

社団法人
日本造船研究協会報告
第 8 号

昭和 31 年 5 月

熔接構造法の研究 第 12 研究部会第 1 小委員会

Some Investigations on the Strength of Welded Structures in ship
..... The 12 th Research Committee, 1 st Sub-committee

The Report
of the
Shipbuilding Research Association
of Japan,
Tokyo, JAPAN
No. 8
May 1956

第12研究部会第1小委員会委員名簿

委員長	木原 博		
幹事	秋田好雄	安藤文隆	
委員	浅野順一	石野一雄	岡部利正
	角田令二	蒲田利喜蔵	木下共武
	栖原寿郎	高橋菊夫	竹下軍代
	谷口信吉	埴田清勝	土方義春
	増淵興一	保井一郎	山本善之
	吉識雅夫	吉本誠佑	渡辺正紀

Membership of the 12 th Research Committee, 1 st Sub-committee

Chairman	Hiroshi KIHARA		
Secretaries	Yoshio AKITA	Fumitaka ANDO	
Members	Junichi ASANO	Kazuo ISHINO	Toshimasa OKABE
	Reiji KAKUTA	Rikizo KAMATA	Tomotake KINOSHITA
	Sumiro SUHARA	Kikuo TAKAHASHI	Gunyo TAKESHITA
	Nobuyoshi TANIGUCHI	Kiyokatsu HANITA	Yoshiharu HIJIKATA
	Koichi MASUBUCHI	Ichiro YASUI	Yoshiyuki YAMAMOTO
	Masao YOSHIKI	Seiyu YOSHIMOTO	Masanori WATANABE

目 次

第 1 章 緒 言	(3)
第 2 章 Snip end 構造の研究	(4)
第 3 章 Soft toe の研究	(13)
第 4 章 Scallop 構造の研究	(26)
第 5 章 Corner hole の大きさに関する研究	(33)

熔接構造法の研究

Some Investigations on the Strength of Welded Structures in Ship

Abstracts

§ 1. Introduction

Many special welded constructions, for instance 'scallop' in beam, have been presented in ship structure since welding was adopted in ship construction.

While, although good transmission of stress and high efficiency of connection may be anticipated in welded structure, stress concentrations apt to occur at discontinuity parts and often form the weak points of ship.

Consequently, such construction methods are often used that make reduce the stiffness at the end of structure, for instance, 'snip' and 'soft toe'. But no investigation has been employed on the strength of these methods.

From this point of view, in order to clarify the influence of these methods on the strength of these structures, the following four tests were carried out, namely.

- (1) Snip end
- (2) Soft toe
- (3) Scallop
- (4) Corner hole

§ 2. Snip End

Snip is often adopted at the end of stiffener to eliminate the hard spot. Too great snips, however, decrease the effectiveness of stiffener and proper amount must be chosen not so as to remain any trouble on this structure.

By reason of this, experimental study of compressive strength of bottom shell plating provided with panel stiffeners was carried out to clarify the influence of snip on the effectiveness of stiffener.

The following conclusions were obtained after some considerations.

- (1) Greater compressive strength may be anticipated, providing the panel stiffener on the bottom shell plating of ship. If snip end construction is adopted, failure proceeds more rapidly after exceeding ultimate load, although this load is even high.
- (2) The compressive strength of the structure decreases conspicuously if clearance between panel stiffener and floor plate is made larger.
- (3) Little influence is recognized about snip angles in the range of this test.

- (4) As a panel stiffener, flat bar is also as effective as an angle.
- (5) Mode of collapse of bottom shell plating is that deflection of plate yields contrary side each other between two continuous bays, and it appears like the letter 'S'.

§ 3. Soft Toe

Stress concentration factor and bending fatigue strength are investigated for four kinds of bracket connection, namely hard spot, soft toe, reinforced with pad or diaphragm plate.

Fig. 3·1 and Fig. 3·2 indicate hard spot and a reinforced specimens, respectively. The toe of bracket was softened by a drilled hole, 20 mm in diameter, at the distance p from the end of bracket plate, as shown in Fig. 3·1, then the value of p was varied with five conditions.

Appling static load 40 kg on the point S in Fig. 3·1, stress concentration factor is obtained experimentally by electric strain gauges fastened on plate.

Bending fatigue load was applied similarly at the point F in Fig. 3·1 in Schenck's 4.0 ton-m fatigue testing machine. Rate of propagation of fatigue cracks in specimen was simultaneously measured.

The drilled hole in the toe of hard-spot connected bracket plate is effective in order that stress concentration factor may be falled. By way of example, the stress concentration factor 2.04 in a hard spot specimen was falled to 1.58 by a drilled hole (20 mm ϕ) at the distance 20 mm from the end of bracket plate.

If the deflection come into more question than the load in a design of bracket connection, the soft toe design will have the excellent effect on the bending fatigue strength.

§ 4. Scallop

In recent welded ships, scalloped constructions are seen in any place; in beams, frames, bulkhead stiffeners and so on. The influence of it on the strength of beam, however, is not yet clarified and even the standard of design is not established. The study reported herein is the test in order to investigate the influence of height and pitch of scallop on the strength of stiffened plate.

Bending test was carried out with thirteen specimens, 2.5 m long and 0.8 m breadth, consisted of plate and two welded beams varying height and pitch of scallop.

Test results are presented in Fig. 4·3, 4·5 and 4·7, and it can be concluded from them that bending strength of scalloped girder falls gradually till the height of scallop is as much as 40% that of stiffener, but exceeding this limit, especially over 50%, it falls conspicuously, while, no great effect is presented untill a/l (a : length of unscalloped part, l : length of scallop) becomes 0.4, but passing this limit, the strength of girder also falls suddenly.

§ 5. Corner Hole

Corner hole is usually bored at the intersection of girders or beams.

Tensile and bending test were carried out to examine the influence of such hole on

the strength of this structure, intending to decide the adequate diameter of hole. From the stress distribution and the value of stress concentration factor, the following results were obtained.

(1) Tensile test

The maximum stress concentration is about twofold of mean stress independent of the height of web, and about 30 mm R is adequate for minimizing the maximum stress around the hole.

(2) Bending test

In this case, maximum stress concentration factor at hole ranges 2.0 to 2.5. If the height of web called D and radius of hole R , R should be 25~30 mm when $D/R=3$, 30~40 mm when $D/R=4$, and free selection may be permitted when D/R is more than 5.

(3) Test results have no great difference about the shape of hole; circular shape and elliptical shape.

第1章 緒言

船体が溶接化されるに従つて鉄構造時代には見られなかつた, 例えば Scalloped のような溶接獨得な構造が多く現われて來た。また一方, 溶接構造は鉄接に比して応力の伝達がよく, 効率がよい反面, 剛性が大となり, 不連続部に応力の集中が生じ易く, この対策として剛性を減らす特殊な構造, 例えば Snip end や Soft toe 等も必要になつて來る。そしてこれらの溶接構造は船体では現在常識的に採用されているにも拘らずその強度上の研究は未だ着手されていないものが多く, 基礎的な事項も解消されていない。

そこで今回はこれらのうちから次の四項目を選んでその強度に及ぼす影響について研究を行つた。

1. Snip end

船底板の圧縮強度上の補強材 (パネル・ブレーカー) を例にとり, この端部を snip した時, 圧縮強度にどのような影響を及ぼすかを調べた。

2. Soft toe

ブレケットの端部附近に soft toe を設け, その大きさや位置を変えて静的強度及び疲労強度を調べた。

3. Scallop

板に二本のスチフナを溶接し, それに高さ及びピッチを系統的に変えた scallop を設けて曲げ試験を行つた。

4. Corner hole

二つの桁の交叉した場所の模型試験片を作り, その交叉部の一方の web に孔をあけ, 順次その孔をけづつて大きくすることにより, 応力集中の変化を調べた。試験は引張り及び曲げ試験を行つた。

第2章 Snip end 構造の研究

§1. 試験概要

スチフナ等の端部では剛性が急激に変化するために、応力集中が生じ易く、このため特に溶接構造では強度上の weak point となる。そこでこの剛性の不連続を緩和させるために普通 Snip end 構造が採られている。然しこの Snip の量はあまり大きくなるとスチフナ自身の効きが減じて全体の強度の低下を招くことになり、そこで Snip の量がスチフナの効きに及ぼす影響について調べる必要が生ずる。そこで今回はこのスチフナとして、船底外板のパネルブレーカーを例にとり、Snip 量及び肋板との間隙と、船底板の圧縮強度の関係を求め、Snip 量がスチフナの効きに及ぼす影響を求めたものである。

§2. 試験片

試験片は船底二肋間を取り出した模型であり、二つの系列のものを作つた。

第一系列（試験片 No. 1~3）は Fig. 2・1 に示す如く船底板、肋板、側桁板、内底板に相当する断切板、及びパネルブレーカーから成るもので、Snip しないもの、Snip したもの、及びパネルブレーカーのないものの以上3本、第二系列（試験片 No. 4~10）は Snip 量の系統的試験で、Fig. 2・2 の如く Snip の角 θ 、及び肋板との間隙 d を種々変えたパネルブレーカーをつけた7本である。パネルブレーカーは $50 \times 30 \times 6$ の倒立山形であるが、No. 10 試験片は比較のため 50×6 の Flat bar をつけた。外板の厚さは 6 mm、肋骨心距は 270 mm、で実船の約 1/3 の模型に相当する。

なお使用鋼材は AB 規格材で諸性質は次の通りである。

C	Mn	P	S	降伏点	抗張力	伸び
0.14	0.37	0.022	0.024	27.8 kg/mm ²	47.9 kg/mm ²	25 %

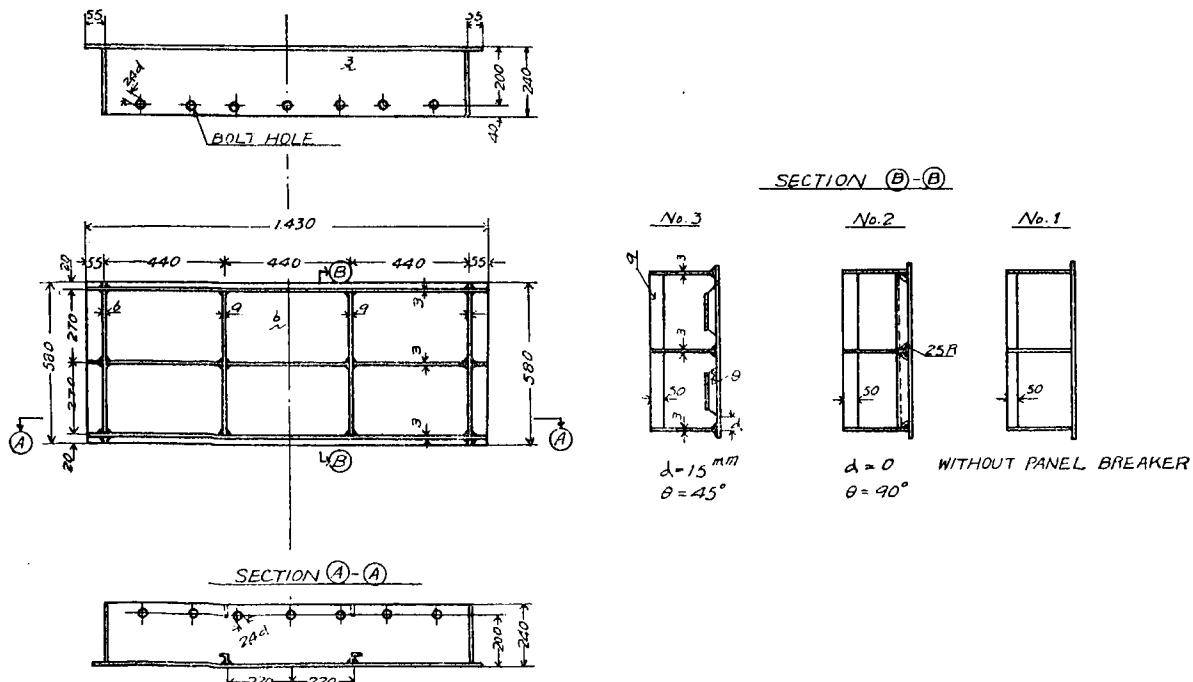
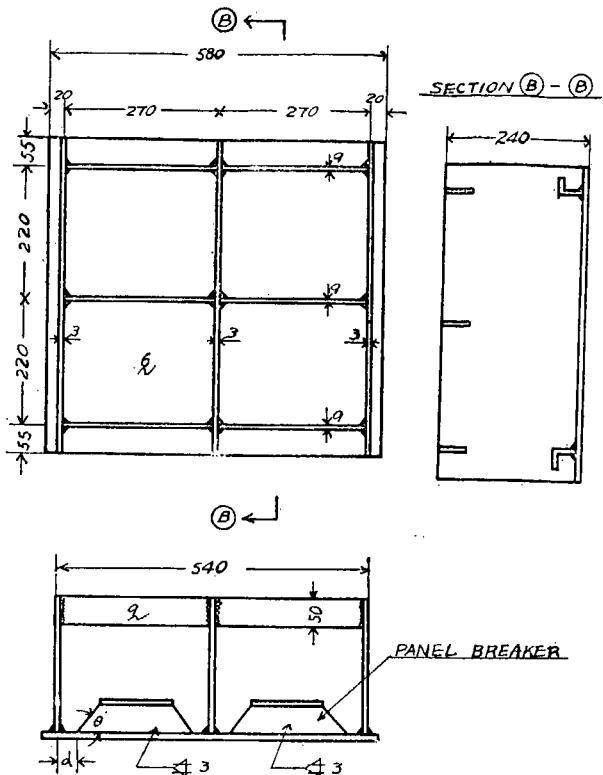


Fig. 2.1 Specimens (No. 1~No. 3)



Specimen No.	d	θ	NOTE
4	0	45°	50×30×6 INV. ANGLE
5	15	45°	"
6	25	45°	"
7	35	45°	"
8	15	90°	"
9	15	30°	"
10	15	45°	50×6 FLAT BAR

Fig. 2・2 Specimens (No. 4~No. 10)

§3. 試験経過

試験片の肋板は外板に溶接で取りつけられているから外板には実船と同じく、初期撓み（瘠馬）が生じている。そこで圧縮試験を行う前に、ダイヤルゲージで全試験片について、この初期撓みを精密に測定した。

圧縮試験は運研 300 TON 構造物試験機を用い、加圧梁を通じて圧縮荷重を与え、荷重—縮み曲線を求める同時にダイヤルゲージを以て縮み量、撓み量を、また抵抗線歪計を以て各部の応力を計測した。但し最大荷重後の大きい撓みの測定はダイヤルゲージでは測定出来ないので特殊なスライドスケールを用いて測定した。(写真 1 参照)

応力計測は主要部はすべて二方向、裏表を計測し、二軸応力として計算し、これより直応力、曲げ応力の分布を求めた。

なお試験条件を出来るだけ実際の状態に近づけるため、肋板の上端は試験機に特に取付けた固定梁により固定し、実船の肋板が内底板により固定されている状態と同じくなるようにした。

§4. 試験結果

(1) 初期撓（瘠馬）の分布

ダイヤルゲージにより初期撓を測定した結果は例えば Fig. 2・3 のようになつてゐる。これで見ると縦方向断面に沿つての形は大体規則正しい抛物線状であるが、横方向断面に沿つて見ると頭の偏平な、やや不規則な形であるのが判る。これは横に長いパネルの場合の特徴で実船の場合もこのようになつてゐることが想像される。

(2) 最大荷重

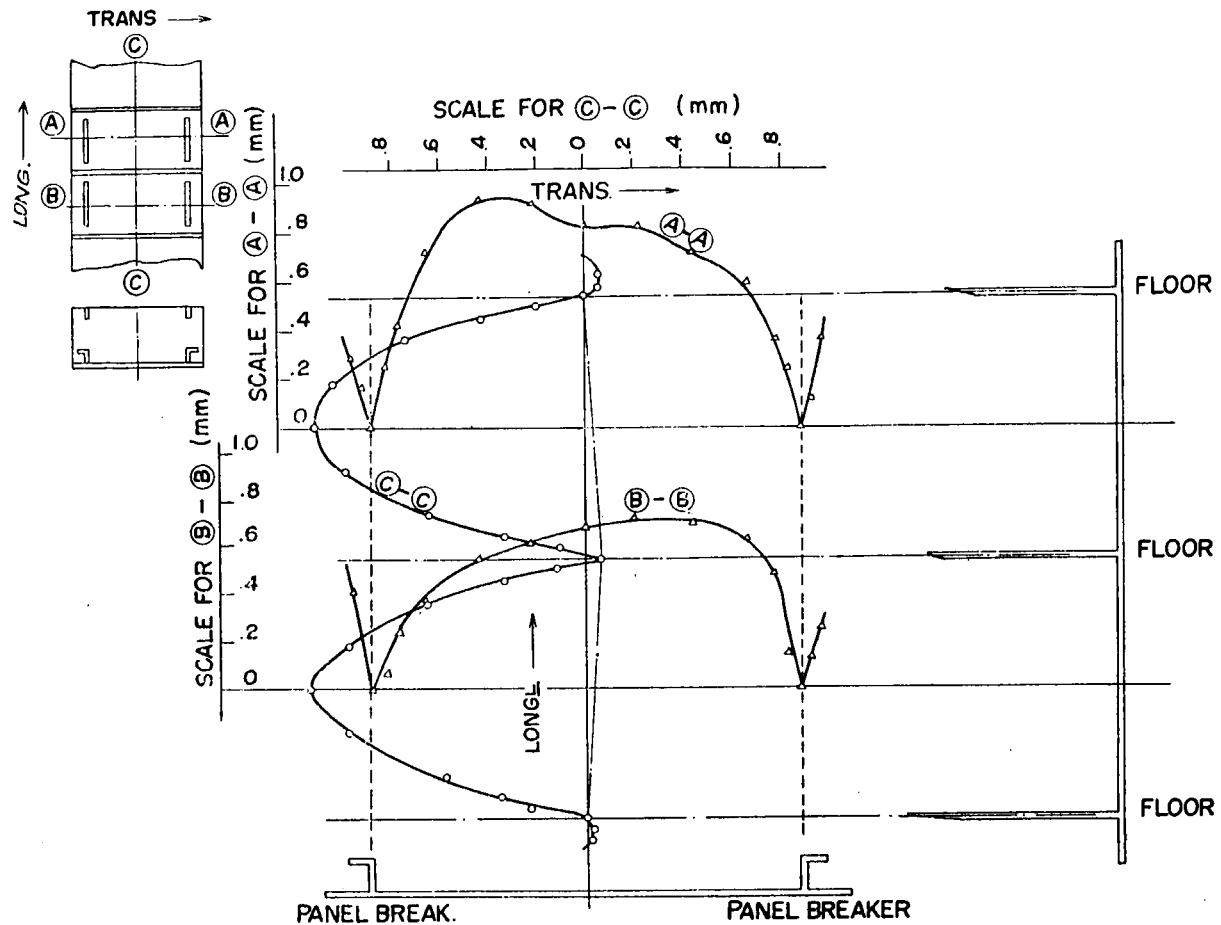


Fig. 2.3 Diagram of Initial Deflection
(Specimen No. 7)

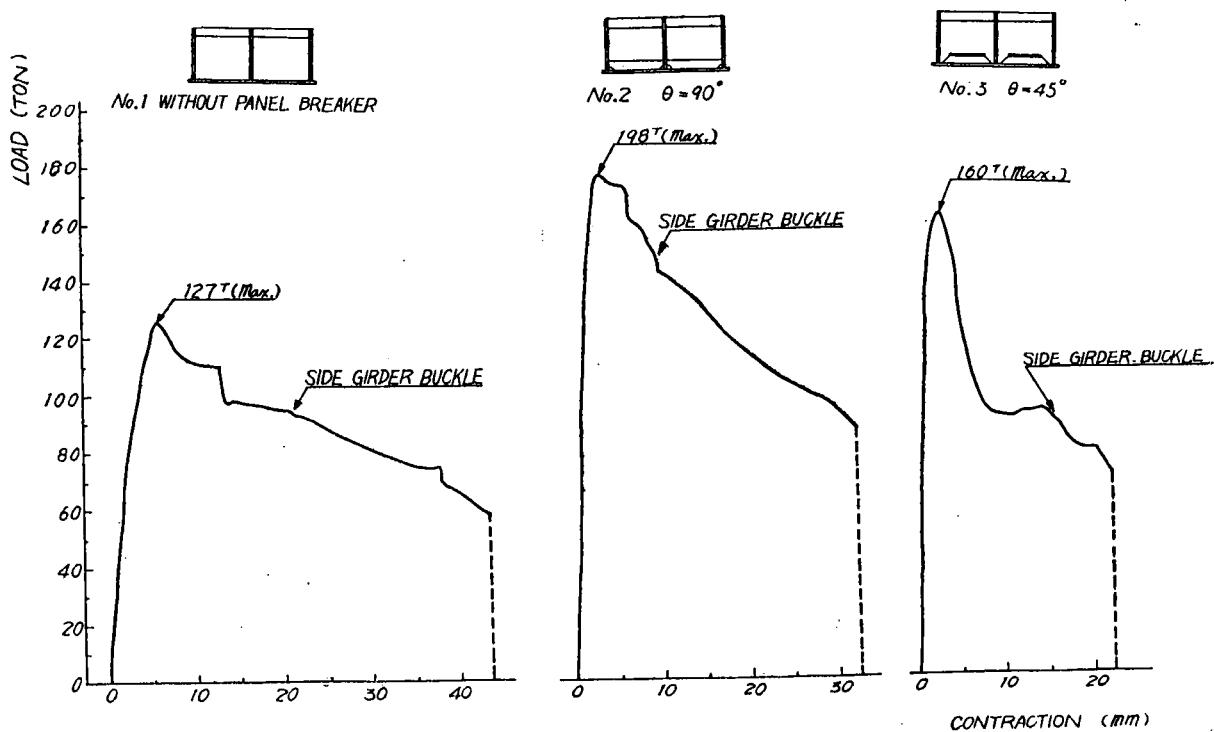


Fig. 2.4 Load-Contraction Curves

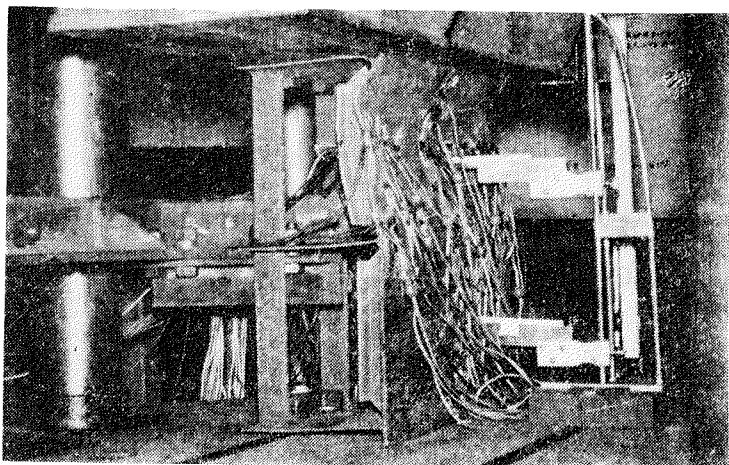


Photo. 1

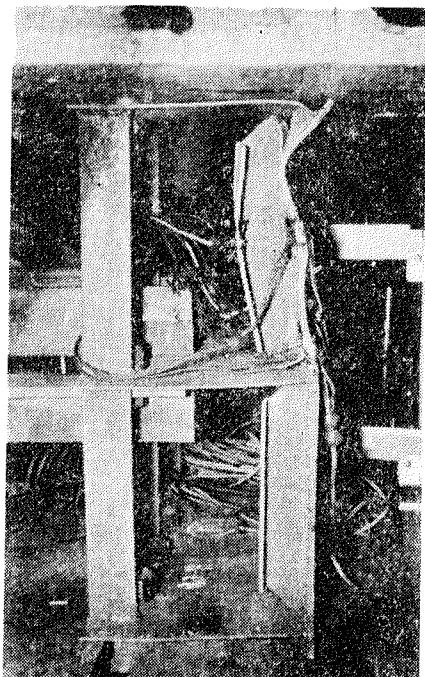


Photo. 2

第一系列について荷重——縮み曲線（試験機自記）を描くと Fig. 2・4 の如くなる。最大荷重はパネルブレーカーのないものは最も低く、127ton で Snip しないパネルブレーカーをつけると 178ton まで増加する。また No. 3 のように $d=15$ で $\theta=45^\circ$ だけ Snip したものでも 160ton まで耐え、パネルブレーカーの有効なことを示している。然しこの場合には最大荷重を越えるとパネルブレーカーの toe の所で熔接部が剝離し、破損が急激に進行する。（写真、2 参照）

このことは No. 3 の荷重—縮み曲線が最大荷重を越えた所で非常に急になつてることからも判るが第二系列に關しても大体同じようなことが言える。

さてこの最大荷重を Snip 量 θ 及び間隙 d を基準にとつてグラフに描くと Fig. 2.5 のようになる。これから見ると先づ d を変化させたときの曲線 ($\theta=45^\circ$ のもの) から判るように d が増加すると最大荷重は相当急激に低下している。然し一方 θ の変化に対しては ($d=15$ の曲線) 最大荷重はあまり変化はなく、寧ろ $\theta=90^\circ$ では却つて $\theta=45^\circ$ の場合よりも低下している。つまり適當な Snip はこのような場合も好ましいことを示している。なお図から判る如く flat bar を用いてもその最大荷重の減少は極めて少ないと示されている。

(3) 挽み

各荷重に於ける挽みを二つの bay にわたつて、図示すると例えば Fig. 2・6 のようになる。図中に初期挽み及び最終挽み（残留挽み）も入れてある。これで見ると片方の bay で凹入挽みが増加するにつれて、他方の bay では逆に凸出の方向に挽み、結局最終的にはどの試験片も S 字状を呈する。但し凸出側の挽みの絶対値は凹入側に比して概して非常に少い。第二系列のものについて中央点の挽みを各 bay に対して図示すると例えば Fig. 2・7 のようになつてている。

そこでこれを d, θ によつて整理して見よう。

各試験片とも初期挽みの絶対値は殆んど同じだから、或る一定荷重時における挽みを比較すれば、

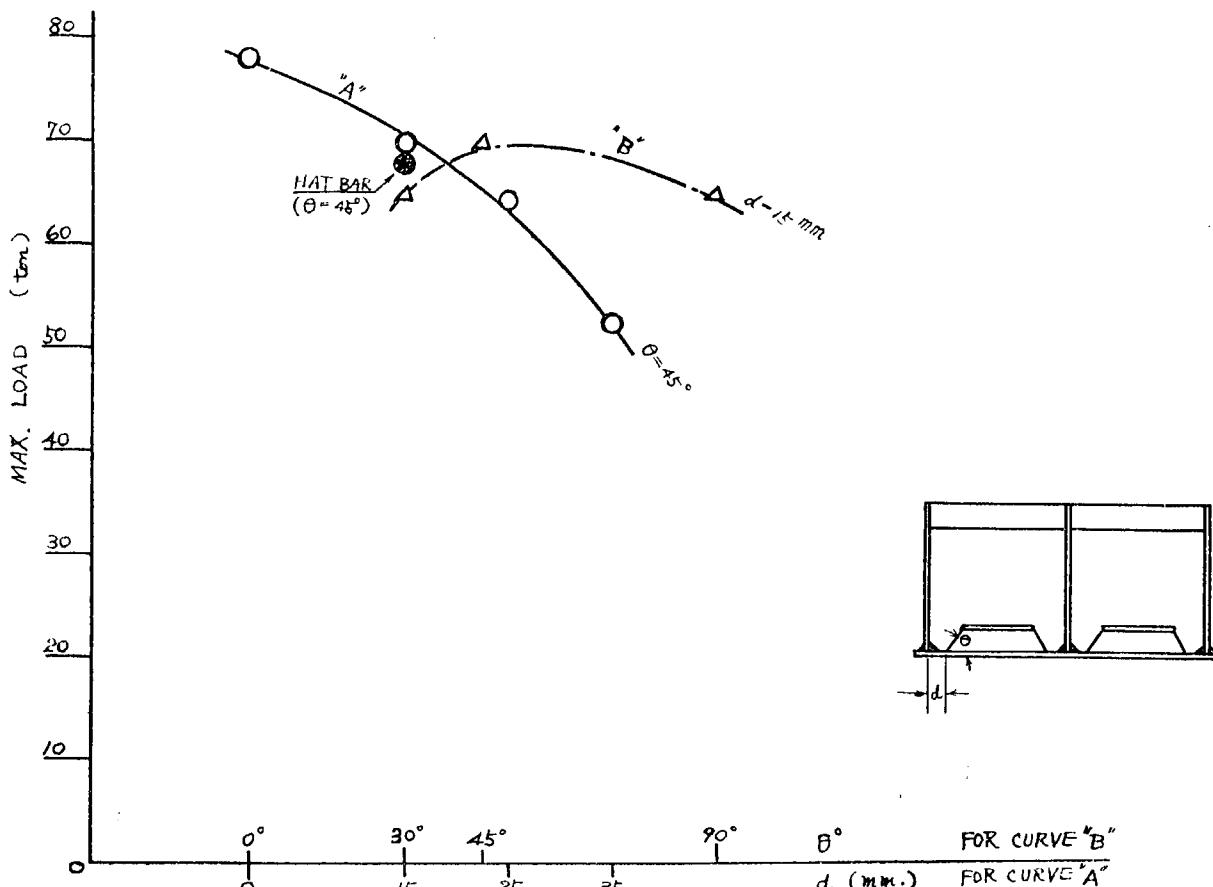


Fig. 2 . 5 Relation between Max. Load and θ or p

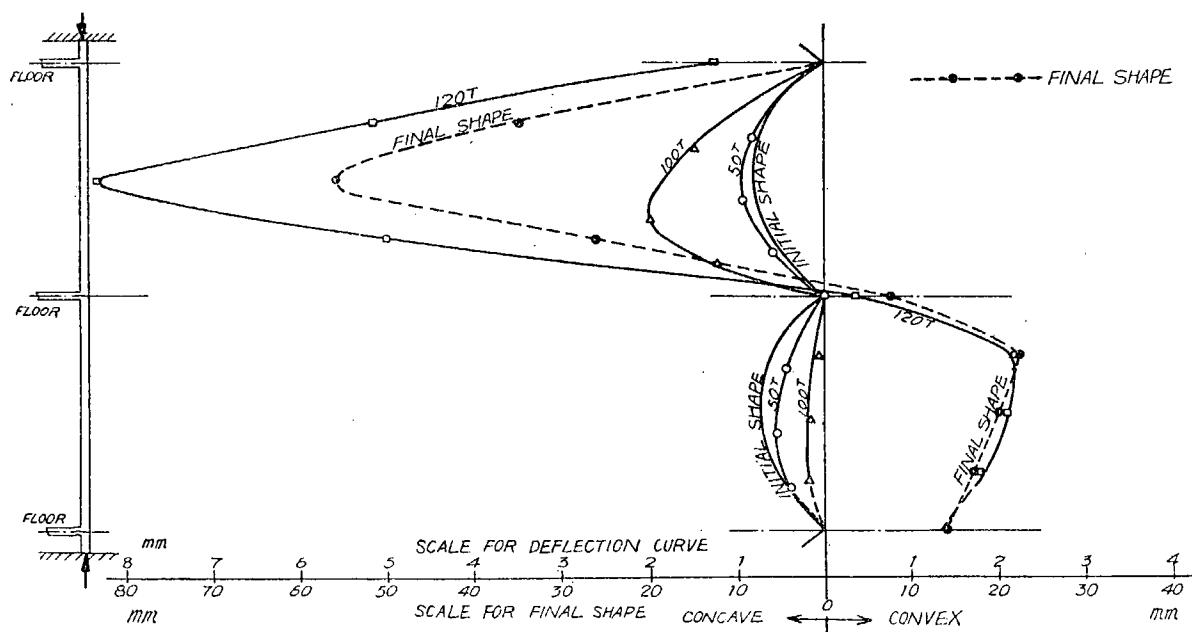


Fig. 2 . 6 Deflection Curves
(Specimen No. 1)

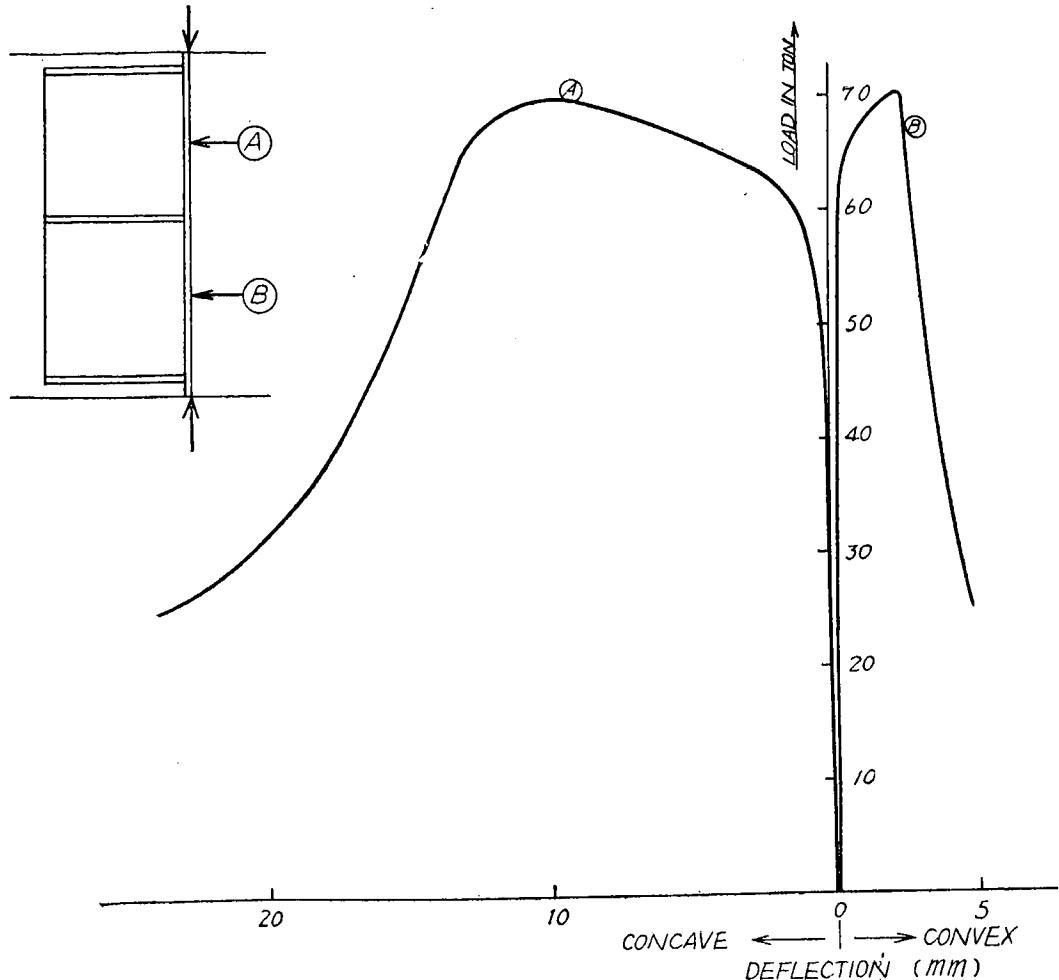


Fig. 2・7 Load-Deflection Curves

(Specimen No. 5)

パネルブレーカーの効きが判定出来る。そこで 50 ton 時の撓みをとつて, d , θ について曲線を描いて見ると, Fig. 2・8 のようになる。 d による変化は d が或る値までは大して変化なく, それ以上になると急激に弱くなる点が前の最大荷重の場合と異つているが, d の増大による強度の減少は同じように認められる。

また θ による変化は最大荷重の場合と同じく 90° では, 他の場合より却つて弱くなることが判る。

(4) 応力分布

圧縮方向の応力分布は, パネルの横断面に沿つての値を Fig. 2・9 に, また縦断面に沿つての値を Fig. 2・10 に示す。(第二系列のものを例示した) 応力は表面及び裏面の値を計測したが, これより直接応力及び曲げ応力を求めて示した。先づ横方向分布では直接応力は一般に中央部がやや低く, 初期撓みのある圧縮板の特徴を示している。また曲げ応力はパネルブレーカーの位置で小さく, その間で大きくなつており, パネルブレーカーが大体よく働いていることを示している。

次に縦方向分布を見ると, 直接応力は大体一様であり, また曲げ応力は中央の肋板の位置で負の値を示し, 外板がこの位置で相当に拘束されていることが判る。この試験片では肋板の高さが実船の割合より相当低く, また肋板の上部の拘束も実船よりも強いと考えられるので, 実船ではここに表われ

たよりも多少は小さな拘束であることは容易に想像される。然しこの試験が比較試験であることを考えれば、このような実際との相異も実験結果にはあまり影響を及ぼさないと思われる。

(5) パネル中央が降伏を起す限界

以上の応力分布は弾性時のものであるが、荷重を次第に上げて行くと遂にパネルの或る点は降伏応

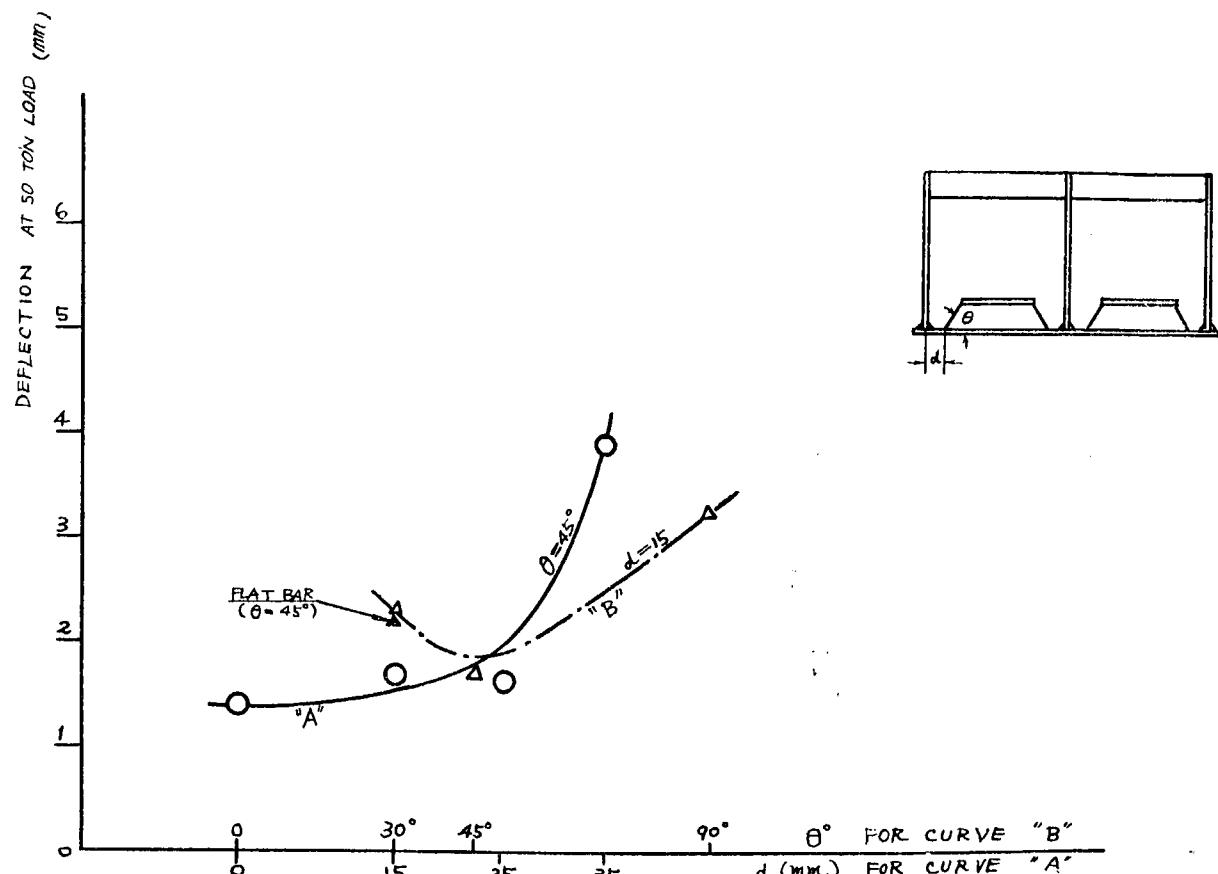


Fig. 2.8 Relation between Deflection and θ or d

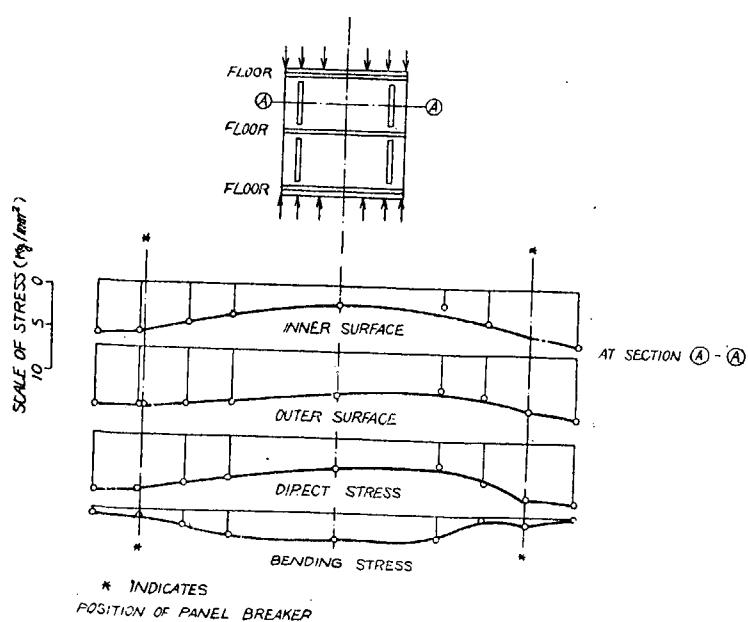


Fig. 2.9 Stress Distribution

(Specimen No. 4)

力に達し、この点を過ぎると荷重がなくなつた後にも残留変形が生じ、いわゆる凹損の現象が生ずる。

そこでこのパネルが降伏に達する荷重は圧縮強度判定の基準として用いることが出来る。一般にこのように横に長いパネルを圧縮すると最大応力はパネルの中央よりややずれた所に生じ、その位置は縦横比に關係する。然してこでは中央点が降伏する荷重を基準として比較することにする。

先づ中央の点の荷重一歪曲線を板の表、裏、平均に分けて描くと例えば Fig. 2・11 のようになる。圧縮と曲げの影響により外側は大きな圧縮歪であるが、内側は初めは圧縮で、後に引張りになる。そこで外側の値が降伏応力に達する点をとればよいが、この場合パネルには既述の如く肋板の熔接による瘠馬があり、このため初期応力が存在しているので、先づこの値を出さなければならない。

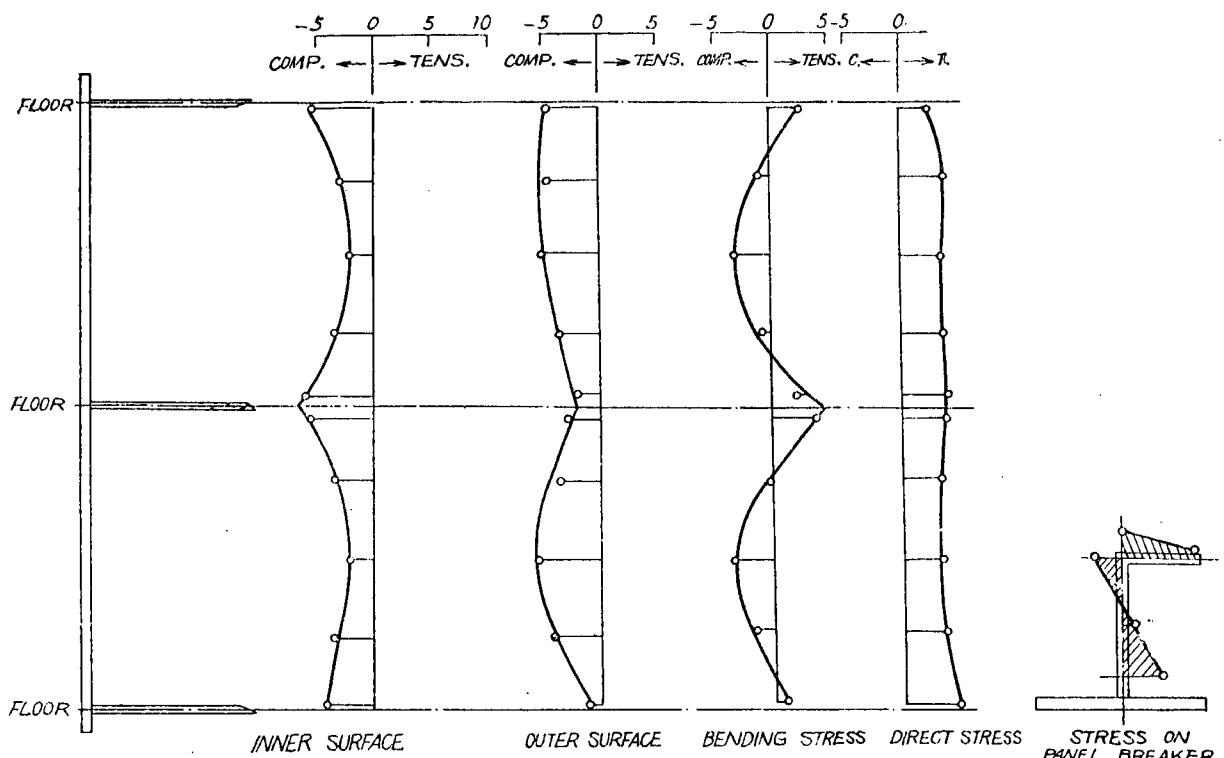


Fig. 2・10 Stress Distribution

さてこの初期応力は直接に測定することは出来ないので次のような仮定から計算した。即ち、瘠馬の発生機構から考えて、相対する二辺に一様なモーメントがかかつて撓んでいる矩形板を考え、この場合の撓み量 (δ_0) と応力 (σ_0) の関係より求めたものである。

Timoshenko (Theory of Plates and Shells p. 199) の与えた式を用いて若干の計算をすると δ_0 が与えられたとき、初期応力 σ_0 は次式で与えられる。

$$\sigma_0 = \frac{\delta_0 t E \pi}{4 a^2 \beta (1-\nu)} \left(\frac{\sum_{m=1,3,5}^{\infty} \frac{(-1)^{\frac{m-1}{2}}}{m} \{2 - (1-\nu) \beta_m \tanh \beta_m\}}{\sum_{m=1,3,5}^{\infty} (-1)^{\frac{m-1}{2}} \frac{1}{m^2} \frac{\tanh \beta_m}{\cosh \beta_m}} \right)$$

但し、 $\beta = \frac{b}{a}$, $2b = \text{パネルの巾} = 440 \text{ mm.}$

$$\beta_m = \frac{\pi m}{2 \beta}, \quad 2a = \text{パネルの長さ} = 270 \text{ mm.}$$

この式より σ_0 を計算し、 $\sigma_Y - \sigma_0$ (σ_Y は鋼材の降伏点 = 27.8 kg/mm^2) を出すと次表のようになる。

試験片 No.	δ_0 (mm. 測定値)	σ_0 (kg/mm^2)	$\sigma_Y - \sigma_0$ (kg/mm^2)
No. 4	0.99	7.44	20.4
5	0.80	6.01	21.8
6	0.93	6.99	20.8
7	1.14	8.56	19.2
8	1.26	9.47	18.3
9	1.19	8.94	18.9
10	1.14	8.56	19.2

各試験片の外側の中央点の応力値が夫々算出した $\sigma_Y - \sigma_0$ になるような荷重を求め、これを d, θ によりプロットすると Fig. 2・12 のようになる。ここで表わされた傾向は撓みの値から解析した Fig. 2・8 とよく一致しており、 d による影響は 2.5 mm (実船で 75 mm) 以上で急激に現われ、

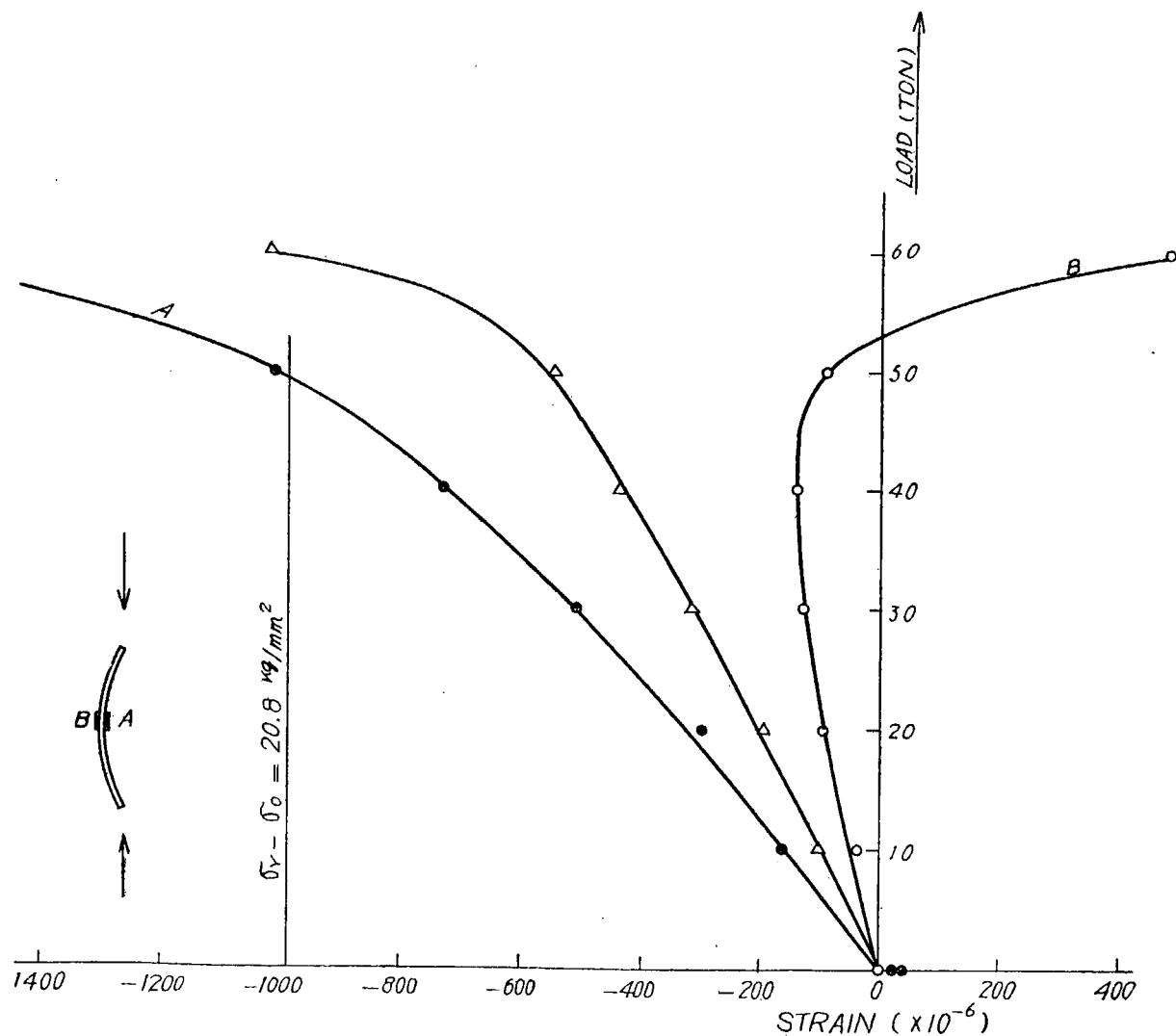


Fig. 2.11 Strain at the Center of Panel
(Specimen No. 6)

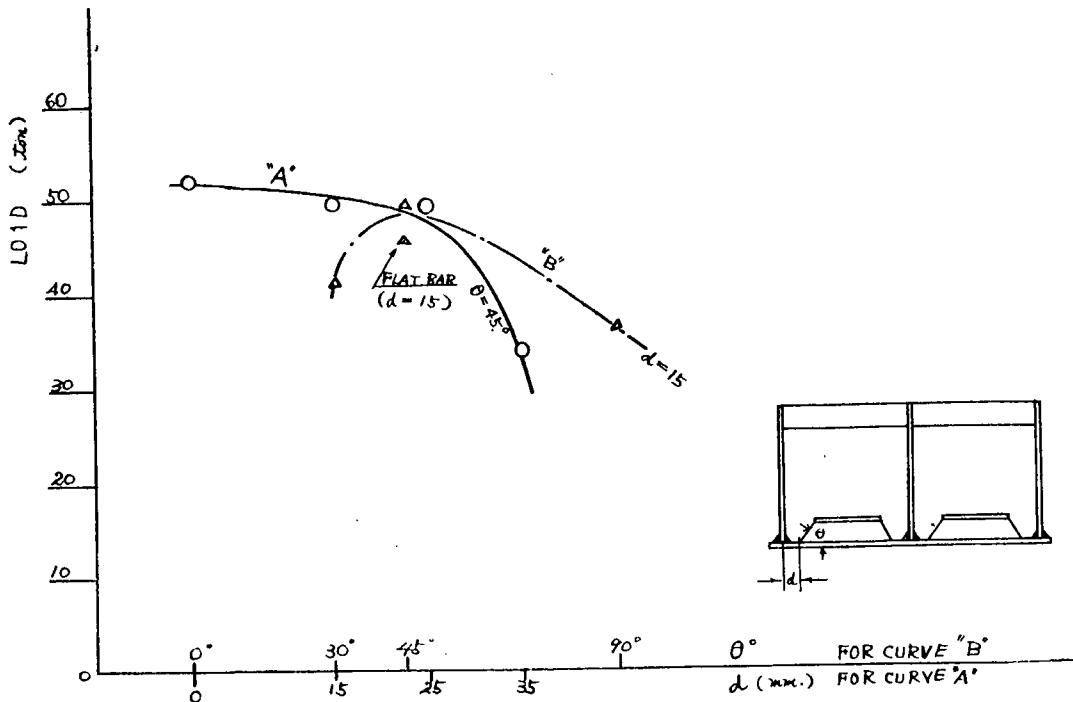


Fig. 2 · 12 Variation of the Load at which Stress on the Center of Panel reaches the Yielding Point

また θ にはあまり影響されないが、 90° になると却つて悪くなることも前と同様である。以上いづれの場合も flat bar を用いて angle に比べて強度の減少はあまり大きくなことが言える。

§5. 結果要約

以上の実験結果を要約すると次のようになる。

- (1) 船底板にパネルブレーカーを設けると強度は増加する。またそれに Snip した場合も最大荷重は比較的高いが、最大荷重を越すと急激に破壊が進行する。
- (2) パネルブレーカーと肋板の間の間隙を増加すると強度は急激に減少する。
但し低荷重時のパネルブレーカーの効きは間隙が特に大きくなり限り比較的減少しない。
このことから、実際には工作出来る限りこの間隙を狭くすることが望ましいが、止むを得ない場合は 75 mm を限度としてもよい。この限界を超えると効きは非常に悪くなる。
- (3) Snip の角度はこの実験範囲ではあまり強度に影響を及ぼさない。只 Snip 角が 0° の場合は却つて他の或る場合より悪い値を示した。
- (4) パネルブレーカーとして flat bar を用いても angle の場合と同じ位有効である。
- (5) 船底板の圧壊は二つの肋骨間で相反する側に撓み、S 字状を呈する。

第 3 章 Soft toe の研究

§1. 緒論

熔接構造物は鉄構造物に比して種々の利点を有しているが、鉄が機械的結合であるのに反して、熔接によれば冶金的に結合されて一体となるため、不連続構造部における応力集中が大となる傾向がある。従つて、熔接構造においてはこの応力集中の問題が、構造上特に重要となつて来る。

応力集中は種々の悪影響を及ぼし、疲労強度もこれにより低下するから構造物の設計に当つては出来る限り応力集中を小さくするようにしなければならない。例えば、プラケット結合部を例にとれば、プラケットと板とを隅肉熔接で接いだ場合、プラケット終端と板との結合部、hard spotにはかなりの応力集中を生じている。この集中している応力を緩和する一方法として、プラケットの toe を柔かくして、所謂 soft toe として応力を散らす方法、或いは toe 部を補強して応力を分散せしめる方法がある。soft toe として局部的に剛性を減らせば、楽に変形出来るため応力集中も減少する。soft toe とするための一法として、プラケットの toe 部に円孔を抜きプラケット端面より円孔周までスリットを切る方法が考えられる。

さて、本研究においてはプラケット結合試験片について、hard spot を標準とし、前述の如く soft toe としたもの、補強したものとに関し、応力集中率、疲労強度の比較実験を行つた。soft toe とするための円孔 (soft hole)、プラケット高さ、プラケットのスニップ角、及びスニップ高さ、soft hole の位置等の因子がどの程度影響を及ぼすか調べるために、後述するように数種の因子を相互に組合せた。

§2. 試験片

試験片詳細は Fig. 3・1 及び Fig. 3・2 に示してあるが、図の如く長さ 350 mm、巾 120 mm、厚さ 6 mm の造船用軟鋼板を長さ方向に沿つて両端を深さ 15 mm づつフランジし、これに厚さ 6 mm、長さ 150 mm のスニップしたプラケットを隅肉熔接し、更にこの両者を 190×160×19 mm の軟鋼板に熔接し、下板及びプラケット端面を固定した。スニップしたプラケット端部の高さ h_s 、及びスニップ角度 α は Table 3・1 の如く組合せた。Table 3・1 に於いて、試験片番号 1, 2, 3 は $h_s=20$ mm の場合の α による影響を調べ、同様に 4, 5, 6 の組合せは $h_s=30$ mm, 7, 8, 9 の組合せは $h_s=40$ mm の場合の α による影響を調べるためのものである。また、1, 4, 7 を組合すことにより $\alpha=30^\circ$ のときの h_s による影響を見ることが出来る。

プラケットの高さ h_s はスニップ角度によつて Table 2・1 中の値にした。

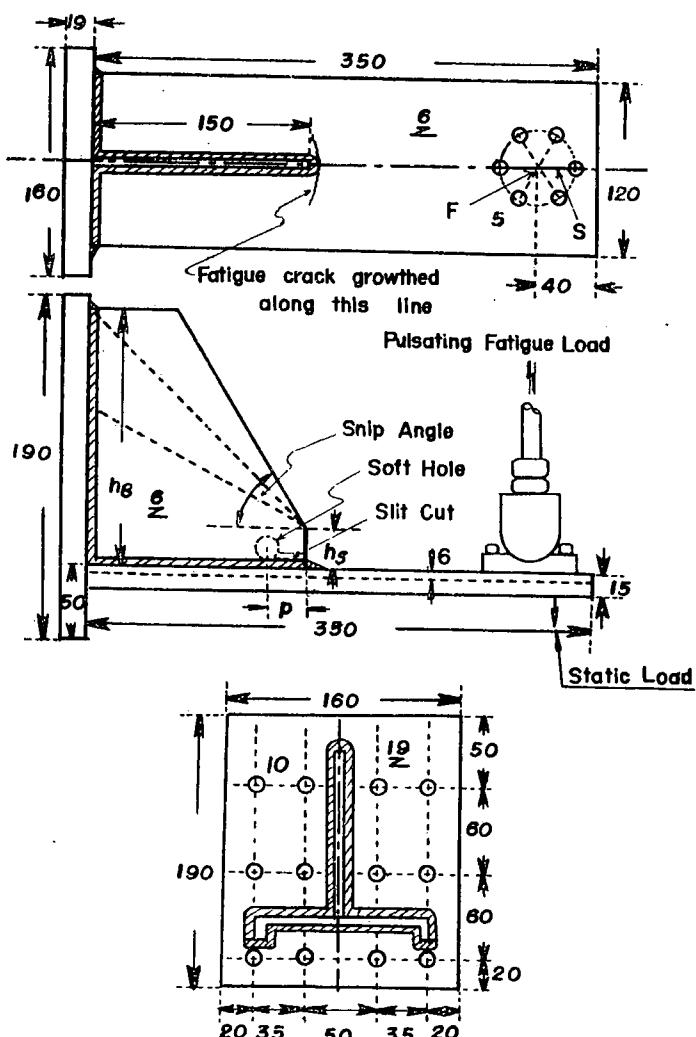
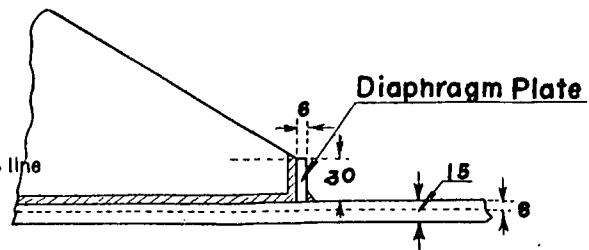
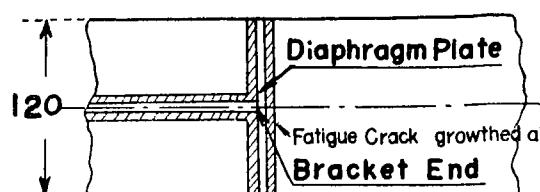


Fig. 3・1 Dimensions of Specimen

Diaphragm Type (Code No. 11)



Pad Type (Code No. 10)

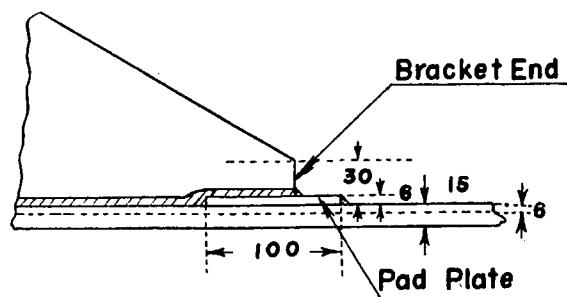
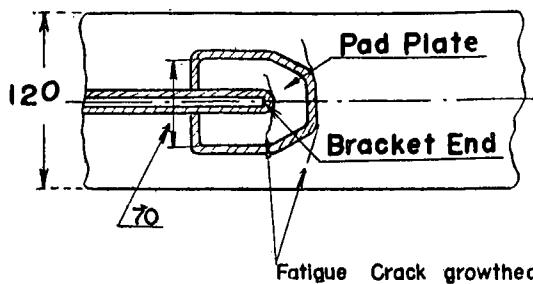


Fig. 3 · 2 Localized Details of Diaphragm and Pad Specimens

Table. 3 · 1 Dimensions and Classification of Specimens tested

Code of Speci- men	Shape of Snip		Height of Bracket in mm (h_B)	Soft Toe		Number of Speci- men	Classification of Specimen	Test Method***
1	Snip Height in mm (h_s)	30	105	20	5 condition**	8	Unreinforced	S
2		20	170	20	1 condition	1		S
3		45	180	20	1 condition	1		S
4		60	115	20	5 condition	61		S and F
4'		30	30	30	5 condition	5		S
5		45	180	20	1 condition	1	Soft Toed Specimen	S
6		60	180	20	1 condition	1		S
7		30	125	20	5 condition	8		S
8		40	45	180	20	1 condition		S
9		60	180	20	1 condition	1		S
10	30	30	115			7	Reinforced with Pad Plate	S and F
11		30	30			7	Reinforced with Diaphragm	S and F

* P: Distance between the center of hole and the end of bracket plate.

** 1 condition: $p = 20$ mm.

5 condition: $p = 20, 30, 40, 60, 80$ mm for static.

$p = 20, 30, 35, 40, 45$ mm for fatigue.

*** S: Static Bending Test.

F: Bending Fatigue Test.

緒論で述べた考え方にて、Fig. 3・1 の如くプラケット下端部に 20 mm (No. 4' のみ 30 mm) の円孔を抜き soft toe として、この円孔の位置を表中の如く 5 条件変えた。即ち、プラケット端面から円孔中心までの距離を p とすれば、静荷重試験に対しては $p=20, 30, 40, 60, 80$ とし、疲労試験に対しては $p=20, 30, 35, 40, 45$ とした。

また、円孔直径による影響を調べるために No. 4' の試験片のみ、他の条件は No. 4 と同一にして、円孔直径を 30 mm として比較実験を行つた。

試験片 No. 10, No. 11 は補強形式を採つたもので No. 10 はプラケット端部を二重張板で補強したもの、No. 11 はプラケット前面に衝立板を立てて補強したものである。

以上 12 種の試験片に対して静荷重による曲げ試験を行つて、応力を測定し応力集中率を比べ、ダイヤルゲージにより撓みを計測して撓みを比較した。

一方、疲労試験は代表的な No. 4, No. 10, No. 11 について行い、円孔位置による影響と、試験片形状相互の疲労強度に及ぼす影響とを調べた。

§3. 静的荷重試験

(a) 試験方法

試験片を固定治具に取付け、固定端より 322 mm、即ち Fig. 3・1 中の S 点に荷重を加えた。荷重は 0, 20, 40, 65 kg の死荷重とし、ゲージ長 9.5 mm の電気抵抗線歪計を Fig. 3・3 に示す如き位置に貼付して応力を計測した。試験片中一番応力の高いプラケットの先端（例えば Fig. 3・3 の 11 番の点）の応力を測定する場合、ゲージ長はなるべく短いことが望ましいが、この場合、短いゲージ長の歪計及びその接着剤に完全に信頼し得るものがなかつたので止むを得ず他の点同様 9.5 mm の歪計を用いた。従つて、後述するように更に短いゲージ長の歪計を使用すれば集中応力も高く、応力集中緩和率も当然実験の値より高く出る筈である。

応力分布は試験片番号 1, 4, 40, 11 に対し、ソフト・トウとするための円孔を抜かないままで測定した。然る後、No. 1, 4, 7 の試験片はプラケット前端面からの距離に中心を有し、且つビードに接するように (Fig. 2・1 中点線で示した円孔) 円孔を抜き、 p の長さを、各々 20, 30, 40, 60, 80 mm に変化させて応力を測定した。

後述するように、円孔を抜いただけでは、トウ先端の応力集中も、また下板の撓みも殆んど変化しない。そこで更に円孔の下端に接し、且つビードに接するようにスリットをプラケット前端より入れて応力測定を繰返した。

試験片 No. 2, 3, 5, 6, 8, 9 に対しては $p=20$ mm 一定とし、円孔直径 $d=20$ mm のソフトホールを抜いたもの、更に下切りしてスリットを入れたものについて応力測定を行つた。

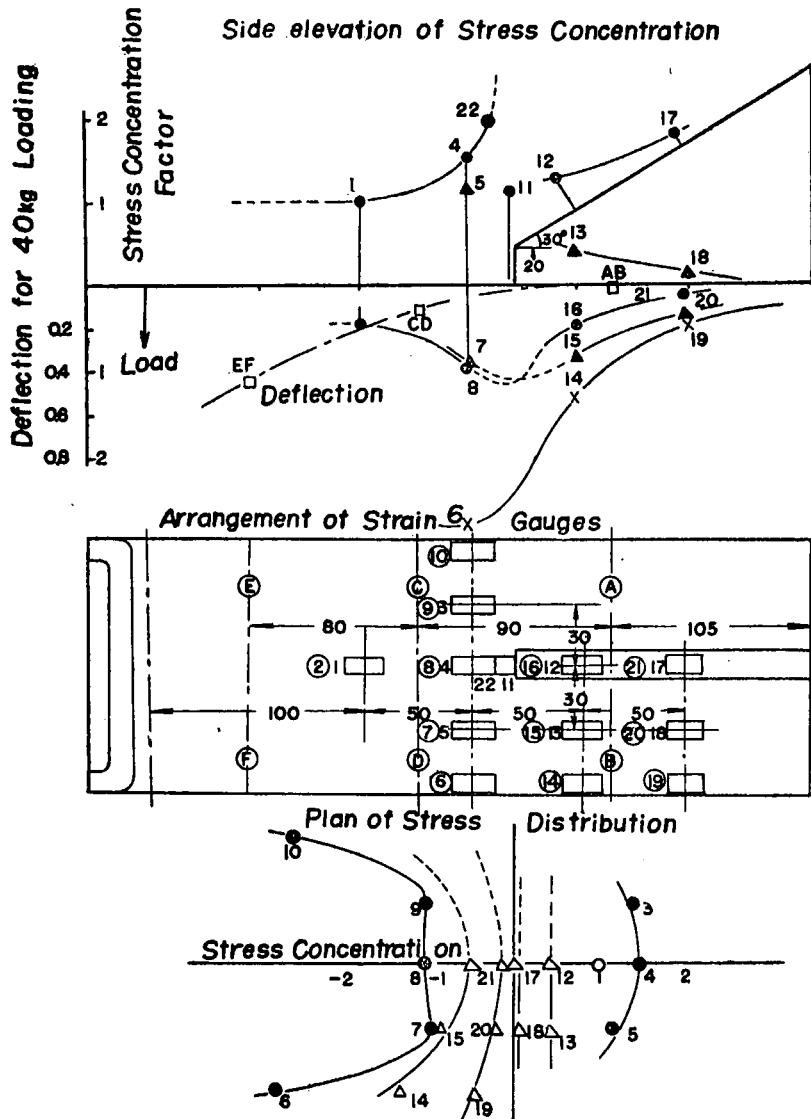
ソフト孔の直径による影響を調べるために、他の寸法は No. 4 と同一とし、孔の直径のみ 30 mm とした試験片を 4' とし、No. 4 と同様 p を 5 条件変えて応力測定を行つた。

以上いづれの場合も同時に撓みを計測した。

(b) 試験結果

各部の応力分布は例えば Fig. 3・3 のようになる。図中の応力集中係数の値は $(\sigma/d)/(\sigma_1/d_1)$ を用いた。（但し σ, d は各点の応力及びその点と荷重点までの距離、 σ_1, d_1 は 1 番のゲージのもの）

を示す) 図中の一一番上の図は応力分布の立面図で横軸より上が引張応力、下側が圧縮応力である。中段の図は電気抵抗線歪計の貼付位置を示し、また下段の図は応力分布の平面図である。図から判る如く、最大応力集中はいずれもプラケット先端近くの板の上に生じている。但し二重張補強試験片 10 番では二重張板前端に最大応力集中を生じていた。



The encircled gauge number indicates what is fastened on reverse surface of specimen.

Fig. 3.3 Specimen Code No. 1 (without Soft Hole)
Snip Height 20mm, Snip Angle 30°

さて、試験片 1, 4, 4', 4, 7 に対してはソフト孔の位置を 5 条件、即ち $p=20, 30, 40, 60, 80$ mm と変えて撓み (40 kg 荷重に対し固定端より 275 mm の点の撓み) と応力集中の最大値の変化を測定した。この結果を Fig. 3.4 に例示する。4' のみに対して孔径を 30 mm とし、他は 20 mm ϕ とした。図から明らかなように孔を抜いただけで殆んどソフト・トウとはならず、撓みも応力集中率も殆んど変化しないが、ビードに沿つてソフト孔下端までプラケット端面からスリットを切り込むとソフト・トウとなり撓みは直線的に変化して行くが、応力集中率は次第に下り或る p の値か

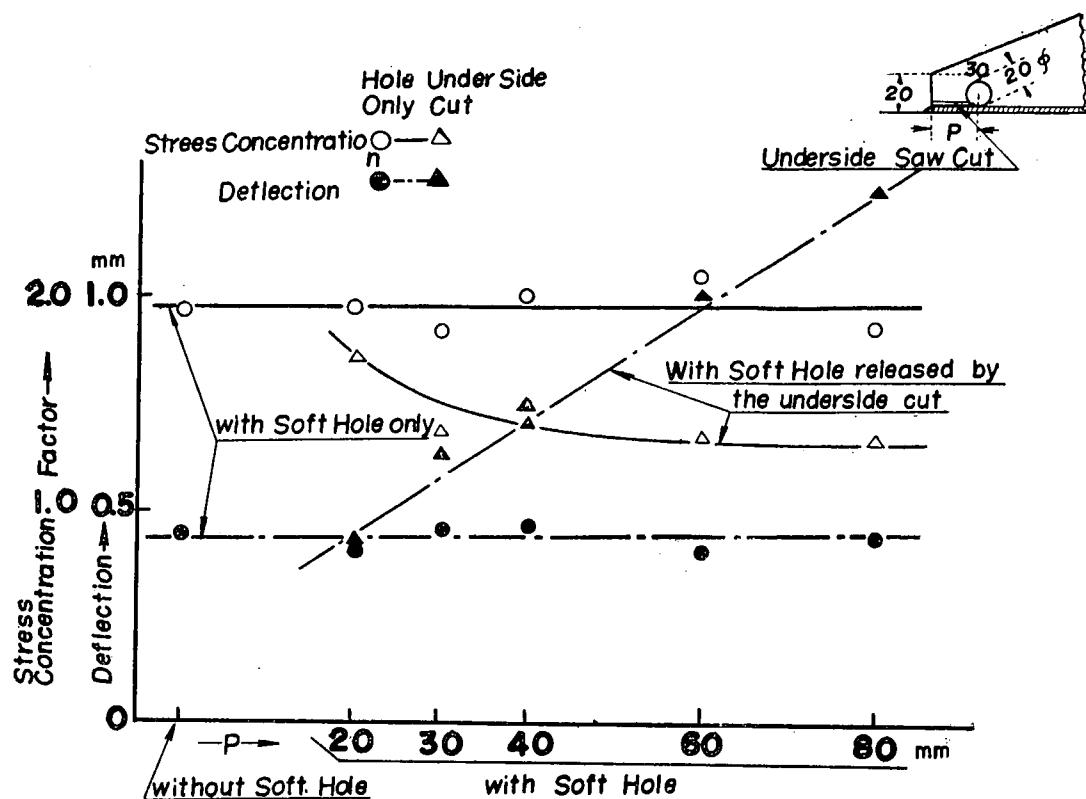


Fig. 3.4 Stress Concentration and Deflections vs. Distance between the Center of Soft Hole and Bracket End Specimen Code No. 1.

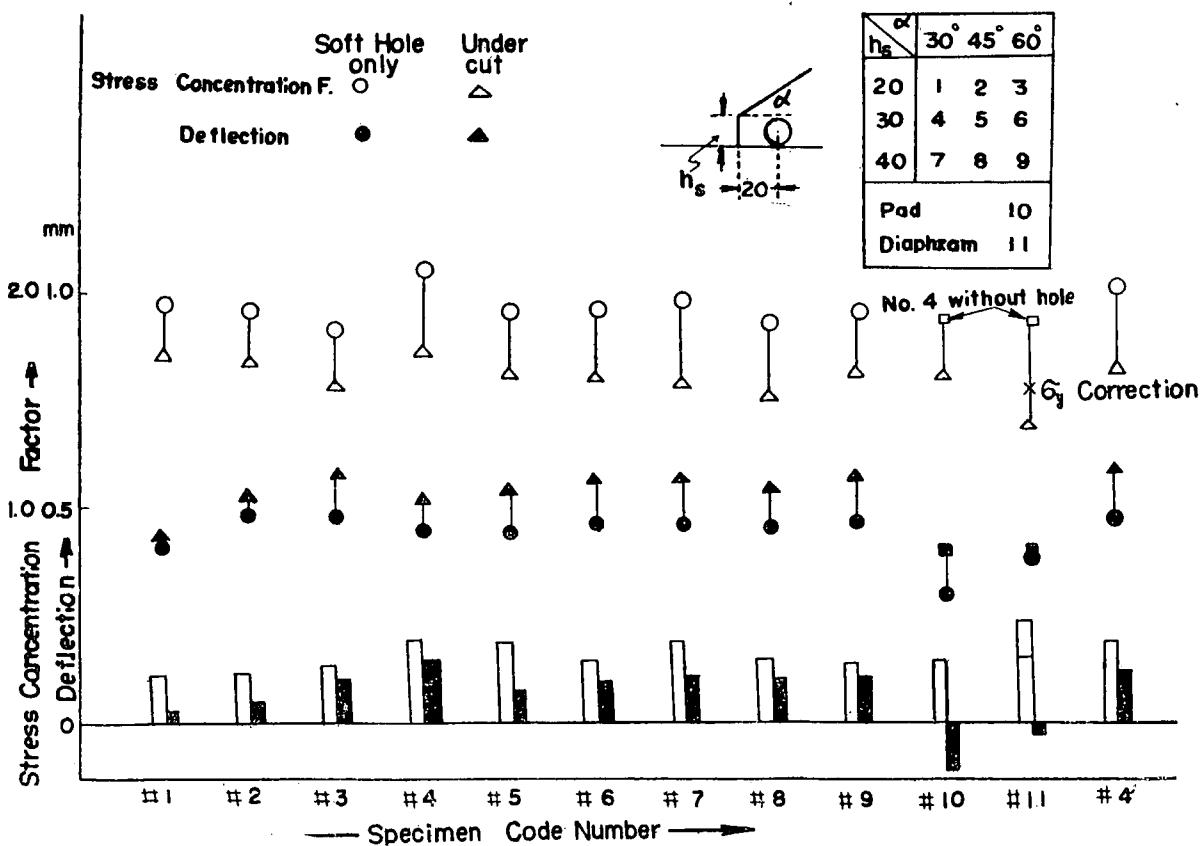


Fig. 3.5 Summary Results of Static Test

らは一定となる。

試験片全種類についての総合結果を棒グラフに表示したのが Fig. 3・5 である。図中、衝立補強をした 11 番の試験片では最大集中応力を生じていると考えられる点の横方向の歪が拘束されている

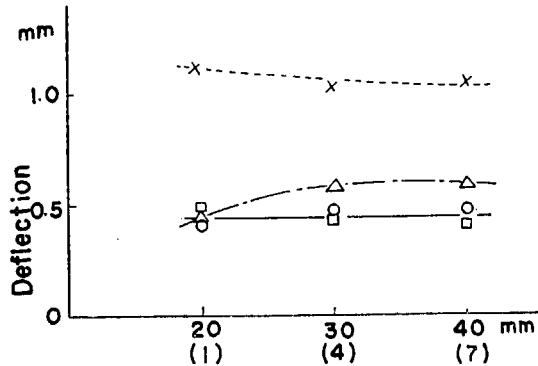


Fig. 3・6 h_s Vs. Deflection

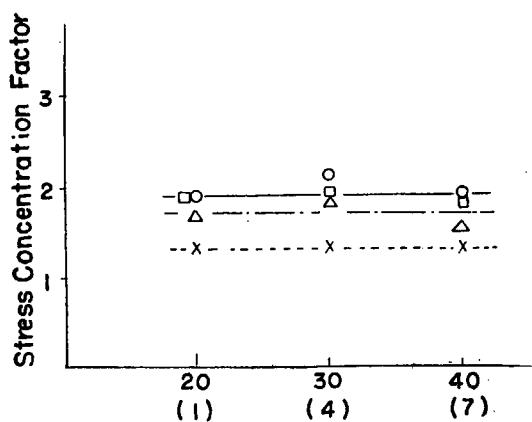


Fig. 3・7 h_s Vs. Stress Concentration Factor

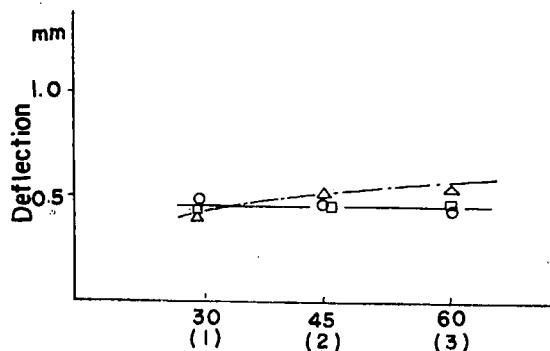


Fig. 3・8 α Vs. Deflection

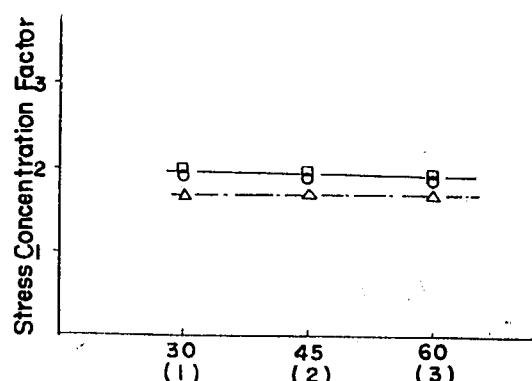


Fig. 3・9 α Vs. Stress Concentration Factor

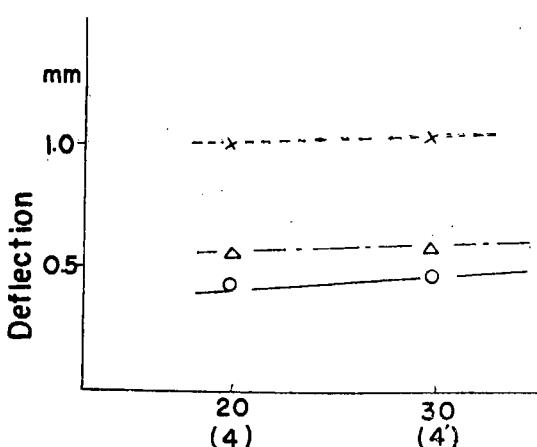


Fig. 3・10 Dia. of Soft Hole Vs. Deflection

- Hole only ($p=20$) ——
- Without Hole ($p=80$) ——

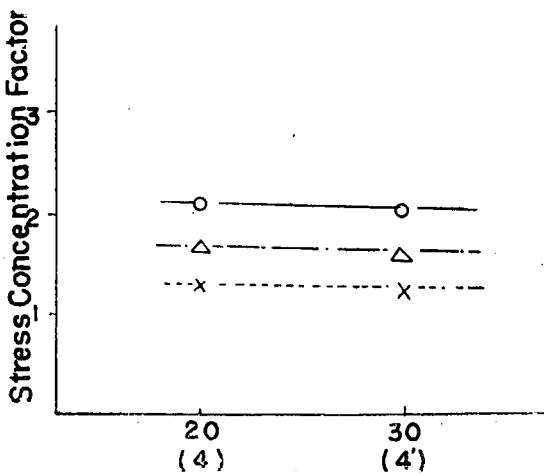


Fig. 3・11 Dia. of Soft Hole Vs. Stress Concentration Factor

- △ Under cut ($p=20$) ——
- × Under cut ($p=80$) -----

と見做し得るので修正した点をプロットしてある。

プラケットのスニップ高さの応力集中率及び撓みに及ぼす影響は No. 1, No. 4, No. 7 の組合せ, 2, 5, 8 の組合せ, 及び 3, 6, 9 の組合せによつて得られるが, 1, 4, 7 の組合せについてグラフとしたのが Fig. 3・6, Fig. 3・7 である。両図はスニップ角度 $\alpha=30^\circ=\text{const}$ の場合であるが, $\alpha=45^\circ, 60^\circ$ の組合せについても, 殆んど同一の結果を得た。

h_s が一定なるときの α による影響は Fig. 3・8, Fig. 3・9 に明らかであるように顯著ではないが, 稍差が表われている。

No. 4, No. 4' の試験片は他の寸法が同一で, ソフト孔の直径のみ 20 mm, 30 mm と異なつてゐるが, その影響は Fig. 3・10, Fig. 3・11 のようにさして変化がないと云える。

ソフト孔を抜き, 更にプラケット前面よりスリットを円孔まで切る時, そのスリットの位置により応力集中率, 撓みに影響を及ぼすかどうかについて調べるために, No. 4 の試験片について, ピードに接するようにスリットを入れた(下切り)ものと, 別に孔の水平中心線に沿つてスリットを入れた試験片について比較実験を行つて見たが, 下切の方が稍優れている程度の差しか表われなかつた。

以上の静的曲げ試験結果を総合列記すれば次の如くである。

1. ソフト・トウとするためプラケット先端に円孔を抜いただけでは, 応力集中も撓みも殆んど変化しない。
2. プラケット前面から円孔までスリットを入れると, ソフト・トウとなり最大応力集中率は減少するが, 同時に撓みも増大する。
3. 孔の中心とプラケット前面との距離を ρ とするとき, ρ が増大すると撓みは直線的に増えるが, 最大応力集中率は ρ の或る値まで減少し, それ以上は ρ が増えても殆んど変化しない。
4. ゲージ長 9.5 mm の電気抵抗線歪計による最大応力集中率は大体に於て 1.9~2.0 で, ソフト・トウにより 1.6 位に緩和されているが, ゲージ長の更に短い歪計で測定すれば最大応力集中率も本実験結果より高く, 実際には実験値よりも相当高い応力集中を生じていると考えられ, 従つてソフト・トウによる応力集中緩和の程度も本結果よりは大きいと考えられる。
5. ソフト孔の直径による撓みへの影響は稍々認められ, 孔径を大とすると撓みは稍々増大するが応力集中緩和率はあまり変化しない。
6. プラケットのスニップ高さ h_s , 及びスニップ角度 α による影響は, 試験片種類数が少いためにもよるが, 殆んど認められない。
7. ソフト孔によるソフト・トウと, 二重張, 及び衝立板による補強様式とを比較すると, 応力集中の緩和程度は殆んど同程度と見做し得る。
8. ソフト孔中心前方と, 下端前方とによるスリットの位置の影響は殆んどないが, 下端にスリットを入れたものの方が僅かに優れている。

§4. 疲 労 試 験

(a) 試 験 方 法

試験機は Schenck 型振り一曲げ (4.0 ton-m) 疲労試験機に治具を立てて試験片を固定し, 疲労片振り引張応力が Fig. 3・1 中 F 点にかかるように特殊な治具を使用した。即ち, 押し治具のネジ

を調節して一定の初期撓みを与えておき、この初期撓み量を一定に押えて、最大撓みとの差即ち振幅を変化させて撓み一繰返数の疲労曲線を求めた。従つて下板のブラケット面には常に引張応力がかかっている。更に、撓み量からモーメントを求め、荷重を計算から出して荷重一繰返数曲線を求めた。

試験片は Table 3・1 中 No. 4, 10, 11 の 3 種類を使用し、No. 4 の孔のない場合を標準とした。更に、No. 4 試験片に $20 \text{ mm } \phi$ のソフト孔をビードに接するように抜き、前述 ϕ の長さを変化させた。静的荷重試験結果によつて、ソフト孔を抜いた試験片には全部スリットをビードに接してブラケット前端面から円孔円周まで切つた。

ソフト孔の直径は 20 mm 一定とし、 ϕ を $20, 30, 35, 40, 45 \text{ mm}$ の 5 条件変えて、ソフト孔の無いものと比較した。補強型試験片 2 種は、試験数の制限も受けたため国際熔接会議第 13 部会（疲労部門）において採用された迅速疲労強度決定法を併用した。なお、補強型試験片にはソフト孔を抜いていない。

(b) 試験結果

(i) 疲労亀裂の発生位置並びに伝播状況

疲労試験を行つた 3 種の試験片とも、疲労亀裂の進展速度が相互に異なつてゐる。即ち、標準試験片 No. 4 (ソフト孔なし hard spot) 及び No. 4 にソフト孔を抜いた試験片 (ソフト・トウ試験片) では、亀裂が発生してから完全に分離破断するまで、大体に於て 7×10^6 回位、かかるが一方二重張補強試験片は 8×10^6 回位、衝立補強試験片は 1×10^6 回位で完全に分離破断する。また、亀裂の伝播も試験片では表面亀裂が先に進み、裏面亀裂が後から追つて行く傾向を示しているが、補強型試験

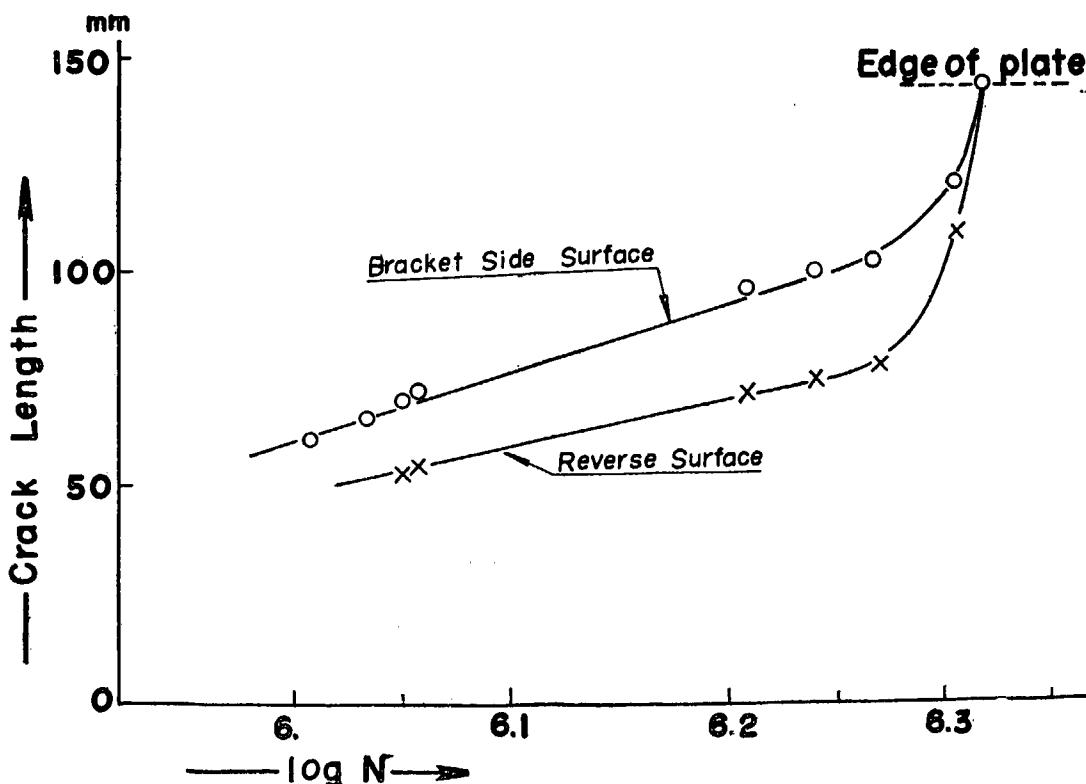


Fig. 3.12 Crack Propagation in Standard Fatigue Specimen
Specimen Code No. 4; $h_s=30 \text{ mm}$ $\alpha=30^\circ$

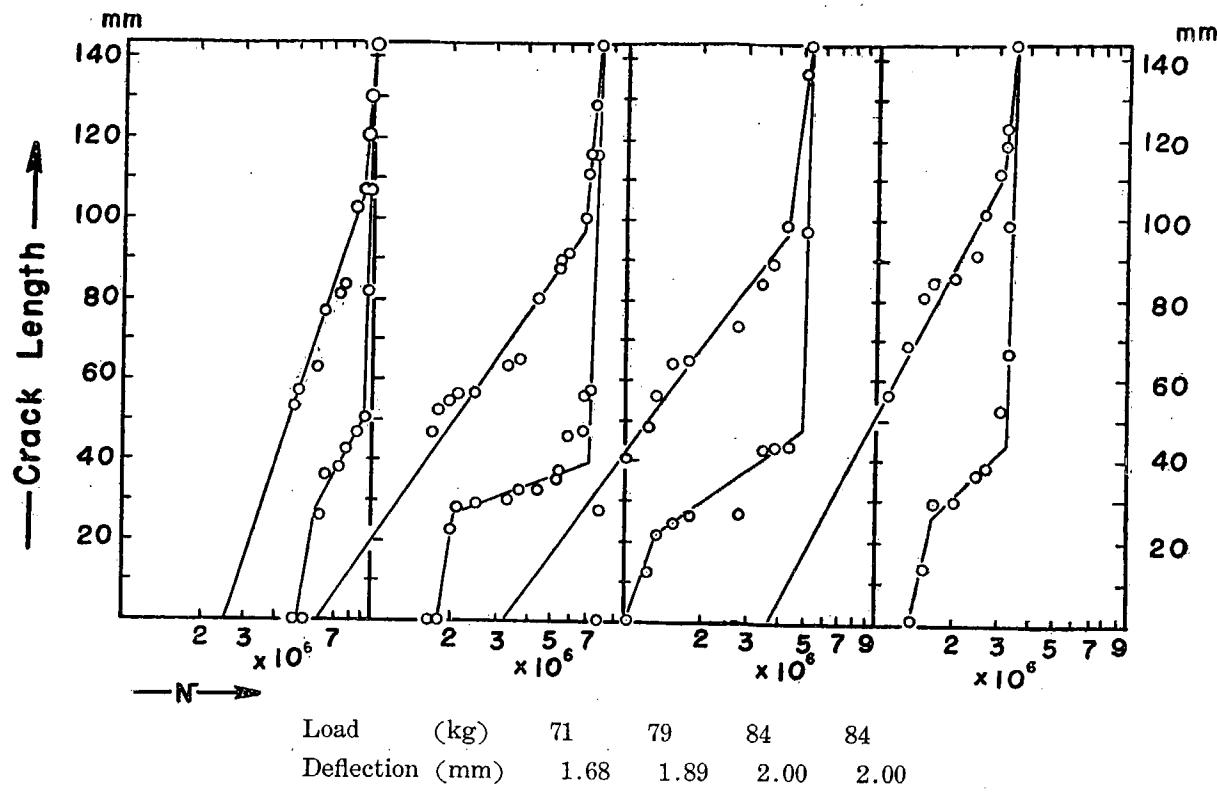


Fig. 3 · 13-1 Crack Propagation in Standard Specimens
 (Specimen Code No. 4; $h_s=30$ mm $\alpha=30^\circ$)

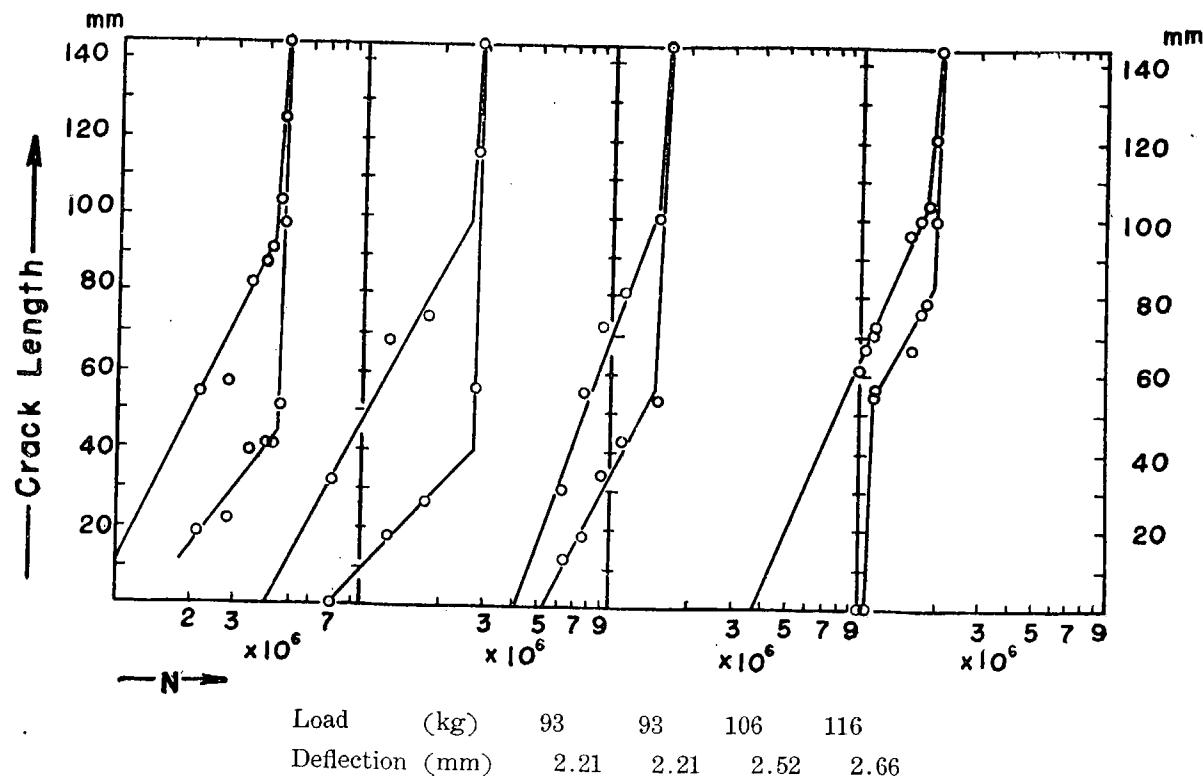


Fig. 3 · 13-2 Crack Propagation in Standard Specimens
 (Specimen Code No. 4; $h_s=30$ mm $\alpha=30^\circ$)

片の亀裂は常に表裏同長の亀裂が進行した。従つて、3種の試験片の疲労強度を比較するため、亀裂の伝播速度を測定し平均亀裂が20mmとなつた繰返数を以て疲労強度を出した。

標準試験片及びソフト・トウ試験片の亀裂伝播状態:—

Fig. 3・1 中上図に示してあるように、亀裂はプラケット先端の隅肉先端より発生し、図の線に沿つて徐々に円弧状に進展して分離破断した。

下板の表裏両面における亀裂長と繰返数との関係を Fig. 3・12., Fig. 3・13-1, Fig. 3・13-2 に示す。図からわかるように完全破断直前まで表裏面亀裂は殆んど平行に進展し、表面亀裂が裏面亀裂よりも約30mm程度常に先行している。この表裏亀裂長さの差は、板の表裏の応力差に起因するものと考えられる。即ち、表面から発生した疲労亀裂は板幅並びに板厚方向に進み、裏面に到達した後幅方向に拡がつて行く。破断点に近づくにつれて表面の亀裂伝播速度は衰え、裏面の伝播速度が高まつて急速に分離破断する。Fig. 2・13 から明らかなように、試験片にかかつている荷重の大きい程伝播速度も大きく、また表裏の亀裂長の差も小さい。

二重張補強試験片(試験片番号10)の亀裂伝播状態:—

溶接の仕上りにより、Fig. 3・2 の如く亀裂発生位置が異なる。即ち、二重張板先端の隅肉先端から発生したものと、プラケット先端の隅肉先端から発生したものとの2種類の亀裂が見られた。

二重張板先端から発生した亀裂の伝播状態は標準試験片の場合と殆んど同様であるが、プラケット先端から亀裂が発生した場合は先づ二重張板を亀裂が貫通し、二重張板が分離破断してから下板に亀裂が進展した。

衝立補強試験片(試験片番号11)の亀裂伝播状態:—

亀裂は Fig. 3・2 の如く、衝立板前端の隅肉先端に沿つて発生し、伝播した。亀裂発生までの繰返数は上記の二つに比して最も大きいが、一方亀裂発生と殆んど同時に亀裂が進展し完全に分離破断した。

(ii) 亀裂発生時における疲労強度

疲労試験に与える撓みは、ダイヤルゲージを使用して Fig. 3・1 図中 F 点において測定した。片持梁と仮定してモーメントから荷重を逆算し、この両者を用いて疲労曲線を求めた。このため、荷重逆算用としてプラケット先端の下板表面で、応力集中の影響を受けないと考えられる点及び最大応力集中点に抵抗線歪計を貼布して、撓みと応力との関係を求めておいた。このようにして計算した荷重撓み、繰返数の関係図が Fig. 3・14, Fig. 3・15 である。即ち、撓み量をパラメーターとした場合、換言すれば撓み一繰返数の曲線、Fig. 3・15 ではソフト・トウの効果は顕著である。但し、Fig. 3・16 の如く、荷重一繰返数の関係においてはソフト・トウの効果は期待出来ない。

今、疲労強度の判定基準として 2×10^6 , 5×10^6 回における値及び疲労曲線の傾斜 K を Fig. 3・14, Fig. 3・15 より採り図にすると Fig. 3・16 を得る。

直接荷重を受ける場合の疲労強度は略剛性の順となり、ソフトにする程悪くなるようである。併しながら、変位を受ける場合は、図から明らかのようにソフト・トウの効果は著しく表われ、 $p=35$ mm のソフト・トウは衝立補強よりも優れている。また、傾斜 K はソフト・トウが最小で優れており、亀裂が発生したとしても、完全に分離破断するまでの繰返数は他の型の試験片に比し大きいこと

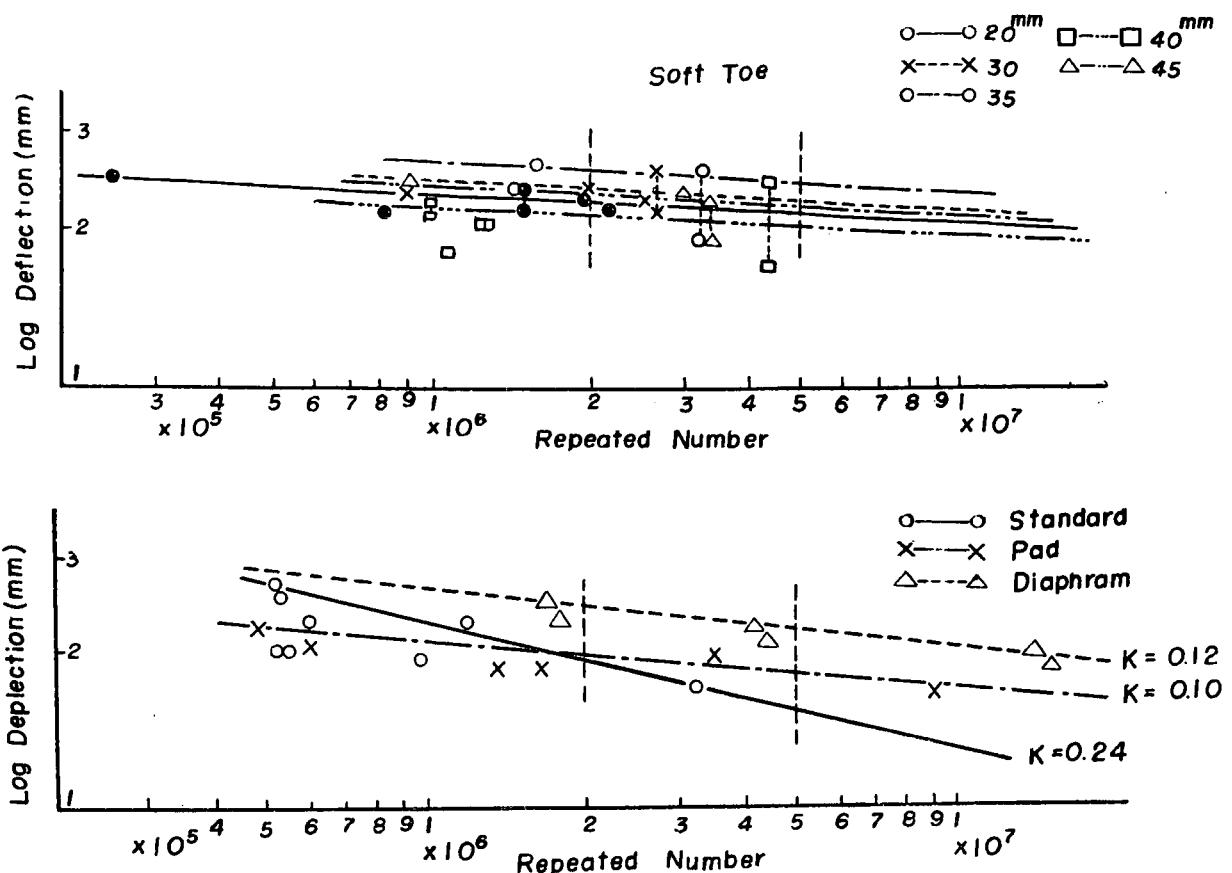


Fig. 3 · 14 Deflection-Number Curves

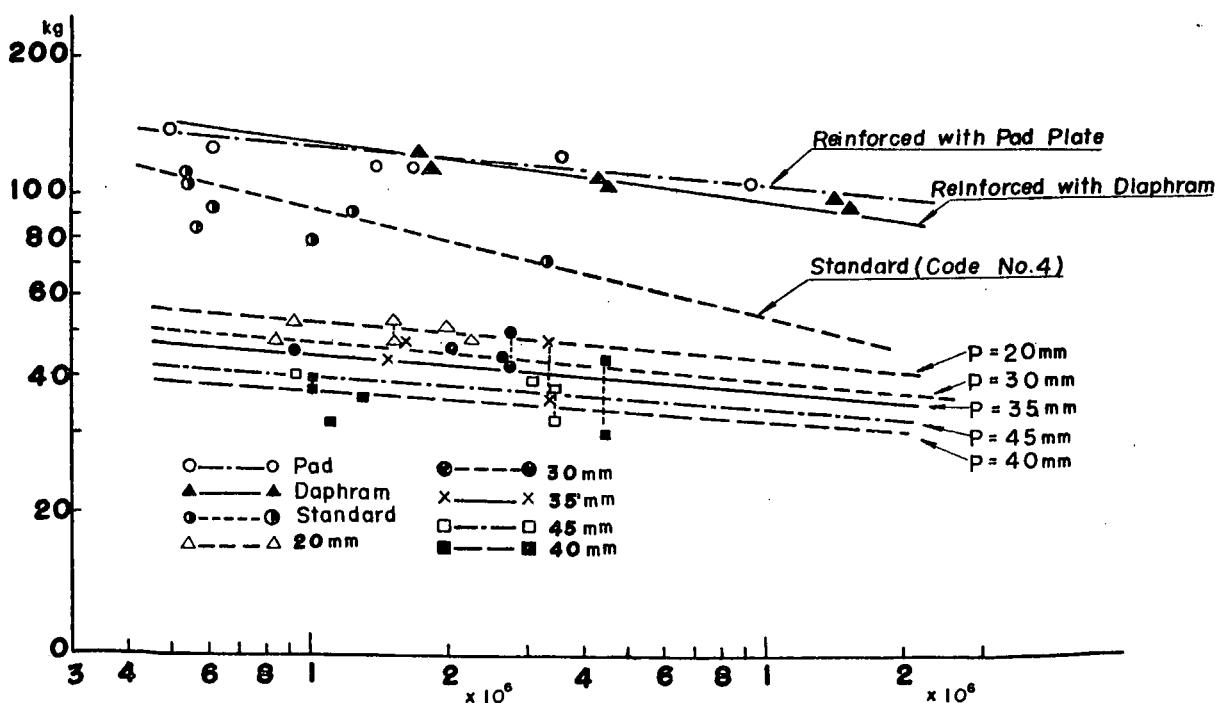


Fig. 3 · 15 Load-Number Curves

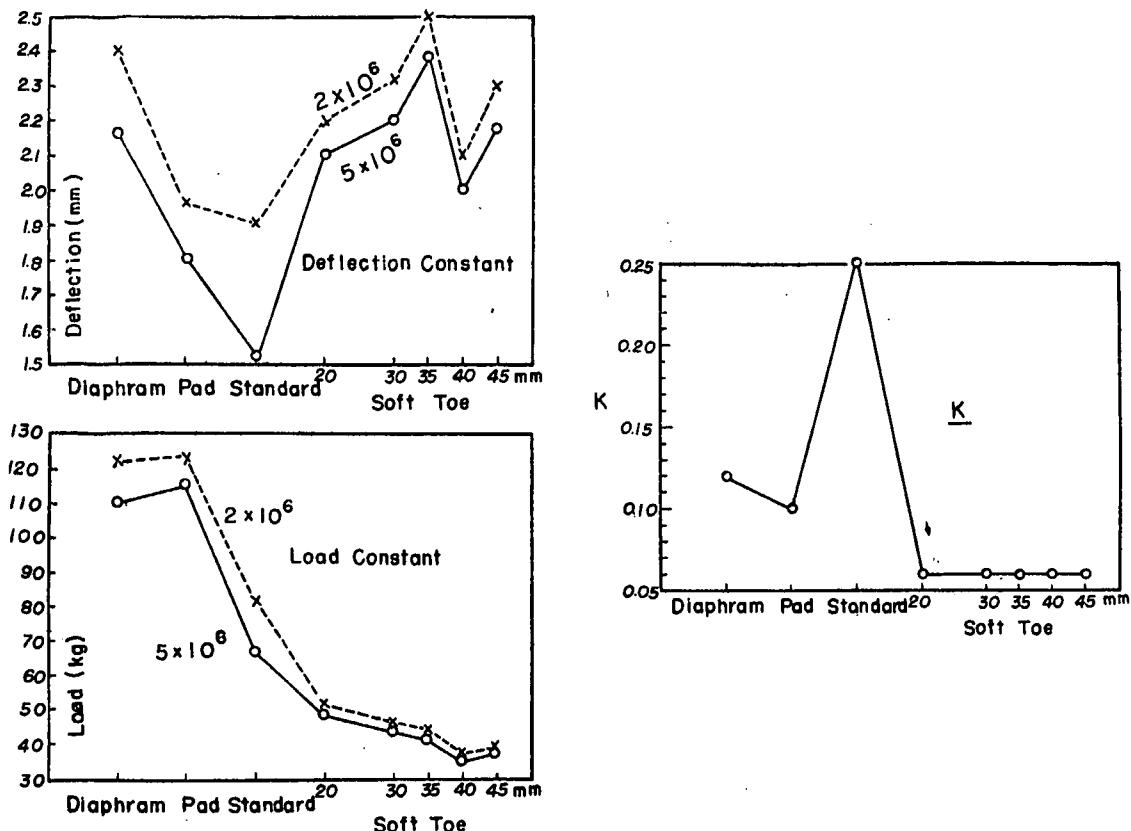


Fig. 3.16 Comparison of Fatigue Strength

を示している。

疲労試験結果を列挙すると、

1. 疲労亀裂の伝播速度は衝立補強試験片が最大であり、二重張補強、標準(hard spot)-ソフト・トウの順となる。
2. Hard spot 及びソフト・トウ試験片の亀裂伝播は、表面亀裂が先行して、裏面亀裂がこれを追い、完全分離破断直前に裏面亀裂の伝播速度が高くなつて分離破断する。
3. 衝立補強試験片においては、亀裂発生までの繰返数が大きい反面、亀裂発生後は極めて短い繰返数で完全破断する。
4. 疲労曲線の傾斜角を示す K はソフト・トウが最も低く優れており、標準とした hard spot が最も悪い。
5. 変位一定の場合、疲労強度は $p=35 \text{ mm}$ のソフト・トウが最高で優れ、次に二重張が弱く、標準の hard spot が一番悪い結果を示しているが、荷重一定の場合はこの順位は大体において逆順位となる。

§5. 総合結論

静的曲げ試験及び疲労試験の両結果を総合して次の如き結論を得る。

1. プラケットのトウに円孔を抜き、更にプラケット前端面より円孔までスリットを入れればソフト・トウとなるが、同一荷重による撓みは増大し、最大応力集中率は減少する。
2. ソフト・トウとするための円孔直径、円孔の位置、プラケットのスニップ高さ、スニップ角度

は応力集中率にあまり影響を及ぼさない。

3. ソフト・トウとすればもし疲労亀裂が発生したとしても、完全に分離破断するまでには他の型と比較して相当の繰返数を要するが、他方衝立補強試験片は亀裂発生後極めて少い繰返数で破断する。
4. 構造物において、そこに加わる荷重よりむしろ変位が問題であると考えられる場合にはソフト・トウの効果は顕著に表われるが、一方荷重の方が変位より重要であると考えられる場合にはソフト・トウはかえつて悪い結果をもたらす。

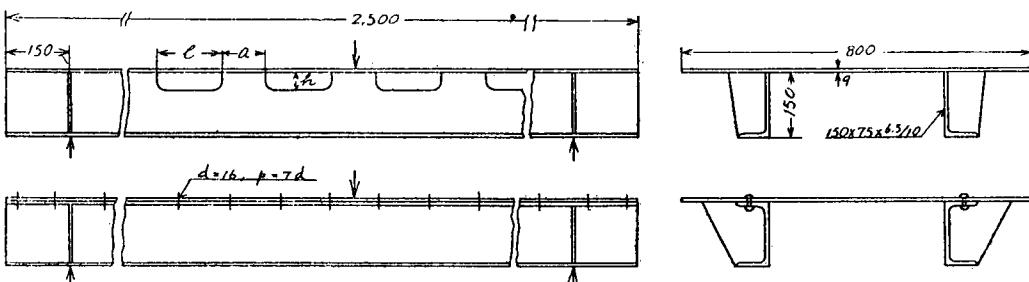
第4章 Scallop構造の研究

§1. 試験概要

現在溶接船には scallop 構造が広く採用されているが、その強度に及ぼす影響を系統的に研究されたものは少く(註1)，強度上不明な点が多い。そこで scallop した防撓材をつけた板の曲げ強度を調べ、見かけの有効巾や最大荷重を比較して scallop の高さやピッチ等が強度に及ぼす影響を研究した。

§2. 試験片及び試験法

2.800×800×9 の板に 2 本のスチフナ (150×75×10/6.5 L) の一方のフランジを切り取つたものを溶接し、このスチフナに scallop を設けた。その寸法は Fig. 4·1 に示す。また比較のため連続溶接、断続溶接、鉄接の 3 本の試験片も作り、合計 13 本準備した。



No.	1	2	3	4	4½	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>h</i>	/	/	/	35	50	75	110	35	35	35	35	35	35
<i>l</i>	/	150	/	150	150	150	150	150	150	150	75	200	250
<i>a</i>	/	75	/	75	75	75	75	30	50	150	75	75	75
NOTE	Continuous	Chain	Rivet 16φ $p=7d$	← “ <i>h</i> ” Variable →				← “ <i>a</i> ” Variable →				← “ <i>l</i> ” Variable →	

Fig. 4·1 Specimen

試験は運研 300 ton 構造物試験機によりスパン 2.5 m にて集中荷重 (plate 側より加圧) による曲げ試験を行い、始め弾性試験によつて、撓み、スチフナの横倒れ及び各部の応力分布を測定し、そ

(1) R. Weck: Fatigue in Ship Structure, TINA July. 1953.

(2) 安藤文隆: スカラップを行つた溶接防撓構造物の曲げ試験、運輸技術研究所報告、第4巻、7-8号、昭和29年7月。

の後破壊試験を行つて最大荷重を求めた。撓み及びスチフナの横倒れはダイヤルゲージで、また応力は抵抗線歪計により 1.5 ton 毎の値を計測した。

§3. 試験結果

(1) 一般的考察

スチフナに scallop を行つた場合、その梁構造物は次の原因から強度が減少する。

- (イ) 孔をあけたための有効断面係数の減少。
- (ロ) スチフナが横倒れを起し易くなること。
- (ハ) スチフナと板との辺り係数の増大。
- (ニ) 不連続部の応力集中。

先づ (イ) は断面積が減少するから当然であるが、一般に scallop して切り取られる部分は、梁の中立軸附近であり、そのため実際の断面係数の減少は非常に少ない。 h が変化した場合の断面係数を示すと次表のようになる。

h (mm)	I (mm^4)	\bar{y} (mm)	Z (mm^3)
0	32,868,100	38.7	273,200
35	32,783,800	39.2	273,700
50	32,757,700	39.0	273,000
75	32,470,900	37.9	268,100
110	30,941,400	34.7	249,500

(I =断面二次モーメント, \bar{y} =板下面より中立軸までの高さ, Z =断面係数)

即ち scallop の高さがスチフナの高さの 50%, 73% となつても Z の減少は夫々僅か 2%, 9% に過ぎない。故に一般にはこの事項は無視して差支えない。

次の (ロ) スチフナの横倒れは結局この梁の破壊形式がスチフナの横倒れに原因するものであり、また一般にこのような構造ではこの試験と同じ形式の破壊をすると考えられるので、横倒れ量を求めるることは、梁の強度判定上有用な手段である。また破壊試験から求めた最大荷重とこの横倒れ量を比較すると、よく一致した傾向が見られる。この結果を (2), (3) の項に述べる。

次の (ハ) スチフナと板の辺り係数は、もし接合部に相対変位がなければ、スチフナと板とは完全に一体の梁として働くべき、板を或る有効幅（この実験の場合は殆んど全幅に等しい。）だけとて考えれば、梁理論と殆んど一致する。然し実際には接合部は溶接であり、特に scallop をすれば、その辺り係数は増大し、梁の有効剛性は減少する。この値を出したものが (4) の撓み、(5) の応力分布であり、梁理論に合せるために板の有効幅を求めたのが (6) の見かけの有効幅である。

最後の (ニ) 不連続部の応力集中は孔の周辺で生ずるものであるが、このスチフナにかかる力は、板側からの圧縮、曲げ、及び剪断力である。そして孔は中立軸附近にあるため曲げによる応力は比較的小さく、圧縮と剪断が大きな値となる。

そのうち圧縮はこの試験法がスチフナに力をかけたために生じたものであり、実際の負荷状態を考えると、この力は一応除外して考えても差支えない。

そこで結局大きな影響を及ぼすものは剪断力によるもので、これは孔の両隅に引張り及び圧縮応力

として現われて来る。そしてその値を左右するものは板とスチフナの相対変位、つまり辺りであり、結局 (a) の項を別の面から見たことになる。結果は (5) の項に述べる。

以下各項について実験結果を示す。

(2) 最大荷重

前述の如く、この試験で荷重を増加していくとスチフナは次第に横倒れを生じ遂に最大荷重に達する。荷重一撓み曲線を示すと Fig. 4・2 の如くなる。そこでこの最大荷重を先づ scallop の高さ h 、によつてグラフを描くと Fig. 4・3 の上側の図となる。これで見ると高さの影響はスチフナの高さの 40~50 % までは割合緩かで、これを越すと急激に弱くなつている。

またこの最大荷重を足の部分の長さ a とスカラップの長さ l の比 a/l でプロットすると Fig. 4・3 の下側の図のようになる。これで見ると a/l が 0.4 ($l/a=2.5$) 程度までは強度はんど変わらず、この限度を過ぎると非常に急激に強度が低下する。そして $a=75 \text{ mm}$ と $l=150 \text{ mm}$ の両曲線を比較すると、前者の方が強度低下の割合が大きく、スカラップの長さの方が実験結果に大きな影響を及ぼしている。つまりスカラップの長さの絶対値は出来るだけ短かくすることが望ましいのが判る。

(3) 横倒れ

不对称断面を持つたスチフナをつけたものの最終的な強度は横倒れ量が非常に大きく関係する。そこで、今回の試験ではこの横倒れ量を計測した。各荷重時における横倒れ分布を図示すると Fig. 4・4 の如くなる。弾性試験においてはこれらの値は荷重に完全に比例しているので中央点の 1 ton 当りの値を $h(a/l)$ に従つてグラフに描くと、Fig. 4・5 のようになる。この傾向は前の最大荷重のものとよく一致している。

(4) 撻み

弾性試験から求めた 1 ton 当りの撓み曲線を No. 1~No. 6 の各試験片毎に現わすと Fig. 4・6 の如くなる。

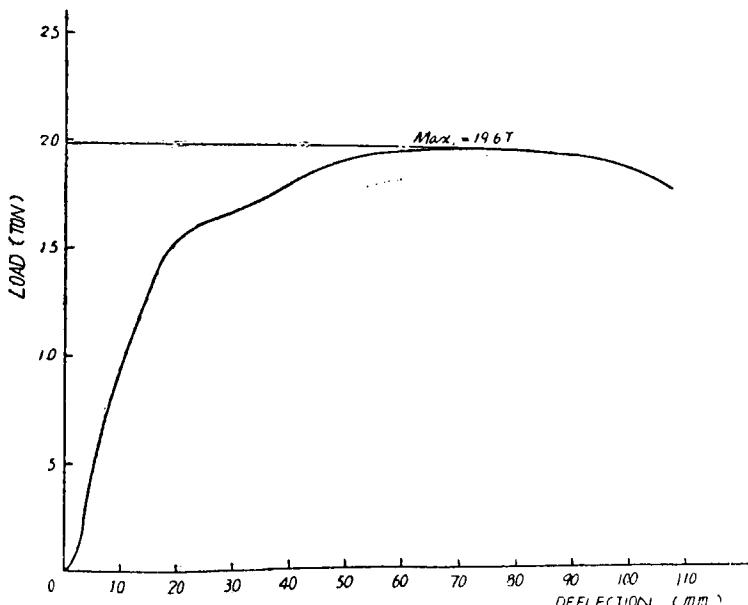


Fig. 4・2 Load-Deflection Curve

(Specimen No. 4)

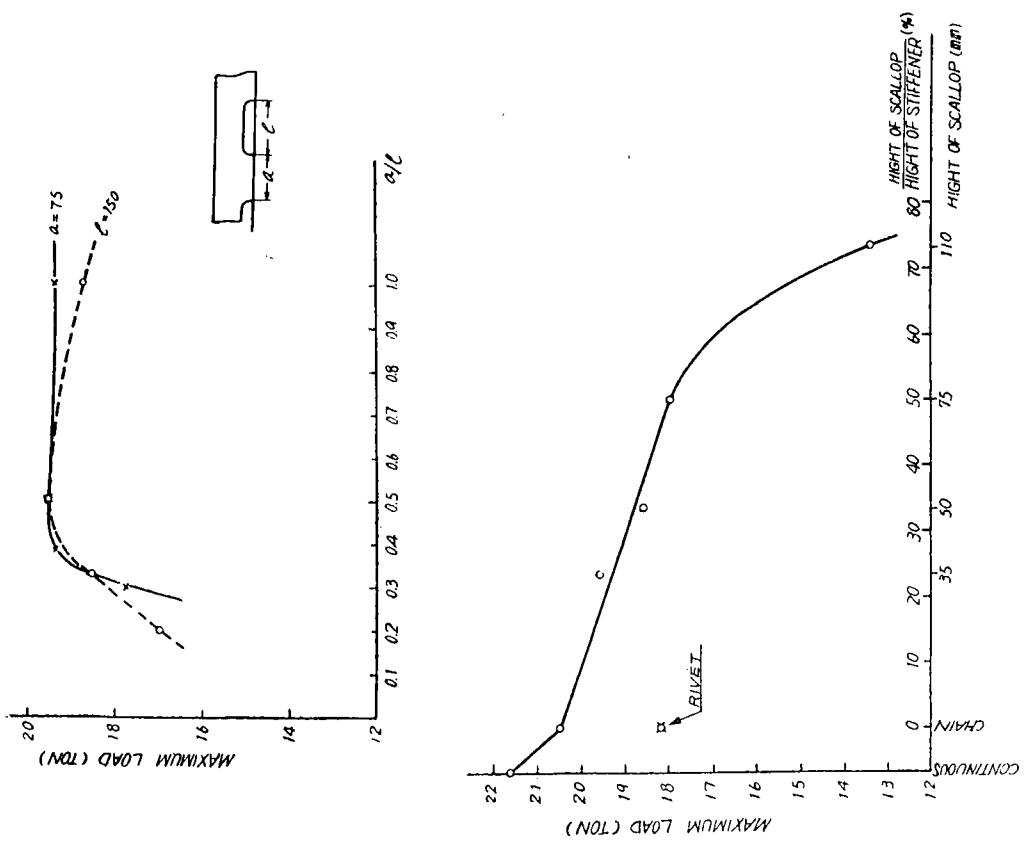


Fig. 4.3 Variation of Maximum Load

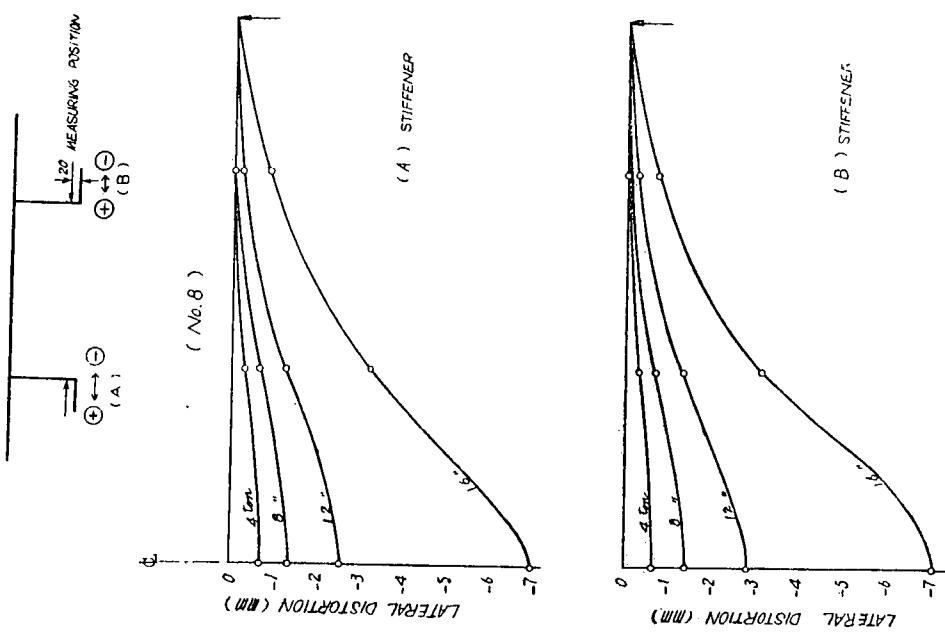


Fig. 4.4 Lateral Distortion of Stiffener
(Specimen No. 8)

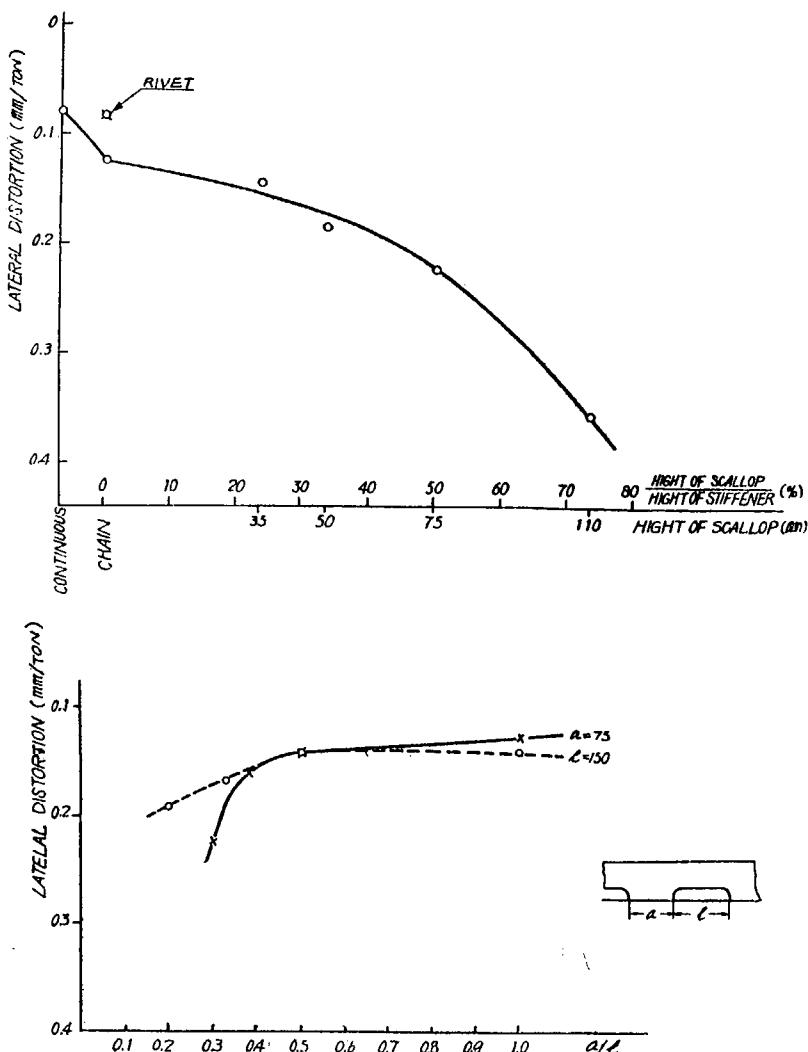


Fig. 4 · 5 Variation of Lateral Distortion of Stiffener

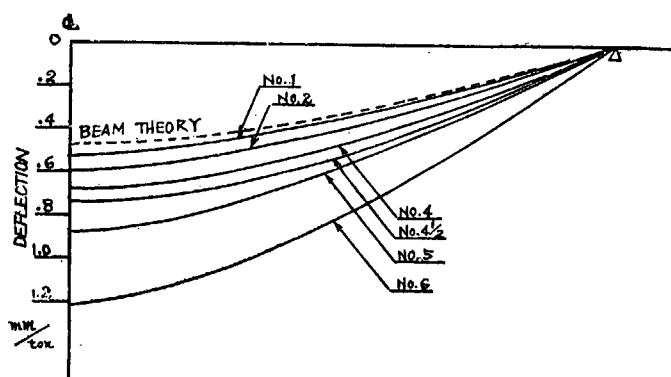


Fig. 4 · 6 Deflection Curve

この中央点の 1 ton 当りの撓みの値を前と同様 $h, (a/l)$ によつて整理すると Fig. 4 · 7 のようになる。これも前と同じような傾向を示しているが、 a/l で整理したものは、あまりこの影響が出ていない。これは、端部の影響が効いたためと思われる。

(5) 応力分布

各試験片について長さ方向の応力分布を scallop のない断面と、ある断面に分けて示すと、例え

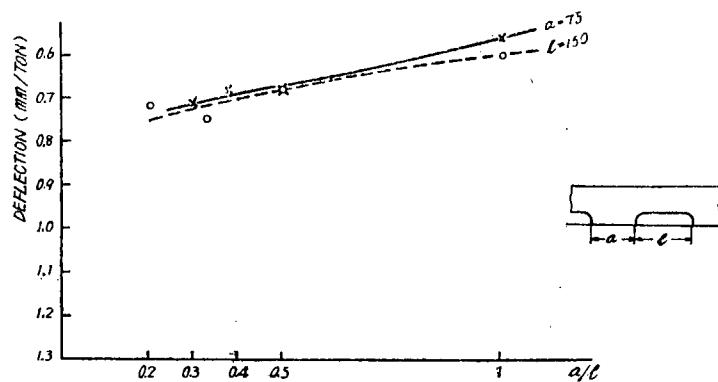
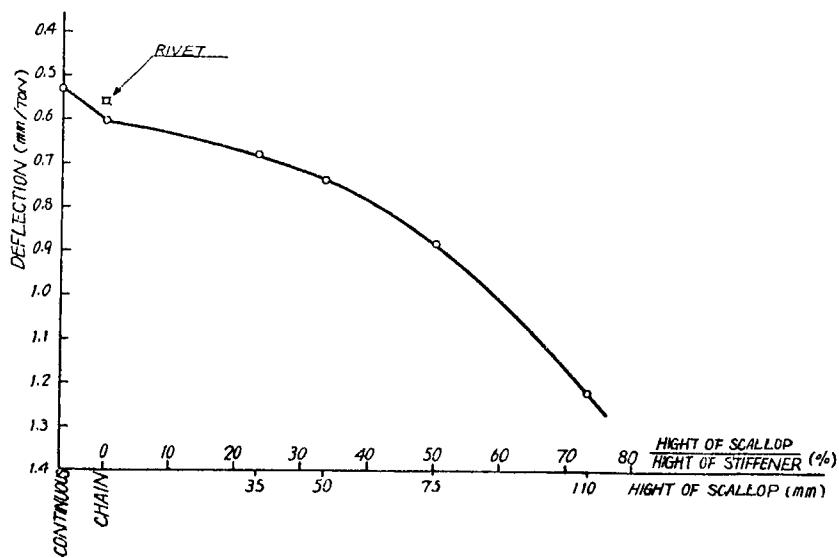


Fig. 4 · 7 Variation of Deflection

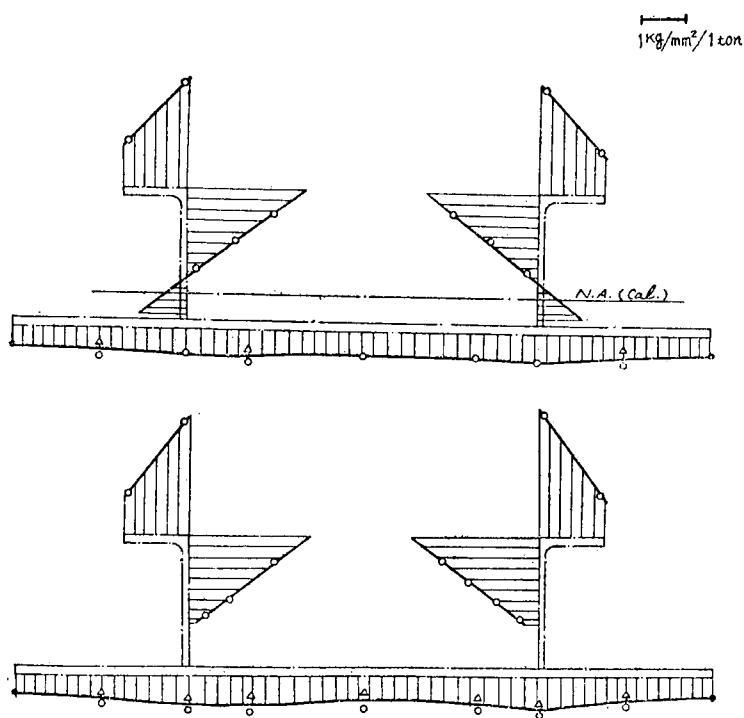


Fig. 4 · 8 Stress Distribution

ば Fig. 4・8 のようになる。

これで見ると、スチフナのフランジ部を除いては大体梁理論に近い傾向を持つている。中立軸は連続統接のものでは計算から出したものと非常によく一致しているが、断続統接や scallop のあるものでは計算よりも上方になり、見かけ上、板が効いていないような結果になつていている。これは Scallop の量が大きい程著しい。またフランジの応力はウェブ側が高く、自由端側はいちぢるしく小さく出て

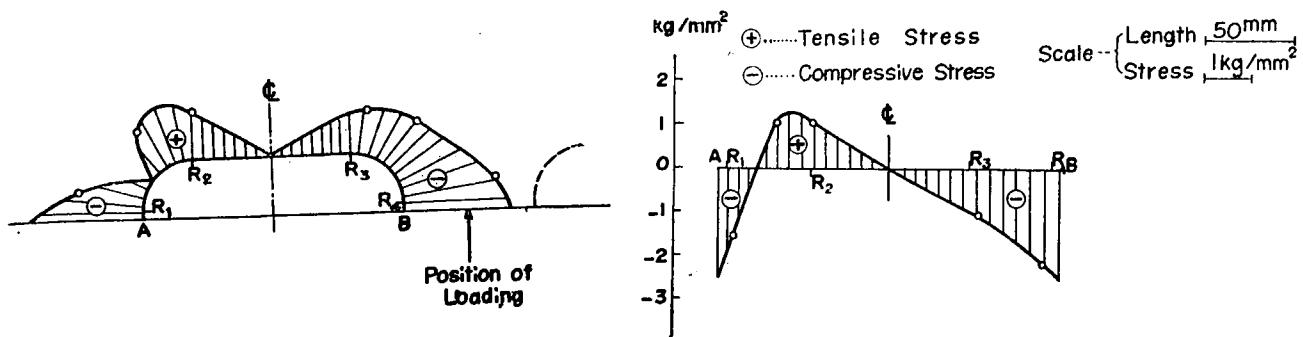


Fig. 4・9 Stress Distribution around Scallop
(Specimen No. 4)

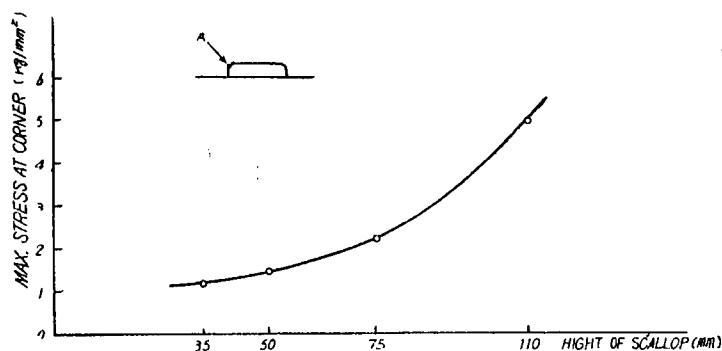


Fig. 4・10 Relation between Stress Concentration
at Scallop and Height of Scallop

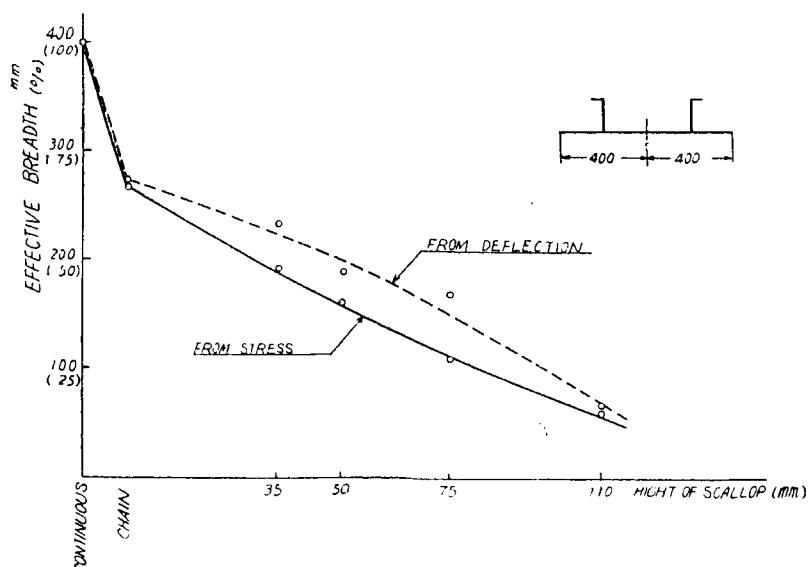


Fig. 4・11 Influence of Height of Scallop on
Effective Breadth of Plate

いる。これは主としてスチフナの横倒れの影響によるものである。

次に孔の周辺の応力を Fig. 4・9 に示す。前述の如くスチフナは剪断力を受けているため左上隅には引張応力が現われている。この応力値を h を変化させた系列で比較すると Fig. 4・10 のようになる。

(6) 見かけの有効幅

前述のように梁理論値と合せるための見かけの有効幅が求められる。これは撓み及び応力分布から求められるが（応力の方は中立軸の位置から求めた。）この値を計算すると次のように両者は大体一致している。 h の系列について図示すると Fig. 4・11 のようになる。

試験片番号	撓みより求めたもの		応力より求めたもの
	mm (%)	mm (%)	
No. 1 (連続)	400 (100)		400 (100)
2 (断続)	286 (67)		273 (68)
3 (鉛)	269 (67)		205 (51)
4 ($h = 35$)	193 (48)		233 (58)
4½ ($h = 50$)	160 (40)		190 (48)
5 ($h = 75$)	110 (28)		168 (42)
6 ($h = 110$)	60 (15)		65 (16)
7 ($a = 35$)	170 (43)		170 (43)
8 ($a = 50$)	155 (39)		213 (53)
9 ($a = 150$)	268 (67)		283 (71)
10 ($l = 75$)	333 (83)		315 (79)
11 ($l = 200$)	193 (48)		195 (49)
12 ($l = 250$)	175 (44)		150 (38)

(7) 結果要約

以上種々の面から scallop の影響について検討した所をまとめると、scallop の高さの影響はスチフナの高さの約 40 % 程度までは強度は漸減するがその程度は比較的小さい。然し高さがこれ以上になつた場合、特に 50 % を越すと急激に強度が低下する。

一方長さの影響は a/l が 0.4 ($l/a=2.5$) までは殆んど強さは変わらないが、この限度を越すとかなり急激に弱くなる。また a/l が同じでも l が長い方がこの強度低下は激しく、結局 l の絶対値は短かくすることが望ましいということが言える。

第 5 章 Corner hole の大きさに関する研究

§1. 実験目的

桁梁等の隅肉熔接の交点部には必ずコーナー・ホールが設けられるが、A, B, S では該部の強度の減少を防ぐため一応ホールの寸法を $1''R$ 以下とおさえているが、この寸法では取付板厚の大なる場合、熔着ビードが互に重なつたりして完全な周囲熔接を行うことは困難であり、且完全に行うとこ

のホールがビードで殆んど埋まつてしまうようなことも起る。また空気抜・通水口を兼用する場合には $1''$ では小さ過ぎ、出来得る限り大となすべきことが屢々船主から要求される。従つてコーナー・ホールを $1''$ より大とした場合強度は果してそれ程の減少を示すか否かを検べることが本実験の目的である。

§2. 実験方法

試験片は Fig. 5・1 及び Fig. 5・2 に示す如く、引張り用、曲げ用の 2 のタイプを用意し、夫々深さ 100 粕、150 粕、200 粕、250 粕の 4 種とし、各試験片のコーナー・ホールを $D/R=3, 4, 5, 6$ と 4 通りに変化させて、のべ計 16 の試験片を製作した。

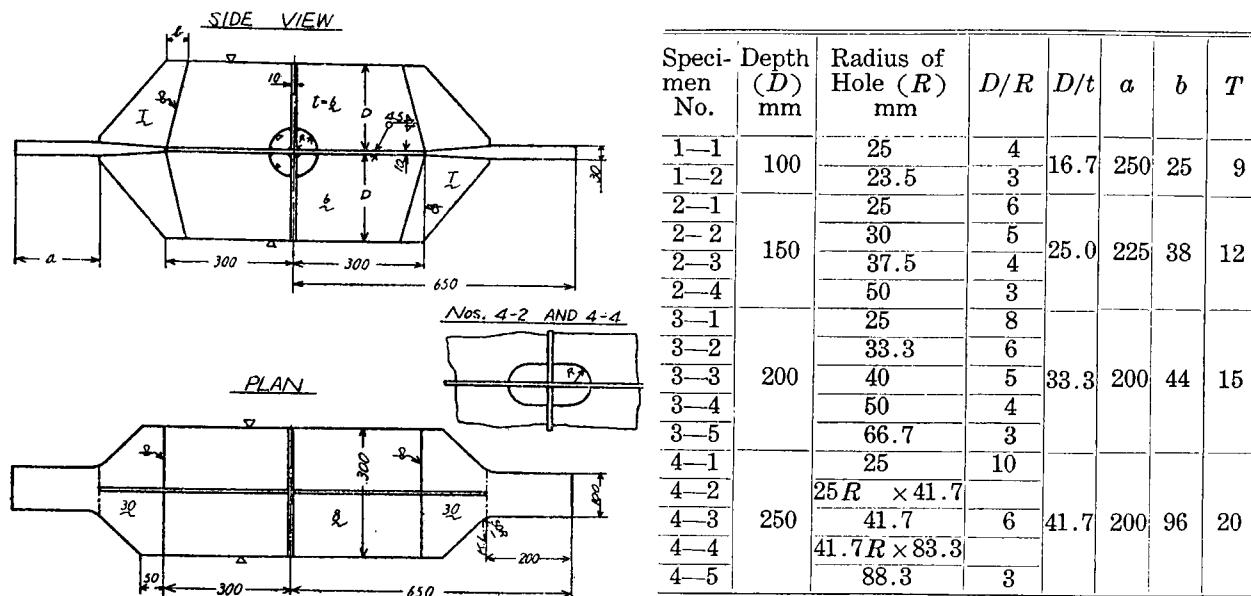


Fig. 5・1 Specimen (for Tensile Test)

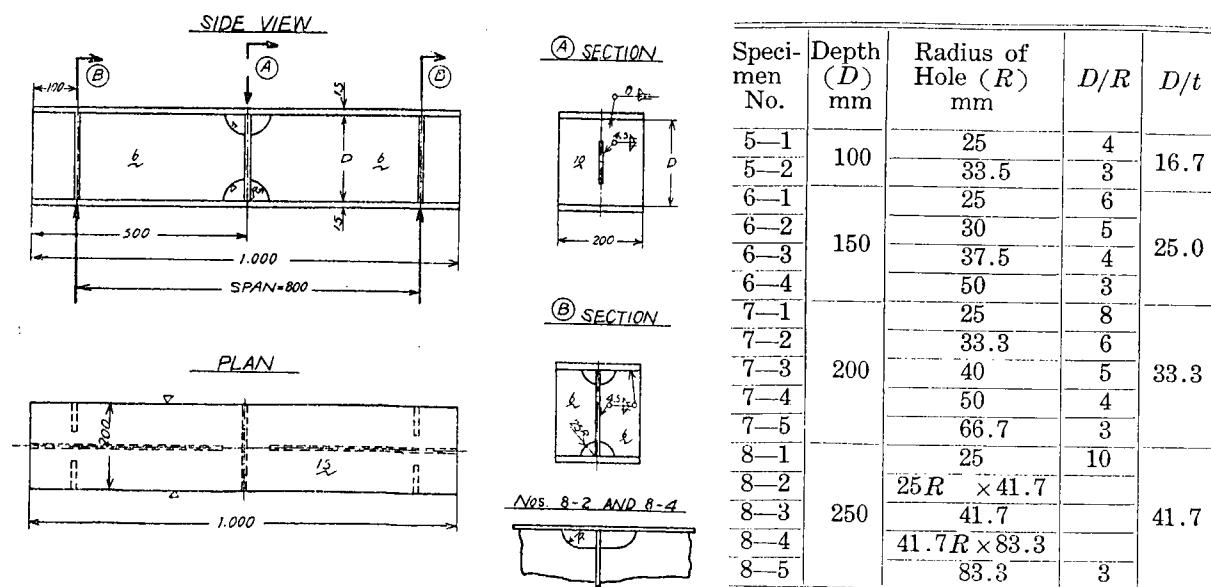


Fig. 5・2 Specimen (for Bending Test)

本実験は弾性範囲内の実験であるために各試験片の個々の製作誤差をなるべくなくする目的と試験片の数を節約するためコーナー・ホールの大きさを実験毎に小より大に大きく削つて行くことに

より一つの試験片を2回乃至5回使用した。

各試験片を通じウエヴの厚さは6耗、リヴの厚さは10耗に一定してある。

引張り試験では試験片の両側をアムスラー試験機により、単純引張応力が約 10 kg/mm^2 になるよう荷重を加えた後次の実験を行う。即ち、無荷重状態から順次荷重を試験片に加え、単純引張応力が 1 kg/mm^2 , 3 kg/mm^2 , 5 kg/mm^2 になるよう各状態に於いて電気抵抗線型歪計で18ヶ所の応力を測定する。これにより、コーナー・ホール部の応力が如何に変化するかをしらべた後、荷重を次第に減少せしめ、各状態及び無荷重状態に於いて本実験が弾性範囲内であり、部材が降伏していないことを確認しながら、各試験片について実験をすすめた。

曲げ試験では試験片の両端を支持し、中央に集中荷重を加え、コーナー・ホールのない場合の最大曲げ応力の計算値が 1 kg/mm^2 , 3 kg/mm^2 , 5 kg/mm^2 の3種になる如く荷重を選ぶ他は引張試験と同様に実験を行つた。

なお本報告中の応力値はすべて次に定義する応力集中度を以つて表わした。

$$\text{応力集中度} = \frac{\text{測定値}}{\text{その部材のその位置での最大計算応力値}}$$

§3. 実験結果

a) 単純引張りの場合

ホールをもつ垂直板の応力はホールのない部分では単純引張応力が流れ、即ち応力集中度は1に近いが、ホールの周囲では最大応力集中度は約2となる。然しこの最大応力集中度の起きる場所は試験の曲線にみられる如片の深さとホールの大きさとの比には無関係で Fig. 5・3 く3つの典型的な形に分類される。ホールの大きさが25耗では最大応力集中度は 35° 附近に起り、ホールの大きさが30耗以上40耗まででは 35° 附近の応力は次第に減少し、他に 75° 附近の応力が増加し、両方の最大応力集中度は約同値となる。ホールが40耗以上ではこの傾向は更に顕著となり 35° 附近の応力は益々減少し 75° 附近に最大応力集中度を示す。

無限大に拡がつた板に円い穴をあけて、直交する2方向から引張ると1方向から引張る場合の応力集中度は3から2に下るように本実験の場合も中央リヴの存在により、他方向から引張つたと同様の効果を示し、ホールの周囲の最大応力集中度は2程度に下ることを確認した。

水平板の応力は取付けられた7個の歪計によりホールの直下の応力まで含めて規則正しく単純引張応力で流れていることが判明した。

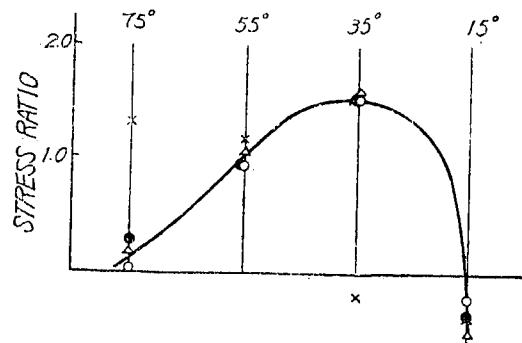
Fig. 5・4 図はホール直下の応力集中度が各試験片を通じて1に近いことを示す。

以上の結果からホールの存在により応力集中度は約2程度に増加するのみで特に設計上考慮を払う必要はないこととホールの周囲の最大応力を減少せしめるには深さの如何に關せず、ホールの大きさは30耗前後が適當なることがわかる。

ホールの形状による応力の影響を考察するために梢円孔と円孔とを比較し、Fig. 5・5 を描いたが梢円孔による格別の有利性は認められない。

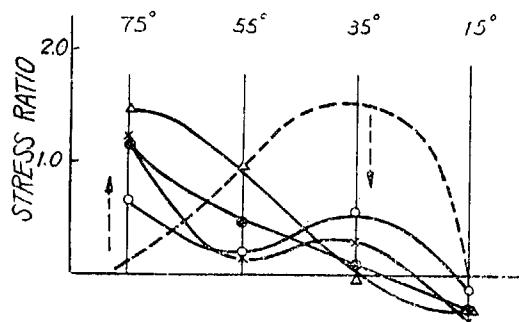
b) 曲げと剪断力を受ける場合

ウエヴの応力はホールのない部分では大体理論計算値通りに流れている。またホールの周囲では、



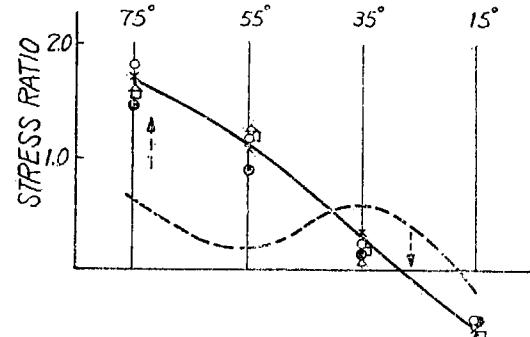
MARK	SPECIMEN	D	R	D/R
○	1-1	100		4
●	2-1	150		6
×	3-1	200	25	8
△	4-1	250		10

(a)



MARK	SPECIMEN	D	R	D/R
○	1-2	100	33.5	3
●	2-2	150	30.0	5
×	2-3		37.5	4
△	3-2	200	33.3	6

(b)



MARK	SPECIMEN	D	R	D/R
○	2-4	150	50	3
●	3-3		40	5
×	3-4	200	50	4
△	3-5		66.7	3
□	4-5	250	88.3	3

(c)

Fig. 5 · 3 Stress Distribution around Hole (Tensile Test)

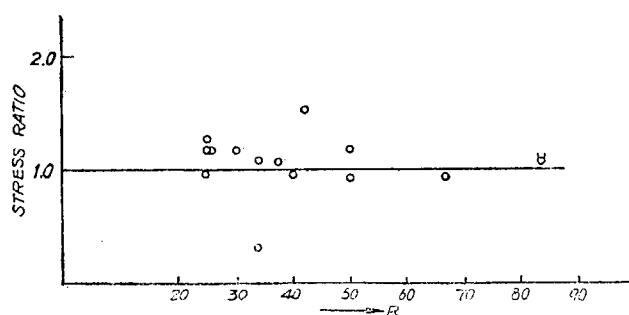


Fig. 5 · 4 Stress on the Horizontal Plate just under the Hole

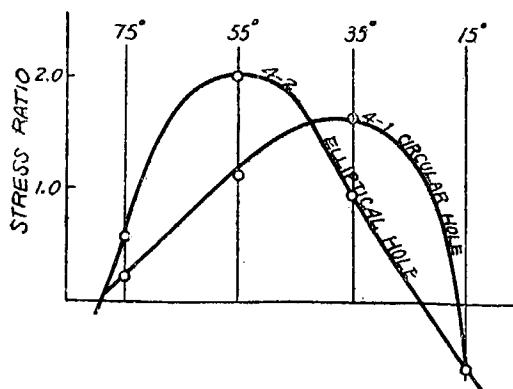


Fig. 5 · 5 Comparison between Circular Hole and Elliptical Hole (Tensile Test)

例えば Fig. 5・6 の如くなり、この最大値を D/R についてプロットすると Fig. 5・7 となる。つまりこの場合は引張の時とは異り、 $D/R=5$ 以上になれば応力集中度はホールの大きさに無関係であるが、 $D/R=3\sim 4$ ではホールの大きい程応力集中度は上っている。

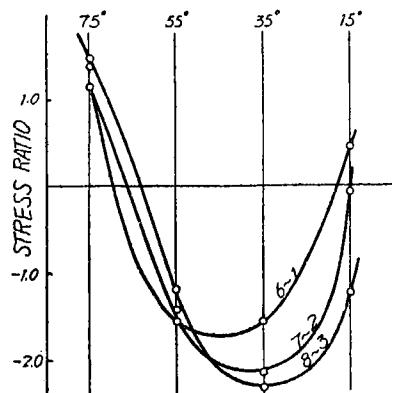


Fig. 5・6 Stress Distribution
around Hole
(Bending Test)

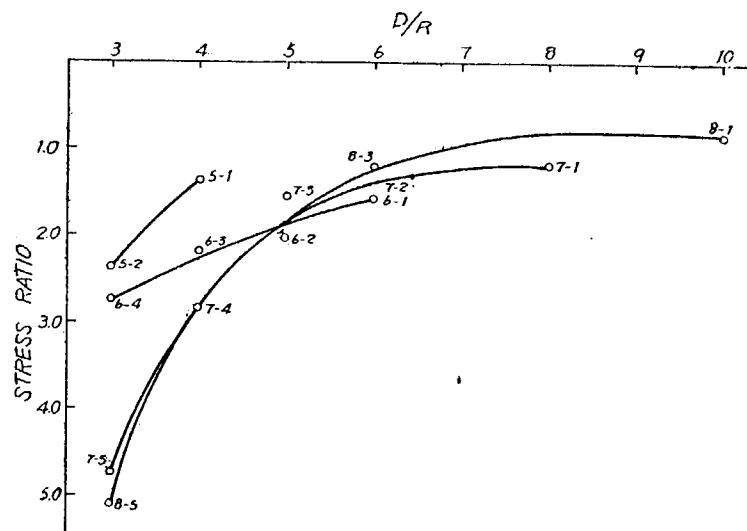


Fig. 5・7 Relation between D/R and
Maximum Stress around Hole

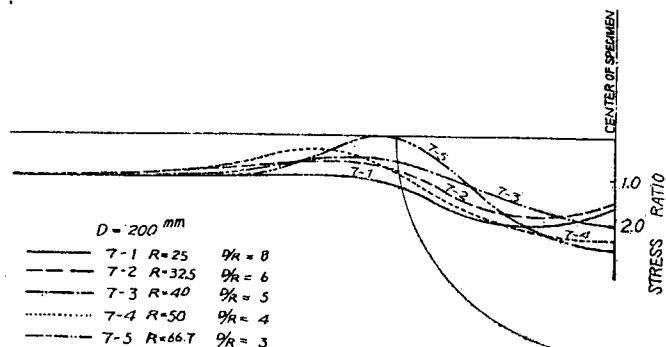


Fig. 5・8 Stress Distribution on the
Center Line of Flange

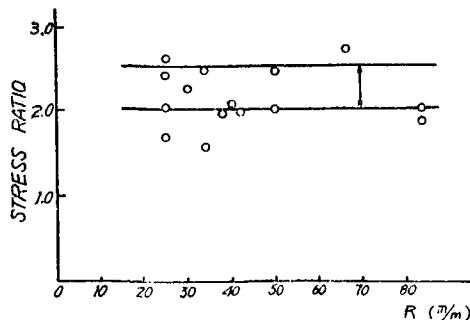


Fig. 5・9 Maximum Stress on
the Center Line of Flange

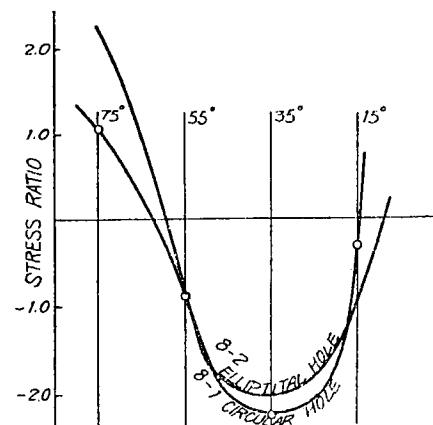


Fig. 5・10 Comparison between
Circular Hole and Elliptical
Hole (Bending Test)

下部ライダープレートの応力は例えば Fig. 5・8 のようになるがホールの大きさには無関係でホールの直下では Fig. 5・9 に見る如く 2~2.5 程度の応力集中度を示すことがわかる。

以上の結果から応力集中度を 2 位までは設計上許されると考えると、 $D/R=3$ で $R=25\sim30$ 約、 $D/R=4$ で $R=30$ 約~40 約までとし、 $D/R=5$ 以上ではホールの大きさに無関係に選んで差支えない。ホールの形状による応力の影響を考察するために a) 同様に橢円孔と円孔とを比較し Fig. 5・10 を描いたが a) と同様橢円孔による有利性は認められない。

昭和31年5月25日 印刷
昭和31年5月30日 発行
日本造船研究協会報告 第8号
発行人 出 淵 異
発行所 社団法人日本造船研究協会
東京都中央区京橋1ノ2
セントラルビル5階
電話 (28) 1409
印刷人 笠 井 朝 義
印刷所 笠井出版印刷社
東京都港区芝南佐久間町1~53
電話 (50) 3640, 3641, 9212