

第101研究部会

巨大船の脆性破壊防止対策に関する研究

報 告 書

昭和44年3月

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

は し が き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和43年度補助事業「巨大船に関する調査研究」の一部として日本造船研究協会第101研究部会においてとりまとめたものである。

第101研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	金沢 武（東京大学）		
幹事	池田 一夫（船舶技術研究所）	小倉 信和（船舶技術研究所）	
	岡本 淳二郎（八幡製鉄）	越賀 房夫（日本鋼管）	
	町田 進（東京大学）		
委員	今井 保穂（防衛庁）	尾川 宣之（日本鋼管）	
	大谷 碧（大阪大学）	大野 章（富士製鉄）	
	笠原 譲（日本造船工業会）	上藤 道雄（大阪造船所）	
	木原 博（東京大学）	久津間 裕良（運輸省）	
	桑山 則男（住友金属工業）	酒井 啓一（石川島播磨重工業）	
	阪部 喜代三（日本製鋼所）	崎村 義宣（佐世保重工業）	
	真田 良（日本船主協会）	田代 新吉（日本海事協会）	
	竹脇 喬（石川島播磨重工業）	塚本 周吉（函館ドック）	
	塚本 睦世（川崎製鉄）	土屋 九一（三井造船）	
	寺井 清（川崎重工業）	中井 恒男（日立造船）	
	中村 昭和（川崎重工業）	新村 豊（東京大学）	
	羽鳥 幸男（日本鋼管）	服部 堅一（浦賀重工業）	
	林 登（神戸製鋼所）	矢島 浩（三菱重工業）	
	吉 誠雅夫（東京大学）		
討議参加者	青木 真一（川崎製鉄）	青木 満（東京大学）	
	石坂 晋郎（日本製鋼所）	大西 毅（三井造船）	
	大熊 勇（船舶技術研究所）	菅 尚司（佐世保重工業）	
	杉田屋 卓（神戸製鋼所）	高野 正義（神戸製鋼所）	
	田中 稔（日本鋼管）	鍛地 楠生（日本海事協会）	
	林 忠男（川崎製鉄）	町田 哲一（八幡製鉄）	
	松 永恒文（三井造船）	三波 建市（富士製鉄）	

目 次

概 要	1
1. ま え が き	2
2. 研 究 の 目 的	3
3. 広巾試験片によるクラックアレスターの研究	4
3. 1 標準サイズ温度勾配型二重引張試験	4
3. 2 広巾温度勾配型破壊停止試験	1 4
3. 3 広巾混成型破壊停止試験	2 7
3. 4 力学的板厚効果試験	3 1
3. 5 シャルビー試験	3 5
4. 厚板溶接部の脆性破壊発生特性の研究	3 9
4. 1 Before Weld Notch の縦溶接継手切欠広巾引張試験	3 9
4. 2 Vシャルビー試験	5 6

概 要

本事業は、巨大船に関する調査研究の一環として、巨大船に使用される超厚板の脆性亀裂発生特性を調べるため、昨年度に引き継ぎ第101研究部会が試験研究を行なったものである。

本年度実施した試験項目はつぎのとおりである。

(1) 広巾試験片によるクラックアレスターの研究

東京大学が主となつて試験を実施した。

(i) 標準サイズ温度勾配型二重引張試験 (A-1)

供試材の標準サイズ温度勾配型二重引張試験による脆性破壊伝播特性値 (K_{IC} 値) を求め、広幅温度勾配型破壊停止試験に対する比較資料とした。

(ii) 広幅温度勾配型破壊停止試験 (A-2)

東京大学工学部大型構造物試験所の2,000トン構造物試験機と脆性クラック発生用高圧打撃装置を使用し、応力と温度勾配を与えた試験片中にクラックを伝播させ、クラック伝播停止試験を行ない、前記(i)項の試験結果と比較した。

なお、試験片の大きさは2,400mm×2,400mm×30mmおよび50mmでこの種試験では、後述の(ii)項の試験片と共にわが国では前例のない大きさである。

(iii) 広幅混成温度平坦型破壊停止試験 (A-3)

品質の異なる2種の鋼材を溶接して作製したいわゆる混成型の広幅試験片 (2,400mm×2,400mm×30mm) を用い、一様温度分布下での供試材のK_{IC} 値を求め前記(i)項の試験結果と比較した。

(iv) 厚板広幅温度勾配型破壊停止試験 (A-4)

広幅試験片 (1,000mm×1,000mm) により、原厚50mmから各種板厚まで機械的に切削したものについて引張試験を行なつてK_{IC} 値を求め広幅試験片における板厚の力学的効果を調べた。

(v) シャルビー試験

前記(i)~(iv)項の供試材からVノッチ、Uノッチ、Pノッチの3種類の切欠ごとにシャルビー試験片をそれぞれ採取し、シャルビー試験を行なつてシャルビー特性を求め、前記広幅試験片による試験結果との関連を調べた。

(2) 厚板、溶接部の脆性破壊発生特性の研究

船舶技術研究所が主となつて試験を実施した。

(i) Before weld notch の縦溶接継手切欠広幅引張試験 (B-1)

一般に超厚鋼板の溶接は拘束度および冷却速度の大きい多層溶接となるので割れ等の欠陥を生じやすく、また、板厚方向の拘束が大となるためわずかな欠陥からも脆性亀裂が発生する危険が大きい。このため2種の厚板広幅試験片 (1,000mm×1,000mm×30mmおよび50mm) について、溶接前に切欠加工したいわゆるWells-木原試験によつて供試材の溶接部からの脆性破壊発生特性を求めた。

(ii) シャルビー試験 (B-3)

前記(i)項の供試材およびその溶接部近傍数か所からVノッチ、Uノッチ、Pノッチの3種類の切欠ごとにシャルビー試験片をそれぞれ採取し、シャルビー試験を行なつてシャルビー特性を求め、前記(i)項の試験結果との関連を調べた。

1. ま え が き

日本造船研究協会第101研究部会は、運輸省の巨大船総合研究委員会による調査結果にもとづいて「巨大船の脆性破壊防止対策に関する研究」をテーマとして昭和42年発足したものである。

すなわち、巨大船総合研究委員会による「巨大船に関する技術資料」には鋼材の脆性破壊の問題に関し、次のように述べられており、これが本研究部会の設立の目的を端的にいいあらわしている。

「一般にD級鋼は脆性破壊の発生、E級鋼は脆性亀裂の伝播を阻止する性能をもつものとされているが、はたしてE級鋼の性能でクラックアレスターの機能を発揮できるものかどうかは疑わしい。とくに、巨大船の場合に生ずるとされる十分長い亀裂でも阻止するかどうかは、E級鋼の配置とも関連して、早急に解決しなければならない問題である。」

また、「厚板を溶接する場合にとくに拘束の強い溶接を考えると、板厚方向の拘束や、溶接残留応力の三軸応力性が増大し、かなり大きな内部クラックや、表面クラックが生ずる場合も考えられる。このようなクラックが存在するとき、それから脆性破壊の伝播を開始する場合の強度については、はつきりしたことはわかっていない。」

本委員会において審議決定した研究計画の基本方針にもとづき、実験担当委員を中心とした幹事会をたびたび開催し、詳細の技術的検討その他を行なった。本研究は3か年にわたるものであり、本報告書は、前年度に引続き第2年度分の経過報告書としてとりまとめたものである。

2. 研 究 の 目 的

脆性破壊の現象は、板厚が厚いものほど発生しやすいので、巨大船においては危険がきわめて大きく、また、万一発生した場合の災害は甚大なものがあり、巨大船建造上欠くべからざる研究課題である。

現在の船級協会規定では、脆性破壊防止のためリベットシームをB級鋼を用いることにより溶接シームに置き換えることを決めているが、B級鋼のクラックアレストとしての定量的な性能評価はまだ明らかではない。

本研究はこのため、どの程度良質で、どのくらいの寸法の鋼材をどのように使用すれば脆性破壊による大クラックを阻止しうるかを把握し、また、巨大船では40～50mmの超厚板が使用されるので、溶接部の多層溶接や板厚方向の拘束が大きい、わずかな欠陥でも、薄板に比べはるかに脆性破壊が発生しやすいので42年度に引き続き表1に示す研究を行なうものである。

表 1. 研 究 項 目

研究項目 目符号	研 究 題 目	研究小項目 目 符 号	試 験 名	供 試 材	
				** 符号	脱 酸
A	広巾試験片によるクラックアレスターの研究	A-1	標準サイズ温度勾配型二重引張試験	D-30 E-30	セミキルド キ ル ド
		A-2	広巾温度勾配型破壊停止試験	〃 〃	〃 〃
		A-3	広巾混成温度平坦型破壊停止試験	A-30 D-30 E-30	セミキルド 〃 キ ル ド
		A-4	厚板広巾温度勾配型破壊停止試験	E-50	キ ル ド
		A-5	シャルピー試験	A-30 D-30 E-30、50	セミキルド 〃 キ ル ド
B	厚板、溶接部の脆性破壊発生特性の研究	B-1	Before weld notchの縦溶接継手切欠広巾引張試験	D-50 D-50	セミキルド キ ル ド
		* B-2	After weld notchの縦溶接継手切欠広巾引張試験	〃 〃	〃 〃
		B-3	シャルピー試験	〃 〃	〃 〃

* B-2項目は試験片加工のみ、実験は44年度から着手

** 供試材符号

A……………A級鋼

E……………E級鋼

D……………D級鋼

数字……………板厚 (mm)

3. 広幅試験片によるクラックアレスターの研究

3.1 標準サイズ温度勾配型二重引張試験 (A-1)

3.1.1 研究目的

供試材の標準サイズ温度勾配型二重引張試験による脆性破壊伝播停止特性値 (K_{IC} 値) を求め、広幅温度勾配型破壊停止試験に対する比較資料とする。

3.1.2 供試材および試験片

供試材として船級協会規格の E 級鋼 (キルド鋼、板厚 30 mm)、D 級鋼 (セミキルド鋼、板厚 30 mm) および A 級鋼 (セミキルド鋼、板厚 30 mm) を用いる。

供試材の mill sheet による化学成分および機械的性質を表 3.1.1 に示す。

試験片形状寸法は図 3.1.1 に示す通りである。

3.1.3 試験内容および方法

供試鋼板より図 3.1.1 に示す二重引張試験片を採取し、脆性クラック伝播停止特性を調査する標準試験として、温度勾配型二重引張試験を実施した。使用した試験機は東京大学工学部船舶工学科の 400 トン構造物試験機である。

また、クラック伝播速度ならびにクラック伝播にともなう応力変化を一部の試験片について計測した。

試験方法としては、試験片の脆性クラック発生部 (以下発生部という) の機械加工で作った切欠の先端に脆性クラックの発生を容易にするため高速度鋼により製作したプレスノッチ用ナイフ (刃角度 45°) を 50 トンアムスラー型万能試験機により圧入して、深さ 2 mm のプレスノッチを入れる。次に試験片の脆性クラック伝播部 (以下伝播部という) を試験機取付用 tab plate に溶接したのを試験機に取付け、所定の引張荷重 (引張応力) を伝播部にあたえる。

一方、発生部は別に設置した 100 トン引張荷重装置によつて引張荷重を加え、脆性クラックを発生させる。

温度調整は発生部と伝播部を仕切った木製恒温槽をクラック伝播経路を直接冷却するように試験片の表裏面 2 個所に取付け、発生部は伝播部とは関係なく脆性クラックの発生を容易にするため液体窒素で冷却し、伝播部は所定の温度分布になるようさらに恒温槽を 6 区画に仕切り、各区画に入れたエチルアルコールの温度をドライアイスで加減した。20℃以上の温度調整が必要な場合は区画に温水を注入し水中用ヒーターで温度を調整した。熱電対取付面は熱電対が直接エチルアルコールや温水に解れないようにした。

温度測定は銅-コンスタンタン熱電対をクラック伝播予想線上 (切欠線上) 6 個所に spot 溶接し、自記多打点熱電記録計により測定した。

クラック伝播速度ならびに動的応力測定は A-2 研究で実施した方法で行なった。

試験要領を図 3.1.2 に示す。

3.1.4 試験結果および考察

標準サイズ温度勾配型二重引張試験結果を表 3.1.2 に示す。

脆性クラック伝播停止位置と伝播部温度分布の関係を求め、次式により求められる供試材の脆性破壊伝播停止特性値 (K_{IC} 値) と温度の関係を求めると、図 3.1.3(1)~(5) のようになる。

$$K_{IC} = \sigma f(\gamma) \sqrt{C}$$

$$\text{ここで } f(\gamma) = \sqrt{\frac{2}{\pi\gamma} \cdot \tan \frac{\pi}{2} \gamma}$$

$$\gamma = \frac{C}{B}$$

σ = クロス応力

C = 停止クラック長さ

B = 試験片幅 (本試験では 500 mm)

図 3. 1. 3(1)～図 3. 1. 3(4)よりクラック停止温度とクラック伝播限界応力の関係を、クラック長さ C をパラメータとして図 3. 1. 4(1)～図 3. 1. 4(4)に示す。別の研究によれば、船級協会統一規格の E 級鋼は使用応力 1.3 Kg/mm^2 、使用温度 0°C の場合、設定クラック長さを $C = 240 \text{ mm}$ (D 級鋼の場合は $C = 60 \text{ mm}$) としたことに対応することが明らかにされている。なお、参考のためクラック長さを D 級鋼の場合の $C = 60 \text{ mm}$ 、日本溶接協会規格 (WES) A 種・G 種の場合の 100 mm 、 10 mm としたときの限界応力-温度曲線も併せ示した。

また、図 3. 1. 5(1)～図 3. 1. 5(2)はクラック伝播速度や伝播中の荷重変化を測定したものである。測定例は少ないが、これから言えることは、荷重がクラック伝播中、落下する傾向を示し、伝播停止付近で、初めの荷重の $70\% \sim 80\%$ に落下することがわかる。これは試験機の剛性・試験片長さその他にも関係するが、伝播中の荷重状態が、荷重一定 (fixed load condition、 $P_{\text{propag}}/P_{\text{stat}} = 1$) というよりも、むしろ変位一定 (fixed grip condition) の状態に近いことを示しているように思われる。図中“最終荷重”とは、クラックの伝播停止後、試験機荷重目盛板より読んだものである。今後この影響をも考えに入れた解析をしなければならないであろう。

表 3. 1. 1 供試材の化学成分および機械的性質

符号	鋼種	熱処理	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%) (Ladle)						機 械 的 性 質		
				C	Si	Mn	P	S	Cu	降 伏 点 (kg/mm^2)	抗 張 力 (kg/mm^2)	伸 び (%) G.L.=200 mm
RE30	E 級	Normalized	30	0.12	0.21	1.00	0.016	0.019		28.6	44.6	30.0
NE30		Normalized	30	0.13	0.23	0.80	0.011	0.020		30.0	44.0	32.0
ND30	D 級	Normalized	30	0.17	0.02	0.97	0.019	0.025	0.05	29.6	48.2	37.5
RD30		As Rolled	30	0.14	0.07	1.14	0.015	0.017		26.0	44.0	32.0

(注) A 級鋼 (RA30) はミルシート未到着

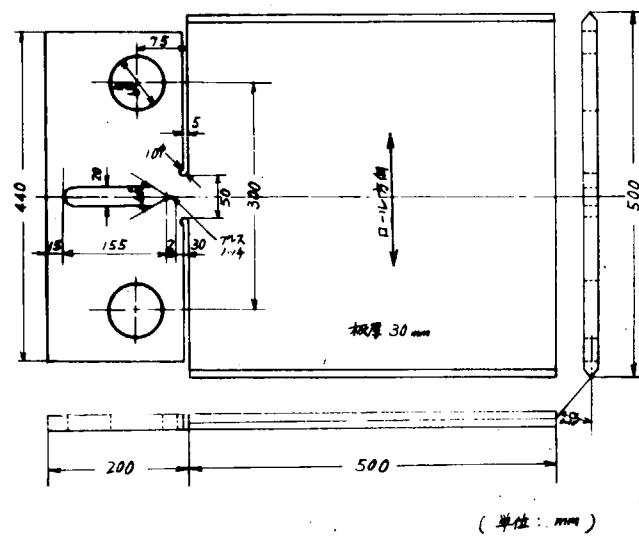


図 3.1.1 試験片形状寸法 (A-1)

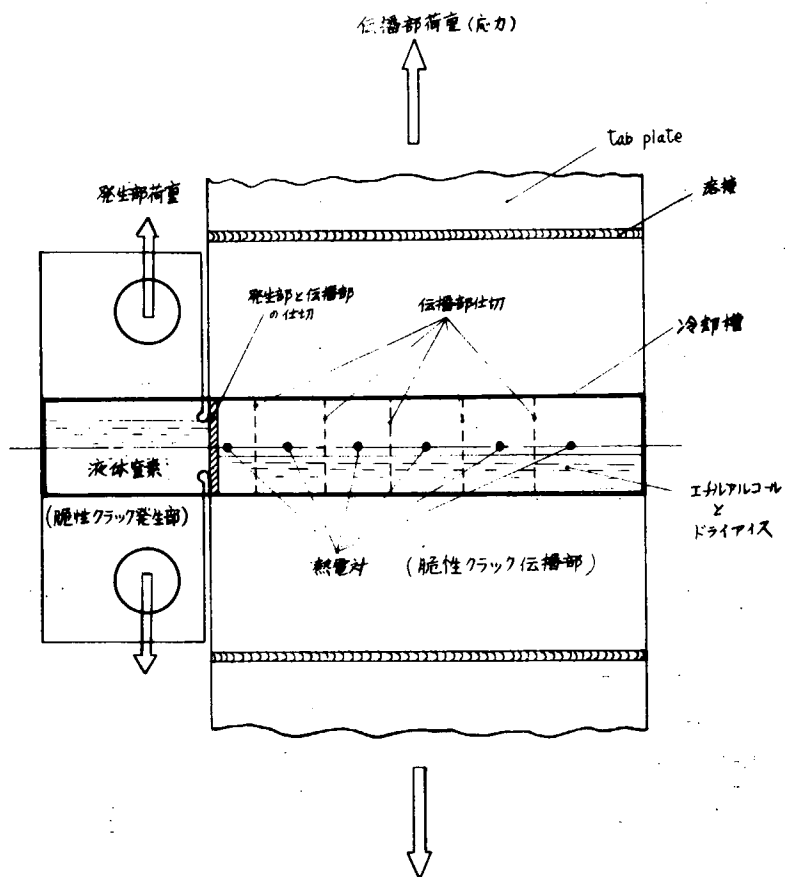


図 3.1.2 二重引張試験要領 (A-1)

表 3. 1. 2 標準サイズ温度勾配型二重引張試験結果 (A-1)

鋼 種	試験片符号	グロス応力 σ (Kg/mm^2)	クラック停止 温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	停止クラック 長 さ (mm)	修正グロス応 力 σ_0 (Kg/mm^2)	K_c 値 ($\text{Kg}\sqrt{\text{mm/mm}^2}$)
D 級	ND30A1-1	7	15	275	8.1	135
	ND30A1-2	7	15	212	7.6	110
	ND30A1-3	10	20	245	11.2	175
	ND30A1-4	12	31	330	15.4	285
	ND30A1-5	15	37	375	21.6	418
	ND30A1-6	17	42	370	24.1	464
	ND30A1-7	20	41	360	27.6	525
	RD30A1-1	7	12	305	8.4	147
	RD30A1-2	9	19	298	10.8	186
	RD30A1-3	10	20	335	13.0	238
	RD30A1-4	12	25	270	13.9	228
	RD30A1-5	17	35	350	23.0	430
E 級	RE30A1-1	9	-17	170	9.4	123
	RE30A1-2	10	8	300	12.1	210
	RE30A1-3	12	10	295	14.4	247
	RE30A1-4	15	10	240	16.7	263
	RE30A1-5	16	19	290	19.1	325
	RE30A1-6	17	20	300	20.6	356
	RE30A1-7	20	24	290	23.8	405
	RE30A1-8	22	24	290	26.2	447
	NE30A1-3	12	12	280	14.0	234
	NE30A1-7	17	15	290	20.3	345
	NE30A1-6	9	1	265	10.4	169
	NE30A1-4	15	25	360	20.7	393
A 級	RA30A1-1	12	35	340	15.8	291
	RA30A1-2	9	17	285	10.6	179
	RA30A1-3	10	23	320	12.6	226

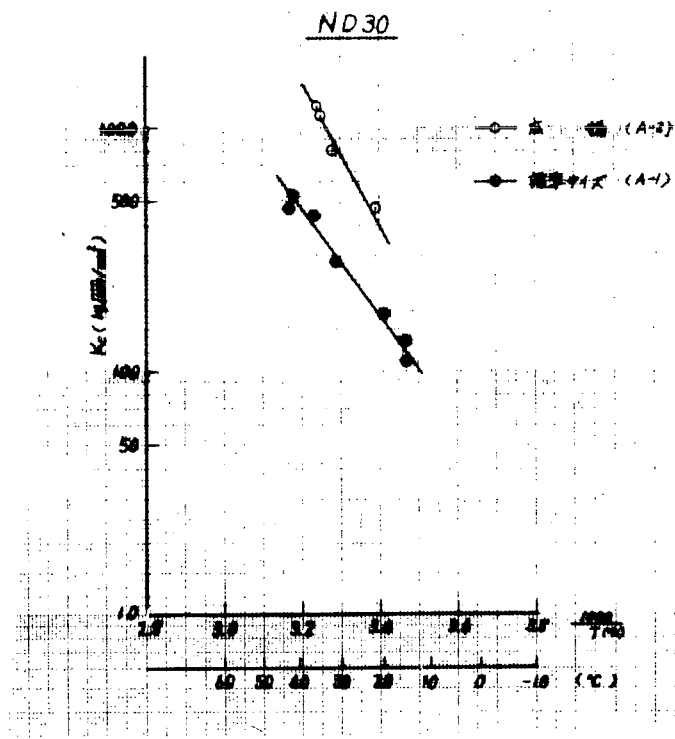


図 3. 1. 3(1) 温度と K_c 値の関係

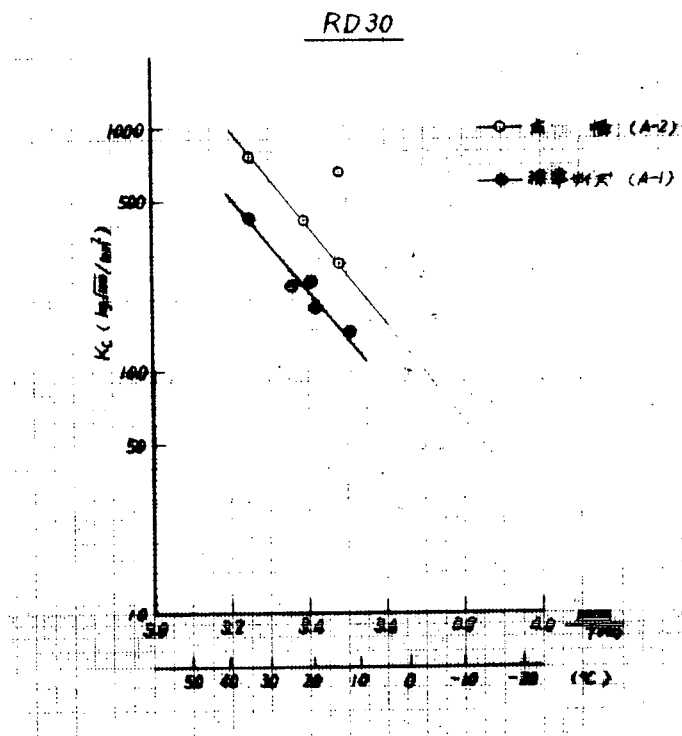


図 3. 1. 3(2) 温度と K_c 値の関係

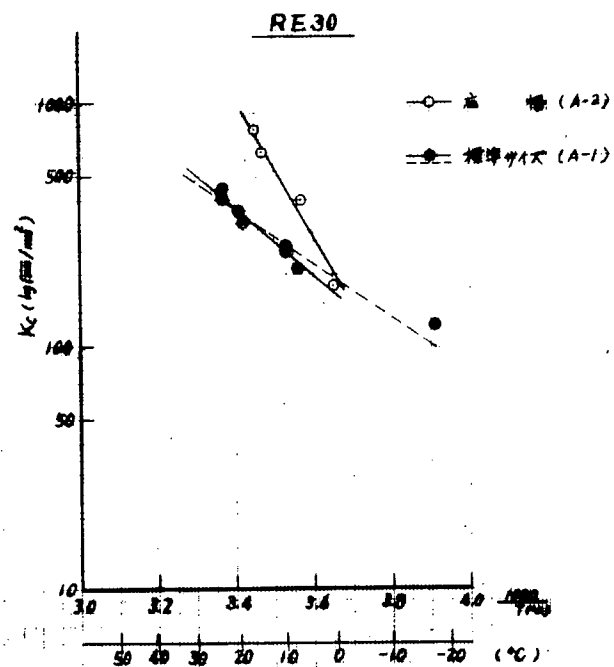


図 3. 1. 3(3) 温度と K_c 値の関係

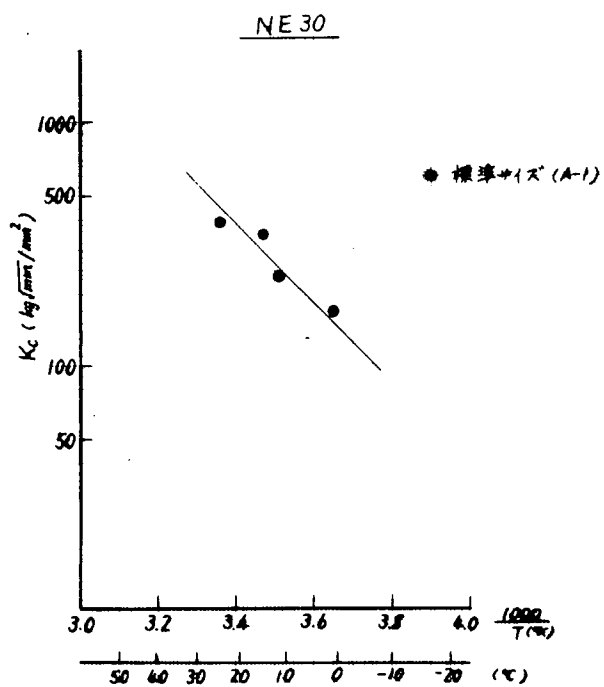


図 3. 1. 3(4) 温度と K_c 値の関係

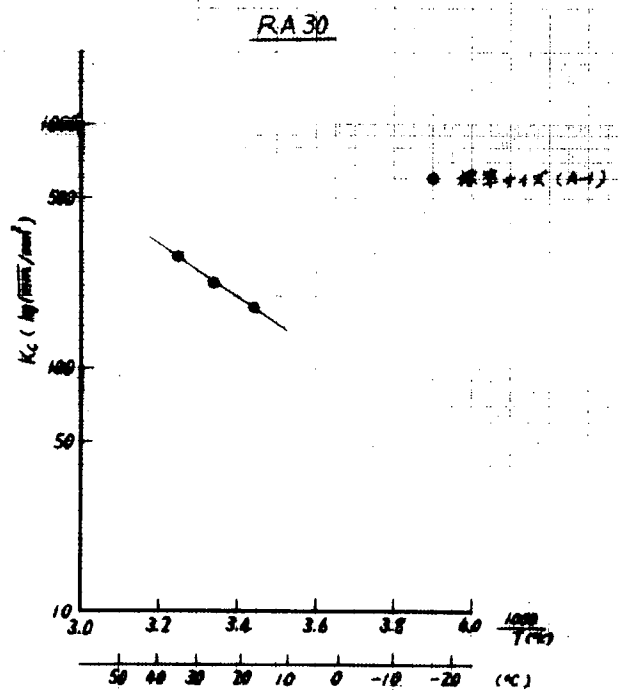


図 3. 1. 3(5) 温度と K_c 値の関係

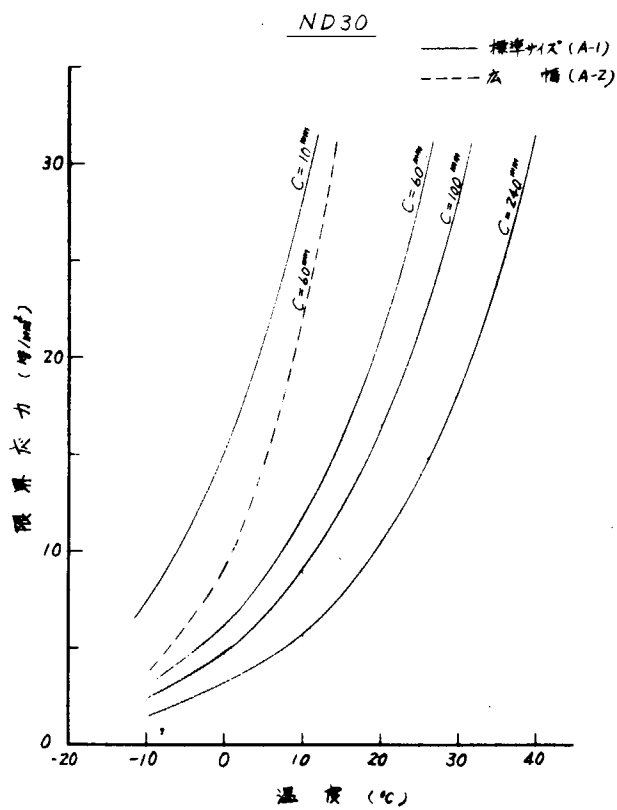


図 3. 1. 4(1) クラック停止温度と限界応力の関係 (ND 30)

RD30

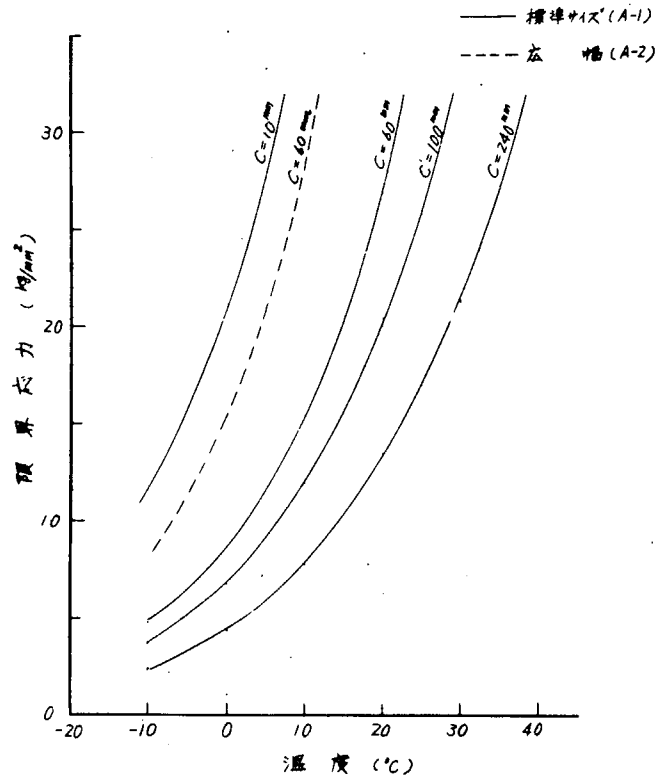


図 3. 1. 4 (2) クラック停止温度と限界応力の関係 (RD30)

RE30

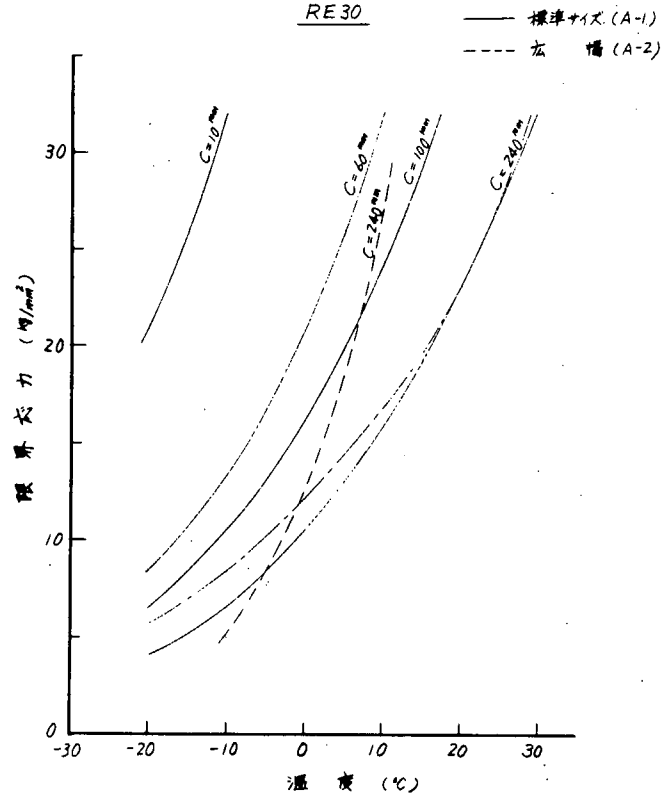


図 3. 1. 4 (3) クラック停止温度と限界応力の関係 (RE30)

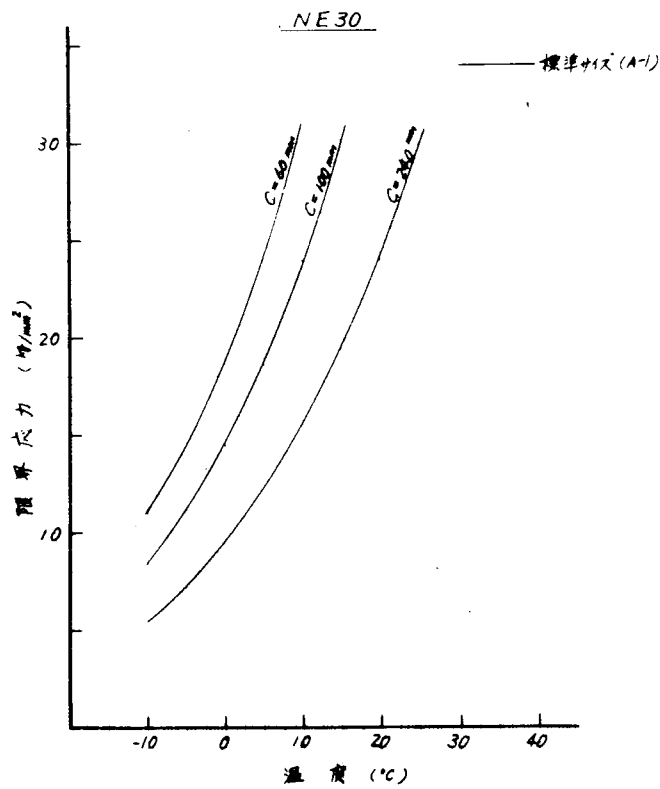


図 3. 1. 4 (4) クラック停止温度と限界応力の関係 (NE 30)

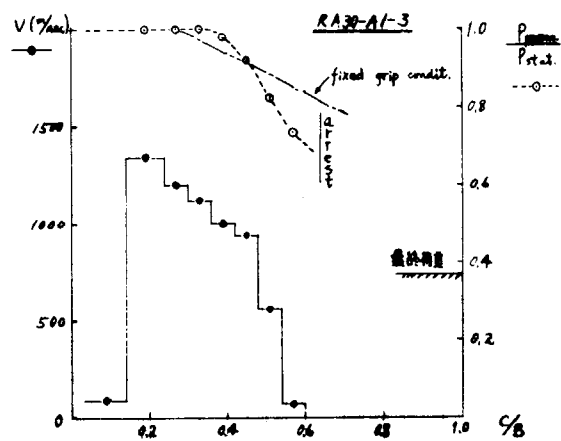
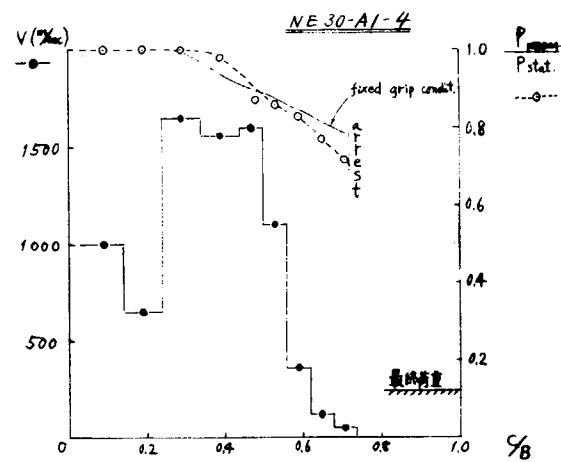


図 3. 1. 5 (1) クラック伝播速度および荷重の動的変化

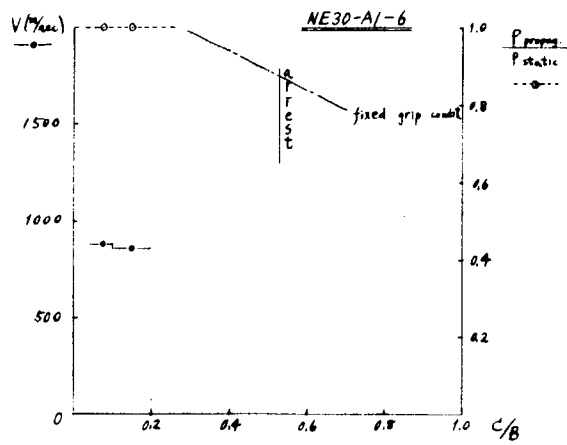
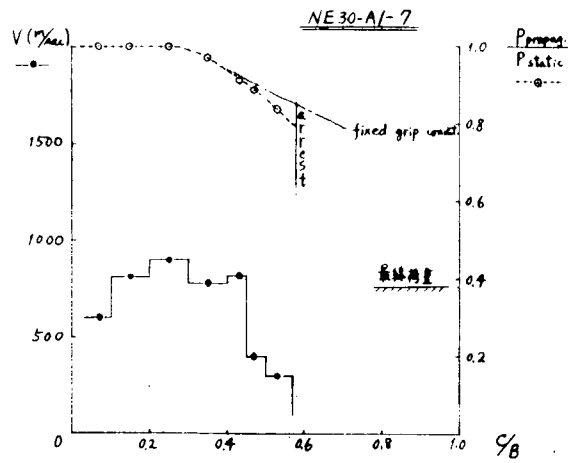


図 3. 1. 5(2) クラック伝播速度および荷重の動的変化

3.2 広幅温度勾配型破壊停止試験 (A-2)

3.2.1 研究目的

広幅試験片を用い、供試材の脆性破壊伝播停止特性値 (K_{IC} 値) を求め、標準サイズ温度勾配型二重引張試験より得られた K_{IC} 値と比較検討する。

3.2.2 供試材および試験片

供試材としては、船級協会規格の B 級鋼 (キルド鋼、板厚 30 mm) および D 級鋼 (セミキルド鋼、板厚 30 mm) を用いる。

供試材の mill sheet による化学成分および機械的性質を表 3.1.1 に示す。

試験片形状は図 3.2.1 に示す通りである。

3.2.3 試験内容および方法

東京大学工学部大型構造物試験所の 2000 トン構造物試験機と脆性クラック (以下クラックという) 発生用高圧打撃装置を使用し、応力と温度勾配を与えた試験片中にクラックを伝播させ、クラック伝播停止試験を行なった。

また、クラック伝播速度ならびにクラック伝播に伴う応力変化・荷重変化を記録した。

温度分布の調整は 11 区画に仕切った恒温槽をクラック伝播経路をはさんで試験片表裏 4 個所に取り付け、試験条件に応じ、各区画に入れたエチルアルコールの温度をドライアイスで加減することにより調整した。20℃ 以上の温度調整のときは、その近くの恒温槽区画に温水を注水し、水中用ヒーターを用い行なった。切欠部近傍はクラックの発生を容易ならしめるため、局部的に液体窒素 (-196℃) で冷却した。

温度測定は、切欠伝播線上 12 個所に銅-コンスタンタン熱電対を spot 溶接し、自記多打点式熱電対記録により行なった。

動的な応力変化・荷重変化の測定は、歪計 (抵抗線歪計) を試験片の表裏面に貼布し、歪計平衡装置とシンクロ・スコープ (Iwasaki DS-5035B) により、歪の時間的変化として記録した。クラック伝播速度の測定は次の方法によつて行なった。伝播線上に適当な間隔で crack detector (クラック伝播速度測定用に作った特殊ゲージで長さ 120 mm のアドバンス線を紙ベースに接着してある) を貼布し、各 crack detector を別に組んだクラック伝播速度測定装置を介して、シンクロ・スコープ (Iwasaki 5288) に接続する。クラックの伝播により、crack detector が切断されるとシンクロ・スコープへの入力電圧が変化し、ステップ状の記録がえられ各ステップ間の時間から 2 枚の crack detector 間の平均速度が求まる。

負荷状態での試験片・クラック伝播線上に平行な位置での応力分布の一例を図 3.2.3 に示す。予想クラック伝播線上では、両端部付近を除いてほぼ一様応力分布状態となつていたので問題はないものと思われる。

試験終了後、試験片をガス切断し、破面様相の観察によりクラック長さを測定した。

試験要領を図 3.2.2 に示す。

3.2.4 試験結果および考察

広幅温度勾配型破壊停止試験結果を表 3.2.1 に示す。クラック停止位置の温度と K_{IC} (算出式は A-1 項目参照) の関係を求めると図 3.1.3(1)~図 3.1.3(3) となる。

標準サイズ温度勾配型二重引張試験より求めた結果と比較すると、先に推論していた通り広幅試験より求まる K_{IC} 値が大きくなっている。

標準サイズ温度勾配型二重引張試験結果と一致するためには広幅試験片における停止クラック長さをどの程度の長さに換算すればよいかという、クラック長さに有効性を持たせた有効クラック長さ (Effective Crack

Length) を求め、すでに池田・矢島らが温度勾配型 ESSO 試験による脆性破壊停止特性より求めた結果とともに図 3.2.4 に示した。

一方、クラック進展力 K に有効性を持たせた有効 K 値 (Effective K -value) を求め、池田・矢島らの先の結果とともに図 3.2.5 に示した。これを見ると有効 K 値による整理の方がばらつきも少なくなるように思われる。

また、クラック伝播速度・動的応力・荷重変化の測定結果を図 3.2.6(1)～図 3.2.6(4) に示す。図 3.2.6(3) における動的応力は計算値 (Broberg) と比較して示してある。

各試験の温度分布とクラック伝播経路は図 3.2.7(1)～図 3.2.7(12) に示してある。その中でクラックの枝分れが起っているものは一般に高応力の場合であるが、打撃エネルギーによる影響も考え図 3.2.8 に示してある。

表 3.2.1 広幅温度勾配型破壊停止試験結果 (A-2)

() 内の数字は標準サイズの結果を破線とした場合

鋼種	試験片符号	グロス応力 σ (Kg/mm^2)	衝撃エネルギー ($Kg-m$)	クラック停止温度 ($^{\circ}C$)	停止クラック長さ C (mm)	修正グロス 応力 σ_0 (Kg/mm^2)	Kc 値 ($Kg\ mm/mm^2$)	有効クラック 長さ C_{eff} (mm)	有効 Kc 値 Kc_{eff} ($Kg\ mm/mm^2$)	備考
D 級	ND30A2-1	20	250	(35)	1680	27.0	1107	180	360	枝分れ
	ND30A2-2	17	250	32	1480	20.9	804	225	315	
	ND30A2-3	20	200	36	1800	28.8	1220	175	380	枝分れ
	ND30A2-4	9	250	22	1600	11.7	468	235	180	
	RD30A2-1	13	250	35	1740	18.1	755	560	430	
	RD30A2-2	17	200	14	1225	19.2	670	61	150	枝分れ
	RD30A2-5	9	250	22	1460	11.0	420	420	225	
	RD30A2-3	7	200	14	1240	8.0	281	353	150	
E 級	RE30A2-1	13		15	1500	16.1	624	350	300	
	RE30A2-2	9		7	1400	10.7	401	405 (500)	215	
	RE30A2-3	7	350	1	650	7.1	182	570 (760)	170	
	RE30A2-5	17	250	17	1410	20.4	765	245	320	枝分れ

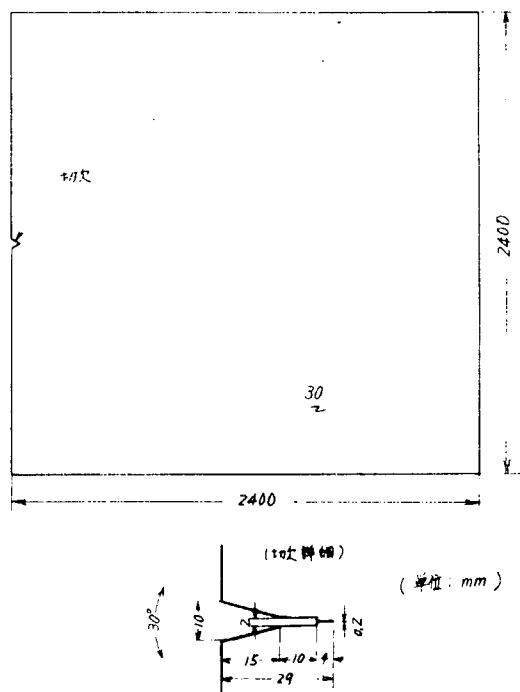


図 3.2.1 試験片形状寸法 (A-2)

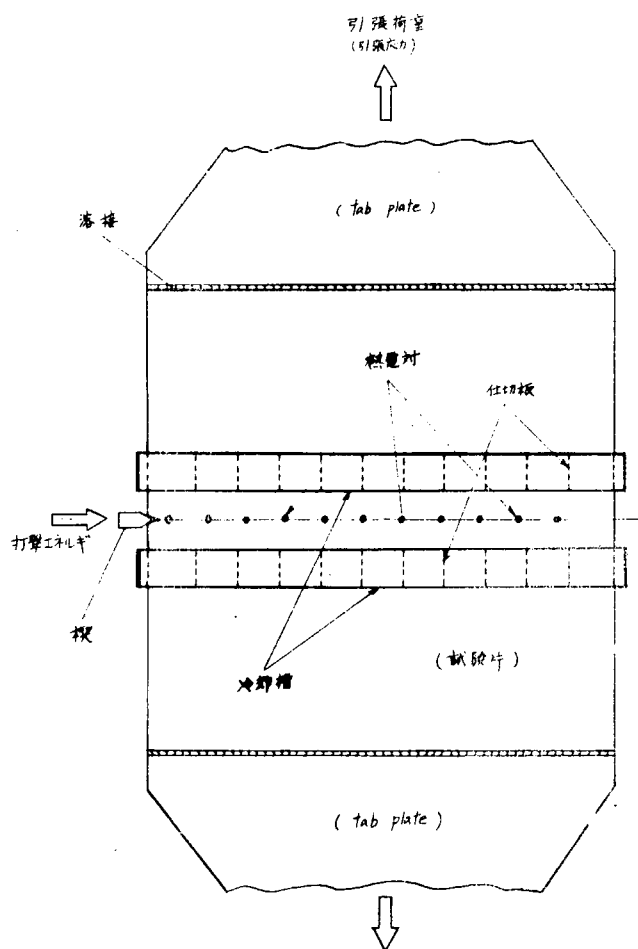


図 3.2.2 試験要領 (A-2)

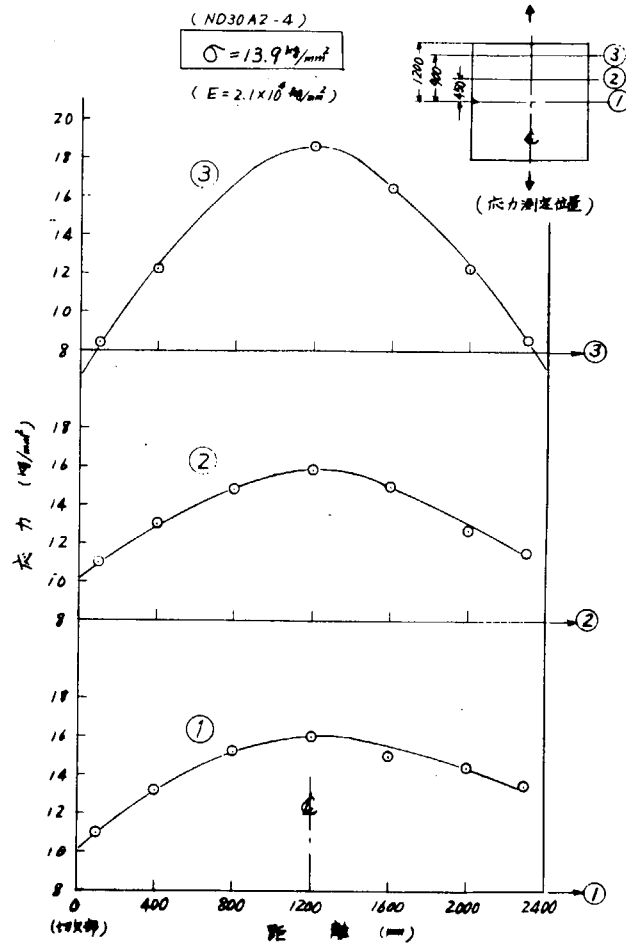


図 3. 2. 3 応力分布 (試験片表裏面引張方向平均応力)

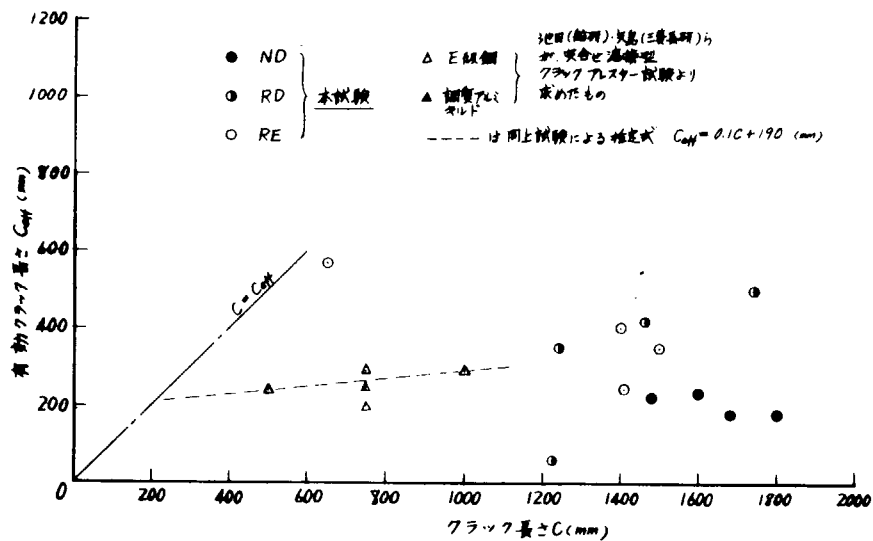


図 3. 2. 4 クラック長さと有効クラック長さの関係

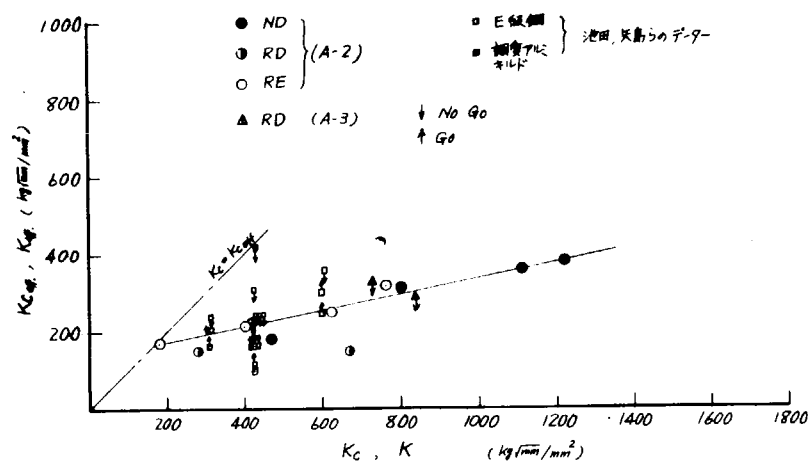


図3.2.5 K_c 値、 K 値と $K_{c \cdot ff}$ 値、 K_{ff} 値の関係

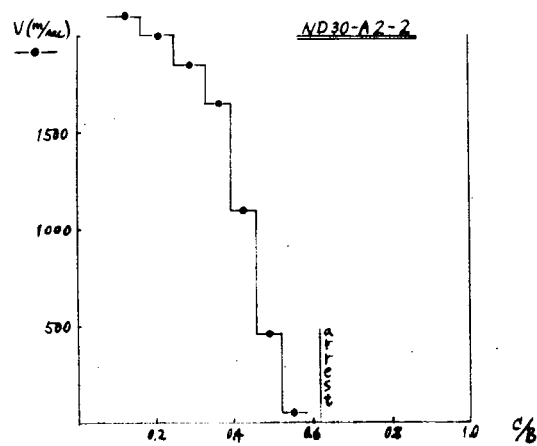
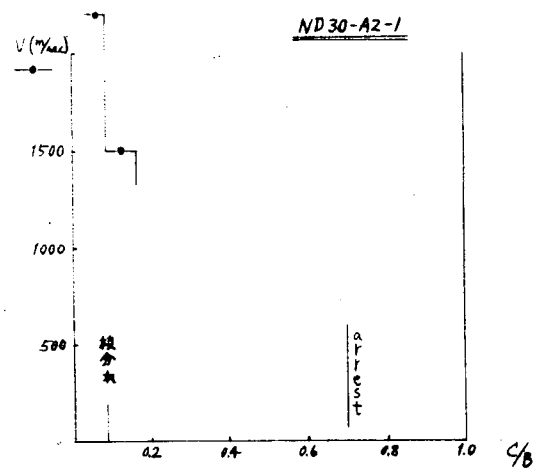
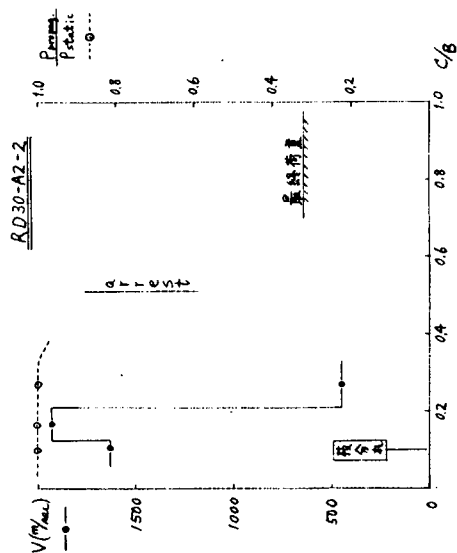
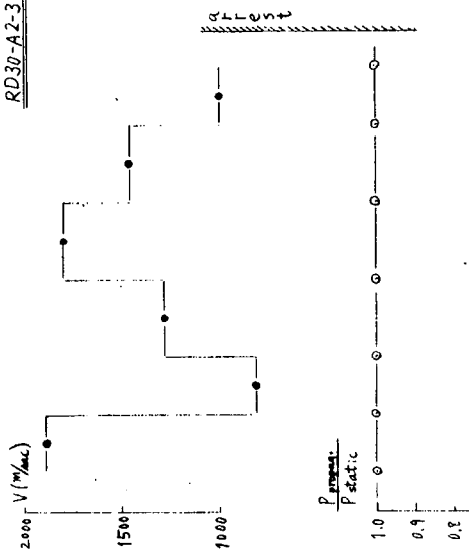


図3.2.6(1) クラック伝播速度

RD30-A2-3



ND30-A2-3

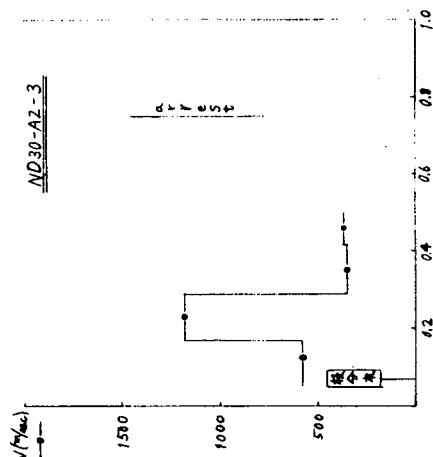


図 3. 2. 6(2) クラック伝播速度および荷重の動的变化

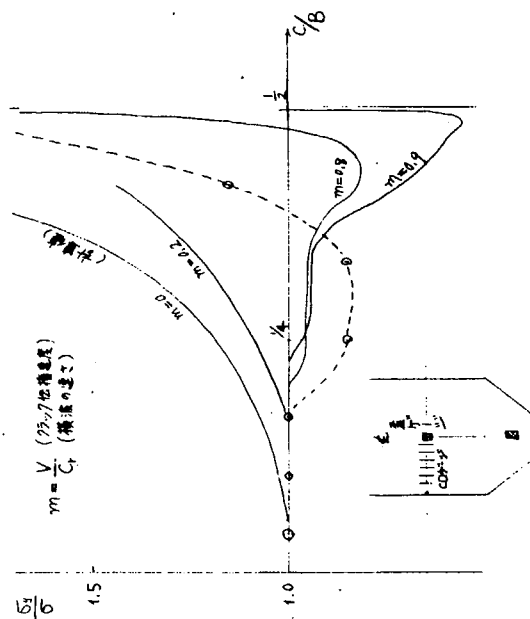


図 3. 2. 6(3) クラック伝播速度および荷重の動的变化

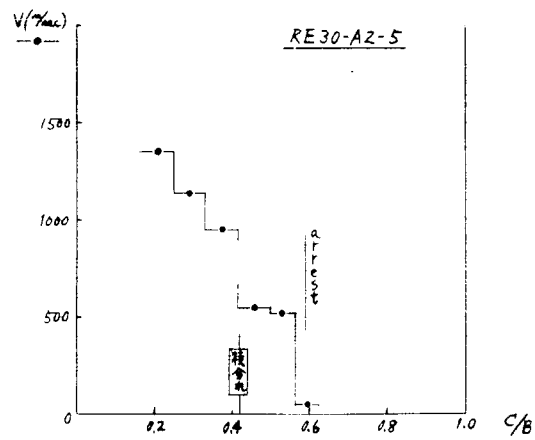
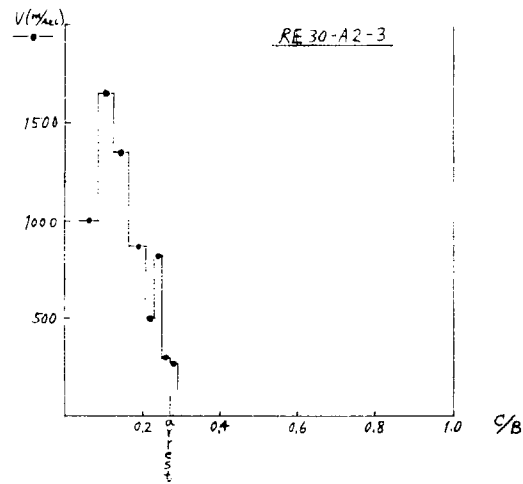


図 3. 2. 6(4) クラック伝播速度

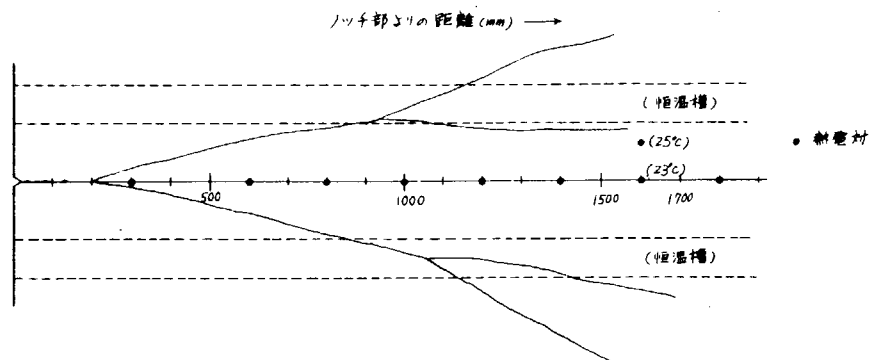
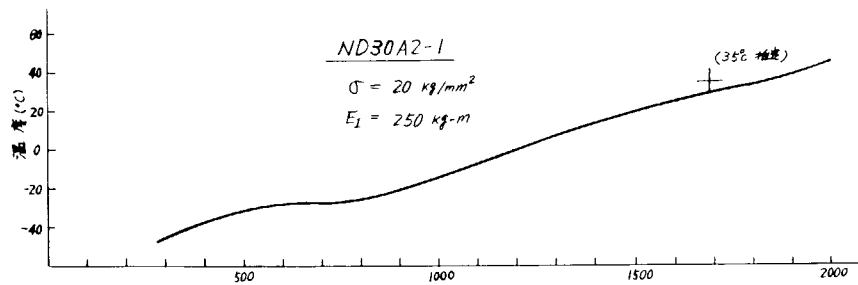


図 3. 2. 7(1) 温度分布とクラック伝播経路 (ND30A2-1)

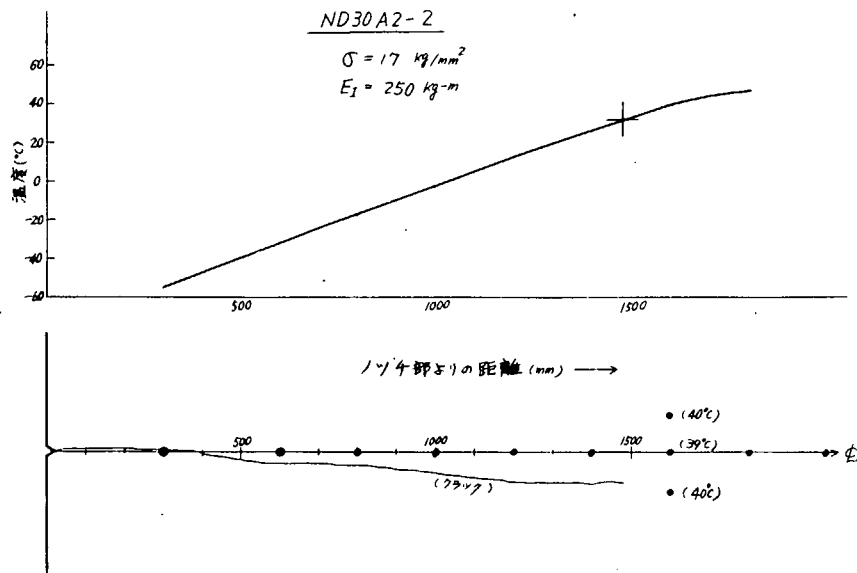


図 3. 2. 7(2) 温度分布とクラック 伝播径路 (ND30A2-2)

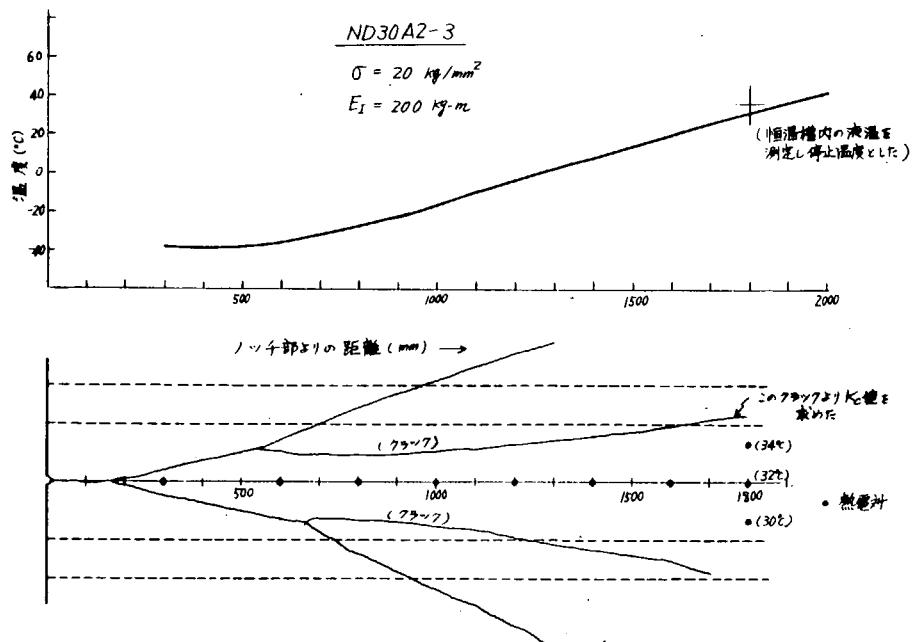


図 3. 2. 7(3) 温度分布とクラック 伝播径路 (ND30A2-3)

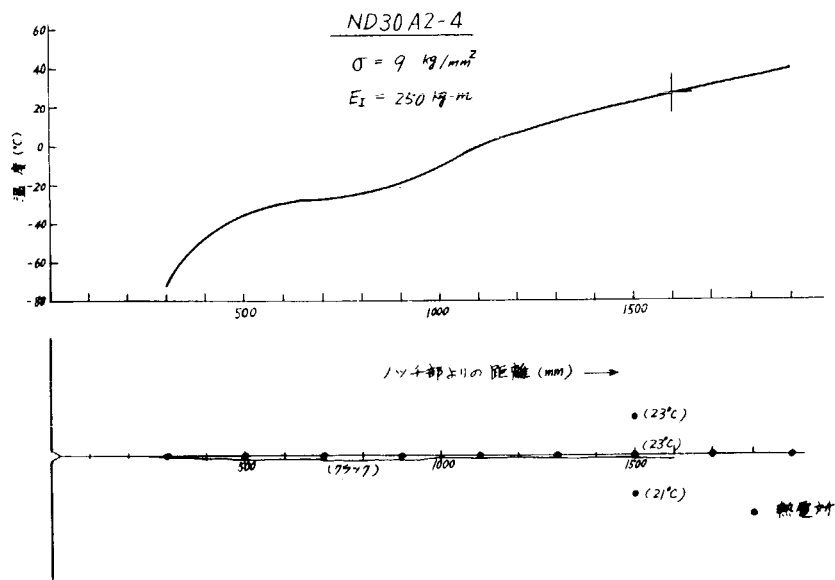


図 3. 2. 7 (4) 温度分布とクラック伝播径路 (ND30A2-4)

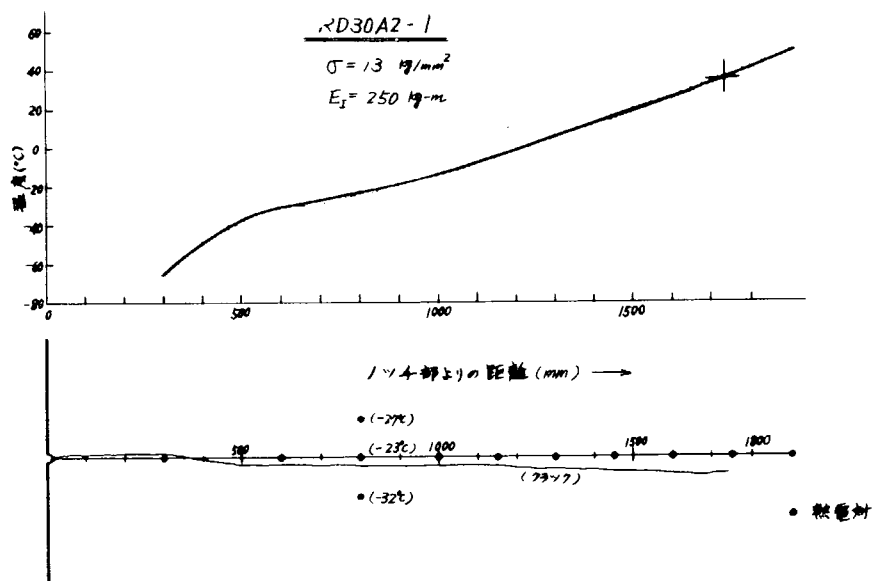


図 3. 2. 7 (5) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A2-1)

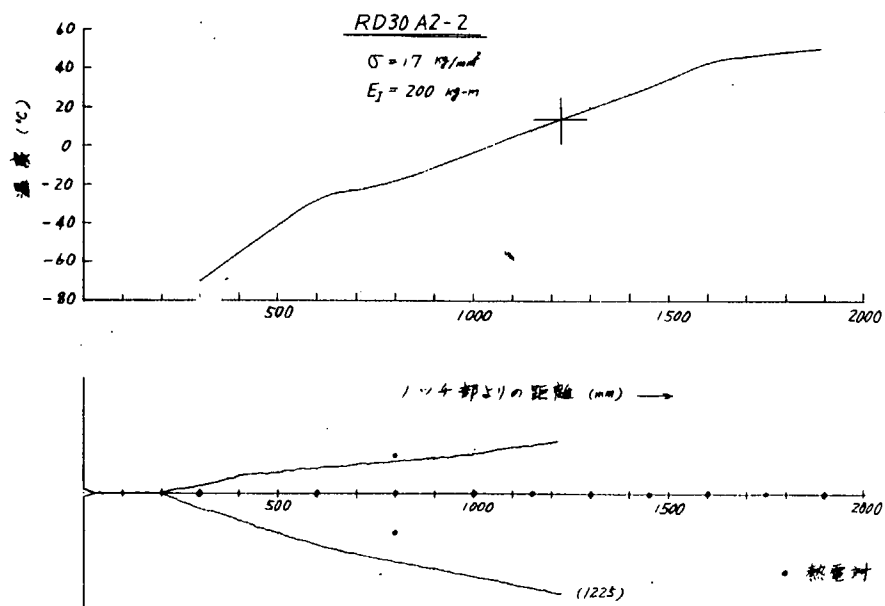


図 3. 2. 7 (6) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A2-2)

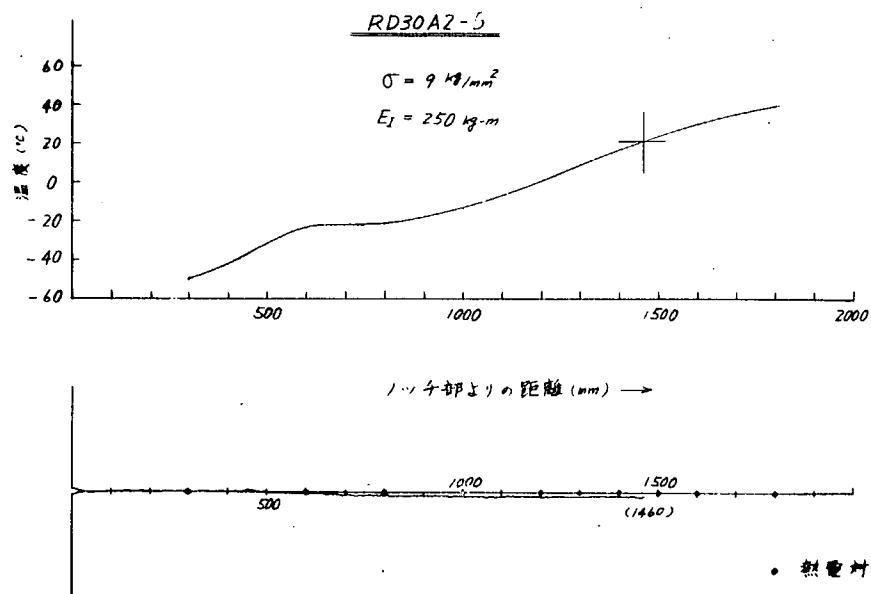


図 3. 2. 7 (7) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A2-5)

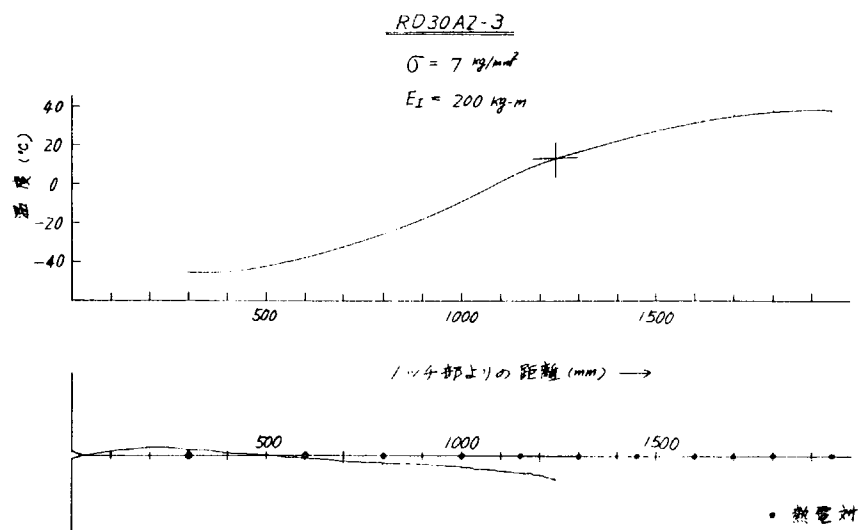


図 3. 2. 7(8) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A2-3)

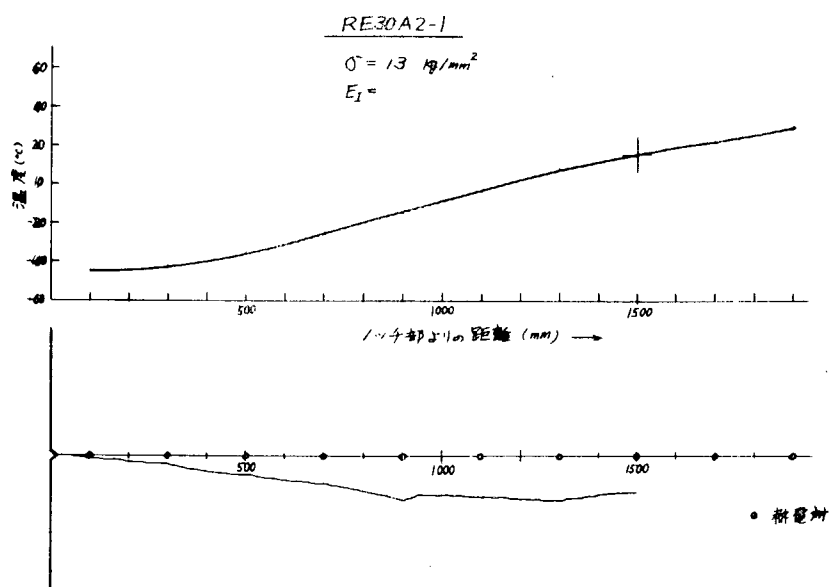


図 3. 2. 7(9) 温度分布とクラック伝播径路 (RE30A2-1)

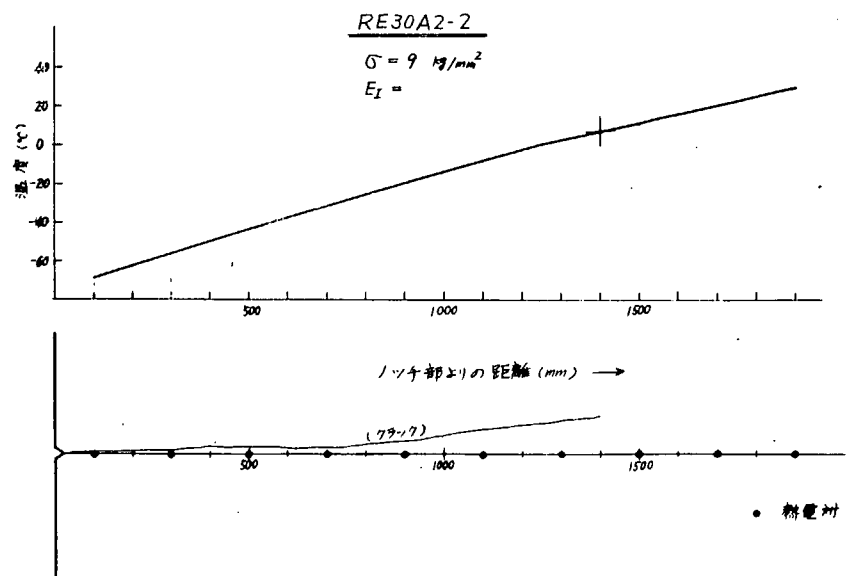


図 3. 2. 7 (10) 温度分布とクラック伝播径路 (RE30A2-2)

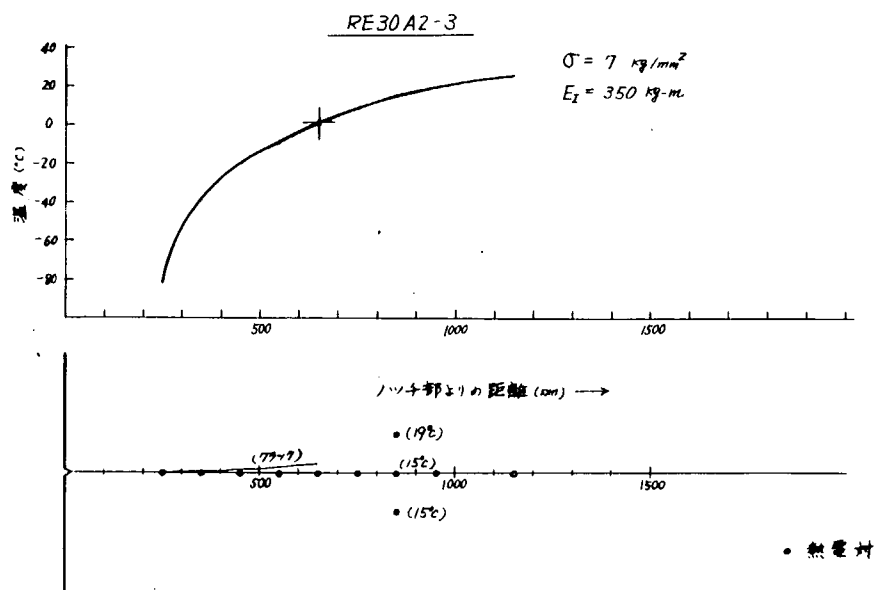


図 3. 2. 7 (11) 温度分布とクラック伝播径路 (RE30A2-3)

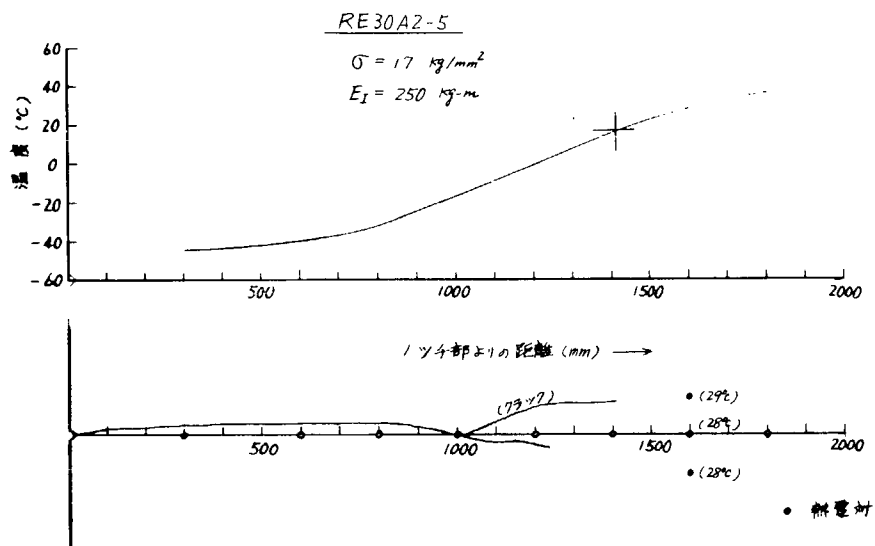


図 3. 2. 7 (12) 温度分布とクラック伝播経路 (RE30A2-5)

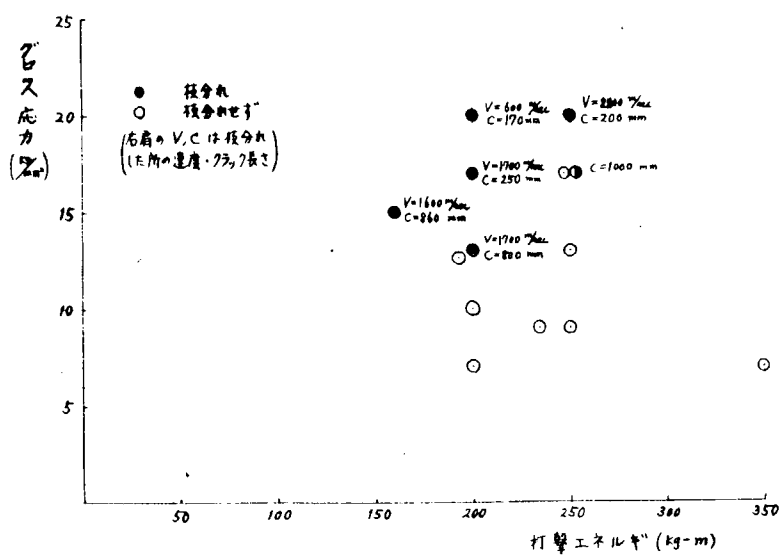


図 3. 2. 8

3.3 広幅混成型破壊停止試験 (A-3)

3.3.1 研究目的

混成型の広幅試験片を用い、一様温度分布下での供試材の破壊停止特性値 (K_{IC} 値) を求め、標準サイズ温度勾配型二重引張試験や広幅温度勾配型 ESOO 試験より得られた結果と比較検討する。

3.3.2 供試材および試験片

供試材としてはクラック・スタータ材に船級協会規格の A 級鋼 (セミキルド鋼、板厚 30 mm) を用い、クラックアレスタ材に同 D・E 級鋼を用いる。

供試材の Mill Sheet による化学成分および機械的性質は表 3.1.1 に示す。

試験片形状および寸法は図 3.3.1 に示す通りである。

3.3.3 試験内容および方法

試験内容および方法はクラック伝播部の温度分布を平坦にするほかは、A-2 試験と同じなので省略する。

3.3.4 試験結果および考察

試験結果 (表 3.3.1) を A-2 試験結果と同じく、有効 K 値を計算して図示すると、図 3.2.4 のようになる。実験点は少ないが、A-2 試験による有効 K 値より小さな有効 K 値になるようである。

また、クラック伝播速度・動的応力・荷重変化の測定結果を図 3.3.2(1)~図 3.3.2(2) に示す。各試験片の温度分布と伝播径路は図 3.3.3(1)~図 3.3.3(3) に示す。

表 3.3.1 広幅混成型破壊停止試験結果 (A-3)

試験片符号	スターター 板幅 (mm)	アレスター 板幅 (mm)	グロス応力 (kg/mm ²)	アレスター 板温度 * (℃)	溶接ボンド における K (kg/mm ^{3/2} /mm)	備 考
RD30A3-1	1700	700	10	26 (24)	560	スタータ板中で停止
RD30A3-2	1700	700	13	26 (20)	730	ボンドで停止、枝分れ
RD30A3-3	1700	700	15	22 (20)	840	ボンドで停止、枝分れ

* () 内の数字は溶接ボンド部の温度

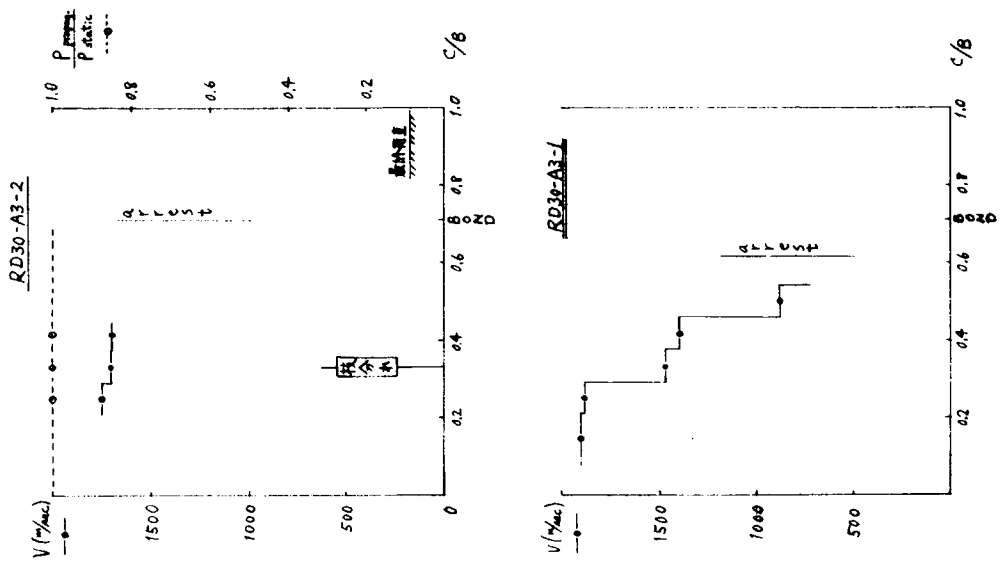


図 3. 2 (1) クラック伝播速度および荷重の動的变化

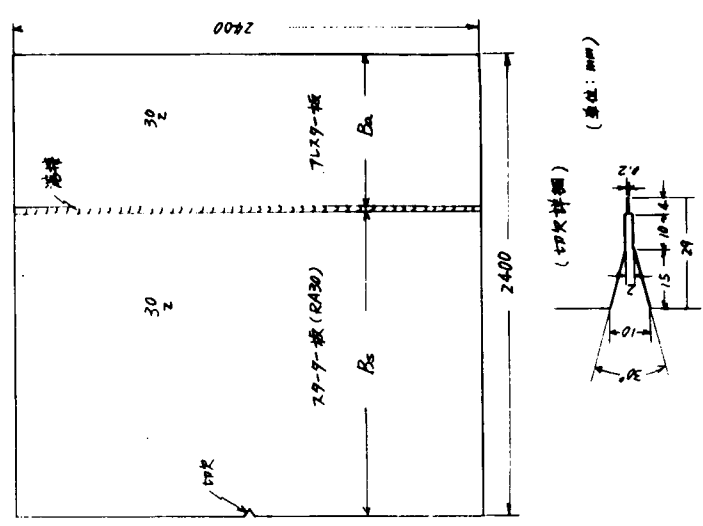


図 3. 3 1 試験片形状寸法 (A-3)

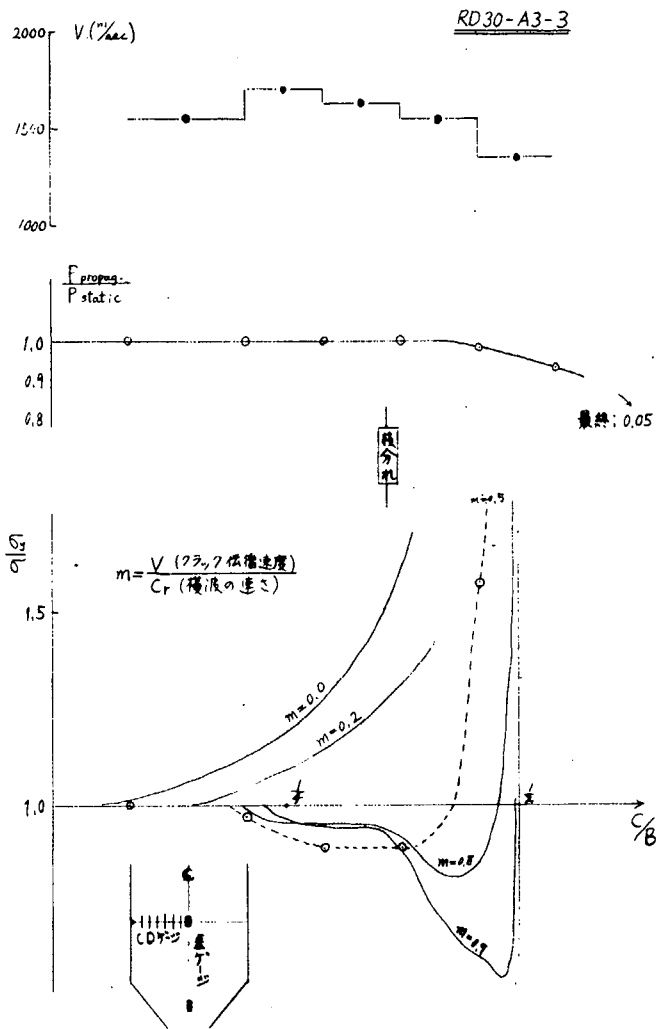


図 3. 2 (2) クラック伝播速度および荷重の動的变化

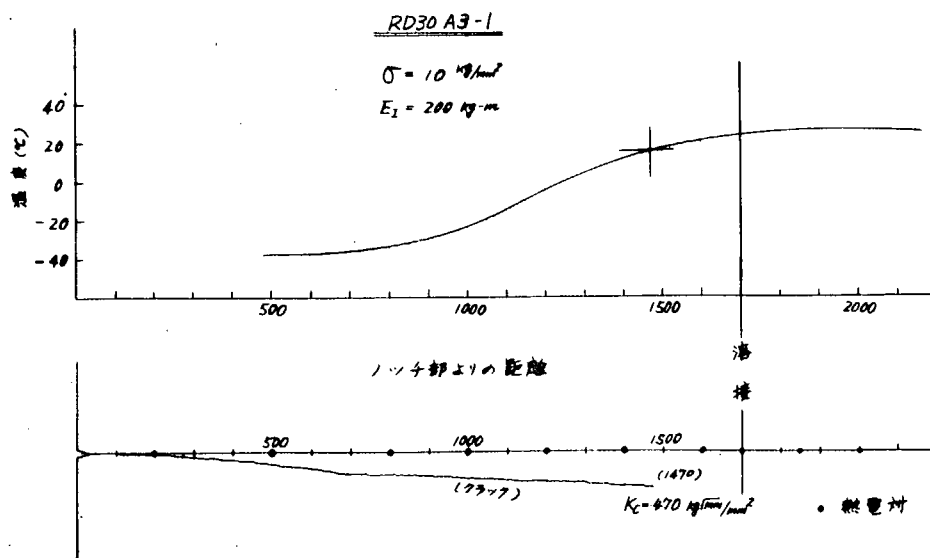


図 3. 3. 3 (1) 温度分布とクラック伝播経路 (RD30 A3-1)

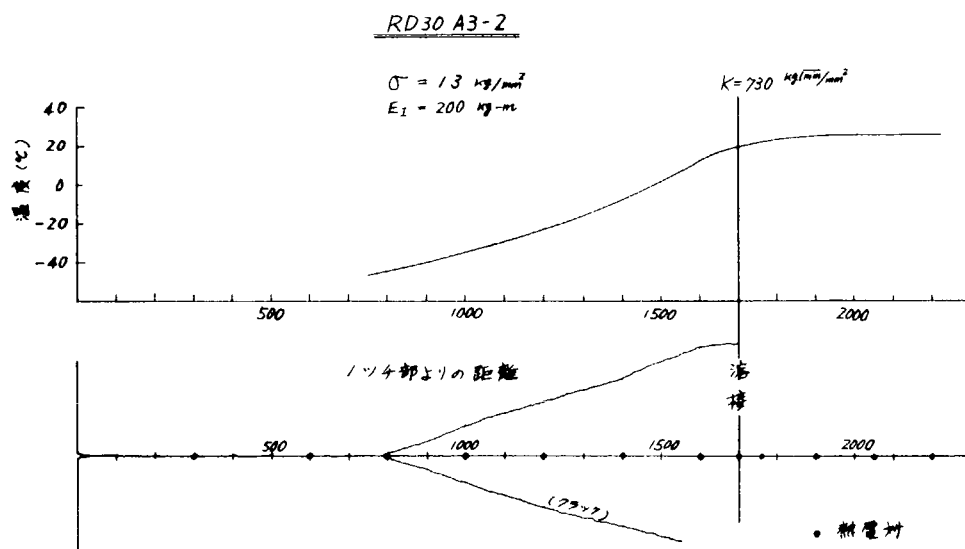


図 3. 3. 3(2) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A3-2)

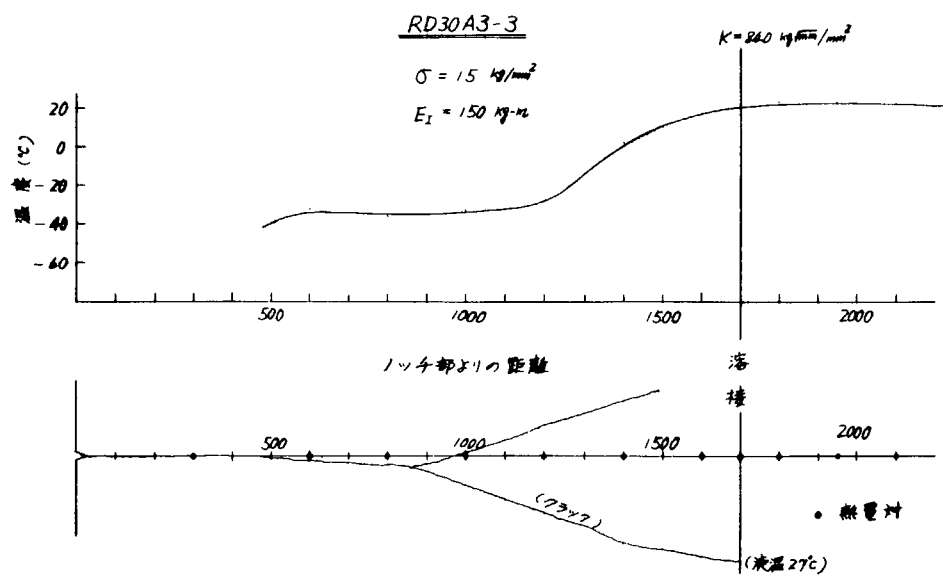


図 3. 3. 3(3) 温度分布とクラック伝播径路 (RD30A3-3)

3.4 力学的板厚効果試験 (A-4)

3.4.1 研究目的

広幅試験片により、原厚 50 mm から各種板厚まで機械的に切削したものについて破壊伝播停止特性値 (K_{IC} 値) を温度の関数として求め、広幅試験における板厚の力学的効果を調べる。

3.4.2 供試材および試験片

供試材は船級協会規格の E 級鋼 (焼準キルド鋼) で、圧延板厚は 50 mm である。供試材符号は NE50 とする。製鋼所から報告された供試材の化学成分および機械的性質を表 3.4.1 に示す。試験片の形状寸法は図 3.4.1 のとおりである。

3.4.3 試験内容および方法

原厚 50 mm のほか、機械切削による試験片板厚を 40 mm、30 mm および 20 mm に変え、それぞれについて温度勾配型の二重引張試験を行なった。使用した試験機は日本鋼管(株)技術研究所の 600 トン引張試験機である。

3.4.4 試験結果および考察

試験結果を表 3.4.2 および図 3.4.2 に示す。各試験片とも図 3.4.3 に示すような温度勾配を与えた。最終年度分も揃わなければ断定的な結論を下すわけにいかないが、今回得られた結果だけでも力学的板厚効果はかなり明らかであり、板厚 30 mm まで飽和するとみなすには若干問題が残りそうである。

表 3.4.1 供試材の化学成分および機械的性質

符号	鋼種	熱処理	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%) (Ladle)						機 械 的 性 質		
				C	Si	Mn	P	S	Cu	降 伏 点 (Kg/mm^2)	抗 張 力 (Kg/mm^2)	伸 び (%) G.L.=200 ^{mm}
NE50	E 級	Normalized	50	0.11	0.20	0.91	0.024	0.021	0.08	29.7	44.0	37.5
										29.4	43.6	55.5

表3.4.2 試 験 結 果

試 験 片 符 号	伝播部幅 B (mm)	グロス応力 σ (Kg/mm ²)	亀裂長さ C (mm)	停止温度 T (℃)	1,000/T (°K ⁻¹)	K _{IC} (Kg√mm/mm ^{3/2})
NE50A4-50-1	1,000	10	597	+20	3.42	520
NE50A4-50-2	1,000	5	107	-79	5.15	92.4
NE50A4-50-2'	500	15	270	+27	3.33	505
NE50A4-50-2''	500	7	235	-6	3.75	211
NE50A4-40-1	1,000	10	611	+19	3.42	535
NE50A4-40-2	1,000	5	77	-127	6.85	78.0
NE50A4-40-2'	500	10	76	-52	4.52	156
NE50A4-40-2''	500	7	153	-27	4.06	160
NE50A4-30-1	1,000	15	523	+11.5	3.52	695
NE50A4-30-2	1,000	10	65	-125	6.75	143
NE50A4-30-3	1,000	5	405	-26	4.05	192
NE50A4-30-2'	1,000	10	545	+9	3.55	480
NE50A4-20-1	1,000	25	364	-1	3.68	897
NE50A4-20-2	1,000	20	460	-1	3.68	840
NE50A4-20-3	1,000	10	261	-26	4.05	295
NE50A4-20-4	1,000	10	507	-4	3.72	452
NE50A4-20-5	1,000	5	153	-82	5.23	110.5

$$K_{IC} = \sigma \sqrt{2B \cdot \tan(\pi C / 2B)}$$

- 1) 試験片番号にダッシュが付いているものは計画外であり、これらは計画どおりの試験を終了した試験片を再生して実施した。
- 2) B=1,000mmのものはHT80の亀裂発生部を溶接して製作した大型二重引張試験片による。B=500mmのものは標準の二重引張試験片による。
- 3) 30℃-2' は30℃-2の加熱側を冷却側にきりかえて実施した。
- 4) 試験片符号の末尾第2項は試験片の板厚(mm)を表わす。

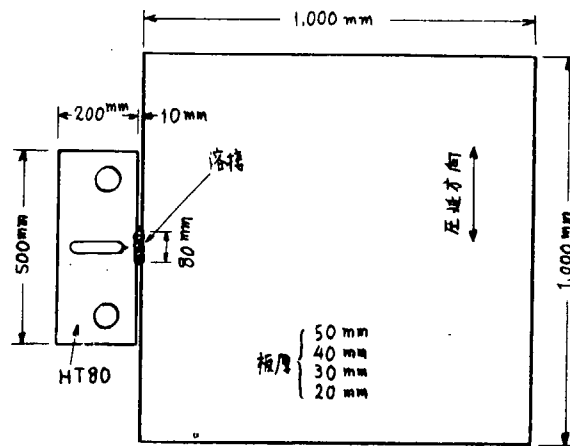


図 3.4.1 試験片形状寸法

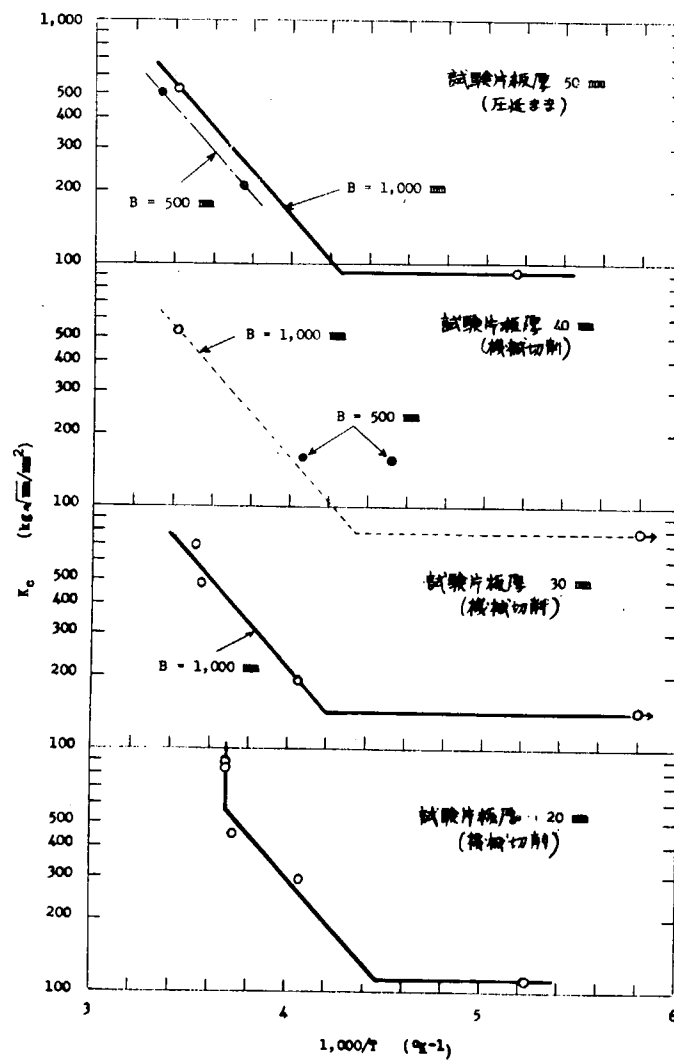


図 3.4.2 Kc 値と温度の関係 (NE50)

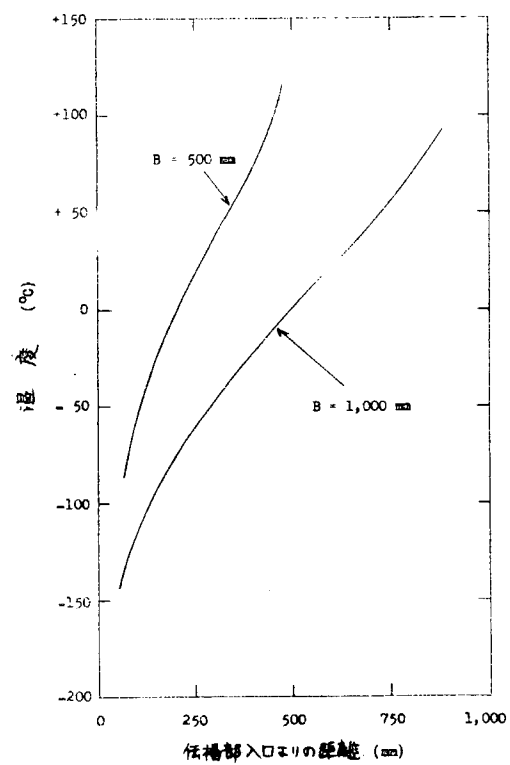


図 3. 4. 3 温度勾配の目標曲線

3.5 シャルビー試験

3.5.1 研究目的

供試材のシャルビー試験特性を求め、研究項目（A-1）および（A-2）の試験結果との関連を調べる。

3.5.2 供試材および試験片

供試材は、船級協会規格のE級鋼（キルド鋼・板厚30mm）、D級鋼（セミキルド鋼板厚30mm）およびA級鋼（セミキルド鋼・板厚30mm）である。

供試材の mill sheet による化学成分および機械的性質を表2.1.1に、試験片形状寸法を図3.5.1に示す。

3.5.3 試験内容および方法

図3.5.1の試験片を板厚30mmの供試鋼板より機械切削により作り通常のシャルビー試験を行ない、温度-吸収エネルギー、曲線、温度-脆性破面率曲線等を求める。

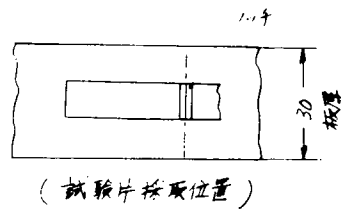
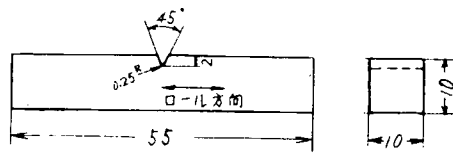
試験は、所定の試験温度に保たれたエチルアルコールまたは温水の中に試験片を5分以上浸漬したのち速やかに取り出し、30Kg-m容量のシャルビー試験で試験した。温度調整は、エチルアルコールはドライアイスで、温水は水中用ヒーターで行なった。

3.5.4 試験結果および考察

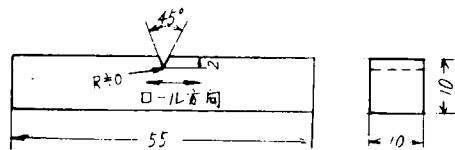
V・シャルビー（Vノッチ シャルビー）およびプレス・シャルビー（プレスノッチシャルビー）の温度-吸収エネルギー曲線および温度-脆性破面率曲線を図3.5.2に示す。また、これより求めた vT_{re} （Vシャルビー吸収エネルギー 遷移温度） vT_{rs} （Vシャルビー脆性破面遷移温度）および pT_c （プレスシャルビー脆性破面遷移温度）さらに鋼材の船級協会規格に関連して、 E_0 （Vシャルビーの0℃における吸収エネルギー）および E_{-10} （Vシャルビーの-10℃における吸収エネルギー）などの諸量を一括して表3.5.1に示した。

これらの結果から各供試鋼とも船級協会規格は十分満足していることがわかる。

V-シャルピー



プレスシャルピー



(単位 mm)

図 3.5.1 シャルピー試験片形状寸法

表 3.5.1 試験結果

供試材	V - シャルピー				プレスシャルピー	
	vTre (°C)	rTre (°C)	E ₀ (kg-m)	E ₋₁₀ (kg-m)	pTre (°C)	pTc (°C)
RE30	-32	-34	27	26	-5	-12
RA30	2	14	8	5	27	39
ND30	3	-4	6	4	20	12
RD30	-3	-4	14	9	22	15

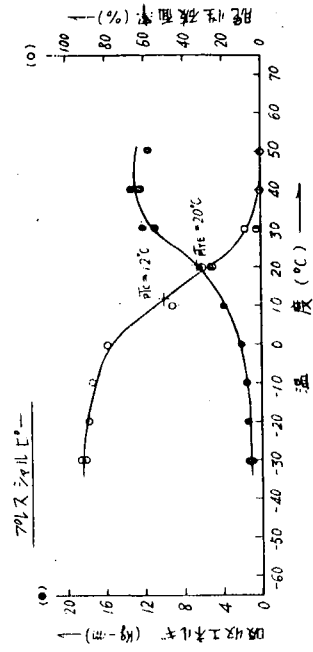
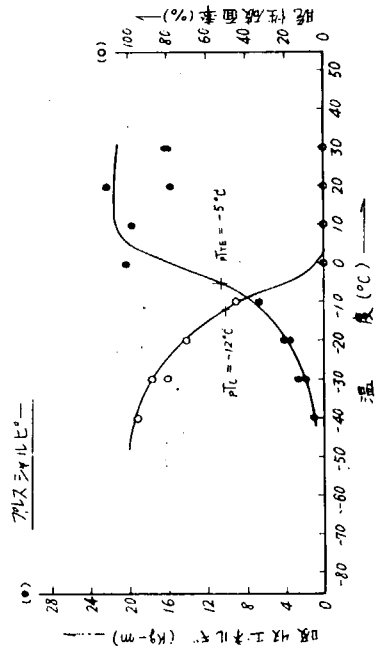
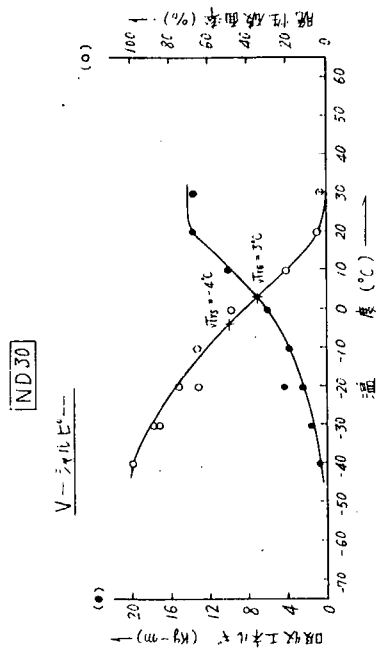
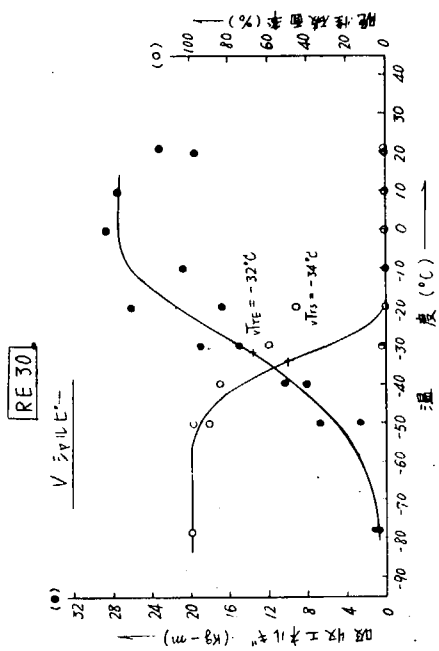


図 3. 5. 2(1) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係

図 3. 5. 2(2) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係

RD 30

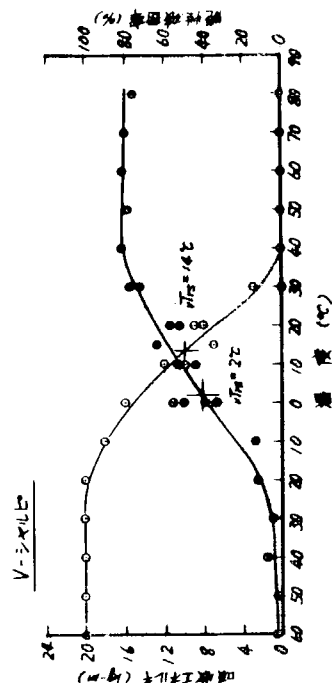
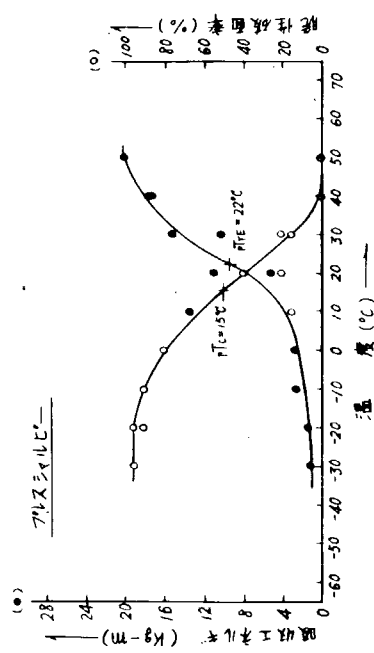
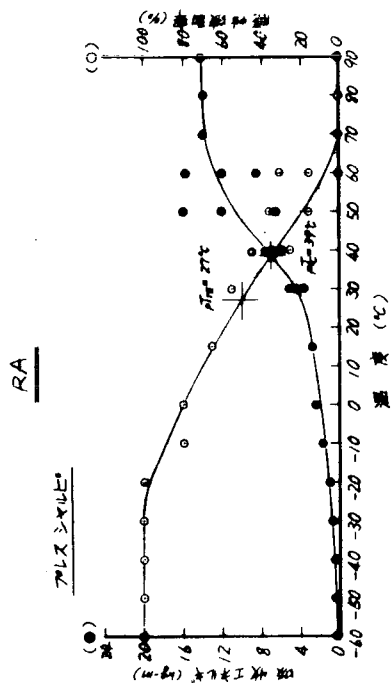
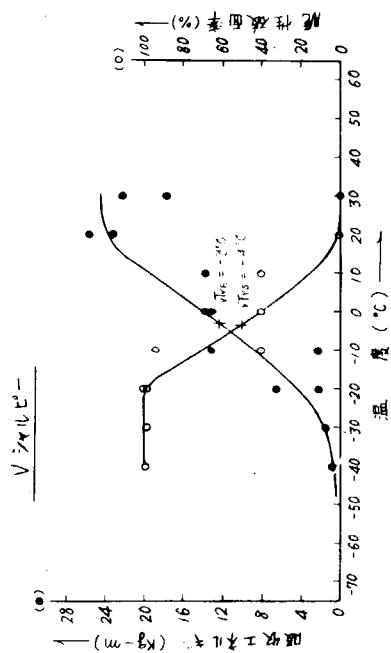


図 3.5.2(3) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係

図 3.5.2(4) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係 (RA 30)

4. 厚板溶接部の脆性破壊発生特性の研究

4.1 Before weld notch の縦溶接継手切欠広巾引張試験 (B-1)

4.1.1 研究目的

船舶の巨大化に伴って、板厚 40～50 mm の超厚鋼板の使用が考えられている。超厚鋼板の溶接は拘束度および冷却速度の大きい多層溶接となるので割れ等の欠陥を発生させやすい。また、板厚方向の拘束が大となるためわずかな欠陥からも脆性亀裂が発生する危険が大きい。このため、使用鋼板の脆性亀裂阻止特性とともに、溶接継手部や構造上の不連続部よりの脆性亀裂発生特性を研究することが重要となる。

脆性亀裂発生試験は以下のような多くの試験方法が研究されてきた。

切欠付縦継手広巾引張試験

切欠付十字継手 //

デューブノッチ試験

不連続部付広巾引張試験

角変形付 //

ESSO 試験

各種圧力容器模型内圧破壊試験

NRL 爆破ふくらし試験、落重試験

切欠付縦溶接継手広巾引張試験は高い溶接残留応力が存在し、材質的にも劣化した位置よりの脆性亀裂発生条件を調べるための試験法である。Wells により始められ、木原外によつて数多くの供試鋼について適用され、また試験条件についての検討がなされてきた。ここではこの試験方法を板厚 50 mm および 30 mm の巨大船用鋼板に適用し、これら鋼板の脆性破壊発生特性について検討を加えることを目的とした。

4.1.2 供試鋼材および試験片

供試材としては船級協会規格の D 級銅板厚 30 mm 1 銅種および 50 mm 2 銅種、計 3 銅種を用いた。供試鋼の Mill sheet による化学成分および機械的性質を表 4.1.1 および 4.1.2 に示した。

縦継手の溶接前の試験片形状を図 4.1.1 および 4.1.2 に示す。これらの図に示したごとく、脆性亀裂の発生する切欠は溶接前に加工しており、その先端半径は 0.1 mm を目標とした鋸切欠である。図 4.1.3 に示すように溶接完了後溶接継手中央にドリル孔を明け、このドリル孔と溶接前に加工した切欠との間の溶接金属を 2 mm 巾の鋸によつて切断している。

切欠先端は図 4.1.3 に示すごとく銅板表面に垂直な 2 つの直線となつている。これは切欠の加工を容易にすること、試験結果に対して Fracture mechanics 的なとりあつかいが容易となること、板厚の影響を検討しやすくすることを考えて行なつたものである。

図 4.1.2 に見られるごとく、板厚 30 mm の銅板においては溶接開先の形状は通常施工の場合の溶接開先とかなり異なつたものである。これは切欠長さを板厚 50 mm の場合と同一とし、また切欠先端部の材質劣化の程度も同一に近くすることを考えたからである。切欠の長さを全巾 36 mm (半巾 18 mm) としたのは、木原外の研究によればこの長さ付近がもつとも脆性破壊を発生しやすい位置と考えられていることによる。

継手の溶接に使用した溶接棒は市販の神鋼 B 17 であり、その化学成分および機械的性質を表 4.1.3 に示した。初層は 4 mm ϕ 、他は 5 mm ϕ を使用し、裏はつりはグラインダで行なつた。表裏の溶接順序はとくに定めず、角変形を最少に止めることを第一として溶接を行なつた。

実験を行なう際の試験片最終状態形状を図 4.1.4 に示した。

4.1.3 試験内容および方法

本研究の実験は板厚 50 mm の試験片の場合は船舶技術研究所の 4,000 トン引張試験機、厚さ 30 mm の試験片は富士製鉄中央研究所の 2,000 トン引張試験機を使用して実施した。これらの試験機を図 4.1.5、4.1.6 および写真 4.1.1 に示す。試験片の冷却にはドライアイスとアルコールを使用し、冷却槽は計 4 個を使用した。(写真 4.1.2) 亀裂伝播予定線の上に数個の熱電対をとりつけ、多点の自動打点式記録計によつて温度計測を行なつた。

伸びの計測は標点距離約 1 m で実施し、荷重の上昇に伴う伸量の計測を行なつた。

4.1.4 試験結果および考察

供試鋼 RDB 30、ND50A および ND50B について切欠付縦溶接継手引張試験の結果を表 4.1.4～表 4.1.6 に示す。これらの結果を横軸温度、縦軸応力の図上に示したものが図 4.1.7～図 4.1.9 である。

図 4.1.7 に見られるごとく RDB30 鋼においては +10℃ 以下の温度において低荷重における 1 次脆性亀裂の発生を見ており、これらの温度、応力条件をぬりつぶした記号で示した。また、これら各記号の横の数字は 1 次亀裂全長を mm で表わしたものである。

1 次亀裂発生の後かなり高い荷重を加えて後 2 次亀裂が発生しており、これらの温度、応力条件(応力は Net)を白ぬきの記号で示した。これらにつけた S および B は 2 次破壊が延性破壊であるか、脆性破壊であるかを示したものである。なお、今回の実験では脆性亀裂が発生、停止を繰返すという多段破壊の様相は見られず、いずれも 2 次破壊が最終破壊となつている。

図 4.1.7 に見られるごとく、一次亀裂の発生荷重は切欠長さの長い場合が低くなつてはいるが、立上りの温度は逆の実験結果となり、温度 +10℃ では切欠長さ 30 mm の短い切欠の場合のみが低荷重の一次亀裂を発生させている。この理由として切欠長さ 30 mm の場合の方が切欠先端部の材質的劣化の程度が大きいとも推測されるが、今回の程度の試験片数を考えれば立上りの温度は一括して 0℃ から 10℃ の範囲にあるものとする方が妥当であろう。

2 次破壊における破面遷移は図 4.1.7 よりみて -10℃ 程度と考えられる。従来の実験結果では立上りの温度は 2 次破壊の破面遷移温度より低温側にくるのが普通であるが、今回の RDB30 鋼はさらに高温側においても低応力で 1 次脆性亀裂を発生させており、この点で特異な性質を持つものと言えよう。

図 4.1.8 および図 4.1.9 に示した ND50A および ND50B の試験結果は全く対称的なものであつた。RDB30 鋼のごとく 1 次亀裂の発生と急激な立上りの現象は見られず破断応力は温度の上昇とともにゆるやかに上昇している。比較的高温度の試験で破面に延性破面部分脆性破面部分がともに表われる際には切欠底部よりまず延性破壊が発生し、延性破壊がある距離進展して後、脆性破壊が発生し、二次破壊において延性破壊を示すのと全く逆であつた。

図 4.1.8 よりみて ND50A 鋼が完全に脆性破面を示すようになる温度は -30℃ ～ -40℃ 程度と思われる。

図 4.1.9 の ND50B 鋼の場合には切欠長さ 50 mm の一枚が -24℃ で完全な脆性破面を示しており、切欠長さ 40 mm の場合 50 mm の場合との共通な破面遷移温度を決定し難い。なお、ND50B 材切欠長さ 50 mm の場合には延性破面が脆性破面へ転移する破面形式は見られなかつた。

図 4.1.8 および図 4.1.9 を総合して切欠長さが長くなるほど破壊強度は低下し、遷移温度は高温側へ移動するものと考えてよいようである。写真 4.1.3～4.1.5 は ND50B の破面の一例を示した。

表 4.1.7 および図 4.1.10～図 4.1.12 にシャルピー試験の結果を総括した。これらのうち ND50B 鋼についてのものが追加実施した試験の結果であり、RDB30 および ND50A についての結果は前回の報告および今回の報告の 4.2 章を引用したものである。

表 4. 1. 8 および図 4. 1. 1 3～図 4. 1. 1 4 において従来実施された試験の結果と今回の試験結果とを比較を試みた。

図 4. 1. 1 3 および図 4. 1. 1 4 の横軸 $1/2\sigma_y T_r$ は切欠付縦継手広巾引張試験における立上りの遷移曲線を室温における降伏点の $1/2$ の応力で切った点の温度である。図 4. 1. 1 3 の縦軸はシャルピー試験の破面遷移温度、

図 4. 1. 1 4 の場合は $15ft - 1bs$ 遷移温度であるが、ND50A および B 材については溶接継手シャルピー試験結果のうち溶接線よりもつとも離れた位置の試験結果を用いた。同シャルピー試験片は C 方向に採取した試験片についてのものであるが、すべてのシャルピー試験結果の得られている RDB30 鋼についてのデータより推定してこの代用はそう大きな誤差を生むものではないと考えた。

図 4. 1. 1 3 および図 4. 1. 1 4 よりみて ND50A および B 材はシャルピー試験結果からの推定に対し大形試験においてはより優れた性能を示し、RDB30 の場合は逆であることがわかる。RDB30 鋼の場合ミルシートに記された L 方向衝撃値は 0°C において 10Kg-m であり、この鋼材が $0^{\circ}\text{C} \sim 10^{\circ}\text{C}$ の温度においてなお低応力で脆性亀裂を発生させていることは検討を要する重要な試験結果とすることができる。

表 4. 1. 1 供 試 鋼 の 化 学 成 分 (%)

符 号	鋼 種	板厚 mm	方 向	C	Si	Mn	P	S	Al
RDB30	D 級	30	Ladle	0.16	0.03	1.00	0.014	0.021	—
			Check	0.18	0.02	1.10	0.014	0.024	0.003
ND50 (A)	D 級	50	Ladle	0.11	0.26	0.92	0.014	0.022	—
ND50 (B)	D 級	50	Ladle	0.13	0.28	1.03	0.012	0.016	—

表 4. 1. 2 供 試 鋼 の 機 械 的 性 質

板厚 mm	方 向	降 伏 点 kg/mm^2	引張強さ kg/mm^2	伸 び %	E_o kg-m	vT_E $^{\circ}\text{C}$	vT_S $^{\circ}\text{C}$	vT_{15} $^{\circ}\text{C}$
30	L	27.2	44.2	31	10.0	-6	-10	-24
	C	27.1	44.6	28	4.0	-2	-2	-20
50	L	27.4	43.0	35.3	21.0			
50	L	33.1	47.9	30.4	21.0			

表 4.1.3 使用溶接棒溶着金屬の化学成分と機械的性質

銘柄	規格	化 学 成 分 (%)				機 械 的 性 質		
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (Kg/mm ²)	伸び (%)
B17	JISD4301	0.08	0.08	0.44	0.014	0.011	42	31
								13

表 4.1.4 切欠広巾引張試験 (RDB30 鋼)

試験片 No.	ノッチ長さ mm	試験温度 °C	1次発生荷重 (脆性破壊) TON	破断荷重 (2次発生荷重) TON	最 高 荷 重 TON	1次発生応力 Kg/mm ²		破断応力 Kg/mm ² (Net)	引張強さ Kg/mm ²		伸 び mm (G.L 1000)
						Gross	Net		Gross	Net	
1	32.0	-41	150	690	-	6.3	6.5	34.9	(28.8)	-	2.5
2	31.0	- 0.5	300	-	975	12.5	13.0	-	40.6	43.0	84.0
3	31.6	-20	160	490	-	6.6	6.9	34.0	(20.3)	-	4.8
4	32.6	+20	-	-	880	-	-	-	36.0	37.6	87.0
5	31.2	-60	300	-	-	12.3	12.4	-	(12.3)	-	0.3
6	31.9	+10	100	-	865	4.0	4.2	-	34.9	36.7	69.4
7	40.0	-20.5	110	530	-	4.5	4.7	34.1	(21.7)	-	1.2
8	39.4	-40	80	520	-	3.3	3.5	34.4	(21.3)	-	1.3
9	41.5	-60	45	300	-	1.8	2.0	38.9	(12.3)	-	1.0
10	40.3	+19.5	-	-	890	-	-	-	36.4	38.4	78.0
11	41.0	0	100	-	890	4.1	4.3	-	36.6	39.3	69.6
12	42.4	+10	-	-	910	-	-	-	37.6	39.6	82.6

表 4.1.5 切欠広巾引張試験結果 (ND50A鋼)

試験片 番号	試験片形状			断面積 mm ²	ノッチ長さ mm	試験温度 ℃	破断荷重 TON	最高荷重 TON	引張強さ kg/mm ²		伸び mm GL.950	備考
	板厚 mm	板幅 mm							GROSS	NET		
1	50.5	800.5		40413	33.0	-43	1020		25.2	26.3	1.3	
2	50.4	804.7		40534	31.0	0		1330	32.9	34.2	85.0	
3	50.9	809.0		41178	30.8	-65.5	670		16.4	16.9	1.3	
4	50.8	805.0		40894	30.4	-20		1340	32.7	34.1		
5	50.6	806.0		40784	30.3	-30	1270		31.2	32.4	50.0	
6	50.8	805.0		40894	33.3	-72	860		20.9	21.9	1.0	
7	50.5	801.8		40491	40.9	-26		1000	24.3	26.1	6.5	
8	51.0	802.0		40902	43.0	-4	1000		24.5	25.8	4.2	
9	51.0	805.0		41055	41.5	13		1300	31.6	33.4	73.6	
10	50.7	800.0		40560	43.0	-52	380		9.4	9.9	0.35	
11	50.8	806.0		40945	42.1	-37	450		10.9	11.6	0.33	

表 4. 1. 6 切欠広巾引張試験結果 (ND50B鋼)

試験片 No.	試験片形状		断面積 mm ²	ノッチ長さ mm	試験温度 ℃	破断荷重 TON	最高荷重 TON	引張強さ Kg/mm ²		伸び mm GL. 950	備考
	板厚 mm	板幅 mm						Gross	NET		
B-12	51.0	801.0	40851	53.2	+16		1460	35.7	38.3	87.6	
B-13	50.9	802.5	40847	52.8	-47	1260		30.8	33.0	0.80	
B-14	50.7	802.5	40687	53.5	-70	560		13.7	14.8	0.20	
B-15	50.9	794.0	40478	52.9	-24	1090		26.9	29.8	0.79	
B-16	51.3	804.0	41205	51.7	-55	1350		29.8	31.8	1.46	
B-17	50.9	796.0	40516	42.5	-27	1460		36.0	38.1	27.1	
B-18	50.6	801.3	40143	44.5	-42	1480		36.9	39.1	21.4	
B-19	50.4	796.0	40118	39.5	-69	910		22.7	23.8	0.43	
B-20	50.9	804.0	40924	40.3	-55	1280		31.3	32.9	0.56	
B-21	51.4	803.0	41314	39.9	-90	660		15.8	16.7	0.42	
B-22	50.9	804.0	40883	39.0	-38.7	1300		31.8	33.5	1.0	
B-23	51.0	801.5	40877	43.5	+27		1500	36.7	38.7	79.3	

表 4. 1. 7 各位置での各種遷移温度一覧表

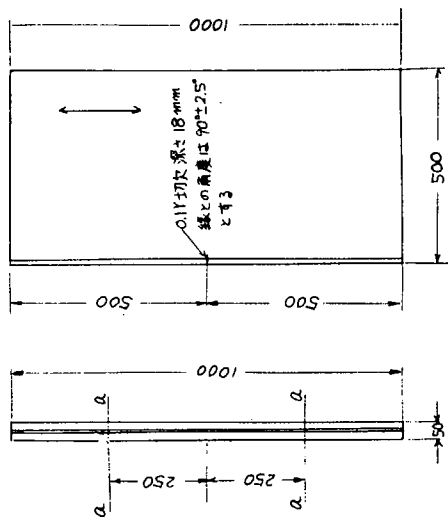
符 号	板厚mm	(*) 位置種別	v_{Tr15}^T ℃	v_{TrE}^T ℃	v_{Trs}^T ℃	$v_{Tr\phi}^T$ ℃	v_{EO}^T Kg-m	v_{E-10}^T Kg-m
ND50 (A)	50	1	-59	-26	-27	-22	7.9	6.8
		2	5	23	40	28	1.7	1.1
		3	2	19	35	22	1.9	1.2
		4	-12	9	23	14	3.2	2.3
		5	-13	8	33	12	3.3	2.3
		6	-12	-2	23	-2	3.8	2.4
ND50(B)	50	1	-37	-11.5	-10	-41.5	7.0	5.3
		2	-58.5	-24.5	-10	-39	10.55	9.25
		3	-64	-24.5	-12	-41	11.4	9.7
		4	-55	-21	-6	-36	11.45	9.7
		5	-70	-26	-10	-38	12.25	10.25
		6	-68	-36.5	-14	-39	12.1	10.95
RDB30	30	1	-64	-21	-14	-28	4.8	5.9
		2	-4	19	21	14	2.1	1.8
		3	-6	13	17	3	2.3	1.7
		4	-10	3	11	3	3.0	2.1
		5	-19	-4	4	-1	3.8	2.9
		6	-21	-7	2	-12	4.2	3.1

(*)

1. 溶接金属中央
2. ボンド
3. 溶接金属の中心より 2.5 mmはなれた位置
4. 溶接金属の中心より 2.7 mmはなれた位置
5. 溶接金属の中心より 3.1.5 mmはなれた位置
6. 溶接金属の中心より 3.6 mmはなれた位置

表4.1.8 各鋼種における $1/2\sigma_y Tr$ 及び $vTrs \cdot vTr15$ の関係

NO	Codo of Steel	Notch Toughness		Crilerion (C) $\sigma_y/2 Tr$	NO	Codo of Steel	Notch Toughness		Crilerion (C) $\sigma_y/2 Tr$
		vTrs	vTr15				vTrs	vTr15	
1	A	50	22	20	17	NA	-60	-106	-157
2	B	55	24	20	18	KA	-100	-116	-168
3	C	32	8	0	19	ND50A b=30	23	-12	
4	A-2	()	()	0	20	ND50A b=40	23	-12	-34
5	SS	48	29	43	21	ND50B b=40	-14	-68	-89
6	P	26	17	10	22	ND50B b=50	-14	-68	-70
7	Q	-6	-18	-5	23	RDB30 b=30	2	-21	10
8	R	-31	-72	-	24	RDB30 b=40	2	-21	0
9	S	-27	-43	-23					
10	T	-59	-68	-					
11	XA	-60	-101	-150					
12	XB	-46	-89	-120					
13	YA	-46	-115	-126					
14	YB	-81	-108	-119					
15	ZA	-80	-109	-134					
16	ZB	47	2	40					



溶接前欠の詳細 鋼板にネリのあるときは
上図 a-a の位置において図示の寸法とする。

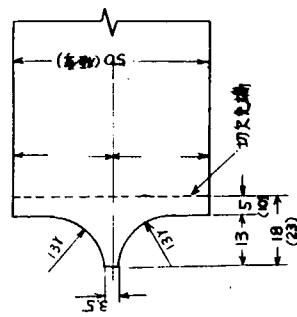
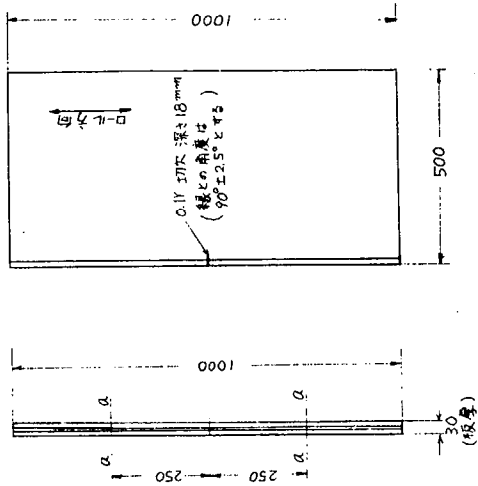


図 4. 1. 1 切欠付縦継手広巾引張試験片 (ND50 鋼)



溶接前欠の詳細 鋼板にネリのあるときは
上図 a-a の位置において図示の寸法とする。

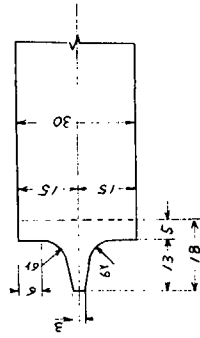


図 4. 1. 2 切欠付縦継手広巾引張試験片 (RDB 鋼)

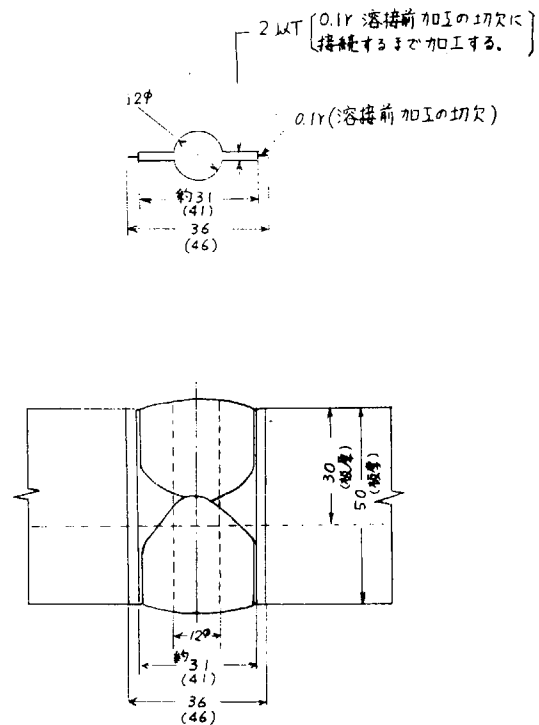


図 4. 1. 3 切欠付縦継手広巾引張試験片 2次切欠加工図
(RDB30鋼、ND50鋼)

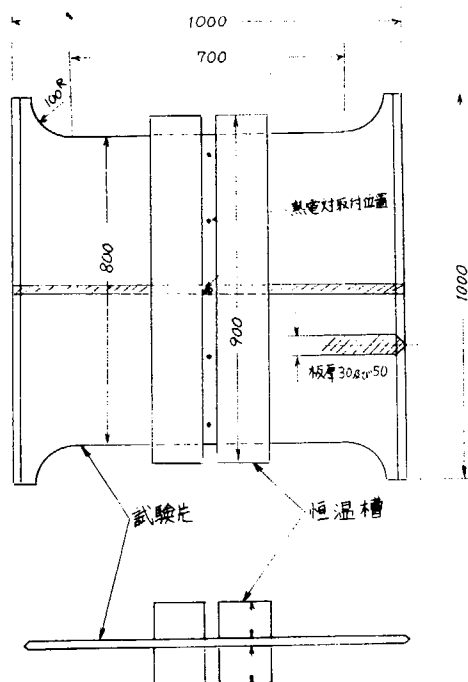


図 4. 1. 4 試験片、熱電対および恒温槽取り付け図 (ND50鋼)

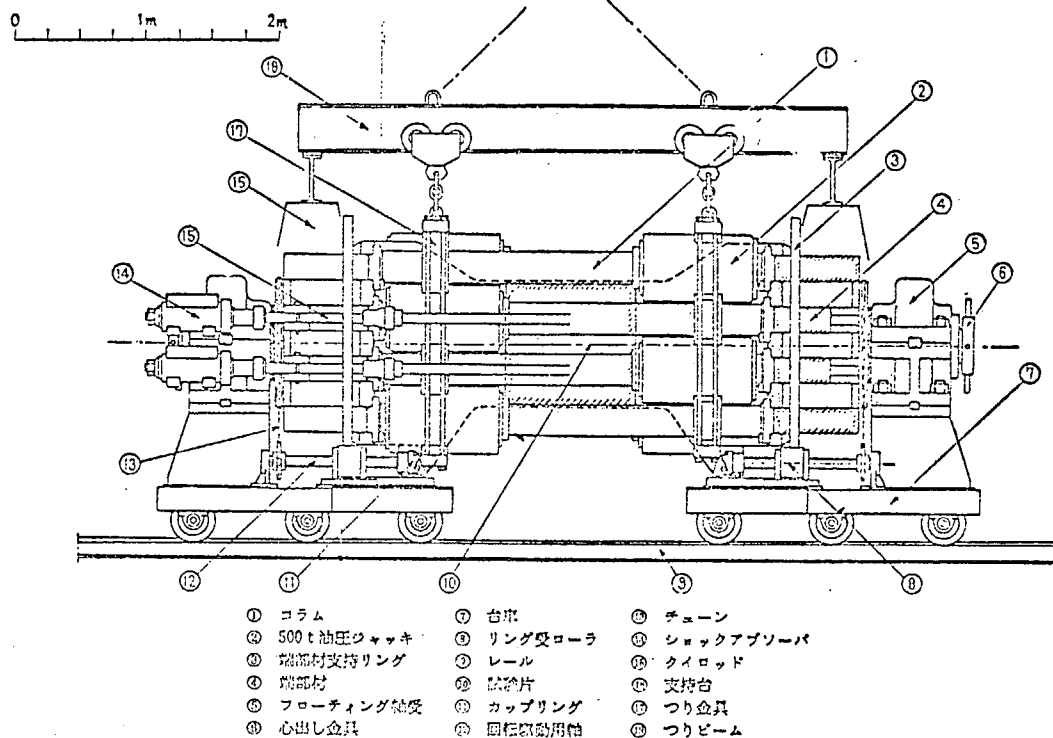


図 4.1.5 4000tテストリング側面図

型 式 横型4連ジャッキ

能 力

容 量 500 ton 4基
 ストローク 400 mm
 圧 力 約440 kg/cm²
 引張ピッチ 3,200 mm最大

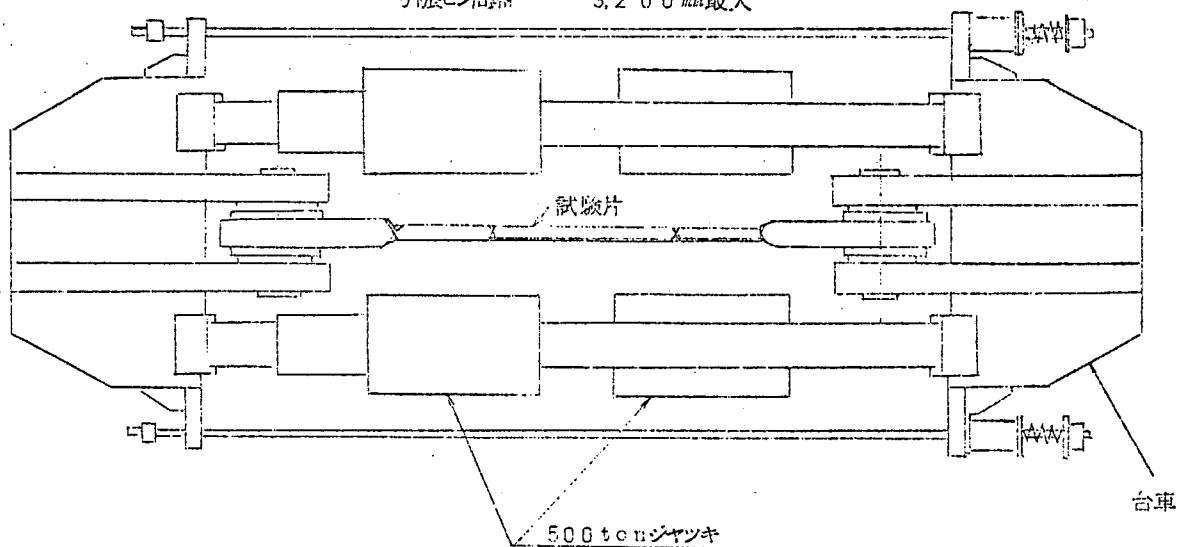


図 4.1.6 2000ton模型引張装置

RDB 30 鋼

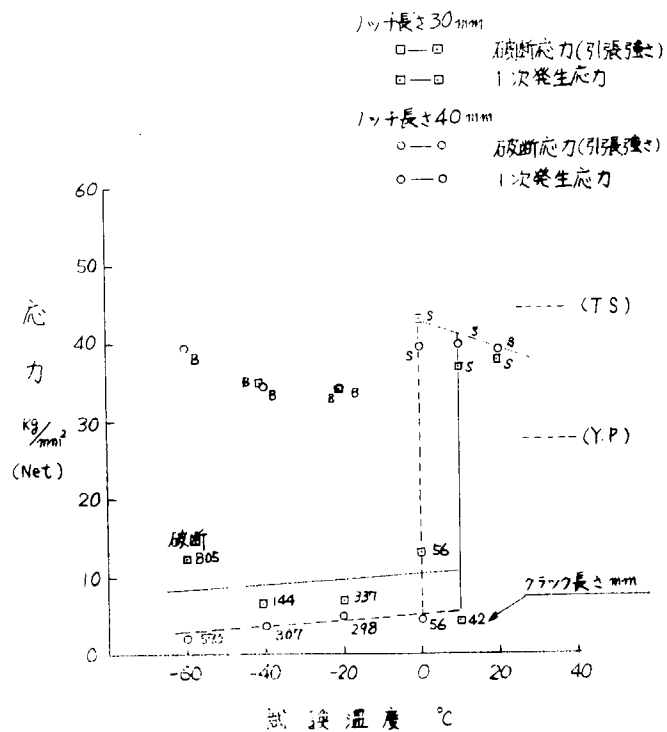


圖 4.1.7 応力—温度曲線

ND50A 鋼

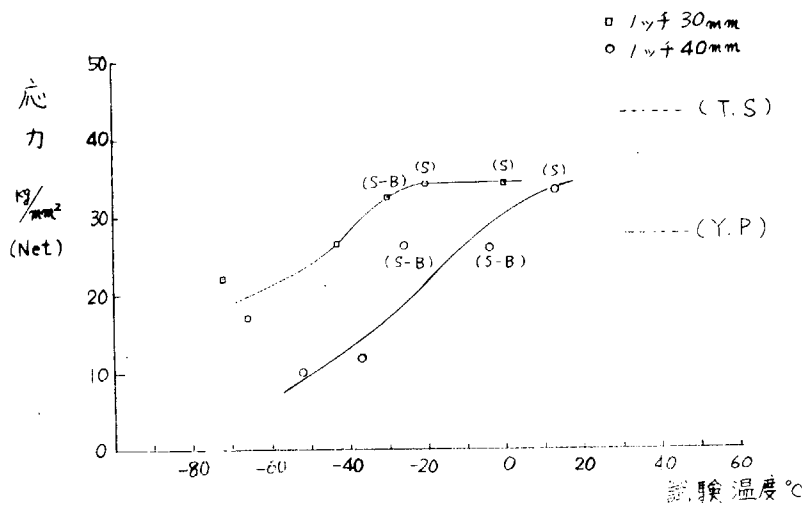


圖 4.1.8 応力—温度曲線

ND50B鋼

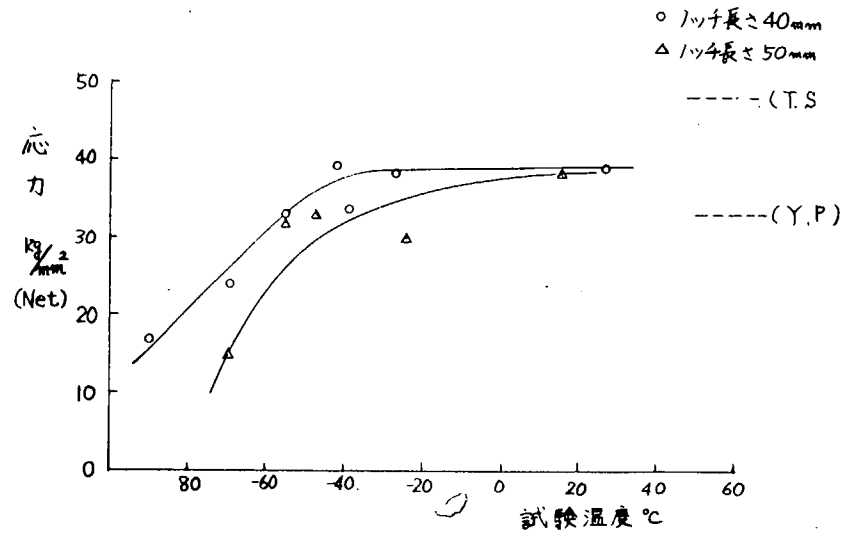


図 4. 1. 9 応力 — 温度曲線

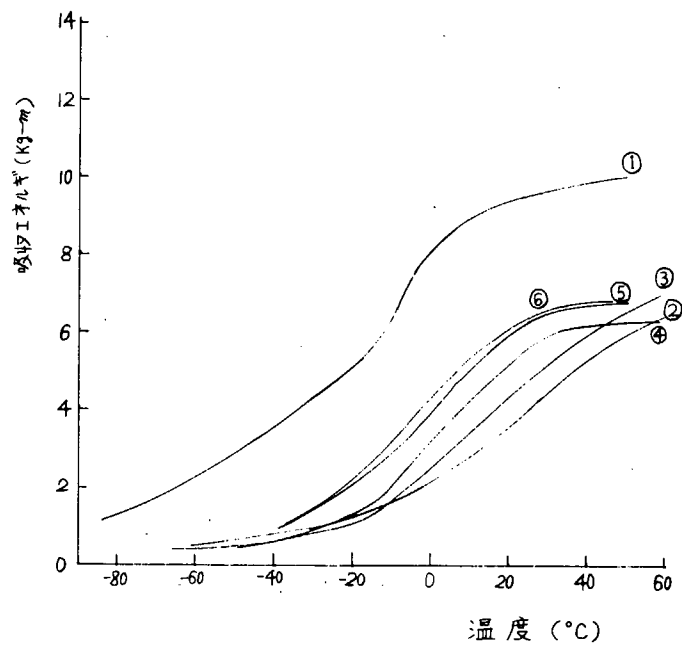


図 4. 1. 10 各位置での吸収エネルギー — 温度曲線の比較
RDB30 鋼

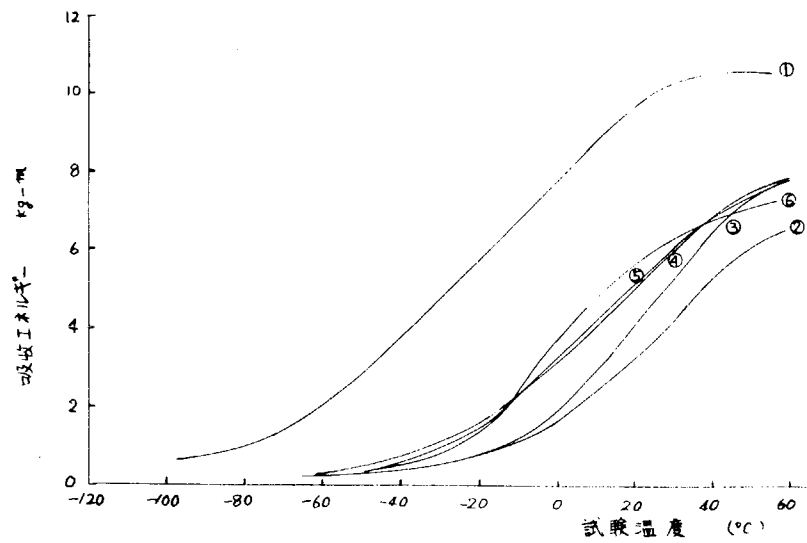


図 4.1.11 各位置での吸収エネルギー — 温度曲線の比較
ND50A 鋼

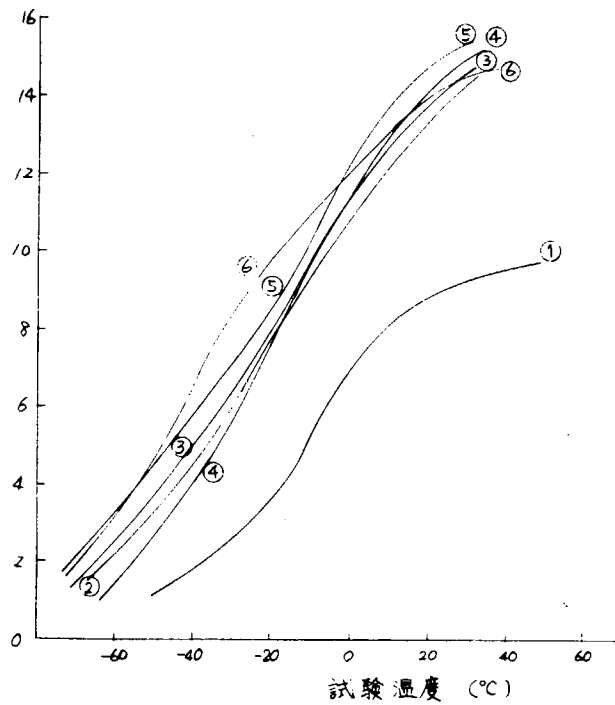


図 4.1.12 各位置での吸収エネルギー — 温度曲線の比較
ND50B 鋼

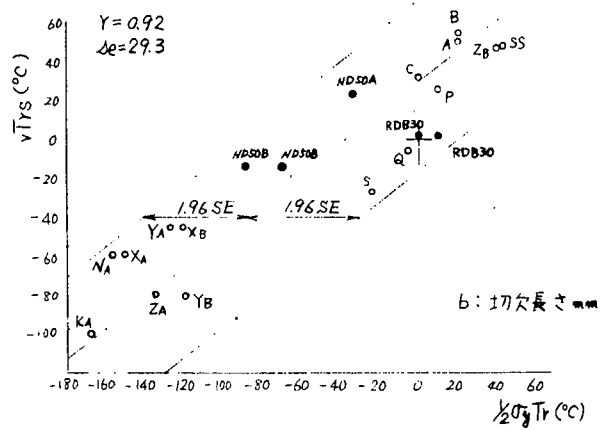


図 4. 1. 13 $1/2 \sigma_y Tr - vTrs$

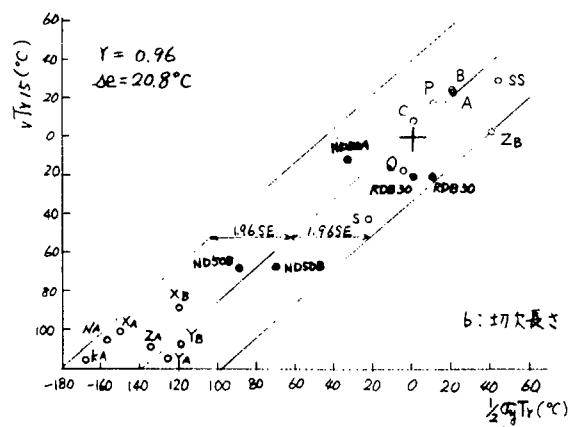


図 4. 1. 14 $1/2 \sigma_y Tr - vTr15$

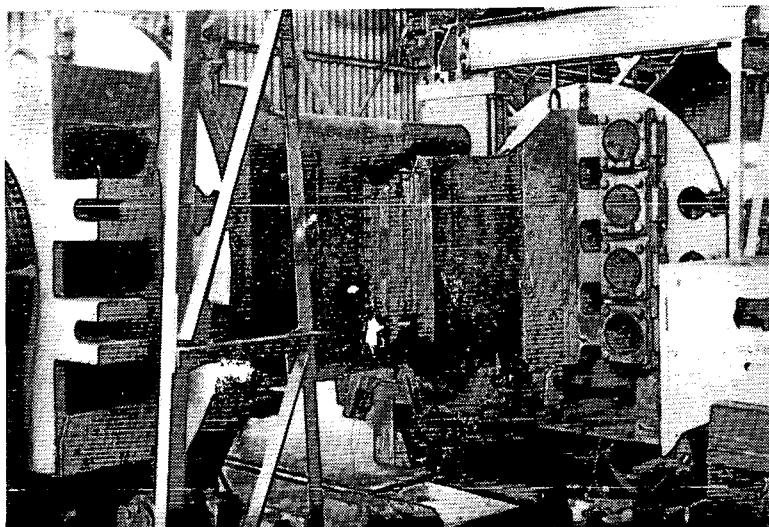


写真4.1.1 4000トンテストリグ(その1)

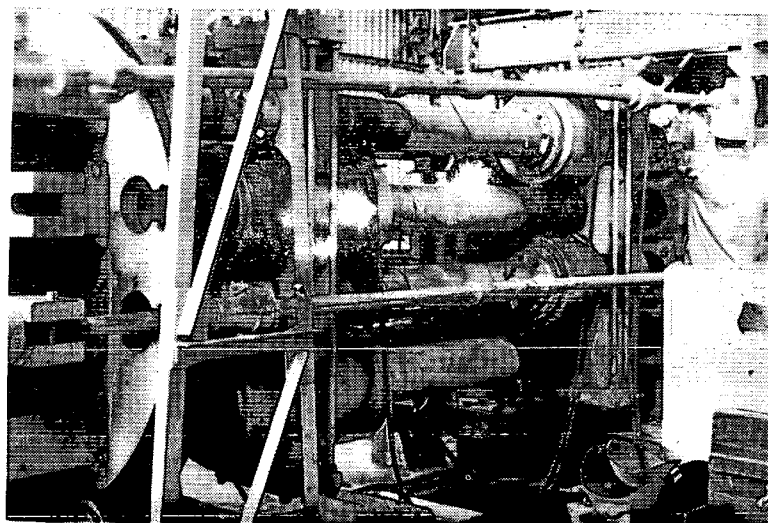


写真4.1.1 4000トンテストリグ(その2)

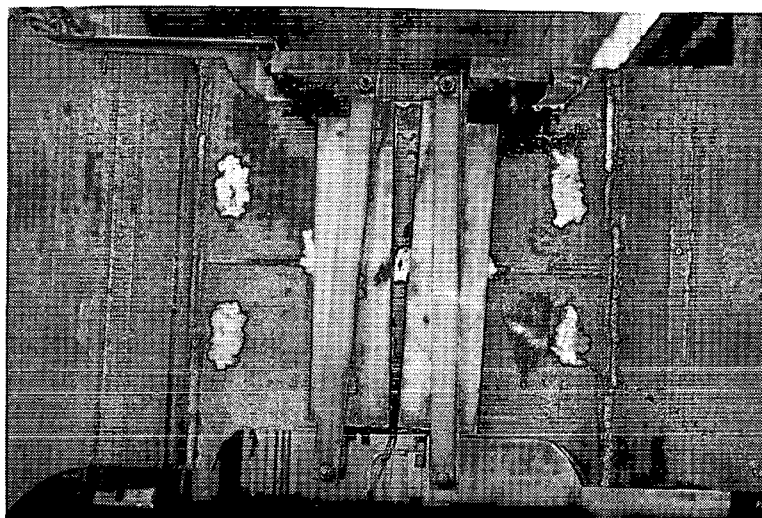


写真4.1.2 試験片に冷却槽を取り付けた状態

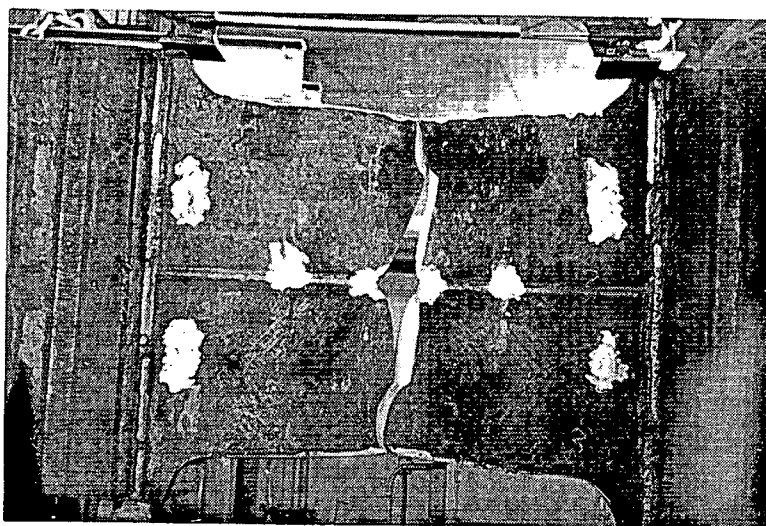


写真 4. 1. 3 試験破断状態

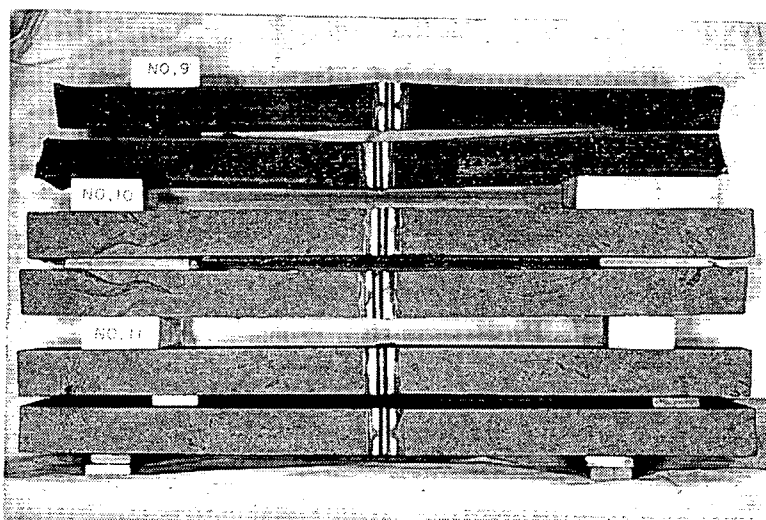


写真 4. 1. 4 試験片破断面

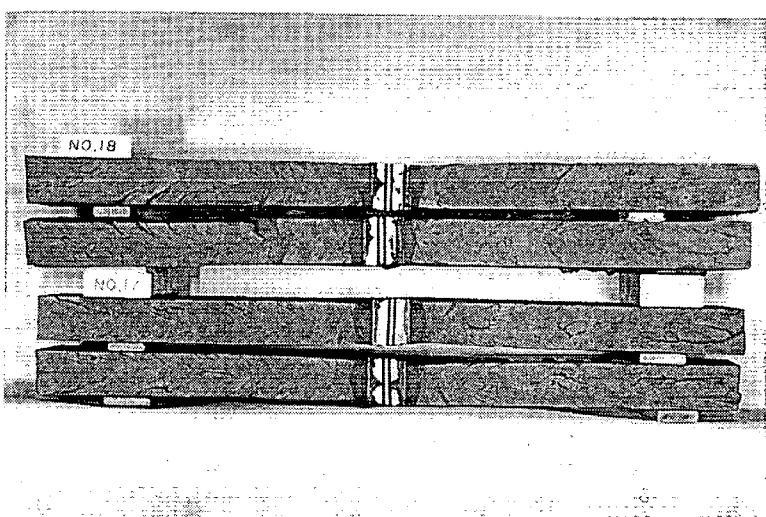


写真 4. 1. 5 試験片破断面

4.2 Vシャルビ試験 (B-3)

4.2.1 研究目的

B-1の切欠長さの決定のために、溶接継手部の切欠じん性の分布をしらべる。すなわち、溶接金属、ボンドおよびその近傍の種種の位置に切欠先端が位置するVシャルビー試験片について吸収エネルギーと温度の関係をもとめて脆化の最も著しい位置をしらべる。

4.2.2 供試材および試験片

本年度実験をおこなった供試材はD級鋼(キルド鋼、板厚50mm)のND50である。

供試材の化学成分および機械的性質を表4.2.1に示す。

表4.2.1 供試材の化学成分および機械的性質

符号	鋼種	熱処理	板厚 (mm)	化学成分(レートル)(%)				
				C	Si	Mn	P	S
ND50	D	Normalized	50	0.11	0.26	0.92	0.014	0.022

機械的性質		
降伏点 (Kg/mm ²)	抗張力 (Kg/mm ²)	伸び (%)
27.4	43.0	35.3

なお、試験片形状は図4.2.1に示す通りである。

4.2.3 試験内容および方法

供試鋼板に図4.2.2に示す開先をつけ、神戸製鋼所製の被覆アーク溶接棒B-17(4mm、5mmφ)をもちいて、初層は4mmφ、他は5mmφの溶接棒をもちいて溶接し溶接継手を作製する。溶接電流は4mm棒のとき120~180アンペア、5mm棒のとき170~250アンペアである。

ノッチ先端が図4.2.3に示すように溶接金属、圧延面でのボンド、それより45mm間隔の位置(記号①~⑥)にできるようにVシャルビー試験片をそれぞれ25本ずつ採取する。試験片の長さ方向が鋼板のロール方向に直角方向になるようにし、ノッチは板厚方向にいれる。

試験には容量30Kgのシャルビー衝撃試験機をもちいた試験片を所定の温度に保たれた恒温槽内にいれ10分以上浸漬したのち、すみやかに試験片をとりだして試験をおこなった。なお、冷剤としてドライアイスとエチルアルコールをもちいた。

4.2.4 試験結果および考察

所定の位置より採取した6種類の試験片について、種種の温度(60℃~-100℃)でVシャルビー試験をした。その結果について、吸収エネルギー、脆性破面率、そして横収縮率をもとめ、図4.2.4から図4.2.9に示す。なお、位置①ないし⑥の各吸収エネルギー温度曲線をまとめて、図4.2.10に、また、各位置の15ft・lb遷移温度、vTr15エネルギー遷移温度vTre、破面率遷移温度vTrs、横収縮率vTrφ、0℃における吸収エネルギーvE0、-10℃における吸収エネルギーvE-10を表4.2.2に示す。図より溶接熱サイクルにより最も脆化するのはボンド附近の位

置②および③が最も著しく遷移温度曲線は他の位置（④⑤⑥）より10℃以上高温に移行している。なお、ボンドから10mm以上はなれるとあまり影響がないようである。

結論として、本供試材で図4.2.2に示す開先形状の場合には前回（RDB30）と同様溶接熱サイクルによる最脆化部は余盛り趾端および趾端から4.5mmはなれた位置であることがわかった。

表 4. 2. 2 各位置での各種遷移温度一覧表

位 置 種 別	vTr15 ℃	vTrE ℃	vTrs ℃	vTr ϕ 2 ℃	vE0 Kg·m	vE-10 Kg·m
溶 接 金 属 ①	-59	-26	-27	-42	7.9	6.8
ボ ン ド ②	6	23	40	14	1.7	1.1
溶接金属の中心より22.5 mmはなれた位置 ③	2	19	35	9	1.9	1.2
溶接金属の中心より27mm はなれた位置 ④	-12	9	23	-1	3.2	2.3
溶接金属の中心より31.5 mmはなれた位置 ⑤	-13	8	33	-9	3.3	2.3
溶接金属の中心より36mm はなれた位置 ⑥	-12	-2	23	-16	3.8	2.4



図 4.2.1 V シヤルビ-試験片形状

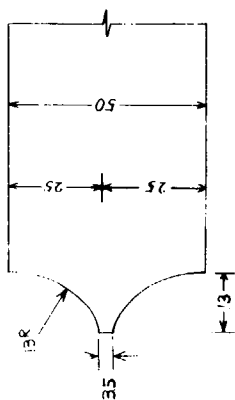


図 4.2.2 開先形状

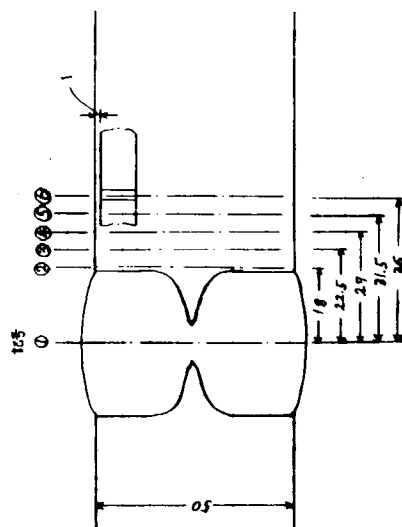


図 4.2.3 V シヤルビ-試験片採取位置

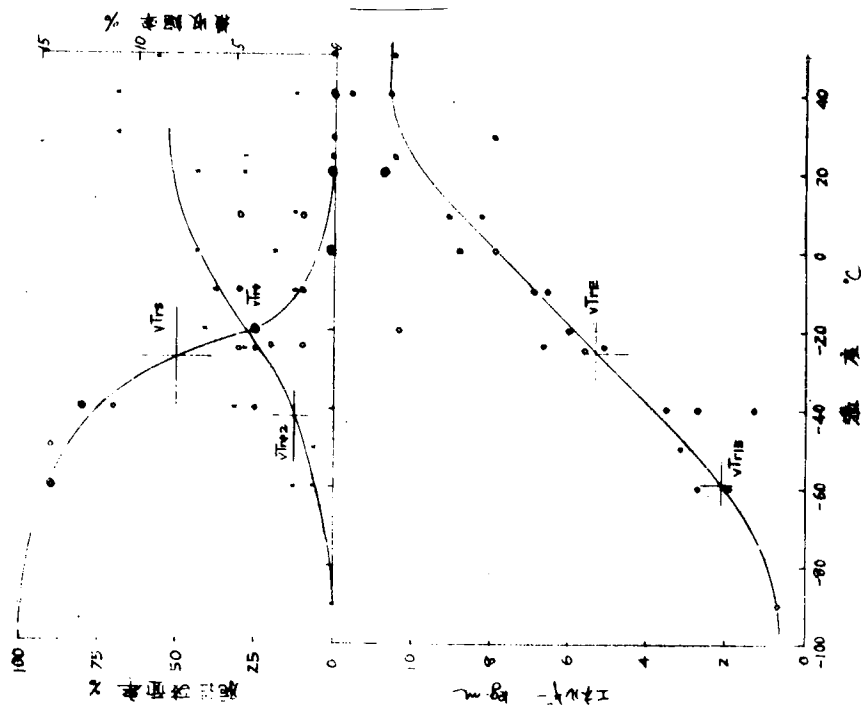


図 4.2.4 溶接金属 (①) の遷移曲線

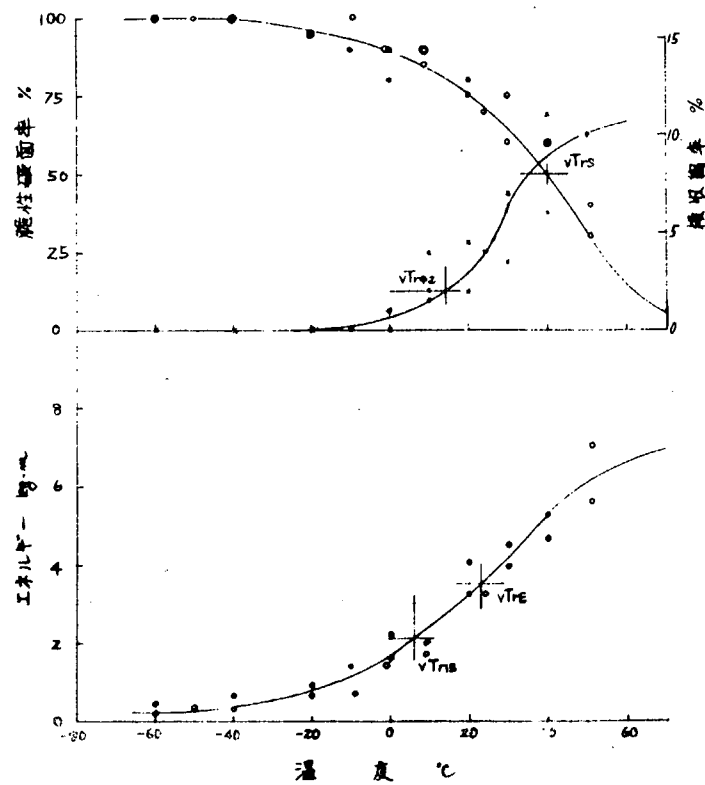


図 4.2.5 サンプル (②) の遷移曲線

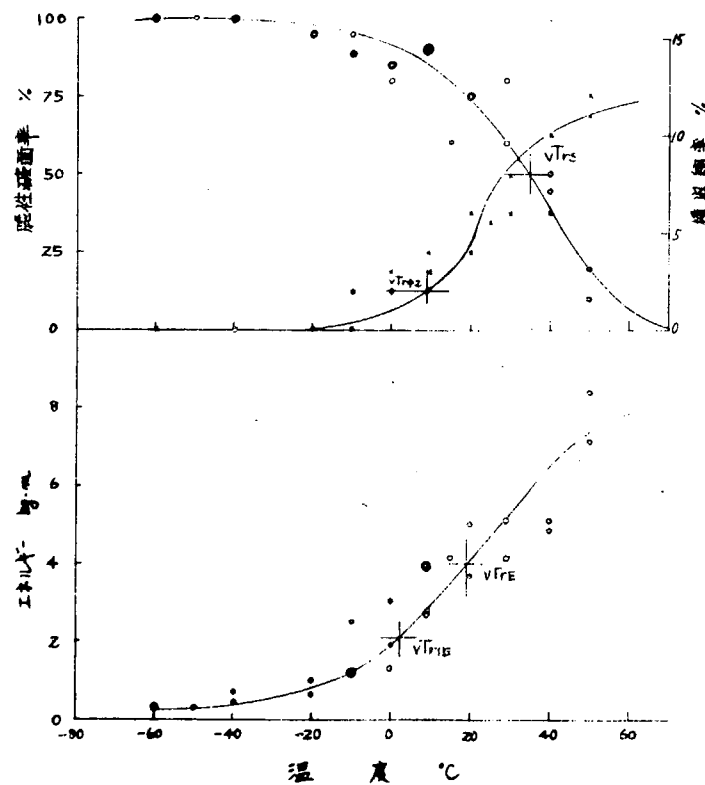


図 4.2.6 溶接金属の中心より 2.2.5 mm はなれた位置 (③) の遷移曲線

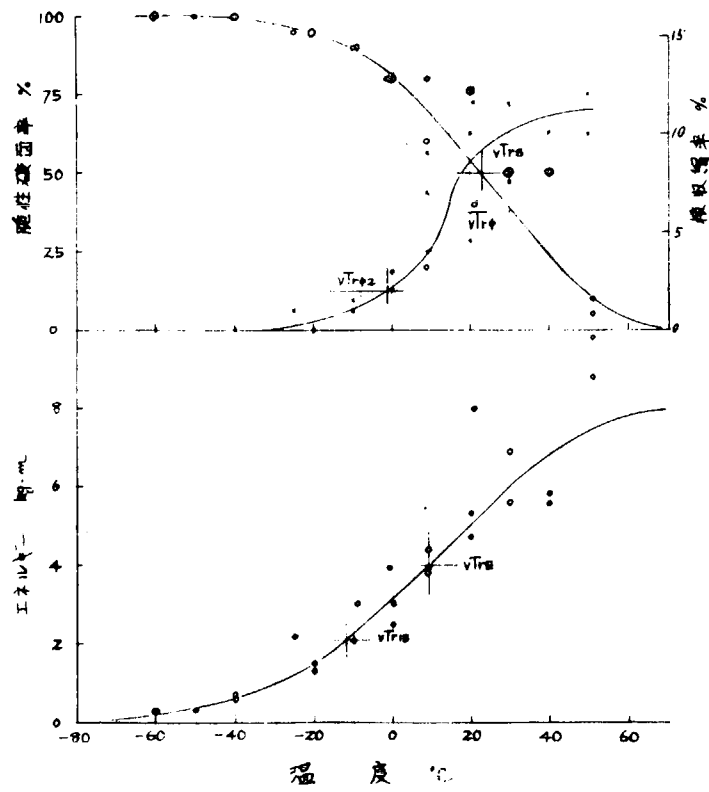


図 4.2.7 溶接金属の中心より 2.7 mm はなれた位置 (④) の遷移曲線

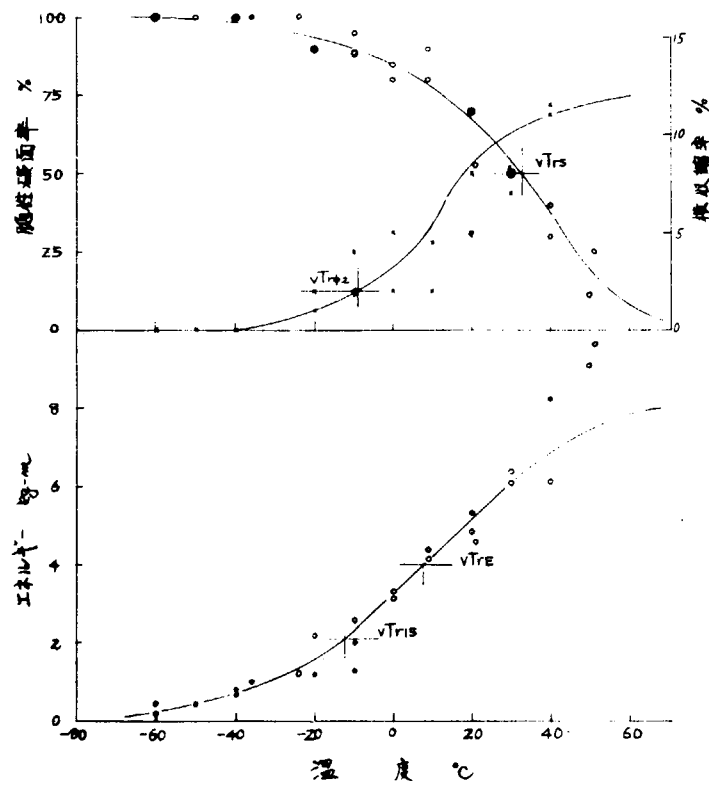


図 4.2.8 溶接金属の中心より 3.1.5 mm はなれた位置 (⑤) の遷移曲線

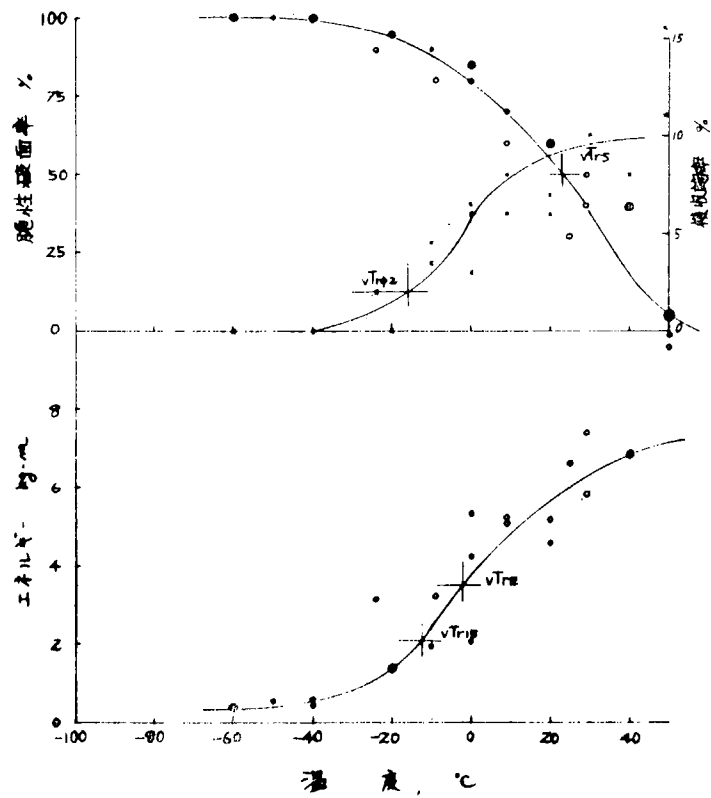


図 4.2.9 溶接金属の中心より 3.6 mm はなれた位置
(6) の遷移曲線

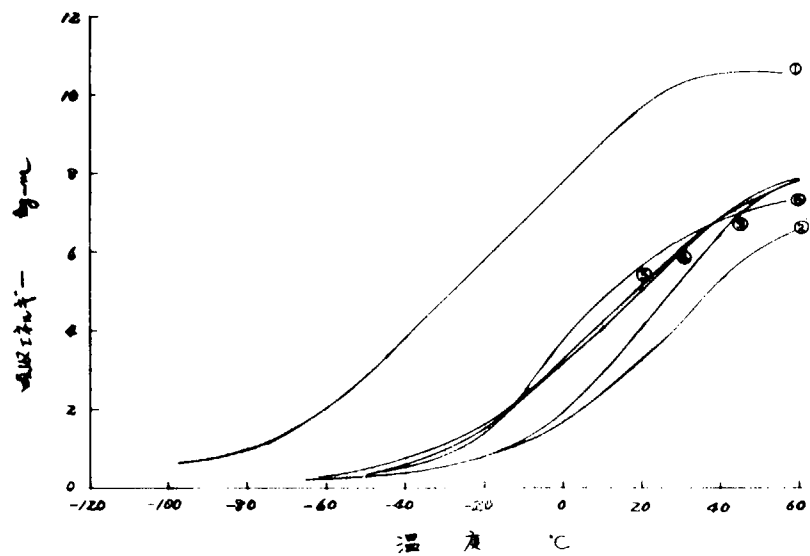


図 4.2.10 各位置での吸収エネルギー-温度曲線の比較