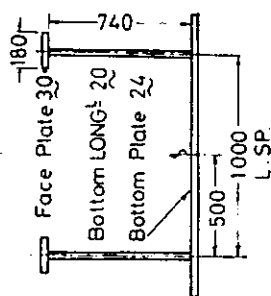
図7.1.16 板厚方向における応力状態の変化



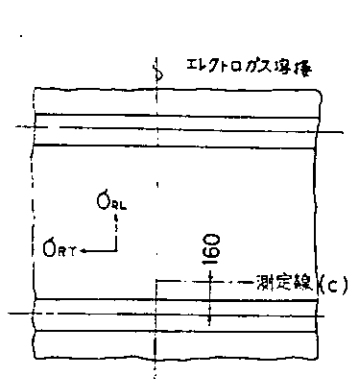
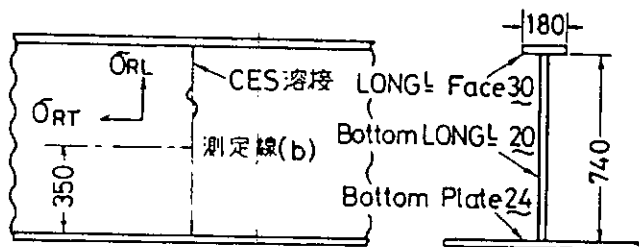
7.2.1 残留応力計測を行なった実船殻ブロック



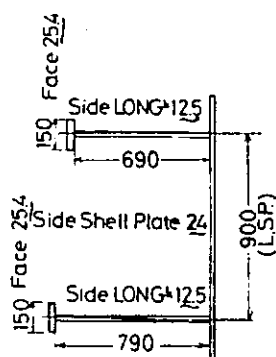
(a)



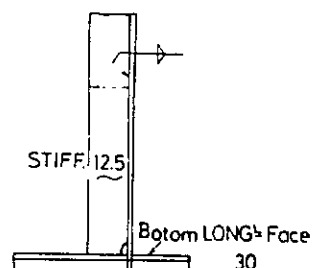
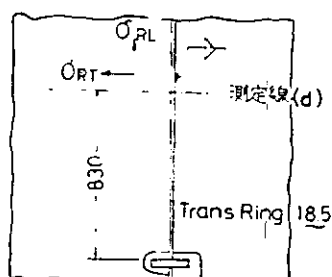
(b)



(c)



(d)



(e)

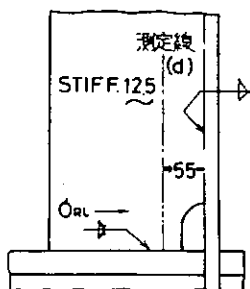
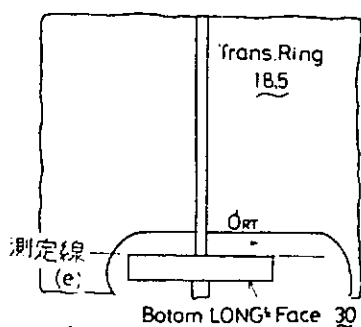


図 7.2.2 測定位置の詳細

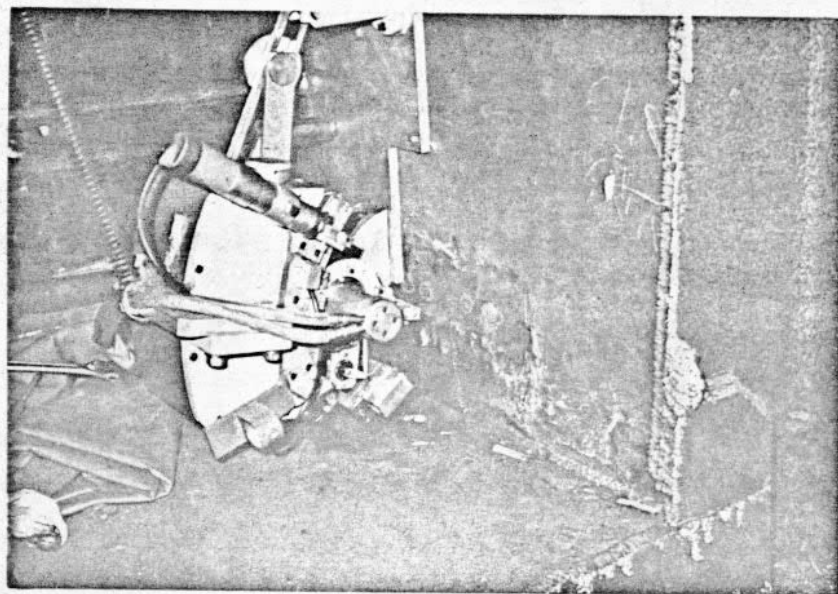


写真7.2.1 現場用に改良されたゴニオメータ部
(理学電機KK製)

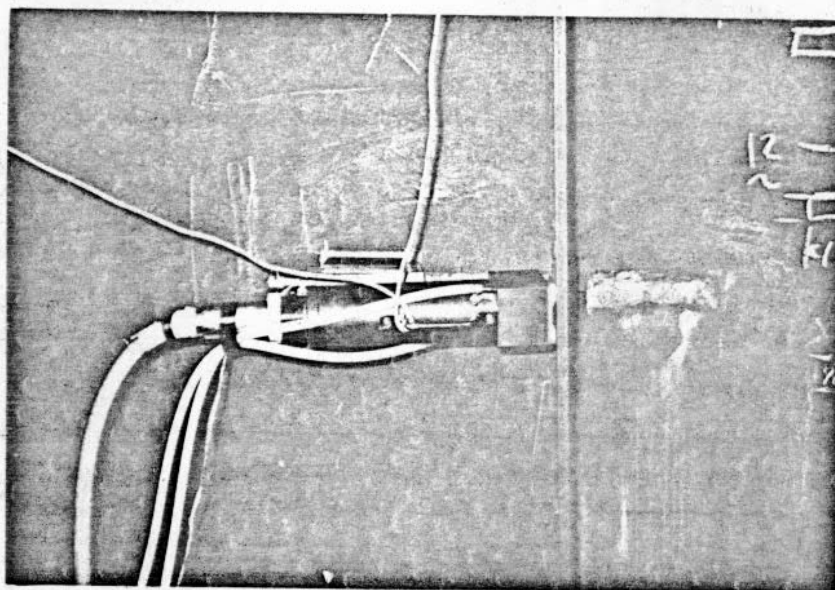
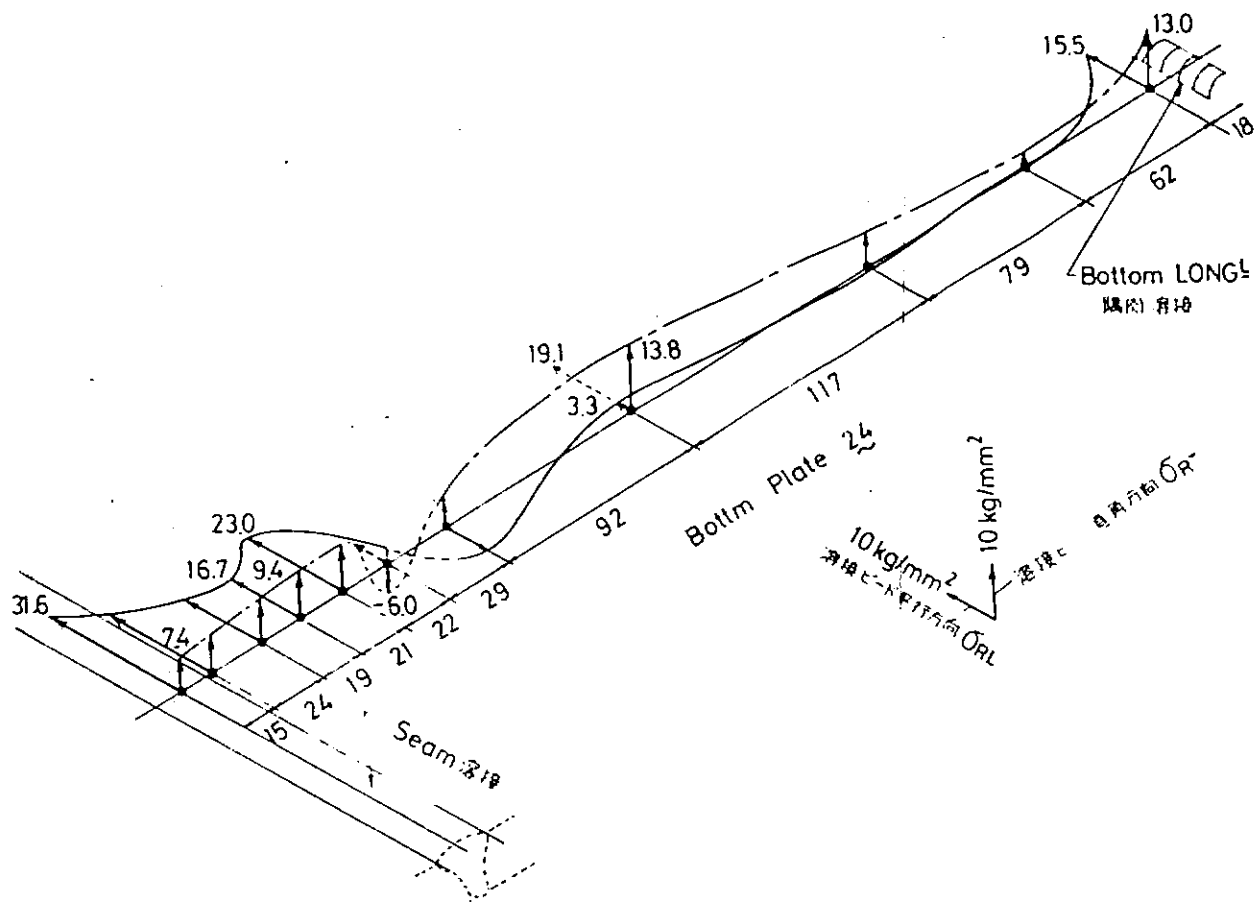
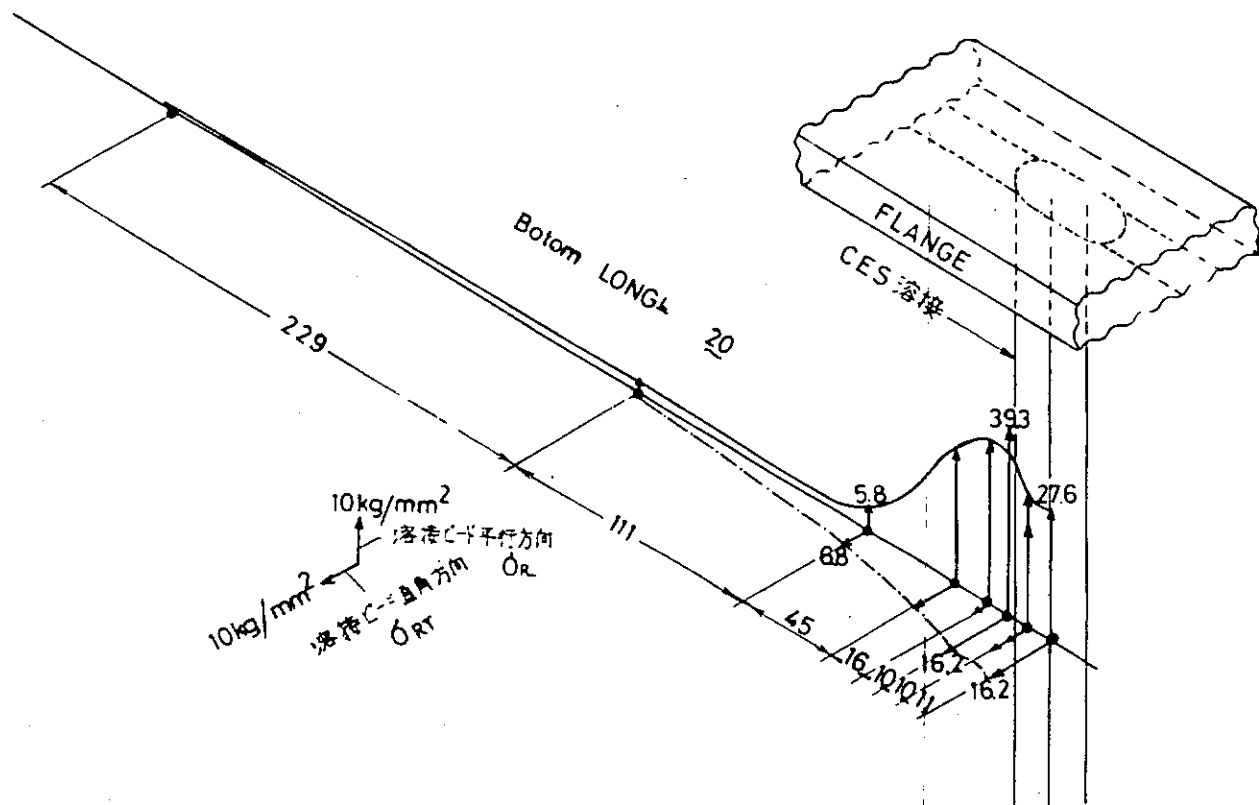


写真7.2.2 試作した携帯式X線カメラ
(KK島津製作所製)

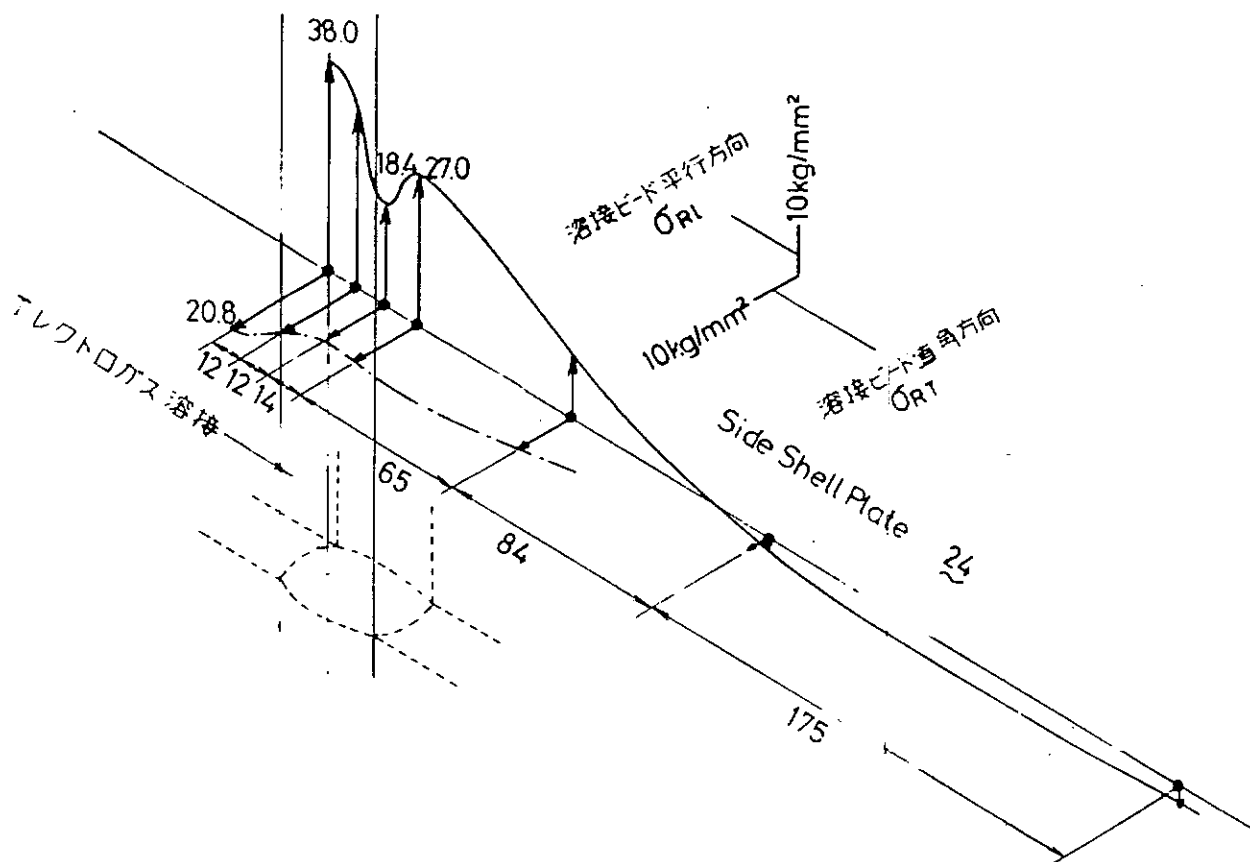


Bottom Plateのシーム継手

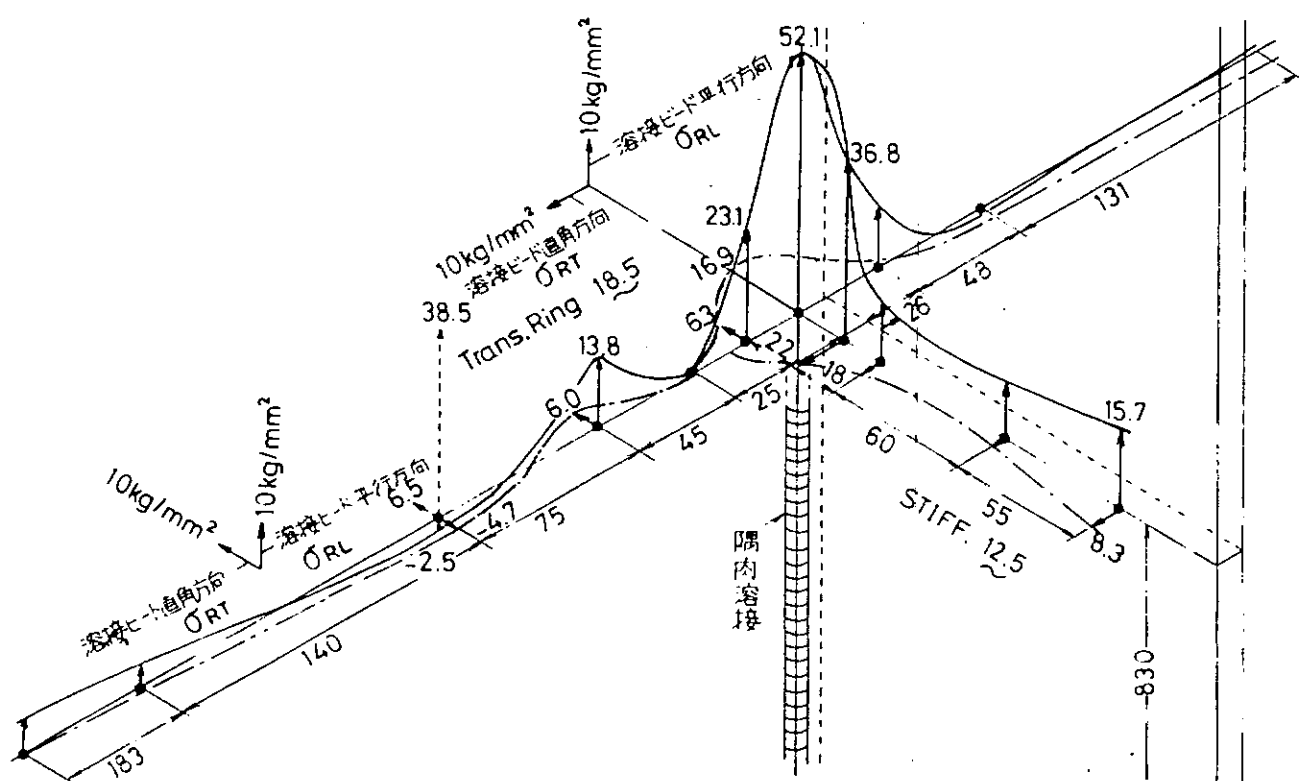


Bottom LONGのバット継手

図7.2.3(1) 実船殻ブロックにおける各種溶接部のひずみゲージによる残留応力測定結果



Side Shell Plateのバット継手



Trans. Ring & STIFF.の隅肉溶接継手

図7.2.3(2) 実船殻ブロックにおける各種溶接部のひずみゲージによる残留応力測定結果

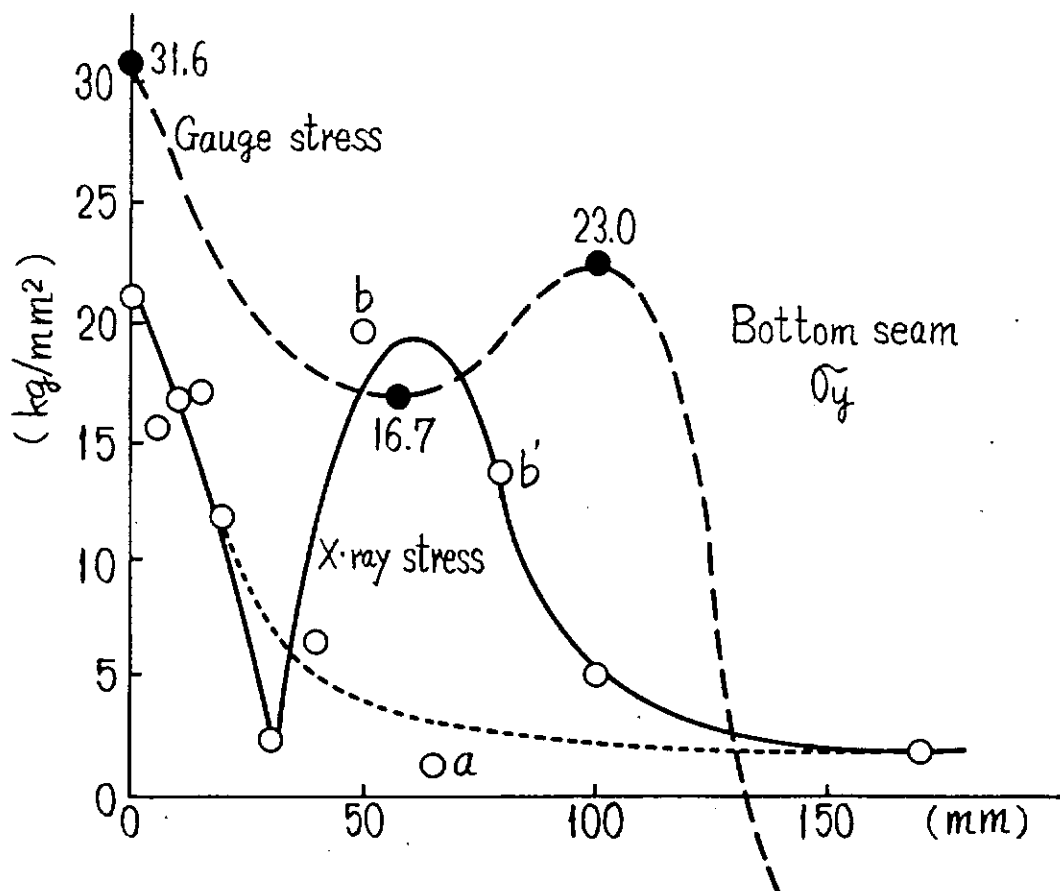
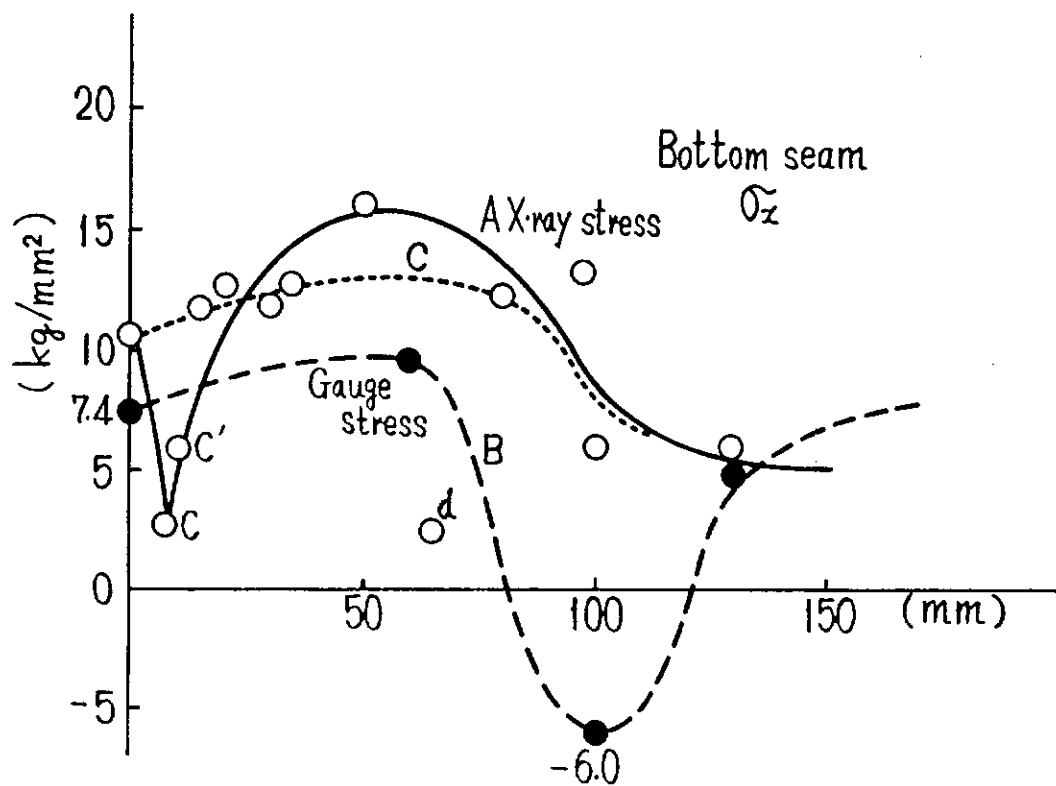


図7.2.4 Bottom seam部の応力測定値 (σ_z, σ_y)

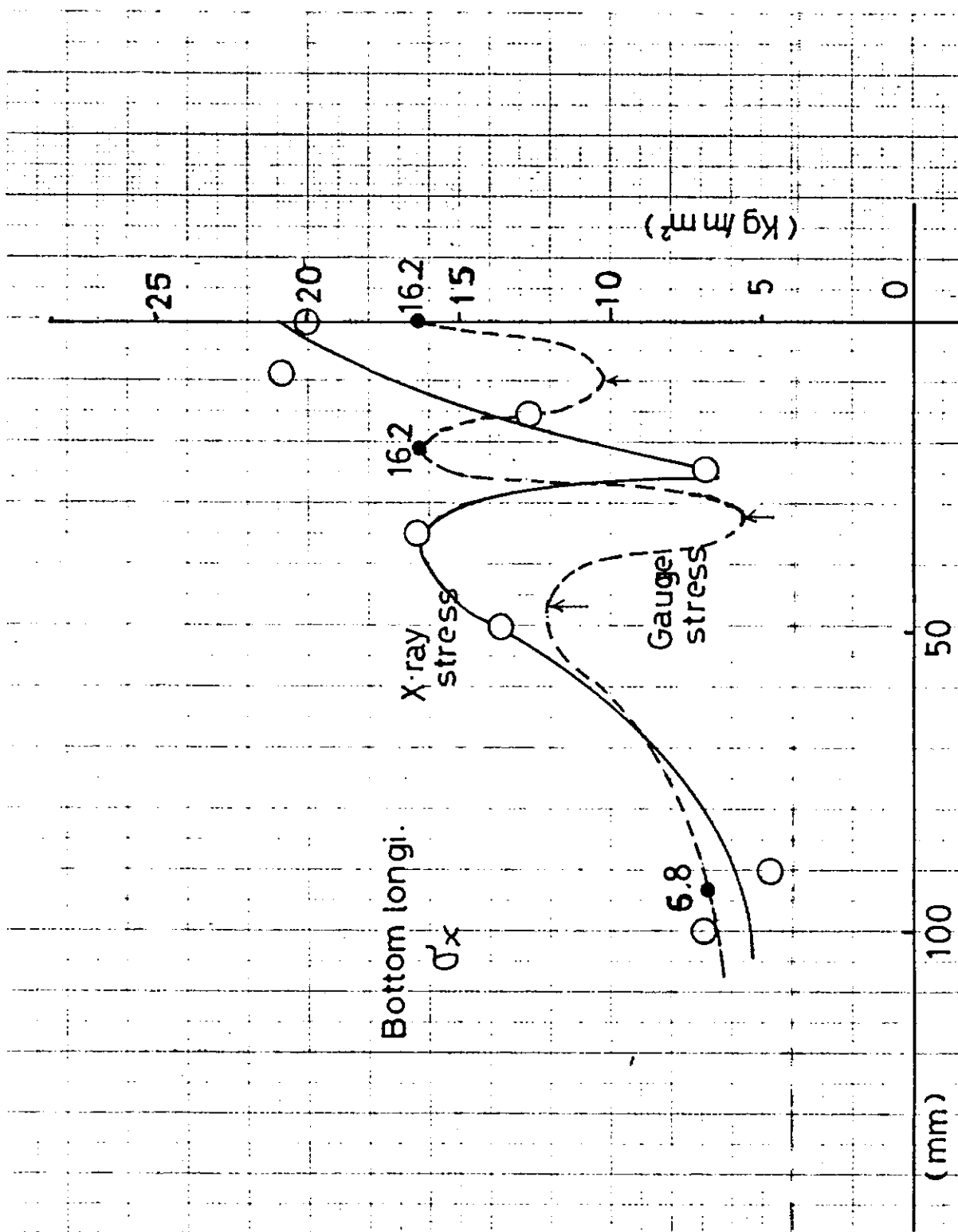


図7.2.5(1) Bottom longi. 部の応力測定値 (σ_x)

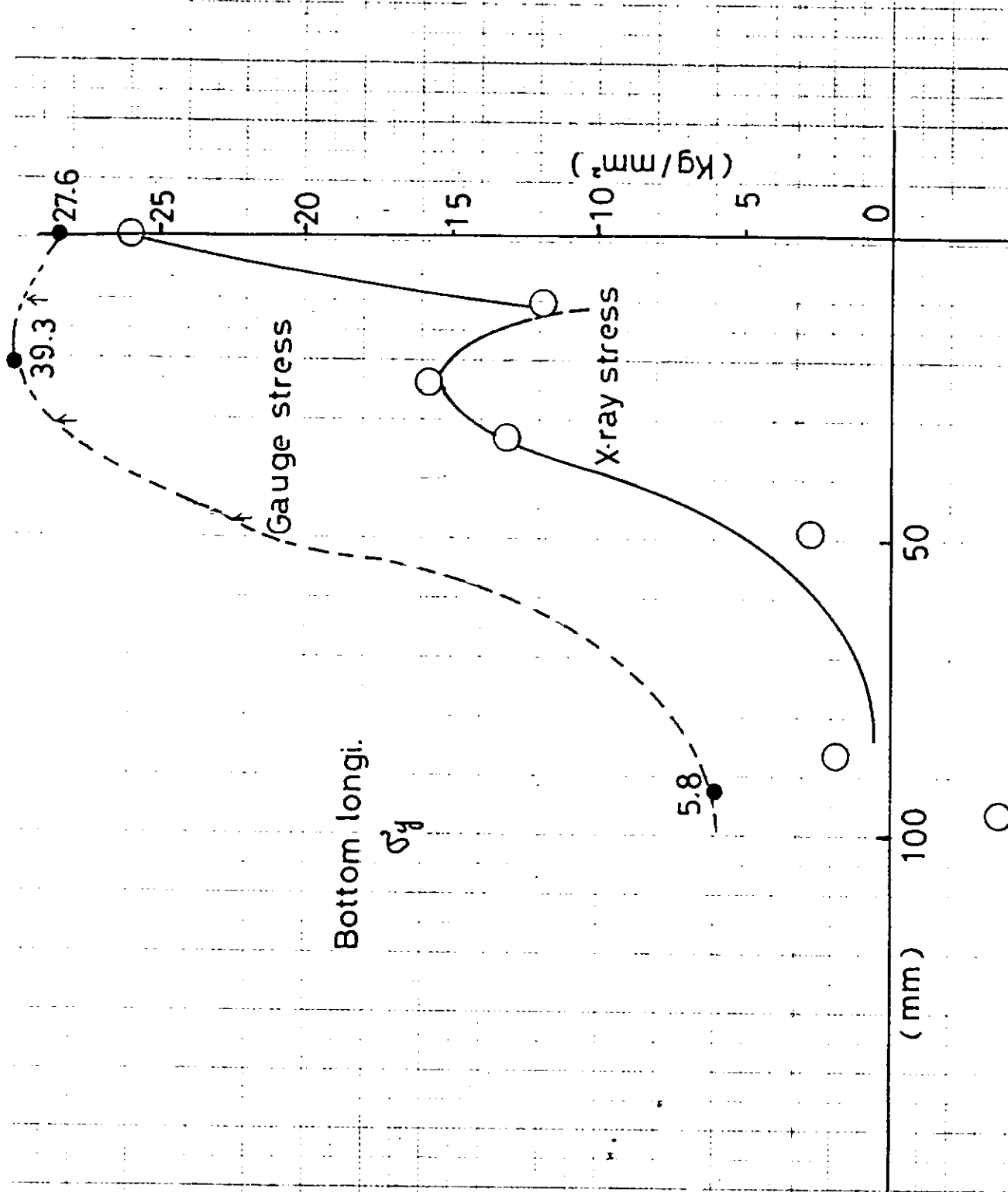


図7.2.5(2) Bottom longi. 部の応力測定値 (σ_y)

図A. 図1

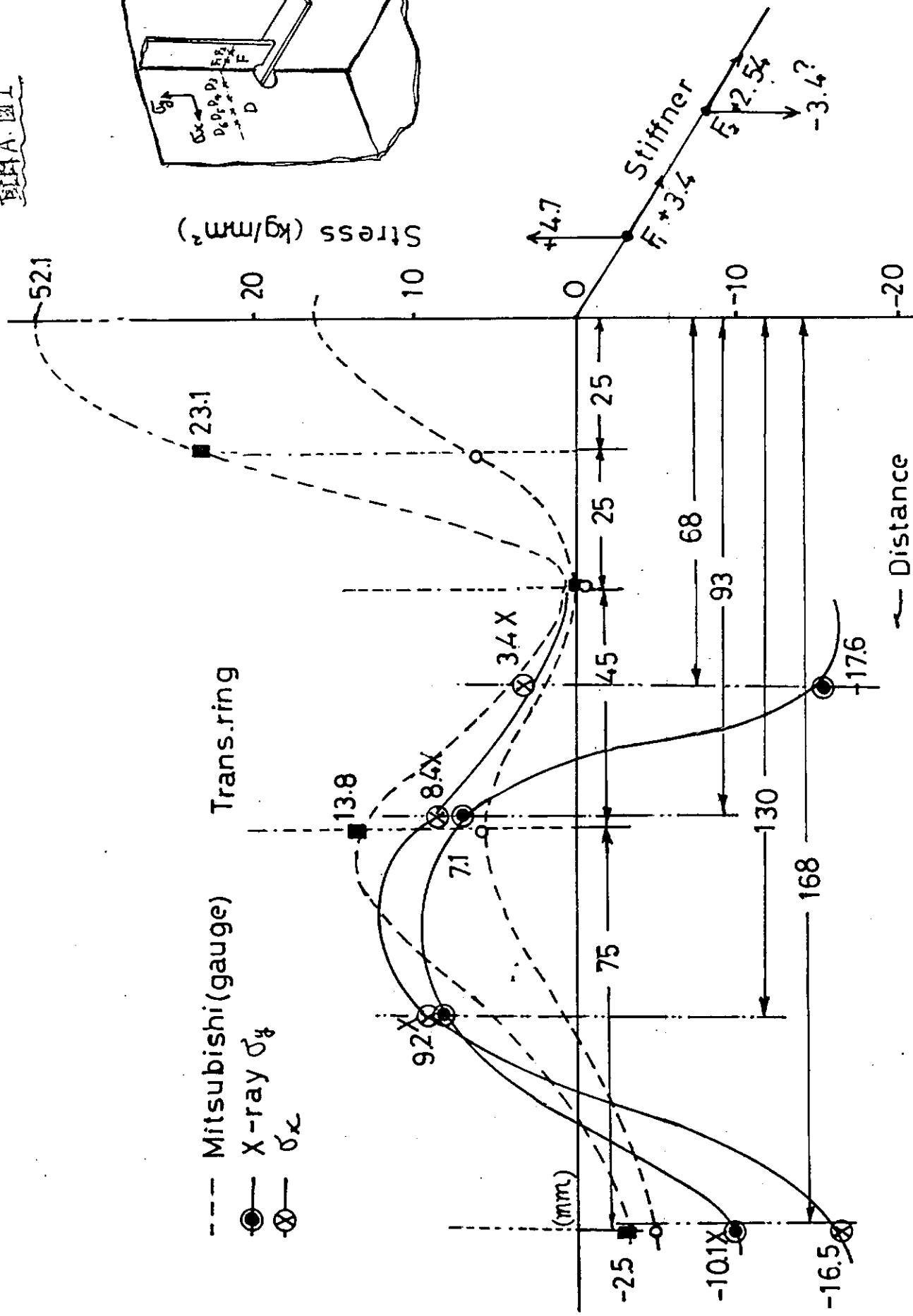
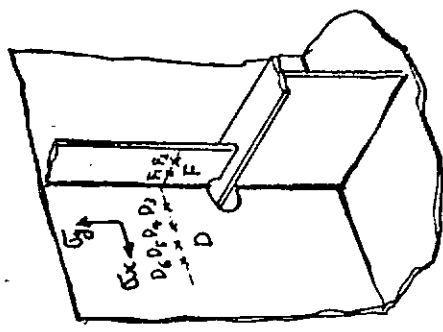


図7.2.6 Trans. ring および Stiffener の応力測定値

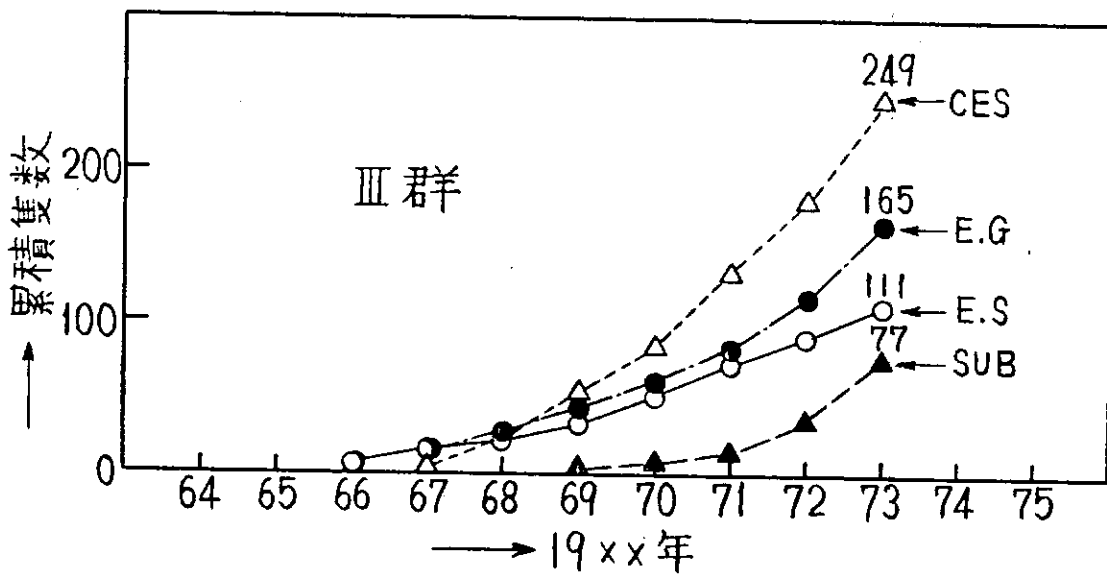
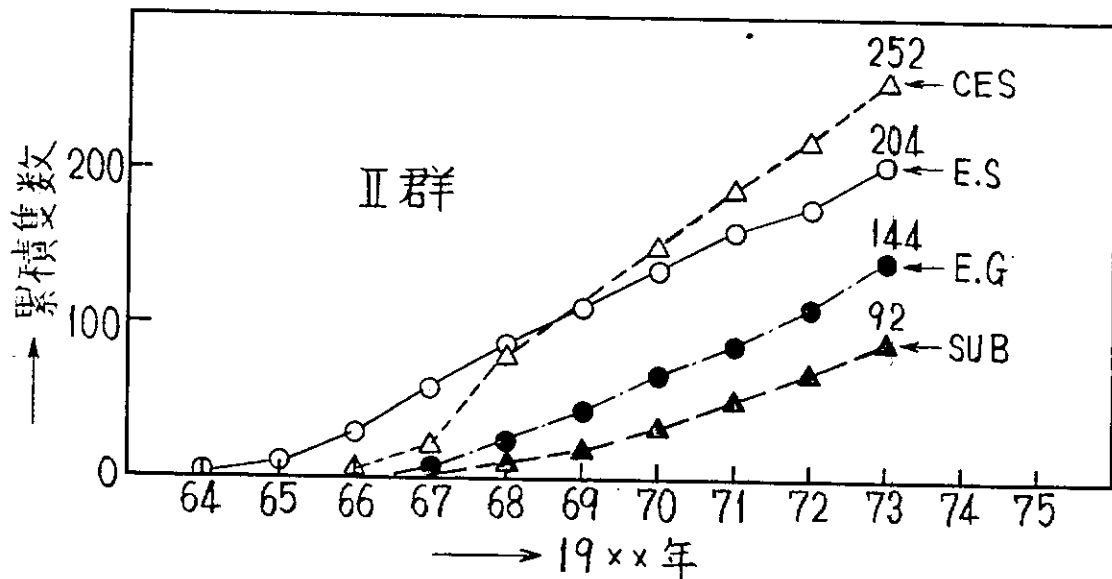
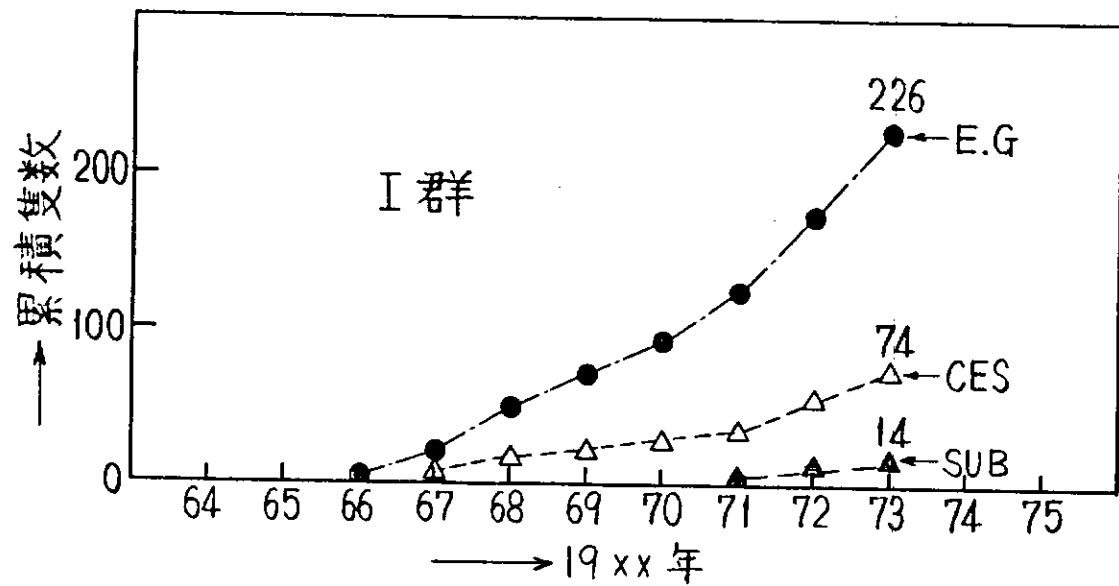


図8.1 大入熱溶接の使用実績

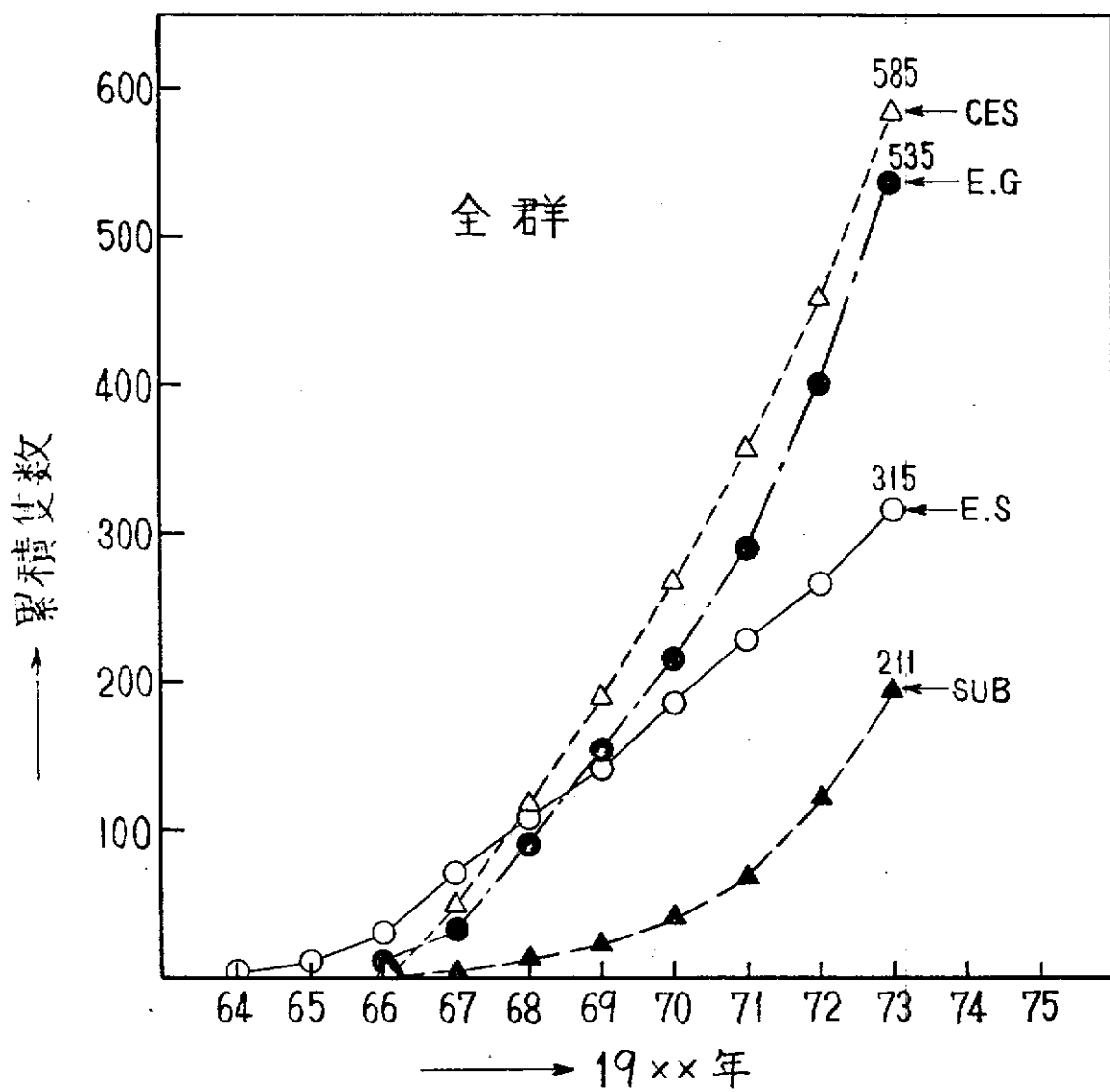


図8.2 大入熱溶接の使用実績

表8.2 大入熱溶接適用箇所および適用鋼種

加工記号	エレクトロslag溶接										エレクトロガス溶接										消耗スラグ式エレクトロslag溶接 (CES溶接)										片面自動溶接 (3電極以上)									
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74		
E ₄																																								
E ₅																																								
E ₇																																								
C ₁₀																																								
C ₁₂																																								
W ₁																																								
W ₄																																								
W ₆																																								

Ⅱ

II

表 8.3 大入熱溶接適用箇所および適用鋼種

加工記号	エレクトロslag溶接												エレクトロガス溶接												消耗ガス式エレクトロslag溶接 (CES溶接)												片面自動溶接 (3電極以上)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74	66	67	68	69	70	71	72	73	74																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
E ₂																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				

III

表8.4 大入熱溶接の溶接長の例

	D.W. 10 ³ Ton	突合せ溶接 の全長 (m)	IL/HD/SL/溶接		IL/HD/加溶接		CES溶接		片面自動溶接		船種
			溶接長(m)	(%)	溶接長(m)	(%)	溶接長(m)	(%)	溶接長(m)	(%)	
E ₂	280	74,532	910	1.2	640	0.8	377	0.5	—	—	T
E ₈	170	65,800	—	—	280	0.4	310	0.5	4,000	6.1	O/C/O
	270	69,000	—	—	330	0.5	649	0.9	4,900	7.1	T
C ₃	105	26,400	207	0.8	—	—	—	—	5,454	20.7	%
	210	44,800	312	0.7	—	—	306	0.7	8,792	19.6	%
	150	41,100	191	0.5	—	—	127	0.3	7,687	18.7	%
	256	44,400	329	0.7	—	—	562	1.3	8,989	20.2	T
W ₂	270	48,400	274	0.6	—	—	344	0.7	9,912	20.5	%
	244	101,852	246	0.2	—	—	514	0.5	11,022	10.8	O
W ₁₀	232	80,896	158	0.2	—	—	718	0.9	10,540	13.0	T
	70	18,330	—	—	240	1.3	180	1.0	—	—	O
	175	49,470	—	—	320	0.6	180	0.4	—	—	T
	212	50,102	—	—	960	1.9	—	—	—	—	T
W ₁₂	205	51,585	—	—	1,480	2.9	600	1.2	10,860	21.1	T
	276	60,129	—	—	1,540	2.6	600	1.0	10,860	18.0	T
W ₁₂	237	81,700	—	—	195	0.2	312	0.4	10,120	12.4	T
	261	86,000	—	—	205	0.2	329	0.4	10,650	12.4	T

注) 1. %は突合せ溶接の全長に対する各溶接長の割合を示す。

2. 船種欄の O/C/O は ore-coal-oil を, % は ore-oil を, T は Tanker を示す。

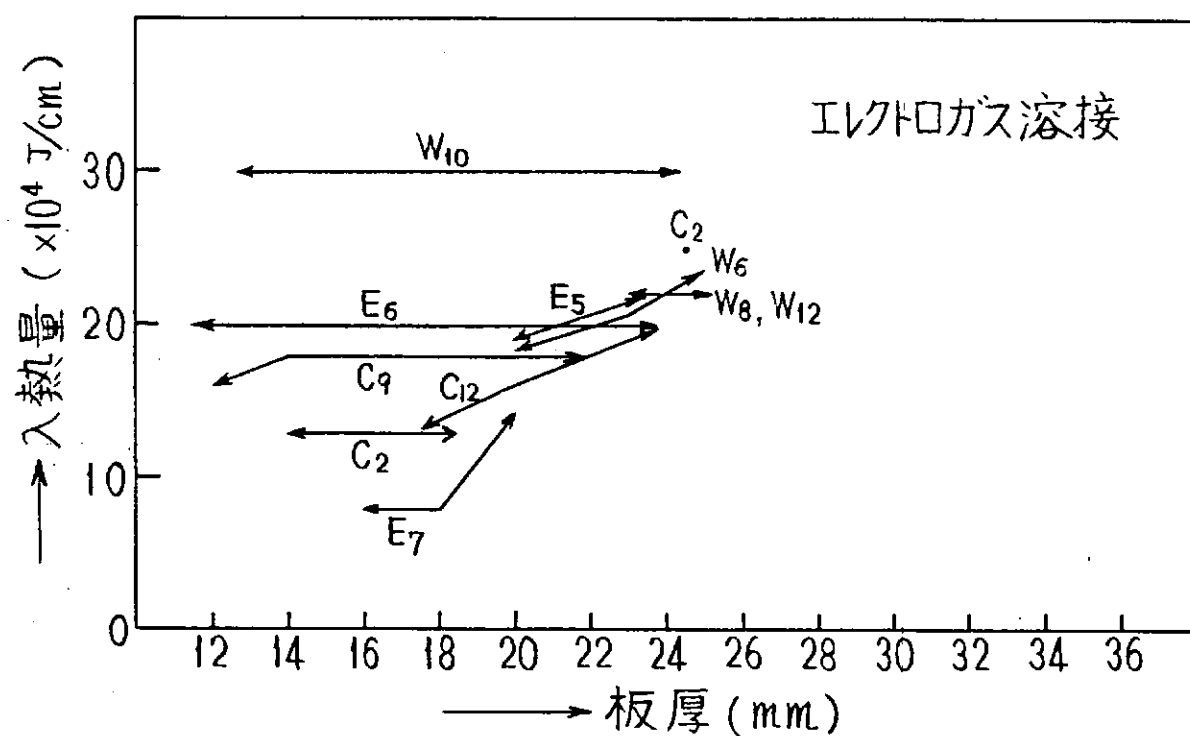
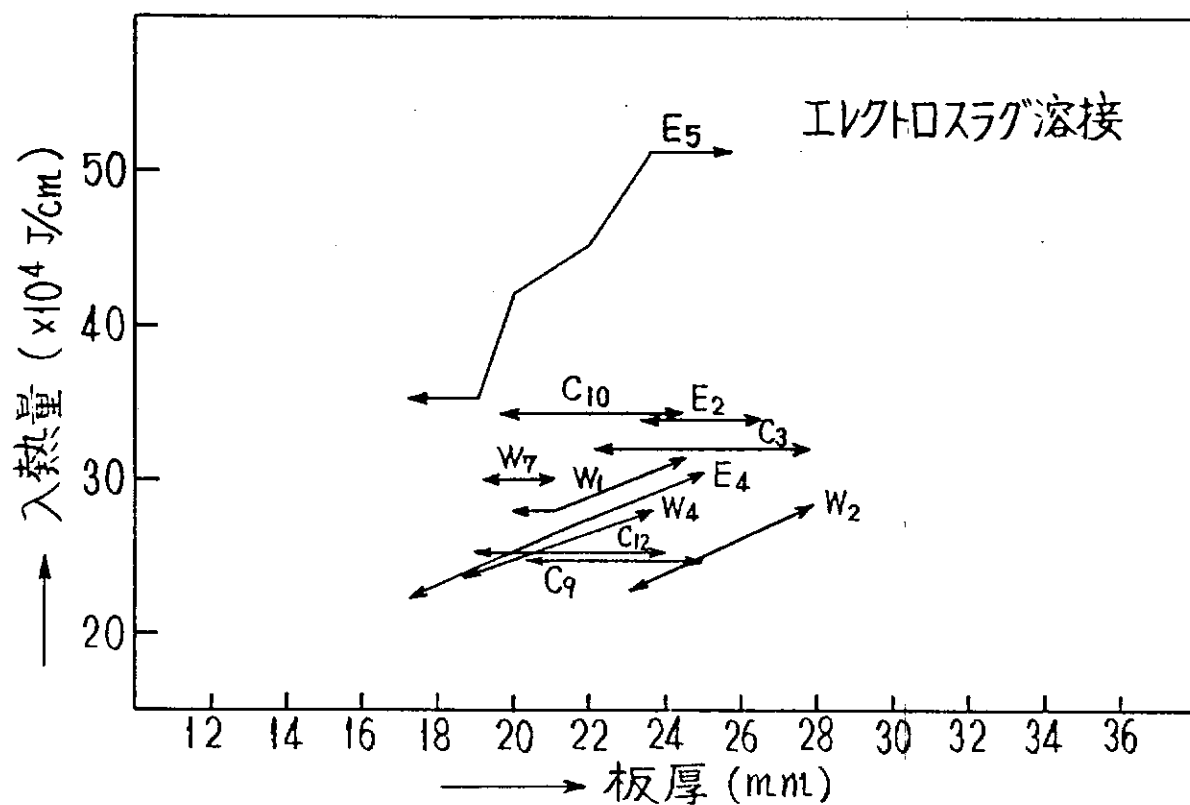


図8.3 入熱量

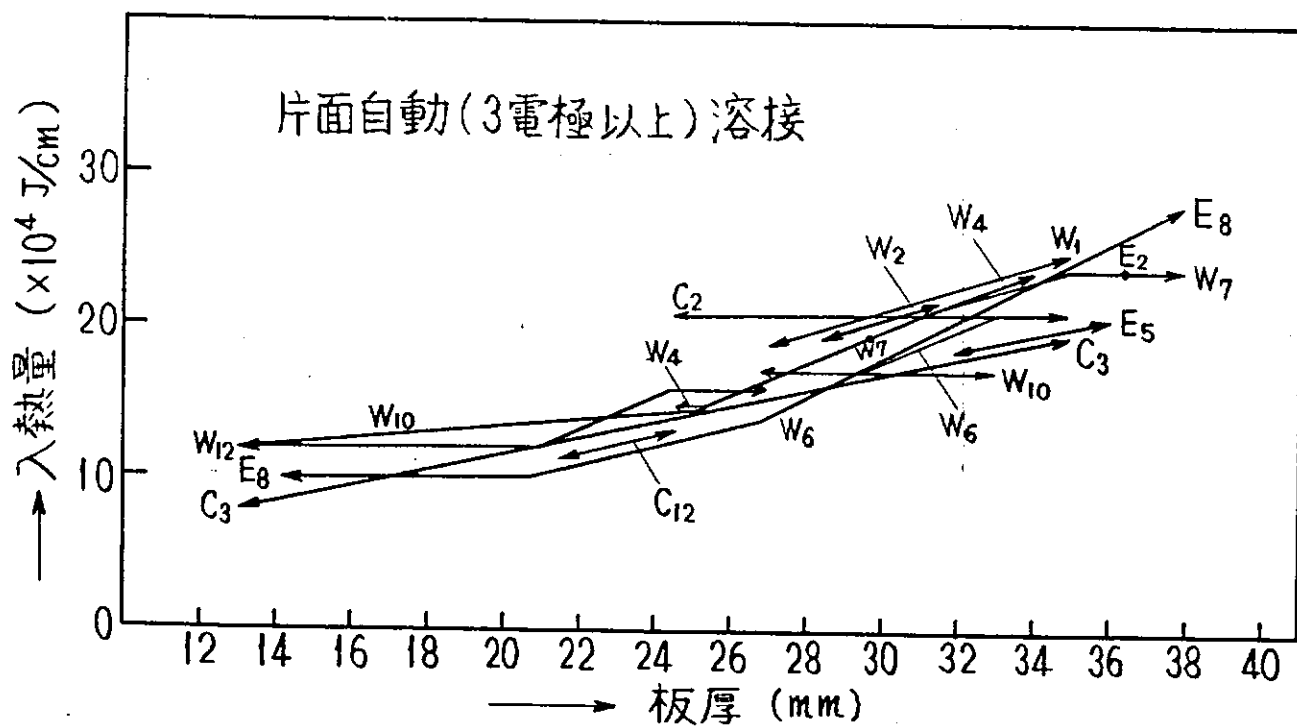
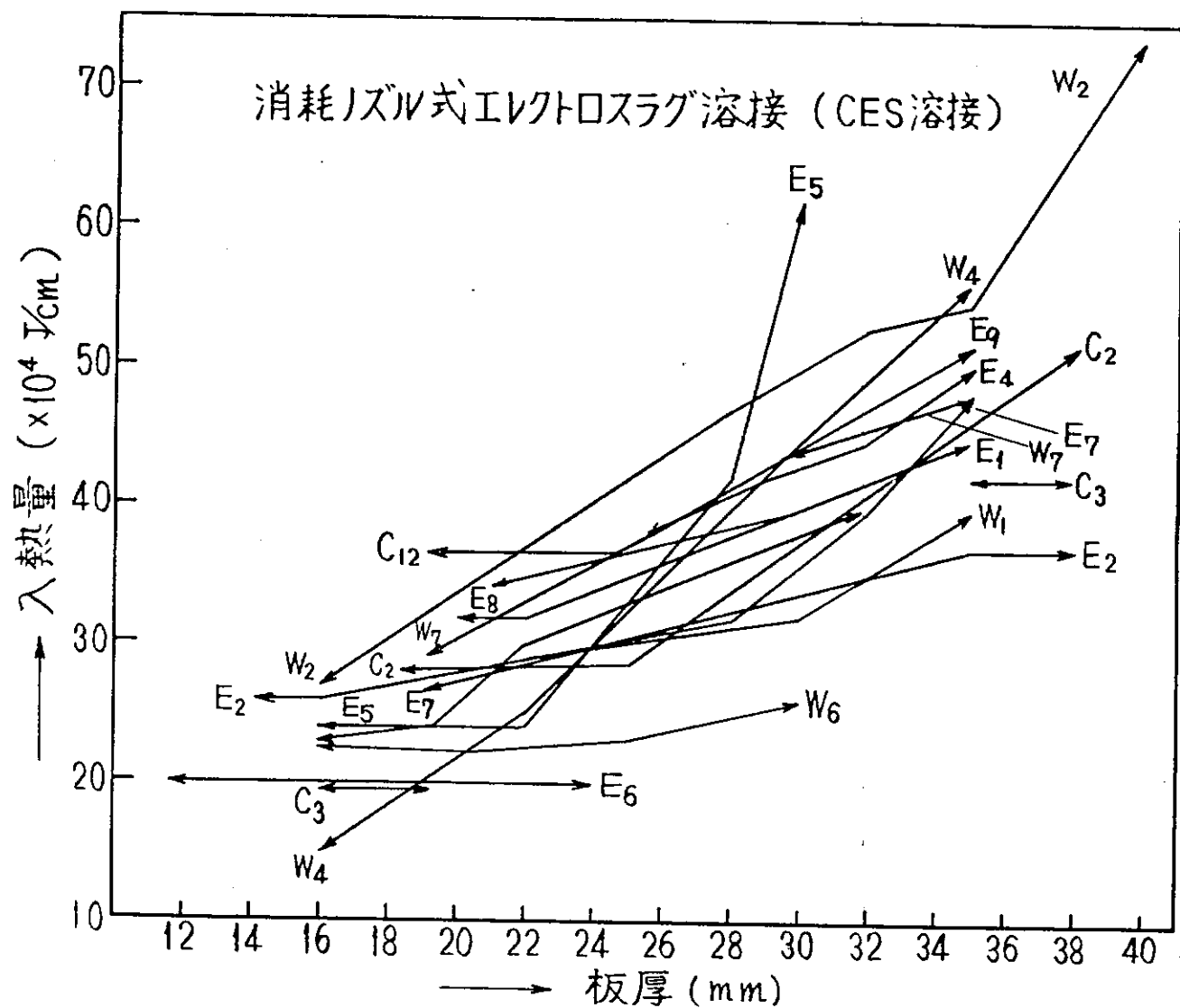


図8.4 入熱量

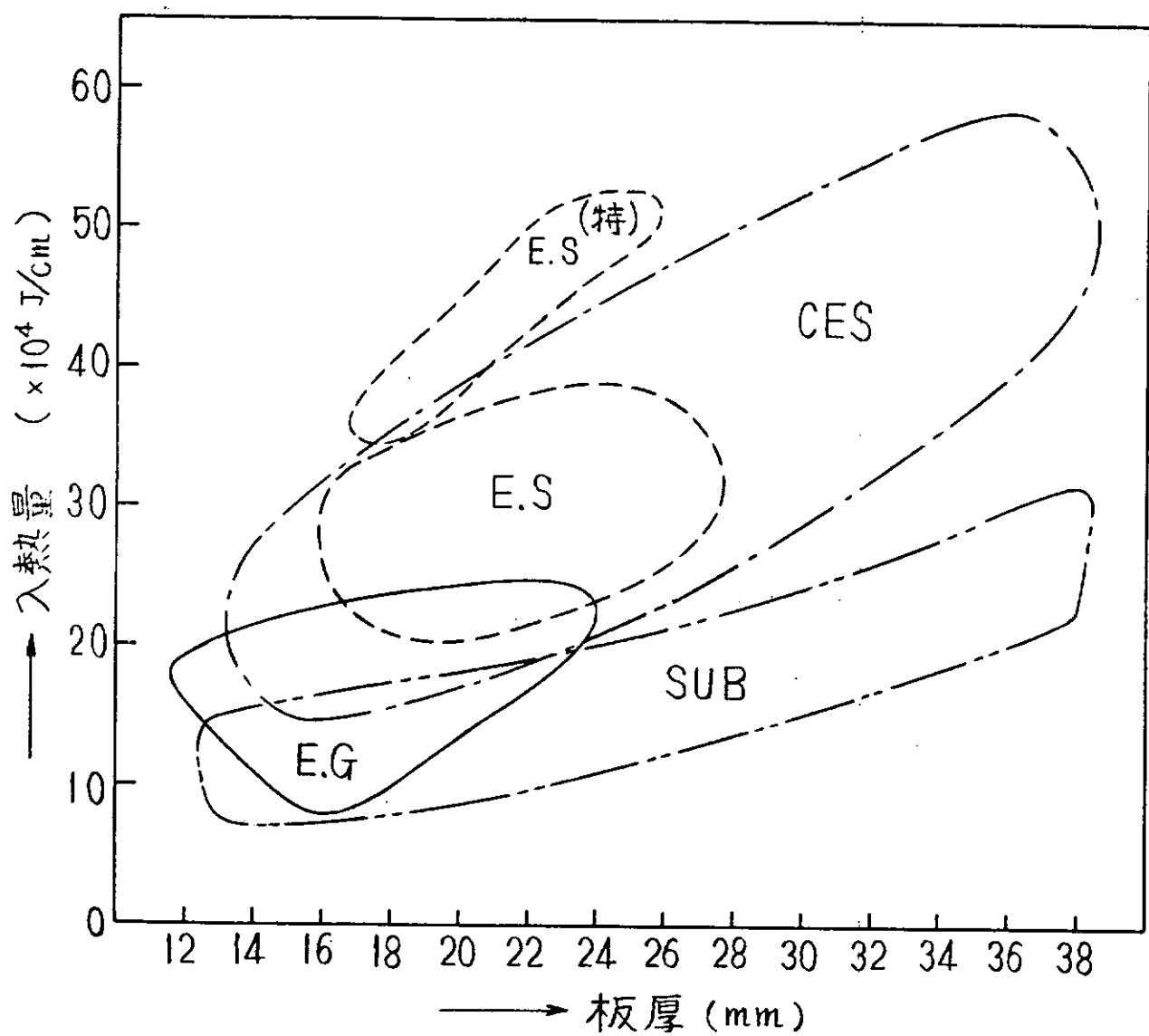


図8.5 入熱量