

日本船舶振興会昭和42年度補助事業
“ 巨大船に関する調査研究 ”

研究資料 No. 78

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 43 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42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 研）	小 倉 信 和（船 研）	
	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 護（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（船主協会）	渋谷 亨（海事協会）	
	竹 脇 喬（呉造船所）	塚 本 周 吉（函館 Dock）	
	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 識 雅 夫（東京大学）		

討議参加者	石 坂 善 郎（日本製鋼所）	大 橋 丹（三井造船）	
	武 田 武 雄（住友金属工業）	田 中 稔（日本鋼管）	
	林 忠 男（川崎製鉄）	藤 井 英 輔（船 研）	
	町 田 哲 一（八幡製鉄）	松 永 恒 文（三井造船）	
	的 野 三 千 夫（呉造船所）	三 波 建 市（富士製鉄）	
	安 江 義 忠（川崎重工業）	矢 倉 林 之 助（神戸製鋼所）	

目 次

1. ま え が き	1
2. 研究計画の概要	2
2.1 研究目的	2
2.2 研究項目	2
2.3 実施計画	8
2.4 供試材と試験片数量	10
2.5 供試鋼板の Cutting Plan	11
3. 広幅試験片によるクラックアレスターの研究	12
3.1 標準サイズ温度勾配型二重引張試験 (A-1)	12
3.2 広幅温度勾配型破壊停止試験 (A-2)	19
3.3 シャルビー試験 (A-5)	34
4. 厚板溶接部の脆性破壊発生特性の研究	41
4.1 Before weld notch の縦溶接継手切欠広幅引張試験 (B-1)	41
4.2 シャルビー試験 (B-3)	49
5. む す び	55

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研究結果に基づいて、「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うたがわしい。とくに、巨大船の場合に生ずると思われる、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基づき、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つた。本研究の全体計画は後述のように、3か年にわたるものであり本報告書は、その第1年度分の経過報告書としてとりまとめたものである。

2. 研究計画の概要

2.1 研究目的

第2次世界大戦時にアメリカで建造された戦時標準船において頻発した脆性破壊事故を契機として、この方面の研究は活発に行なわれ、その結果材質の改善、設計工作法の改良などによりこれらの事故は減少した。しかし脆性破壊の現象は板厚が厚いものほど、冶金的にもまた力学的にも発生しやすくなるので、巨大船においては発生の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。

従来脆性破壊防止のためにはリベットシーンを設置していたが、この方法は巨大船については工期短縮および技術的な点で困難となつてきたので、現在船級協会規定ではリベット・シーンを溶接に置き換える場合E級鋼を用いることを決めているが、E級鋼のクラック・アレスター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、また必然的に厚板を用いることになる巨大船では一般に40～50mmの超厚板が使用されるが、この場合、溶接部の多層溶接や板厚方向の拘束が大きいので、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以下に示す研究を行なうものである。

2.2 研究項目

研究項目 符 号	研 究 題 目	研究小項目 符 号	研 究 題 目
A	広幅試験片による 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
		A-2	広幅温度勾配型破壊停止試験
		A-3	広幅混成型破壊停止試験
		A-4	力学的板厚効果試験
		A-5	シャルピー試験
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 広幅引張試験
		B-2	After weld notch の縦溶接継手切欠広 幅引張試験
		B-3	シャルピー試験

上記各研究項目の内容は次のとおりである。

A. 広幅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

研究目的 : 供試材の標準サイズ二重引張試験(温度勾配型)による破壊伝播停止特性値(K_{IC} 値)を求める。

試験片 : 形状寸法は図1.1のとおり



研究内容： K_c 値と試験温度との関係を求め、さらに一部の試験片については次の測定を行ない総合的に解析する

- ### A-2 広幅温度勾配型破壊停止試験

試験片：形状寸法は図1.2のとおり



試験内容 : K_0 値と試験温度との関係を求める。また一部の試験について次の測定をも行なつて総合的に解析する。

- 3 -

A-3 広幅混成型破壊停止試験

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伝播停止特性値 (K_{IC} 値) を求め標準試験片による結果と比較検討する。

試験片 : 形状寸法は図 1.3 のとおり

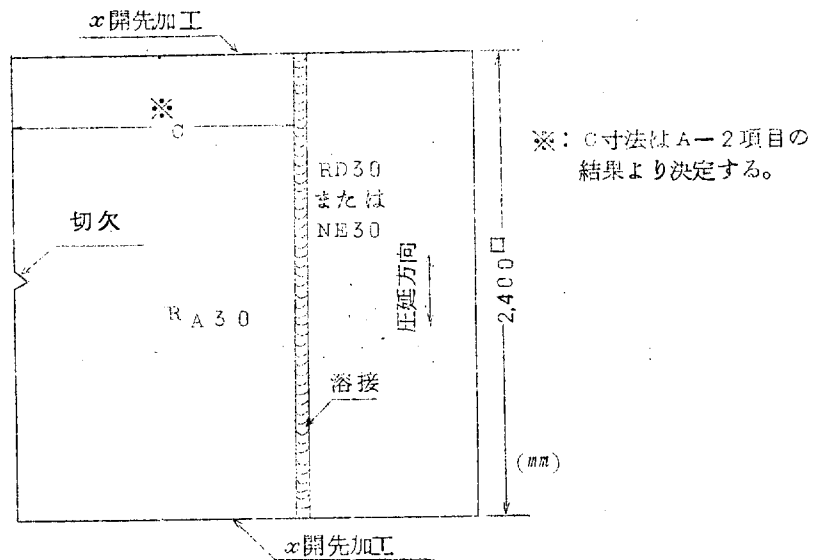


図 1.3

数量 : 5本/鋼種 × 2鋼種 (RD30, NE30) = 10本

試験内容 : K_{IC} 値と試験温度との関係を求め、また一部の試験片については次の測定をも行なつて総合的に解析する。

- (1) 脆性クラック伝播速度
- (2) 脆性クラック伝播に伴う応力変化
- (3) 溶接残留応力
- (4) Shear lip 厚さ

A-4 力学的板厚効果試験

研究目的 : 広幅試験片により、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破壊伝播停止特性値 (K_{IC} 値) を求め広幅試験における板厚の力学的効果を調べる。

試験片 : 形状寸法は図 1.4 のとおり

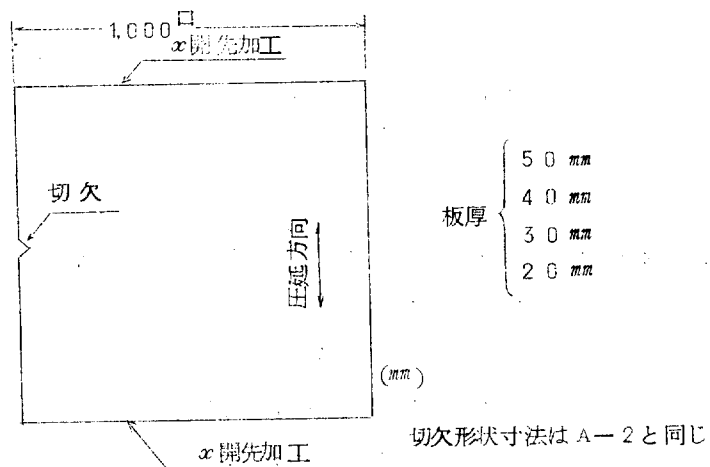


図 1.4

数 量 : 4 板厚 × 6 本 / 鋼種 × 1 鋼種 (NE50) = 24 本

試験内容 : K_{IC} 値と試験温度との関係を求め、また一部の試験片については次の測定も行なつて総合的に解析する。

- (1) 脆性クラック伝播速度
- (2) 脆性クラック伝播に伴う応力変化
- (3) Shear lip 厚さ

A-5 シャルピー試験

研究目的 : 研究項目 (A-1~4) の供試材のシャルピー試験特性を求め大型試験結果との関連を調べる。

試験片 : 形状寸法は図 1.5 のとおり

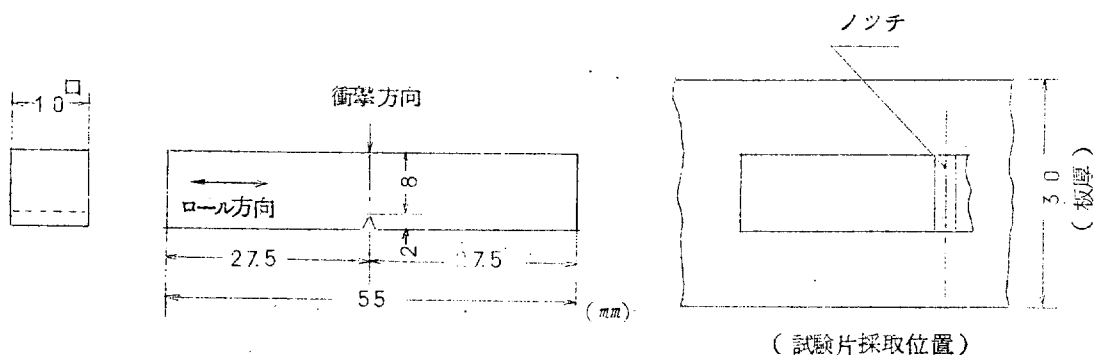


図 1.5

数 量 : 3 切欠 $\begin{pmatrix} \text{V-ノッチ} \\ \text{U-ノッチ} \\ \text{P-ノッチ} \end{pmatrix} \times 25 \text{ 本 / 鋼種} \times 6 \text{ 鋼種}$

$$\begin{pmatrix} \text{RA30} \\ \text{RD30} \\ \text{NE30} \\ \text{ND30} \\ \text{RE30} \\ \text{NE30} \end{pmatrix} = 450 \text{ 本}$$

試験内容 : 各シャルピー試験ごとに次の関係を求める

- | | | |
|--------------|---|----------------------|
| V-シャルピー | { | (a) 温度-吸収エネルギー曲線 |
| | | (b) 温度-脆性破面率曲線 |
| | | (c) 0°Cにおける吸収エネルギー |
| | | (d) -10°Cにおける吸収エネルギー |
| プレス(P)-シャルピー | { | (a) 温度-吸収エネルギー曲線 |
| | | (b) 温度-脆性破面率曲線 |
| U-シャルピー | { | (a) 温度-吸収エネルギー曲線 |
| | | (b) 0°Cにおける吸収エネルギー |
| | | (c) -10°Cにおける吸収エネルギー |

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幅引張試験

研究目的 : 2種の板厚について、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破壊発生特性を求める。

試験片 : 形状寸法は図 1.6 のとおり

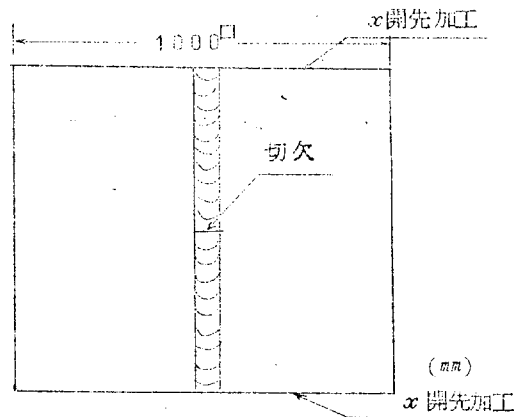


図 1.6

数 量 : 3 切欠長さ × 6 温度 × 2 鋼種 (ND 50, RD B 30) = 36 本

試験内容 : 破壊応力と温度の関係を求め、破壊遷移温度が最高になる切欠長さを推定する。また一部の試験片については次の測定も行なつて総合的に解析する。

- (1) 溶接残留応力計測
- (2) 切欠先端部の溶接熱ひずみ計測

B-2 After weld notch の縦溶接継手切欠広幅引張試験

研究目的 : B-1 項目に対して溶接後切欠を加工した場合についての破壊発生特性を求める。

試験片 : 形状寸法は図 1.7 のとおり

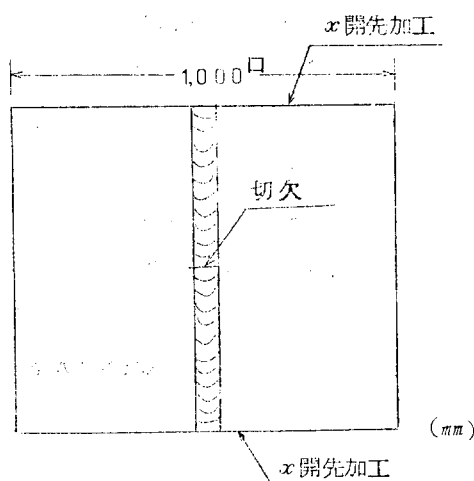


図 1.7

切欠長さはB-1の結果を参考にして定める

数量 : 1切欠長さ×6温度×2鋼種 (ND 50 / RD 50) = 12本

試験内容 : 破壊応力と温度の関係を求め、また一部の試験片については次の計測も行なつて総合的に解析する。

(1) 溶接残留応力計測

(2) 切欠先端部の溶接熱ひずみ計測

B-3 シャルピー試験

研究目的 : B-1およびB-2項目の供試材及びその溶接部近傍のシャルピー試験特性を調べ広幅試験の結果との関連を調べる。

試験片 : 形状寸法は図1.8のとおり

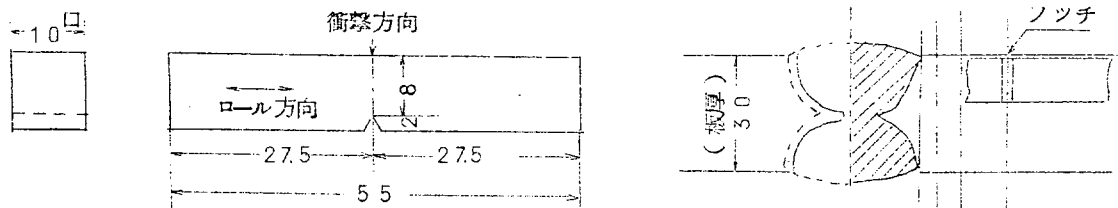


図 1.8

数量 : 3切欠 (Vノッチ / Uノッチ / Pノッチ) × 4位置 (含母材) × 25本 / 鋼種 × 2鋼種 = 600本

試験内容 : 各シャルピー試験ごとに次の関係を求める。

V シャルピー	(a) 温度—吸収エネルギー曲線 (b) 温度—脆性破面率曲線 (c) 0℃における吸収エネルギー (d) -10℃における吸収エネルギー
プレス型—シャルピー	(a) 温度—吸収エネルギー曲線 (b) 温度—脆性破面率曲線
U シャルピー	(a) 温度—吸収エネルギー曲線 (b) 0℃における吸収エネルギー (c) -10℃における吸収エネルギー

2.3 実施計画

本研究の、本年度および次年度の実施計画は、表 2.1 のとおりである。

表 2.1 昭和 42 年度 研究実施計画

	項 目	昭和 42 年度	昭和 43 年度
A	広幅試験片による 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 級試験片	継続 E 級試験片
		(A-2) 広幅、温度勾配型破壊停 止試験 D 級試験片 1 種	継続 D 級残り E 級 2 種
			(A-3) 広幅混成型 破壊停止試験
			(A-4) 力学的板厚 効果試験
		(A-5) シヤルピー試験 D 級、E 級試験片	
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幅引張試 験 D 級試験片	継続 D 級残り E 級 2 種
			(B-2) After weld notch の縦溶接継手切欠広幅引張試 験
		(B-3) シヤルピー D 級、E 級試験片	

なお本研究の全体計画は3年の予定であり、その実施計画線表を表2.2に示す。

表 2.2 研究実施計画線表

研究項目	初年度												第2年度												最終年度												昭和45年														
	昭和42年												昭和43年												昭和44年																										
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3															
A-1	材料手配・実験準備・器具備品購入												試験片加工												実験												取まとめ												総合的解析検討		
A-2													試験片加工												実験												取まとめ														
A-3													試験片加工												実験												取まとめ														
A-4													試験片加工												実験												取まとめ														
A-5													試験片加工												実験												取まとめ														
B-1	試験片加工												実験												取まとめ												総合的解析検討														
B-2	試験片加工												実験												取まとめ																										
B-3	試験片加工												実験												取まとめ																										

材料手配・実験準備・器具備品購入

総合報告書作成

総合的解析検討

2.4 供試材と試験片数量

研究項目	供試材 脱酸 符号	RA30	RD30	NE30	ND30	RE30	NE50	ND50	RDB30	計
		セミキルド	セミキルド	キルド	セミキルド	キルド	キルド	キルド	セミキルド	
A	A-1		8本	8本	8本	8本				32本
	A-2		5本	5本	5本	5本				20本
	A-3	10本	5本	5本						20本
	A-4						24本			24本
	A-5	75本	75本	75本	75本	75本	75本			450本
B	B-1							18本	18本	36本
	B-2							6本	6本	12本
	B-3							300本	300本	600本
所要鋼板		6'×20' 5枚	9'×40' 2枚	9'×40' 2枚	9'×40' 1 $\frac{1}{2}$ 枚	9'×40' 1 $\frac{1}{2}$ 枚	7'×40' 1枚	7'×40' 1枚	7'×40' 1枚	
重量計 (ton)		13.13	15.75	15.75	11.81	11.81	10.21	10.21	6.13	
鉄鋼メーカー		川崎製鉄	八幡製鉄	富士製鉄	住友金属	日本鋼管	神戸製鋼	日本製鋼	川崎製鉄	

(注) 供試材符号

RA A級鋼

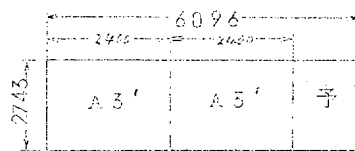
RE、NE E級鋼

RD、ND、RDB D級鋼

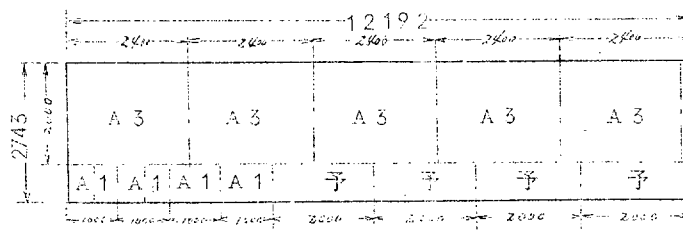
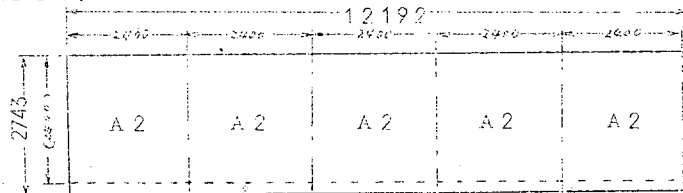
数字 板厚 (mm)

2.5 供試鋼板のCutting Plan

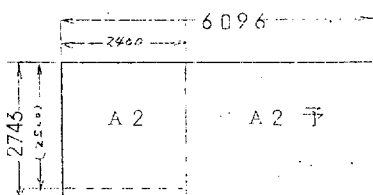
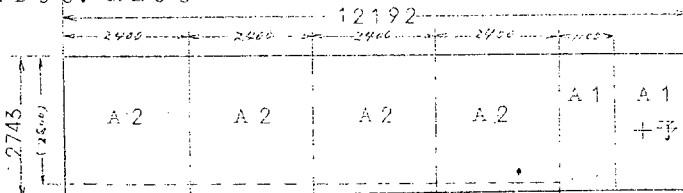
RA30 (スターター板)



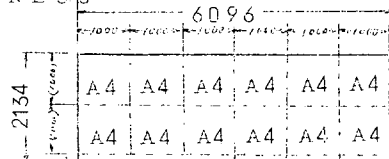
RD30, NB30



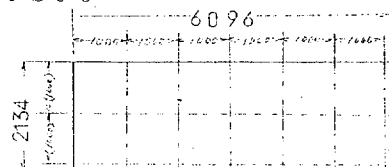
ND30, RE30



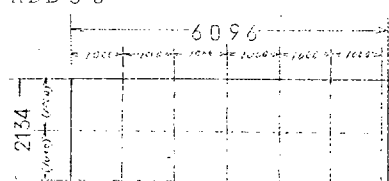
NE50



ND50



RDB30



——— 製鋼会社にて切断

----- 試験加工時切断

(単位 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) 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。

試験片形状寸法は図 3.1.1 に示すとおりである。

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 (全体図を図 3.1.2 に示す) である。

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 に溶接したのち、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 か所に取付け、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°C 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触れないようにした。

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 個所にスポット溶接 (スポット溶接器回路図を図 3.1.3 に示す) し、自記多打点熱電記録計 (YEW ER12-30-23) により測定した。

試験要領を図 3.1.4 に示す。

試験終了後試験片をガス切断し、破面様相の観察より脆性クラック長さを測定した。

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、図示した図 3.1.5 と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 3.1.6 のようになる。

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

ここで

$$f(r) = \sqrt{\frac{2}{\pi r} \cdot \tan \frac{\pi}{2} r}$$

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

σ = グロス応力

C = 停止クラック長さ

B = 試験片幅 (本試験では 500 mm)

なお、 r と $f(r)$ の図示すると図 3.1.7 となる。

この結果を越賀が提案した Pivot ($K_0 = 1780 \text{ Kg} \sqrt{\text{mm}}/\text{mm}^2$, $1000/T = 2.03 (^{\circ}\text{K}^{-1})$) を設定して再整理したものと同図中破線で示した関係である。

図 3.1.6 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 3.1.8 に示す。別の研究によれば船級協会統一規格の B 級鋼は使用応力 $15 \text{ Kg}/\text{mm}^2$ 、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、B 種の場合の 100 mm 、 10 mm としたときの限界応力-温度曲線も合わせて示した。

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.=200mm (%)	
RE30	E 級	Normalized	30	0.12	0.21	1.00	0.016	0.019			28.6	44.6	30.0
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

表 3.1.2 試 験 結 果

試験片符号	クロス応力: σ (Kg/mm ²)	クラック停止温度 (°C)	停止クラック長さ: a (mm)	修正クロス応力 (Kg/mm ²)	K _{IC} 値 (Kg/mm ^{3/2})
RE30-A1-6	12.0	10	295	14.4	247
RE30-A1-8	6.0	-53	25	6.0	30

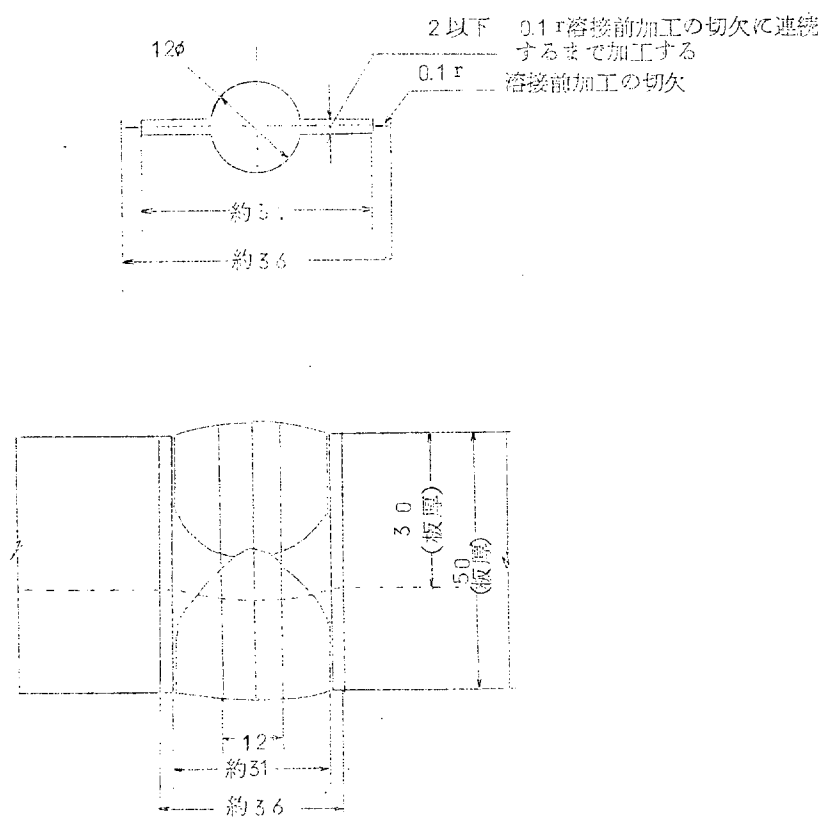


図 4.1.3 切欠付縦継手広巾引張試験片 2 次切欠加工図 (板厚 50, 30 mm)

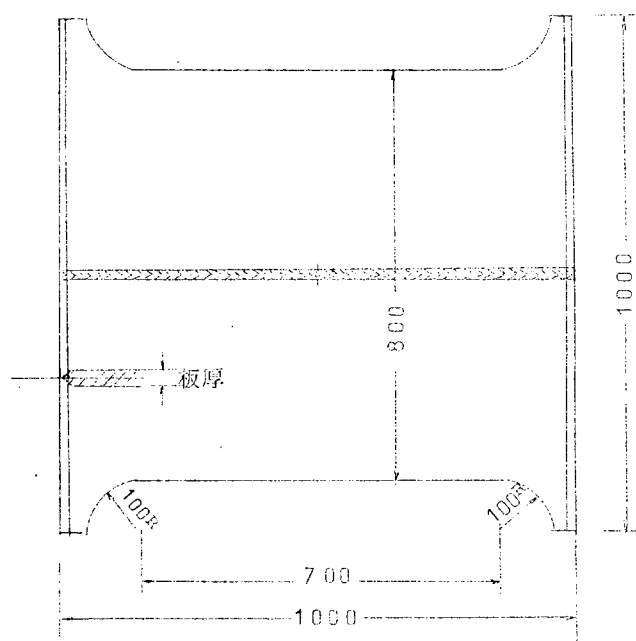


図 4.1.4 溶接縦継手切欠広幅引張試験片

図 4.1.5 4000 t テストリグ側面図

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/cm^2	
引張ピッチ	3,200 mm 最大	

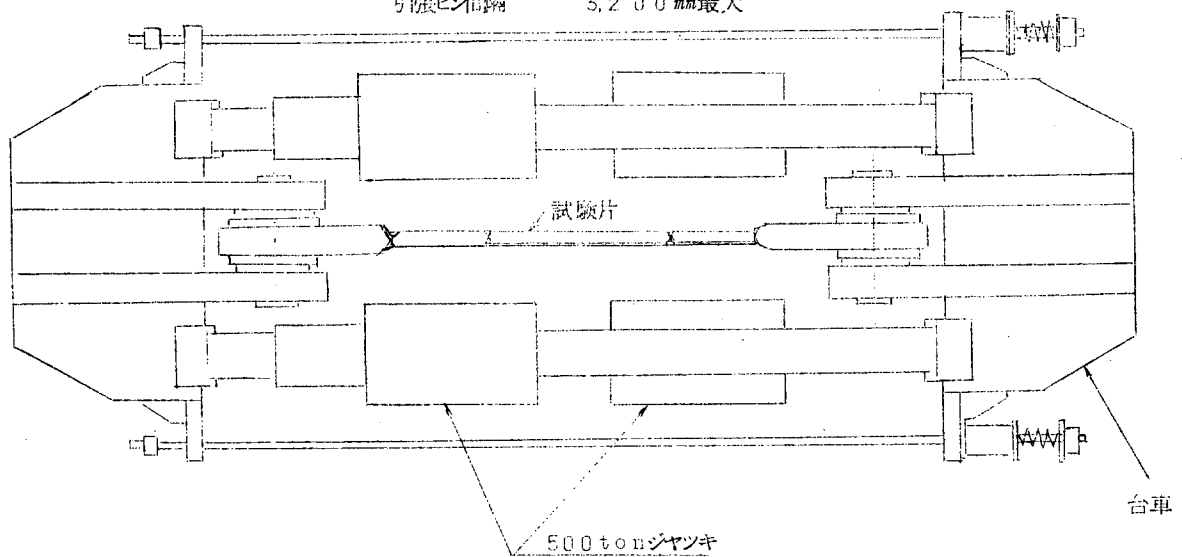


図 4.1.6 2,000 ton 横型引張装置

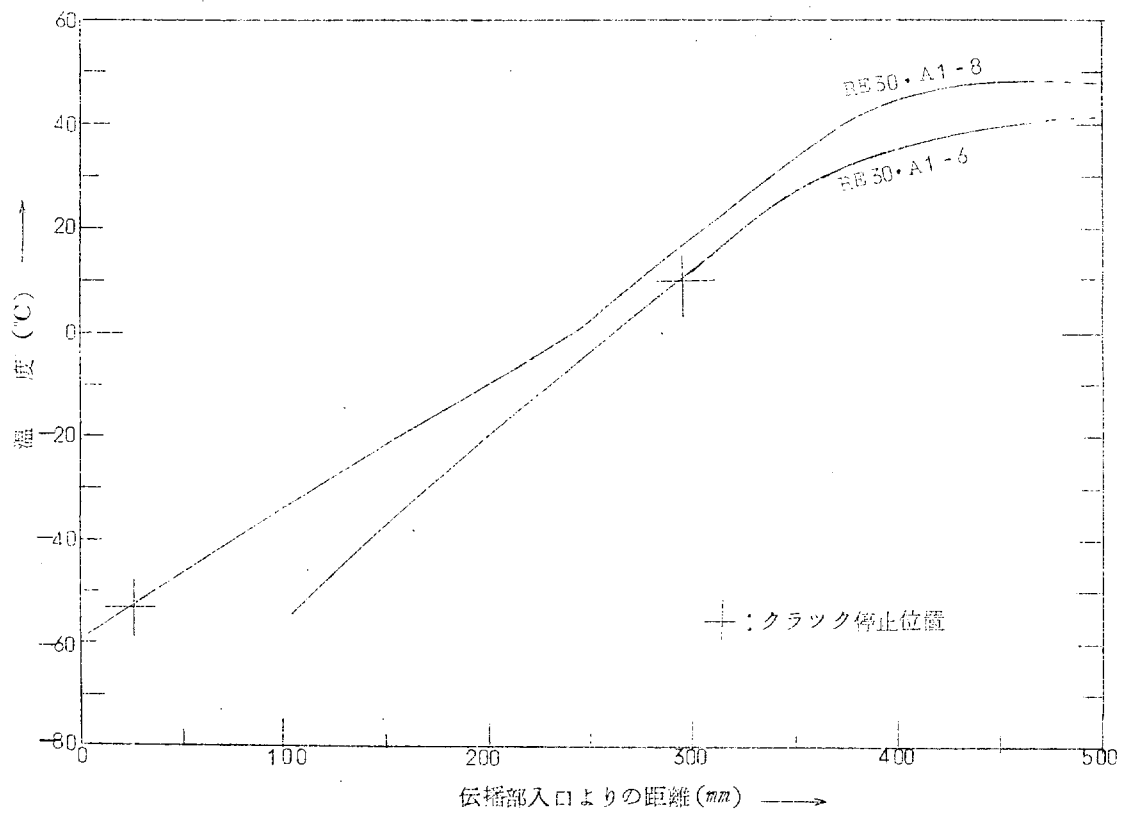


図 3.1.5 亀裂伝播部の温度分布と亀裂停止位置の関係 (RE30)

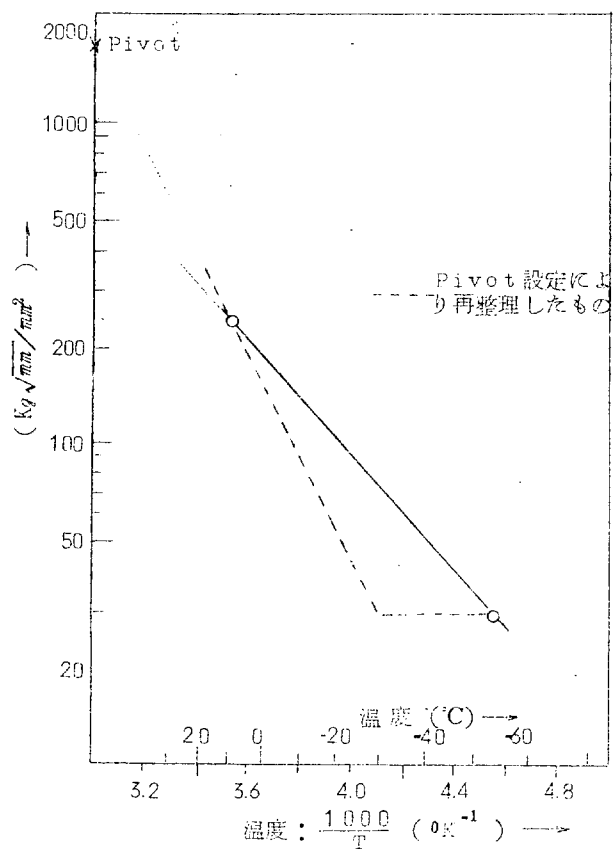


図 3.1.6 Kc値と試験温度の関係 (RE30)

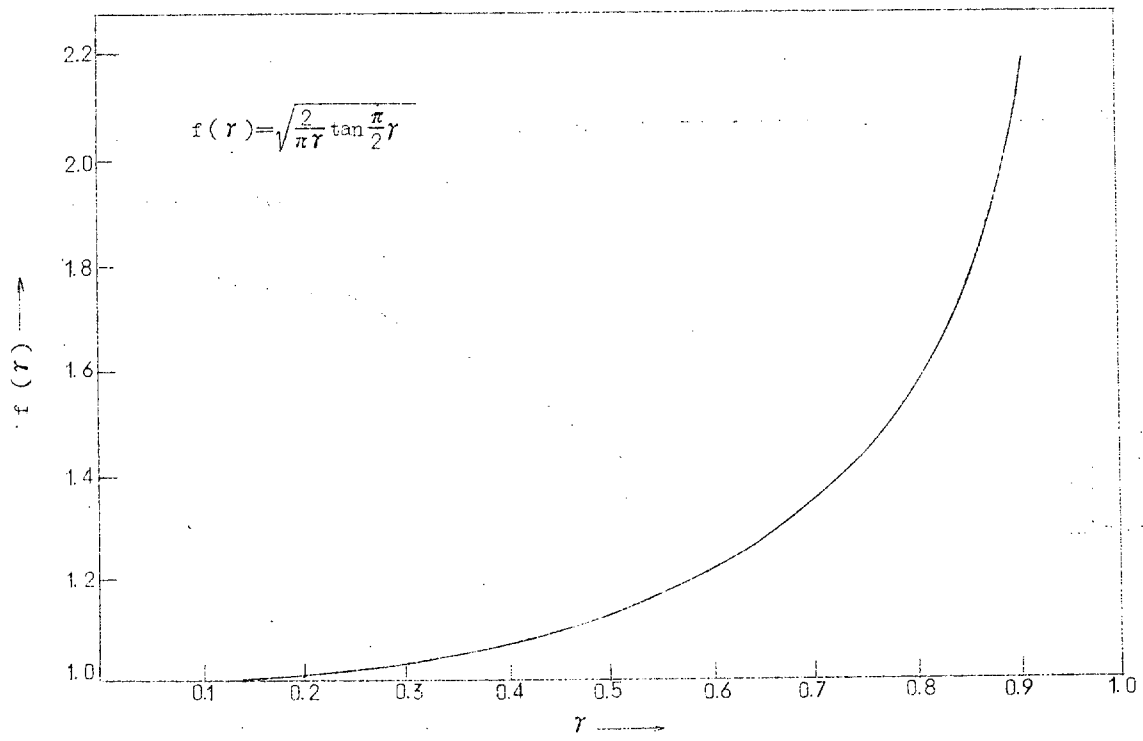


図 3.1.7 r と $f(r)$ の関係

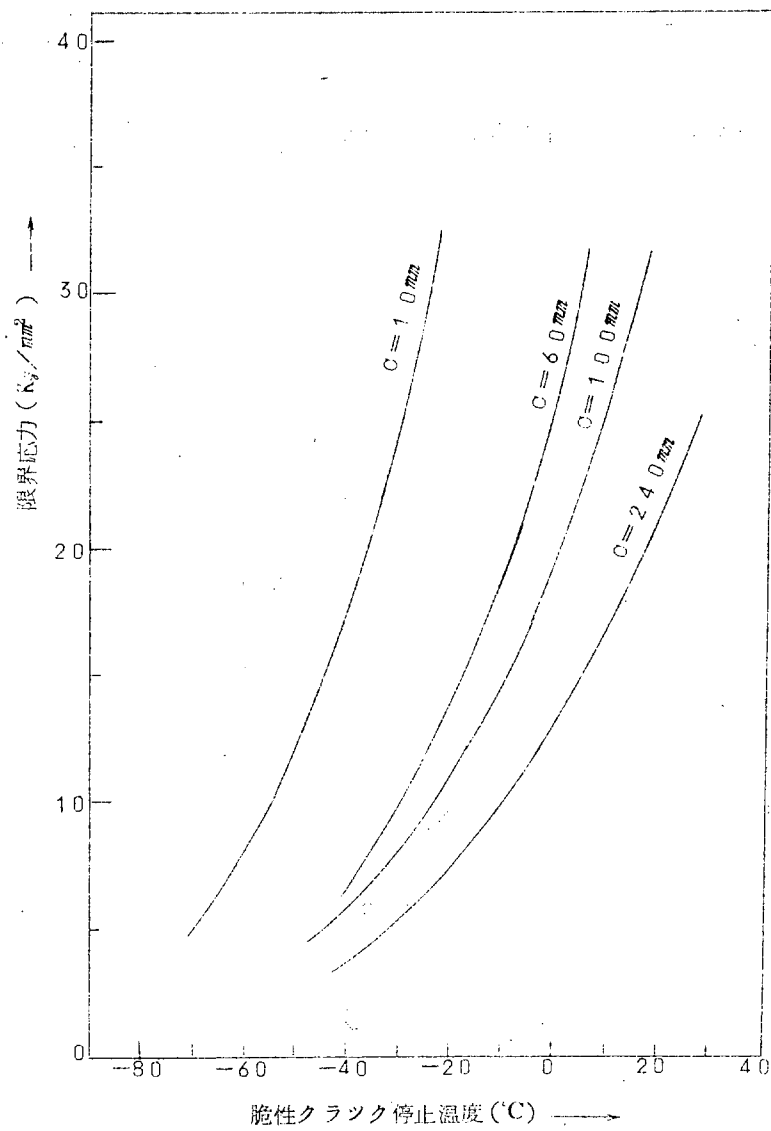


図 3.1.8 脆性クラック停止温度と限界応力の関係 (RE30)

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E級鋼 (キルト鋼、板厚50mm)、およびD級鋼 (セミキルト鋼、板厚50mm) 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3.2.1に示す。

試験片形状寸法は図3.2.1に示すとおりである。

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2,000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。各試験機の全体図を図3.2.2および図3.2.3に示す。

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計測した。

試験は、試験機取付用Tab plate に図3.2.1の試験片を溶接し、2,000トン構造物試験機に取付け所定の引張荷重 (引張応力) を試験片にあてる (試験片取付図を図3.2.4に、取付作業状況を写真1および写真2に示す。)

一方、高圧打撃装置を写真3に示すように試験片に取付け、試験片が所定の温度になったとき、本装置により試験片切欠に挿入してある楔にクラック発生に必要な打撃エネルギーをあてることにより、クラックを発生させた。

温度分布調整は、写真3および写真4に示すように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面4個所に取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、区画に温水を注入し、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で冷却した。

温度測定は、切欠線上12個所に銅-コンスタンタン熱電対をスポット溶接し、自記多打点式熱電記録計により行なった。試験要領を図3.2.5に示す。

動的応力測定は、ひずみ計 (抵抗線ひずみ計) を試験片の表裏面に貼布し、ひずみ計平衡装置 (図3.2.6) とシンクロスコープ (岩崎DS-5035B) により、ひずみの時間的变化として記録した。

クラック伝播速度の測定は次の2方法によつて行なった。(1)クラック伝播予想線上 (切欠線上とした) 直下の試験片表裏面にひずみ計を適当な間隔で貼布し、クラックが伝播して行くときのクラック先端におけるひずみ集中をひずみ計でとらえシンクロスコープ (岩崎DS-5158) で、ひずみの時間的变化として記録し、ひずみ集中部間の時間から各ひずみ計間におけるクラック伝播平均速度を求める。(2)切欠線上に適当な間隔でCrack detector (クラック速度計測用に作った特殊ゲージで長さ50mmのアドバンス線を紙ベースに接着してある (図3.2.7)) を貼布し、各Crack detector を別に組んだクラック速度測定装置 (図3.2.7) を介してシンクロスコープ (日立V-117) に接続する。クラック伝播により、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 間の平均クラック伝播速度が求まる。

シンクロスコープ上の現象は35mmカメラとボラロイドカメラにより撮影記録した。動的応力およびクラック伝播速度測定装置を写真5および写真6に、測定装置のブロックダイアグラムを図3.2.8に示す。各測定用ゲージ貼布位置は図3.2.9のとおりである。

図 3.2.1 に示すように試験片幅に比し、試験片長さが比較的に短いので切欠断面の応力分布を上記のひずみ計を利用して調べた。

試験終了後、試験片をガス切断し破面様相の観察よりクラック長さを測定した。なお、試験終了後の試験片取外し作業の状況を写真 7～写真 9 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 3.2.2 に示す。

クラック停止位置と試験片温度分布の関係を求めた図 3.2.10 より K_{IC} 値（算出式は A-1 項目参照）と温度の関係を求めると図 3.2.11 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、さきに理論的に推論していたとおり広幅試験片より求まる K_{IC} 値が大きくなっている。試験データは十分でないが図 3.2.11 の関係は一応越賀の提案している Pivot をも通るので今後の試験により大きく変わることはないと思われる。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、いわゆる有効クラック長さ (Effective crack length) を求め、すでに木原・池田らが温度勾配型 BSSO 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 3.2.12 に示した。これによると、有効クラック長さは、従来求められた値よりかなり大きな値にもなると思われる。

動的応力測定結果を図 3.2.13 に示す。シンクロスコープの前増幅器の感度 (1 cm/mv) が不足したこと、またひずみ計平衡回路やリード線からのノイズが現象波に重畳されたため、満足な記録をとることができなかった。しかし試験終了後種種検討し、測定回路に改良を加え次年度の試験にはよい測定ができる見込がたつた。

クラック伝播速度の測定結果 (Crack detector によるもの) を Crack detector 間の平均クラック速度をもとにして、クラック長さとクラック伝播速度の関係として図 3.2.14 に示す。試験片には温度勾配があたえられているため、温度が高くなるにつれてクラック伝播速度が遅くなることがわかる。ひずみゲージによる方法ではクラックの伝播経路が大きく切欠線上からそれたためまったく測定できなかった。この方法は、クラック伝播経路が予想経路よりわずかずれても測定不能となるので、今後の測定はすべて Crack detector による方が有効なデータが得られるものと考えられる。しかし Crack detector による方法もゲージ長さ 50 mm の従来の Crack detector ではクラックが Detector をはずれて伝播する可能性もあり、少なくともゲージ長さ 100 mm 程度の Detector が必要である。

荷重状態での、試験片の応力分布の状態を図 3.2.15 に示した。これよりわかるように応力は切欠線上ではほぼ一様分布になつており、あまり問題のないことが確認された。

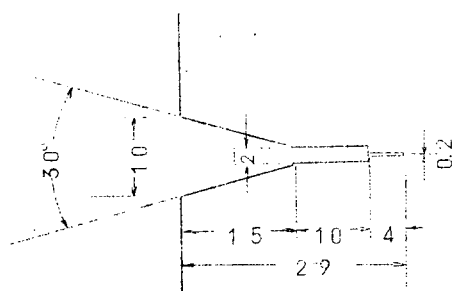
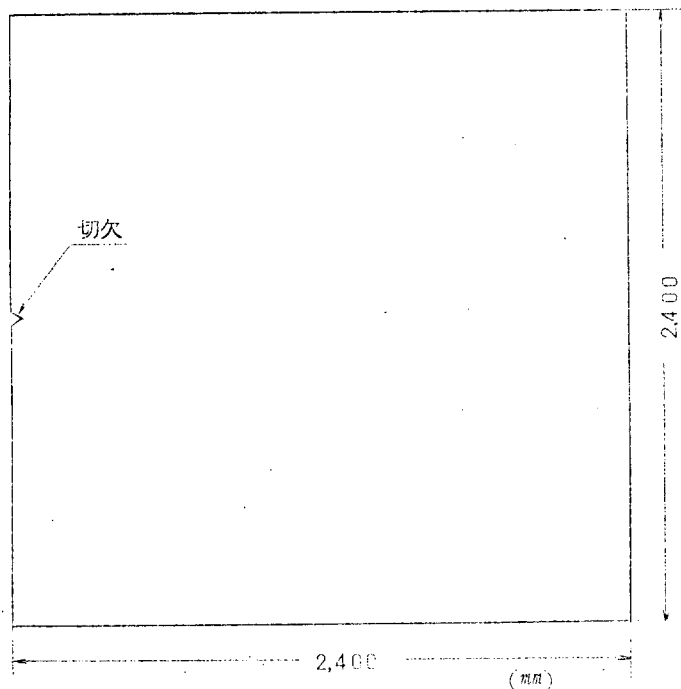
クラック伝播状況を写真 10～写真 13 に、試験片破面の様相を写真 14 に示す。

表 3.2.1 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 (%) (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 ($\epsilon_{0.1mm/200mm}$) (%)
RE30	B 級	Normalized	30	0.12	0.21	1.00	0.016	0.019		28.6	44.6	3.00
ND30	D 級	Normalized	30	0.17	0.02	0.97	0.019	0.025	0.05	29.6	48.2	3.15
RD30		As Rolled	30	0.14	0.07	1.14	0.015	0.017		28.0	44.0	3.20

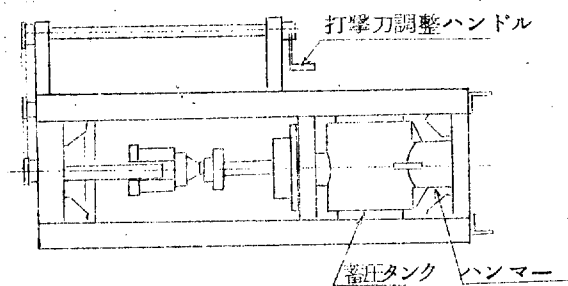
表 3.2.2 試 験 結 果

試験片符号	クロス応力: σ (Kg/mm ²)	クラック停止温度 (°C)	停止クラック長さ: C (mm)	修正クロス応力 $\frac{F(G)}{A_0}$ (Kg/mm ²)	K _{IC} 値 (Kg/mm ^{3/2})
RE30-A2-1	13.0	15	1500	16.1	624
RE30-A2-2	9.0	7	1400	10.7	401



切欠部詳細

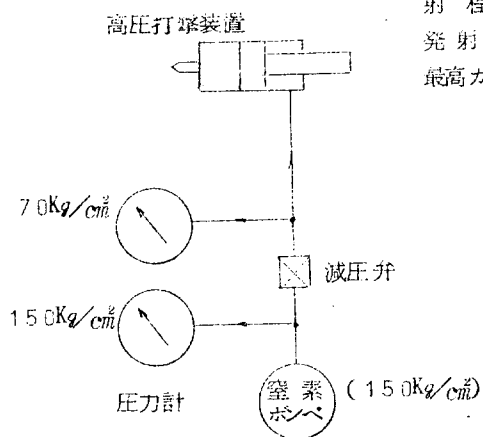
図 3. 2. 1 試験片形状寸法



全体図

要 目

最大打撃エネルギー	1,500 kg-m (計算値)
射 程 (最高)	200 mm
発 射 口 経	150 mm ϕ
最高ガス圧力	60 kg/cm ²



装置系統図

図 3. 2. 2 高圧打撃装置

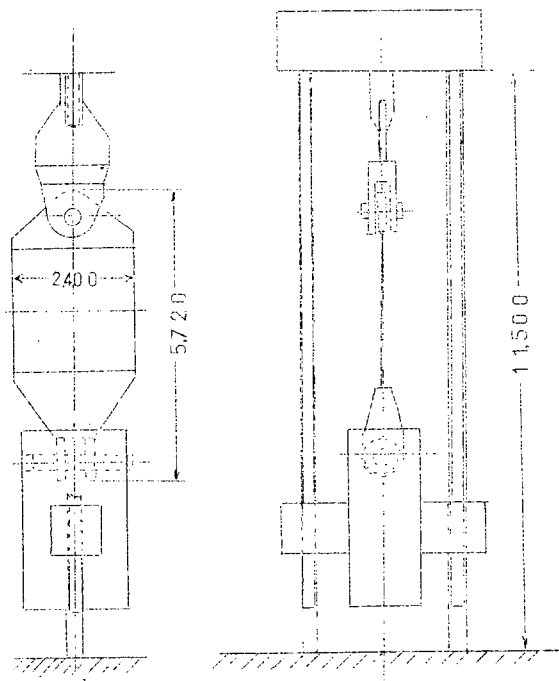


图 3.2.4 試驗片取付

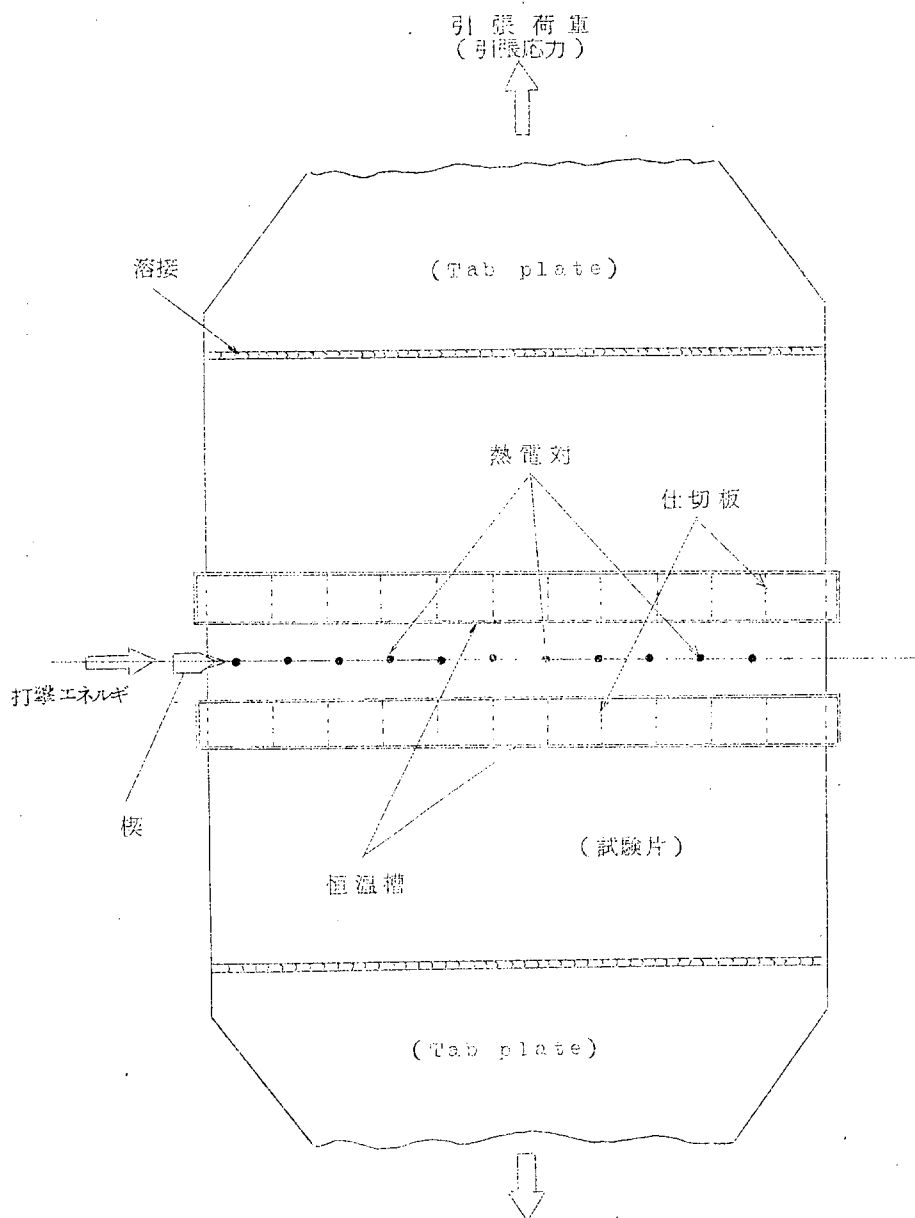


图 3.2.5 試驗要領

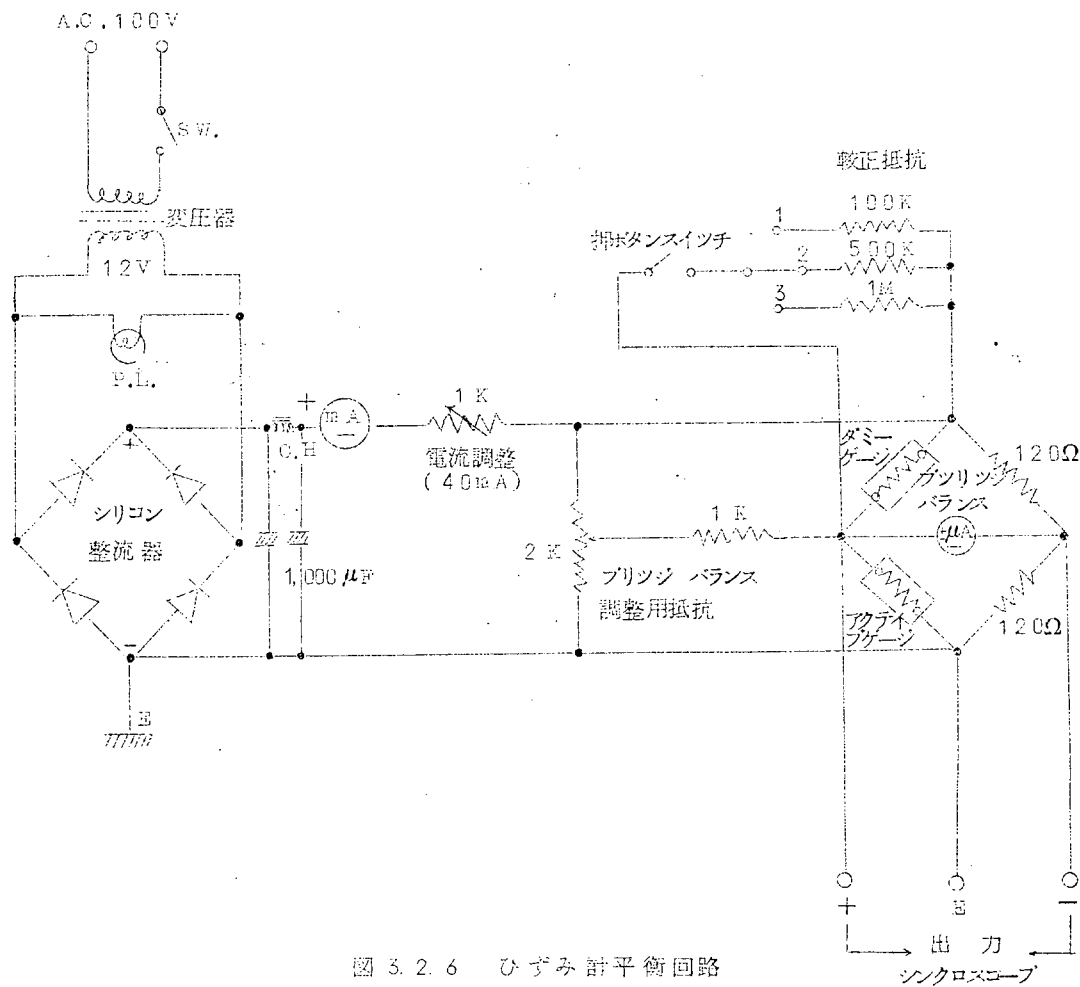


図 3. 2. 6 ひずみ計平衡回路

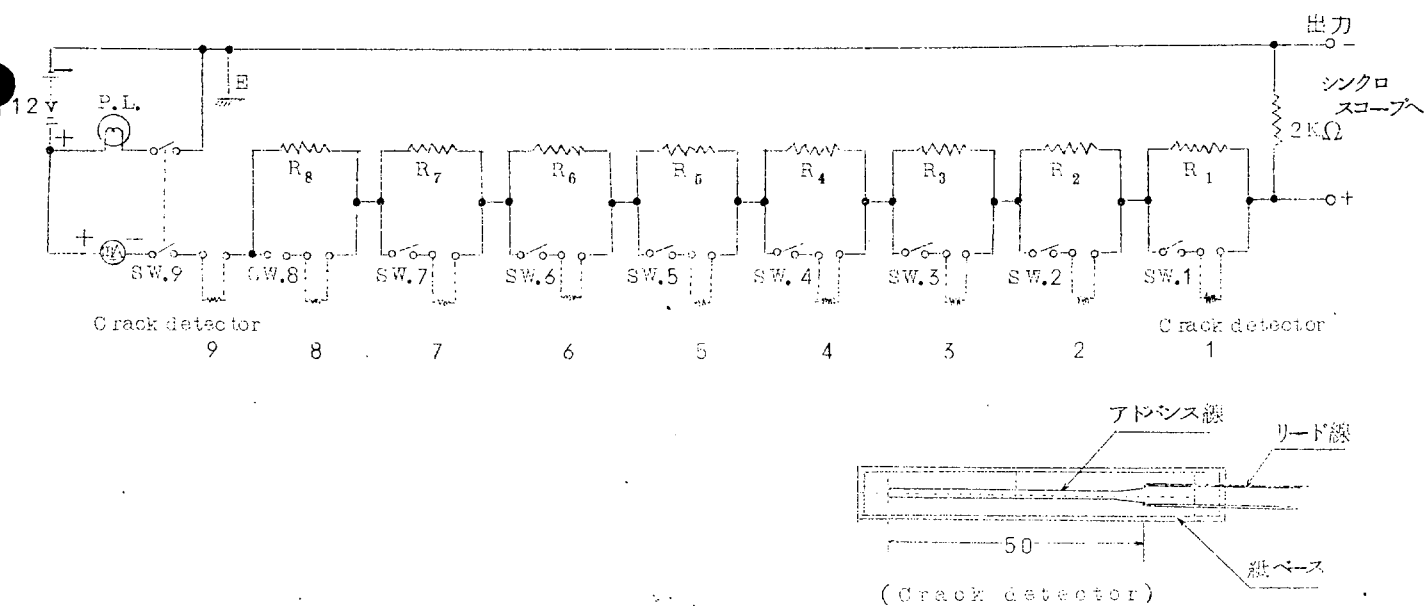


図 3. 2. 7 クラック速度測定回路

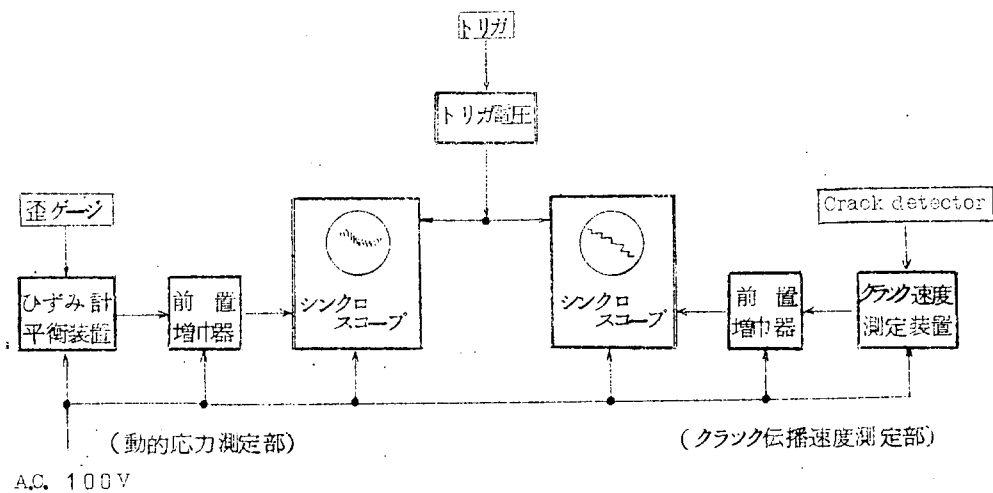
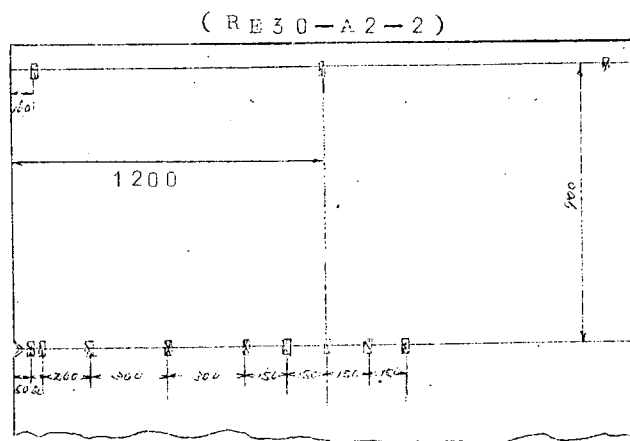
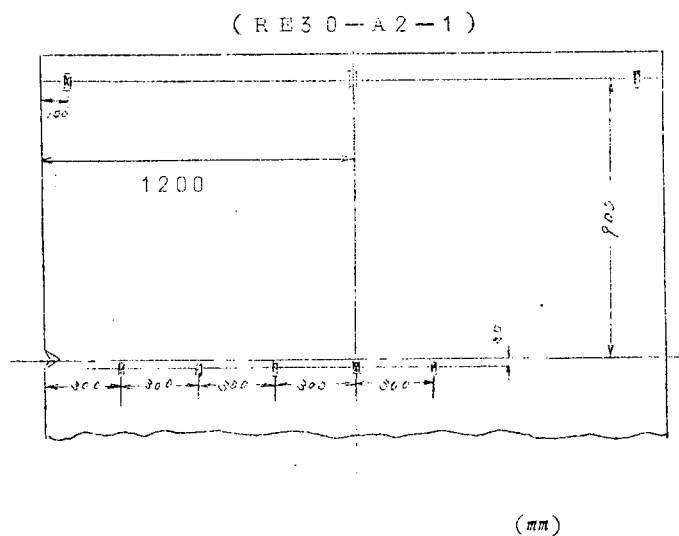


図 3. 2. 8 動的応力およびクラック伝播速度測定装置
ブロック ダイアグラム



ひずみ計 (試験片表裏面に貼布)

Crack detector

図 3. 2. 9 測定ゲージ貼布位置

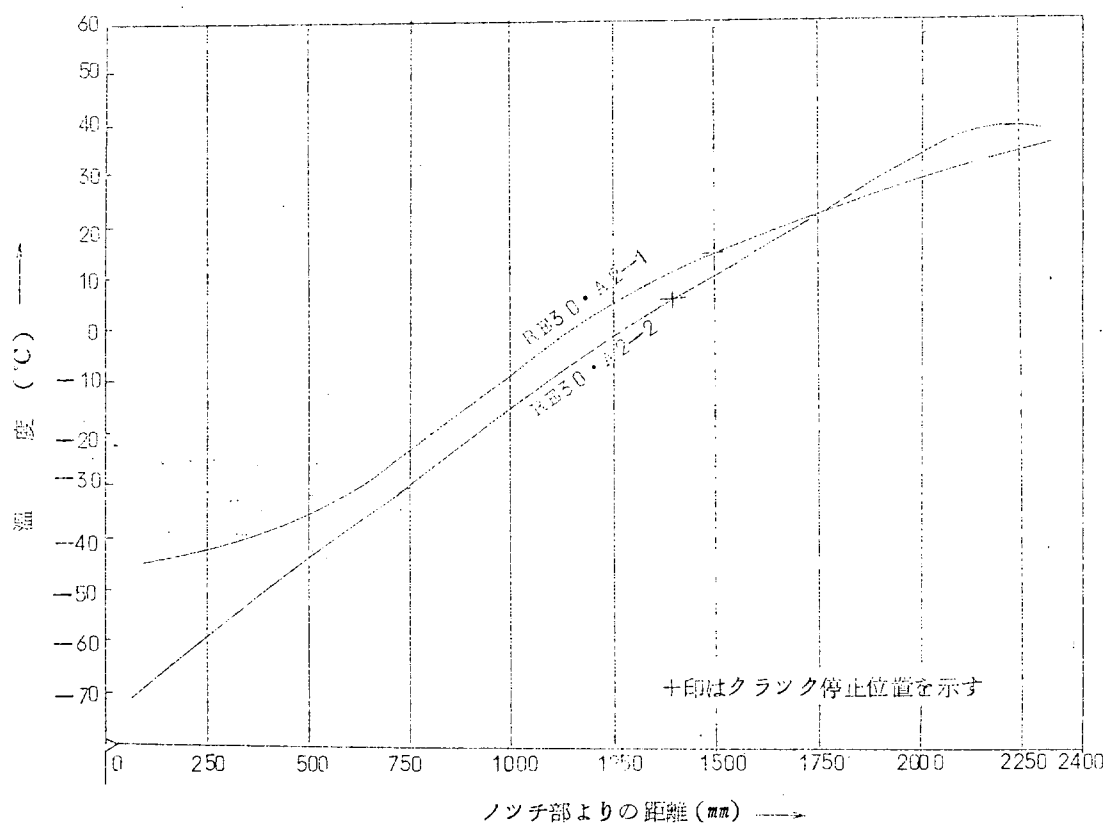


図 3.2.1.0 温度分布とクラック停止位置 (RE30)

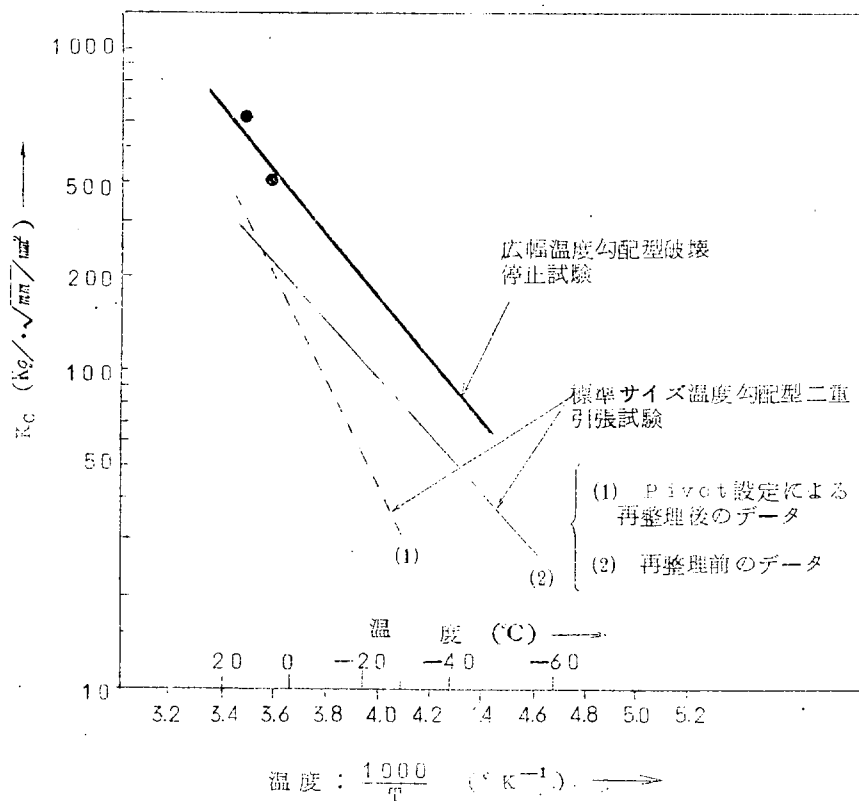


図 3.2.1.1 K_{IC} 値と温度の関係 (RE30)

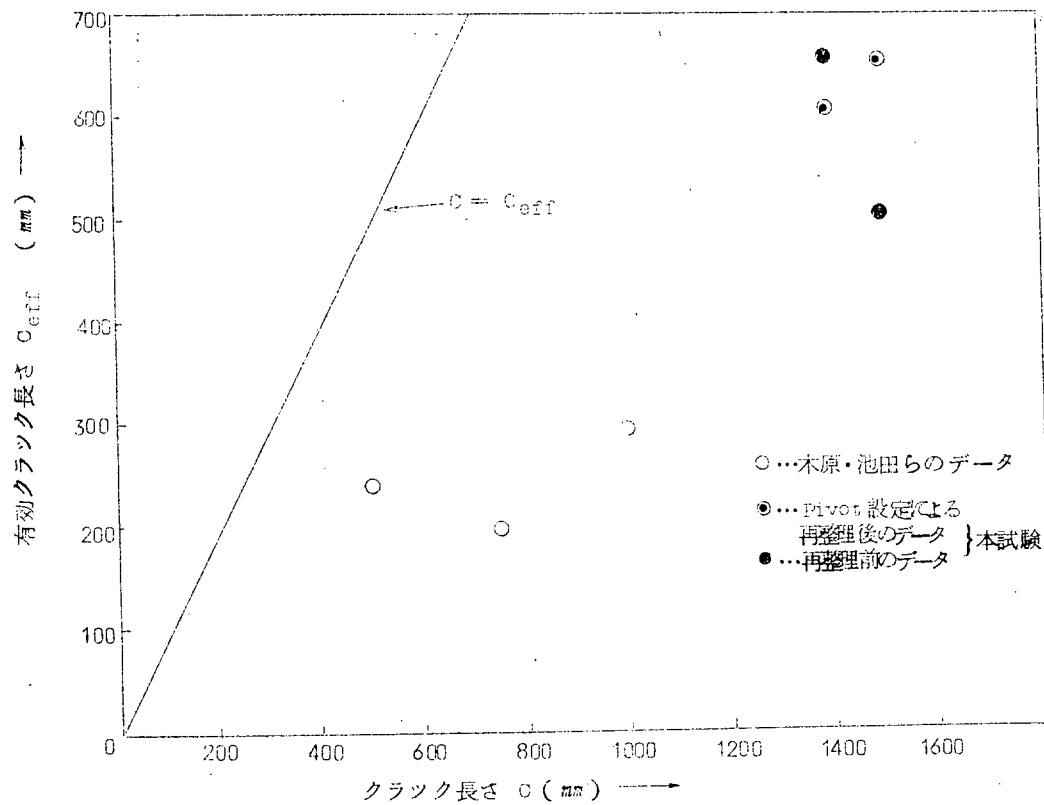


図 3. 2. 1 2 有効クラック長さとクラック長さの関係

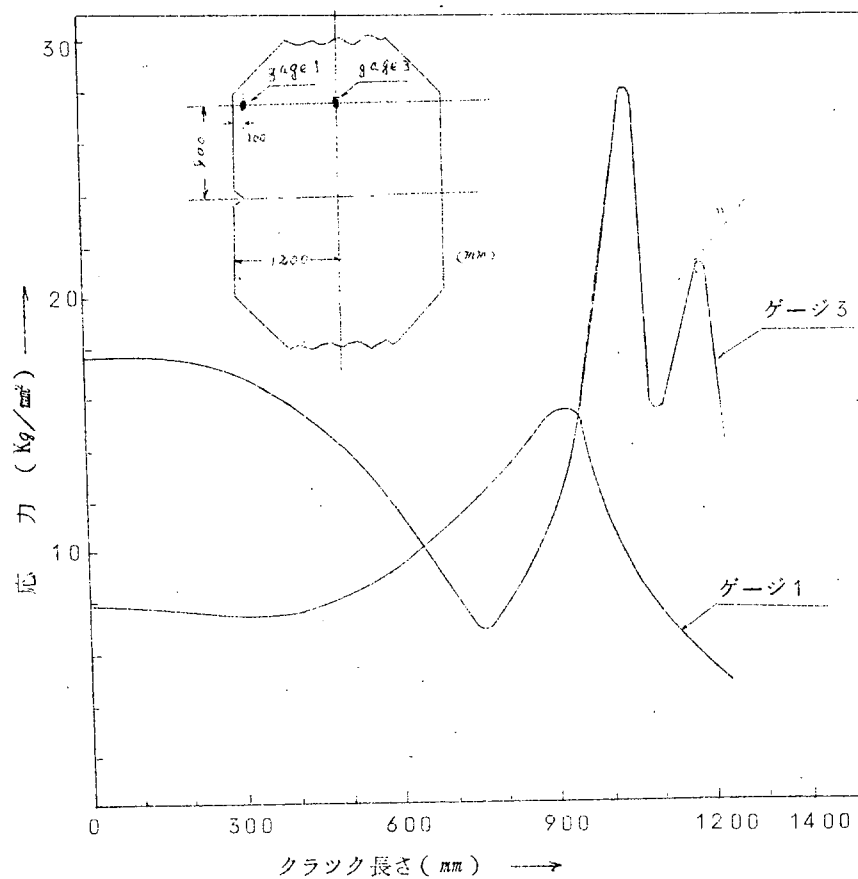
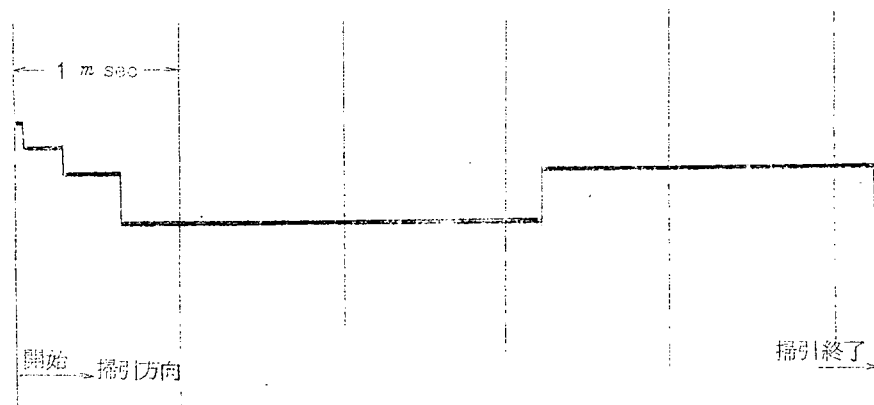


図 3. 2. 1 3 クラック伝播に伴う応力変化
 (試験片表裏面の平均応力)



(計測記録)

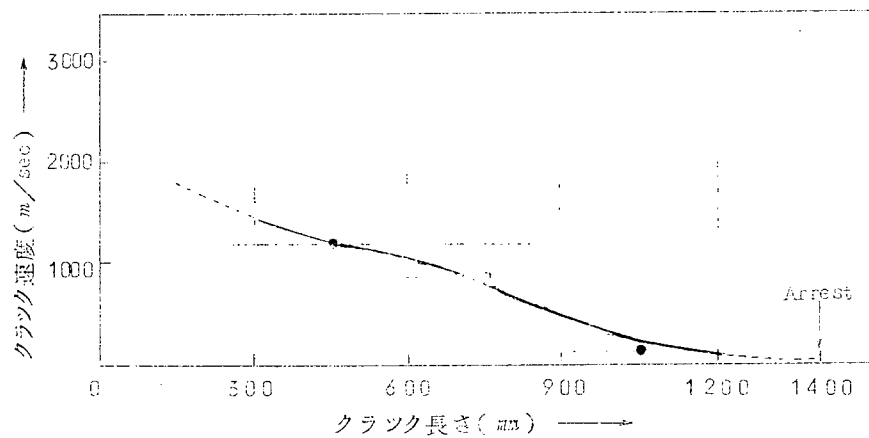


図 3.2.1.4 クラック伝播速度とクラック長さの関係

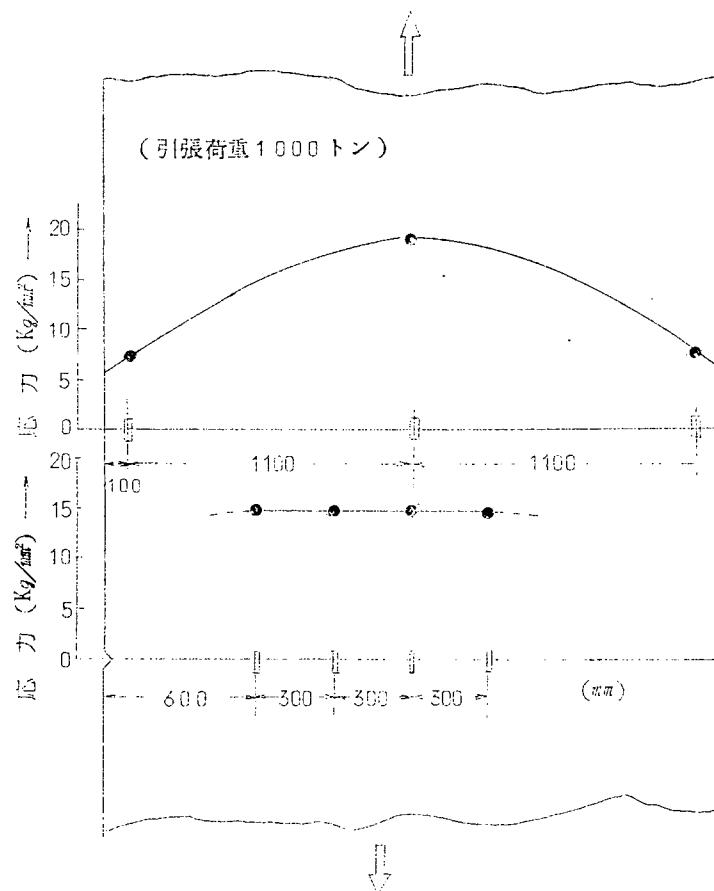


図 3.2.1.5 応力分布 (試験片表面の平均応力)

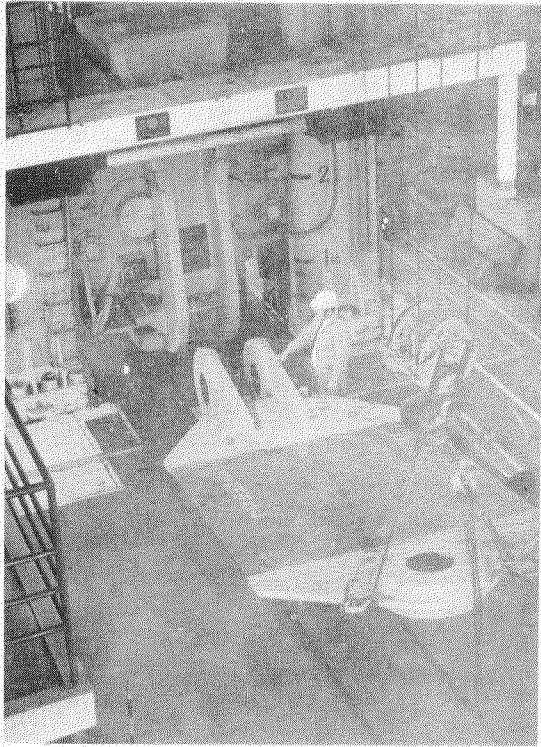


写真1. 試験片取付作業状況
1.0トンクレーンを使用
し試験片を取付ける。

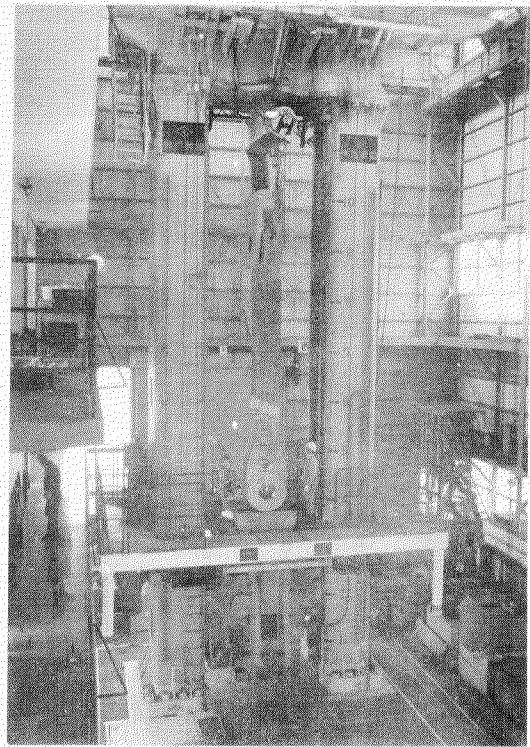


写真2. 試験片取付作業状況
取付作業完了間近

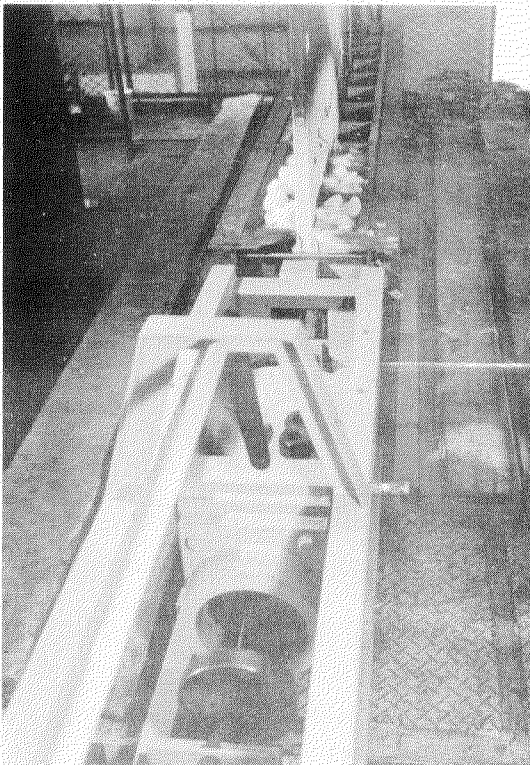


写真3. 高圧打撃装置および
試験片冷却状況
圧縮ガス(窒素ガス使用)を
注入口(右端に見える)より
蓄圧タンクに入れる。
切欠に近いところは、エチル
アルコールとドライアイスで
冷却する。

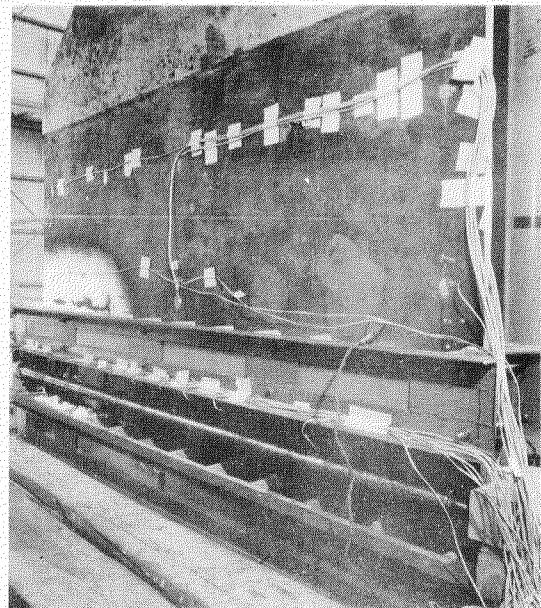


写真4. 試験片温度分布調整状況
切欠に近い部分はエチルアルコール
とドライアイスで他端部は温水と水
中用ヒータを使用して温度調整して
いる。
恒温槽間のロッドで高圧打撃装置を
試験片に取付けている。
諸計測用ゲージ貼布状況がよくわか
る。

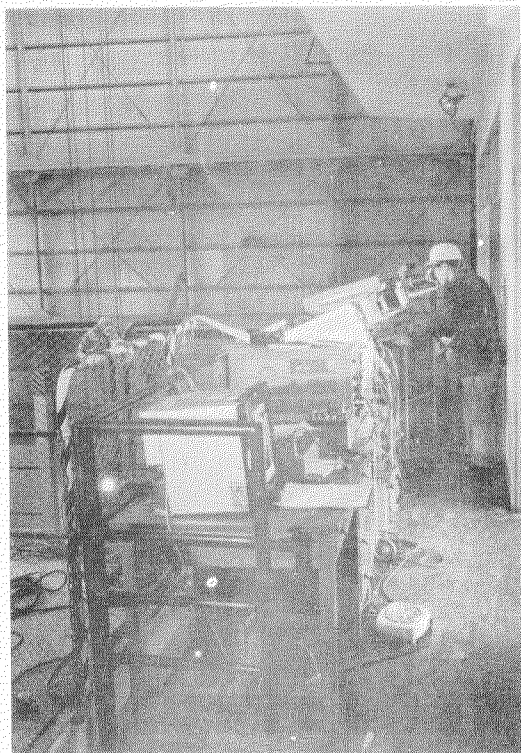


写真5. 測定諸装置

手前から
自記多打点式熱対電記録計
静的ひずみ測定器
シンクロスコープ

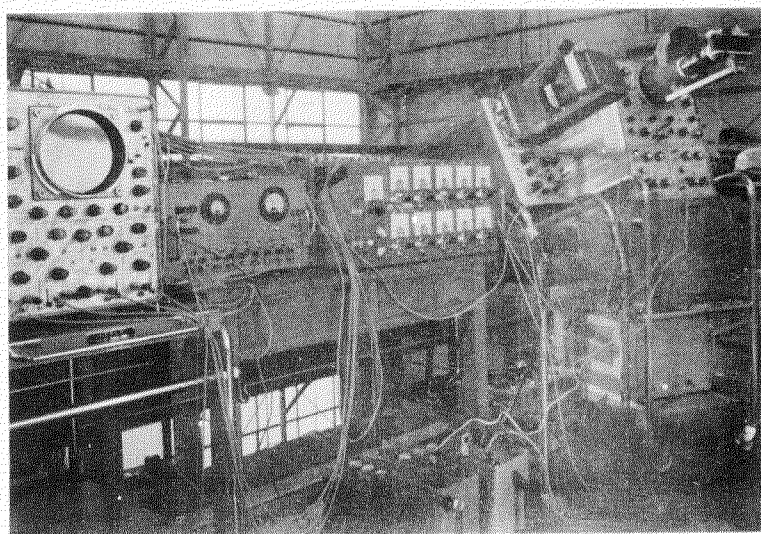


写真6. 動的応力およびクラック伝播速度測定装置

左から
シンクロスコープ(岩崎 DS-5158)
クラック速度測定装置
抵抗線ひずみ計 平衡装置
シンクロスコープ(日立 V-117)
シンクロスコープ(岩崎 DS-5305)

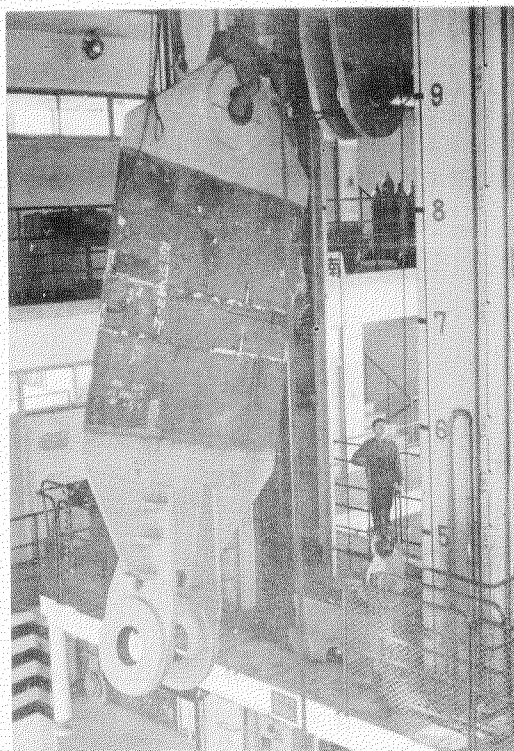


写真7. 試験片取外し作業状況 (1)



写真8. 試験片取外し作業状況 (2)

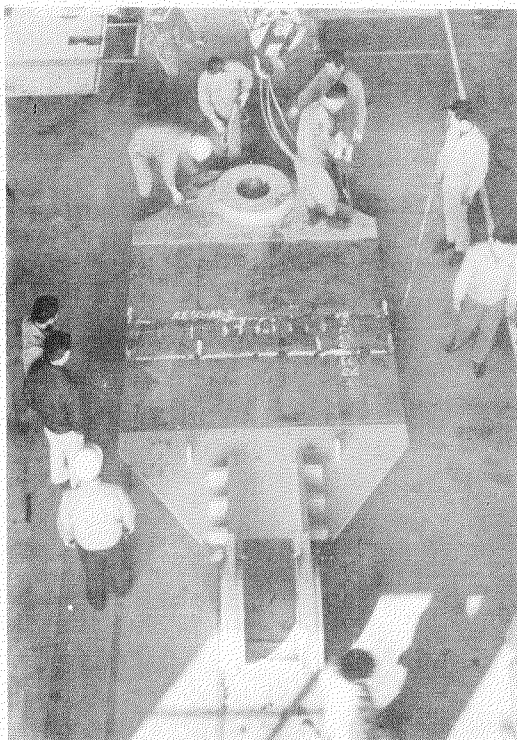


写真 9 試験片取外し作業状況 (3)

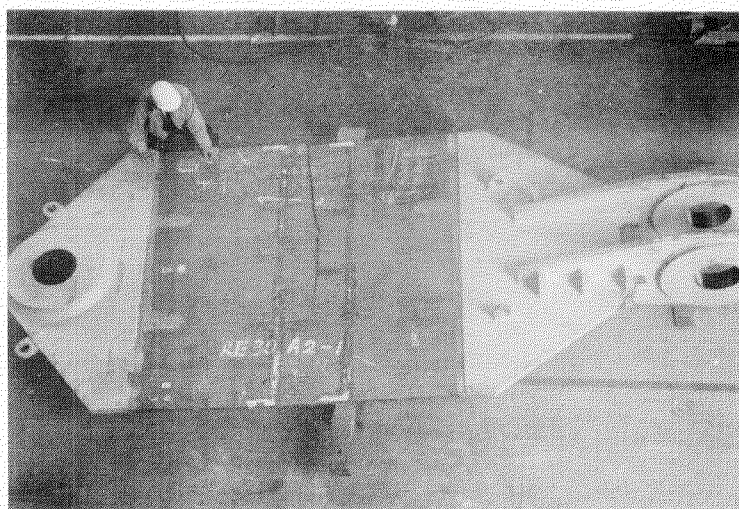


写真 10 クラック伝播状況 (1)

クラック伝播経路が切欠線止から大きくそれているのがわかる。



写真 11 クラック伝播状況 (2)

クラック伝播にともなう、破面様相変化がよくわかる。



写真 12 脆性クラック伝播状況 (3)

クラック伝播進路が、切欠線上より大きくずれている。



写真1.3. 脆性クラック伝播状況 (4)

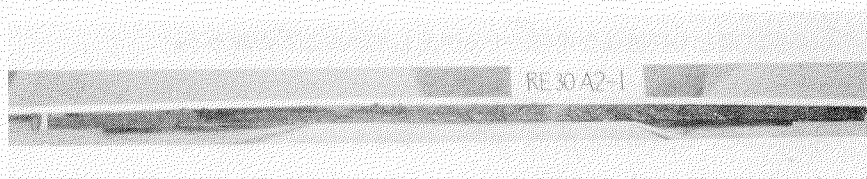


写真1.4. 試験片破面

3.3 シャルピー試験 (A-5)

3.3.1 研究目的

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

3.3.2 供試材および試験片

供試材は、船級協会規格の B 級鋼 (キルド鋼・板厚 3.0 mm) および D 級鋼 (セミキルド鋼、板厚 3.0 mm) 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 3.3.1 に、試験片形状寸法を、図 3.3.1 に示す。

3.3.3 試験内容および方法

図 3.3.1 の試験片を板厚 3.0 mm の供試鋼板より機械切削により作り通常のシャルピー試験を行ない、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、30 K $\cdot$ m 容量のシャルピー試験で、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。

3.3.4 試験結果および考察

V シャルピー (V ノッチシャルピー) および プレス・シャルピー (プレスノッチシャルピー) 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 3.3.2 に示す。また、これより求めた vT_{rB} (V シャルピー脆性破面遷移温度)、および、 pT_c (プレスシャルピ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 シャルピーの 0°C における吸収エネルギー) および E_{-10} (V シャルピーの -10°C における吸収エネルギー) などの諸量を一括して表 3.3.2 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。

標準サイズ温度勾配二重引張試験の結果との関連を調べるために、溶接協会規格 (WES 規格) ・低温構造用鋼板材質判定基準および越賀による、鋼材の K_c 値と、 pT_c の関係を用い、本試験によつて得られた pT_c より、供試材の温度と K_c 値の関係を求めて図示すると、図 3.3.3 となる。これより、本供試材に関しては、従来の試験データから求められているような、 K_c 値と pT_c のよい相関関係からは、かなりずれていることがわかった。

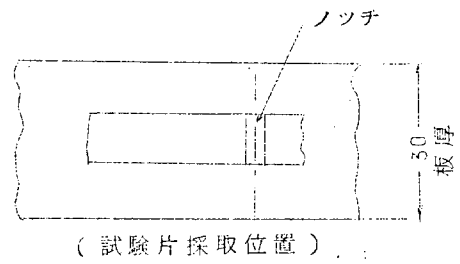
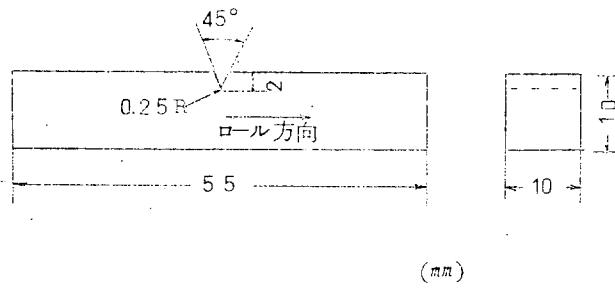
表 3.3.1 供試材の化学成分および機械的性質

符 合	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 0.1L=200mm (%)
RE30	E 級	Normalized	30	0.12	0.21	1.00	0.016	0.019		286	446	30.0
ND30	D 級	Normalized	30	0.17	0.02	0.97	0.019	0.025	0.05	296	482	37.5
RD30		As Rolled	30	0.14	0.07	1.14	0.015	0.017		240	440	32.0

表 3.3.2 試 験 結 果

供 試 材	V - シ ャ ル ビ ー					ブ レ ス シ ャ ル ビ ー	
	vT _{1E} (C)	vT _{1E} (C)	E _b (Kg-m)	E ₁₀ (Kg-m)	pT _{1E} (C)	pT _{1E} (C)	pT _{1E} (C)
RE30	-32	-34	27	26	-5	-12	
ND30	3	-4	6	4	20	12	
RD30	-3	-4	14	9	22	15	

V-シャルビー



プレスシャルビー

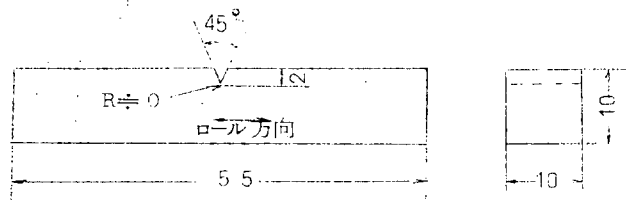


図 3.3.1 シャルビー試験片形状寸法

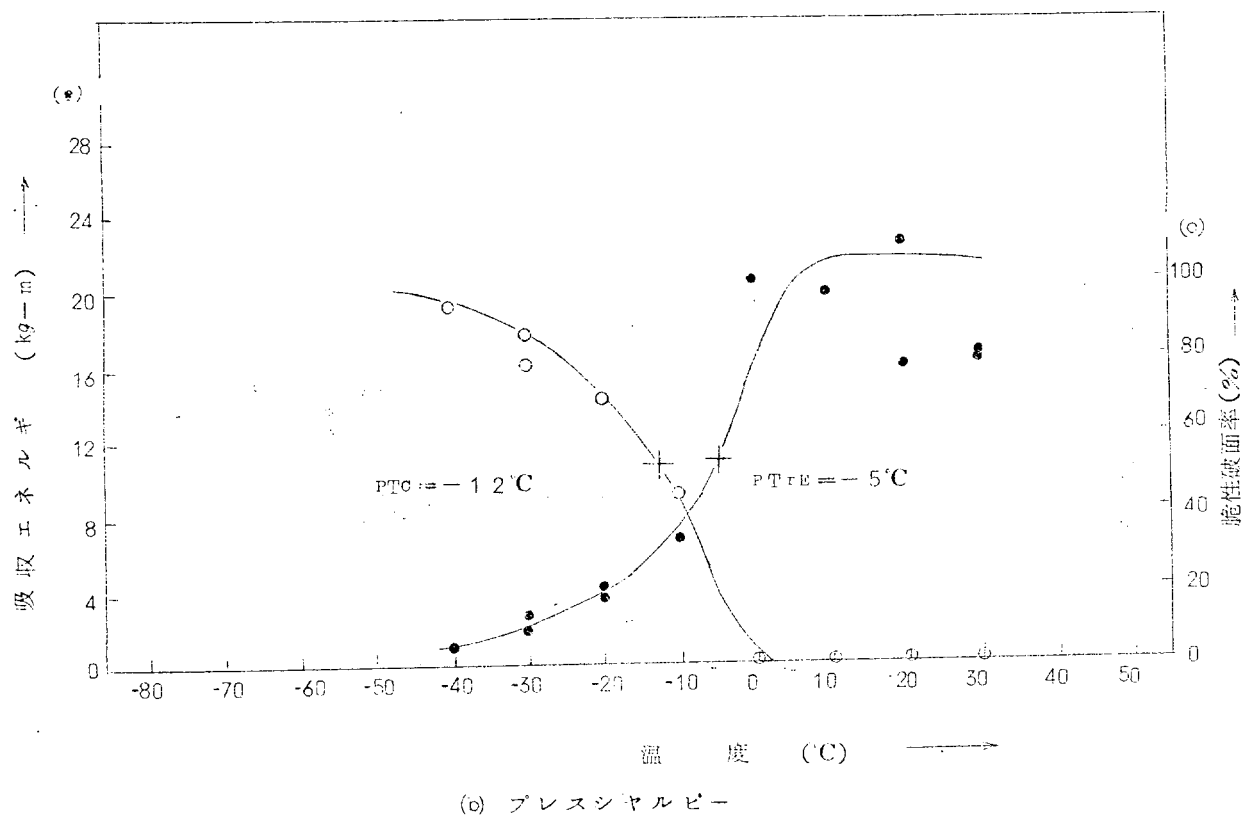
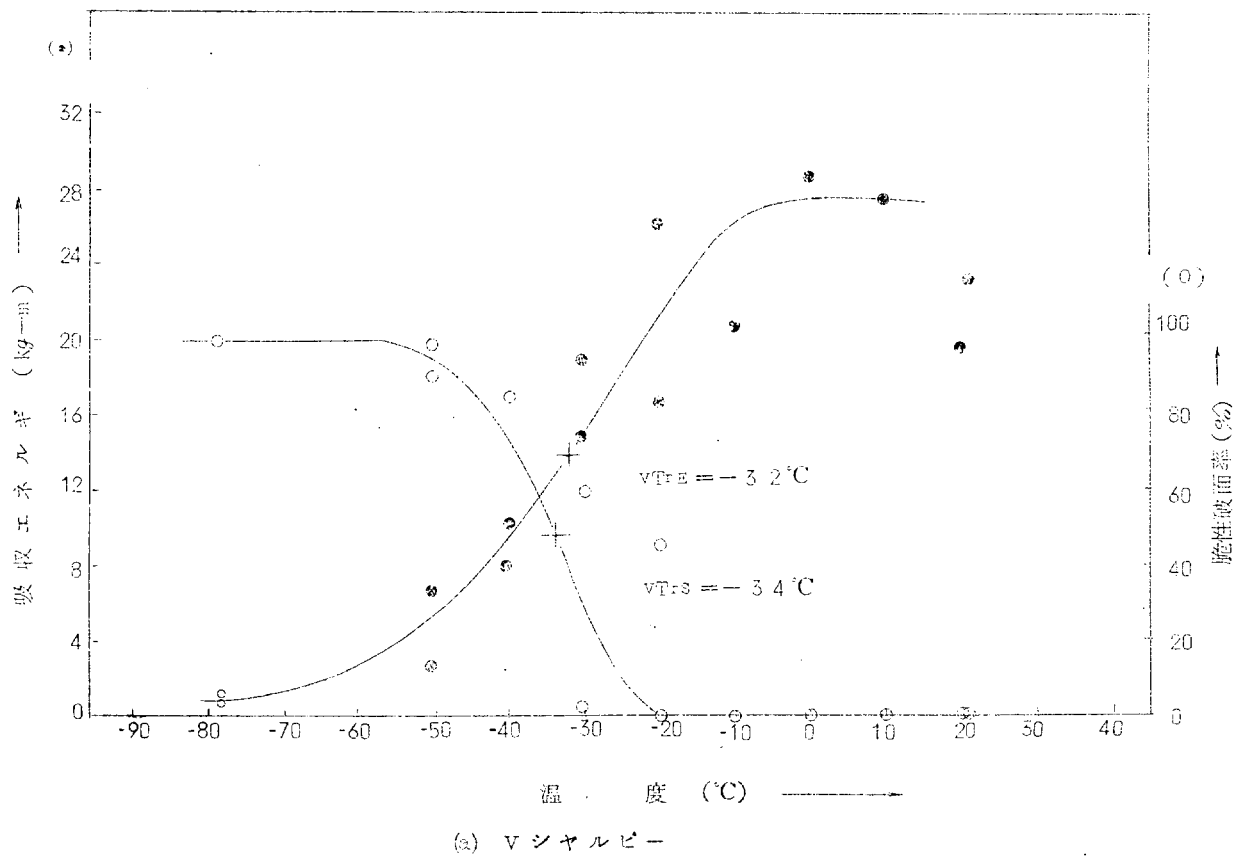
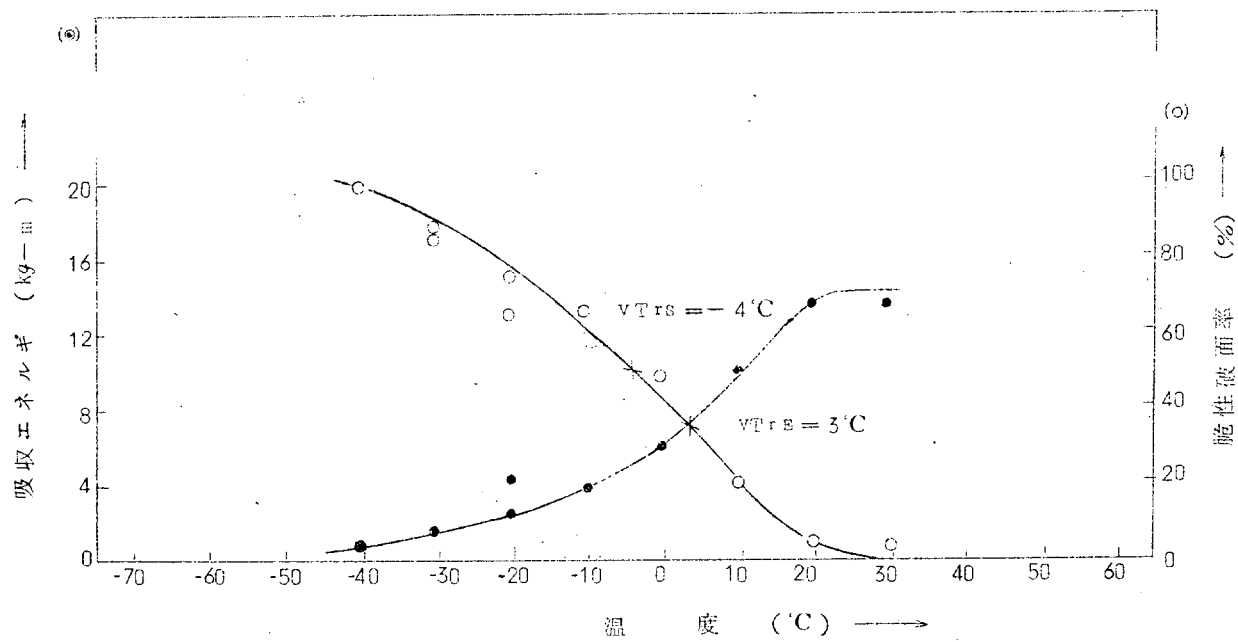
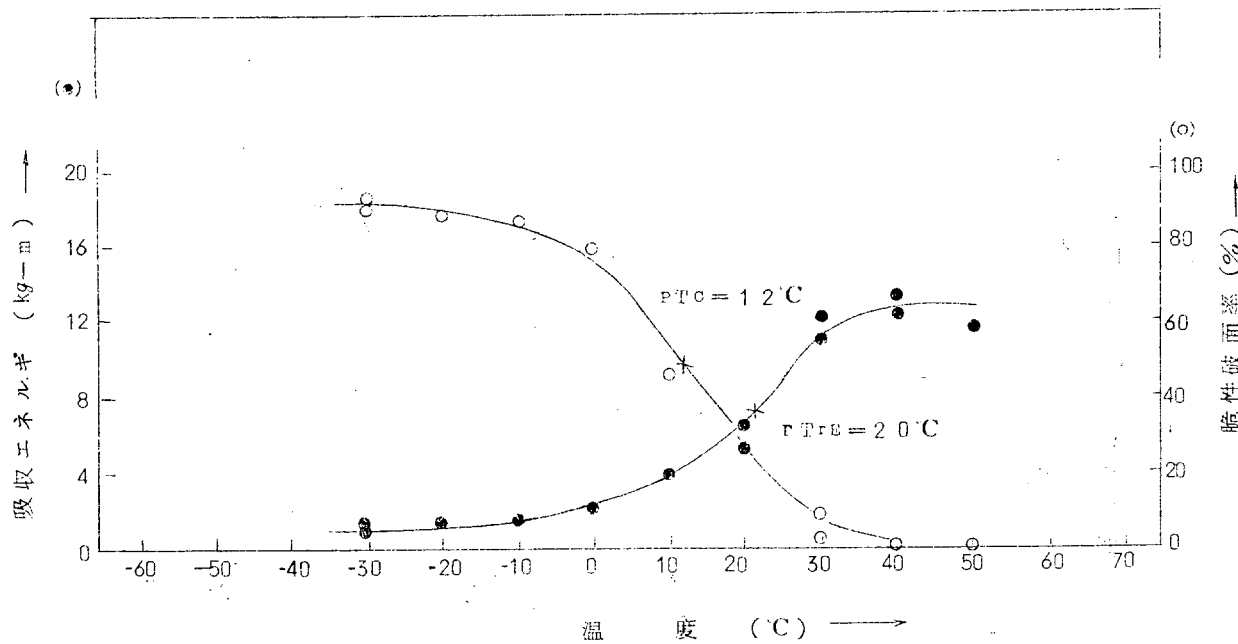


図 3. 3. 2 (1) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係 (R E 3 0)

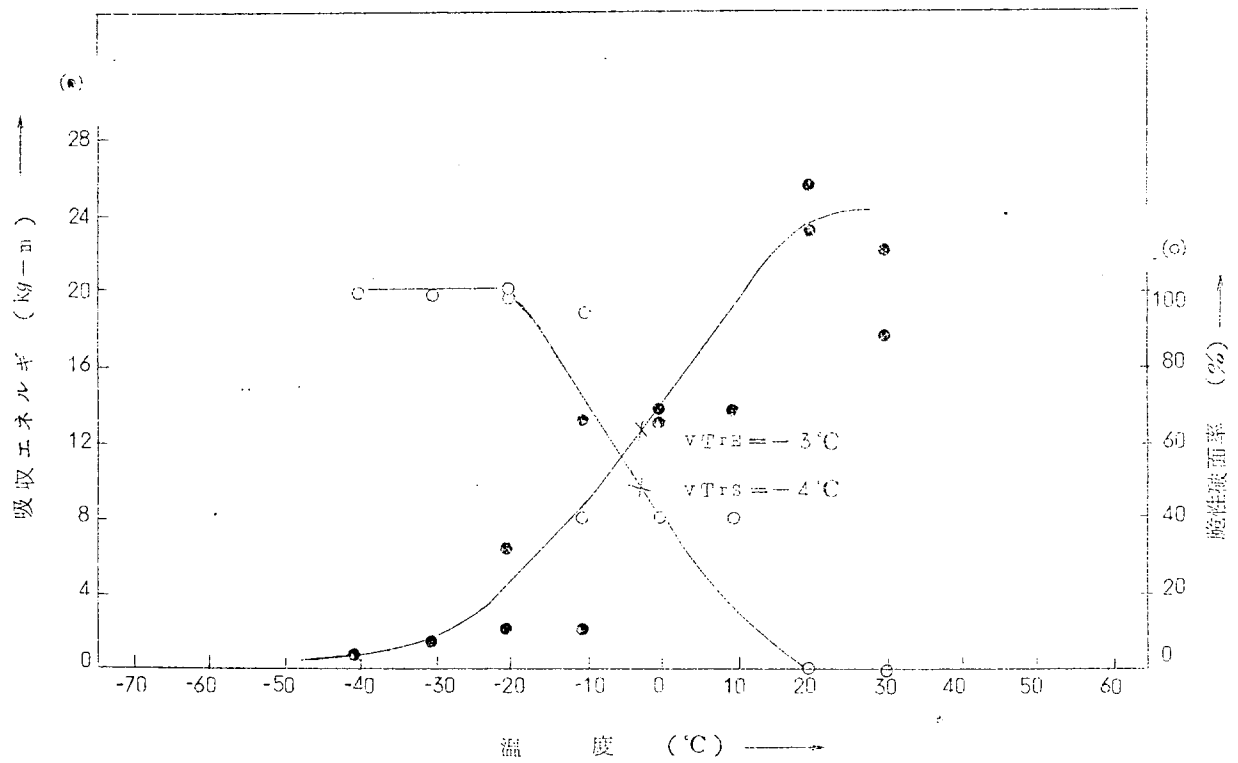


(a) Vシャルピー

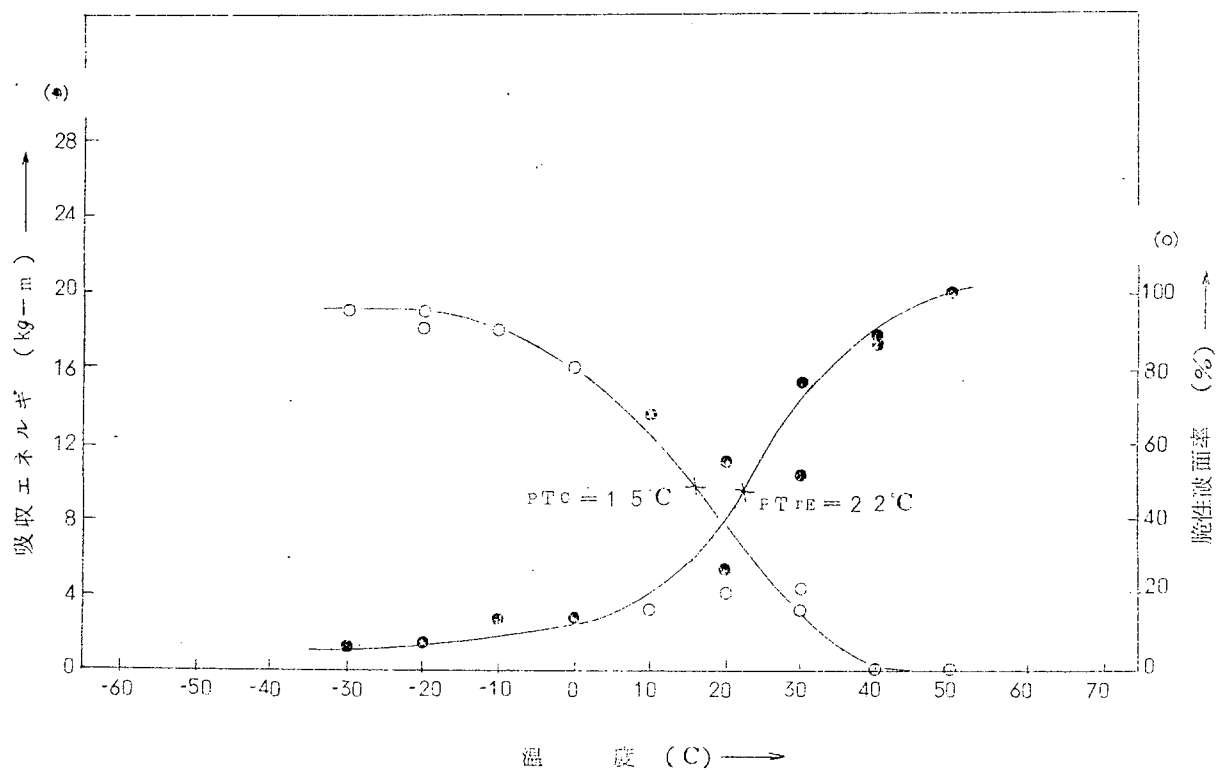


(b) プレスシャルピー

図 3.3.2 (2) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係 (ND 30)



(a) V シャルピー



(b) プレスシャルピー

図 3.3.2 (3) 温度と吸収エネルギーおよび脆性破面率の関係 (RD30)

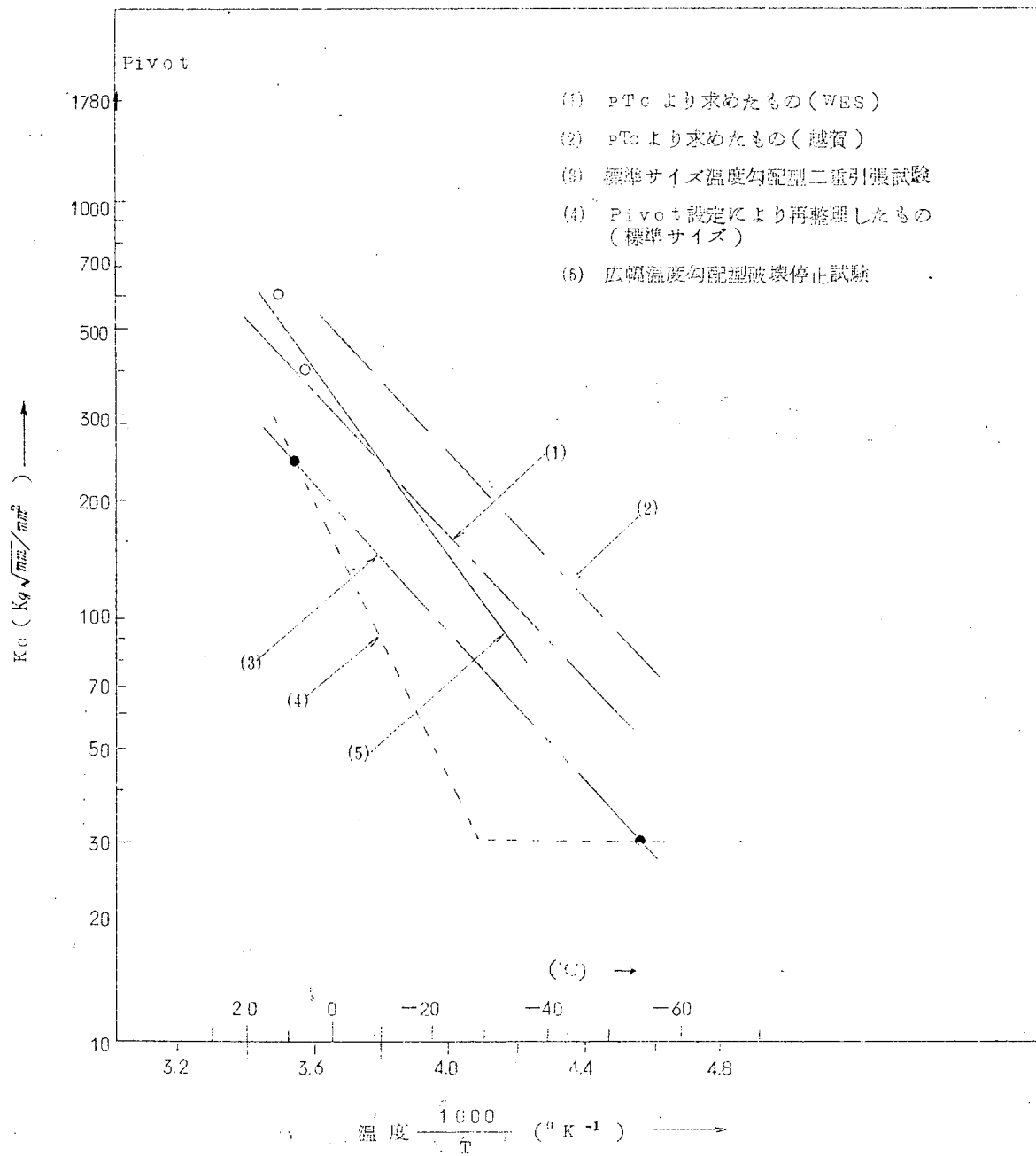


図 3.3.3 K_{IC} 値と試験温度の関係 (RB30)

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

船舶の巨大化に伴つて、板厚40～50mm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、実際構造物の事故条件を再現しようとする観点からみると、伝播試験と比較して一層困難なものといえる。これは実際構造物における脆性亀裂の発生条件がきわめて多様複雑なものであることに起因する。このため脆性亀裂発生試験として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
切欠付十字継手広巾引張試験
デューブノッチ試験
不連続部付広巾引張試験
角変形付広巾引張試験
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

等これらの試験法はそれぞれ想定した発生条件を再現することを試みて研究されたものといえることができる。

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、本原料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50mmおよび30mm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級鋼板厚30mmおよび50mm各1鋼種を用いた。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に示した。

表 4.1.1 供試鋼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 (%) (Ladulle)					機 械 的 性 質			
				C	Si	Mn	P	S	降伏点 (Kg/cm ²)	引張強さ (Kg/cm ²)	伸率 % G.L. 70mm	衝撃値 0°C (Kg-m)
ND50	D 級	Normalized	50	0.11	0.26	0.92	0.014	0.022	27.4	43.0	35.3	21.0
RDB30	D 級	As Rolled	30	0.16	0.027	1.00	0.014	0.021	27.6	44.3	32	10.0

縦継手の溶接前の試験片形状を図4.1.1および図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0.1mm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あけ、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2mm幅の鋸によつて切断している。

これらの手段によつて本試験に採用した切欠はその先端部は溶接による熱およびひずみサイクルを受け、また残留応力および外荷重による応力が切欠先端部に集中しやすいものとなつてゐる。

従来の溶接前加工の切欠はX型の溶接開先面に加工し、その先端はやはりX型になつてゐる場合がほとんどである。本試験の場合、図4.1.5に示されたごとく切欠先端は鋼板表面に垂直な2つの直線となつてゐる。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 的の取り扱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。

板厚が薄い場合、今回採用した切欠形状は従来のX型切欠と比較して脆性亀裂を発生させにくい形状となつてゐる恐れがある。板厚30mmの場合にはあるいはこれは該当しているかも知れない。しかしながら板厚が増大した場合には破壊の発生箇所は鋼板表面近くとなることがWellsにより確かめられてゐる。これにより厚さ50mmの鋼板の場合、今回採用した切欠によつて試験条件があまくなつてゐるとは考えられない。

図4.1.2に見られるごとく、板厚30mmの鋼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50mm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。切欠の長さを全幅36mm（半幅18mm）としたのは、木原外の研究によればこの長さ付近が最も脆性破壊を発生しやすい位置と考えられてゐることによる。

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4.1.2に示した。初層は4mmφ、他は5mmφ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形状を図4.1.4に示した。

表 4.1.2 使用溶接棒溶着金属の化学成分と機械的性質

銘柄	規格	化学成分（実例％）					機械的性質（実例）			
		C	Si	Mn	P	S	降伏点 (Kg/mm ²)	引張強さ (Kg/mm ²)	伸び (%)	衝撃値0°C (Kg·m/cm ²)
B 17	KD4301	0.08	0.08	0.47	0.018	0.012	42	47	28	13

4.1.3 試験内容および方法

本研究の実験は板厚50mm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30mm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および図4.1.6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。亀裂伝播予定線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1mで実施し、荷重の上昇に伴う伸量の計測を行なつた。

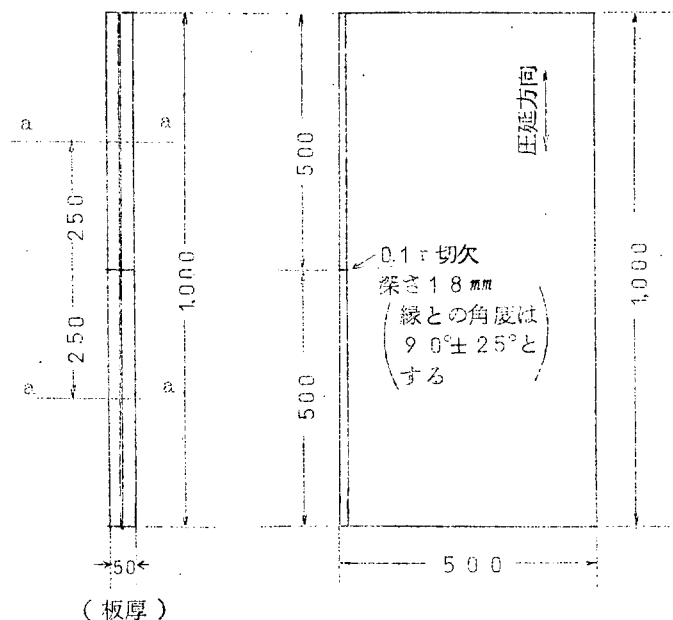
4.1.4 試験結果および考察

試験結果を図4.1.7以降の各図に示す。図4.1.7および図4.1.8はそれぞれ板厚30mmおよび50mmの場合において、0°Cおよび-40°Cを目標として行なつた試験の荷重-伸び線図である。図4.1.9ないし図4.1.12には各試験片破壊面のスケッチを示した。

これらの実験において板厚30mmの場合はいずれも部分亀裂が低荷重において発生しているのに対し、板厚50mmの場合には部分亀裂は発生しないという差異が見られている。

この理由として、板厚30mmの鋼板は圧延のままであるのに対し、50mmの場合は焼準処理がほどこされていること、またMill sheetによる0℃のVシャルピー試験衝撃値は板厚30mmの鋼板が10Kg-mであるのに対し、板厚50mmの場合には20Kg-mをこえていること等が考えられる。この点は今後溶接熱影響部シャルピー試験の結果を併せて検討しなければならない問題といえる。

板厚30mmの鋼板の場合、Vシャルピー試験の衝撃値が10Kg-m (Mill sheet)を示す0℃の温度において、短かいながらも低荷重で脆性亀裂を発生させている点は重要でありまた興味深い。従来のこの種の試験研究において、同様な結果が得られているかを調査し、それらを併せて考察を要する問題であろう。



溶接開先の詳細。銅板にそりのあるときは
上図 a-a の位置において図示の寸法をとる。

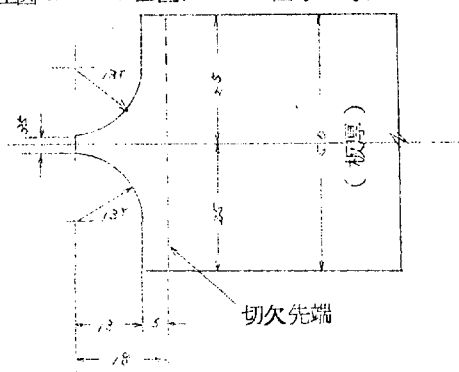
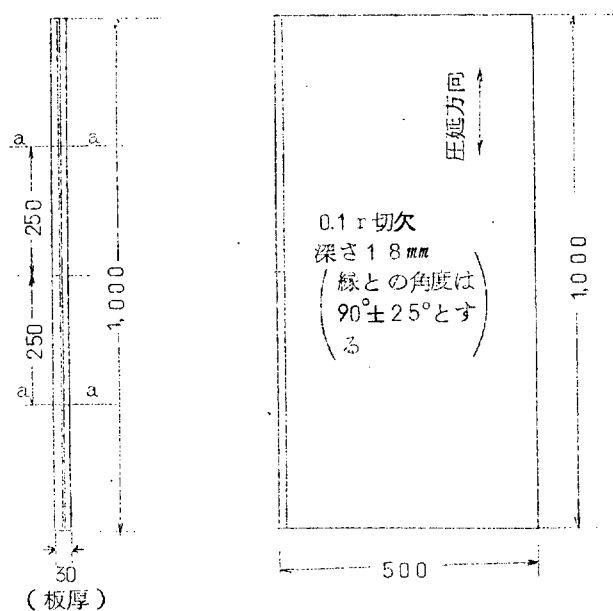


図 4.1.1 切欠付縦継手広巾引張試験片 (板厚 5.0 mm) 加工図



溶接開先の詳細。銅板にそりのあるときは
上図 a-a の位置において図示の寸法をとる。

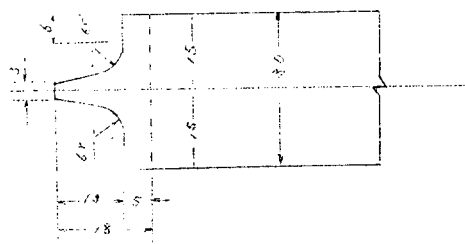


図 4.1.2 切欠付縦継手広巾引張試験片 (板厚 3.0 mm) 加工図

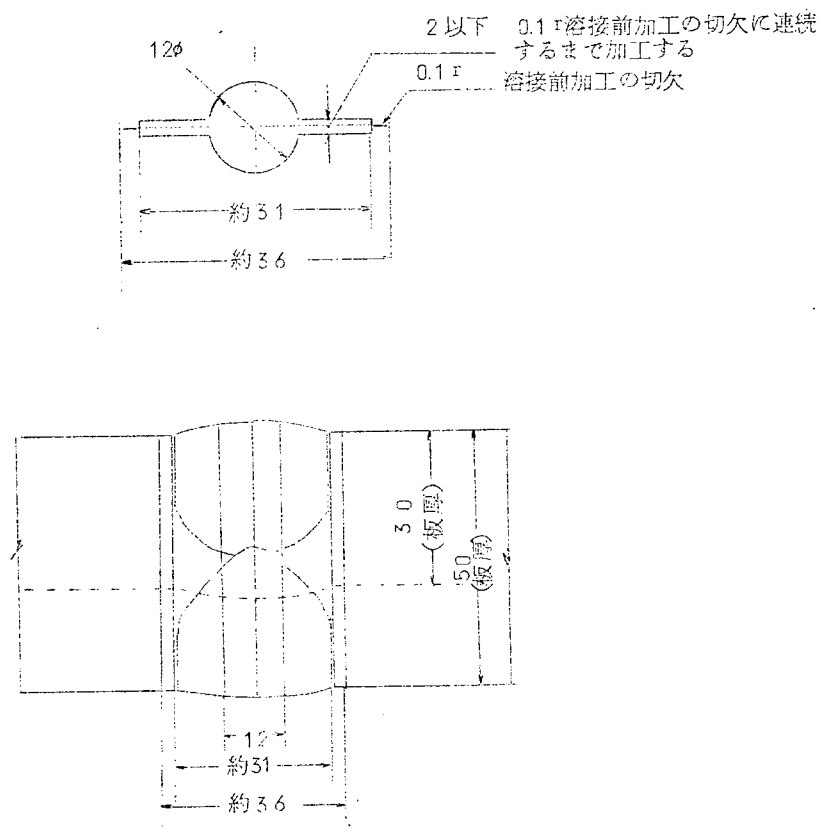


図 4. 1. 3 切欠付縦継手広巾引張試験片 2 次切欠加工図 (板厚 50, 30 mm)

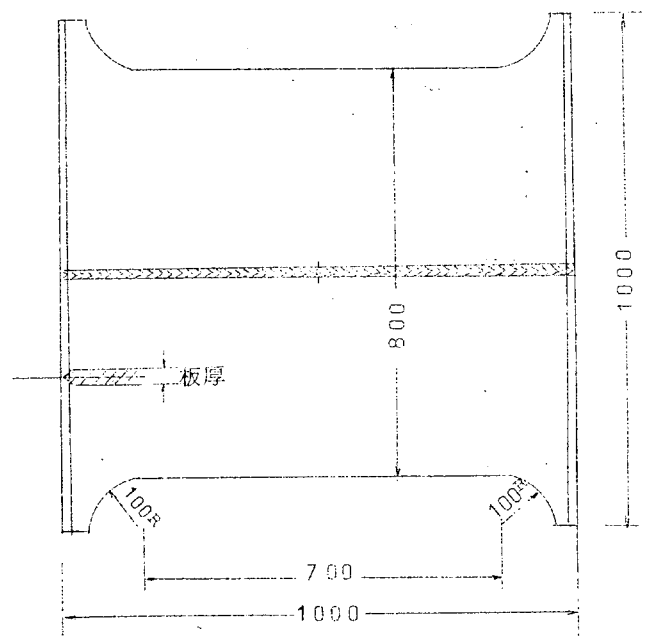


図 4. 1. 4 溶接縦継手切欠広幅引張試験片

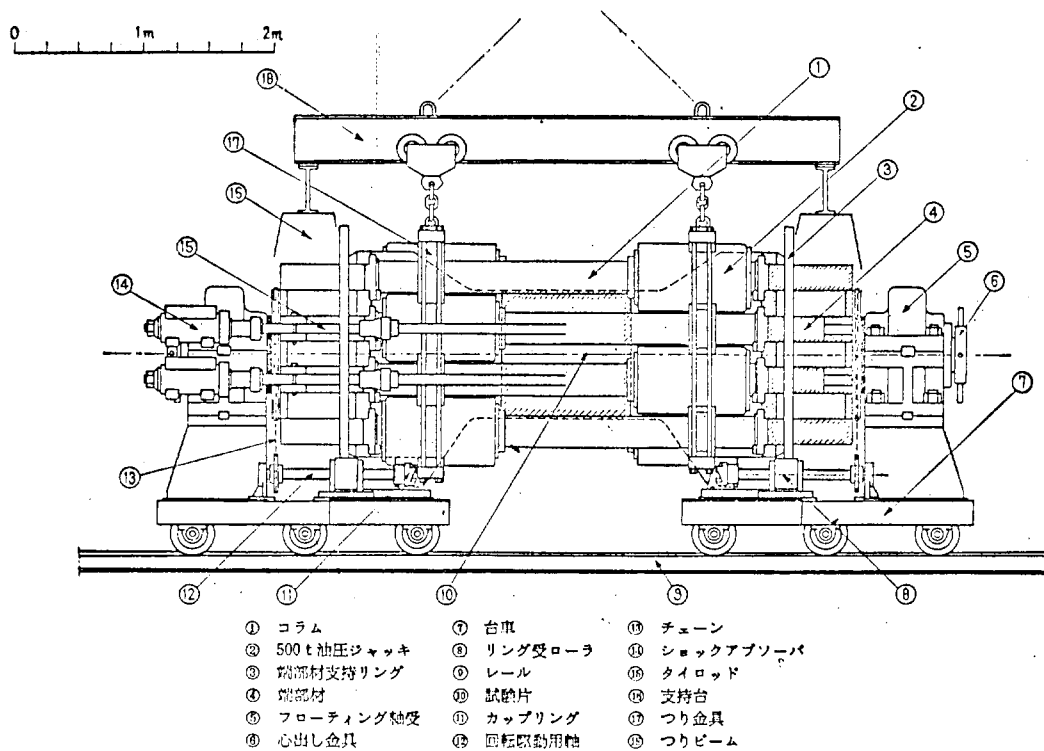


図 4.1.5 4000tテストリグ側面図

型 式 横型4連ジャツキ
能 力

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

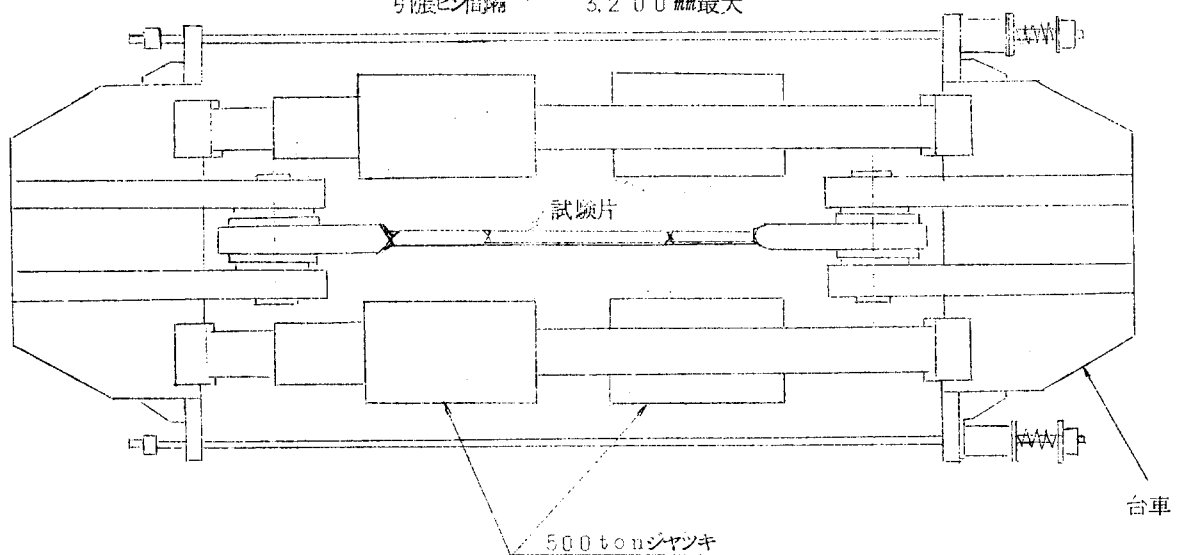


図 4.1.6 2000ton横型引張装置

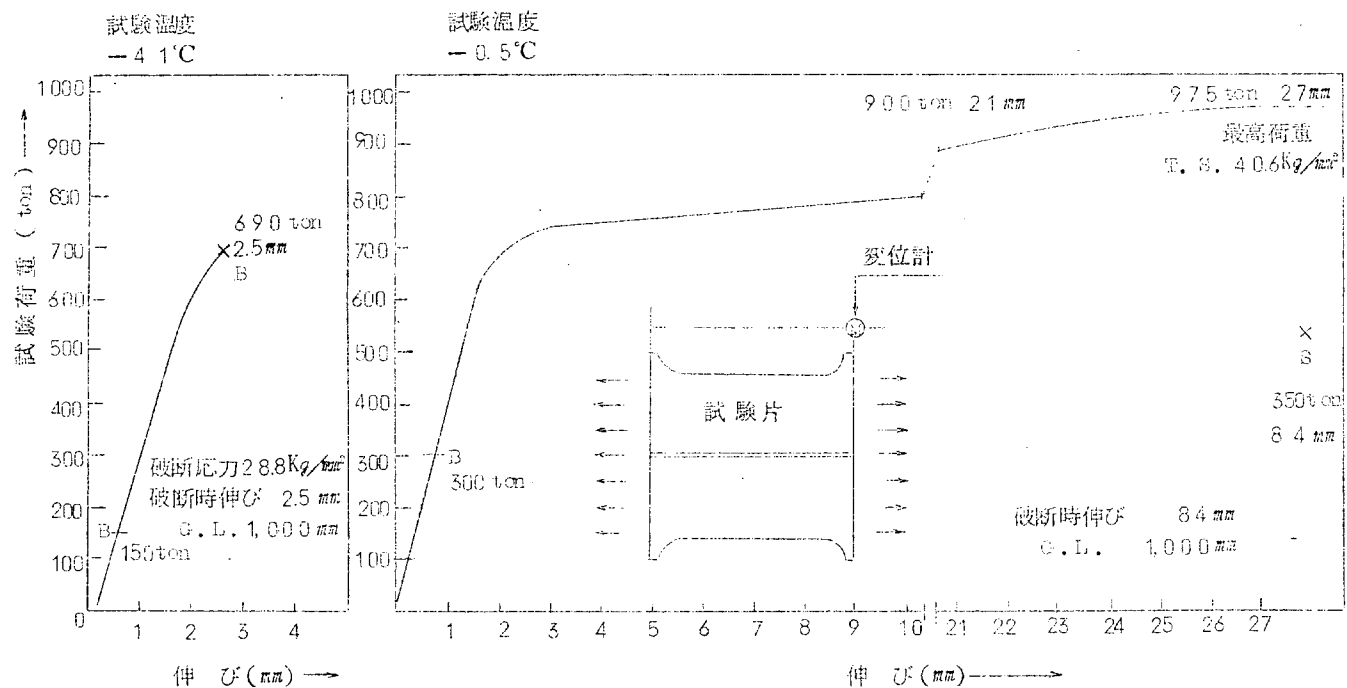


図 4.1.7 荷重—伸び曲線 (板厚 30 mm)

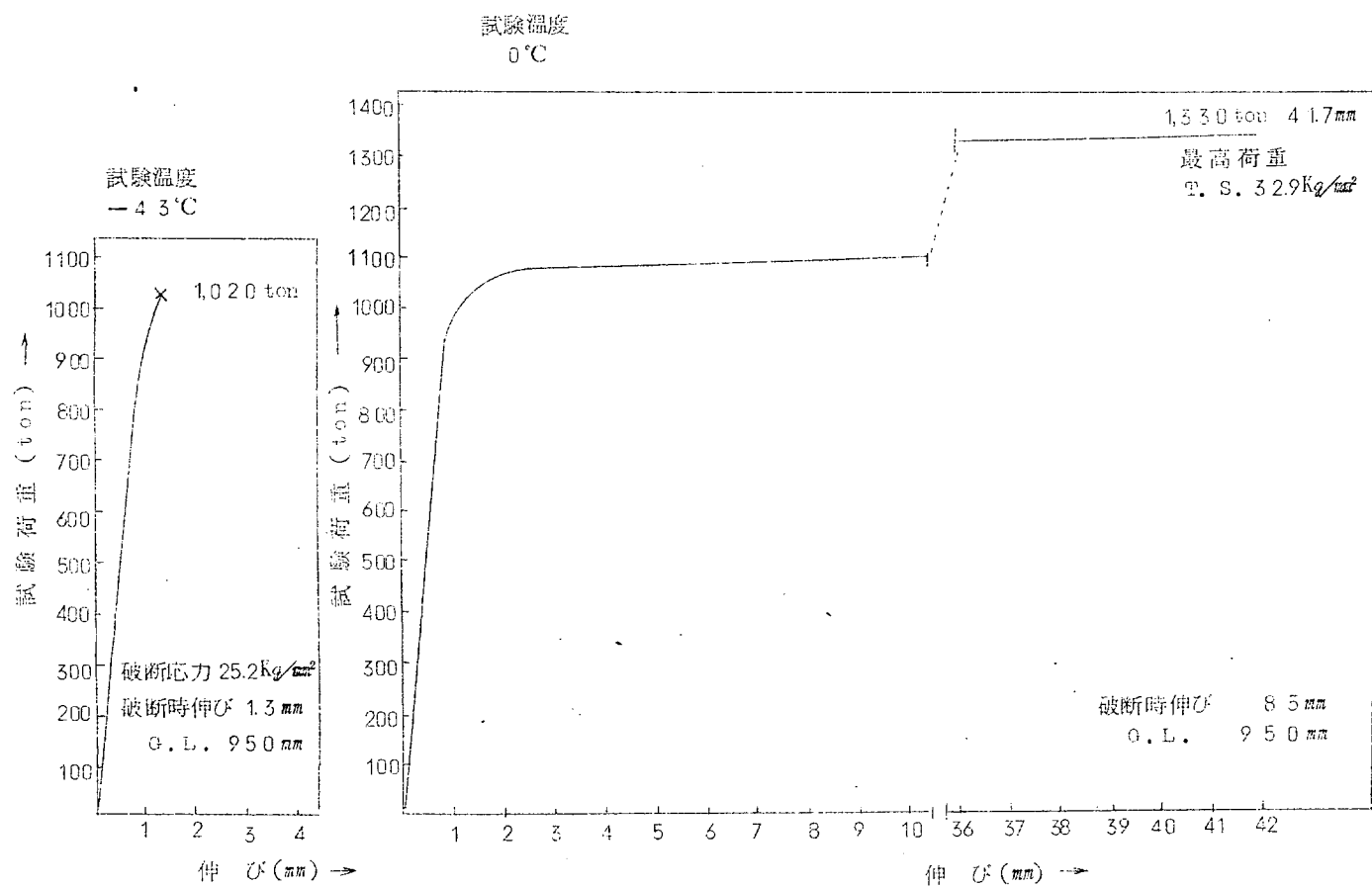


図 4.1.8 荷重—伸び曲線 (板厚 50 mm)

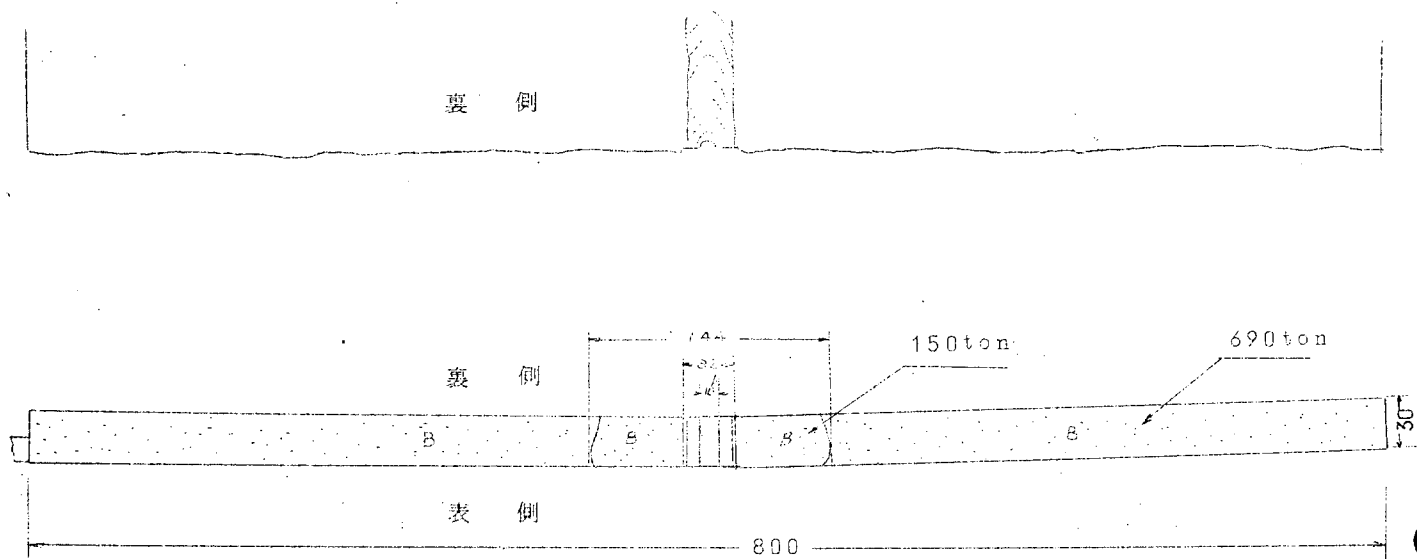


図4.1.9 試験温度 -41°C

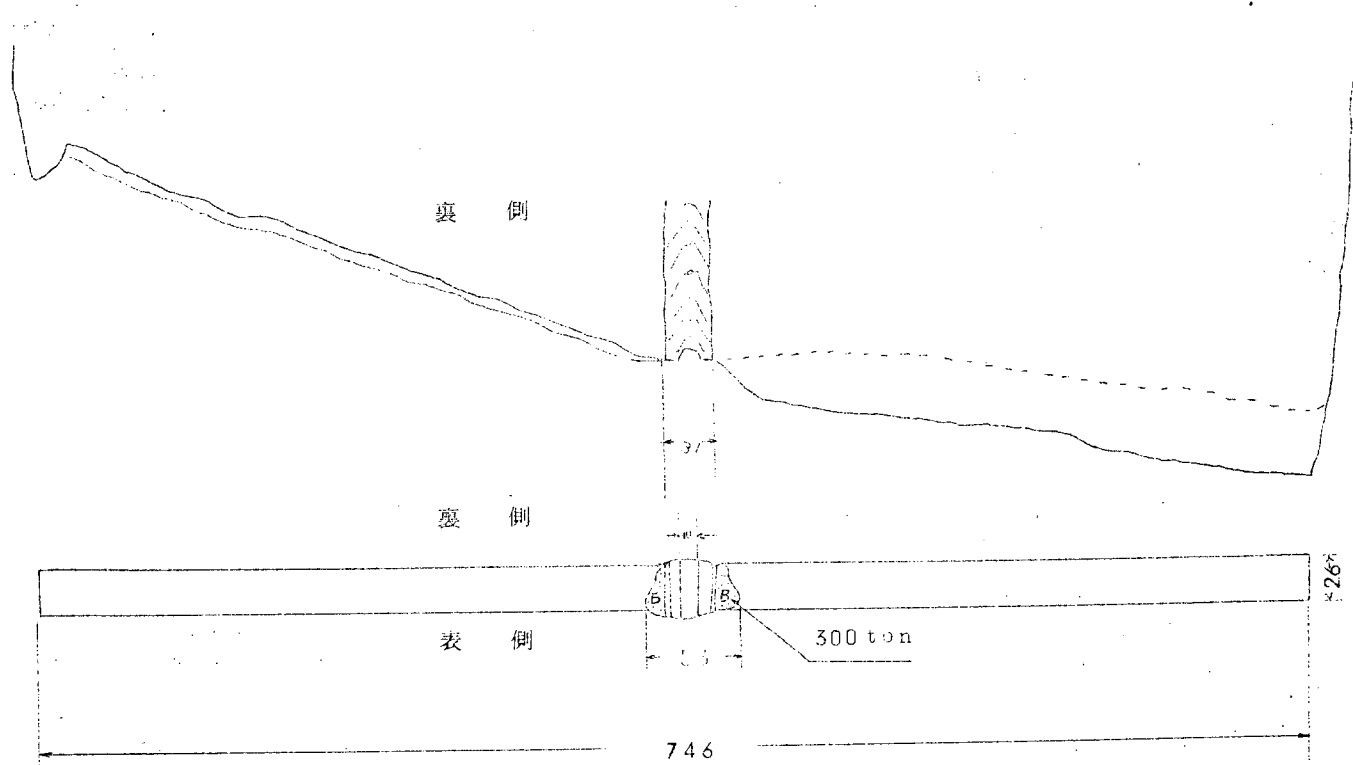


図4.1.10 試験温度 -0.5°C

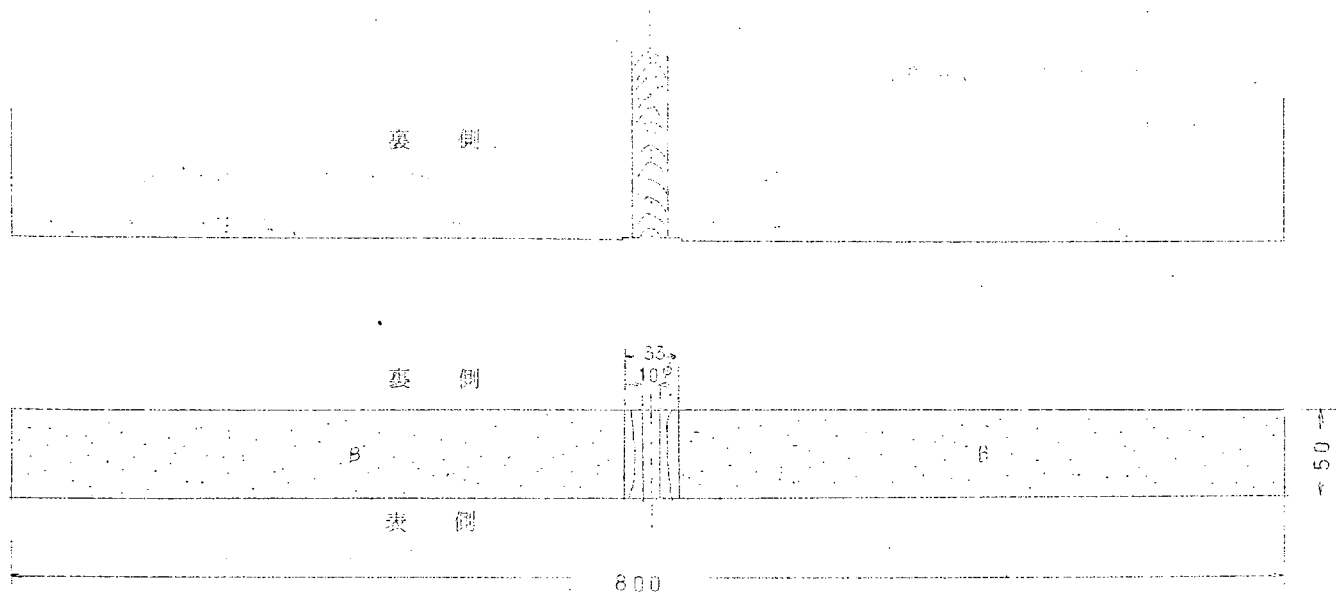


図 4.1.11 試験温度 -45°C

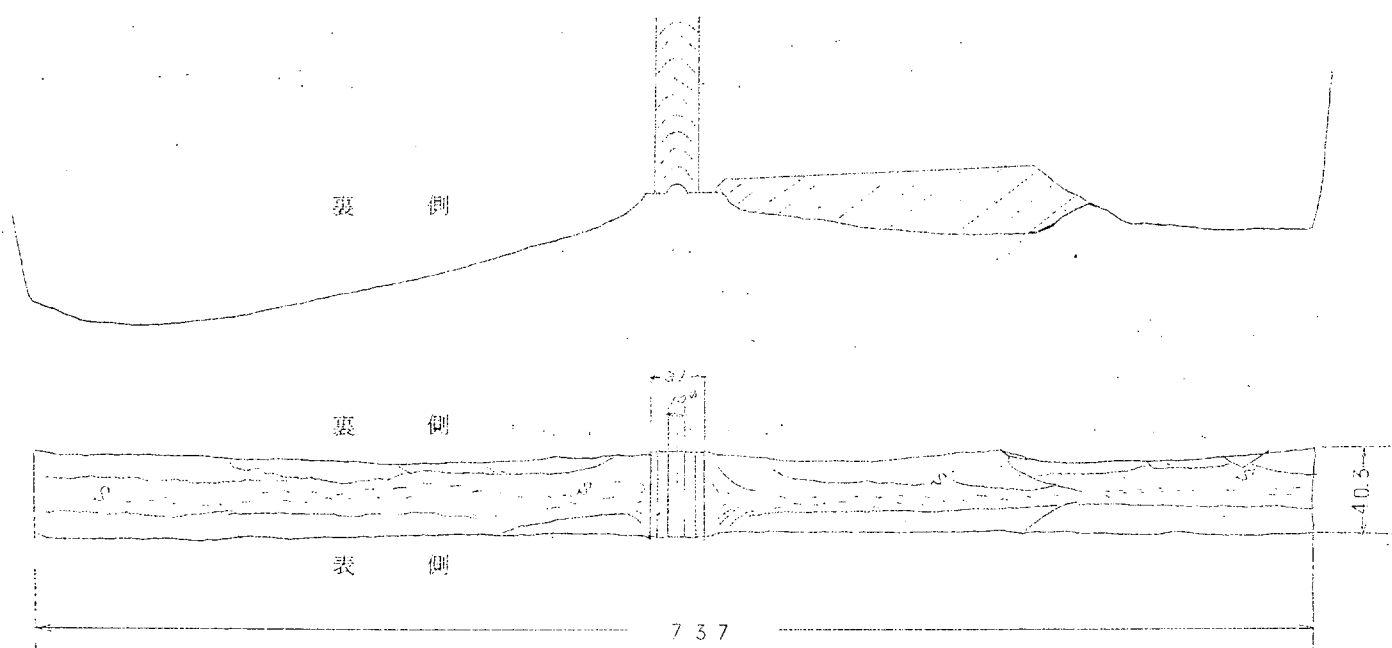


図 4.1.12 試験温度 0°C

4.2 シヤルビ試験 (B-3)

4.2.1 研究目的

B-1 試験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シヤルビ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

本年度実験を行なった供試材はD級鋼(セミキルド鋼、板厚30mm)のRDB30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 (Ladle) (%)						機 械 的 性 質		
				C	Si	Mn	P	S	Cu	降 伏 点 (Kg/cm ²)	抗 張 力 (Kg/cm ²)	伸 び (%)
RDB30	D	As Rolled	30	0.16	0.27	1.00	0.014	0.021	—	27.6	44.3	32.0

なお、試験片形状は図4.2.1に示すとおりである。

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4.5mm間隔の位置(記号①~⑥)にくるように、Vシヤルビ試験片をそれぞれ25本ずつ採取する。試験片の長さ方向が鋼板ロール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30kgmのシヤルビ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分間以上浸漬したのち、すみやかに試験片をとりだして試験をおこなった。なお冷却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

各位置より採取した試験片について、種種の温度における吸収エネルギー、脆性破面率および横収縮率をもとめ図4.2.4ないし図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(余盛り趾端)および位置③(余盛り趾端から4.5mm)であることがわかる。

なお、各位置の15ft 1b遷移温度 vTr_{15} 、エネルギー遷移温度 vTr_E 、破面率遷移温度 vTr_s 、横収縮率 vTr_ϕ を表4.2.2に示す。

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溶接熱サイクルにより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	vTr_{15} °C	vTr_E °C	vTr_s °C	vTr_ϕ °C
溶接金属①	-64	-21	-14	-28
ボンド②	-4	19	21	14
溶接金属の中心より22.5mmはなれた位置③	-6	13	17	3
溶接金属の中心より27mmはなれた位置④	-10	3	11	3
溶接金属の中心より31.5mmはなれた位置⑤	-19	-4	4	-1
溶接金属の中心より36mmはなれた位置⑥	-21	-7	2	-12

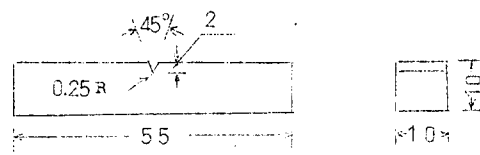


図 4.2.1 Vシヤルピ試験片形状

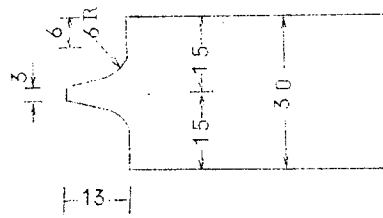


図 4.2.2 開先形状

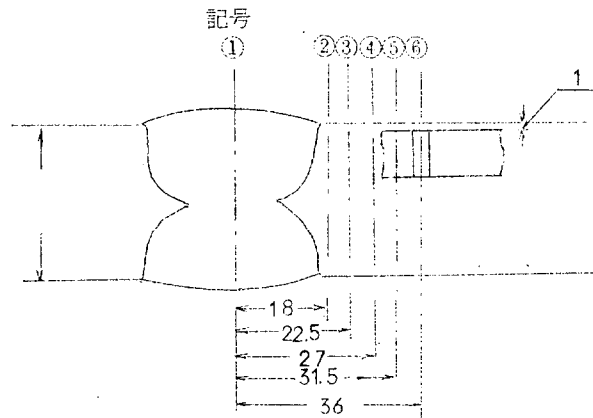


図 4.2.3 Vシヤルピ試験片採取位置

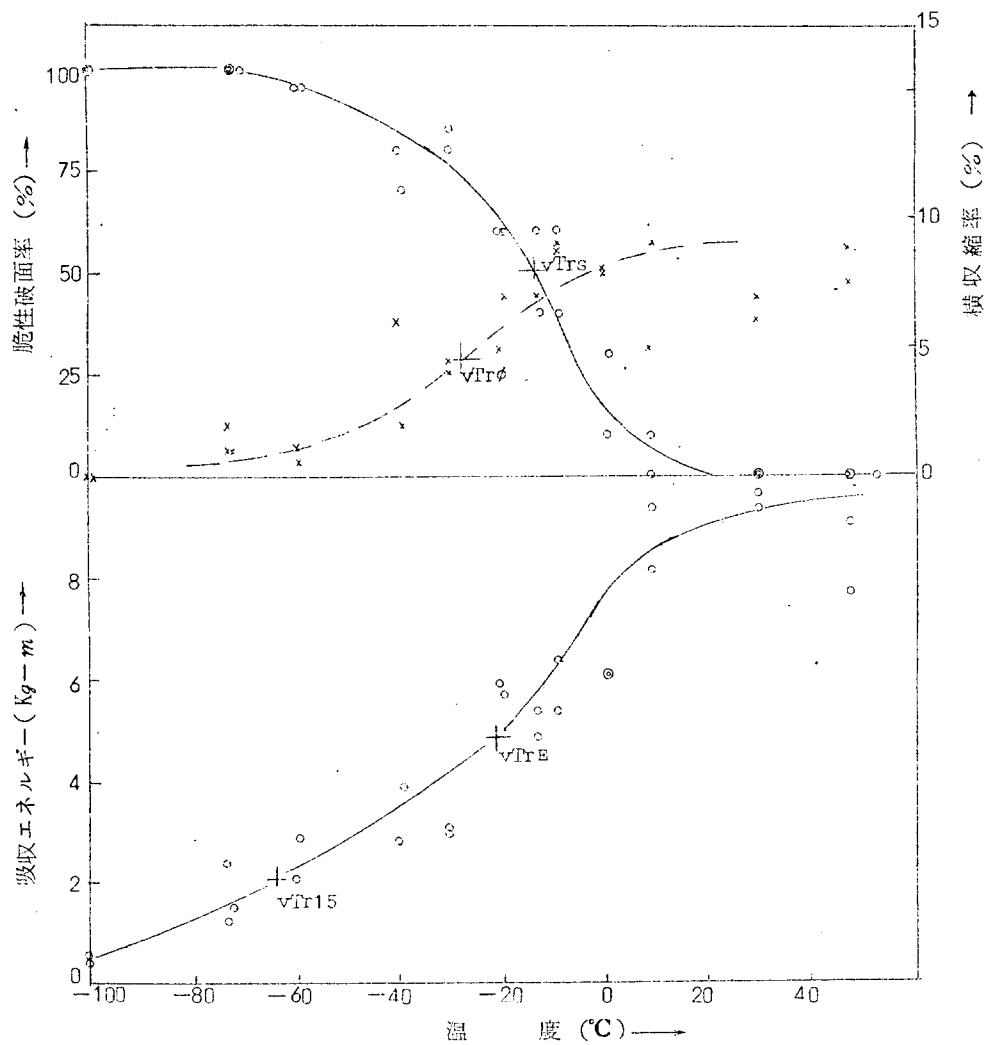


図 4.2.4 溶接金属 (1) の変形曲線

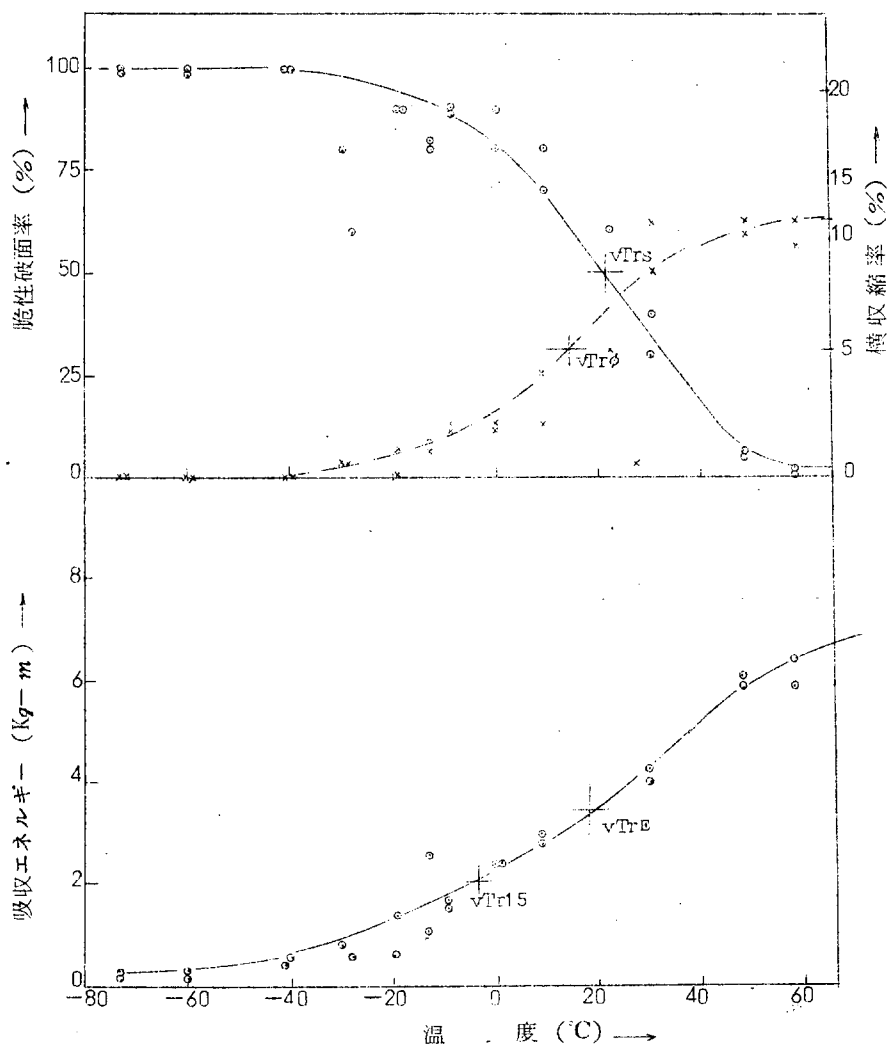


図 4.2.5 ボンド(②)の遷移曲線

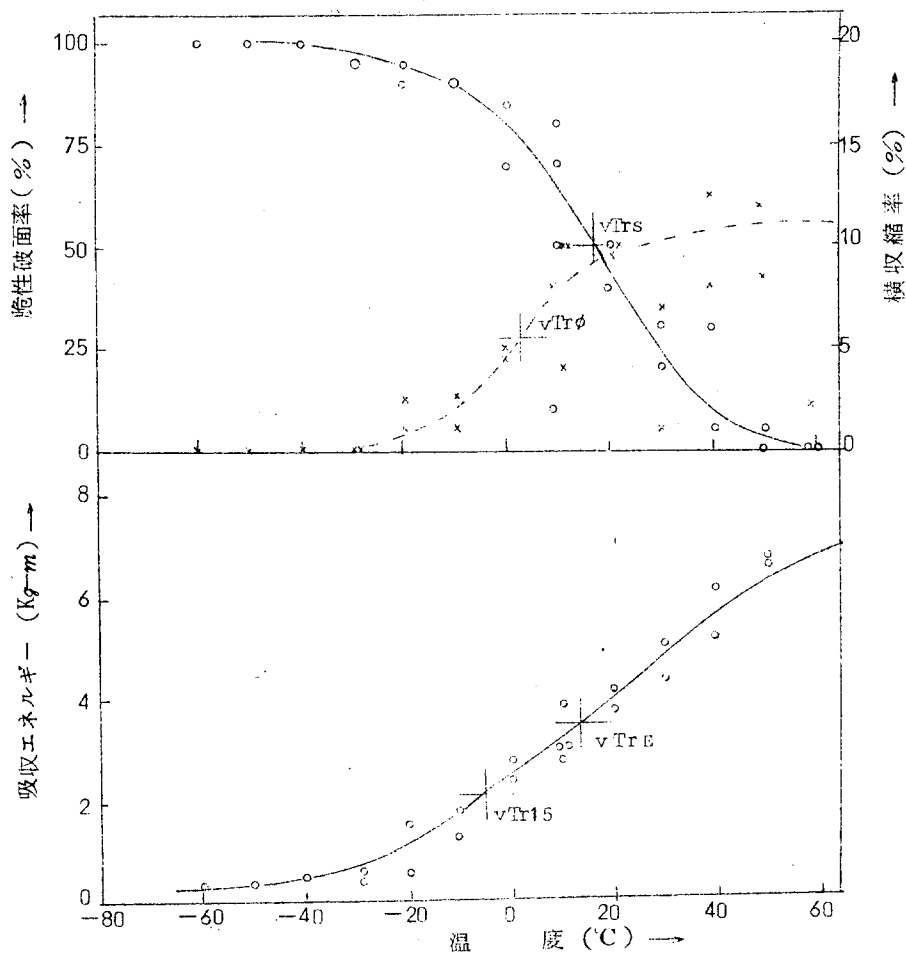


図 4.2.6 溶接金属の中心より 22.5 mm はなれた位置(③)の遷移曲線

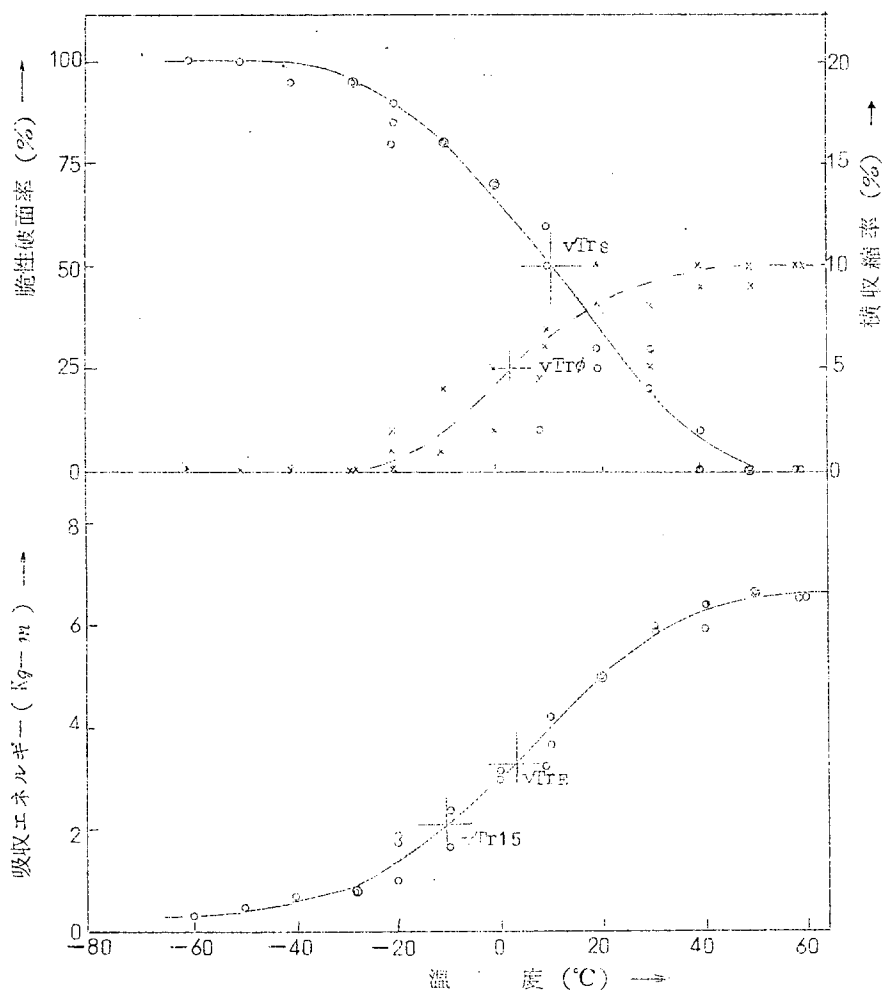


図 4.2.7 溶接金属の中心より 2.7 mm はなれた位置 (4) の遷移曲線

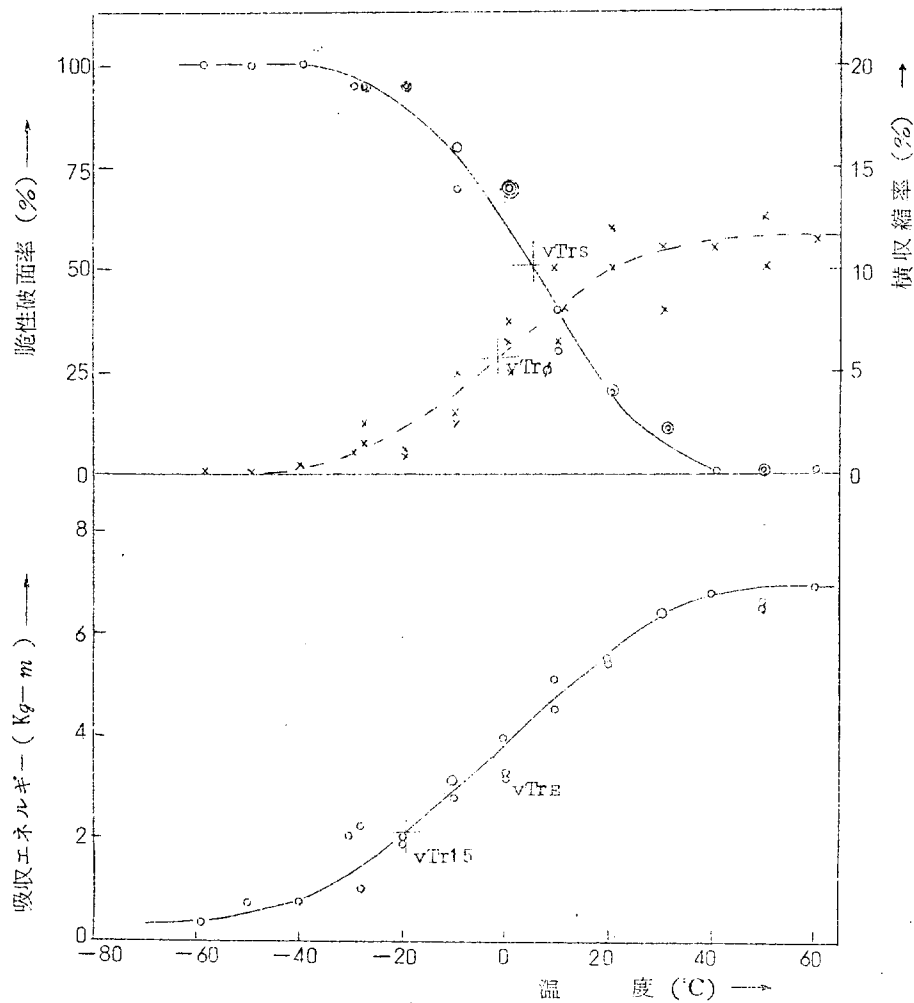


図 4.2.8 溶接金属の中心より 3.15 mm はなれた位置 (5) の遷移曲線

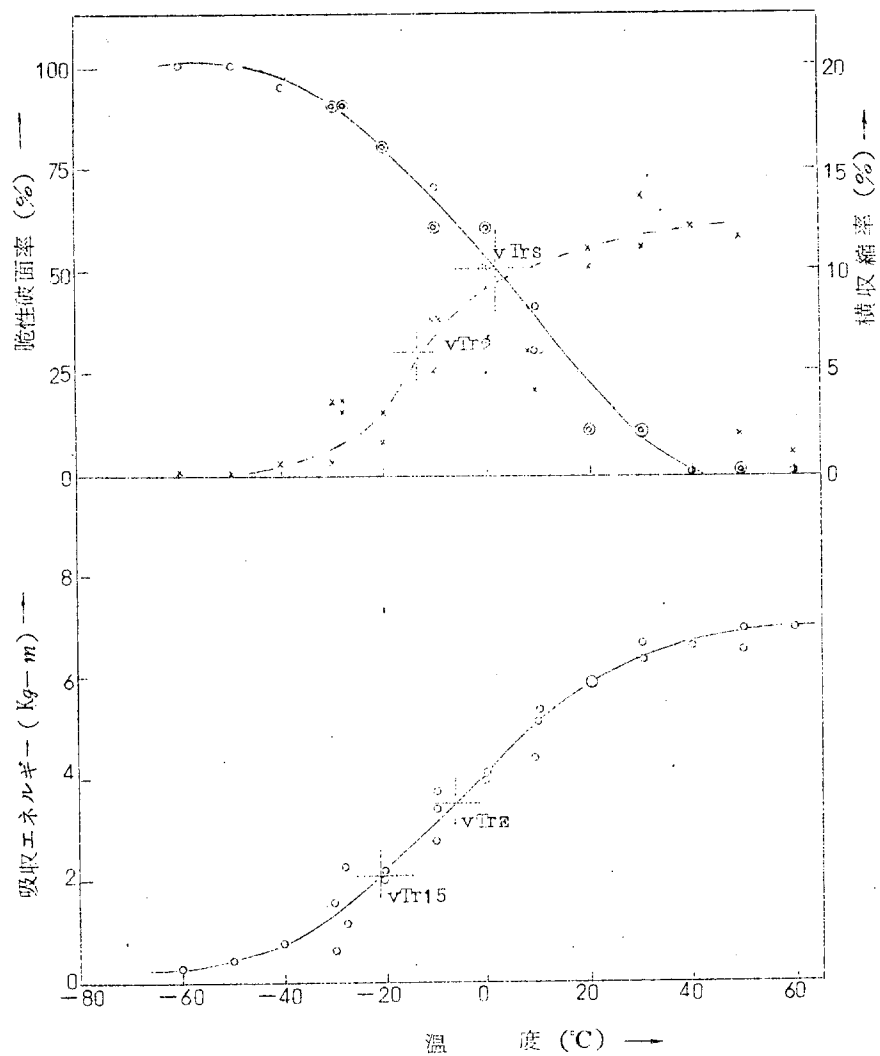


図 4.2.9 溶接金属の中心より 3.6 mm はなれた位置 (⑥) の遷移曲線

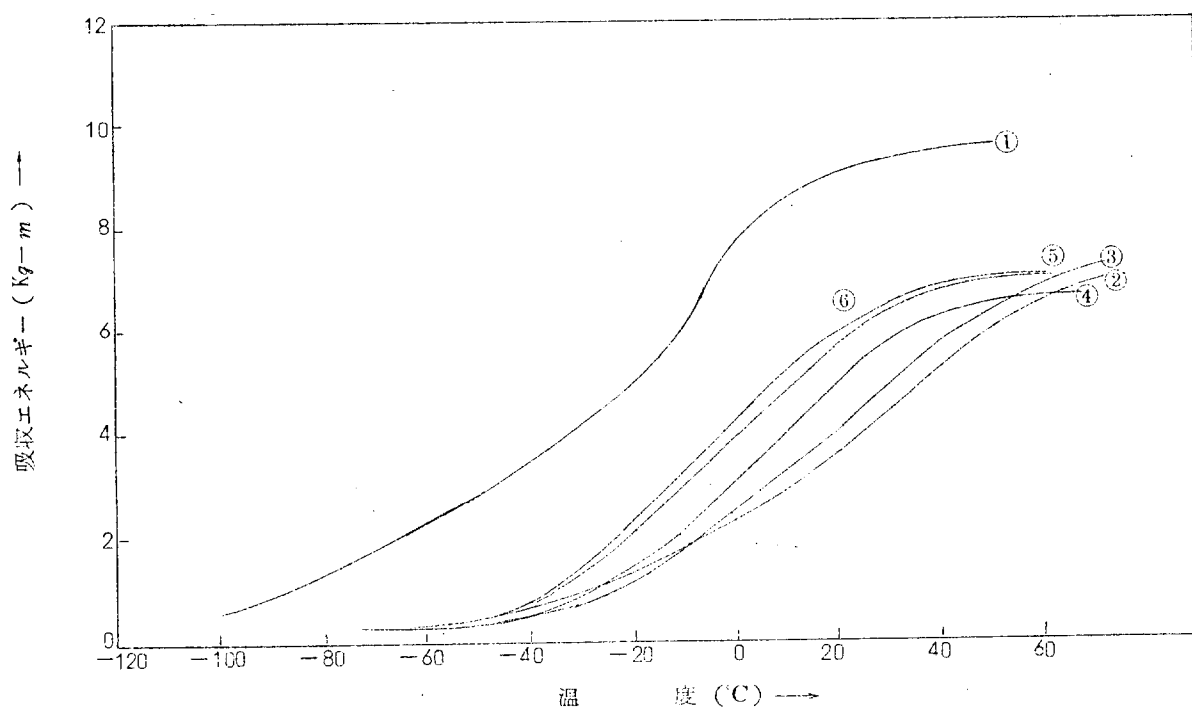


図 4.2.10 各位置での吸収エネルギー-温度曲線の比較

5. む す び

第1年度は研究計画の内容から主として実験設置、供試鋼材の調達、予備実験その他の準備段階となっており、現在までの試験結果から何らかの確定的結論を引出すことは時期尚早と思われる。したがって本報告書は本研究計画の内容・方法の説明と試験結果の中間報告を内容とするもので、大型試験からはいくつかの知見が得られてはいるが明確な技術的結論をのべることはあえて差控えた。