

日本船舶振興会 昭和46年度補助事業
“船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

研究資料 No.153

第120研究部会

大型船の横部材におけるスロット 周辺のクラック防止に関する研究

報 告 書

昭和47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46年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会第120研究部会においてとりまとめたものである。

本研究部会の委員は次のとおりである。

第120研究部会委員名簿

(敬称略 順不同)

部会長	秋田好雄(日本海事協会)	清水作造(石川島播磨重工業)
幹事	安東重美(三井造船)	松石正克(日立造船)
	尾川宣之(日本钢管)	真能創(防衛大学校)
	藤田謙(東京大学)	田口義明(三菱重工業)
	三沢敏夫(住友重機械工業)	山形俊介(三菱重工業)
	安川度(川崎重工業)	山越道郎(九州大学)
	山口勇男(日本海事協会)	賀来信一(日本海事協会)
委員	安藤文雄(船舶技術研究所)	桑山則男(住友金属工業)
	関内実(三井造船)	高城清(川崎汽船)
	辻寿一(大阪造船所)	中野毅(三井造船)
	中村昭和(川崎重工業)	長沢準(船舶技術研究所)
	永元隆一(三菱重工業)	牧園正孝(山下新日本汽船)
	服部陽一(日立造船)	村松省吾(三保造船所)
	前田恂(石川島播磨重工業)	八木順吉(大阪大学)
	渡辺次郎(函館ドック)	
	鈴木実(佐世保重工業)	

目 次

1. 緒 言	1
2. 統系的損傷調査	2
2. 1 まえがき	2
2. 2 統系的損傷調査	2
2. 2. 1 タンクの種類による損傷発生率の比較	2
2. 2. 2 スロットの向きによる損傷発生率の比較	2
2. 2. 3 船底横桁の区分位置別の損傷発生率の船長方向分布	2
2. 3 スチフナ基部応力と損傷発生率との関係	12
2. 3. 1 スチフナ基部の応力	12
2. 3. 2 応力と損傷率	12
2. 3. 3 考 察	13
2. 4 桁の振動とクラックの発生率	39
2. 4. 1 目 的	39
2. 4. 2 調査の対象と調査方法	39
2. 4. 3 調査結果の考察	40
2. 5 経年変化に対する考察	44
2. 5. 1 調査概要	44
2. 5. 2 損傷発生の経年変化	44
2. 5. 3 前後方向の損傷分布の経年変化	44
2. 5. 4 応力別にみた損傷発生の経年変化	44
2. 5. 5 カラーの有無による損傷発生の経年変化	44
2. 5. 6 補修方法による損傷再発率	45
3. 小型模型疲労試験	54
3. 1 まえがき	54
3. 2 東京大学における模型疲労試験	57
3. 2. 1 試験内容	57
3. 2. 2 実験結果	57
3. 2. 3 考察	57
3. 3 日本海事協会技術研究所における疲労試験	75
3. 3. 1 はしがき	75
3. 3. 2 試験模型および試験の種類	75
3. 3. 3 静的試験による応力測定	75
3. 3. 4 疲労試験	75
3. 3. 5 むすび	76
3. 4 川崎重工所技術研究所における疲労試験	87
3. 4. 1 実験内容	87
3. 4. 2 実験結果	87
3. 5 三菱重工業長崎研究所における疲労試験	99
3. 5. 1 S L O T構造模型疲労試験	99

3. 5. 2 局部模型(十字継手)による疲労試験	99
3. 5. 3 む す び	99
3. 6 大型船スロット部疲労試験結果整理の一例	116
3. 6. 1 まえがき	116
3. 6. 2 S-N線図作成	116
3. 6. 3 実船におけるS-L-O-T部疲労強度	117
3. 6. 4 む す び	119
4. 振動試験	127
4. 1 まえがき	127
4. 2 プラスチック製模型による振動実験	127
4. 2. 1 まえがき	127
4. 2. 2 模 型	127
4. 2. 3 実験方法	129
4. 2. 4 実験結果とその考察	129
4. 2. 5 結果要約	138
4. 3 鋼製船底模型振動試験	139
4. 3. 1 まえがき	139
4. 3. 2 振動実験	139
4. 3. 3 P船実船振動計測	146
4. 3. 4 む す び	148
5. 応力解析	165
5. 1 まえがき	165
5. 2 スチフナ基部応力におけるトランス・フェイスの面外変位	165
5. 2. 1 まえがき	165
5. 2. 2 梁構造へのモデル化基準	166
5. 2. 3 骨組単ロジモデルの解析	168
5. 2. 4 多ロジモデルの解析	169
5. 2. 5 Stiff付根応力の修正計算法	169
5. 2. 6 む す び	170
5. 3 日立造船技術研究所のモデル化方式による応力解析	179
5. 3. 1 まえがき	179
5. 3. 2 応力解析	179

1. 緒言

大型船の横部材ウエブに設けられる縦通材貫通のためのスロット付近に近年多数発生し、大きな問題となっているクラックの発生原因を究明し、それに対する有効な防止策を見出すことを目標として、本研究部会は前年度の成果を基礎とし、これをさらに発展させるために、本年度においては以下の研究を実施した。

(1) 統計的損傷調査

昭和45年度の調査では、明らかにされなかつた若干の事項を調査を行ない、さらに、これとは別個の立脚点、すなわち、スロット部の応力や横倒れ振動数と損傷発生率の関係の調査を行なった。また、長期の損傷調査資料から、損傷発生率の船令による変化も調べた。

(2) 構造模型試験

a. 疲労試験

実船のスロット周辺の疲労強度を推定する資料を整えるために、横桁材を対象としたガーダ模型、ウエブスチフナ基部を対象とした模型および実寸局部試験片を使用して疲労試験を実施し、スロット周辺部の破壊の状況、疲労強度について広範な研究を行なった。

b. 振動試験

横桁材が取付けられたアクリル樹脂製、および鋼製の船底パネル模型を使い振動試験を実施し、タンク内の部材配置が振動に与える影響、船底パネルの振動による横桁材の振動等について調べた。

(3) 応力解析

前年度に実施したスロット部の応力解析法の研究の成果を継承し、これをさらにすすめるとともに、前年度では未解決であったスチフナの上端の支持条件はどのように見なすのが合理的であるかという問題の解析的に検討を加えた。

2. 統計的損傷調査

2.1 まえがき

昭和4.5年度の調査で、この種の損傷の実態および特色は明らかになったが、本年度ではさらにこれをすすめ、タンクの種類による損傷発生率の変化等を調査した。また、スチフナ基部応力や横桁の振動数と損傷発生率の関係についても調査を進めた。

この種の損傷が船令とともにどのように発生するか、損傷修理後の再発はどのような場合に多いかということも、損傷対策上重要であるので、長期の損傷記録のある船を対象に損傷の追跡調査を実施した。

2.2 統計的損傷調査

2.2.1 タンクの種類による損傷発生率の比較

タンクの使用条件から考えると、スチフナの荷重条件はバラスト専用タンク、バラスト兼用タンク、貨物油タンクの順で苛酷となる。本調査の結果では図2.2.1に示すように差は認められるが、きわめてわずかであった。しかし、詳細に調べると、区分位置別発生率はタンクの種類によって相当の差が認められる。

タンカーでは、玄側タンクの損傷発生率の分布形は貨物油タンクとバラスト専用タンクのそれが類似し、逆に中央タンクでは貨物油タンクだけが異なる形になる。鉱石船等では玄側タンクの損傷発生率はバラスト兼用タンクが高いが、分布形は獨得の形となり、バラスト専用タンクのそれは損傷は比較的少ないが、分布形はタンカーのそれに似ている。

のことから、損傷の分布形は船底横桁の剪断力に影響されるのではないかと思われるが、詳細は不明である。

就航年による損傷発生率の変化に与えるタンクの種類の影響については、タンカーのバラスト兼用タンクだけが2年未満の発生率が高かったが、何故このようになるのかは不明である。

2.2.2 スロットの向きによる損傷発生率の比較

中央タンクの中心線ガーダのない船底横桁について調査した。予想とは逆の結果が得られたが、標本数が多くないので、この結果だけから結論を出すのは早計とも思われる。（図2.2.9）

2.2.3 船底横桁の区分位置別の損傷発生率の船長方向分布

前年度の結果では、B4の部分の損傷発生率は他に比べて高く、船令の若いうちから損傷が発生しており、振動がクラック発生に何らかの影響を与えていたと思われたので、B2、B4、B5の部分の船長方向の損傷発生率を調べた。（図2.2.10）

図示のようにB4の部分の損傷は、船首側の端の発生率でも他の部分より高いから、振動だけが原因といえないが、この部分だけが損傷発生率が船尾側にわたっている。したがって、振動がこの部分の損傷発生に何らかの役割を果していると考えられる。

損傷頻度記号:

- ウエフのみにクラックあり(W/N)
- ▨ ウエフヒステツナ両方にクラックあり(B/N)
- スケッカのみにクラックあり(S/N)

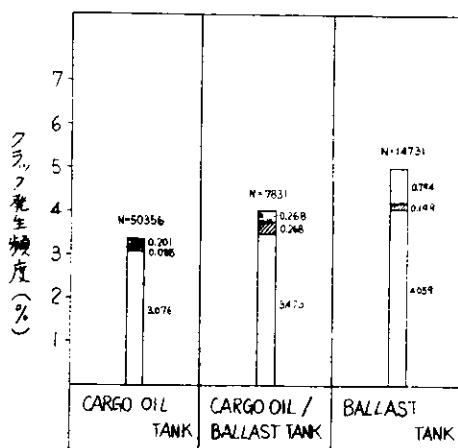


図 2.2.1(a) タンクの種類による無条件比較-TANKER

損傷頻度記号:

- ウエフのみにクラックあり(W/N)
- ▨ ウエフヒステツナ両方にクラックあり(B/N)
- スケッカのみにクラックあり(S/N)

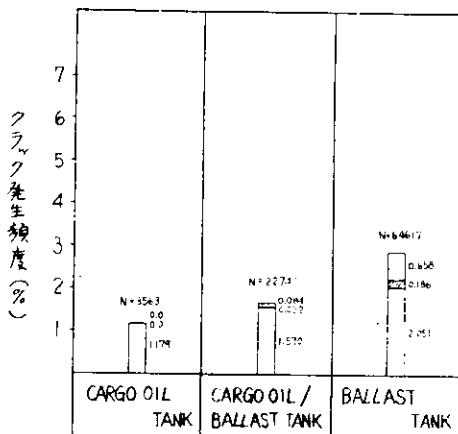


図 2.2.1(b) タンクの種類による無条件比較-0/e, 0/o

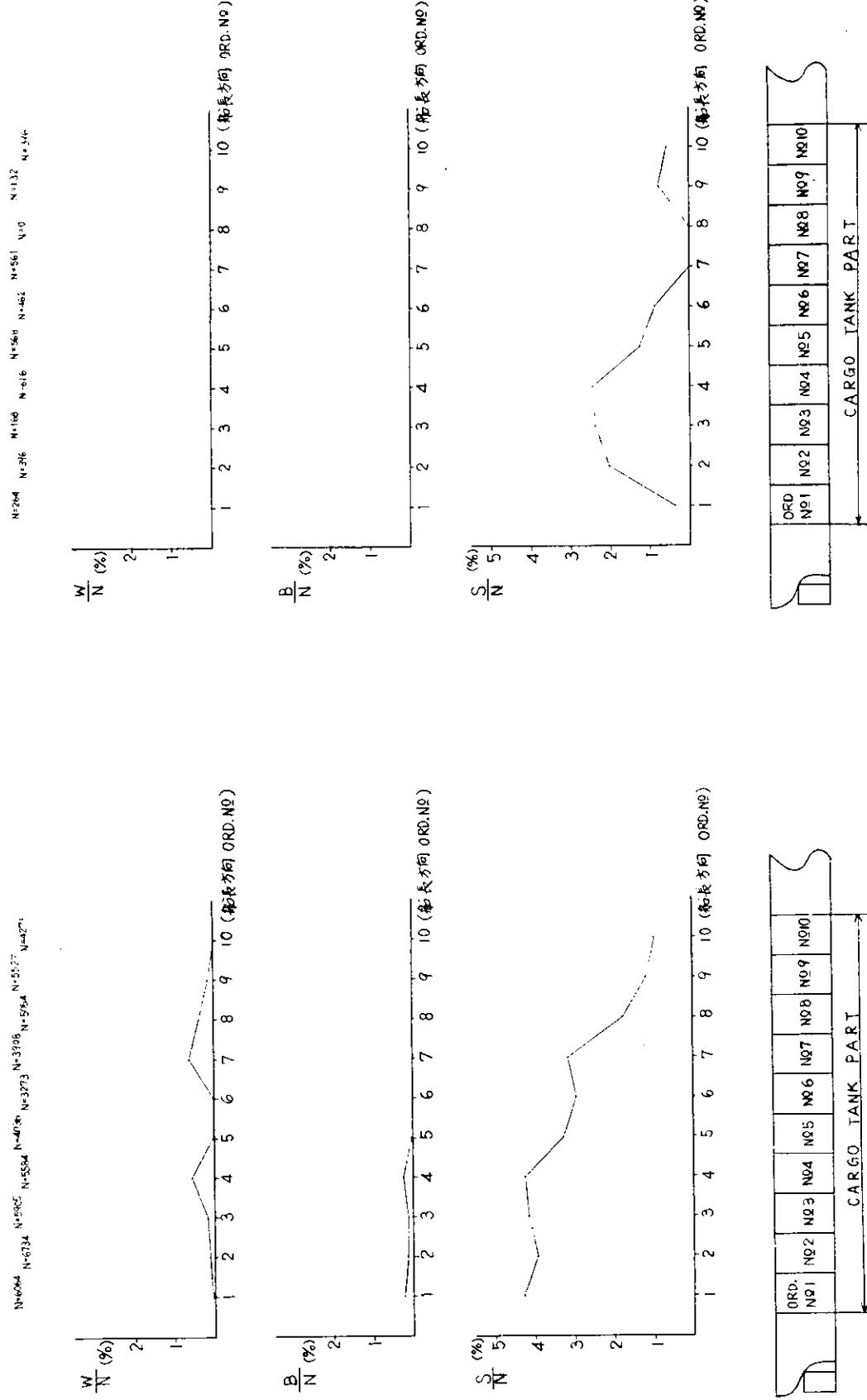


図 2.2.2(a) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(CARGO OIL TANK) – TANKER

図 2.2.2(b) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(CARGO OIL TANK) – %

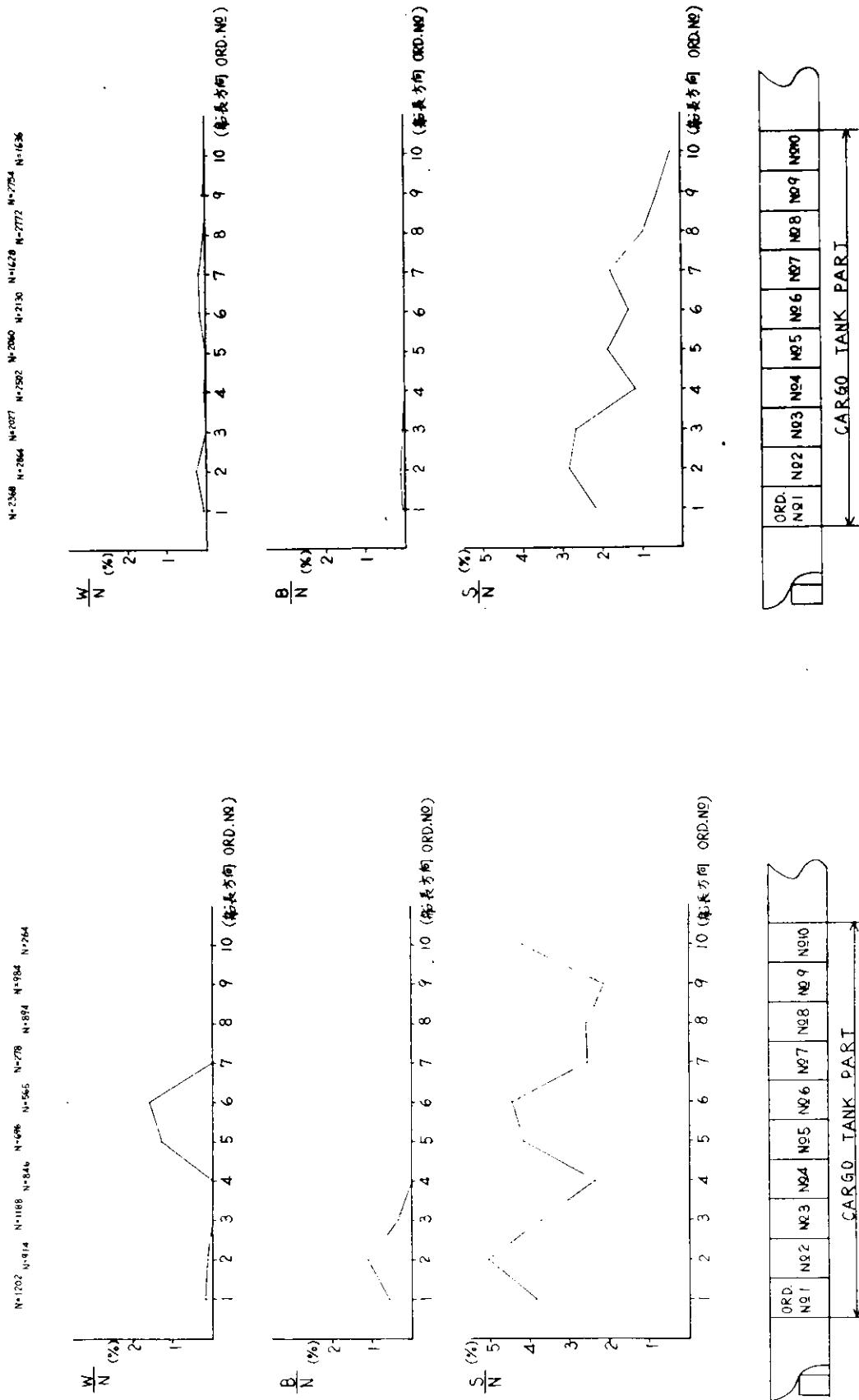


図 2.2.3(a) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(CARGO OIL/BALLAST) - TANKER

図 2.2.3(b) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(CARGO OIL/BALLAST) - %

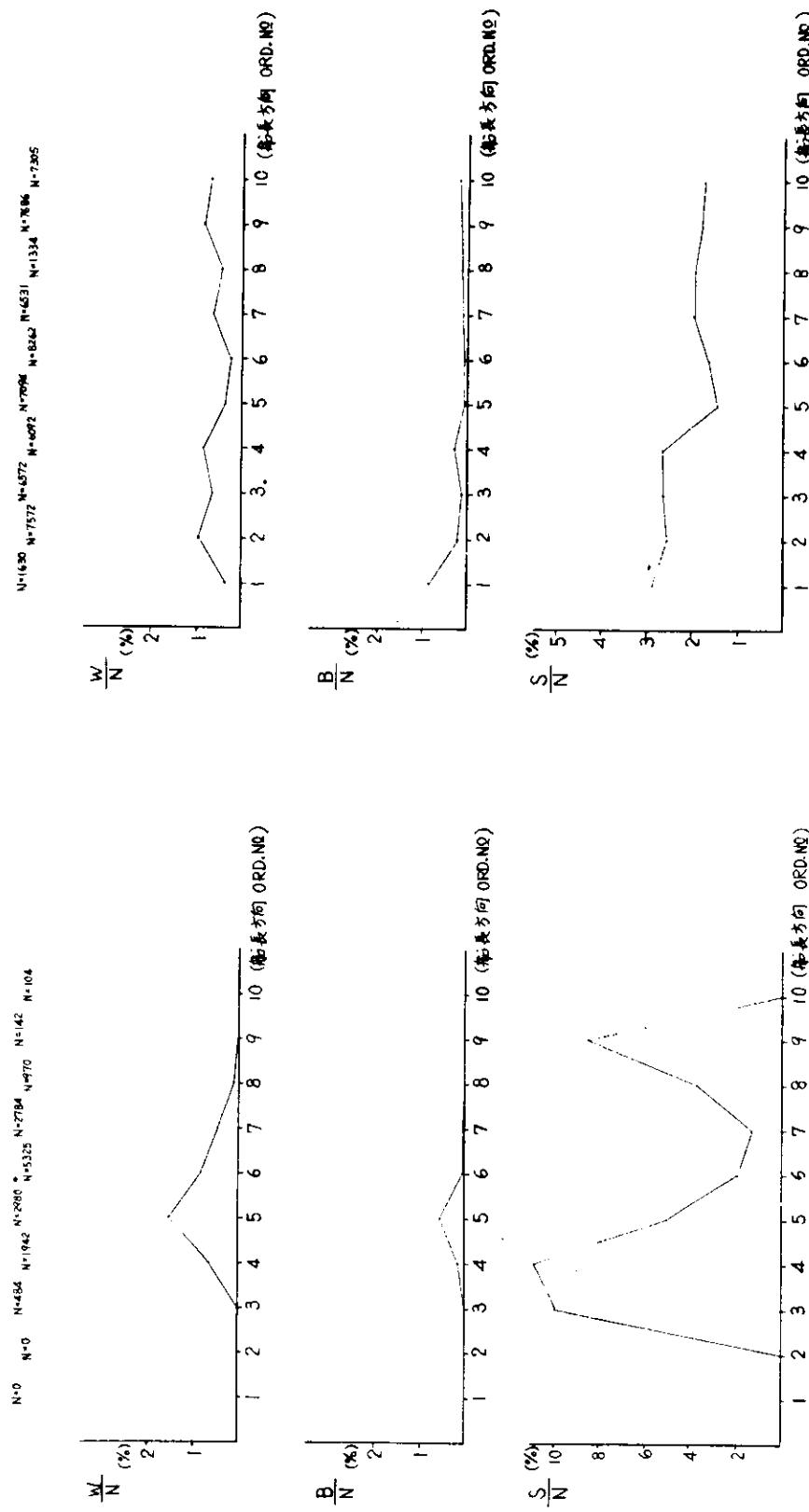
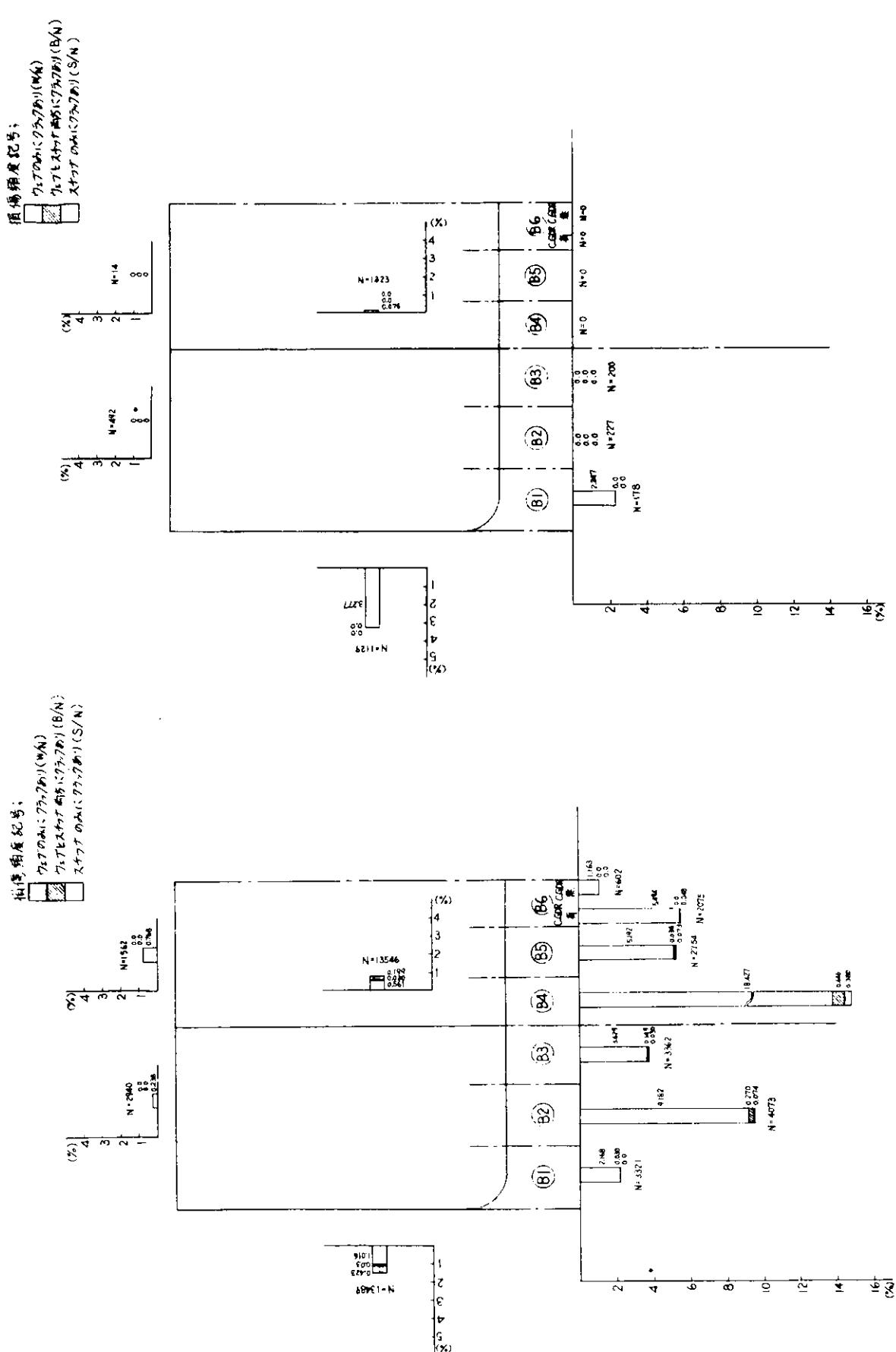


図 2.2.4(a) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(BALLAST TANK) - TANKER



図 2.2.4(b) タンクの種類による船の長さ方向の分布
(BALLAST TANK) - TANKER



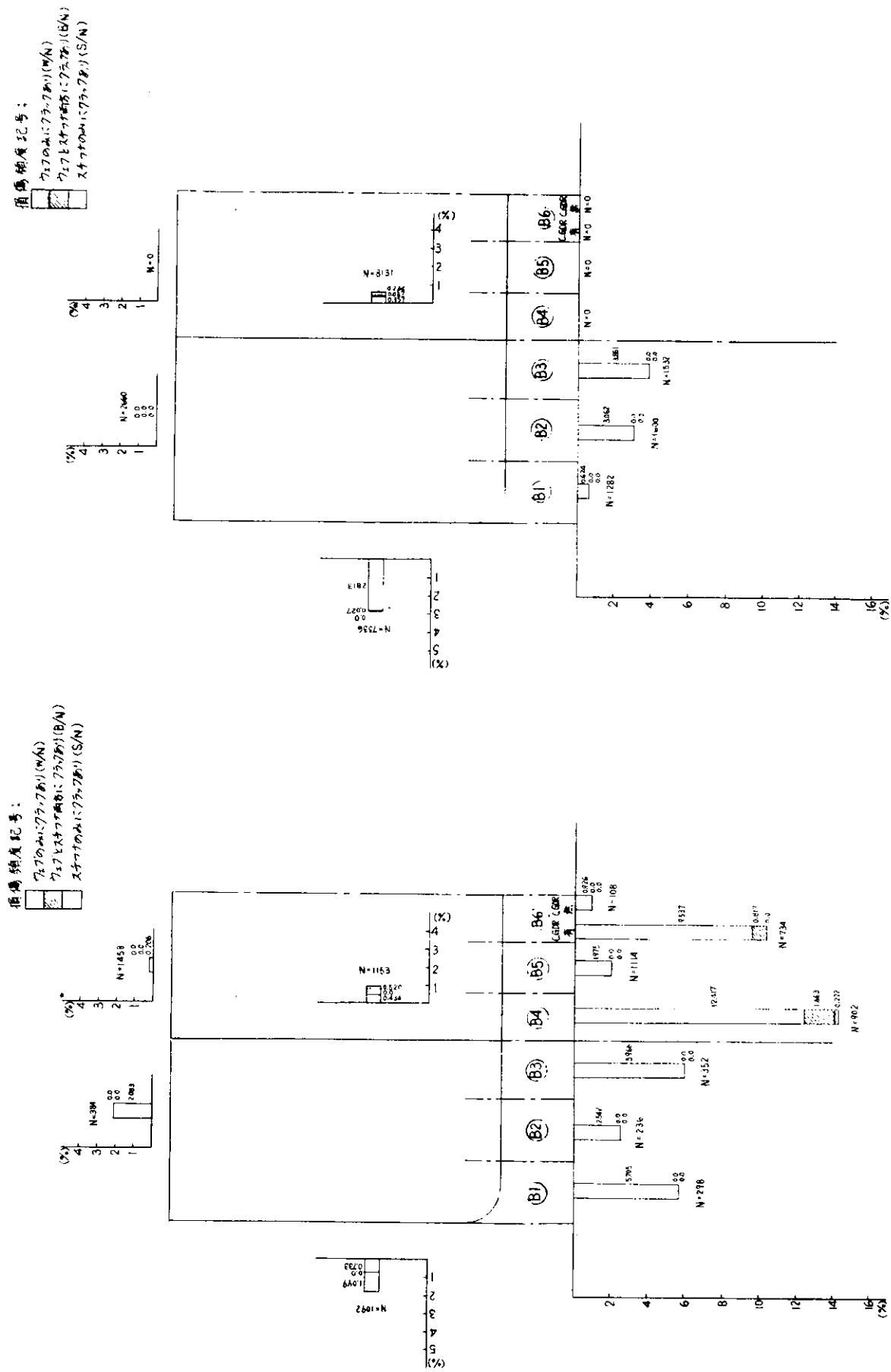


図 2.2.6(a) 部材別比較 (CARGO OIL/BALLAST TANK) - TANKER

図 2.2.6(b) 部材別比較 (CARGO OIL/BALLAST TANK) - %

図 2.2.7(b) 部材別比較 (BALLAST TANK) — φ/c , %

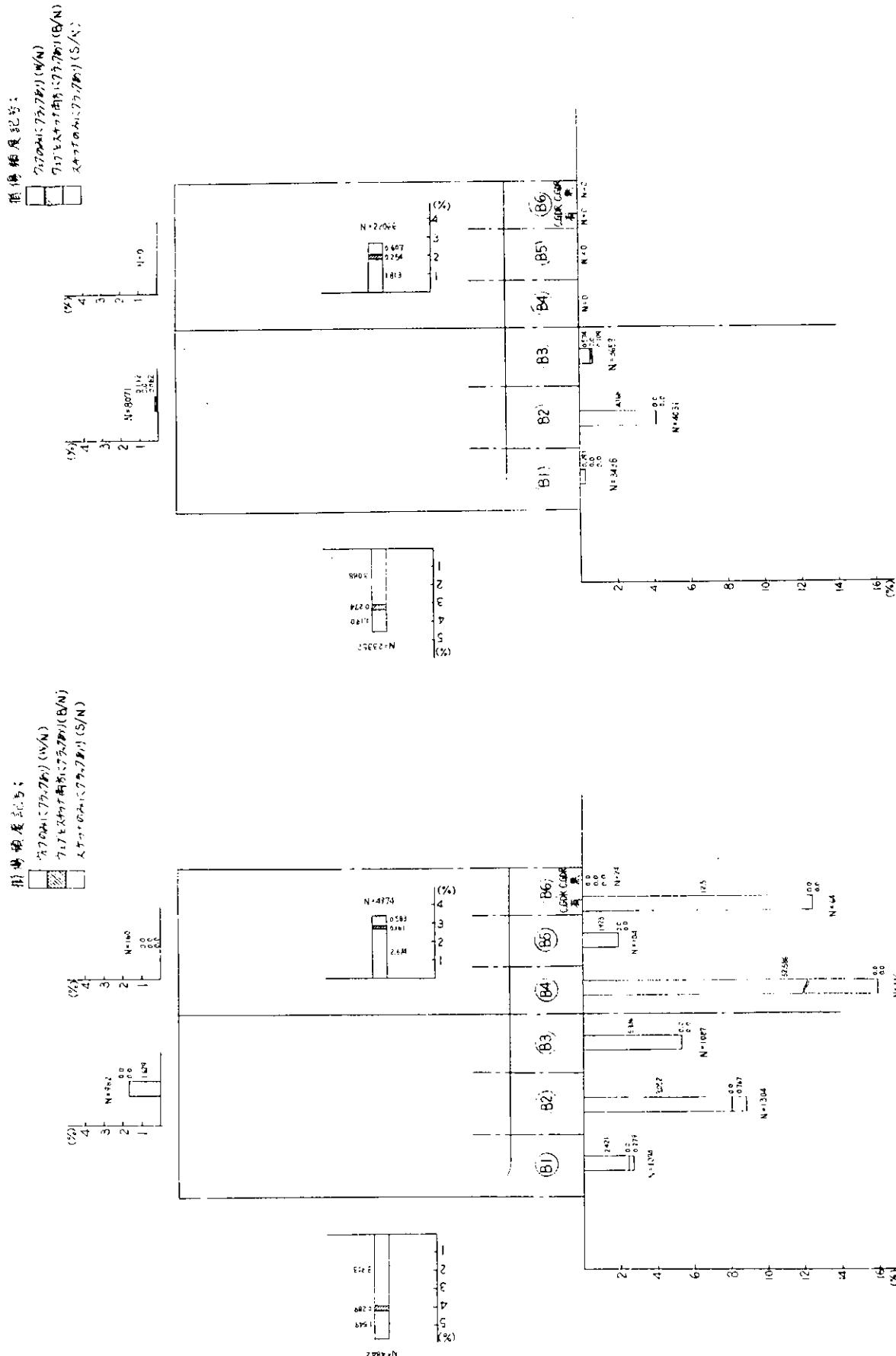


図 2.2.7(a) 部材別比較 (BALLAST TANK) — φ/c , %

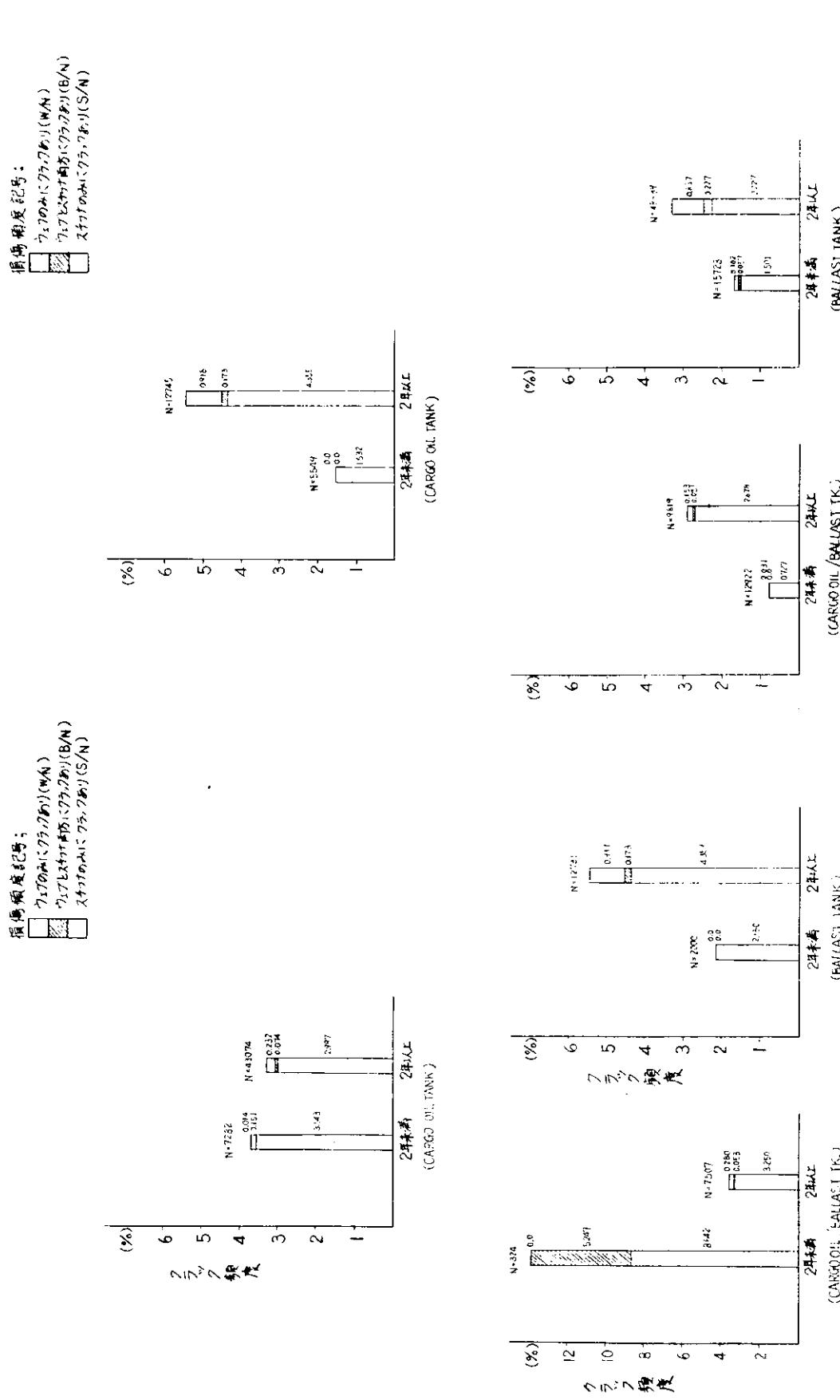


図 2.2.8(a) タンクの種類による就航年比較—TANKER

図 2.2.8(b) タンクの種類による就航年比較—CARGO OIL TANK

図 2.2.8(c) タンクの種類による就航年比較—CARGO OIL/BALLAST TANK

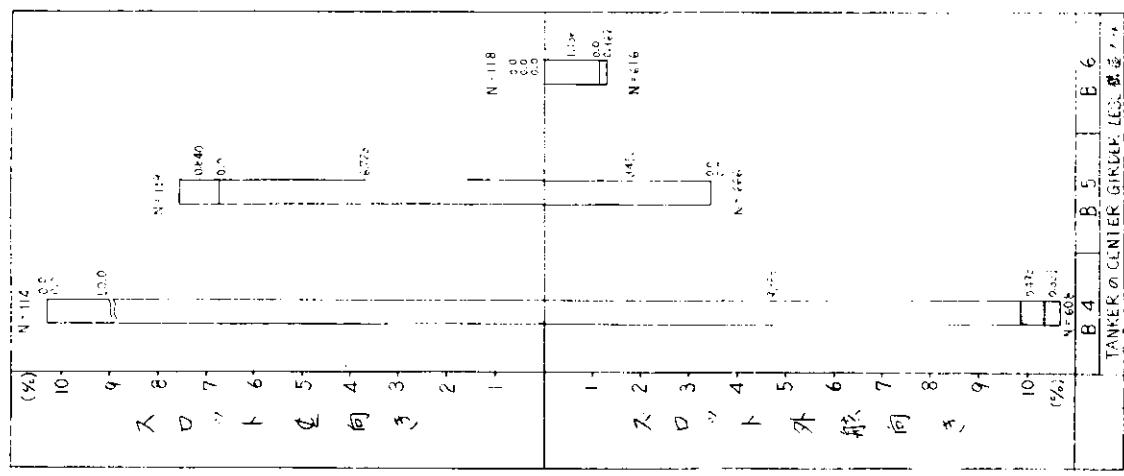


図 2.2.9 スロットの向きによる比較
—TANKERS WITH NO CENTRE GIRDER—

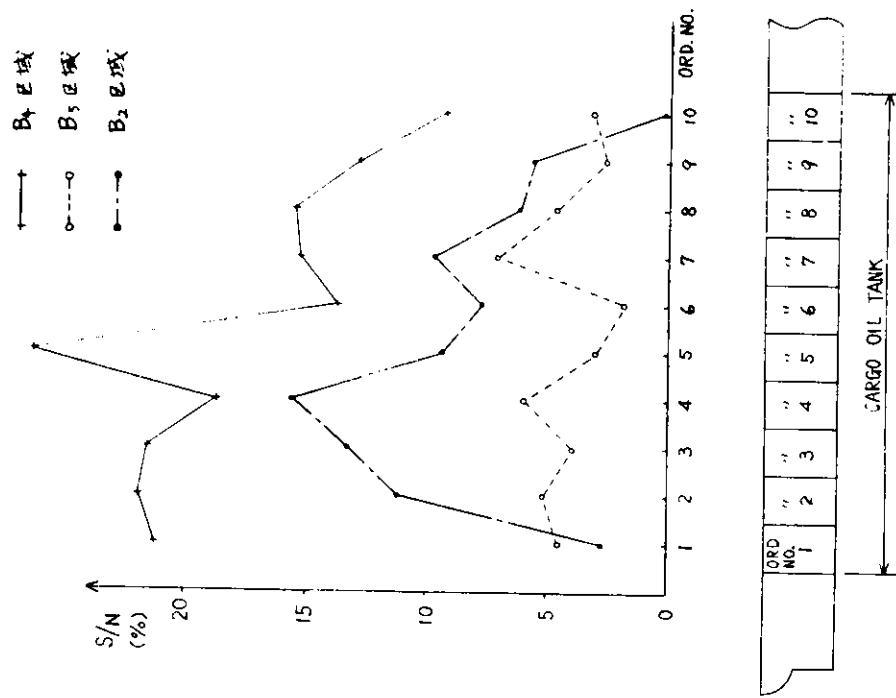


図 2.2.10 船底横桁スロット部損傷の船長方向分布
(TANKER のみ)

2.3 スチフナ基部応力と損傷発生率との関係

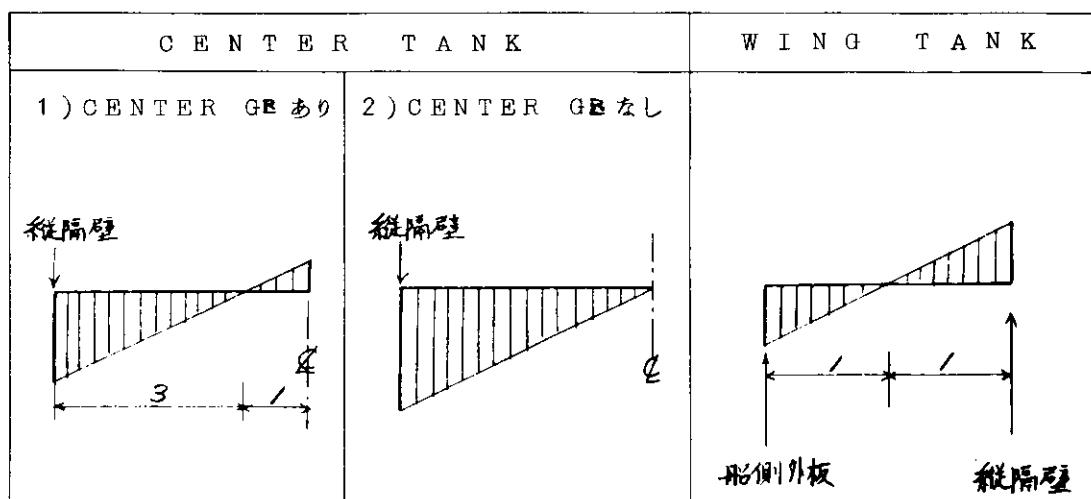
2.3.1 スチフナ基部の応力

スチフナ基部の応力計算に際しては、スロット対策懇談会報告書（日本造船学会誌505号参照、昭46.7.発行）記載の三井造船千葉研究所提案の計算式を採用した。

計算の対象としては、比較的荷重条件が明確であること、および構造詳細を比較的明確に把握し得ること等の見地から、BOTTOM TRANSのみを取りあげることとした。

この計算式を用いて実船の応力を計算するに当たり、便宜上以下に列挙する条件を設定した。

- (1) 最大応力係数 f はスロット対策懇談会報告の値をそのまま採用する。
- (2) 荷重条件として、TANKは全て空艤状態で満載吃水の場合に相当する荷重を想定する。
- (3) COLLARは全て FULL COLLARとして計算する。
- (4) BOTTOM TRANS IC働く剪断力分布を以下のように設定した上で、各区分位置別の平均剪断力を採る。（区分位置については“2.3.2項”参照のこと。）



また、BOTTOM TRANSのBRACKET部（区分位置B1、B3、B4、B6）の剪断応力としては、便宜上、B1、B3（B4、B6）については、剪断力をそれぞれB2（B5）との境界線位置における値とし、有効剪断面積として、B2（B5）の10%増しを探って求めた値として処理した。

上記の計算条件を用いて、TANKERのBOTTOM TRANSを対象に応力計算を行なった。

計算供試船は22隻である。

表2.3.1にスチフナ基部の平均応力を、表2.3.2にスチフナ基部の最大応力を区分位置別に示す。

2.3.2 応力と損傷率

表2.3.3に船令を加味した各船の区分位置別の損傷発生率を示す。

図2.3.1～2.3.5は、スチフナ基部応力と損傷発生率との関係を示したもので、図2.3.1～2.3.2は、スチフナ基部の平均応力と損傷率、図2.3.3～2.3.5はスチフナ基部の最大応力と

損傷率の関係を示す。

図 2.3.5.5 には、船命 2 年以上で B2、B5、B6 区分を合わせた場合の最大応力と損傷率との関係を示す。

なお、図中に用いた記号および区分位置は、次の通りである。

記号	タイプ	損傷発生率
●	スチフナ、カラー無し	PS *
○	〃	PT *
▲	スチフナ、カラー付き	PS *
△	〃	PT *

$$\text{ここに、 } * \text{ PS} = 100 \times \frac{S}{N}$$

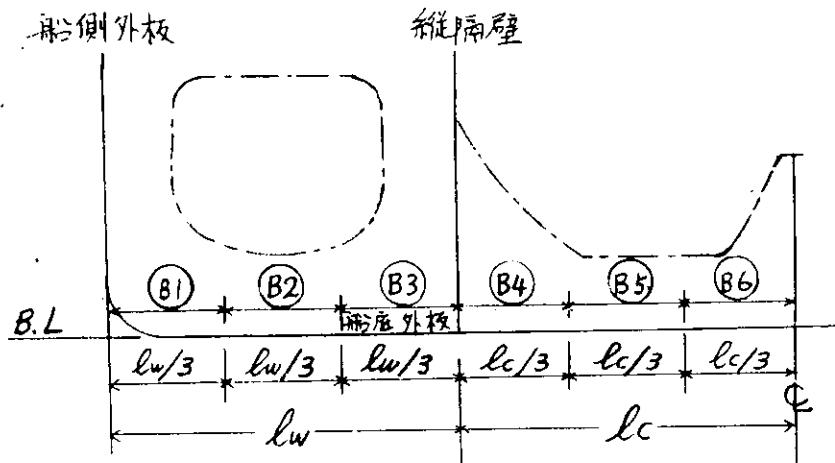
S : スチフナ基部のクラック発生スロット数

$$PT = 100 \times \frac{(S + W + B)}{N}$$

W : ウエブのクラック発生スロット数

B : スチフナ、ウエブ同時にクラック発生スロット数

N : 対象区分位置内のスロット総数、両舷分



2.3.3 考察

前年度（昭和 45 年度）の報告書でも述べたとおり、WEB の SLOT 周辺の損傷は、その大部分が WEB STIFFNER 基部の CRACK であり、WEB のみの損傷（CRACK）および、WEB と WEB STIFFNER 基部との両者が同時に損傷している場合等を合算しても、SLOT 周辺の損傷分布傾向には、ほとんど変化はない。したがって、ここでは、理解を容易にするために、WEB STIFFNER 基部のみの損傷分布傾向について考察を行なうこととする。

図 2.3.2.7 と図 2.3.5.4 を比較すると、いずれもその損傷分布傾向には大差ない。すなわち、STIFFNER 基部の平均応力 (σ_{mean})_{base}、または最大応力 (σ_{max})_{base} のいずれで整理しても損傷分布傾向は変わらないので、ここでは便宜上、 $\sigma_{max} - base$ で整理されたものを主体として考えることにする。このことは個々の区分位置 (B1 ~ B6) 別に整理されたグラフを比較してみても同じである。

図2.3.3 7～4 5と図2.3.4 6～5 4とを比較すると、ほとんどの損傷は船令2年以上で発生しており、船令2年未満での損傷発生件数は、STIFFNER基部応力の大小に無関係なく僅少であることが判る。

船令2年未満で比較的高い損傷率のものは、区分位置B 4に多く、その他の区分位置では、特定の数隻（これらはB 4でも損傷率が高い）が、10～15%程度の損傷率となっている他は、全て0～4%の範囲内にあり、しかも応力にはあまり関係なく、低応力域から高応力域にわたって無差別に分布している。

ここで、これら比較的損傷率の高い特定の船の取扱いが問題となるが、これらの船については、単に応力の大小のみによる他に、例えば、振動等のごとき他の原因が重複していることが考えられ、事実、統計理論上から、それらの DATA の有意性を検定してみると、他船の DATA と同一の母集団に属するものとしては、取扱い難いと云う推論結果となる。

したがって、以後の諸推察においては、これら特定の数隻は除外しておいたほうがよさそうである上にも述べたごとく、いま問題としている損傷は、ほとんどのものが船令2年以上で発生していることを考慮すると、損傷の分布傾向を判定するには、船令2年未満のものを除外しておいたほうが誤りを犯す危険率は少いであろう。

図2.3.4 6～5 4は船令2年以上の船について σ_{max} を横軸に探って損傷率を整理したものである。

区分位置別の損傷率分布（図2.3.4 6～5 1）をみると、区分位置B 4（図2.3.4 9）は他のものに比して全般的に損傷率が高く、しかも低応力域から高応力域の全範囲にわたってほとんど無差別に分布している。また、前述のごとく船令2年未満の船にも比較的損傷が多い。（図2.3.4 0参照）

この傾向は、区分位置B 1（図2.3.4 6）についても同じように現れているが、損傷率はB 4よりもかなり低く、全て0～15%の範囲内にあり、特に船令2年未満では損傷はほとんど皆無である。（図2.3.3 7参照）

区分位置B 2（図2.3.4 7）では、 $\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$ で1隻が約22%の損傷率を示しているが、大部分の損傷例は $\sigma_{max} > 50 \text{ kg/mm}^2$ の範囲に分布しており、応力の増大とともに損傷率も漸増してゆく傾向にある。

この $\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$ で損傷率約22%の船については、その有意性が問題となるが、棄却検定結果によると、他船とは異質の母集団に属するものと見るべきであり、応力 baseではなく、何等かの他の要因（例えば振動等）にもとづいて分析されるべきものである。

区分位置B 3（図2.3.4 8）では、他の区分位置と異って損傷例が低応力域に集中しており、ほとんどの例が $\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$ の範囲に分布している。また、その損傷率はB 1と同程度乃至は幾分高目であるが、たかだか15%程度である。

区分位置B 5（図2.3.5 0）では、ほとんどB 2と同程度の損傷率であり、分布傾向もB 2と似てほとんどものが $\sigma_{max} > 50 \text{ kg/mm}^2$ の範囲に分布しており、応力の増大とともに損傷率も漸増する傾向にある。図中、 $\sigma_{max} = 25 \text{ kg/mm}^2$ で1隻が約25%の損傷率を示しているが、前述のB 2の場合と同じく、この損傷例も、別の要因により分析されるべきものと思われる。

区分位置B 6（図2.3.5 1）でも、B 2およびB 5等と同じく、ほとんどの損傷例は応力 50 kg/mm^2 以上 ($\sigma_{max} > 50 \text{ kg/mm}^2$) の範囲に分布している。 $\sigma_{max} = 2.5 \text{ kg/mm}^2$ および $\sigma_{max} = 7.16 \text{ kg/mm}^2$ の位置にそれぞれ損傷率8.23%および3.45%のものがあるが、前者は、船令2年未満においてすでに1.79%の損傷を生じており（図2.3.4 2参照）、これが船令とともに漸増し、結果的には他船に比して異常に高い損傷率（本船全体では約13.6%、BOTTOM TRANSのみでは約15.6%の損傷率である。）を示している船であって、他船と同列には取扱い難い船である。

また、後者の例は、B 3 で $\sigma_{max} = 42 \text{ kg/mm}^2$ 、損傷率 3.45% 、B 4 で $\sigma_{max} = 42 \text{ kg/mm}^2$ 、損傷率 1.72% となっており、特に他船との特別な相違点は見当らない。強いて云えば、他船よりも応力の割合に比して、B 3 、B 4 での損傷率は低い船であるので、特にとりたてて問題にする程のものでもないと思われる。

その他に、 $\sigma_{max} = 53.1 \text{ kg/mm}^2$ で損傷率 44.68% のもの（図中の“ A ”点）があるが、この船は、TANK PART の BOTTOM TRANS SPACE が $2^m, 500$ (Fr. 55 ~ 56) 、 $4^m, 530$ (Fr. 56 ~ 88) 、 $3^m, 800$ (Fr. 88 ~ 93) の 3 種類になっており、上記の損傷は SPACE $4^m, 530$ の所に生じているものである。SPACE $3^m, 800$ の所では、損傷率 0% (損傷数 / 総 SLOT 数 = 0 / 8) であり（図中の“ B ”点）、SPACE $2^m, 500$ の所でも 0% ($n/N = 0/2$) である（図中の“ C ”点）。

また、図中の“ D ”点は、損傷率 57.2% ($n/N = 20/35$) であって、応力に比して損傷率は非常に高いが、損傷記録のみからは特に他船と異った理由は見当らず、“ A ”点と同様、何等かの事情があって特異な状況となっているものであろう。

これらの特異例を除けば、B 6 の損傷率は B 3 と同程度乃至若干低目とみて良いようである。

以上、各区分位置別に簡単な考察を試みてきたが、全般的にみて今回の整理結果のみでは、COLLAR PLATE の有無と損傷率との関係は見出し難い。しかし、低応力域 ($\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$) では、NO COLLAR の場合のほうが圧倒的に損傷率が高く（特に B 2 、B 3 で顕著）、したがつて、その意味では COLLAR PLATE は有効であると認められる。

なお、低応力域で WITH COLLAR で比較的の損傷率の高いものは、区分位置 B 4 に多いが、これらは前述のごとく、応力以外の要因が重複しているためと思われる。

今回の結果からみると、区分位置 B 1 、B 3 、B 4 については、さらに精密な仮定、特に剪断応力については、より正確なる仮定の下に、前述の計算式を適用する必要があり、今回の解析結果のみでは、決定的な結論は見出しづらい。

図 2.3.5.5 は、このような意味から、区分位置 B 2 、B 5 、B 6 のみについて、船令 2 年以上のものを PLOT してみたものである。この図の作製に際しては、それぞれの区分位置でも述べたが、他船と同列には扱い難いと思われる特異例は除外してある。この図から概略の損傷率分布傾向として N 線が得られるが、図中には参考としてスロット対策懇談会提案の M 線および M' 線を記入しておいた。これら M 、 M' 、 N 線等の傾向を勘案すると、損傷発生有無の限界線として特定の一本の線で規定してしまうには、若干の無理があるようである。むしろ、ある程度の幅を持たせた境界域を設定するほうが無難であり、上記三線を包含する $N_1 \sim N_2$ で挟まれる帯域を設定した。

すなわち、 N_1 線と横軸との交点 ($\sigma_{max} = 30 \text{ kg/mm}^2$) は、まず、損傷皆無と思われる点であり、 N_2 線と横軸との交点 ($\sigma_{max} = 50 \text{ kg/mm}^2$) は、事情によっては、若干の（数%程度の）損傷発生の可能性は有するが、通常の場合は、まず、損傷を防止し得ると思われる点である。

統計的に処理された結果においては、それらの個々の資料に含まれている個性が埋没してしまうから、結果の利用については、十分なる注意を要することは勿論であるが、先に報告されたスロット対策懇談会における推定結果と今回の整理結果とを比較してみると、両者の結論にはそれほど大きな差はなく、比較的良好く一致していると見える。

以上の考察結果をまとめると、次のような結論を得る。

- (1) 損傷分布傾向は、スチフナ基部の平均応力 (σ_{mean}) または、最大応力 (σ_{max}) のいずれで整理しても大差なく、しかも、スチフナ基部のクラックが支配的であって、ウエブのみのクラックが発生した場合およびスチフナとウエブの両者に同時にクラックが発生した場合を合算しても、損傷傾向に変化はない。

- (2) 船令 2 年未満では、スチフナ基部応力の大小には関係なくクラック発生率は僅少である。
- (3) 区分位置 B 1、B 4 は、スチフナ基部応力の大小に関せず、損傷率は全体的に無差別に分布しており、また、区分位置 B 3 は、低応力域 ($\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$) に損傷例が集中している。このことは、これらの区分位置においては、船底荷重または艤装荷重によるスチフナ基部応力の他にウェブの振動等のごとき他の要因による影響がかなり大きいことを示しているものと思われる。
- (4) B 2、B 5、B 6 では、大部分の損傷例が $\sigma_{max} > 50 \text{ kg/mm}^2$ の範囲にあり、応力の増大とともに、損傷率は漸増する傾向にある。
- (5) 損傷発生率としては、B 4 が最大であり、B 6 が最小である。また、B 2 と B 5 は同程度であるが、値としては、B 1、B 3 よりもかなり高い。
- (6) 低応力域 ($\sigma_{max} < 50 \text{ kg/mm}^2$) では、カラーブレートの効果は顕著である。
- (7) 前述のごとき仮定の下に求めた σ_{max} を使用した場合には、損傷発生有無の境界域は、3.0 ~ 5.0 kg/mm^2 の範囲内にあると思われる。

表 2.3.1(1) STIFFNER基部平均応力

単位: kg/cm²

船名	肋骨心距 (mm)	タイプ	カラー	区分位値					
				B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
A	4825	C	N	2.53	14.81	27.09		1.85	0.19
			W				10.72		
B	3750	A	N	10.28	7.03	3.79	22.72	20.14	18.84
			W				5.93		5.93
C	5100	C	N	25.56					
			W	10.90					
		D	N		8.25	27.29	1.36	4.34	
			W		6.41	11.59	11.59		11.59
D	3750	A	N	11.22	7.68	4.13	18.46	14.93	14.22
			W				6.47		6.47
E	4920	C	N	8.68	21.14	33.60	1.63	5.96	7.48
			W	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
	4000	C	N	7.06	17.19	27.32	1.33	4.84	6.08
			W	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57
F	5300	C	N	20.57	11.62	2.27	0.47		2.48
			W	8.50		8.50		8.25	8.25
	4000	C	N	15.82	8.77	1.71	0.35		1.87
			W	6.42		6.42		6.22	6.22
G	4070	C	N	27.58	17.77	7.95		31.49	30.12
			W	13.47			13.47	13.47	
H	2500	C	N	8.98	6.18	3.38	13.37	10.97	
			W						4.55
	3800	C	N	13.65	9.31	5.14	20.33	16.68	
			W						6.91
I	4740	C	N	16.27	11.20	6.13	24.23	19.89	
			W						8.24
	4740	C	N	18.11	12.41	6.71	27.59	22.62	
			W						9.39
J	4800	C	N	20.30	12.28	4.26	33.14	25.57	24.13
			W				8.89		8.08
K	4350	Q	N	8.63	4.96	1.29	13.26	10.50	9.94
			W		4.05	4.05	4.05		
L	4610	C	N	21.70	11.81	1.91	28.76	23.11	21.98
			W	8.60					
M	4800	C	N		11.69	0.53	21.94		18.64
			W		8.55	8.55	6.50	6.50	6.50
	4800	D	N	14.24					
			W	5.51					

表 2.3.1(2)

単位: kg/mm²

船名	肋骨心距 (mm)	タイプ	カラー	区分位置					
				B1	B2	B3	B4	B5	B6
N	4900	C	N	30.02	16.36	30.02	33.28	29.73	27.95
			W						8.93
O	5250	A	N	28.50	15.27		44.01	35.39	33.67
			W	13.56	11.89	11.89	13.56	13.56	13.56
	3800	A	N	20.63	11.05		31.86	25.62	24.37
			W	9.81	8.60	8.60	9.81	9.81	9.81
P	4500	C	N	22.47	13.26	4.06		19.55	
			W						7.16
	R	R	N				10.47		
			W						
Q	3830	C	N	19.11	11.77	4.43	28.63	23.01	1.66
			W						
	2900	C	N	14.47	8.91	3.36	21.68	17.42	1.26
			W						
R	3830	C	N	18.80	11.58	4.36	27.67	22.31	1.92
			W						
	2900	C	N	14.23	8.77	3.30	20.95	16.89	1.46
			W						
S	4500	C	N	2.81	10.02			0.29	1.27
			W	7.43	7.43	7.43	7.43		7.43
T	4000	C	N	10.79	13.81	7.33	2.78	7.43	8.36
			W						
U	4400	A	N	4.73					
			W						
	P	P	N						
			W	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76	5.76
V	4740	C	N	18.47	11.44	4.41	26.00	21.14	20.17
			W						

註) 1 カラー : N … カラー無し、 W … カラー付き

2 タイプ



表 2.3.2(1) STIFFNER 基部最大应力

単位: kg/mm²

船名	肋骨心距 (mm)	タイプ	カラ一	区分位置					
				B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
A	4825	C	N	*34.32	*200.87	*367.42	*138.10	* 25.11	* 2.51
			W			*145.37	*145.37		
B	3750	A	N	62.83	42.99	23.14	132.70	117.59	110.04
			W				34.61		34.61
C	5100	C	N	*214.52					
			W	* 91.51					
		D	N		32.24	103.21	5.13	16.42	
			W		25.06	43.85	43.85		43.85
D	3750	A	N	68.62	46.95	25.28	107.81	87.18	83.06
			W				37.80		37.80
E	4920	C	N	65.19	158.77	252.35	12.26	44.75	56.15
			W	116.15	116.15	116.15	116.15	116.15	116.15
	4000	C	N	53.00	129.08	205.16	9.97	36.38	45.65
			W	94.43	94.43	94.43	94.43	94.43	94.43
F	5300	C	N	141.18	78.24	15.30	3.13		16.69
			W	57.26		57.26		55.53	55.53
	4000	C	N	106.55	59.05	11.54	2.36		12.60
			W	43.22		43.22		41.91	41.91
G	4070	C	N	232.98	150.09	67.20		266.04	254.44
			W	113.81			113.81	113.81	
H	2500	C	N	57.85	39.82	21.80	86.16	70.72	
			W						29.30
	3800	C	N	87.93	60.53	33.13	130.97	107.49	
			W						44.53
I	4530	C	N	104.83	72.16	39.49	156.13	128.14	
			W						53.09
	4740	C	N	116.68	79.96	43.23	177.76	145.76	
			W						60.50
J	4800	C	N	130.81	79.11	27.42	213.53	164.77	155.51
			W				57.25		52.07
K	4350	Q	N	47.47	27.29	7.12	72.42	57.31	54.29
			W		22.26	22.26	22.26		
L	4610	C	N	162.90	88.61	14.32	215.87	173.45	164.97
			W	64.54					
M	4800	C	N		*112.34	* 5.09	175.46		149.05
			W		* 82.12	*82.12	51.97	51.97	51.97
	D	N	N	38.17					
			W	14.76					

表 2.3.2(2)

単位 : kg/mm²

船名	肋骨心距 (mm)	タイプ	カラー	区分位置					
				B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6
N	4900	C	N	*282.62	*154.04	*282.62	266.13	237.68	223.45
			W						71.42
	5250	A	N	158.15	84.75		244.28	196.43	186.86
			W	75.25	65.96	65.96	75.25	75.25	75.25
O	3800	A	N	114.47	61.34		176.81	142.18	135.25
			W	54.47	47.74	47.74	54.47	54.47	54.47
	4500	C	N	*211.59	*124.89	* 38.19		153.71	
			W						56.30
P	3830	C	N	140.95	86.82	32.70	211.11	169.68	12.25
			W						
	2900	C	N	106.72	65.74	24.76	159.85	128.48	9.28
			W						
R	3830	C	N	138.64	85.40	32.16	204.08	164.52	14.19
			W						
	2900	C	N	104.97	64.66	24.35	154.53	124.57	10.74
			W						
S	4500	C	N	15.89	56.63			1.66	7.16
			W	42.01	42.01	42.01	42.01		42.01
T	4000	C	N	77.92	116.72	52.93	* 26.34	* 70.39	* 79.20
			W						
U	4400	A	N	26.26					
			W						
	P	P	N						
			W	31.38	31.38	31.38	31.38	31.38	31.38
V	4740	C	N	102.54	63.51	24.48	144.36	117.41	112.02
			W						

註) 1 *印 … STIFFNER 基部応力の最大応力係数 f の値が SLOT懇談会提案の範囲を越えているものを表わす。

2 カラー : N … カラー無し、 W … カラー付き

3 タイプ

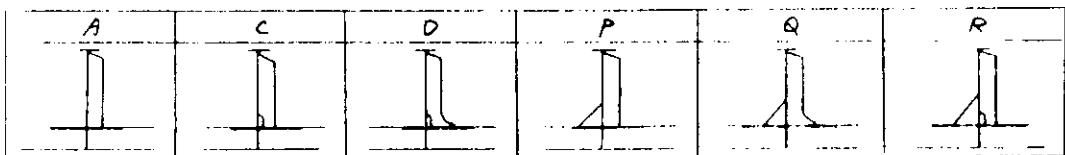


表 2.3.3(1) 損傷発生率

船 令	船 名	区 分	損傷発生率 (%)							
			COLLAR無し				COLLAR付き			
			P S	P W	P E	P T	P S	P W	P E	P T
2 年 未 満	A	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 2	4.08	0.0	0.0	4.08				
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 4	49.40	0.0	0.0	49.40				
		B 5	3.57	0.0	0.0	3.57				
		B 6	1.79	0.0	0.0	1.79				
	B	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 2	1.63	0.0	0.0	1.63				
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 4	0.0	0.0	1.28	1.28	3.85	2.56	0.0	6.41
		B 5	0.86	0.0	0.0	0.86				
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.28	0.0	1.28
	C	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.92	0.0	0.0	1.92
		B 3	1.06	0.0	0.0	1.06	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 4	8.07	0.0	0.0	8.07	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 6					2.42	0.0	0.0	2.42
	D	B 1	1.75	0.0	0.0	1.75				
		B 2	16.01	0.0	1.1	17.11				
		B 3	2.96	0.0	1.32	4.28				
		B 4	12.17	0.0	0.0	12.17	31.41	0.0	7.69	39.10
		B 5	2.35	0.0	0.0	2.35				
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	13.46	0.0	3.21	16.67
	E	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	2.44	0.0	0.0	2.44	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 3	14.64	0.0	0.0	14.64	2.44	0.0	0.0	2.44
		B 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	F	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	0.45	0.0	0.0	0.45				
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 4	58.62	0.0	0.0	58.62				
		B 5					10.35	1.72	0.0	12.06
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2.3.3(2)

船 令	船 名	区 分	損傷発生率 (%)							
			COLLAR 無し				COLLAR 付き			
			P S	P W	P B	P T	P S	P W	P B	P T
2 年 以 上	A	B 1	7.45	0.0	0.0	7.45	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	32.20	0.31	0.31	32.82	43.75	0.0	0.0	43.75
		B 3	7.36	0.0	0.0	7.36	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 4	36.70	0.0	0.0	36.70	68.18	0.0	0.0	68.18
		B 5	25.00	0.0	0.0	25.00				
		B 6	8.23	0.0	0.0	8.23	0.0	0.0	0.0	0.0
	G	B 1	2.94	0.0	0.0	2.94	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	29.41	0.0	0.0	29.41				
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 4					56.25	0.0	0.0	56.25
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0	50.00	0.0	0.0	50.00
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0				
	H	B 1	9.23	0.0	0.0	9.23				
		B 2	8.46	0.0	0.0	8.46				
		B 3	15.39	0.0	0.0	15.39				
		B 4	50.87	0.0	0.0	50.87				
		B 5	6.43	0.0	0.0	6.43				
		B 6					36.84	0.0	0.0	36.84
	I	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 2	12.82	0.0	0.0	12.82				
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 4	22.86	0.0	0.0	22.86				
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 6					57.14	0.0	0.0	57.14
	J	B 1	7.63	0.0	0.0	7.63				
		B 2	8.48	0.0	0.0	8.48				
		B 3	15.25	0.0	0.0	15.25				
		B 4	14.89	0.0	0.0	14.89	7.69	0.0	0.0	7.69
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0				
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	K	B 1	1.67	2.50	0.0	4.17				
		B 2	21.67	5.00	2.22	28.89	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 3	1.67	0.0	0.0	1.67	4.63	0.0	0.0	4.63
		B 4	33.10	6.34	9.86	49.30	13.24	0.0	0.0	13.24
		B 5	30.71	0.71	0.71	32.13				
		B 6	18.57	0.0	0.0	18.57				

表 2.3.3(3)

船 令	船 名	区 分	損傷発生率 (%)							
			COLLAR 無し				COLLAR 付き			
			P S	P W	P B	P T	P S	P W	P B	P T
2 年 以 上	L	B 1	8.20	0.0	0.0	8.20	0.77	0.0	0.0	0.77
		B 2	2.15	0.0	0.0	2.15	-	-	-	-
		B 3	7.32	0.0	0.0	7.32	-	-	-	-
		B 4	8.33	0.60	0.0	8.93	-	-	-	-
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
		B 6	3.57	0.89	0.0	4.46	-	-	-	-
	M	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	10.00	0.0	0.0	10.00
		B 2	6.50	0.0	0.0	6.50	-	-	-	-
		B 3	8.00	0.0	0.0	8.00	8.00	0.0	0.0	8.00
		B 4	17.00	0.0	0.0	17.00	18.00	0.0	0.0	18.00
		B 5	2.00	0.0	0.0	2.00	-	-	-	-
		B 6	2.00	0.0	0.0	2.00	2.00	0.0	0.0	2.00
	N	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
		B 2	47.44	0.0	0.0	47.44	-	-	-	-
		B 3	1.92	0.0	0.0	1.92	-	-	-	-
		B 4	25.93	0.0	0.0	25.93	-	-	-	-
		B 5	20.83	0.0	0.0	20.83	-	-	-	-
		B 6	6.94	0.0	0.0	6.94	0.0	0.0	0.0	0.0
	O	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 3	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
	P	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
		B 2	2.73	0.0	0.0	2.73	-	-	-	-
		B 3	2.94	0.0	0.0	2.94	-	-	-	-
		B 4	-	-	-	-	-	-	-	-
		B 5	1.04	0.0	0.0	1.04	-	-	-	-
		B 6	-	-	-	-	0.0	0.0	0.0	0.0
	Q	B 1	1.92	0.0	0.0	1.92	-	-	-	-
		B 2	3.85	0.0	0.0	3.85	-	-	-	-
		B 3	4.49	0.64	0.0	5.43	-	-	-	-
		B 4	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-

表 2.3.3(4)

船 令	船 名	区 分	損傷発生率 (%)					
			COLLAR 無し				COLLAR 付き	
			P S	P W	P B	P T	P S	P W
2 年 以 上	R	B 1	0.63	0.0	0.0	0.63		
		B 2	1.92	0.0	0.0	1.92		
		B 3	5.77	0.0	0.0	5.77		
		B 4	0.0	0.0	0.0	0.0		
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0		
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0		
2 年 以 上	S	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		B 3				3.45	0.0	0.0
		B 4				1.72	0.0	0.0
		B 5	0.0	0.0	0.0	0.0		
		B 6	3.45	0.0	0.0	3.45	0.0	0.0
2 年 以 上	T	B 1	0.0	0.0	0.0	0.0		
		B 2	7.35	0.0	0.0	7.35		
		B 3	0.0	0.0	0.0	0.0		
		B 4	37.50	0.0	0.0	37.50		
		B 5	0.74	0.0	0.0	0.74		
		B 6	6.62	0.0	0.0	6.62		
2 年 以 上	U	B 1	2.46	0.0	0.0	2.46		
		B 2						
		B 3						
		B 4						
		B 5						
		B 6						
2 年 以 上	V	B 1	14.42	0.0	0.96	15.38		
		B 2	33.33	0.0	0.0	33.33		
		B 3	11.11	0.0	0.0	11.11		
		B 4	32.08	0.0	0.0	32.08		
		B 5	23.75	0.0	0.0	23.75		
		B 6	0.0	0.0	0.0	0.0		

註) ○ P S = 100 × $\frac{S \text{ (スチフナのクラック発生スロット数)}}{N \text{ (スロット総数、両舷)}}$

○ P T = 100 × $\frac{S + W + B}{N}$

○ P W = 100 × $\frac{W \text{ (ウェブのクラック発生スロット数)}}{N \text{ (スロット総数、両舷)}}$

○ P B = 100 × $\frac{B \text{ (スチフナ、ウェブ同時に発生したスロット数)}}{N \text{ (スロット総数、両舷)}}$

B3 QF

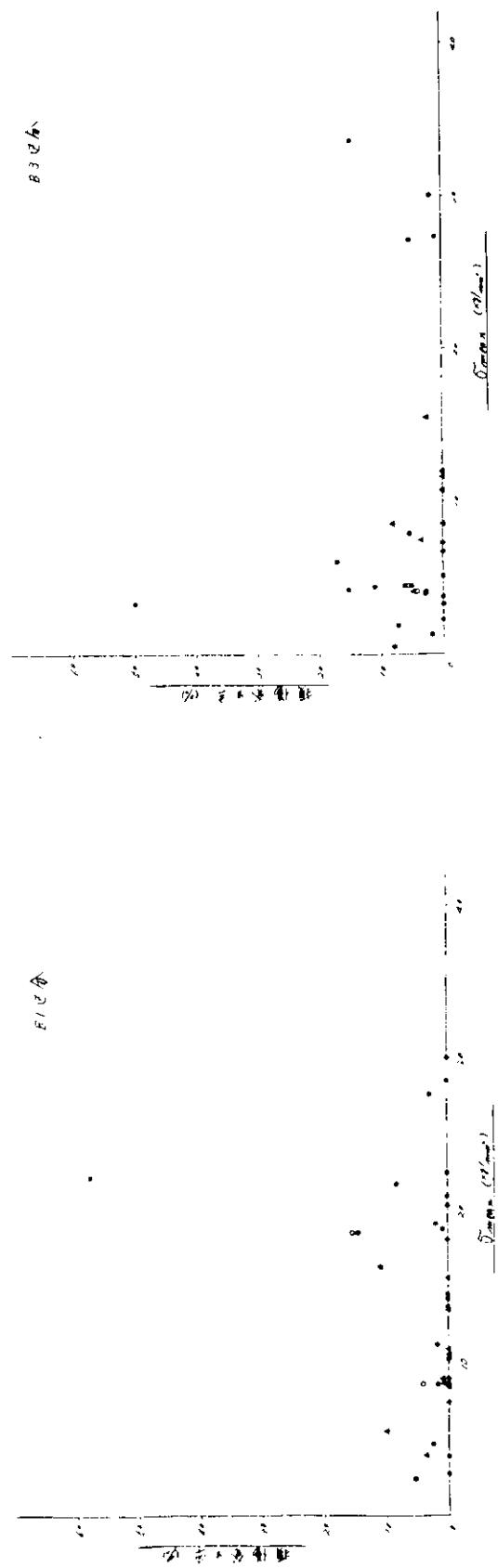


图 2.3.3

B4 QF

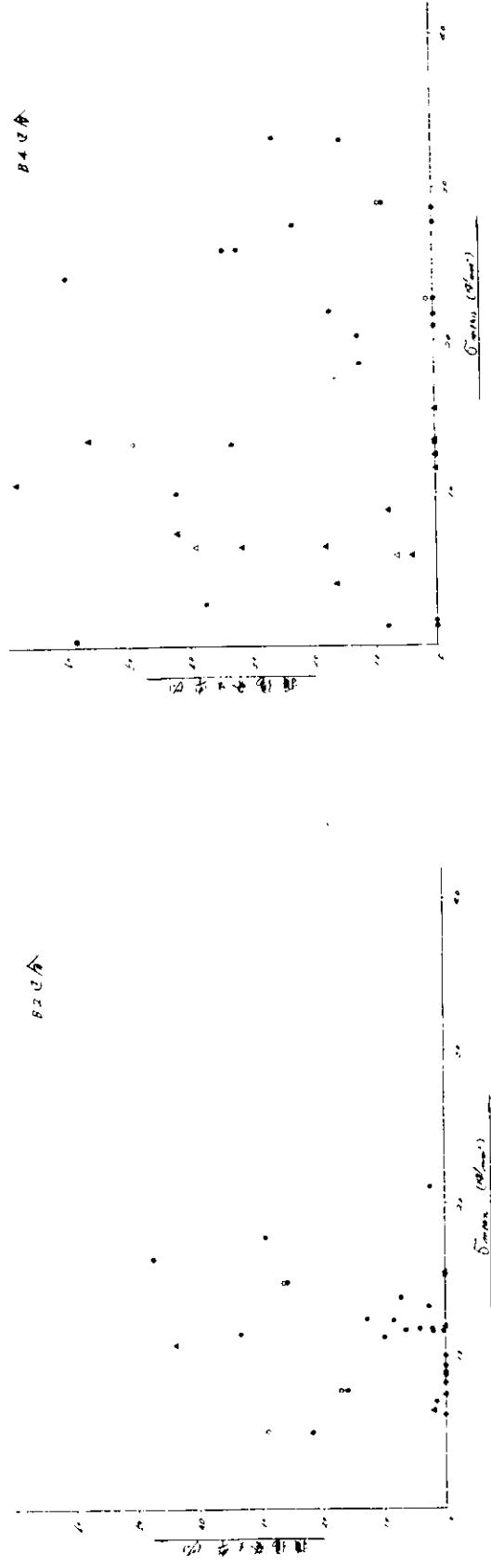


图 2.3.4

B2 QF

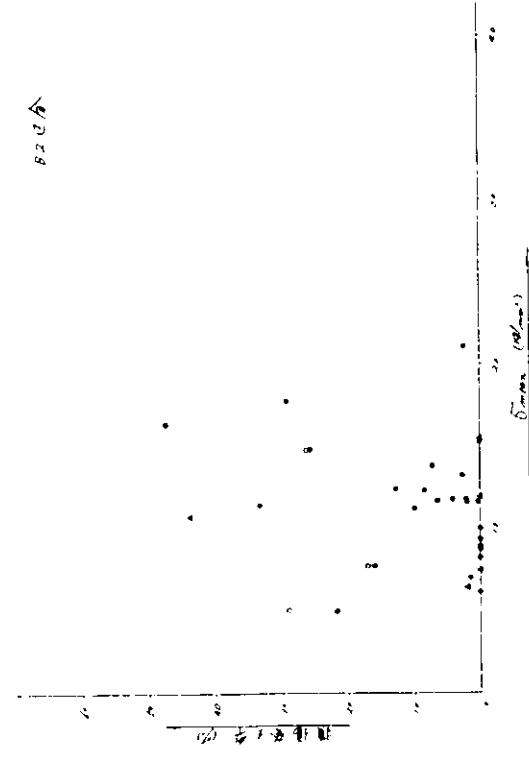


图 2.3.2

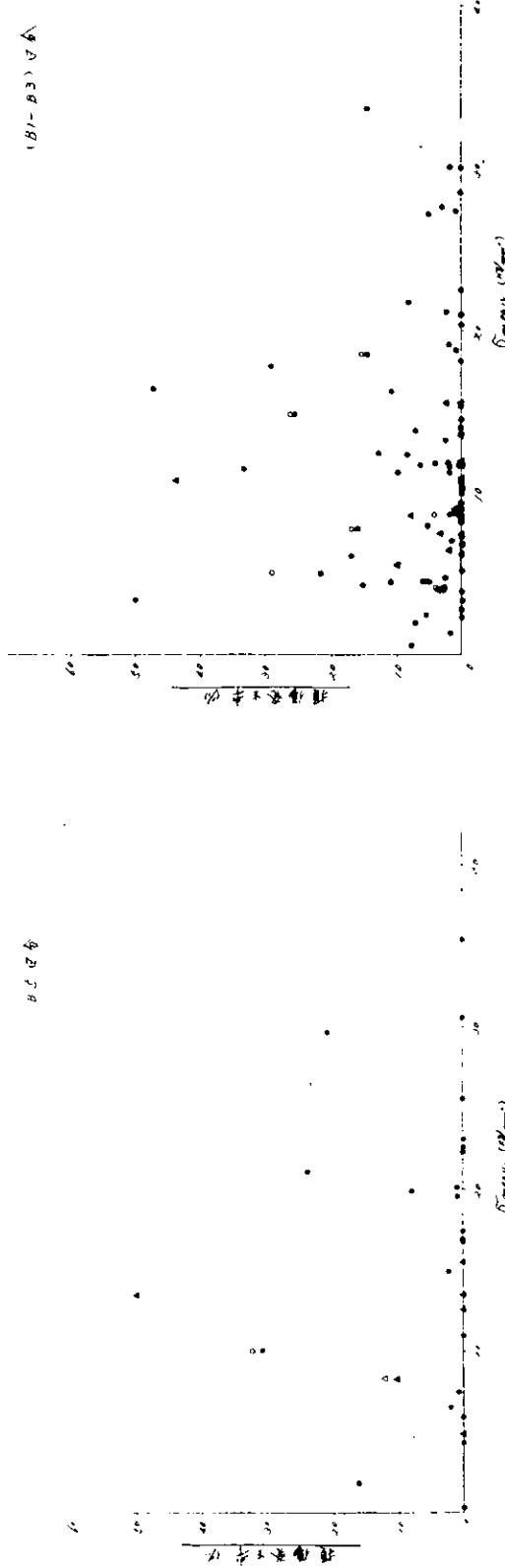


图 2.3.5

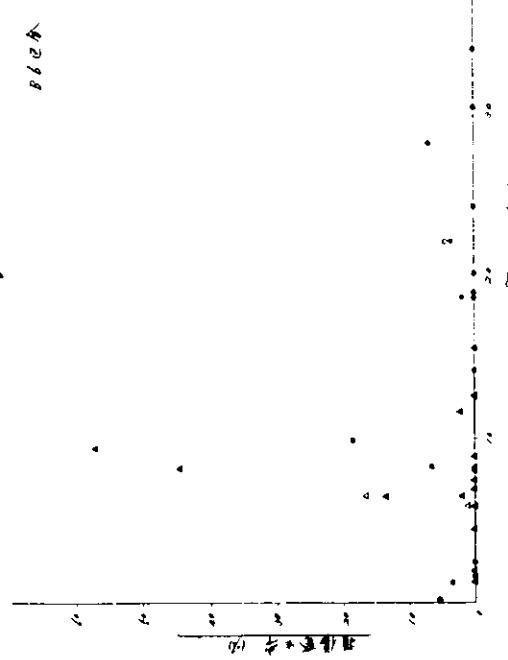


图 2.3.6

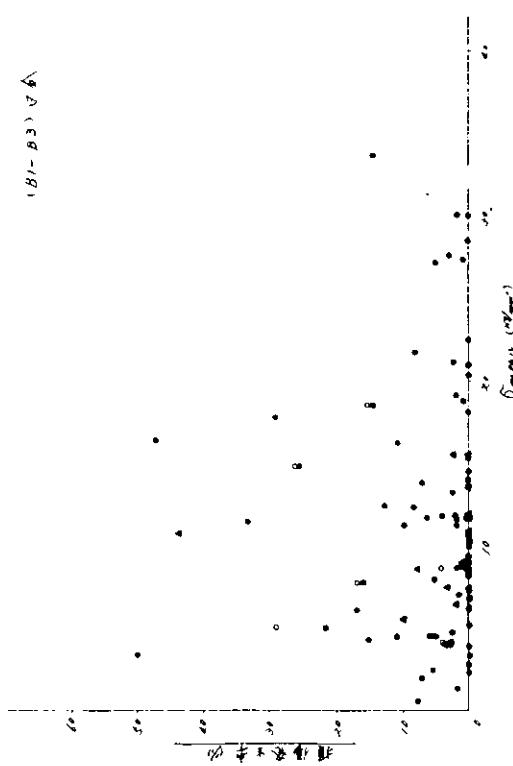


图 2.3.7

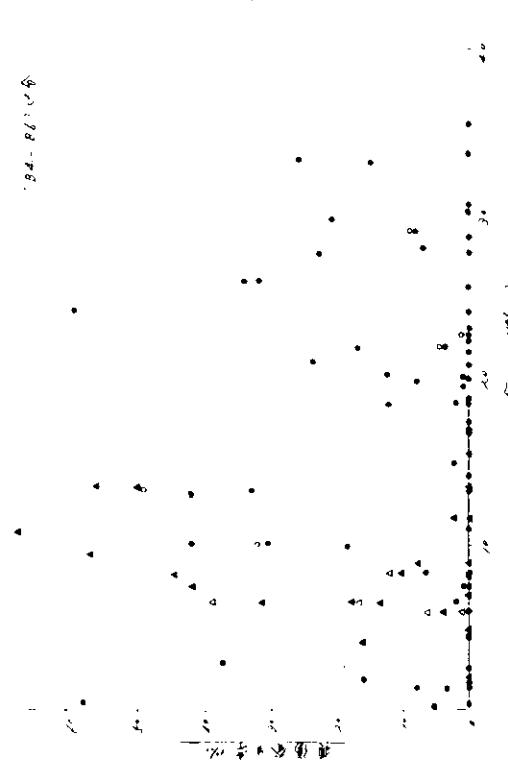
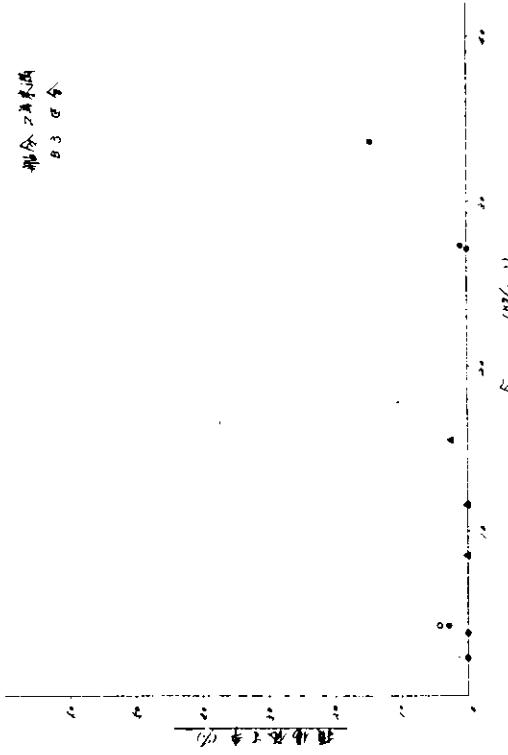
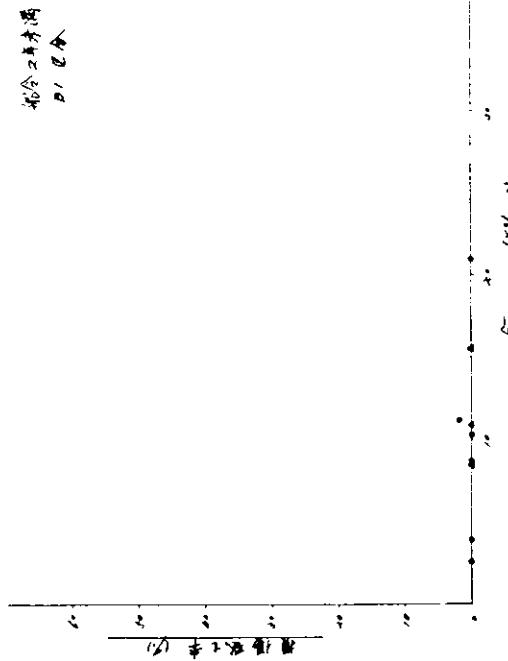
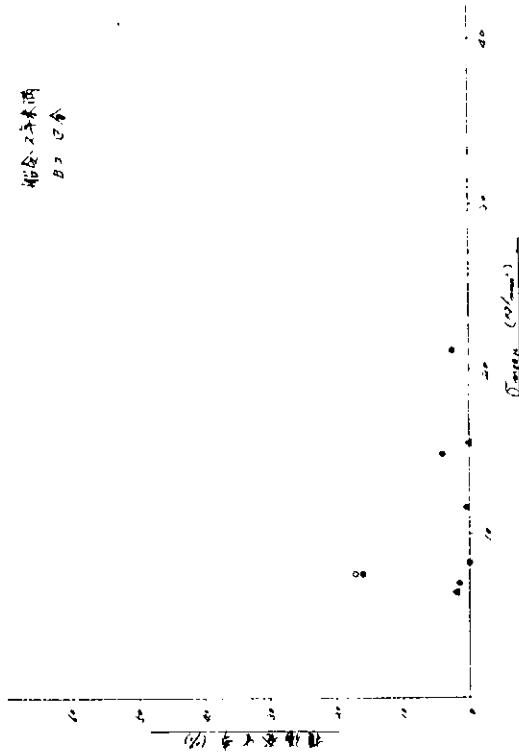
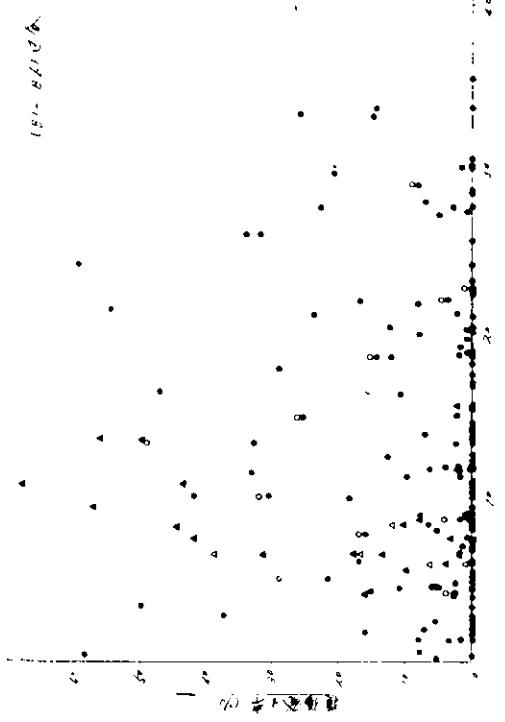


图 2.3.8



船体 2号水箱
BL 2号

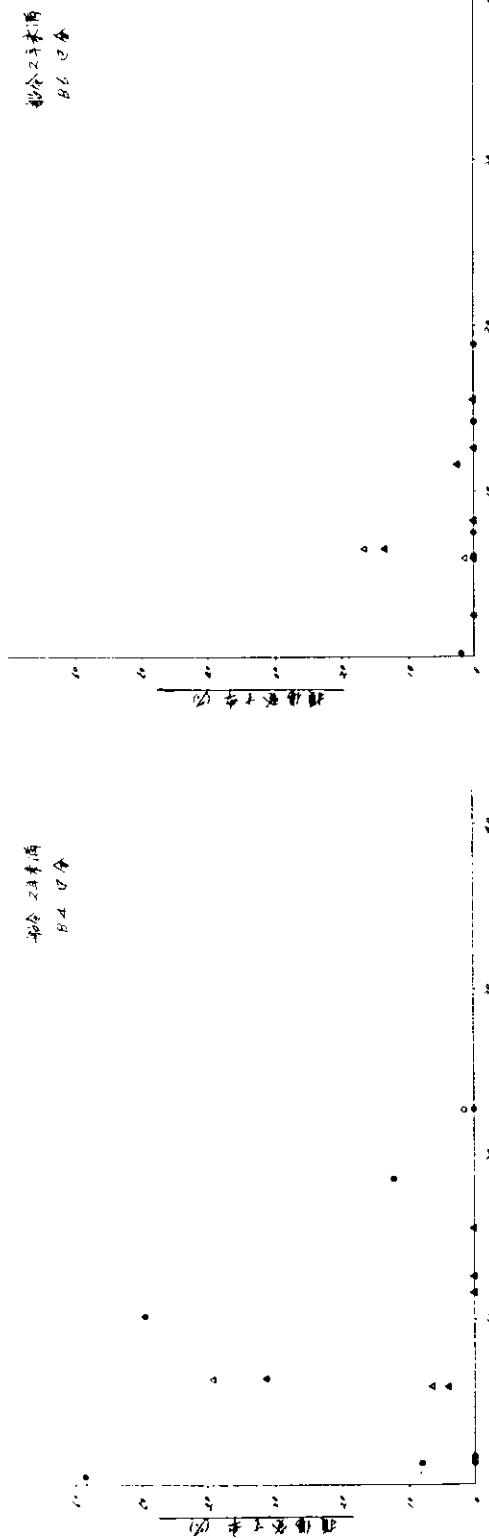


图 2.3.13

船体 2号水箱
BL 2号

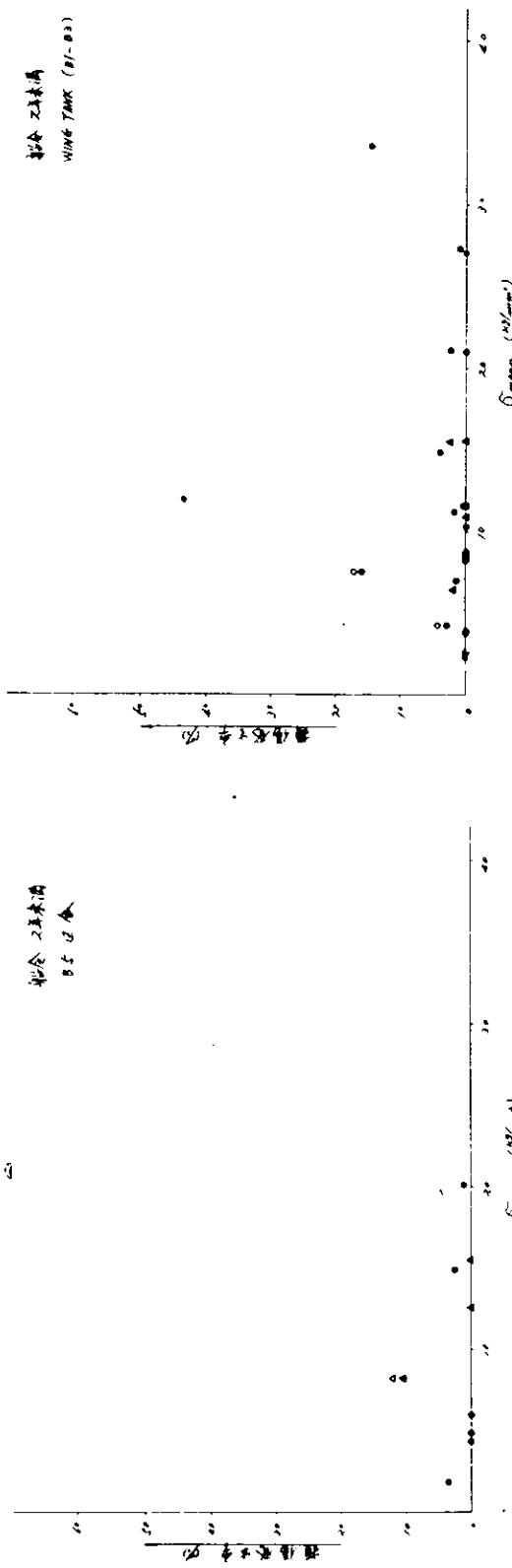


图 2.3.14

图 2.3.15

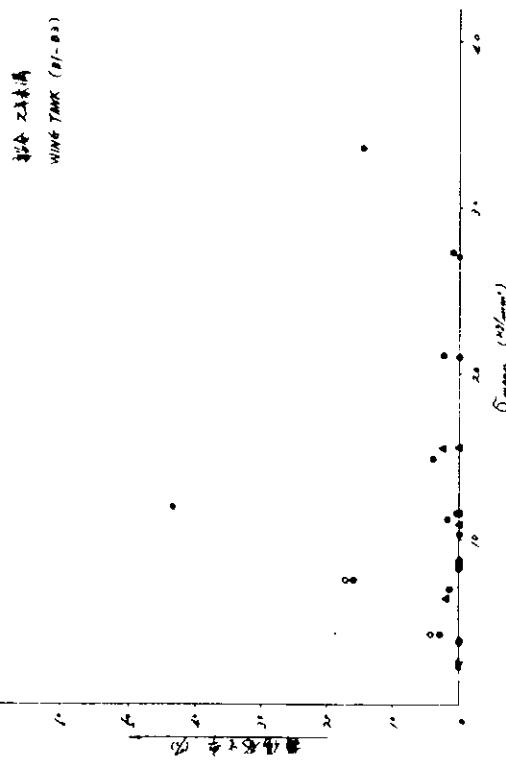


图 2.3.15

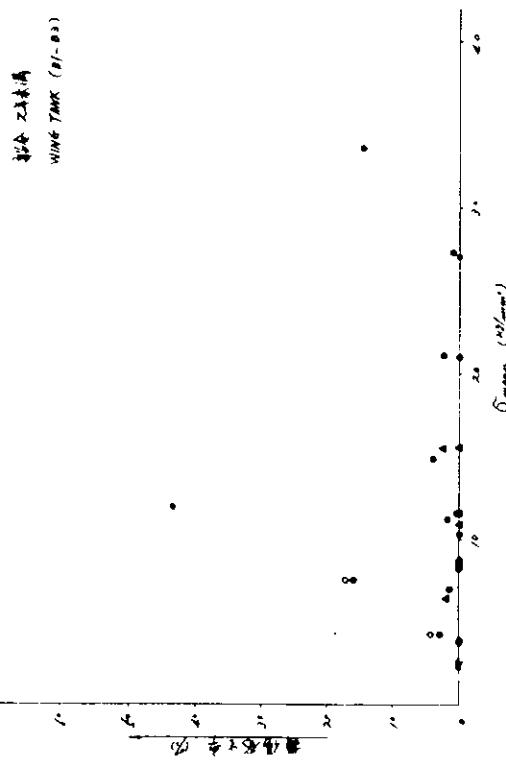


图 2.3.16

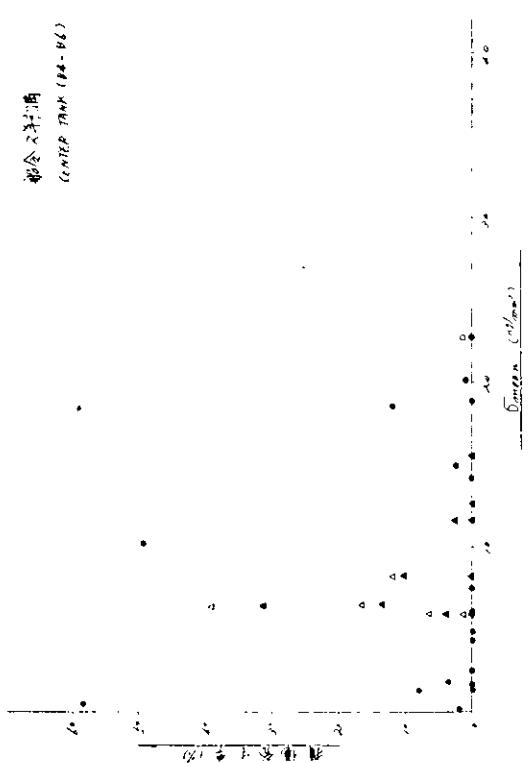


図 2.3.17

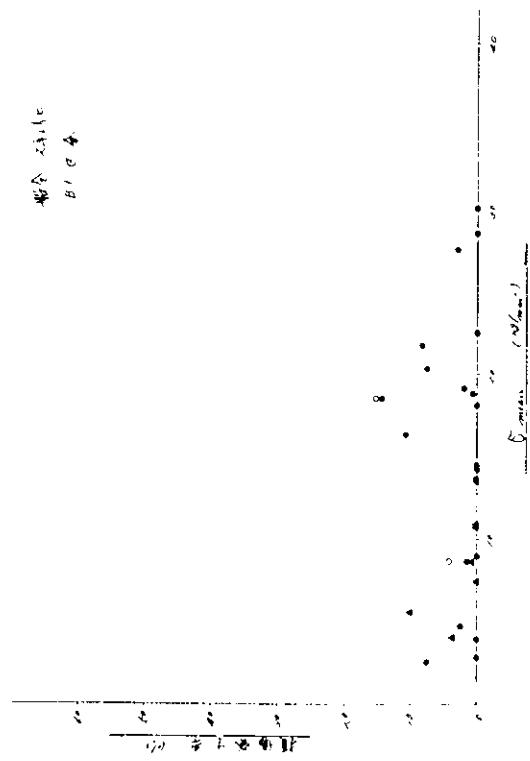


図 2.3.19

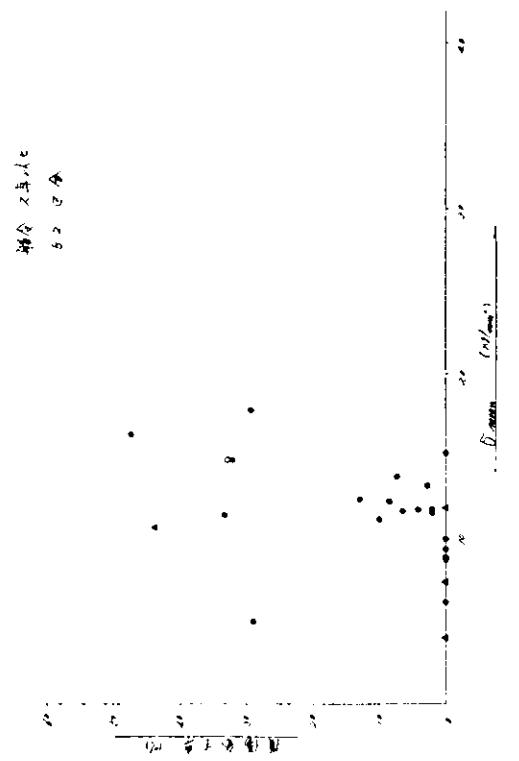


図 2.3.20

図 2.3.18

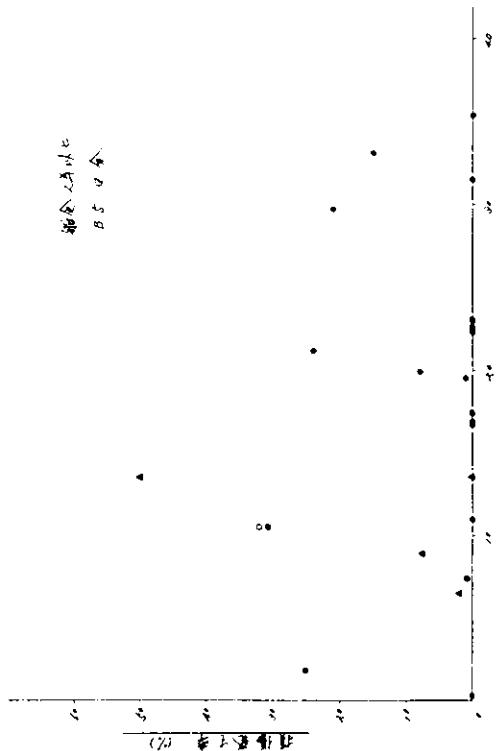
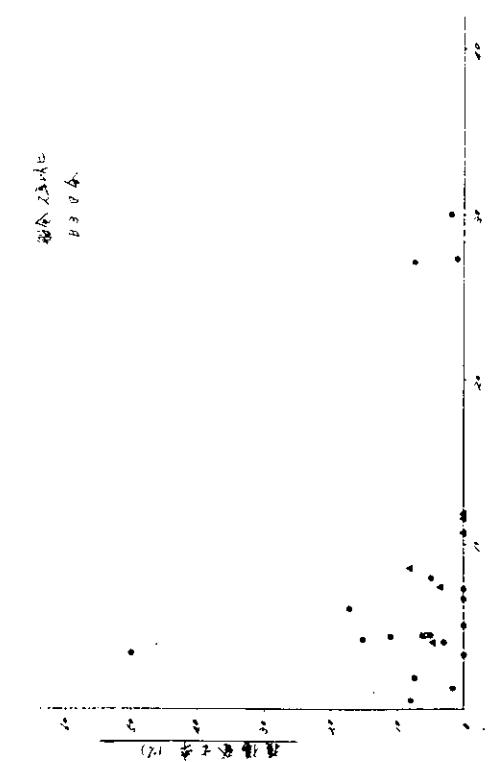


图 2.3.21

图 2.3.23

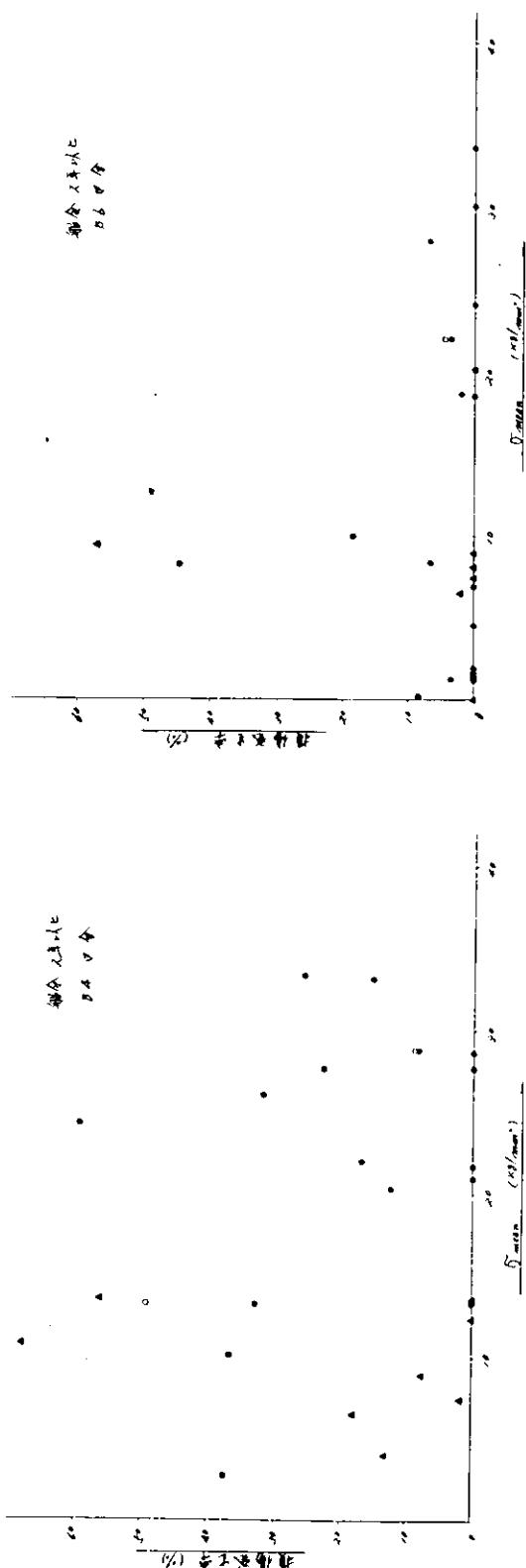


图 2.3.22

图 2.3.24

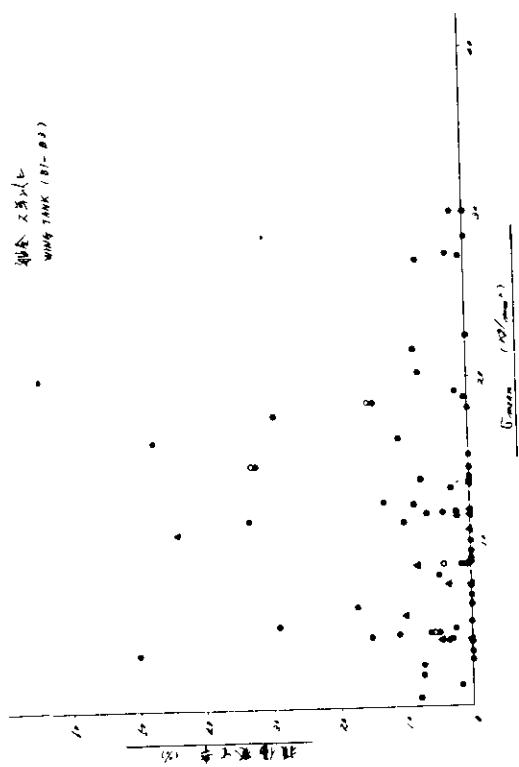


图 2.3.25

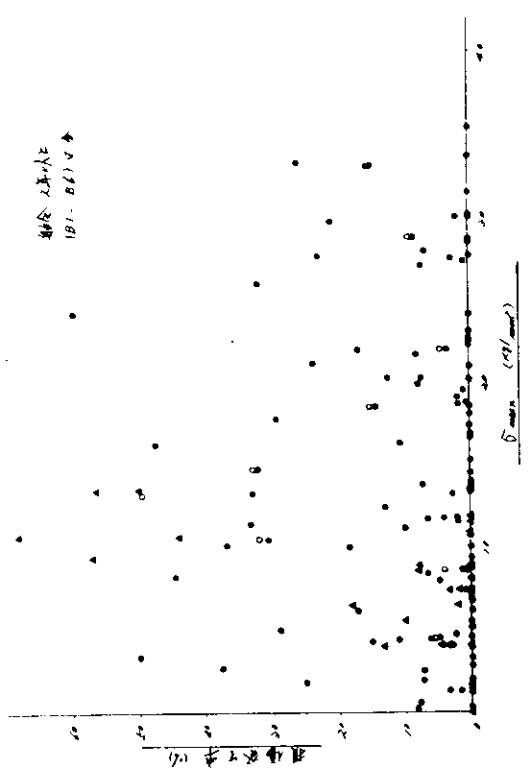


图 2.3.27

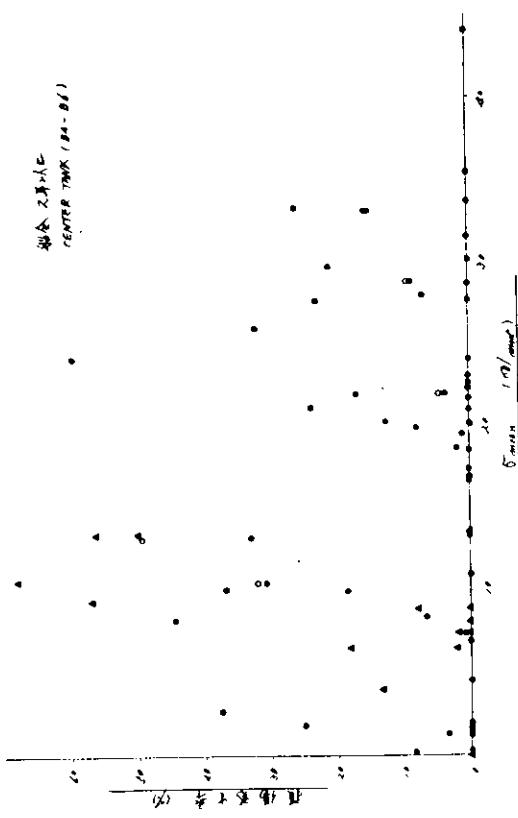


图 2.3.26

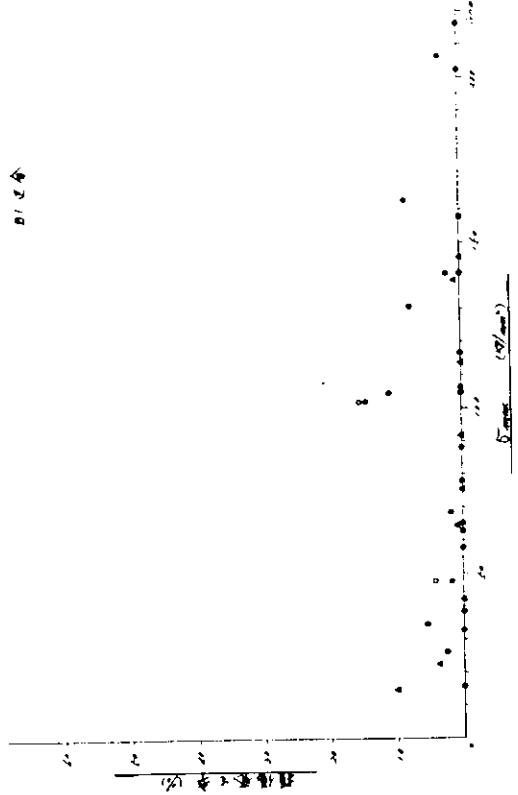


图 2.3.28

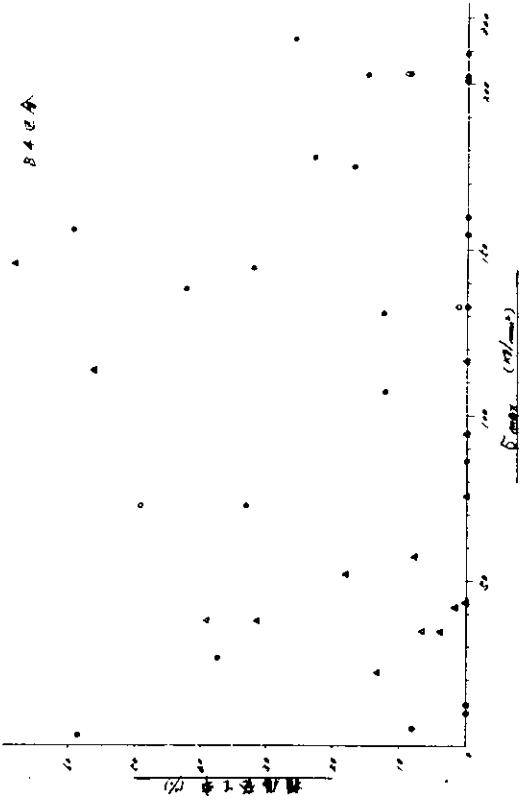


図 2.3.29

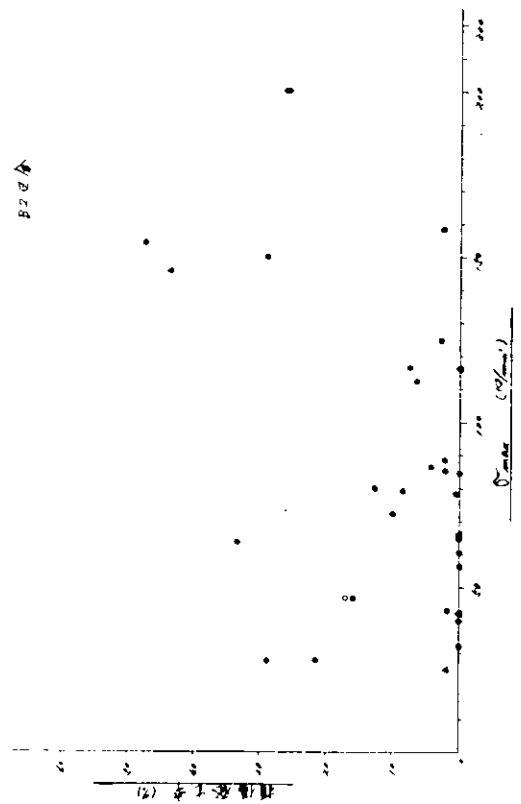


図 2.3.29

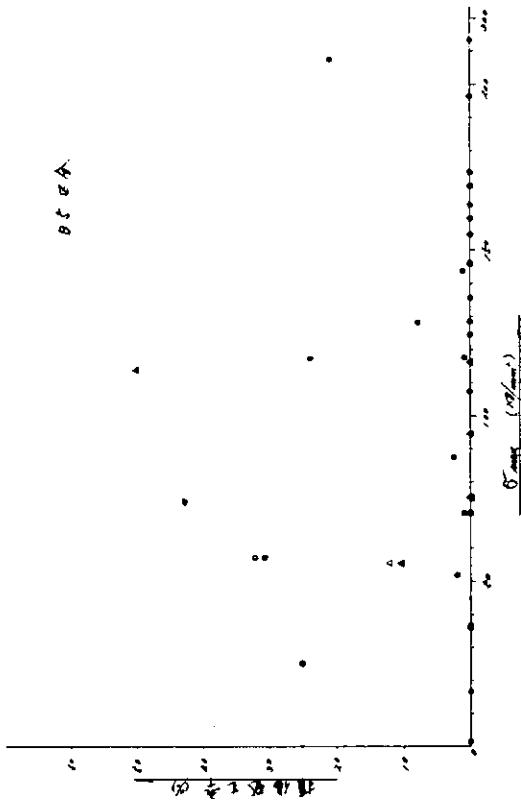


図 2.3.31

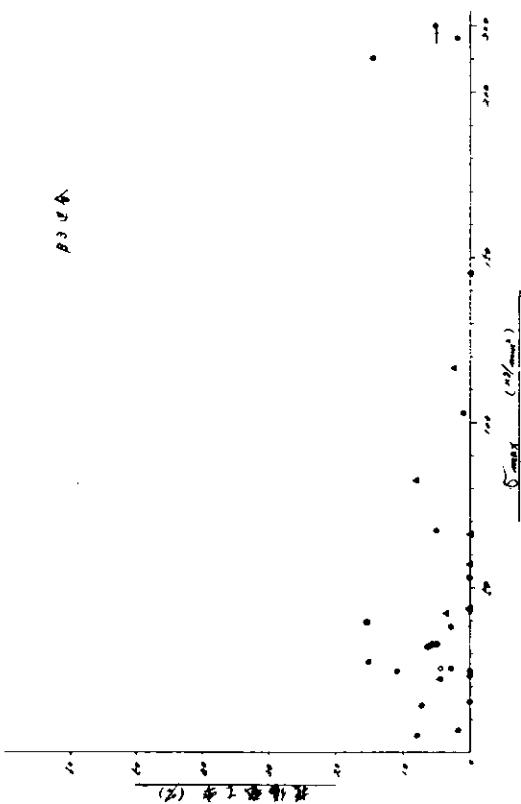


図 2.3.32

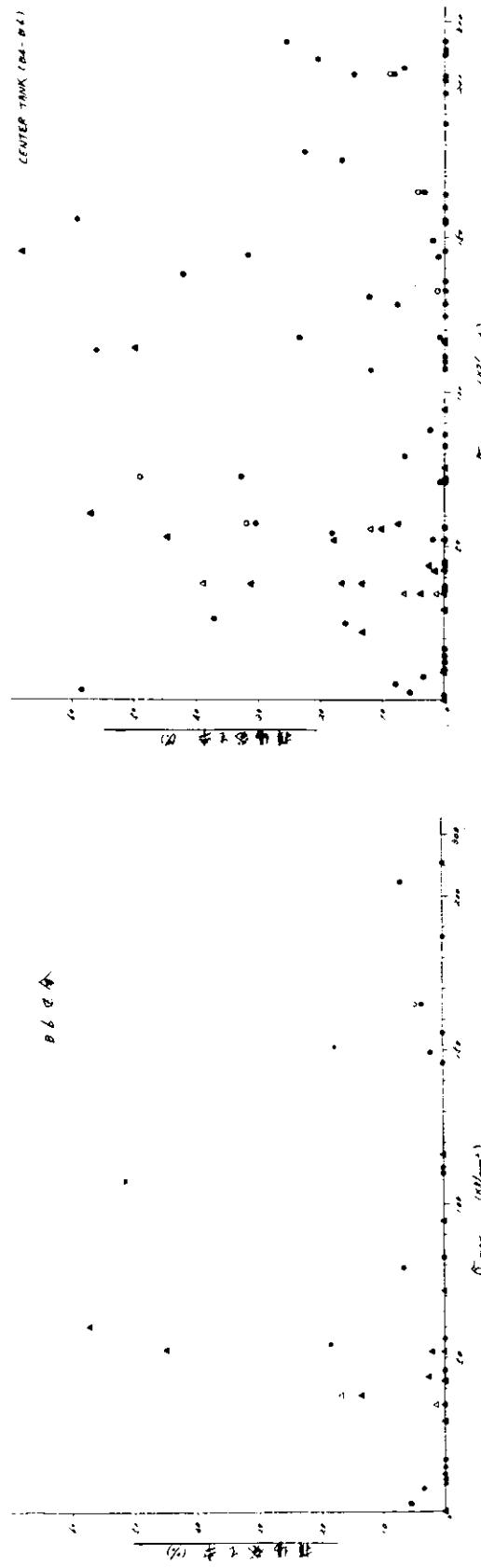


图 2.3.35

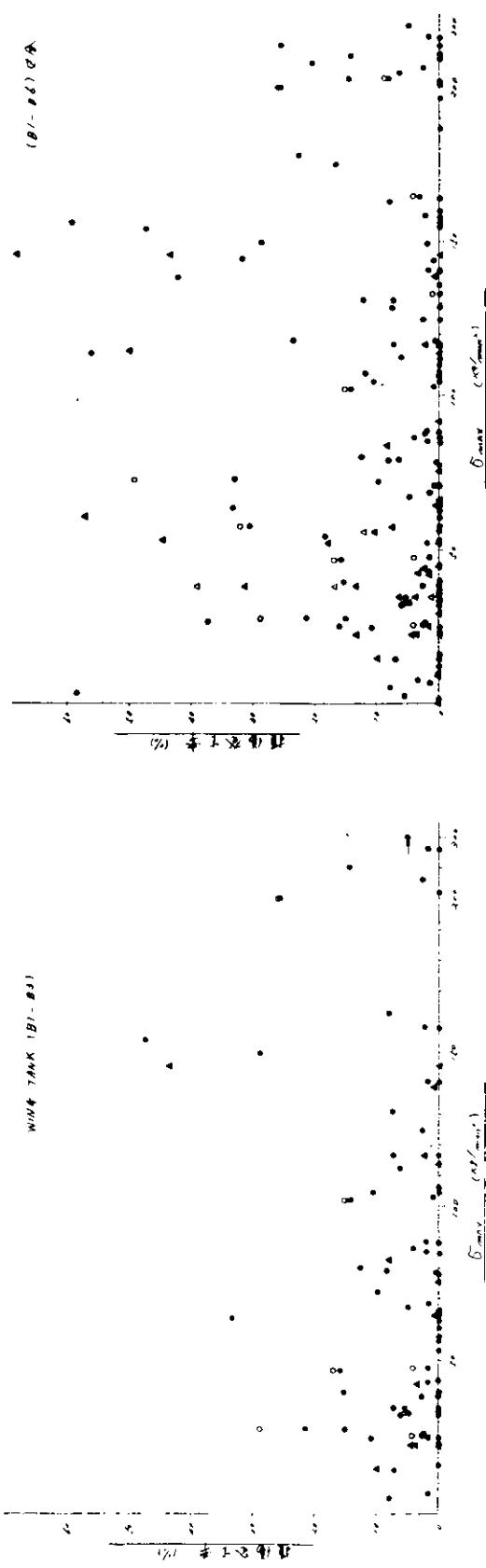


图 2.3.36

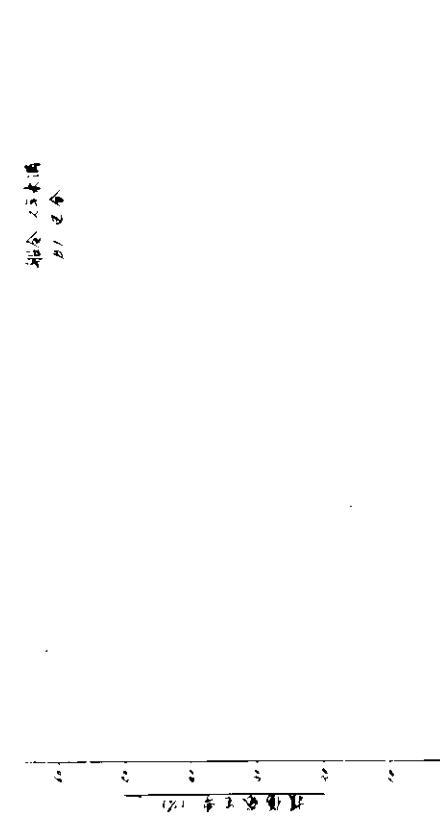


图 2.3.37

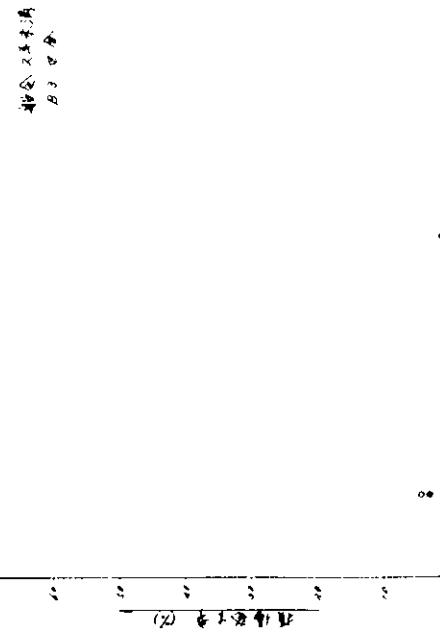


图 2.3.39

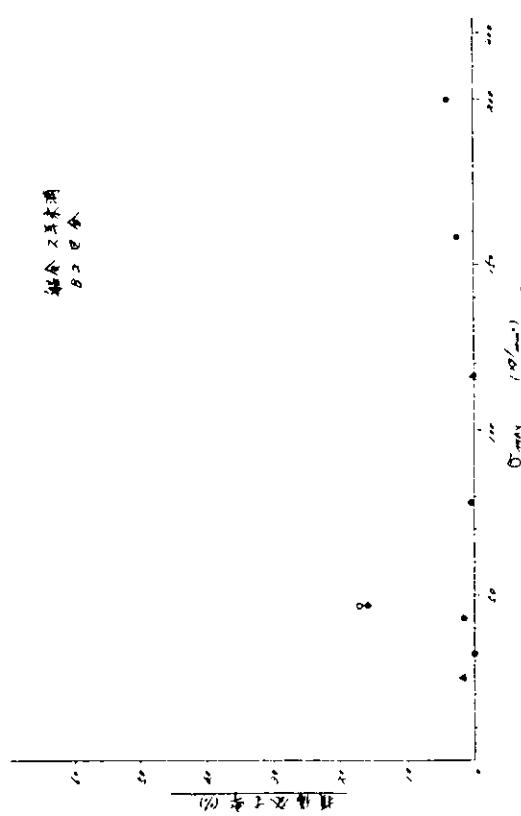


图 2.3.38

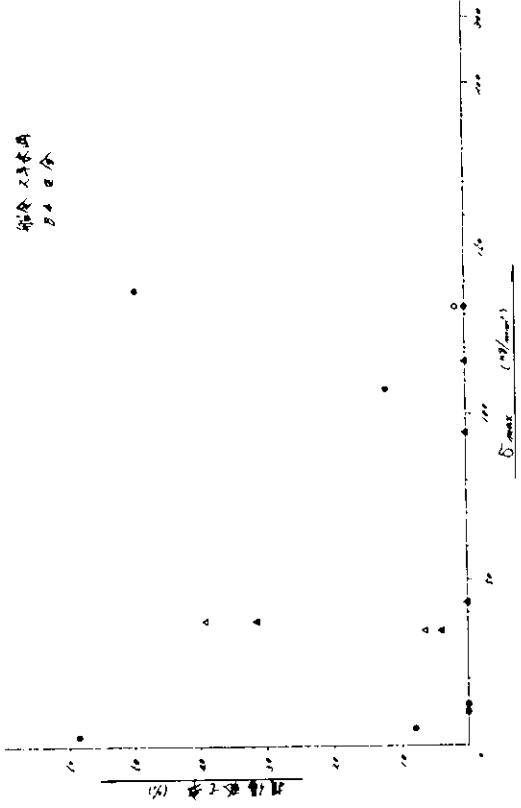


图 2.3.40

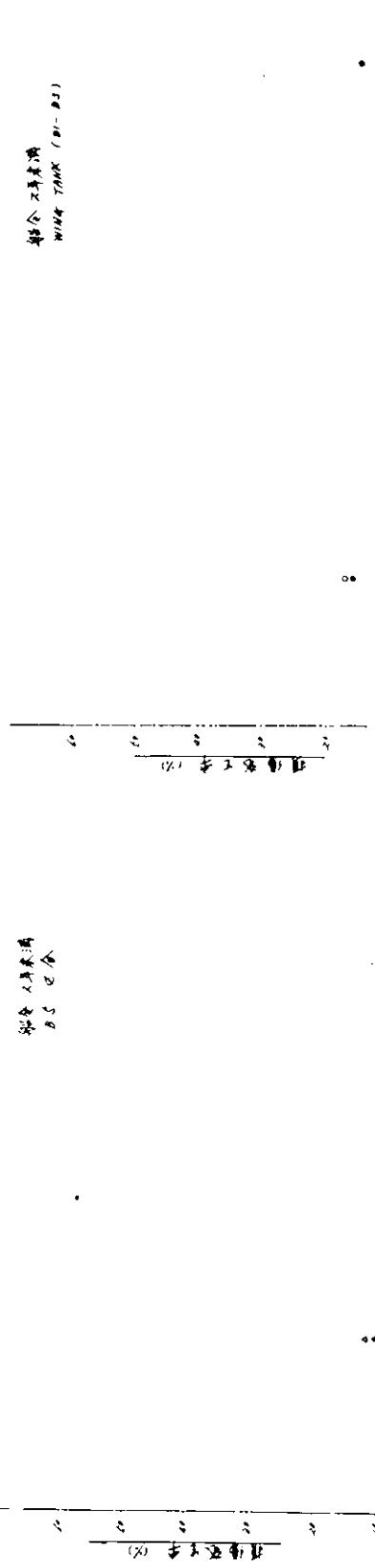


图 2.3.41

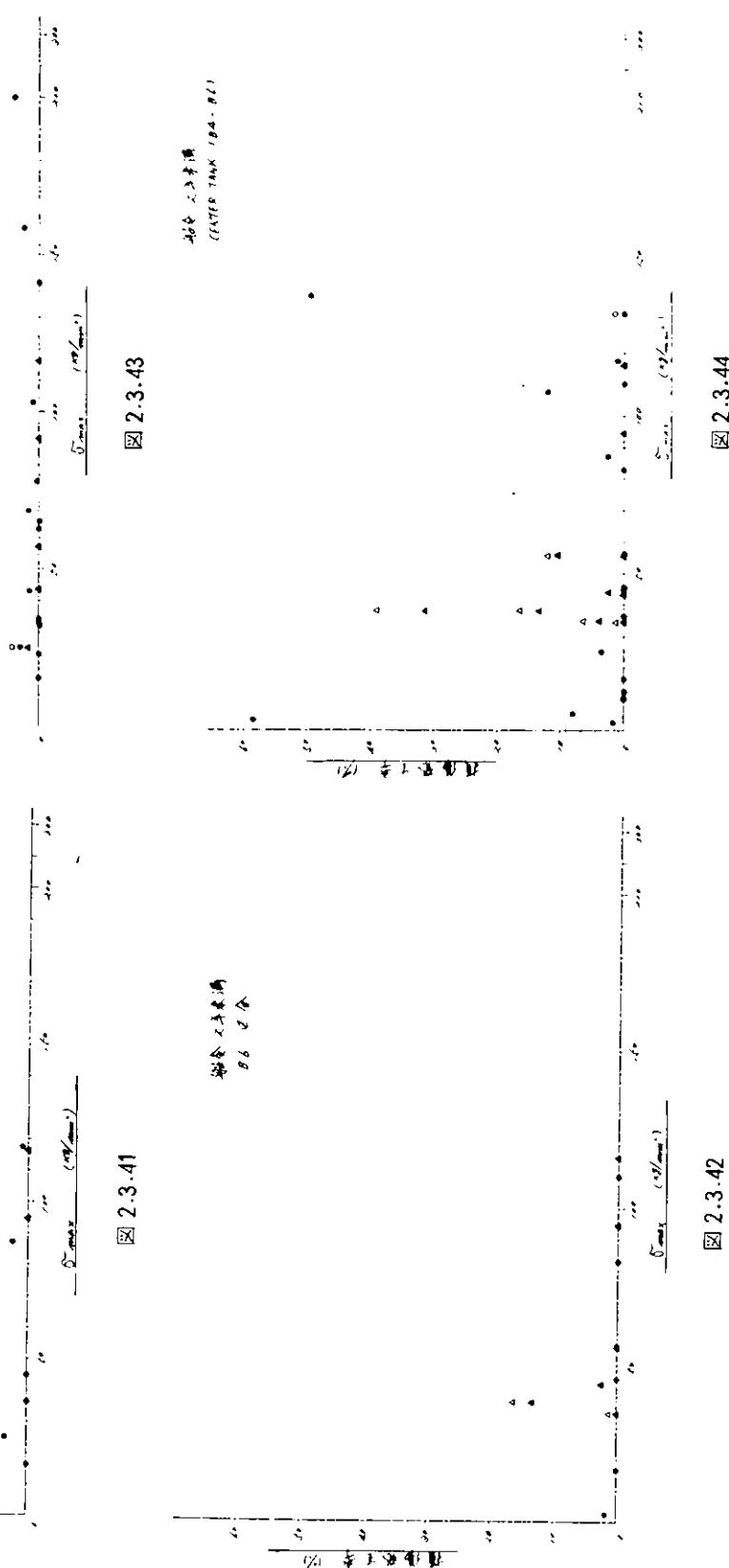


图 2.3.43

图 2.3.44

船企
B2

船企
B1

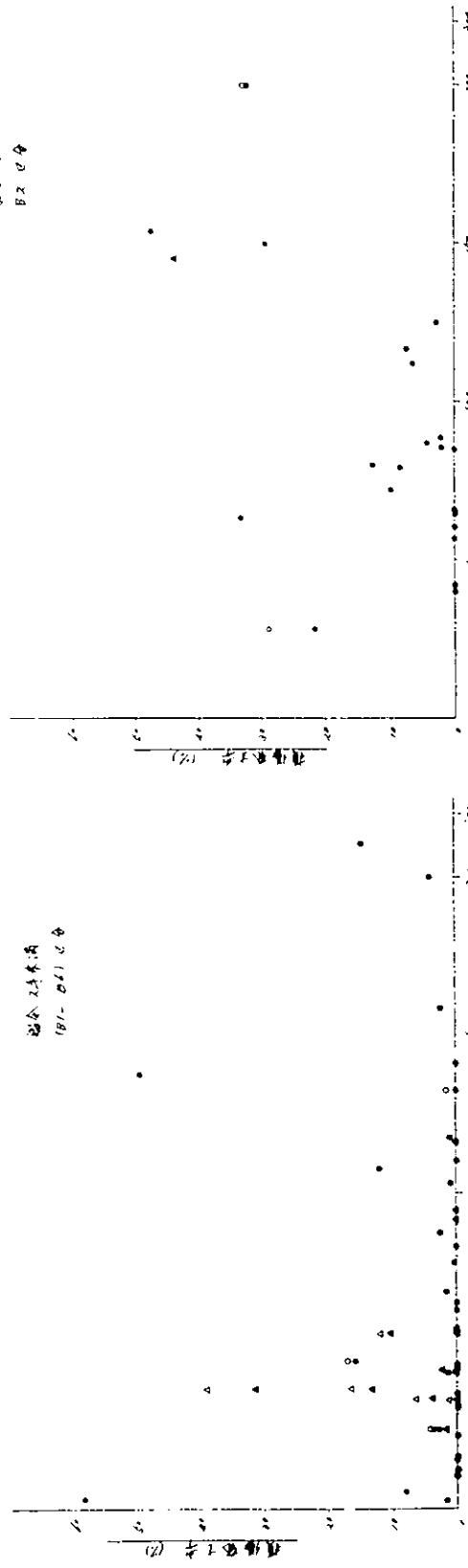


图 2.3.45

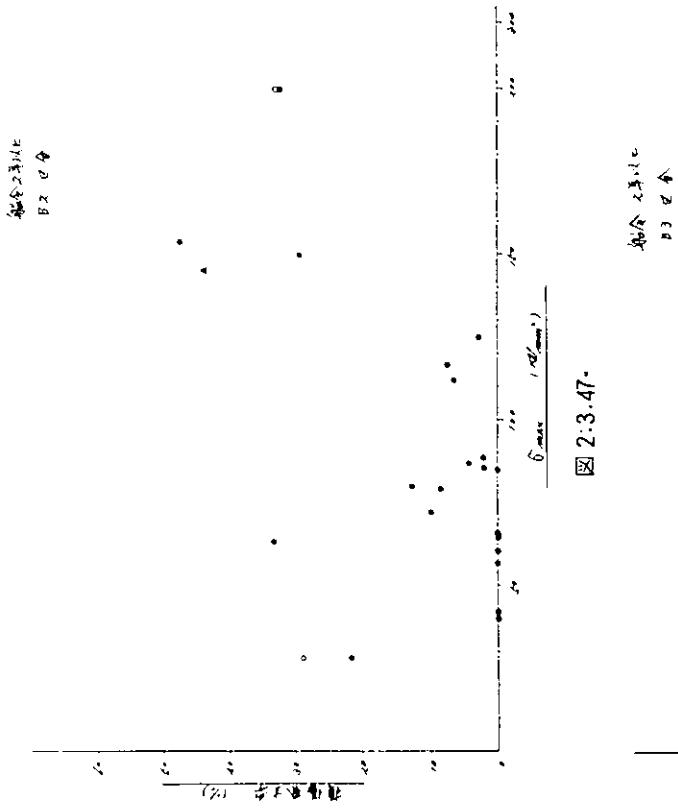


图 2.3.47

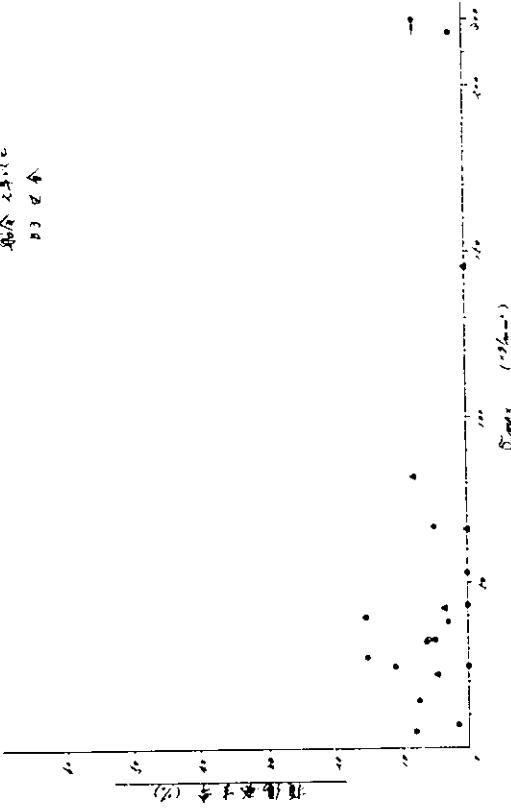


图 2.3.48

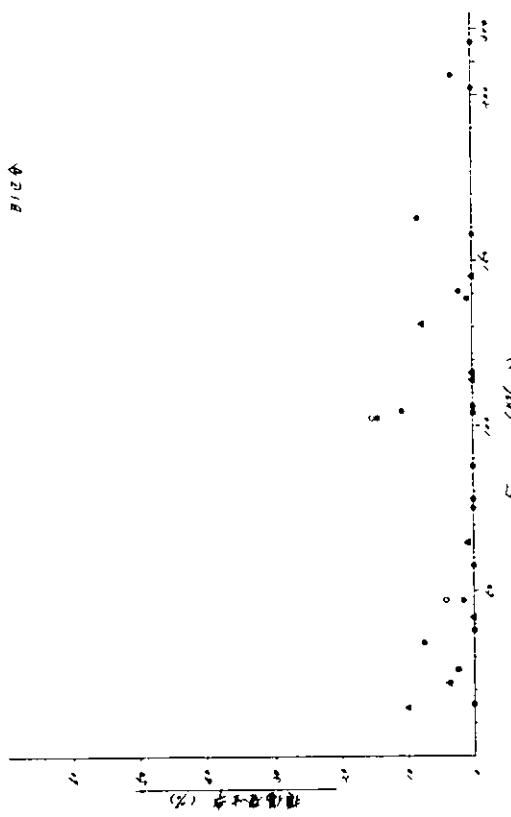


图 2.3.46

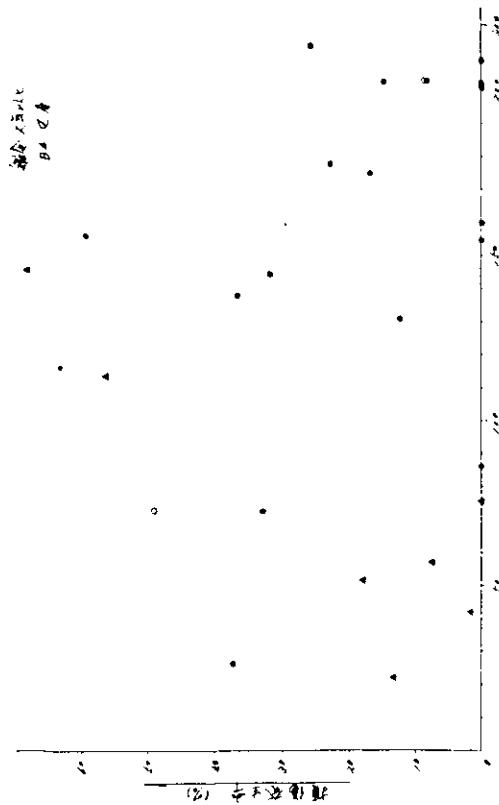


图 2.3.49



图 2.3.51

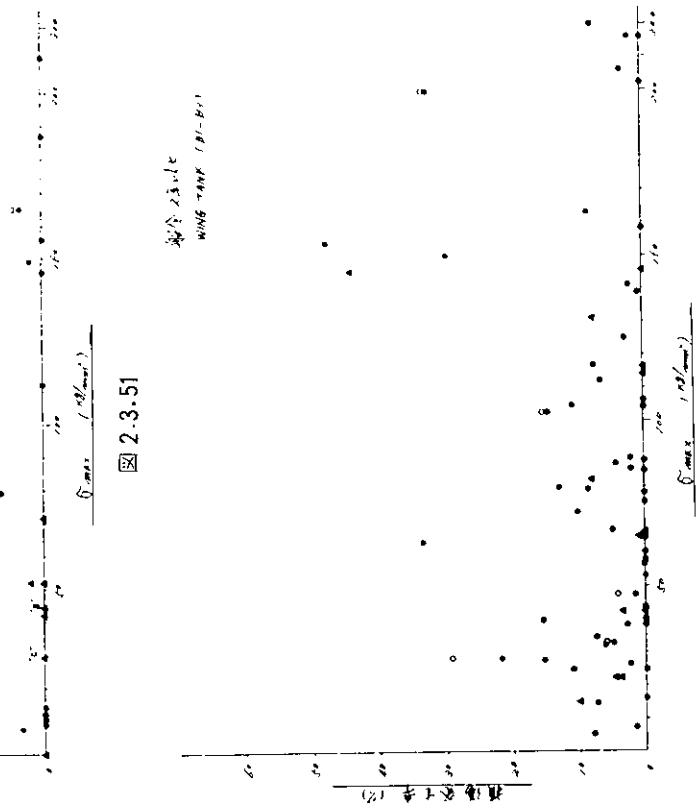


图 2.3.52

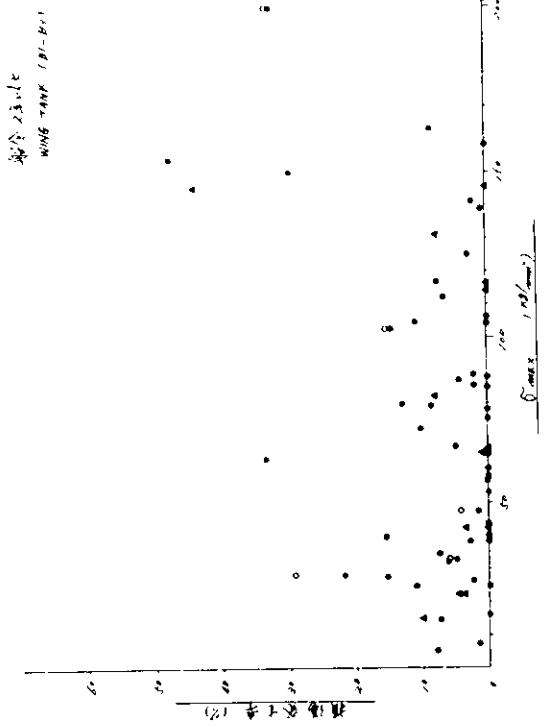


图 2.3.50

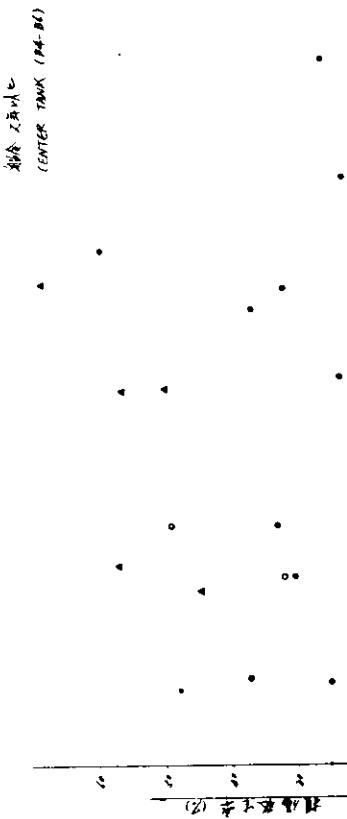


图 2.3.53

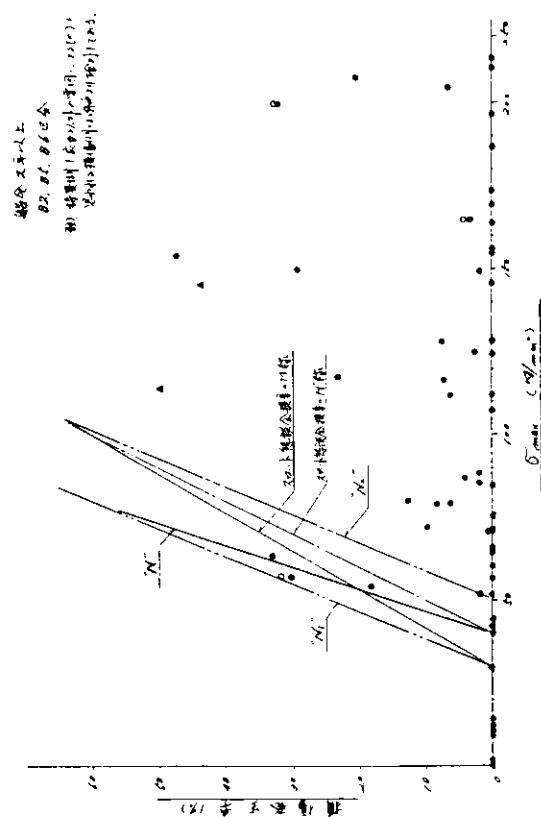


图 2.3.55

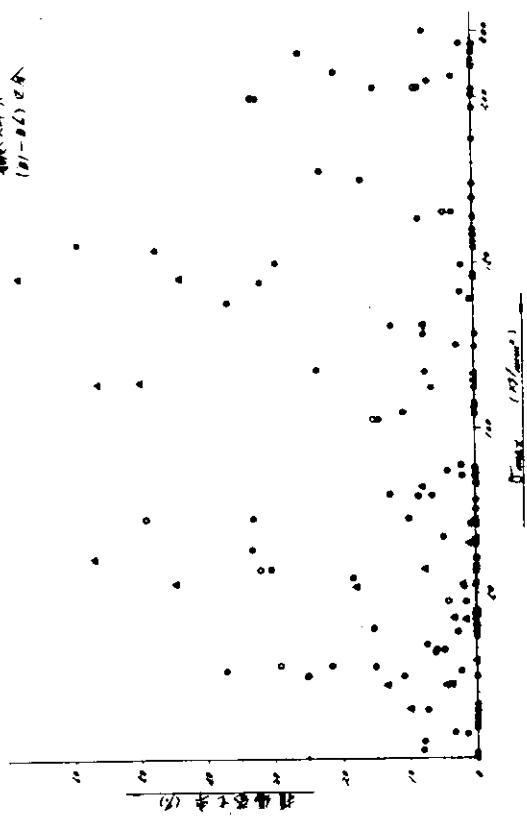


图 2.3.54

2.4 桁の振動とクラックの発生率

2.4.1 目的

スロット部のウエブスチフナ基部のクラック発生率は、前項の調査で明らかかなようにスチフナ基部の応力とかなりの対応関係が見られるが、例えば、タンカーの中央タンク船底横桁の縦隔壁付の個所のごとくウエブ深さが急激に深くなっている個所とか、同じくストラット基部近傍においては桁の振動がこの種クラックの発生を助長している面がありそうに思われることは、すでに指摘されている通りである。

したがって、ここでは桁の振動性状とウエブスチフナ基部のクラック発生率の間の関連の有無を実船のクラック発生例を用いて調査した。

2.4.2 調査の対象と調査方法

タンカー 22隻を対象に船底横桁のうち、次の3区分位置を代表的に選んで調査した。すなわち、

図 2.4.1 に示すように

B2 区域 (ウイングタンク、スパン中央)

B4 区域 (センタータンク、縦隔壁端部)

B5 区域 (センタータンク、スパン中央)

を対象として取り上げた。

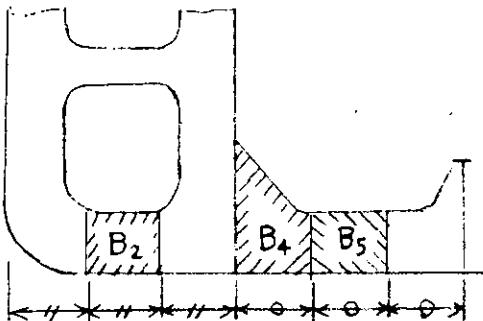


図 2.4.1

桁の振動としては、上記各区域内の倒れ止め、プラケット間の桁の面外横倒れ振動と同じく倒れ止めプラケット間のウエブパネル（ウエブスチフナにより防護されている）の振動を考慮する。

船に固有の起振振動数としては、主機回転数×プロペラ翼数およびディーゼル船の場合については、その他に主機回転数×シリンダ数を代表的に選んだ。

桁の横倒れ振動数およびウエブパネルの振動数の算出には、スロット対策懇談会の報告書に引用されている次の式によることにした。

○ 桁の横倒れ振動の接水固有振動数 (F_1)

$$F_1 = 4.25 \sqrt{(m+1) \frac{I_s}{H^3 w} + 32 \frac{I_f}{L^3 b}} \times \sqrt[4]{\frac{H w^2 + L^2 b}{L b \cdot H w}} \quad (c.p.m)$$

ここで I_s = 板の有効幅を考慮したスチフナの断面2次モーメント (cm^4)

I_f = 横桁面材の断面2次モーメント (cm^4)

m = 1パネルに取付けられたスチフナの数

L_b = 倒れ止めプラケットの心亘 (m)

H_w = 横桁ウエブの高さ (m)

○ 桁のウエブパネルの接水固有振動数(F_2)

$$F_2 = \Delta \times \frac{1.2.6}{H^2 w} \times 1.0^5 \times \sqrt{\frac{I s \cdot m}{t e \cdot L b}} \times 6.0 \text{ (c . p . m)}$$

$$\text{ここで } \Delta = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.08 L b / t e \sqrt{1 + (L b / H w)^2}}}$$

t_e = ウエブの有効板厚 = $t_w + (A \cdot m) / L b$ (cm)

t_w = ウエブの板厚 (cm)

上記、固有振動数と前述の起振振動数、すなわち、主機回転数×プロペラ翼数 = f_b および主機回転数×シリンダ数 = f_c (ディーゼル船の場合のみ) の比を横軸にとり対応するクラックの発生率 (P_s) を置点してみる。

2.4.3 調査結果の考察

それぞれ F_1 / f_b 、 F_1 / f_c 、 F_2 / f_b 、 F_2 / f_c を横軸にウエブスチフナ基部のクラック発生率 P_s を示すと図 2.4.2 の通りであり、これを B_2 、 B_4 および B_5 の各区域ごとに分けて図示すると図 2.4.3～図 2.4.5 となる。

ただし、ウエブスチフナ基部の応力との関連を見るために次の 3 つの応力域に応じて区別して置点した。すなわち、

- (イ) 応力が 50 Kg/mm^2 以下のもの……………図中○印
- (ロ) 応力が $50 \sim 100 \text{ Kg/mm}^2$ のもの……………図中●印
- (ハ) 応力が 100 Kg/mm^2 超のもの……………図中×印

ここに上記応力は前項での応力計算条件に対応するウエブスチフナ基部の最大応力である。

これは、便宜的に 3 区分しただけであるが、前項の調査結果によれば応力が 50 Kg/mm^2 以下の場合は、クラックの発生率が少いことが指摘されるので(イ)は応力の面からは、クラックの発生が低くてしかるべきグループと見ることができよう。

図 2.4.2 を見ると全体として低応力域 (○印) のクラック発生率が割合高く、ここにとり上げた区域では、必ずしも応力のみの要因でクラックが発生したのではないことをうかがわせる。

横軸上の値が整数に近い處で共振の可能性があり、その数字が大きいほど高次の振動域となる。

したがって、振動に直接関連したクラックであれば横軸上の整数域で発生率が高くなる傾向を示し、また、高次の振動ほど減衰効果が大きく、振動が起りにくいためにクラックの発生率も横軸の値の大きいほうで減少することが考えられる。

そういう面から図 2.4.2 を見ると、 F_1 / f_b 軸上の $1.0 / 2.0$ の近傍、 F_1 / f_c 軸上の $0.5 / 1.0 / 3.0$ の近傍、 F_2 / f_b 軸上の $1.0 / 3.0$ の近傍、 F_2 / f_c 軸上の $0.5 / 2.0$ の近傍で P_s が高くなる傾向にあるように思われるが、上記範囲にあっても P_s の少さい点もあり、また、全体としての分布もとくに顕著なものではないので、これが共振点での高発生であると断言はできない。

図 2.4.3～図 2.4.5 により各区域別の比較をすると、何れの区域でも F_1 / f_b 軸上では、高次側においてもかなり高い発生率を示しており、前述の横軸上 $1.0 / 2.0$ における高発生と言う現象も B_2 、 B_4 、 B_5 の区域別に分けて眺めてみると余計はっきりせず、 F_1 / f_b に関しては振動との対応はないよう判断される。

F_1 / f_c 軸に関する置点の傾向も、結論的には振動との対応つけ難いと思われる。

F_2 / f_b に関しては B_2 区域で 3.0 の近傍、 B_4 区域で 1.0 の近傍で P_s が大きくなっている。前者ではより低次の共振点に対応する處では P_s は高くなっていないが、後者すなわち B_4 区域では

多くの点が最低次の共振点近くに集まり、その半数以上が高いP_sを示している。したがって、B₄区域では多くの船の場合、桁のパネルの振動数が、桁深さが急に深くなっている影響もあって、割合低く、プロペラ翼振動数との共振を起し易い状態であったと言える。

F₂ / f_c軸に関しては既述上記と同じことが言える。

以上を要約すると、全体として応力が低い場合でもかなり高いクラック発生を示しているものもありあるが、振動との対応と言う点では、次の事項を除いてとくに顕著に指摘することができなかつた。すなわち、B₄区域におけるクラックの高発生は、桁ウェブの振動にもとづくのではないかと思われる。B₄区域は、前項の調査によれば応力との対応が最もない区域であったが、ここに振動との対応で眺めた場合、最もその可能性がありそうなことが指摘できる。この場合、問題となるのは、桁の横倒れ振動ではなく桁ウェブのパネル振動であった。

ここに用いた算式の精度の問題、実船試験の結果との対応等については、最終年度のとりまとめにおいてさらに総合的に考察を加える積りである。

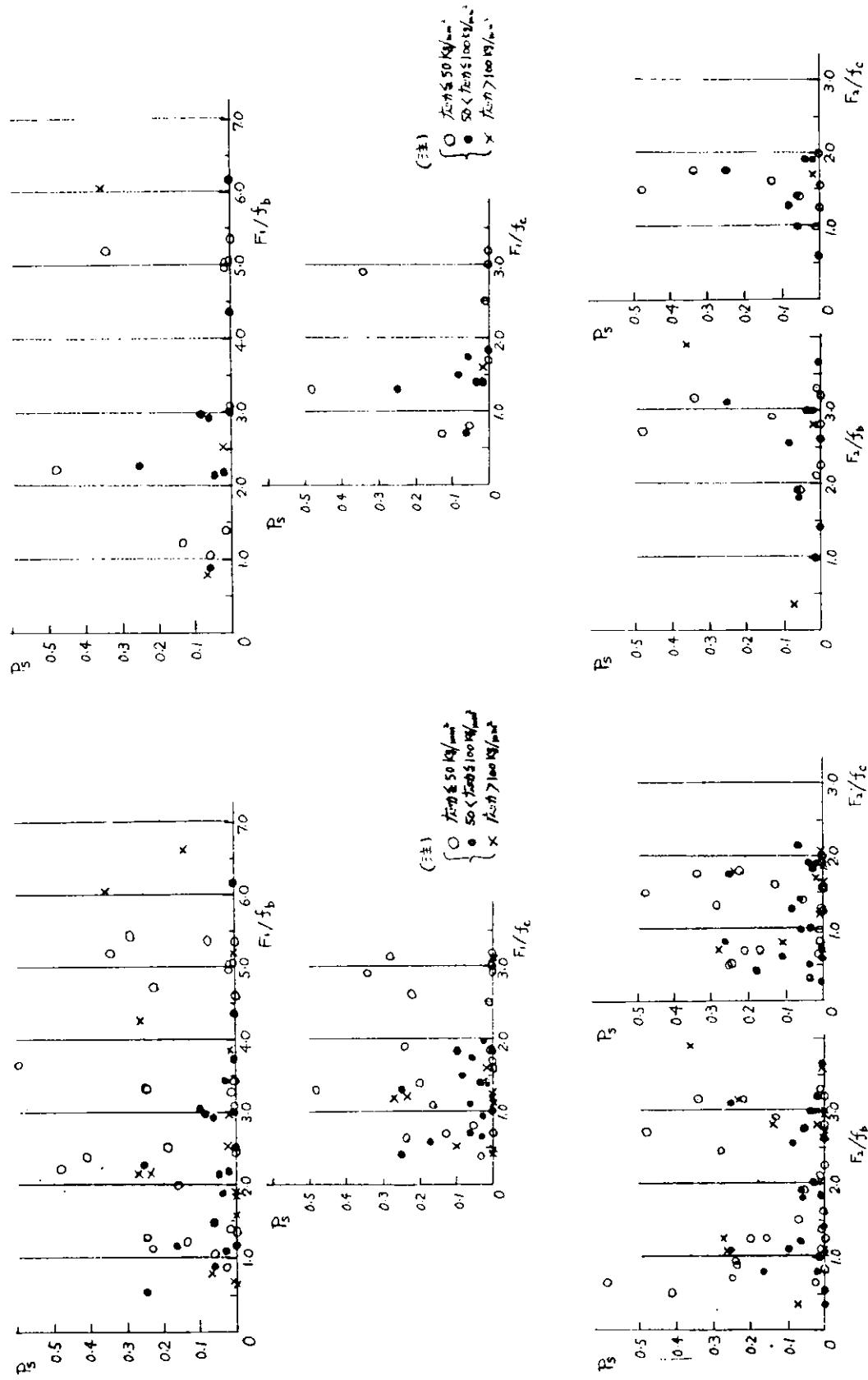


图 2.4.2 “ $B_2/B_4/B_5$ ”区域

图 2.4.3 “ B_2 ”区域

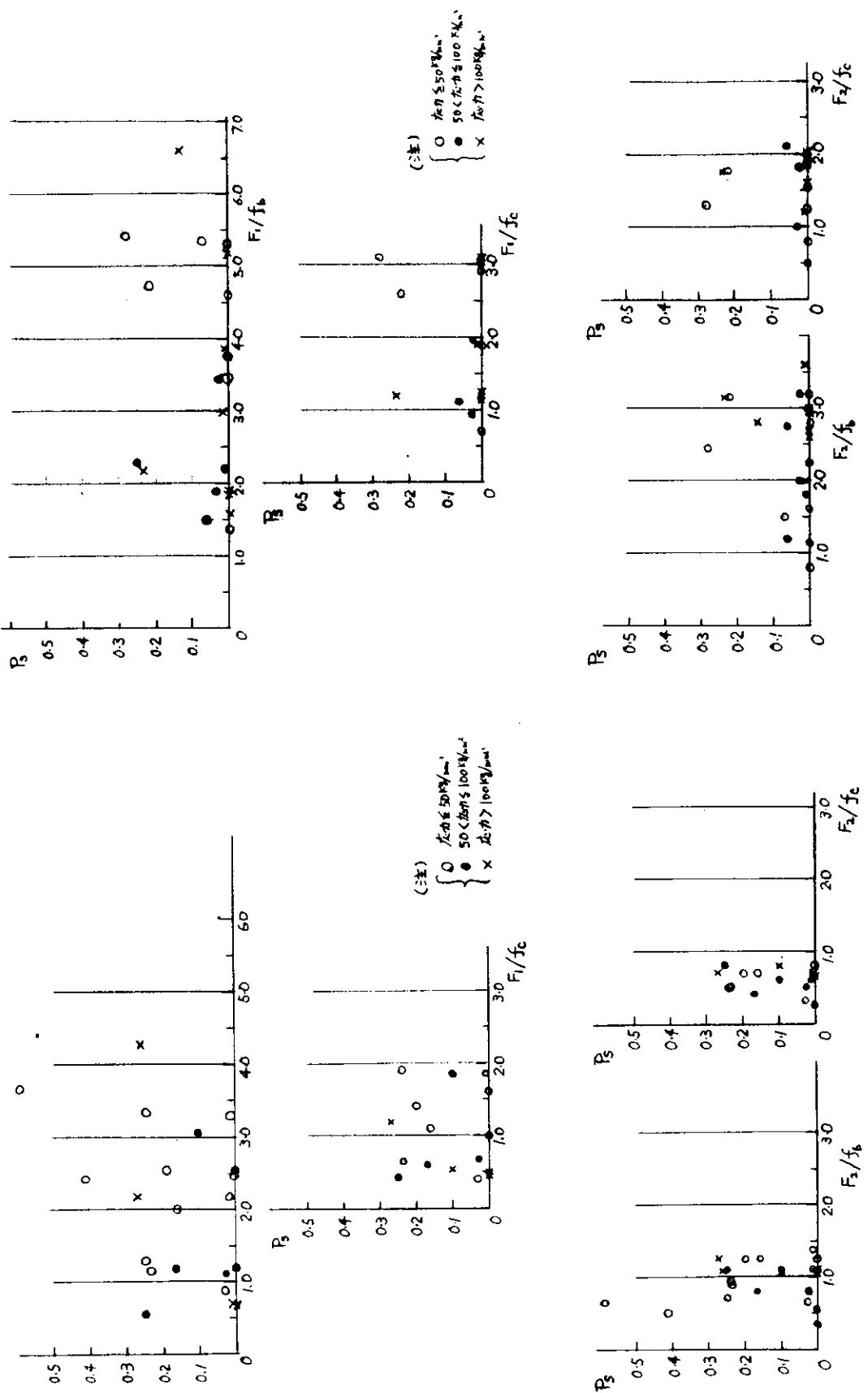


图 2.4.4 “ B_4 ”区域

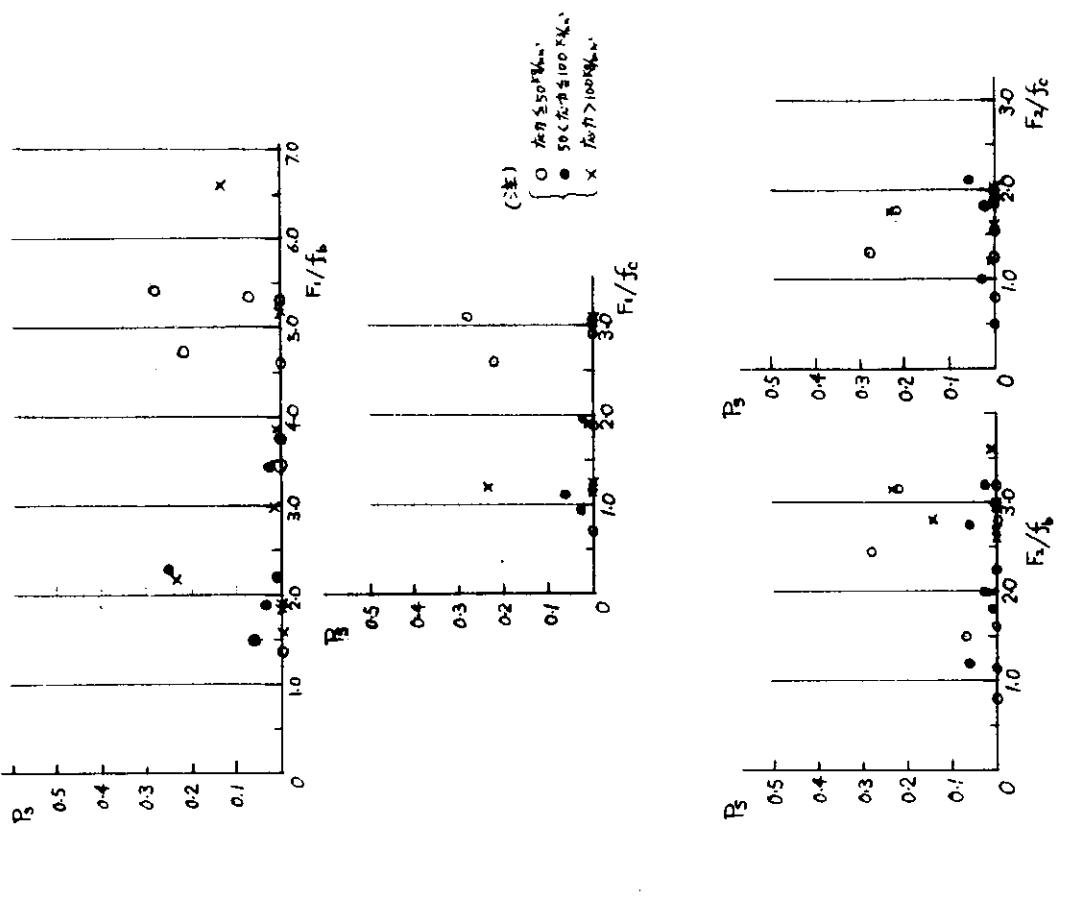


图 2.4.5 “ B_5 ”区域

2.5 経年変化に対する考察

2.5.1 調査概要

損傷発生の船合による変化をさらに詳しく調べるために、継続的に長期にわたって損傷検査が行なわれている船について、検査時ごとに船底横桁のスロット一個一個の損傷状況ならびに補修方法のデータを集めて分類した。

調査対称船の検査状況を表2.5.1に、タンク配置を図2.5.1に示す。また、検査データの記録用紙を表2.5.2に示す。

集計は、スロット周辺の損傷のうちスチフナ基部に最初に発生したクラック（以下処女クラックと記す）のみに着目して調査した。

2.5.2 損傷発生の経年変化

船令による損傷発生の一般的傾向を見るために、4隻について処女クラックの就航年数による発生分布を求めた。その結果を図2.5.2(1)～(3)に示す。発生率の母数は最終検査時までの全損傷数（処女クラックのみ）である。

これを見ると、一般にスチフナのクラックは、就航後3～4年目に多く発生し、その後は著しく減少している。

2.5.3 前後方向の損傷分布の経年変化

調査船のうちA船C船D船の3隻について各検査時のトランスごとの損傷を集計し、船長方向のクラックの進展状況を見たのが、図2.5.3(1)～(3)である。数字は最終検査時までに発生した全処女クラック数を母数とした発生率の各検査時までの累積分布である。

図中で、折線が急激に0となる点等は横置隔壁があるためである。これらについては図2.5.1の各船のタンク配置を参照されたい。

一般にバラストタンクおよび機関室付近に損傷が比較的多く見られる。前者からは高応力部との、また、後者からは船体振動との関連が推察される。

2.5.4 応力別にみた損傷発生の経年変化

調査船の各スロットについて、三井千葉研の式によりスチフナ基部応力を計算し、応力レベルごとの就航年数による発生状態を調べた。その結果を図2.5.4(1)～(4)に示す。

なお、計算に際しての荷重条件は以下の通りである。

- 集中荷重

Cargo Oil Tank	0.4 Dの水圧
Ballast Tank	0.7 Dの水圧
Cargo / Ballast Tank	

- 剪断力分布

2.3.1項を参照

また、4隻の調査船の全処女クラックの数の応力レベル別の分布は次のようにになっている。

0～20 (kg/mm)	8.7%
20～40	20.9
40～60	24.5
60 以上	45.9

図2.5.4(1)～(4)によると、経年変化の傾向として高応力部ほど損傷発生分布が早期によっていると推察される。

2.5.5 カラーの有無による損傷発生の経年変化

スロット部の構造様式のうち①F・B・スチフナのみ、②F・Bスチフナにカラーを付けたものの2つのタイプについての損傷を調査し、カラーの有無による損傷発生の傾向の差を見たのが図2.5.5(1)～(2)である。これによればカラー付きのほうがスチフナのクラック発生の時期が遅れる傾向にあると言える。

2.5.6 補修方法による損傷再発率

損傷修理後の各スロットについて、その後の損傷の再発生を調べ、スロットのタイプ別、および補修方法別に再発率を求めた。その結果を図2.5.6に示す。

図2.5.6(1)は、修理方法が補修複元のみのものである。結果から見るとF・B・スチフナおよび倒れ止めプラケットの両タイプはカラーの有無により再発率にかなり差あるが、バックプラケットの付いたスロットでは、カラーの有無にはあまり関係ない、また、再発率はバックプラケット付が他の2つのタイプと較べてかなり高くなっている。

図2.5.6(2)は修理時にカラー、バックプラケット等で補強した場合についての再発率である。

これらから、バックプラケットは補強方法としては効果的であるといえよう。

表2.5.1 調査対象船の検査状況

(1) A船 92000 DWT TANKER

検査回数	1	2	3	4	5
就航年数	1年1月	2年2月	3年1月	3年11月	4年11月
検査資料	有	無	有	有	有

(2) B船 66000 DWT TANKER

検査回数	1	2	3	4	5	6	7
就航年数	11月	1年11月	3年	4年	4年10月	5年6月	6年5月
検査資料	無	無	無	有	有	有	有

(3) C船 66000 DWT TANKER

検査回数	1	2	3	4
就航年数	1年3月	1年10月	2年10月	3年11月
検査資料	有	有	有	有

(4) D船 120000 DWT TANKER

検査回数	1	2	3	4	5	6
就航年数	8月	1年9月	2年7月	3年9月	4年5月	5年8月
検査資料	無	無	有	有	有	有

表2.5.2 檢査データの記録様式

No.	LONG	FR. 6 0	FR. 6 1			FR. 6 2			FR. 6 3 (S. BLD)			FR. 6 4			合計	
			FR. 6 0			FR. 6 1			FR. 6 3 (S. BLD)			FR. 6 4				
			No.	0	1	II	III	0	1	II	III	0	1	II	III	
9	P S (2)	- - N	- - (2)	- - N	- - S (R)	- - (2)	- - (1)	- - N	- - S (R)	- - (1)	- - S (R)	- - (1)	- - N	- - S (R)	- - (1)	- - N
10	P S (1) -	S (2) -	- - (2)	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - S (R)	- - (1)	- - N
11	P S (4) -	- - N	- - (4)	- - N	- - (4)	- - N	- - (4)	- - N	- - S (R)	- - (7)	- - S (R)	- - (1)	- - N	- - S (R)	- - (3)	- - N
12	P S (1) B (R)	S (R) N	- - S (7)	- - S (7)	- - S (R)	- - S (7)	- - S (R)	- - S (7)	- - S (R)	- - S (7)						
13	P S (1) S (R)	- - S (R)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)	- - S (7)						
14	P S (3) -	- - N	- - (3)	- - N	- - (3)	- - N	- - (3)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (3)	- - N
15	P S (1) -	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N						
16	P S (1) -	- - N	- - S (2)	- - (2)	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N	- - (1)	- - N

タンク種類

C... Cargo Oil Tank

B... Ballast Tank

D... Cargo/Ballast Tank

V... Void Space

S... Slop Tank

F... Fuel oil Tank

(1)... 斯チーナのみ
(2)... 斯チーナのみ
(3)... T. BKT. のみ
(4)... 斯チーナのないスロット
(5)... 斯チーナのないスロット
(6)... 斯チーナのないスロット
(7)... 斯チーナもウエブも損傷
(8)... 斯チーナもウエブも損傷
(9)... 斯チーナもウエブも損傷
(10)... 斯チーナもウエブも損傷
(11)... 斯チーナもウエブも損傷
(12)... 斯チーナもウエブも損傷
(13)... 斯チーナもウエブも損傷
(14)... 斯チーナもウエブも損傷
(15)... 斯チーナもウエブも損傷
(16)... 斯チーナもウエブも損傷

検査および修復記号

N... 及び空白... 検査せず

-... 損傷なし

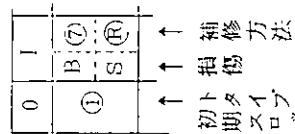
S... 斯チーナに損傷

B... 斯チーナもウエブも損傷

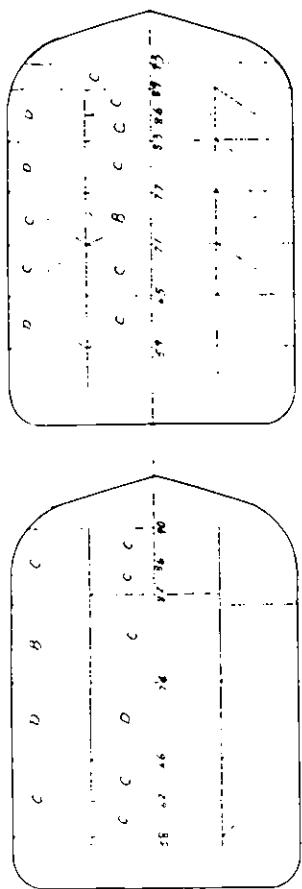
W... ウエブに損傷(クラックのみ)

(R)... 補修復元

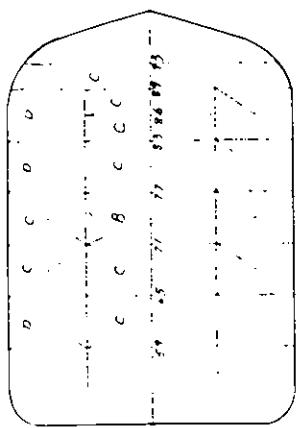
(O)... 放置



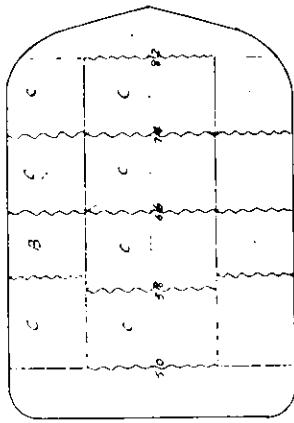
« A 船 »



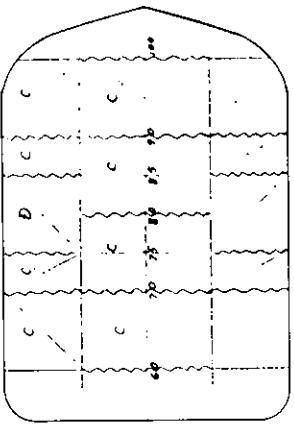
« B 船 »



« C 船 »



« D 船 »



- C. CARGO OIL TANK
- B. BALLAST TANK
- D. CARGO/BALLAST TANK

図 2.5.1 調査船のタンク配置

図 2.5.2-(1)
総本物に対する
損傷割合

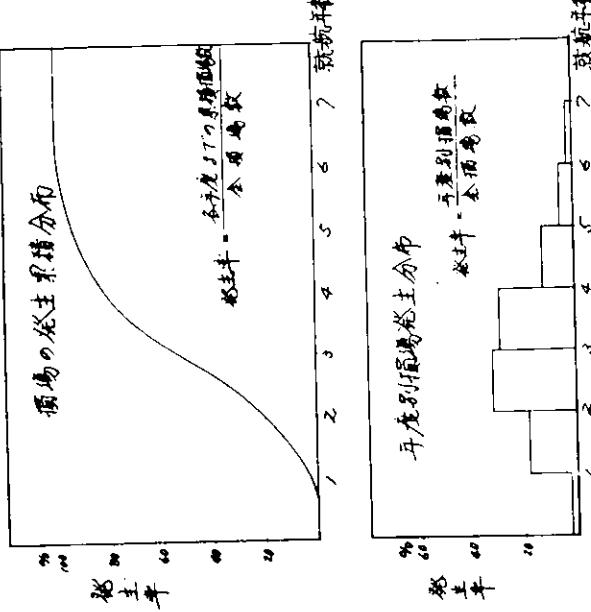


図 2.5.2(1) 損傷発生の経年変化(総体的に見た損傷について)

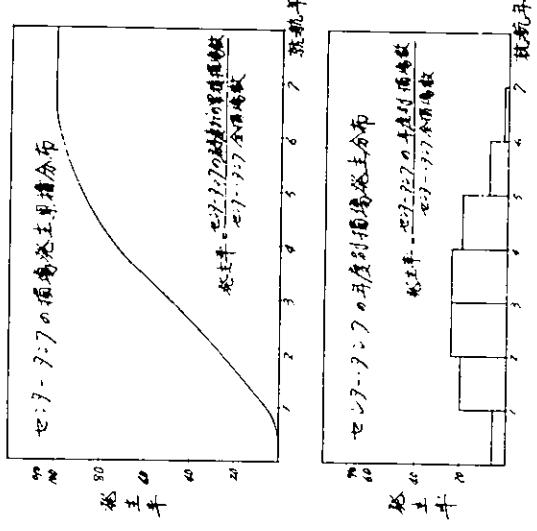


図 2.5.2(2) 損傷発生の経年変化
(センター・タンクの損傷について)

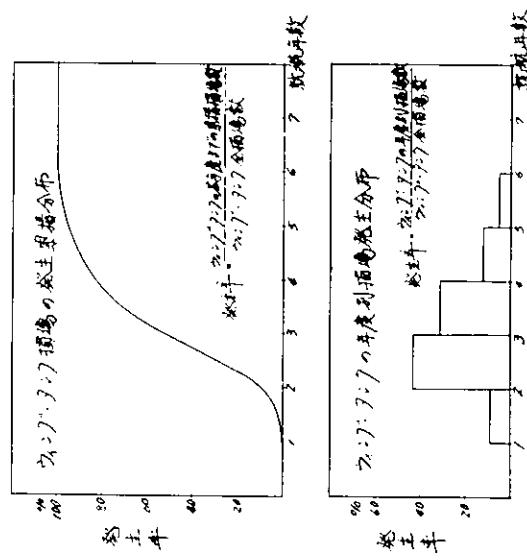


図 2.5.2(3) 損傷発生の経年変化
(ウイング・タンクの損傷について)

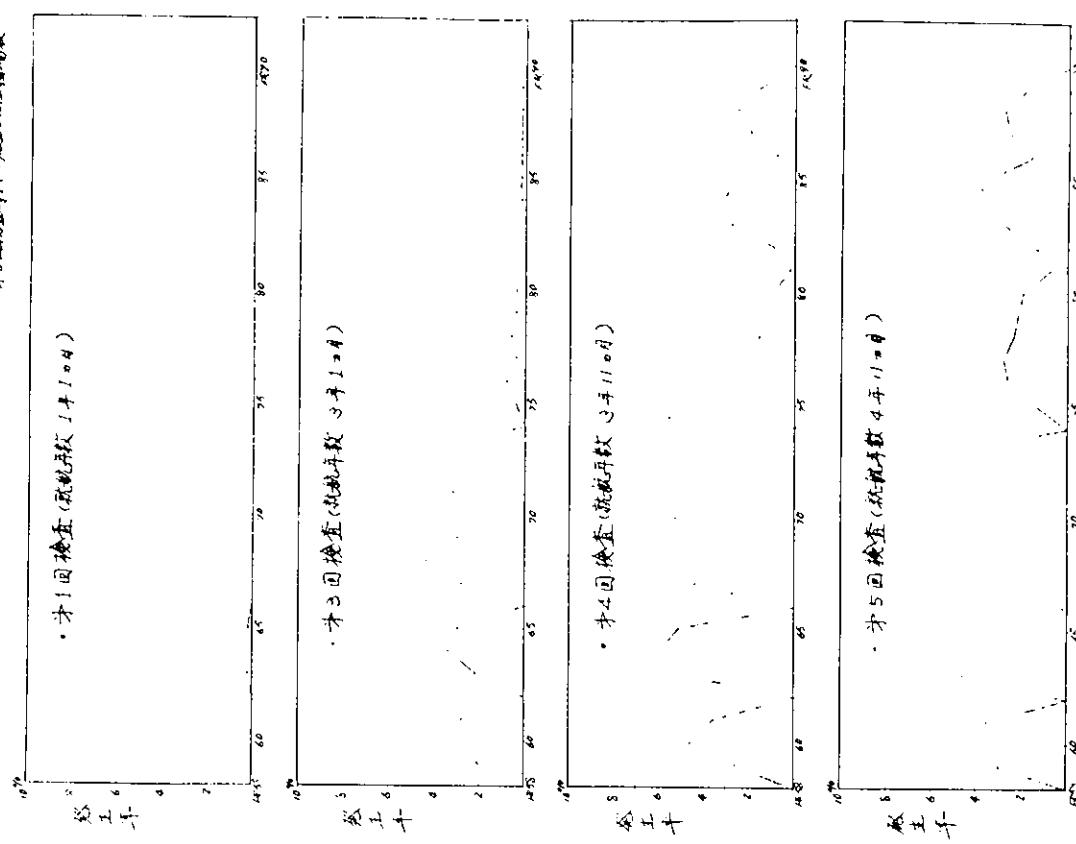


図 2.5.3(1a) 前後方向損傷分布の経年変化 (A 船の全合計)

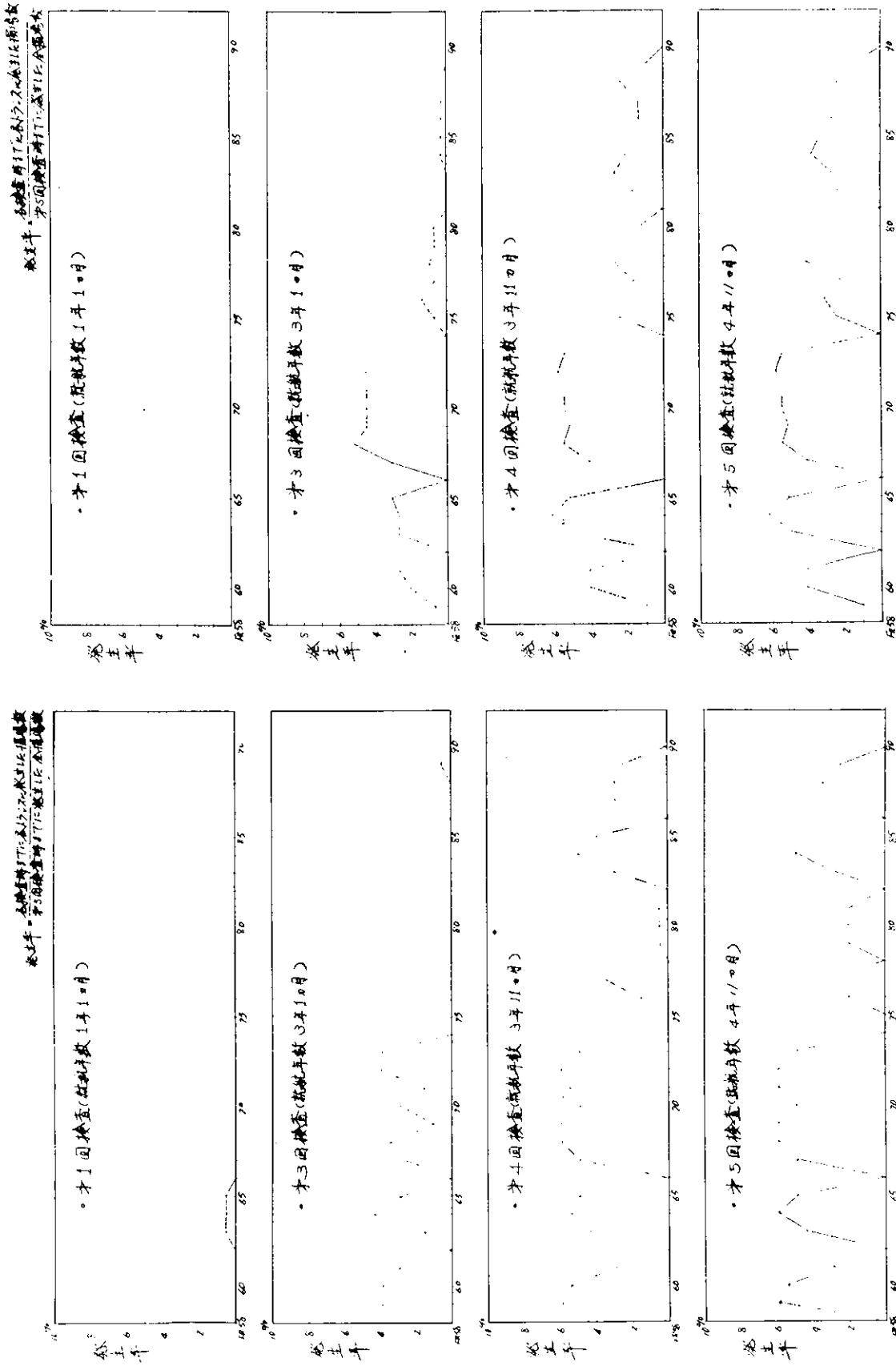
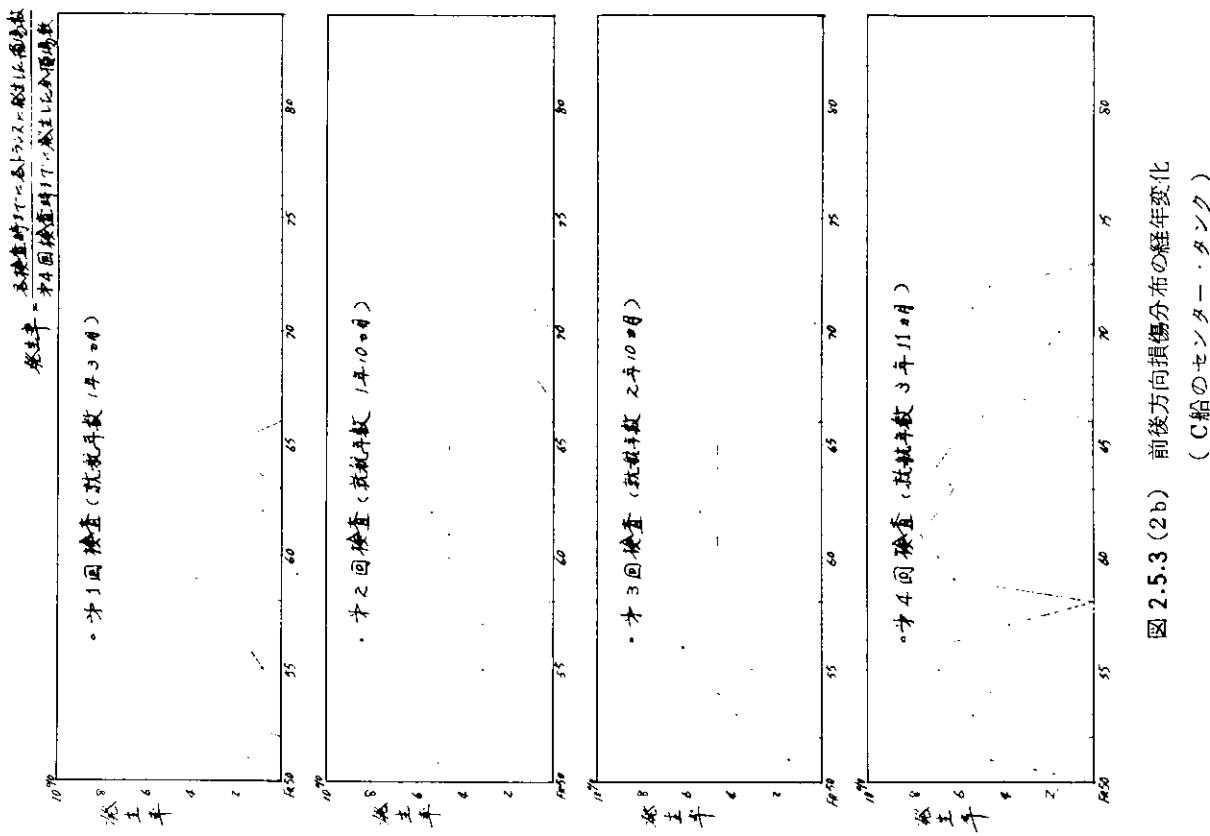
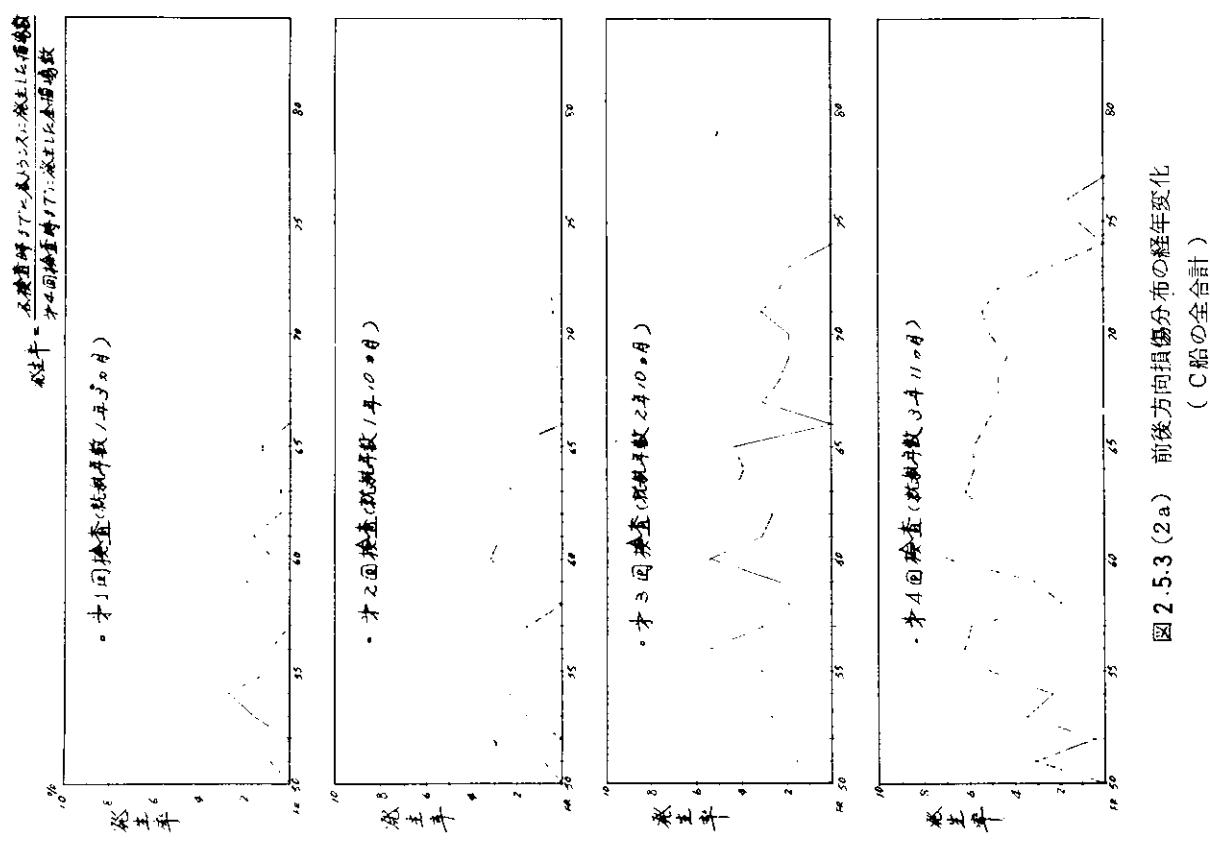


図 2.5.3 (1b) 前後方向損傷分布の経年変化
(A船のセンター・タンク)

図 2.5.3 (1c) 前後方向損傷分布の経年変化
(A船のウイング・タンク)



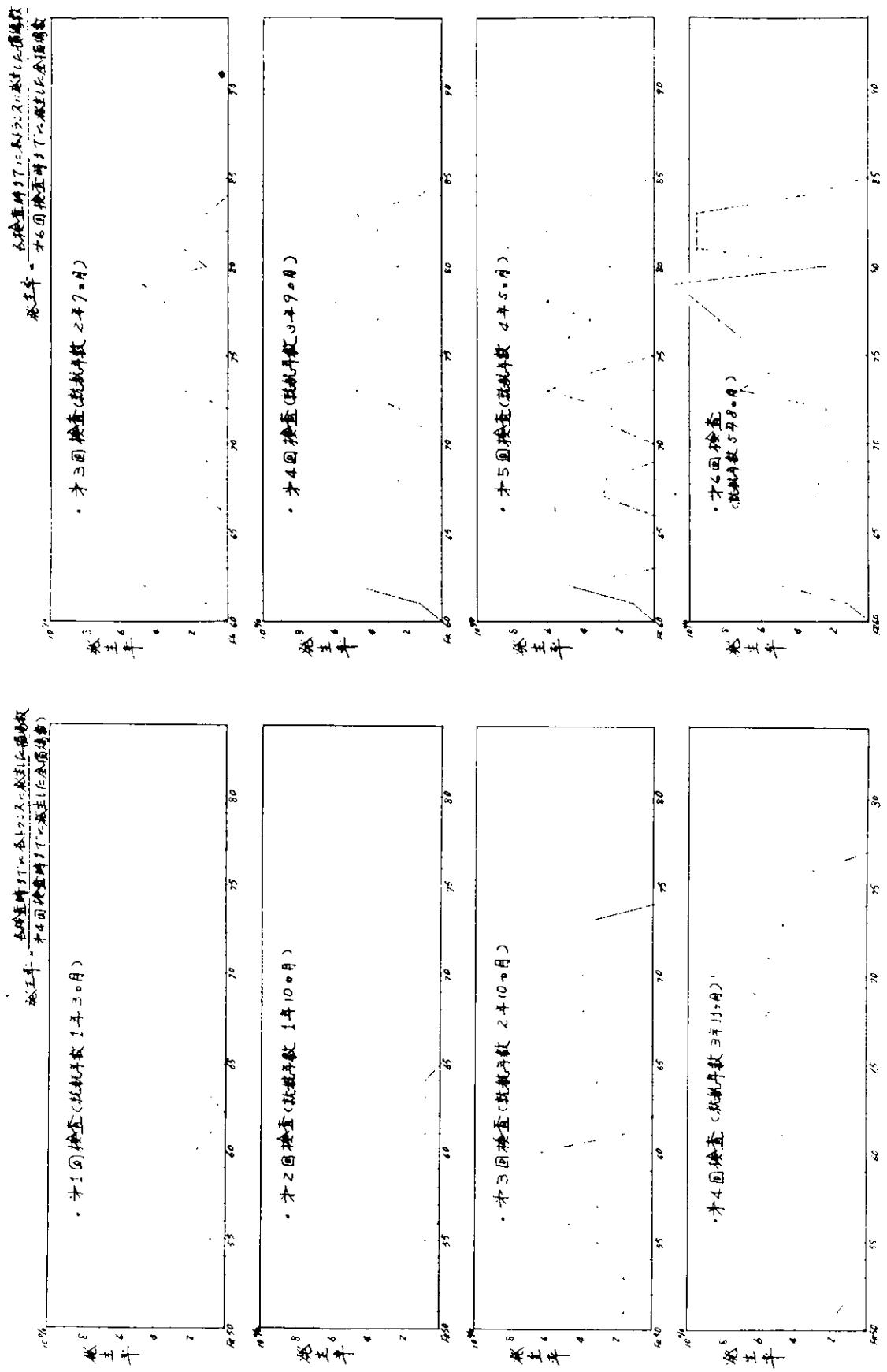


図 2.5.3 (2c) 前後方向損傷分布の経年変化
(C船のウイング・タンク)

図 2.5.3 (3) 前後方向損傷分布の経年変化(D船の全合計)

●年生率の変動による応力レベル別に見た損傷発生率

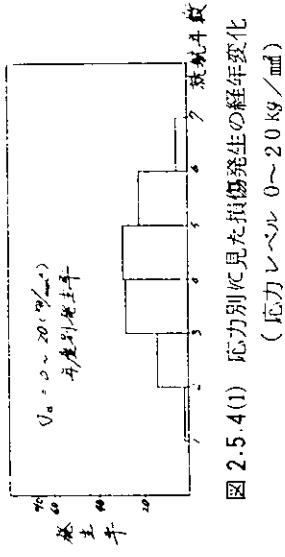
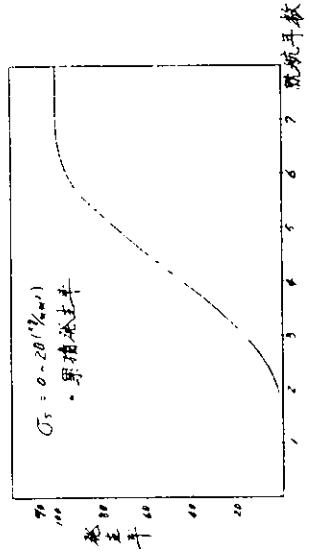


図 2.5.4(1) 応力別に見た損傷発生の経年変化
(応力レベル 0~20 kg/mm²)

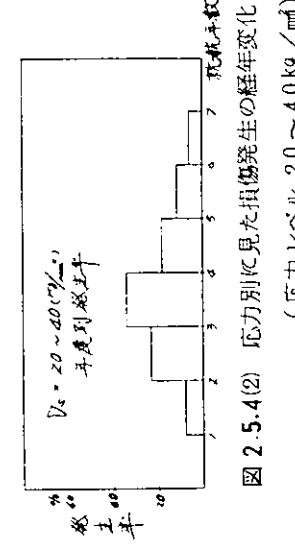
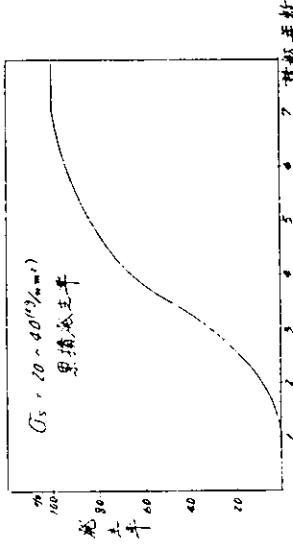


図 2.5.4(2) 応力別に見た損傷発生の経年変化
(応力レベル 20~40 kg/mm²)

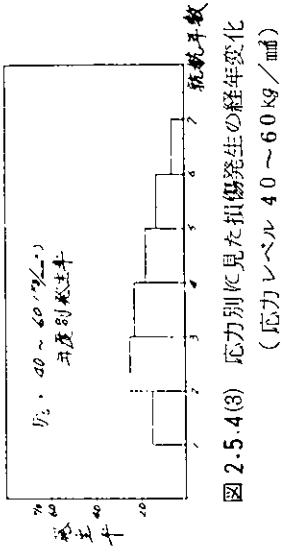
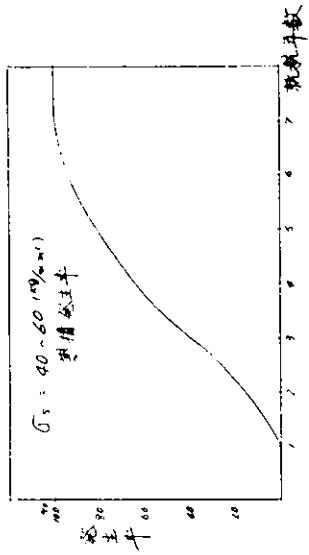


図 2.5.4(3) 応力別に見た損傷発生の経年変化
(応力レベル 40~60 kg/mm²)

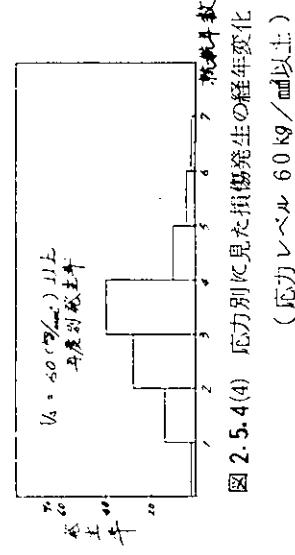
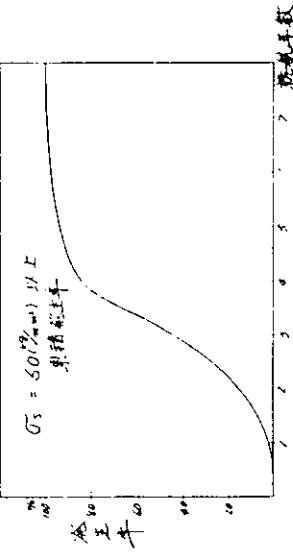


図 2.5.4(4) 応力別に見た損傷発生の経年変化
(応力レベル 60 kg/mm²以上)

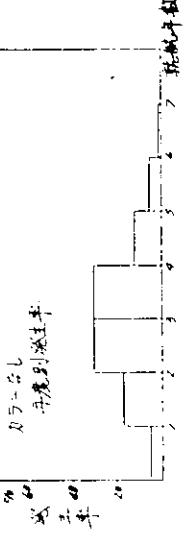
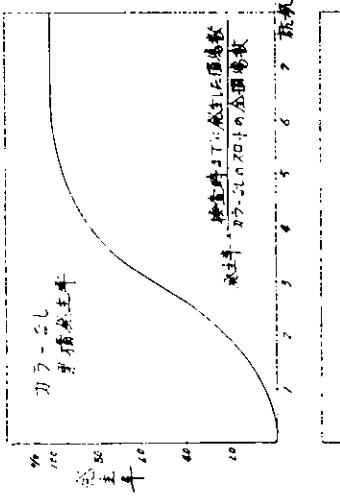


図 2.5.5(1) カラーの有無による損傷発生の経年変化
(F.B.Schaffnerのみ、①タイプ)

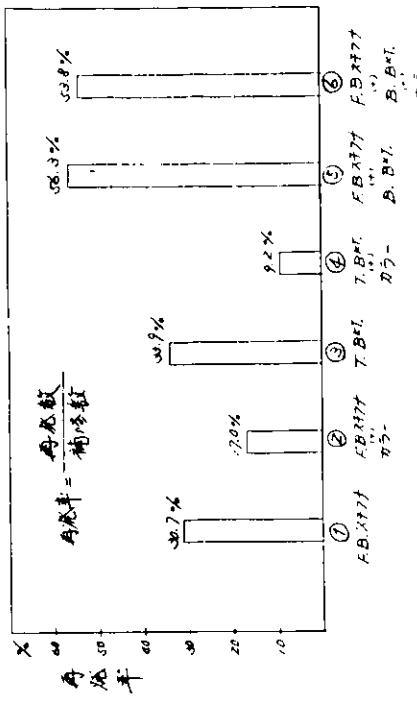


図 2.5.6(1) 補修方法による損傷再発率
(損傷時補修復元のみのもののタイプ別損傷再発率)

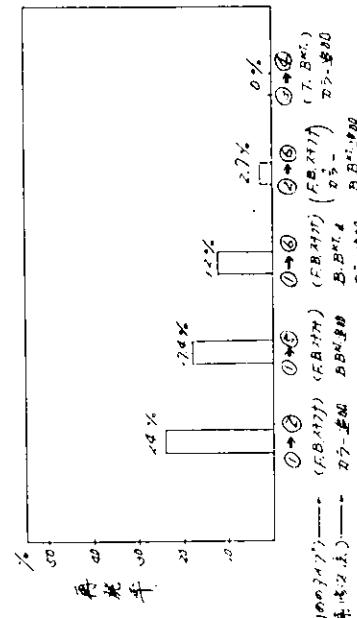


図 2.5.6(2) 補修方法による損傷再発率
(補修方法によるタイプ別損傷再発率、補修後 1年目)

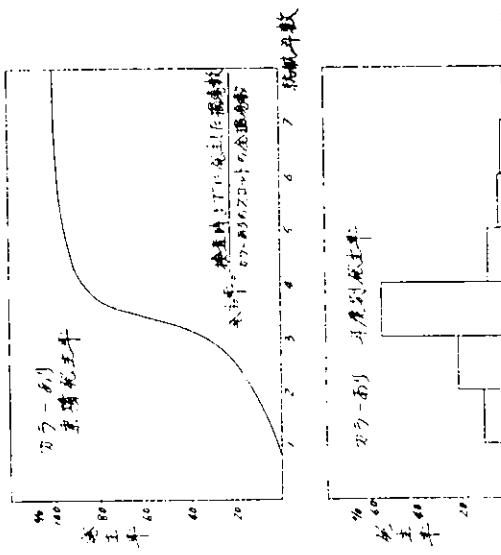


図 2.5.5(2) カラーの有無による損傷発生の経年変化
(F.B.Schaffnerにカラーを付けたもの、②タイプ)

3. 小型模型疲労試験

3.1 まえがき

本年度は前年度（昭和45年度）に引き継いで4箇所で分担（東京、N.K.、三菱、川重）し、トランスリンクの材を対称とした前年度と同じ型式のガーダ模型60個を製作し、これを用いてスロット周辺の疲労クラックの発生の状態、破壊状況などを調査研究する。

本年度は、前年度実施した予備的Testの実験点の穴を埋めS-N曲線をより完全なものとし、実船のスロット周辺の設計のための資料を得ることを目的とする。

- 特に (1) カラーの効果（東大、三菱）
(2) 平均応力の影響（N.K.）
(3) High Cycle領域のS-N曲線（川重）
(4) 特殊型（三菱）

などに重点をおいた。

(1) 実験の内容

(a) 実験の方法

前年度の実験結果から、分担場所による実験点のバラツキは比較的少なかったので、前年度通りの方法によった。また、静的強度も測定することとする。（実験方法の詳細については、前年度の報告書を参照のこと）

(b) 試験体

試験体のVariationとしては、

- (1) Web stiffenerの形状
(2) BackingおよびTripping Bracketの形状
(3) Collar Plateの種類
(4) Slot周りの形状
(5) 新しいStiffeningの方式

を考慮した前年度の模型のうち、（図3.2参照）、表3.1に示すように各分担場所において各12個～18個計60個の模型について実験を行なった。これらの模型は三菱および川重で製作された。

(c) 試験体の寸法

試験体の形状は図3.1に示す。またStiffenerおよびSlot部の形状寸法を図3.2に示す。

(2) その他

- (a) 本試験の結果は、各分担場所ごとに以下に報告される。
(b) 昭和47年度には、小型模型疲労試験結果の取りまとめを総合的に行なう予定であるが、この際、三井千研も参加して実験結果の解析、設計へのfeed backなどの調査を行なうことになった。
(c) 残された問題点としては、以下のものが考えられる。
(a) 腐蝕とスロットまわりの疲労強度(SR128)
(b) 寸法効果
(c) 実船損傷との比較検討による設計への適用
(d) 取りまとめのための応力計算等は、三井、日立の計算グループで行なうことになっている。

表 3.1 昭和 46 年度 小型試験模型一覧表

分但 模型の 記号 場所	模型作成会社													
	A	B	C	A S	D	A N	B N	A P	A M	I	C K	M	P	計
東 大	5	5				2	3						1 5	三
三 美										3	1	8	1 2	美
N K		1 0											1 5	川
川 葛		1 5								3			1 8	重
													6 0	計

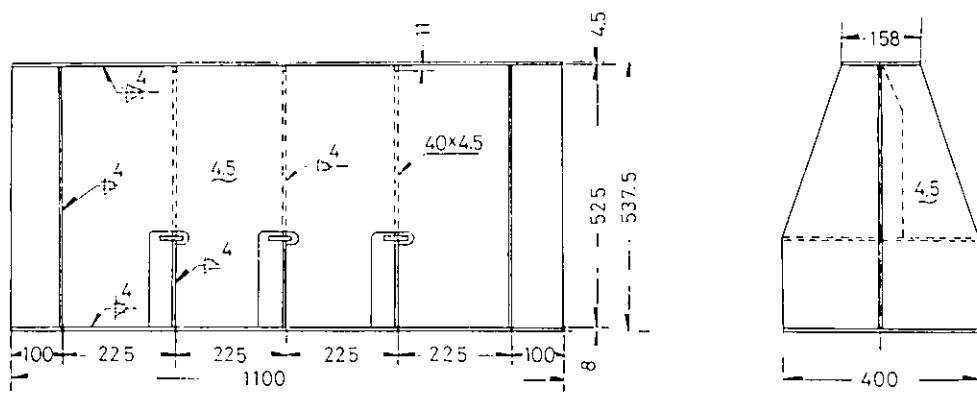


図3.1 試験体の形状

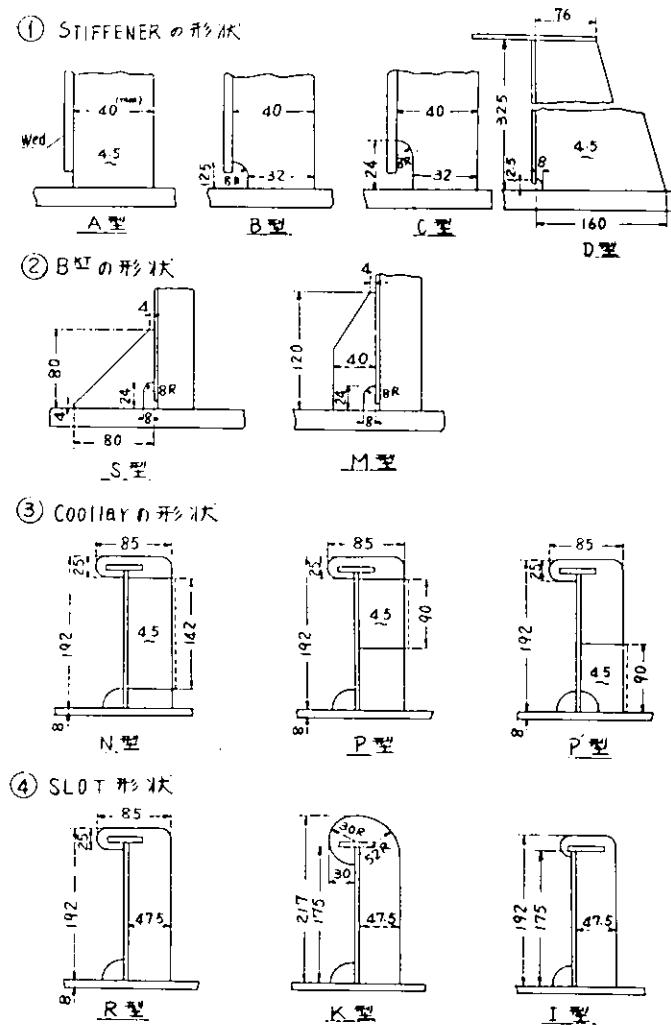


図3.2 STIFFENER, BKT, COLLAR,
SLOT の形状寸法

3. 2 東京大学における模型疲労試験

3.2.1 試験内容

表 3.2.1

型式	数	試験体符号
A T ₀	5	A T ₀ -4, A T ₀ -5, A T ₀ -6, A T ₀ -7, A T ₀ -8
C T ₀	5	C T ₀ -4, C T ₀ -5, C T ₀ -6, C T ₀ -7, C T ₀ -8
A N T ₀	2	A N T ₀ -2, A N T ₀ -3
N T ₀	3	N T ₀ -2, N T ₀ -3, N T ₀ -4

表 3.2.1 に示される 15 個の模型について前年度と同様の方法により疲労試験を実施した。

- (1) A 型, C 型は主として前年度の資料不足を補うための追加試験である。
- (2) 本年度は A 型, C 型および B N 型各 1 個について特に静荷重による破断試験を行なった。
- (3) A N 型, B N 型は、主としてカラーの効果を確認するためのものである。

3.2.2 実験結果

静荷重 3.0 t におけるスチフナ部の応力を計測した。図 3.2.1 に Strain Gauge の貼付位置を示し図 3.2.2 に応力分布の結果を示す。図 3.2.3, 図 3.2.4, 図 3.2.5 は A T₀-8, C T₀-8, N T₀-4 の試験体で静荷重破断試験を行なったときの 3.0 t におけるスチフナ基部の応力分布を示している。図 3.2.6, 図 3.2.7, 図 3.2.8 は上記の静荷重破断試験における荷重 8 t, 12 t, 16 t のときの基部の歪分布を示す。疲労試験の結果は表 3.2.2 に示す通りである。図 3.2.9 は A T₀ 型、図 3.2.10 は C T₀ 型、図 3.2.11 は A N T₀ 型および N T₀ 型の疲労試験の結果で、スチフナの亀裂発生および破断との繰返し数の関係図である。なお、図中の実験点の右肩にある数字は試験体の番号を示し、数字のない実験点は前年度(昭和 45 年度)の実験点である。図 3.2.10 の C T₀ 型の試験体、5 および 7 はスチフナ基部の溶接の不良によりスチフナの母材は破断せず、溶接部が剥離したため、少ない繰返し数で亀裂の発生およびスチフナの破断が起っており、実験点からは除外している。

図 3.2.12 ~ 図 3.2.22 はスチフナおよびスロット部の亀裂の発生と進展の状態を示したものである。図 3.2.20 に示すように A N T₀-2 はスロット、ウェブの亀裂が左、右それぞれ約 120 mm および 90 mm に達したが、繰返し数が 10⁶ になり以後の進展が遅いため実験を中止した。また図 3.2.21 の N T₀-2 の試験体はスチフナ破断後 N = 16,500 にてスロットとウェブの溶接部が溶接線に沿って下から縱に破断したので以後の実験は中止した。

図 3.2.23 ~ 図 3.2.25 は、それぞれ A T₀ 型、C T₀ 型、N T₀ 型の静的破断試験の結果で、試験体中央部に dial gauge を置き試験体の撓みを計測した。図は撓みと荷重の関係を示し、A T₀ 型についてはスチフナのウェブ側(高応力側)から亀裂が発生しそのまま破断に至ったが、C T₀ 型、N T₀ 型は始めに高応力側のスチフナ断面(板厚)に亀裂は発生したが、亀裂は進展せずに、低応力側から亀裂が発生し進展して破断に至った。図 3.2.26, 図 3.2.27, 図 3.2.28 は静的破断試験を N = 1/2 として疲労試験との関連を示したものである。

3.2.3 考察

本年度の実験の目的の 1 つである A T₀ 型および C T₀ 型の資料不足を補い、かつ実験結果の信頼性の確認をすることとは、図 3.2.26 および 図 3.2.27 に見ると、本年度の実験結果と前年度のそれとは極めてよい相関を示したことにより達成された。ただし、図 3.2.27 における試験体(5)および(7)はスチフナ基部の溶接不良から基部隅肉の溶着金属とスチフナ母材との間に剥離を生じたため data から除外した。

また、本年度は三体について静的破断試験も併せて実施し、疲労試験との相関を求めた。図3.2.26 図3.2.27 および図3.2.28 からも明らかなように静的荷重試験における亀裂発生点は AT₀, CT₀, NT₀ の何れの試験片でもほとんど差はなく、わずかにカラ-のもの NT₀ 試験片が優れているようである。しかし、最高荷重については、CT₀ < AT₀ < NT₀ の順に高く明らかに有意の差が認められる。AT₀型はスチフナの巾が広いだけ CT₀型より強く、NT₀型はカラ-が有効に働いていると考えられる。カラ-の効果については、上述の通り静的最終強度にも有効であると同時に疲労寿命にも有効であることは明らかである。すなわち、図3.2.26, 図3.2.27 および図3.2.28 に見られるように、A型は亀裂が最も早く発生し、(5 × 10³ at 10 ton) C型と N型とは(10⁴ at 10 ton) でほぼ同程度である。A型と C型とはスチフナ破断までの繰返し数では略々同じ(6 × 10⁴ at 10 ton) で N型は(10⁶) のオーダーである。このことからカラ-は、亀裂の発生では C型に匹敵し、寿命でははるかに A, C型より良いことが明らかにされた。

本研究は昭和47年度に最終取りまとめを行なう予定であるが、昭和46年度の実験結果に関する中間的結論は以下の通りである。

- (1) AT₀型, CT₀型の実験値は前年度の結果とよい相関を示し、実験の信頼性が確かめられた。
- (2) 3体の静的荷重試験により P-N 曲線の全貌が推定できた。
- (3) 上述の静的試験による亀裂発生には顕著な差異はないが、最終強度には有意の差があり、カラ-の効果が認められた。
- (4) 前年度の推定通り、亀裂発生は A型が最も早く、C, N型はほぼ同程度であり、スチフナ破断は、A, C型に差はなく、N型は遙かに強いことが確認された。したがって、発生と破断および静的強度の何れの面からもカラ-が有効であると推論される。

表3.2.2 実験結果

試験片 符 号	繰返し荷重 t _{0n}			スチフナ		スロット		備 考
	上限	下限	亀裂発生	破 断	亀裂発生	破 断	亀裂発生	
A T ₀ - 4	16.0	1.5	400	6900	7100	—	11000	
A T ₀ - 5	14.1	1.6	900	7800	8700	—	15000	
A T ₀ - 7	12.0	1.2	2500	22200	22800	—	36200	
A T ₀ - 6	10.0	1.3	4200	63500	65800	—	100800	
A T ₀ - 8	—	—	(22.0t)	(28.0t)	(27.6t)	—	N = ½ 静的破断試験	
C T ₀ - 4	13.8	1.4	1200	11400	12000	—	15900	
C T ₀ - 5	10.1	1.1	2000	25400	45100	—	66500	スチフナ基部の溶接部剥離
C T ₀ - 6	10.1	1.0	7500	53200	55000	—	81300	
C T ₀ - 7	6.0	0.6	30000	267000	430000	—	602900	スチフナ基部の溶接部剥離
C T ₀ - 8	—	—	(21.0t)	(22.0t)	(26.5t)	—	N = ½ 静的破断試験	
A N T ₀ - 2	12.0	1.2	2500	105600	249400	(1007.000)	スロット部危険約120mmにて中央	
A N T ₀ - 3	(22.0)	(2.2)	(150)	(30.0)	—	—	荷重操作にミスがあり参考データである	
N T ₀ - 2	16.0	1.6	1000	163000	140600	—	N = 165000にて Web溶接線に沿って下から縦に破断	
N T ₀ - 3	8.0	0.8	26000	1457300	—	—	スチフナ破断後中止	
N T ₀ - 4	—	—	(24.0t)	(34.0t)	—	—	N = ½ 静的破断試験	

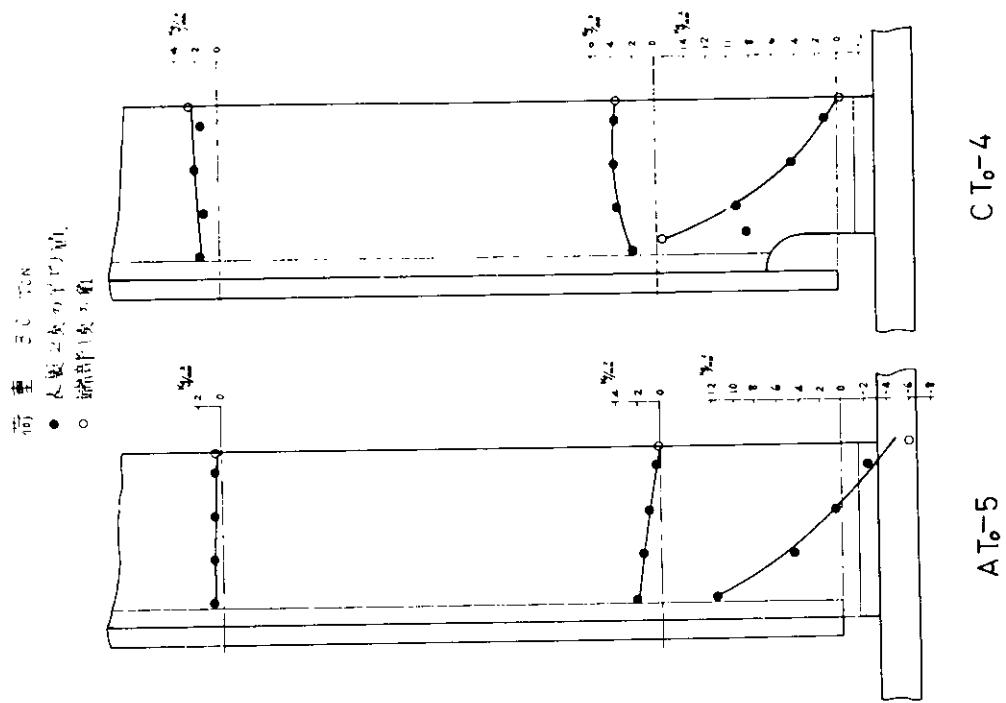
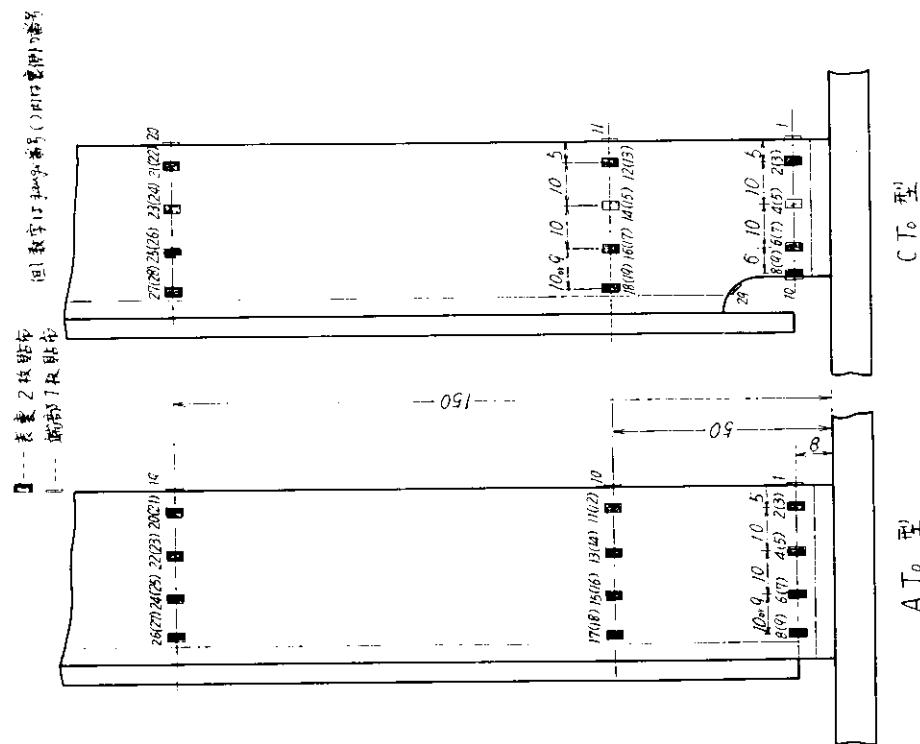


圖 3.2.1 gauge 貼布位置と番号

圖 3.2.2 応力分布 (STIFFENER)

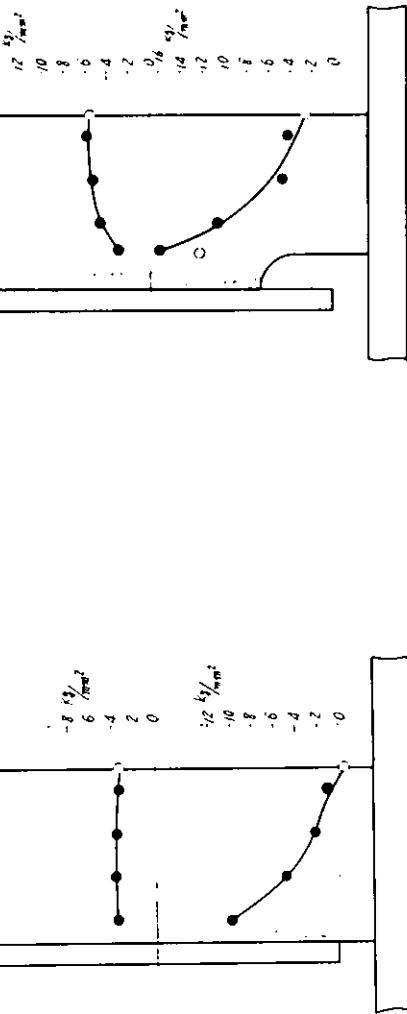
A T₀-5

C T₀

C T₀-4

図3.2.4 静的破断試験の3.0 Tonにおける応力分布

図3.2.3 静的破断試験の3.0 Tonにおける応力分布



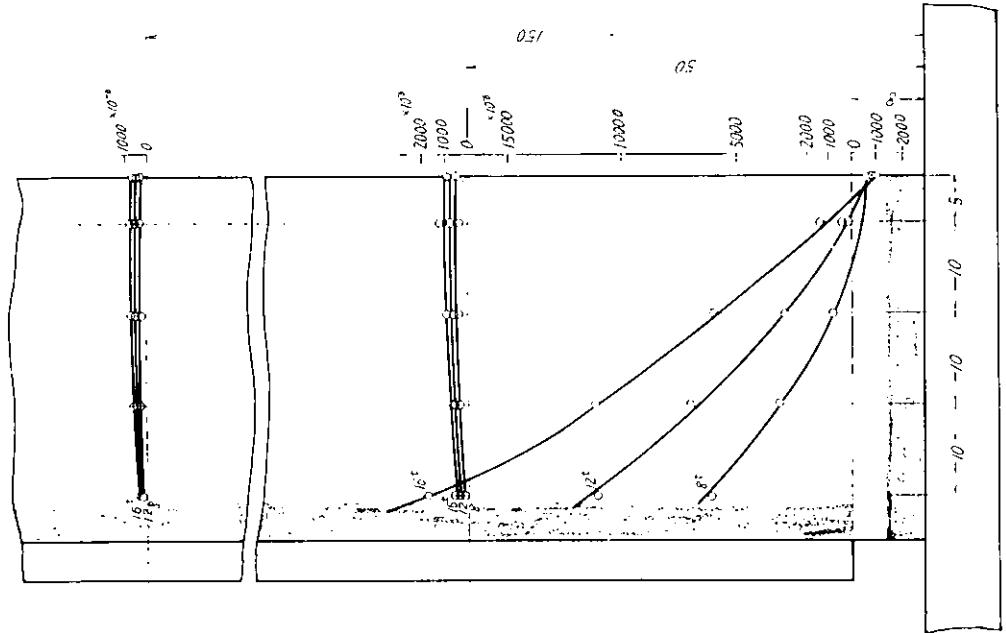


図3.2.6 立 分 布
A T₀-8

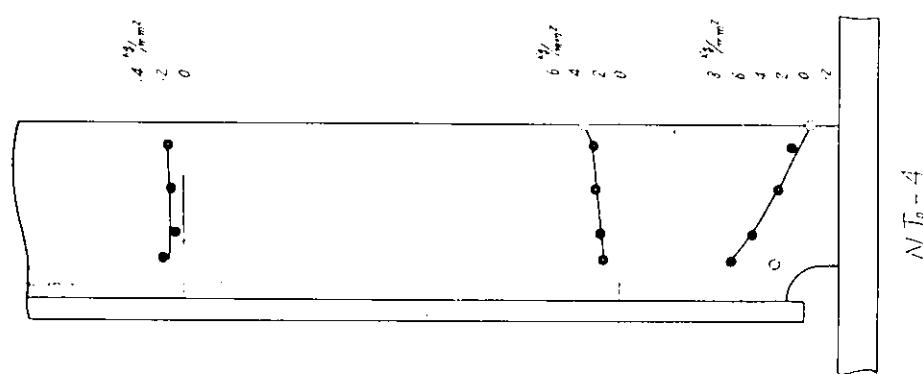
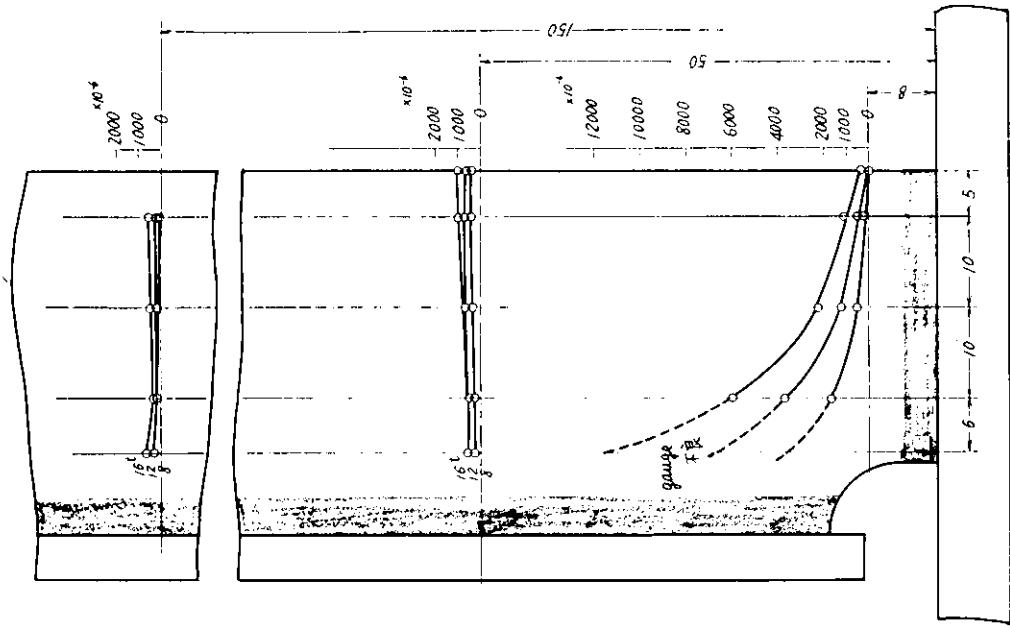


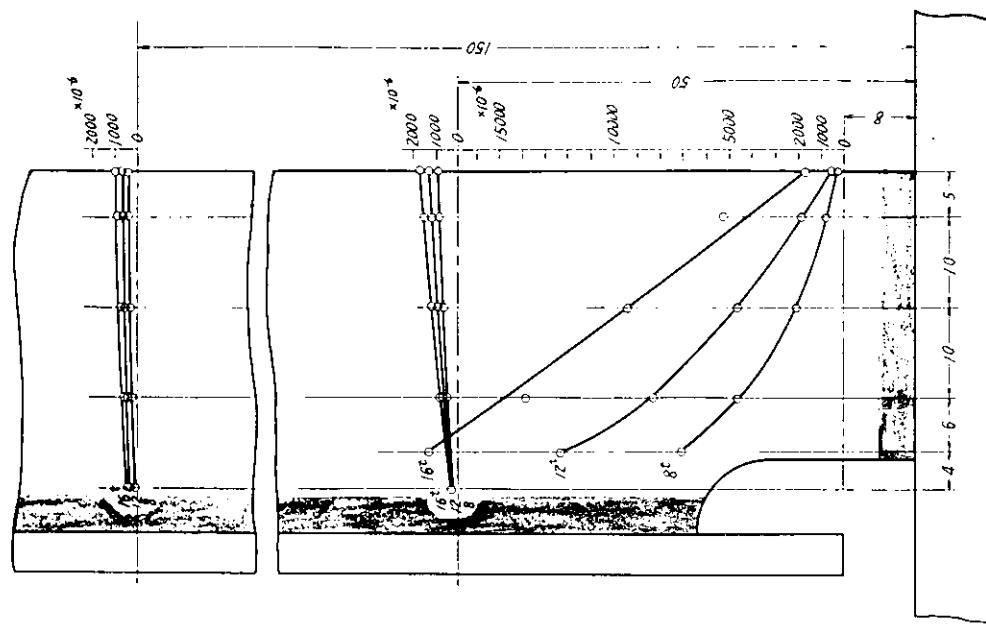
図3.2.5 静的破壊試験の3.0 Tonにおける応力分布
A T₀-4

図3.2.8 歪分布



N T₆-4

図3.2.7 歪分布



C T₆-8

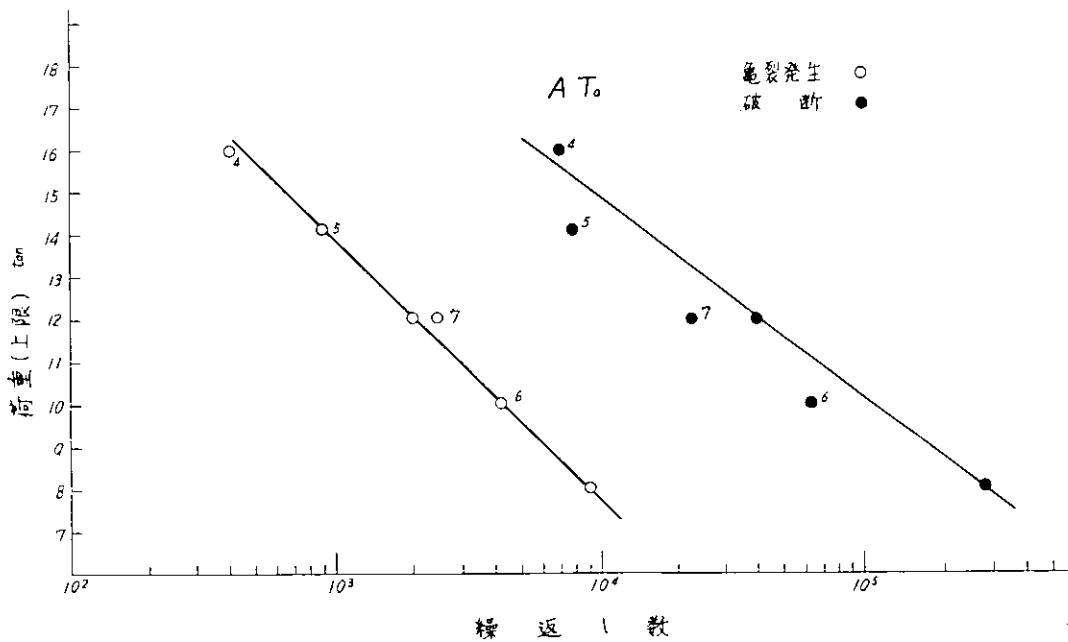


図3.2.9 スチフナの亀裂発生と破断

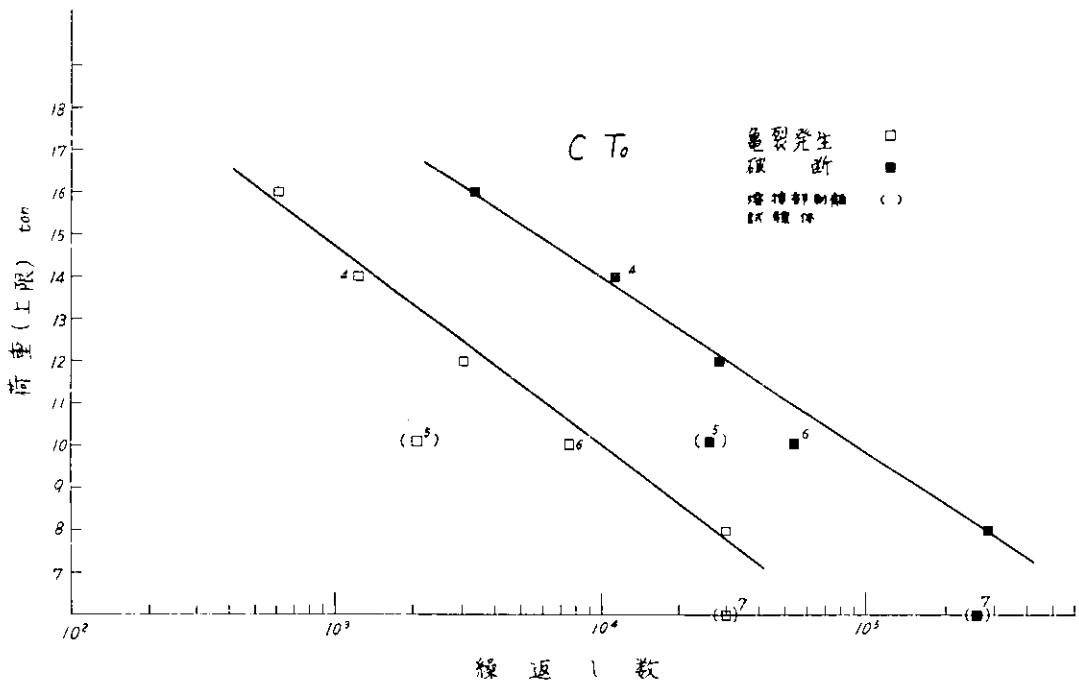


図3.2.10 スチフナの亀裂発生と破断

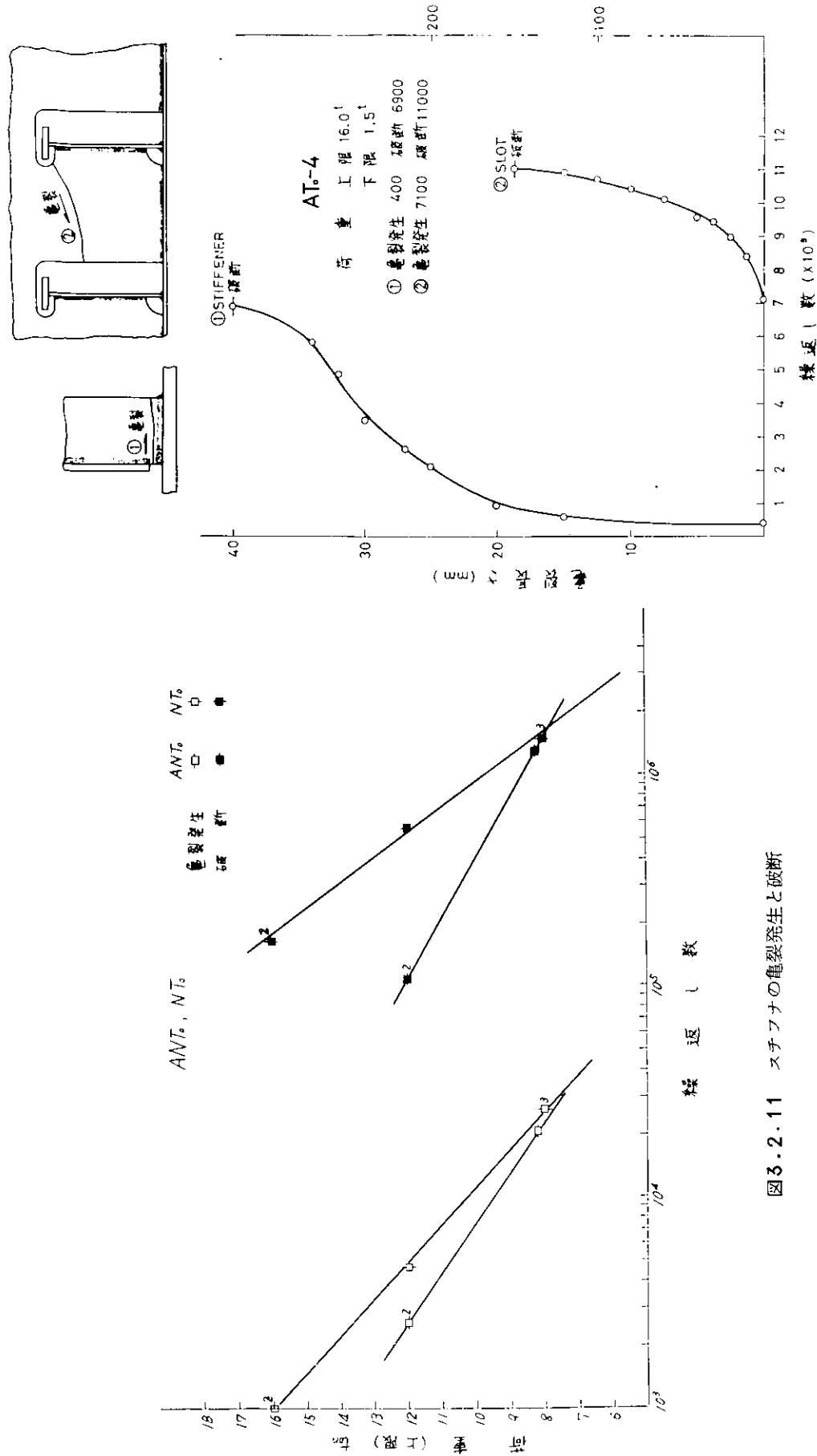


図3.2.11 スチフナの亀裂発生と破断

図3.2.12

図3.2.14

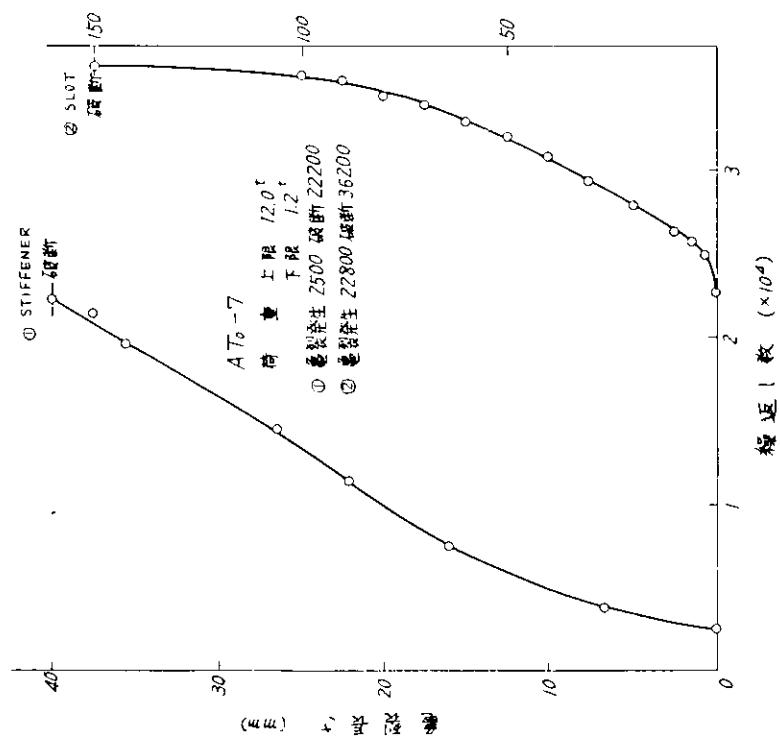


図3.2.13

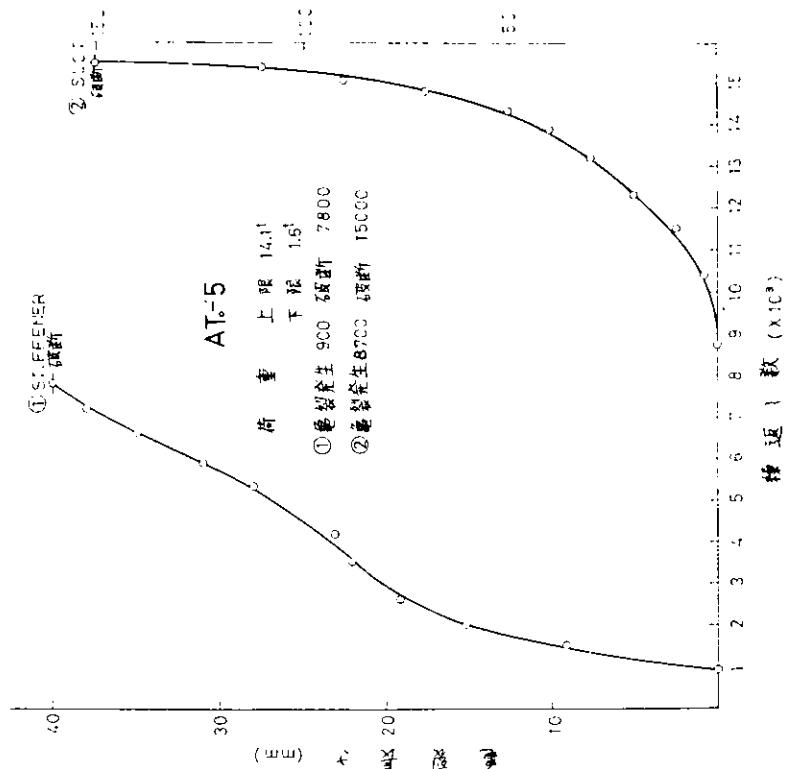


図3.2.16

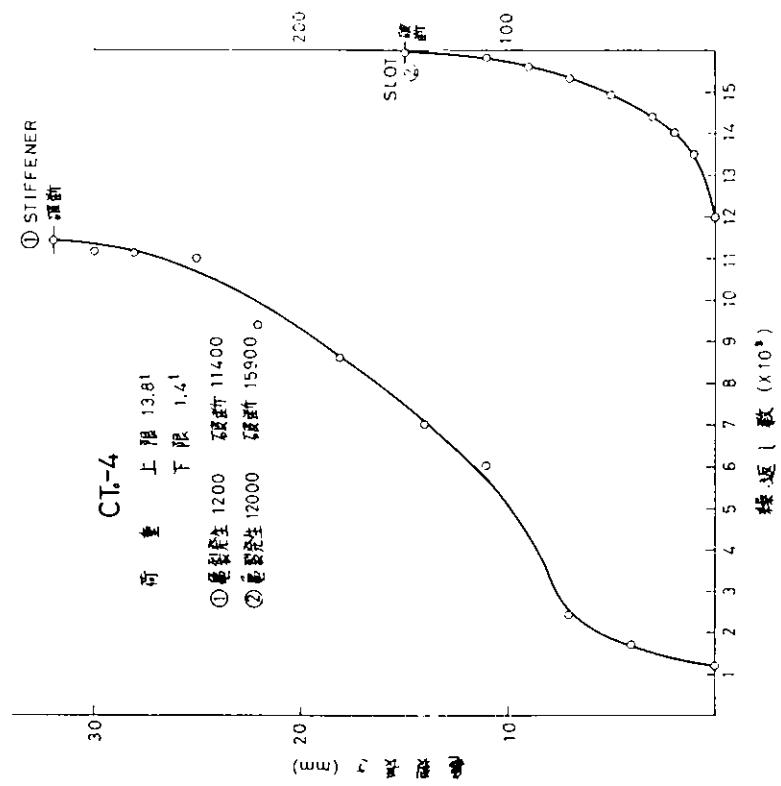


図3.2.15

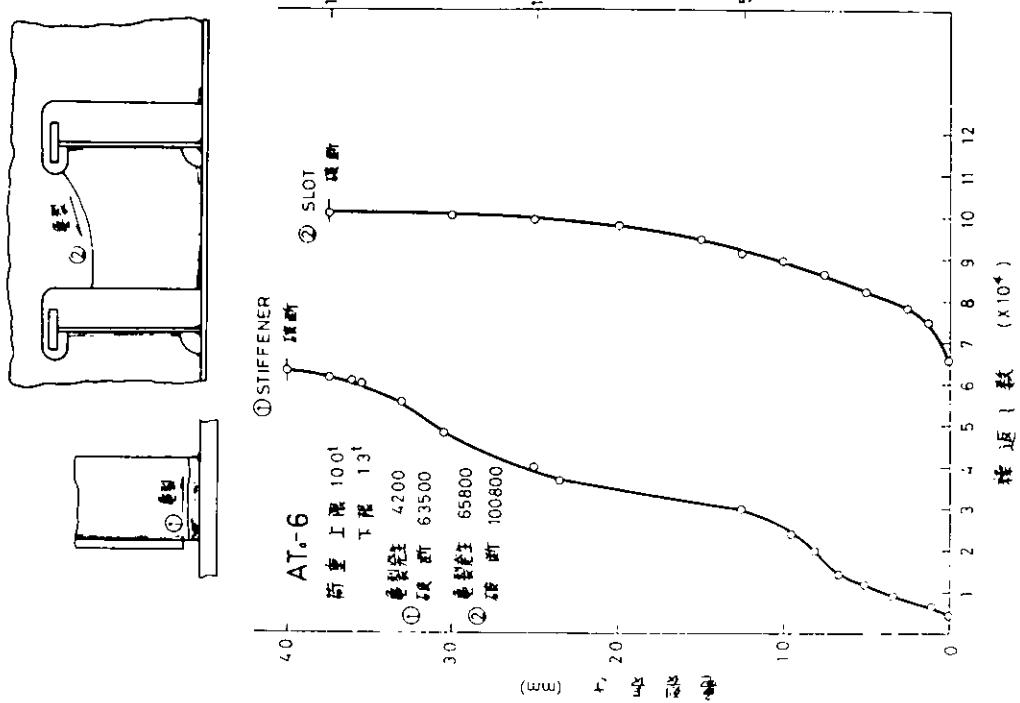


图3.2.18

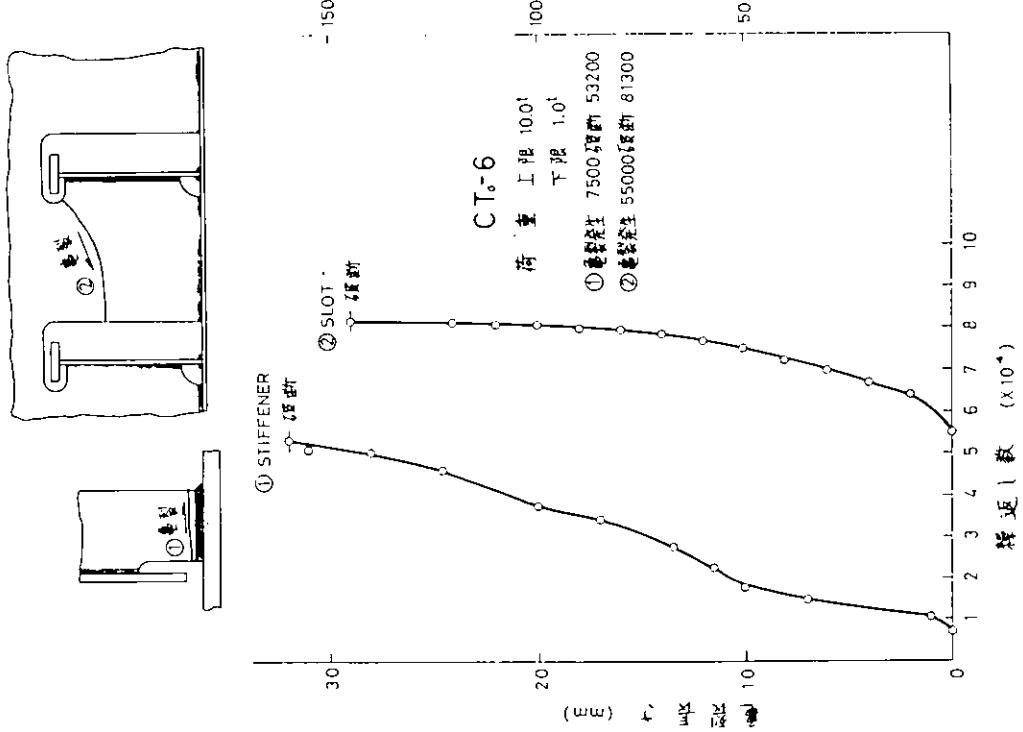
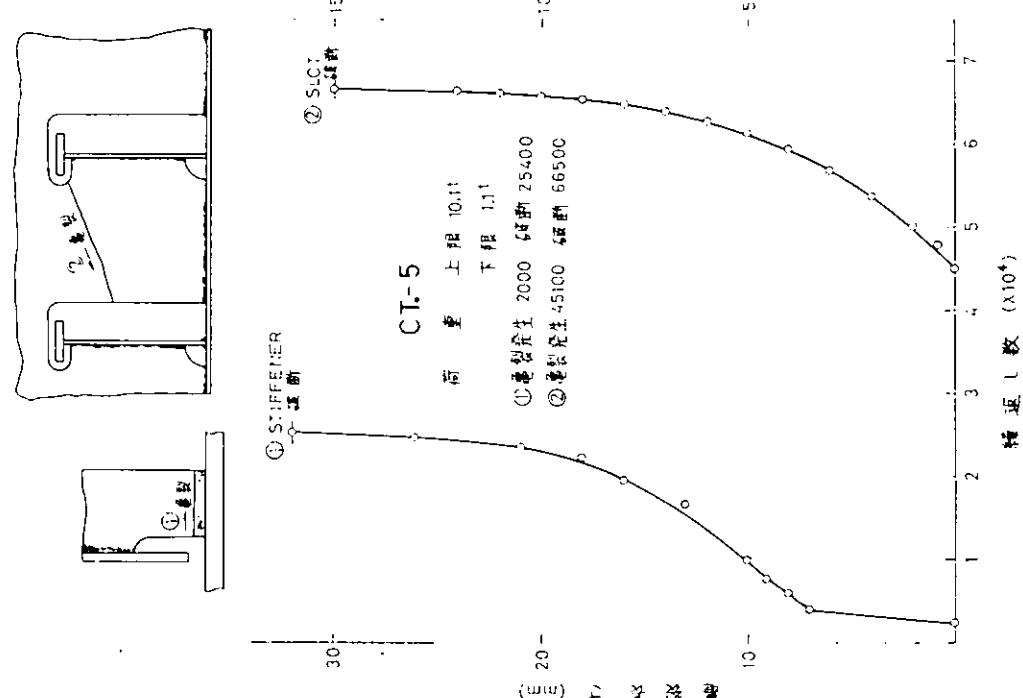


图3.2.17



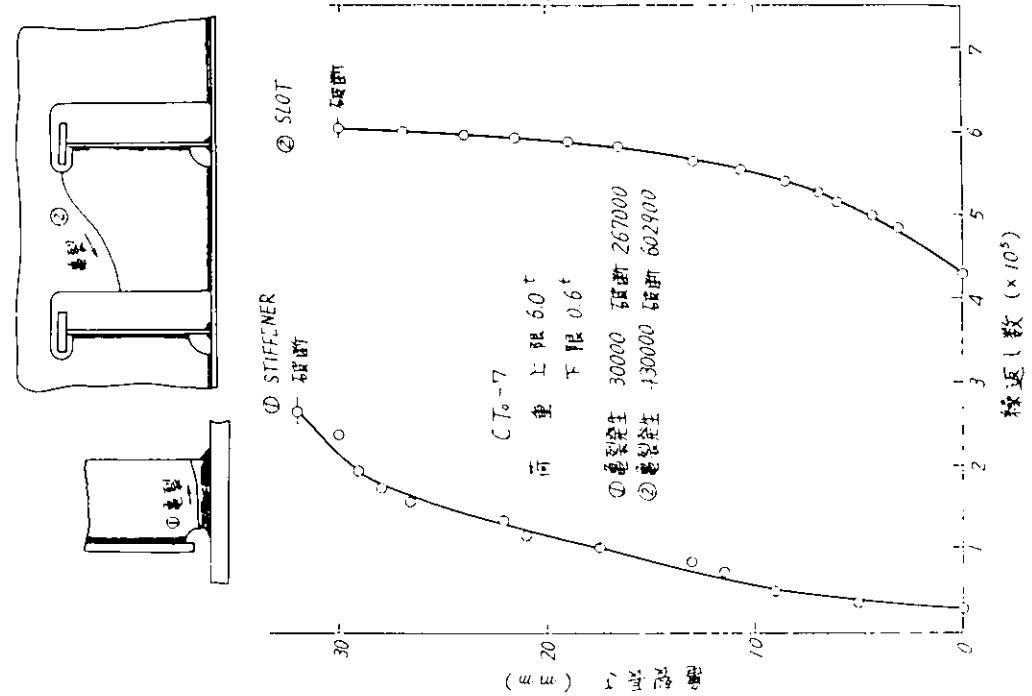


图3.2.19

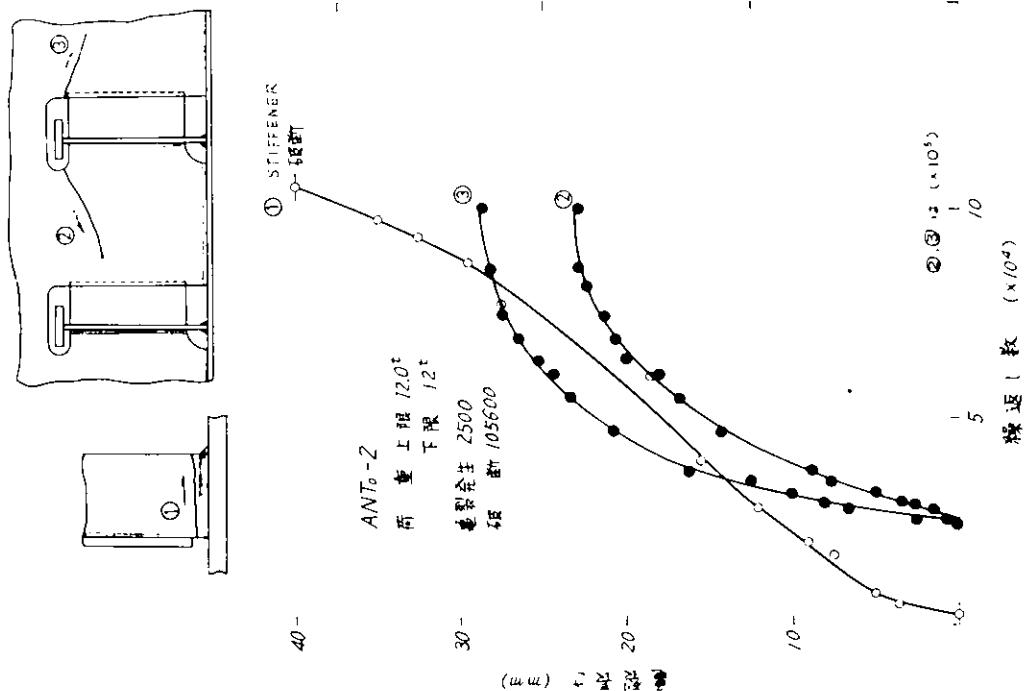


图3.2.20

図3.2.22

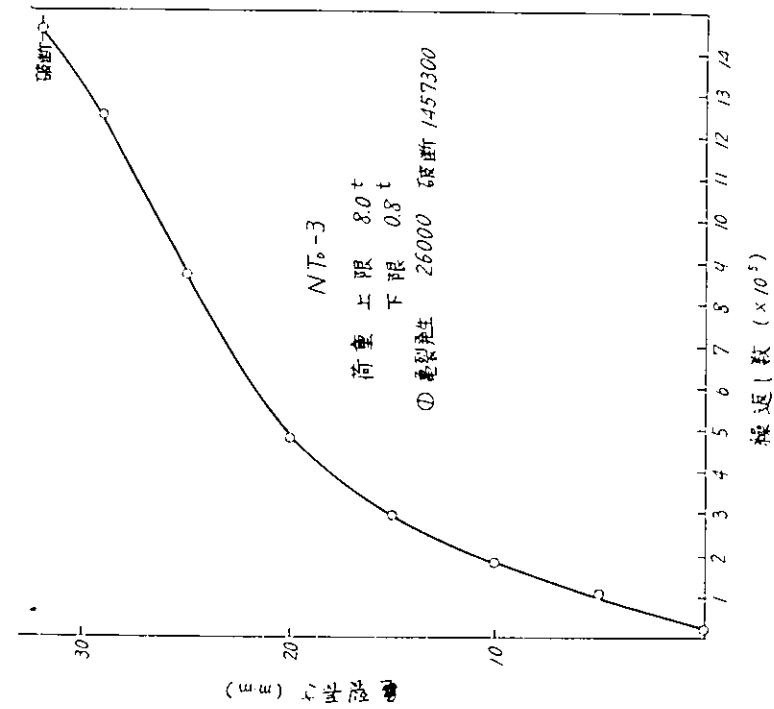
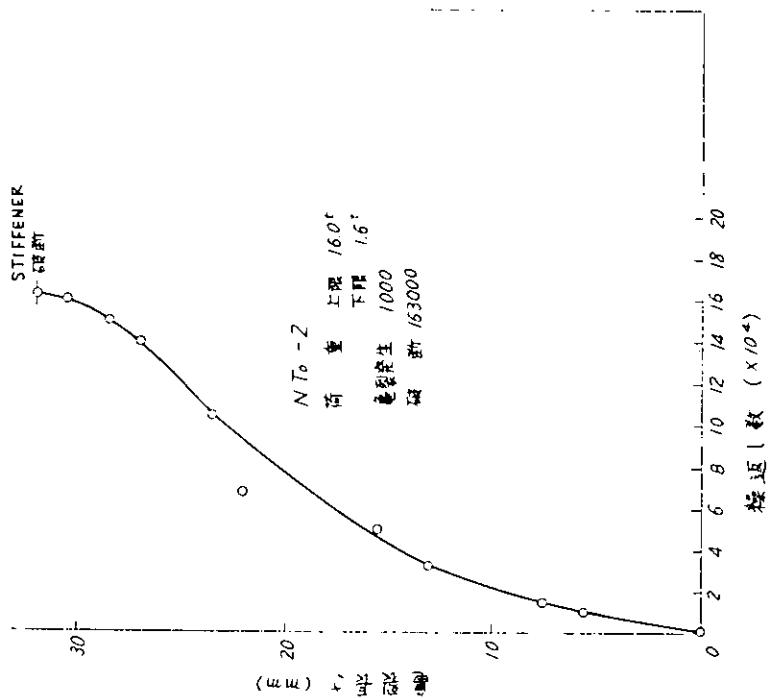


図3.2.21



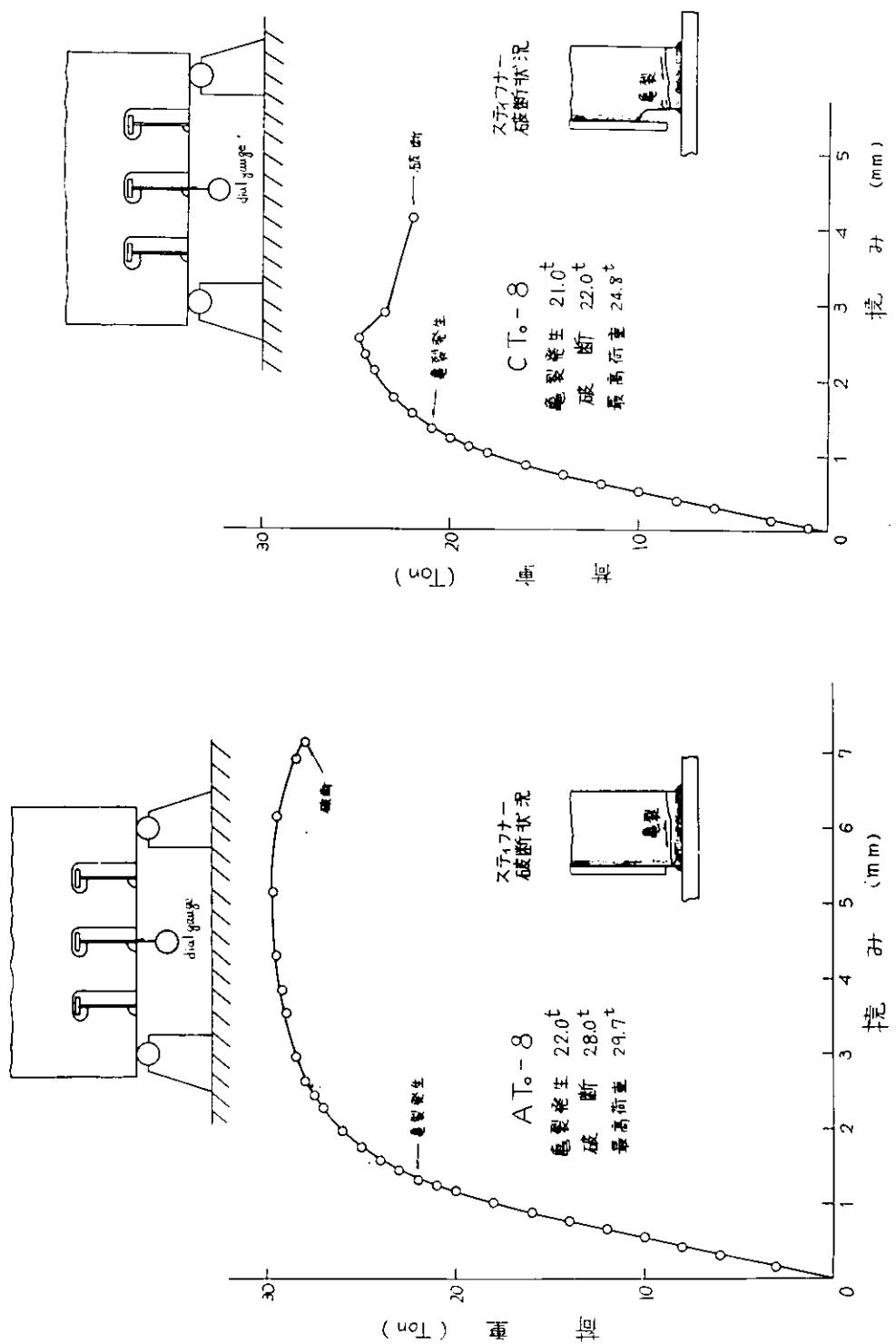


図3.2.24

図3.2.25

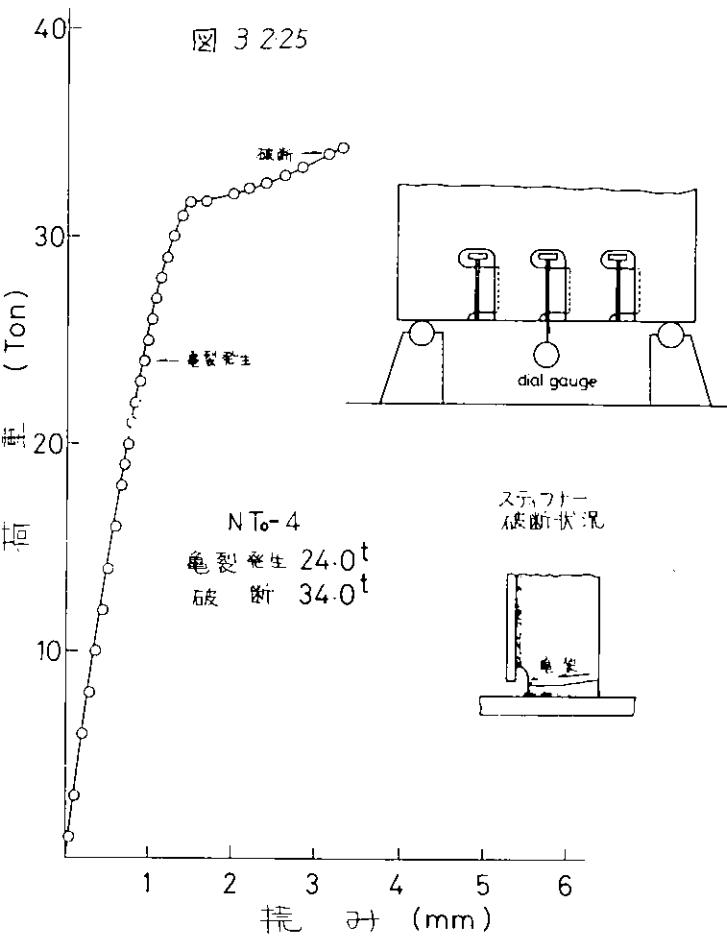


図 3.2.25

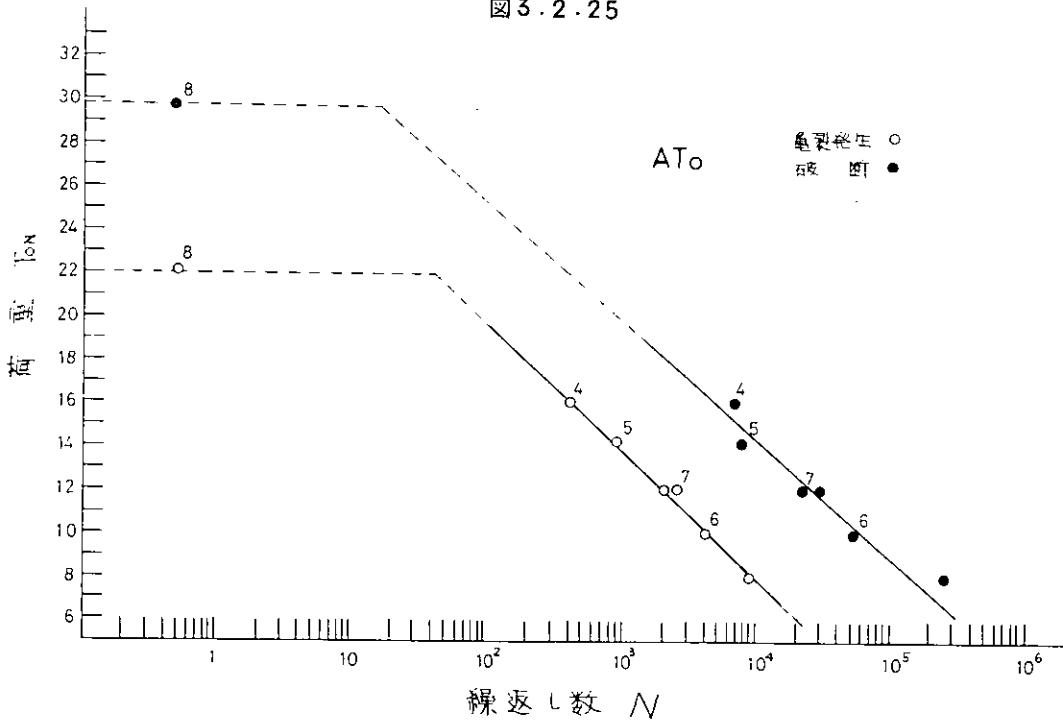


図 3.2.26 静的破断試験と疲労試験の関係

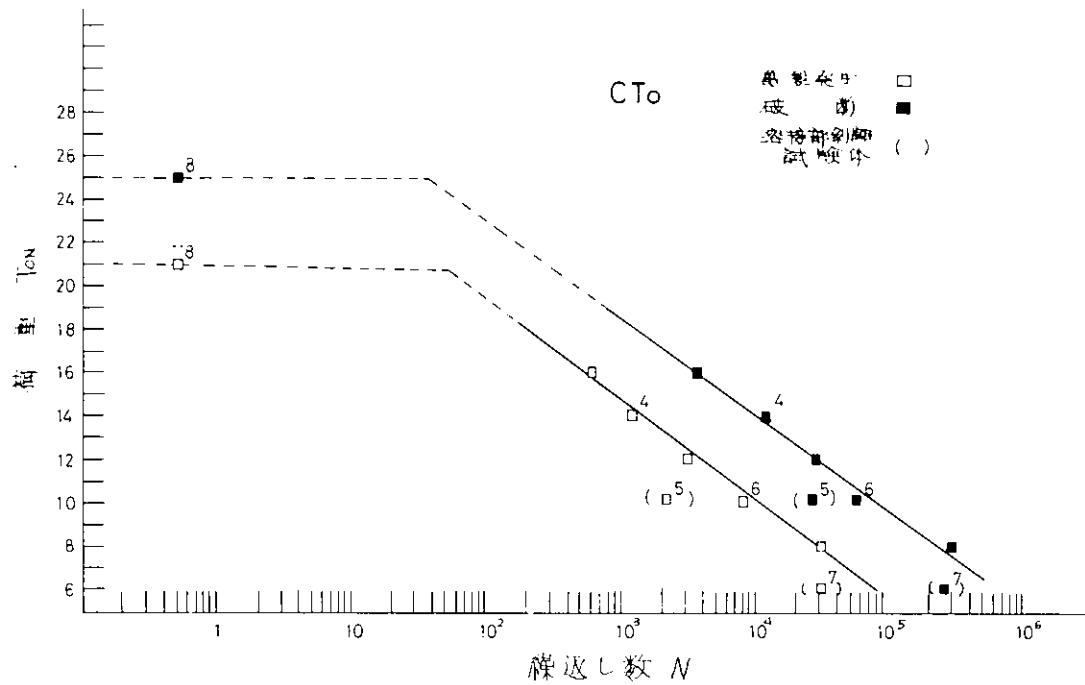


図3.2.27 静的破断試験と疲労試験の関係

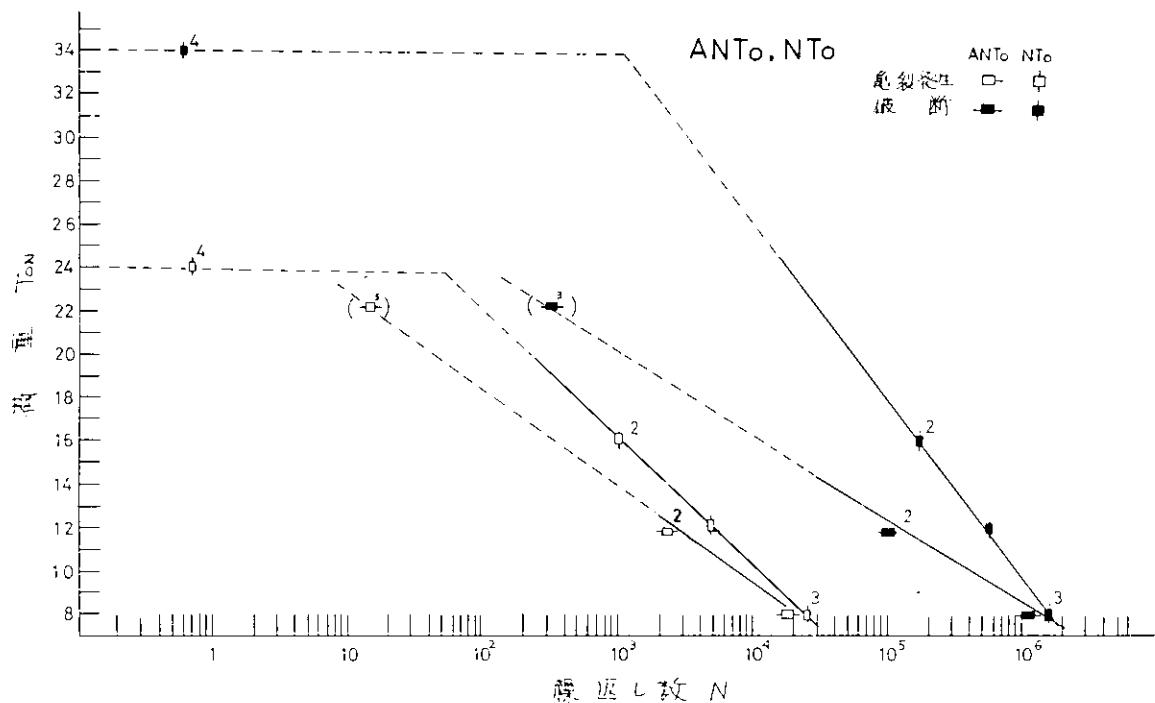


図3.2.28 静的破断試験と疲労試験の関係

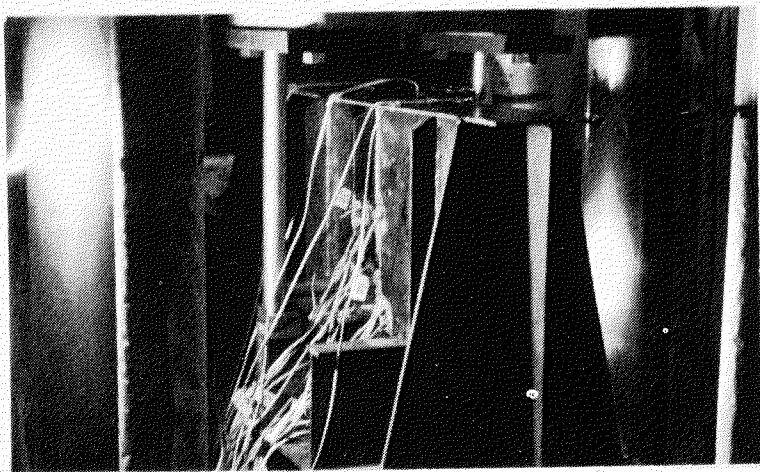


写真. 3.2.1 静的破断試験状況



写真. 3.2.2 " A T₀ - 8 " 斷裂状況

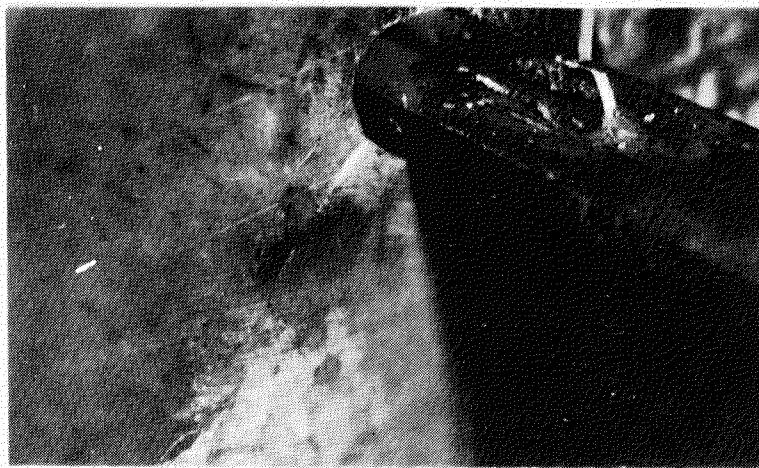


写真. 3.2.3 " C T₀ - 6 " 破断状況

3.3 日本海事協会技術研究所における疲労試験

3.3.1 はしがき

大型船の横部材におけるスロット周辺、とくに縦部材とスチフナとの固着部にはかなり多くのクラックが発生し、その防止対策についての研究が要望されている。本研究は、これらの防止対策のうち、小型模型により、スロット周辺の応力分布および疲労強度を試験したものである。

3.3.2 試験模型および試験の種類

本研究所で試験した模型は、いわゆる標準型模型（B型）10個とバックブレケット型模型（BS型）5個の計15個である。そのうち、標準模型の概観図を図3.3.1に示した。図からわかるように、模型の長さは1,100mm、幅は400mm、高さは525mmであって、3条の縦通材がとおっている。模型のウェブおよびスチフナなどに使用した鋼板は板厚4.5mmのSS41である。

試験の種類として、静的荷重によるスロット周辺の応力分布測定（各種模型1個づつ）と変動荷重による疲労試験の2種類の試験を行なった。疲労試験における荷重のかけ方は、次のような2種類とした。すなわち、標準模型の3個を除き、残りの12個の模型は、図3.3.1で示すように、模型の両端から100mmのところで支持し、特別な治具で、中央の縦通材の両端を下方に押した。このような荷重は、実船の場合にたとえると、船底水圧より倉内荷重が大きい場合に相当し、スチフナと縦通材の固着部に引張応力が発生し、疲労強度上もっとも苛酷な状態である。

次に、標準模型のうち3個は上記荷重と逆方向の荷重をかけた。ただし、この場合は、中央の縦通材の下部を線荷重で押した。このような荷重は、実船の場合にたとえると、船底水圧が倉内荷重よりも大きい場合に相当し、スチフナの固着部には圧縮力が生じ、疲労強度上はらくな条件となる。

3.3.3 静的試験による応力測定

2種の模型から1個づつ取り出し、歪ゲージを貼付して静的試験による応力分布を測定した。各模型の歪ゲージの貼付位置を図3.3.2に示した。使用した歪ゲージのゲージレンジスは2mmおよび3mmであって、板面には両側に貼付して、その平均値を採用した。応力の測定は中央のスロット周辺だけではなく、3個全部について行なった。また、両模型とも、荷重の方向を逆にした場合についての計測も行なった。

実験結果の一例として荷重3tの場合の応力分布を図3.3.3～図3.3.6に示した。図3.3.3は標準型（B型）標準の応力分布、図3.3.4は標準型模型で荷重が逆方向の場合の応力分布を示し、図3.3.5はバックブレケット（BS型）模型の応力分布、図3.3.6は荷重の方向が逆の場合の応力分布を示す。これらの図において、(a)はスロットカットアウト部の応力分布を示し、(b)はスチフナおよびバックブレケット部の応力分布を示す。

これらの図からわかるように、標準模型に対し、バックブレケットをつけた模型の応力は、スチフナ固着部でかなり減少し、バックブレケットによる補強が、スチフナの応力分布に対して、かなり有効であることを示している。

3.3.4 疲労試験

上述の模型15個を次のような4つのシリーズにわけて実験した。

シリーズ1 標準模型4個（片振れ引張り）

最低荷重1t 最高荷重8t, 10t, 12t, 14t

シリーズ2 標準模型3個（荷重が逆方向、片振れ圧縮）

最低荷重1t 最高荷重8t, 10t, 12t

シリーズ3 標準模型3個（平均応力が高い場合、片振れ引張り）

最低荷重10t 最高荷重16t, 18t, 20t

シリーズ4 BS型模型5個(片振れ引張り)

最低荷重1t 最高荷重8t, 10t, 12t, 14t, 16t

本実験に使用した疲労試験機は東京衡機製70t疲労試験機で実験時の繰返速度は約400c.p.mである。

各シリーズ試験におけるクラックの発生状況および進展状況の概要を図3.3.7に示した。クラックは最初にスチフナの内側(BS型模型の場合は外側)から発生し、これが進展して、スチフナが切断し、その後ウェブのスロットコーナにクラックが発生し、これが進展するという経過をたどっている。ここで注目すべきことは、シリーズ2の場合、すなわち、スチフナの固着部に圧縮力が加わる場合でも、クラックが発生することである。一般に、圧縮力の繰返しの場合はクラックが発生していくと云われているが、この場合は、同じ圧縮応力でも、降伏応力を超えた高い圧縮応力が加わって塑性変形をおこし、スチフナの固着部やスロットコーナでは変位一定の条件になり、引張応力の繰返しが加わることになる。そのため、圧縮力の繰返しにもかかわらず割合早い時期にクラックが発生するものと思われる。

次に各模型において、スチフナにクラックが発生したときの繰返数やスチフナが破断したときの繰返し数などを表3.3.1に示した。この表からわかるように、バックプレート付模型(BS型)は標準模型に比べて疲労強度上昇くなっている。また、標準模型でも、逆方向の荷重を加えた場合、すなわち、スチフナ固着部が圧縮力の場合はクラックの発生や進展がおそくなっている。また、標準模型(B型)で平均応力が大きくなかった場合は、クラックの発生や進展が早くなっている。

次に、各模型において、クラックの長さと繰返数との関係を図3.3.8以下に示す。縦軸はクラック長さ、横軸は繰返数を示す。

3.3.5 むすび

以上、15個の模型について疲労試験を行ない、大略次のような結論を得た。

- (1) 静的試験による応力測定結果によると、バックプレート付模型(BS型)は標準型模型(B型)に比べて、応力がかなり低くなっている。また、疲労試験でも、多少強くなっているが、静的試験における応力低下率ほど顕著ではない。
- (2) 標準模型において荷重の方向を逆にした場合、すなわち、スチフナの固着部に圧縮力が加わった場合でも、疲労クラックは発生するが、発生および進展は、引張力の場合に比べておそい。
- (3) 平均応力が高い場合は完全片振れの状態に比べて、疲労強度は低下する。

表 3.3.1 (a) クラックの発生回数 (1)

シリーズ	シリーズ 1 (スチフナ引張力、標準模型)				シリーズ 2 (スチフナ圧縮力、標準模型)			
	荷重	8t - 1t	10t - 1t	12t - 1t	14t - 1t	8t - 1t	10t - 1t	12t - 1t
クラック	クラック発見時の繰返数	17,000	3,900	3,500	3,000	90,000	60,000	3,500
スチフナ	クラック長さ 10mmの繰返数	120,000	16,500	11,700	9,500	94,000	12,000	
	破断時の繰返数	173,400	57,000	24,300	16,000			72,500
	クラック発見時の繰返数	260,000	89,100	26,000	10,000	44,400	56,000	
エプカットアット	クラック長さ 10mmの繰返数	290,000	128,000	29,000	14,000	51,000	62,000	
	試験停止時の繰返数	353,100 (クラック75mm)	283,600 (クラック70mm)	36,500 (クラック65mm)	28,000 (クラック100mm)	1,000,000 (クラックなし)	1,000,000 (クラック25mm)	522,000 (クラック72mm)
その他クラック	②φ10mm のクラック	②φ15mm のクラック	②φ10mm のクラック	②φ15mm のクラック				②φ5mm のクラック
備考					スチフナ破断せす実験中止			

表 3.3.1 (b) クラックの発生線繰返数 (2)

シリーズ クラック	シリーズ 3 (平均応力の高い場合、標準模型)				シリーズ 4 (バッファラケット付模型)			
	荷重 16t-10t	18t-10t	20t-10t	8t-1t	10t-1t	12t-1t	14t-1t	16t-1t
クラック発見時の繰返数	11,000	4,000	3,000	7,000	2,9,000	4,0,000	14,0,00	16,9,00
クラック長さ 10mmの繰返数	202,000	19,000	13,000	15,0,000	15,8,500	8,0,000	18,0,00	20,5,00
破断時の繰返数	288,900	49,400	20,400			11,4,000	45,9,00	29,7,00
クラック発見時の繰返数	389,100	80,000	21,000			12,5,000	45,0,00	30,0,00
クラック長さ 10mmの繰返数	400,000	90,000	26,000			13,0,000	50,0,00	33,0,00
試験停止時の繰返数 アウト	459,100	122,500	45,100	370,000	56,5,700	14,0,000 (クラック80mm)	57,0,00 (クラック87mm)	45,8,00 (クラック133mm)
その他のクラック			②wt 40mm のクラック			7,0,000回で ブラケットの発生 135,000回で破断	30,0,00回で ブラケットで発生 53,000回で破断	44,0,00回で ブラケット破断
備考					実験中止	治具破損のため実験中止		

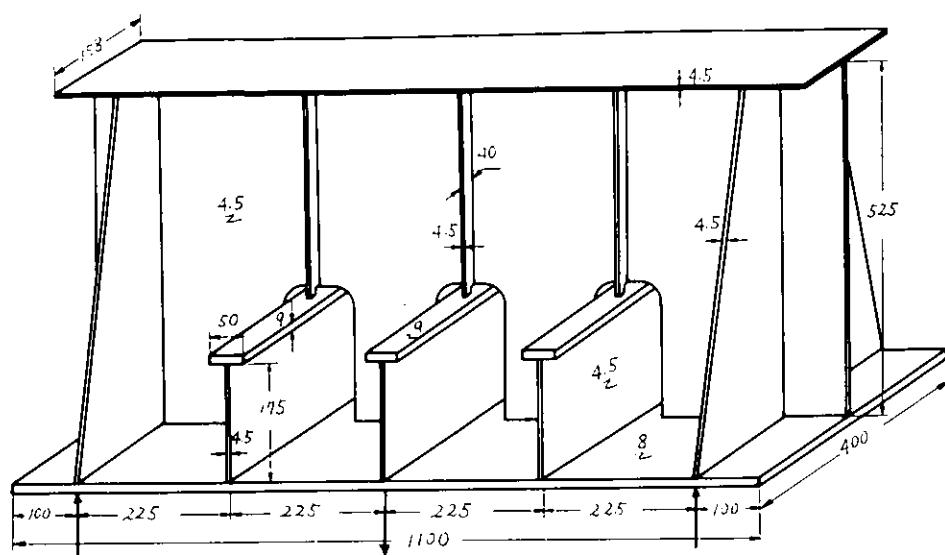


図 3.3.1 試験模型の概観図

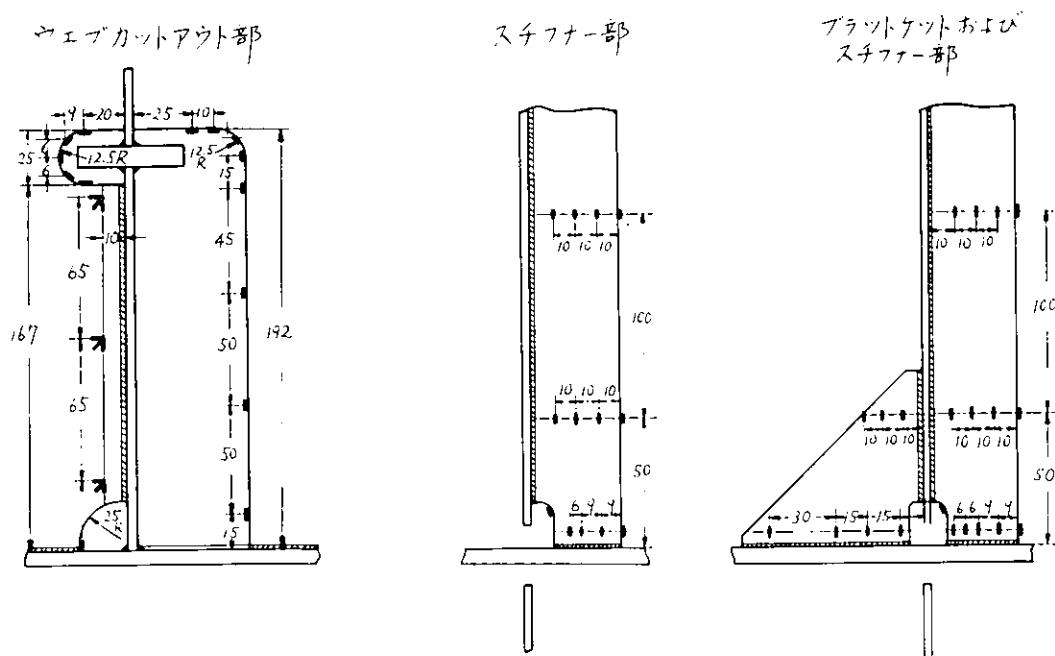


図 3.3.2 歪ゲージの貼付位置

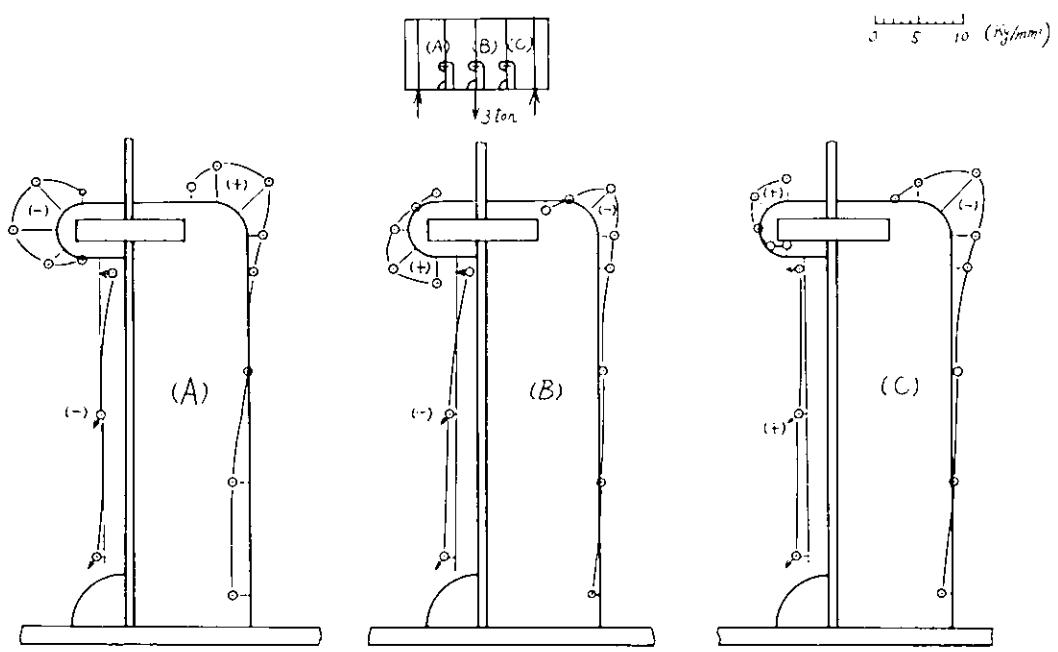


図 3.3.3(a) 標準模型カットアウト部の応力分布(スチフナ引張)

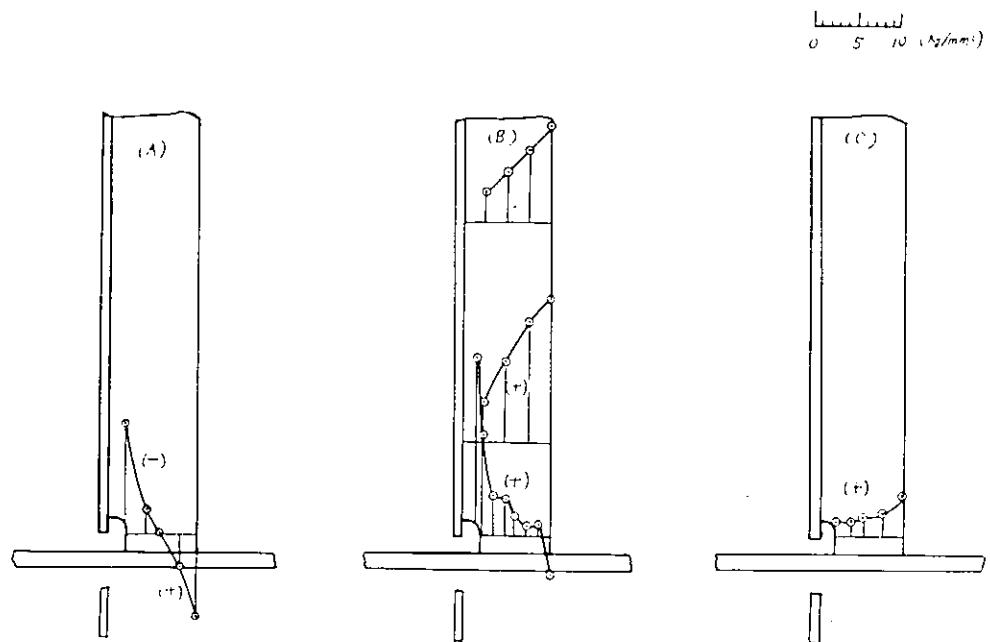


図 3.3.3(b) 標準模型スチフナ部の応力分布(スチフナ引張)

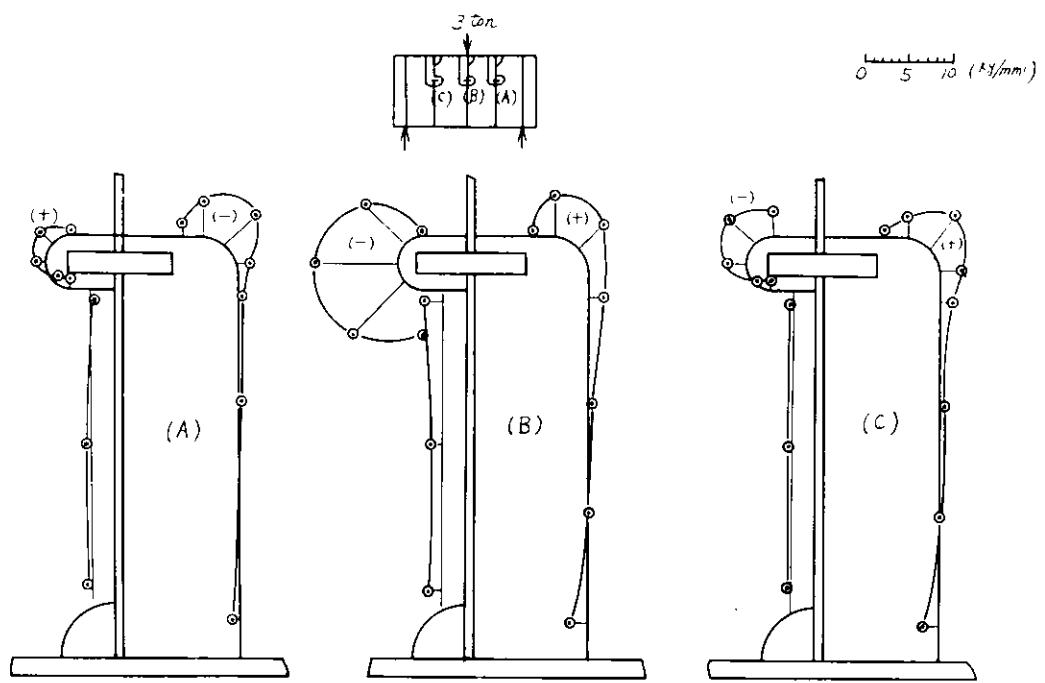


図 3.3.4(a) 標準模型 ウエブカットアウト部の応力 (スチフナ圧縮)

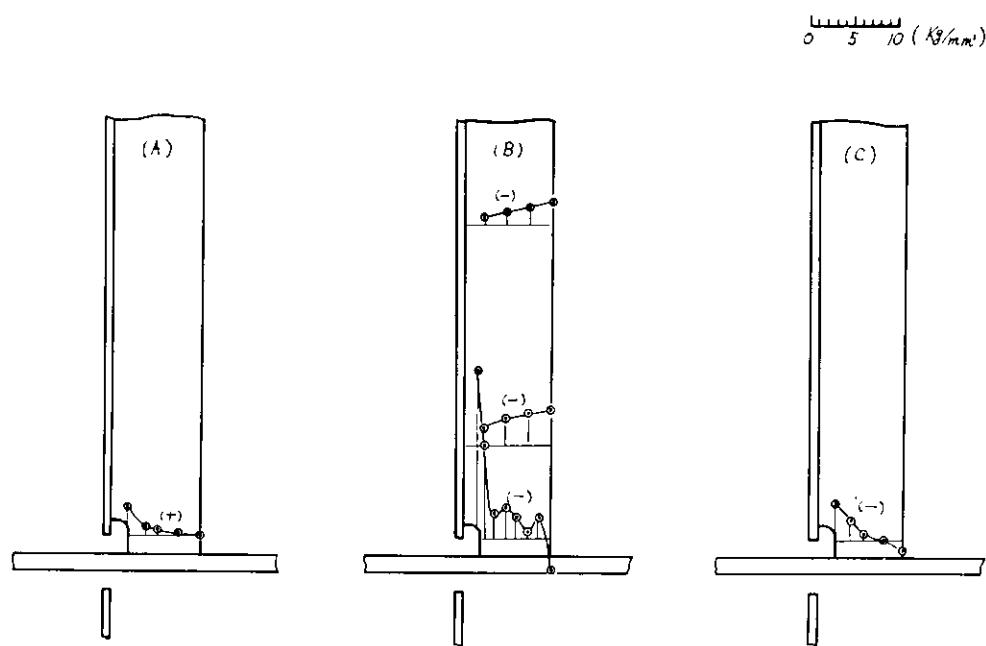


図 3.3.4(b) 標準模型スチフナ部の応力分布 (スチフナ圧縮)

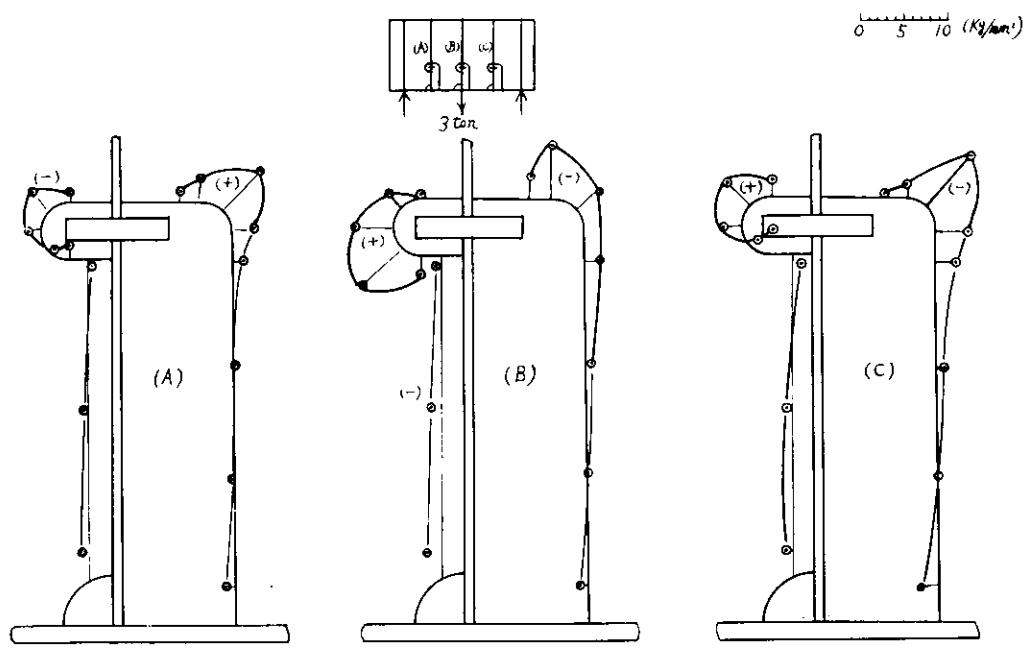


図 3.3.5(a) ブラケット付模型ウェブカットアウト部の応力分布(スチフナ引張)

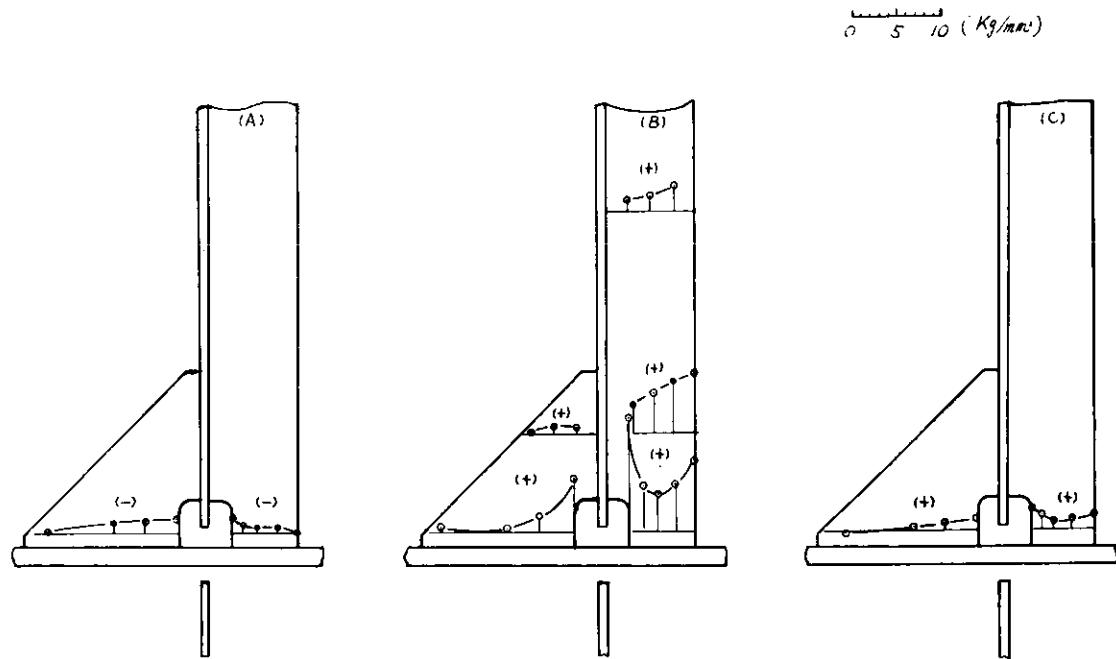


図 3.3.5(b) ブラケット付模型のスチフナ部応力分布(スチフナ引張)

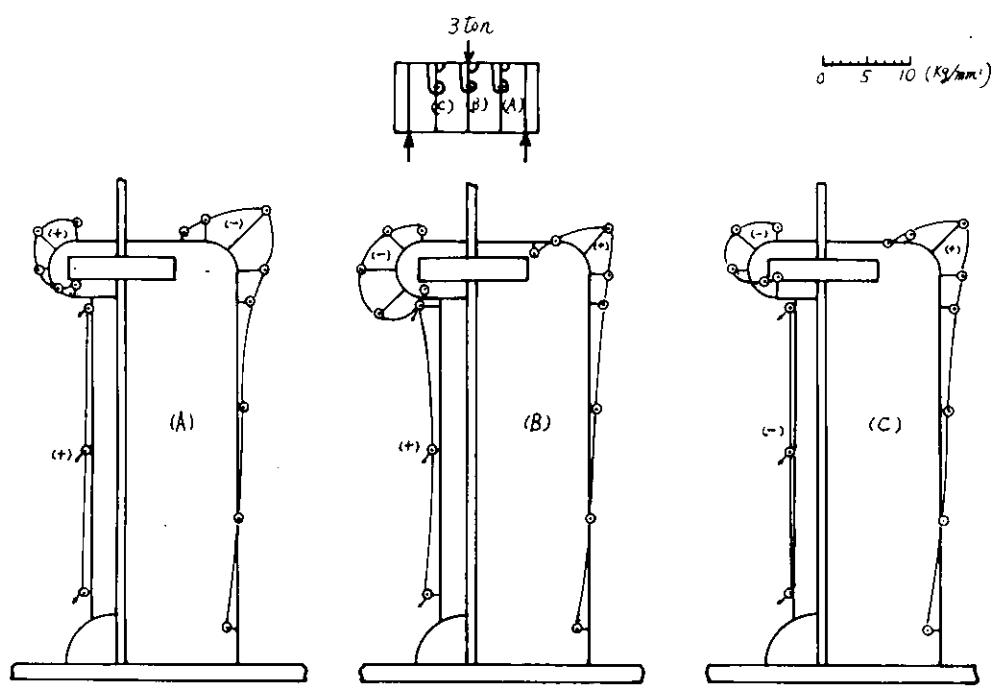


図 3.3.6(a) ブラッケット付模型のウェブカットアウト部の応力分布(スチフナ圧縮)

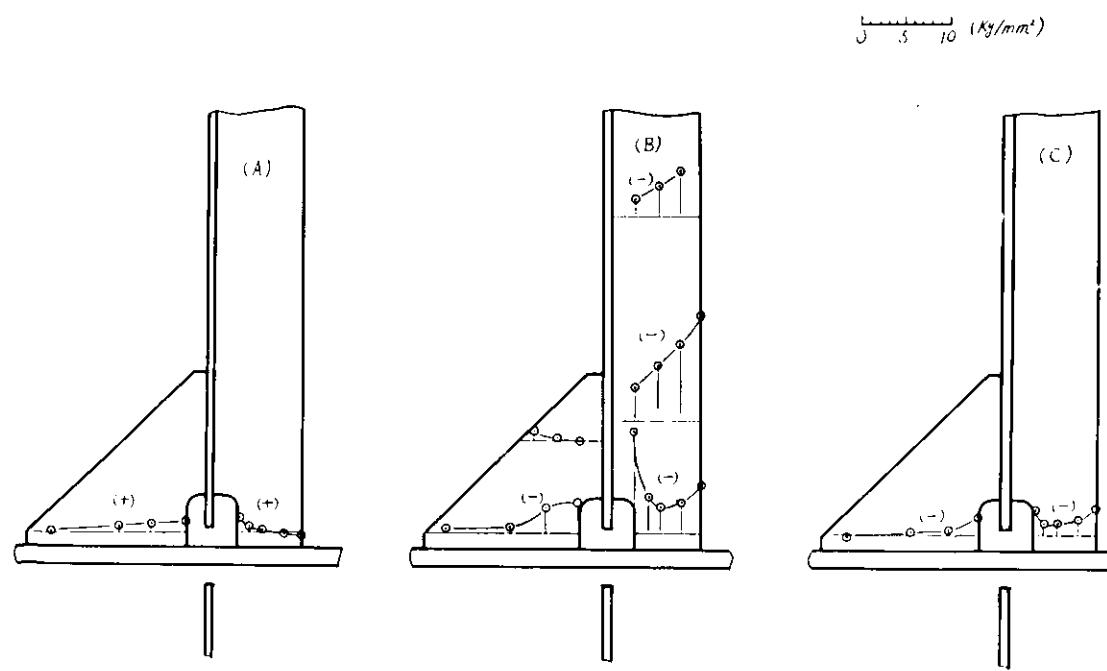


図 3.3.6(b) ブラッケット付模型のスチフナ部応力分布(スチフナ圧縮)

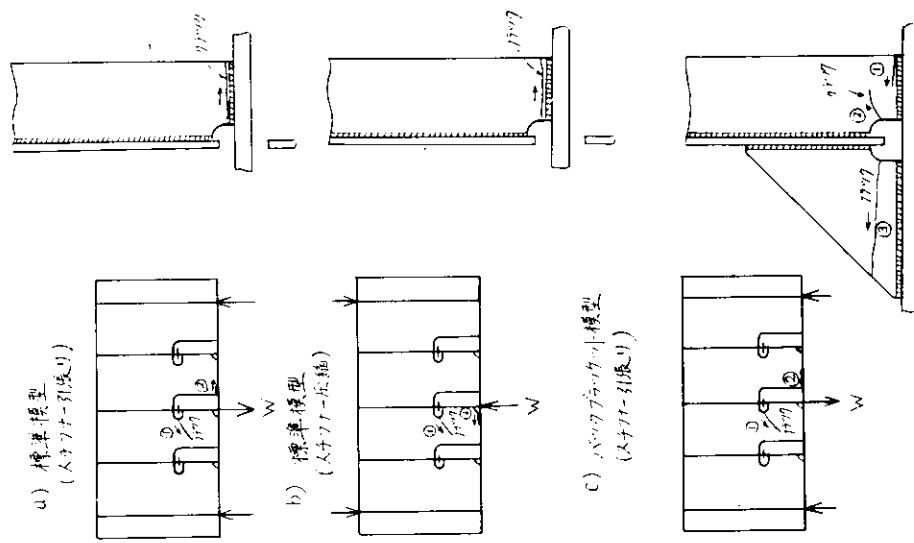


図 3.3.7 クラック発生状況

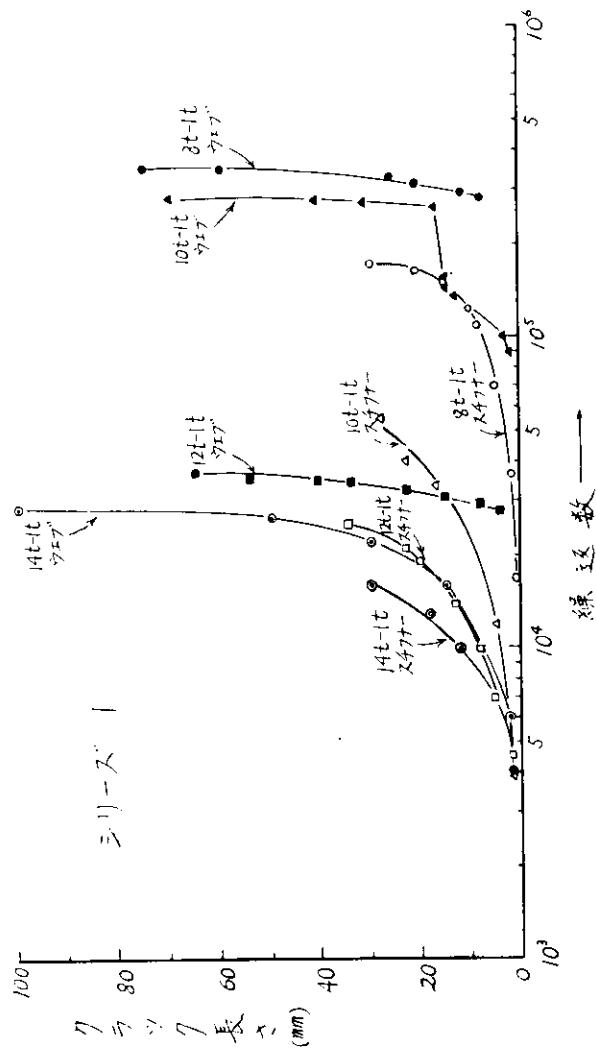


図 3.3.8 標準模型のクラック(スチフナ引張)

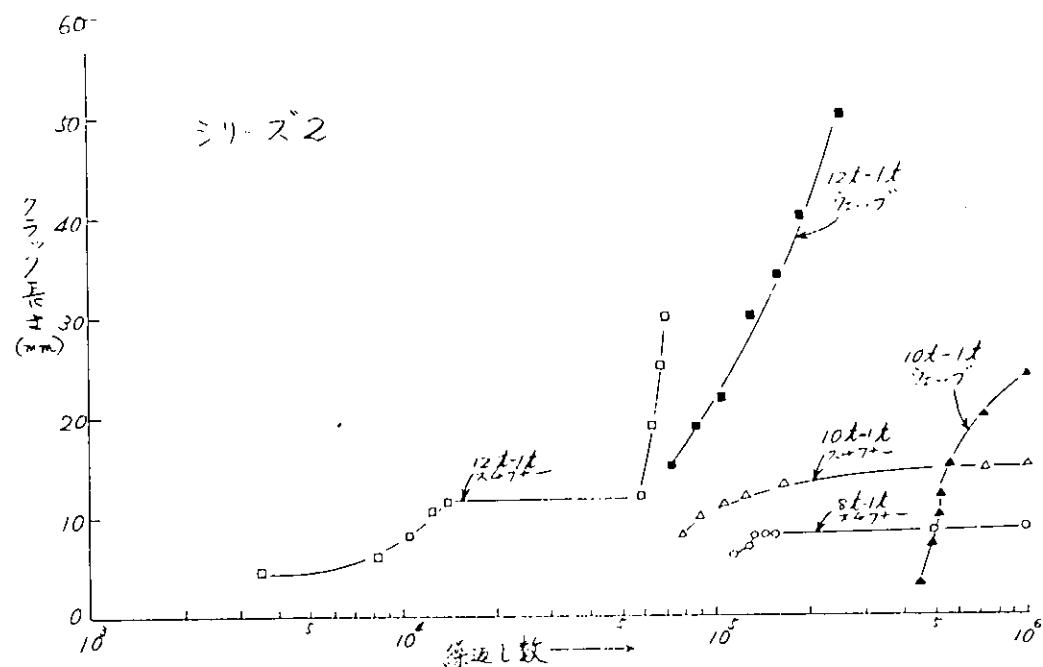


図 3.3.9 標準模型のクラック（スチフナ圧縮）

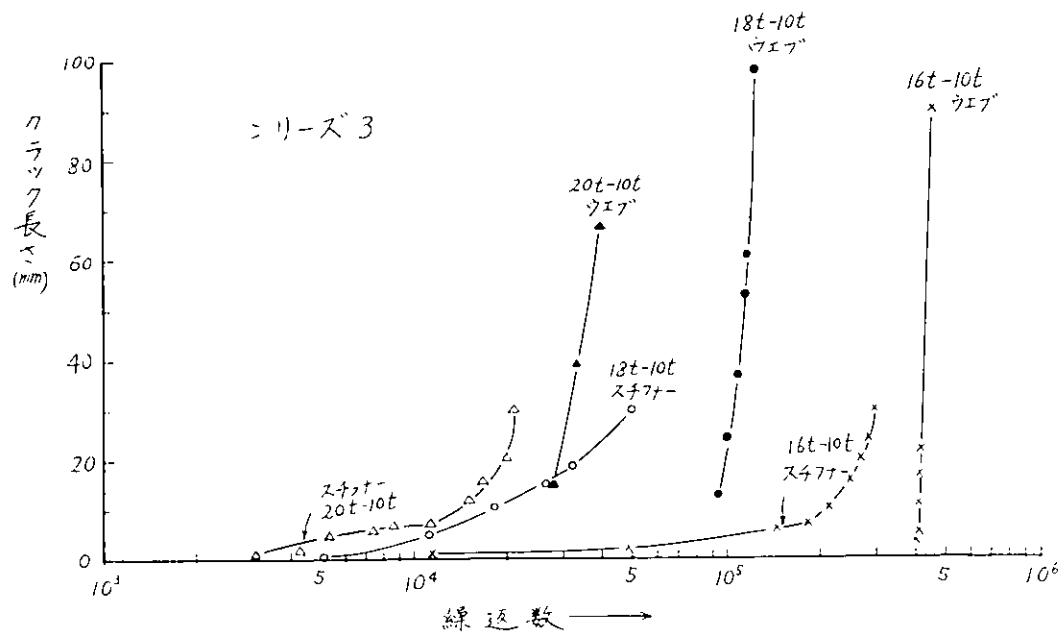


図 3.3.10 標準模型のクラック（平均応力の高い場合）

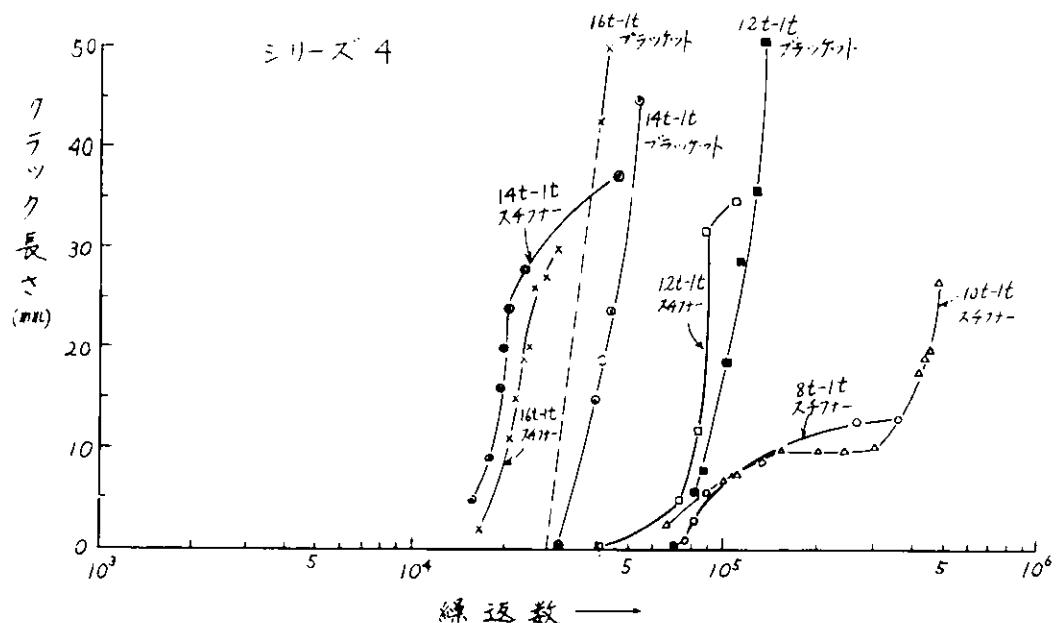


図 3.3.11(a) バックブレケット型模型のクラック(スチフナおよびブレケット)

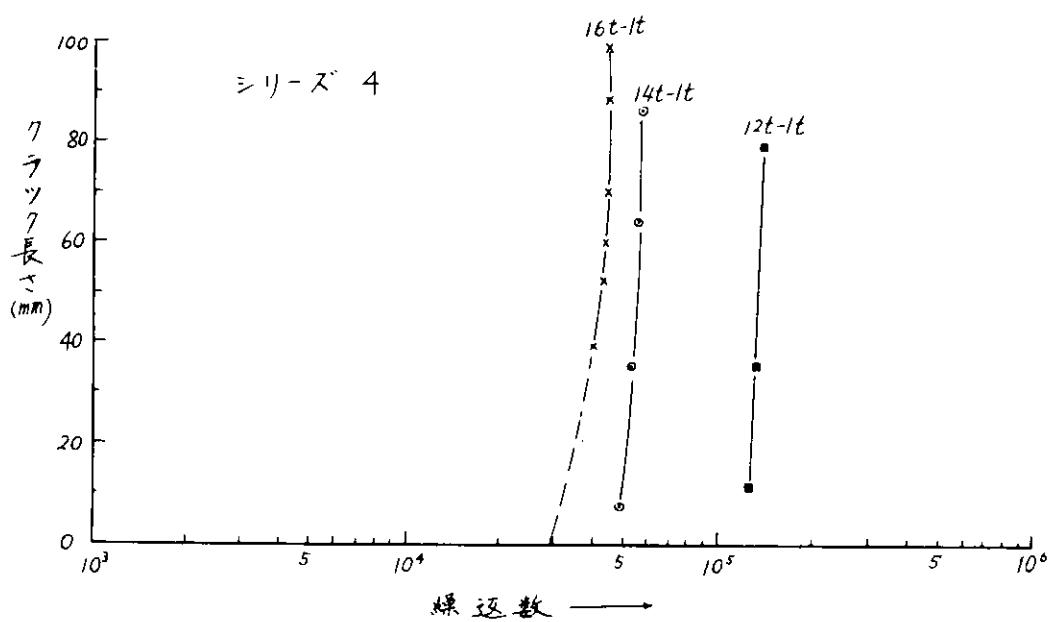


図3.3.11(b) プラッケット型模型のクラック(ウェブカットアウト部)

3.4 川崎重工業技術研究所における疲労試験

3.4.1 実験内容

昨年の予備実験では主に低サイクル領域の疲労実験を行なったが、本年は高サイクル領域のS-N線図を得ることを目的とした実験を行なった。

(1) 供試体

供試体は川重で製作した標準型の(BR)Ka型15体と、三菱重工長崎造船所で製作された開口部を大きくしたCKKa型3体である。その形状寸法を図3.4.1および3.4.2に示す。

(BR)Ka型に使われた4.5mm厚板材の機械的性質は

$$\sigma_y \approx 33 \text{ kg/mm}^2, \quad \sigma_B \approx 49 \text{ kg/mm}^2$$

であった。

(2) 試験機

昨年は変位制御による実験を行なったが、本年は油圧サーボ式繰返し負荷装置を用い300r.p.mの速度(一部600r.p.m)で荷重制御による実験を行なった。

実験方法は昨年と同様である。

3.4.2 実験結果

(1) 破壊の様相

き裂は(BR)Ka, CKKa型ともにまずスチフナのウエブ側に発生した。その位置は(BR)Ka型では主にロンジフェイスとの溶接止端部であったが、CKKa型では同部にはいつたもの(CKKa-3')、また、同部にはいつたのち、上部のアールの位置に発生し、後者の位置で破断したもの(CKKa-2')、最初からアールの位置にはいつたもの(CKKa-1')と種々であった(表3.4.1参照)。伝播方向は、いずれもスチフナにほぼ直角方向であった。

2番目にき裂の発生する位置として、実験数が半数を越えるまでスロット縁に注目していたのであるが、偶然ウエブとボトムの接合部にわずかにき裂があるのを発見した(図3.4.2)。実験済みの供試体をもう一度チェックした結果ほとんどのものにはいつていることがわかった。この位置にき裂が発生する時期は、スチフナのき裂進展中と思われ、スチフナの破断と同時に約1~3mm進展しているのが発見される場合多かった。しかし、この進展速度は非常に遅く、しかも図3.4.2のようにななめに進むので一番進展したものでも6mm程度であった。

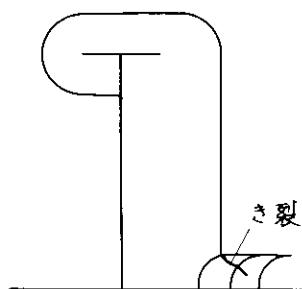


図3.4.2

3番目にき裂が発生するのはスロット縁であり、その位置はアールの中央よりややボトムよりである。ただし、CKKa型ではスチフナ破断後も破断回数の20~50%にあたる間実験をつづけたがき裂は発見できなかった(表3.4.1)。

(2) 荷重と寿命の関係

実験結果を表3.4.1に、S-N線図を図3.4.3～4に示す。両対数でグラフを描けば昨年の結果とほぼ同じ線上にあるようである。このうちKa-9' と CKKa-3' はき裂発生が予測とはずれたため、発生回数の測定ができなかった。

総体的にCKKa型のほうは寿命は長いようであるが、CKKa-3'だけは異常に寿命が短かった。この理由の一つとして組立順序の影響による残留応力の存在が考えられる。これは図3.4.5、図3.4.6においてCKKa-2'、CKKa-3'が非常に早く降伏していることから明らかである。しかし、ひずみの絶対値が影響するのは第1サイクルのみであり、寿命に關係するとみられるひずみ振幅はゲージSA-1、SB-1において、CKKa-1'(1～8ton)で約 1650×10^{-6} 、CKKa-2'(1～7ton)で約 1400×10^{-6} 、CKKa-3'(1～6ton)で約 1100×10^{-6} であるので残留応力の影響のみとは考えられない。(ただし、最初からクラックがはいっていた場合は別である。)他の同型ではスチフナのアールの位置におけるき裂で破断しているのに比べ、CKKa-3'では溶接止端部で破断していることから、むしろ溶接部の形状が悪かったことが原因ではないかと考えられる。

(3) スチフナのひずみ分布とひずみ履歴

将来、スチフナ部の局部模型の実験を行なう場合の参考として、図3.4.5、図3.4.6に静的試験によるスチフナのひずみ分布と、荷重-ひずみ関係を数例示す。

(4) き裂の伝播

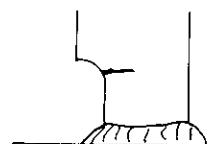
図3.4.7にスチフナのき裂進展の状況を、図3.4.8～9にき裂進展速度と荷重全振幅の関係を示す。き裂の進展は昨年のようにはっきり2段階にわかれなかつたので、進展が定常的になつたところの速度をとつた。CKKa型のき裂進展は直線的なところがないので、前半で比較的定常的なところの値をとつてある。図中併記した昨年の結果は、第一段階に相当するものである。進展速度は、(BR)Ka型、CKKa型ともほとんど同じであり、CKKa型のメリットはき裂の発生が遅いことだけのようである。

図から明らかなように、荷重全振幅とき裂進展速度は両対数で直線関係にある。

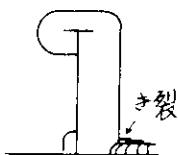
表 3.4.1 実験結果

供試体番号	荷重	stiff. き裂入り	stiff. 破断	スロット縁 き裂入り	ウエブ下端** き裂有無	ウエブ下端 き裂入り
Ka-1'	1~8 ton	5.45×10^2	9.9×10^4	1.19×10^5	有	
2'	1~6	1.75×10^5	6.19×10^5	6.19×10^5	無	
3'	1~7	2.91×10^4	1.54×10^5	1.87×10^5	?	
4'	1~6	7.50×10^4	3.40×10^5	4.84×10^5	有	
5'	1~8	3.0×10^3 $4.4 \times 10^4 *$	$1.27 \times 10^5 *$	1.60×10^5	?	
6'	1~8	1.9×10^4	1.12×10^5	1.75×10^5	有	
7'	1~7	1.0×10^4	1.31×10^5		有	
8'	1~7	1.71×10^4	1.28×10^5	2.64×10^5	有	
9'	1~5	不明	4.81×10^5	5.27×10^5	有	
10'	1~9	9.1×10^3	5.60×10^4	6.84×10^4	有	
11'	1~9	2.7×10^3	4.00×10^4	5.60×10^4	有	1.98×10^4
12'	1~5 ***	(1.3×10^5)	7.75×10^5	7.95×10^5	有	6.67×10^5
13'	1~9	4.7×10^3	3.98×10^4	6.00×10^4	有	3.98×10^4
14'	1~6	不明	2.62×10^5			
15'	1~5					
CKKa-1'	1~8	$4.2 \times 10^4 *$	$1.27 \times 10^5 *$	1.97×10^5	有	
2'	1~7	1.9×10^5 ($3.9 \times 10^5 *$)	$5.79 \times 10^5 *$	7.00×10^5	有	6.85×10^5
3'	1~6	不明	2.43×10^5		有	

*印のものは下図の位置のき裂に相当



**))



参考図

600 r.p.m. にて実験

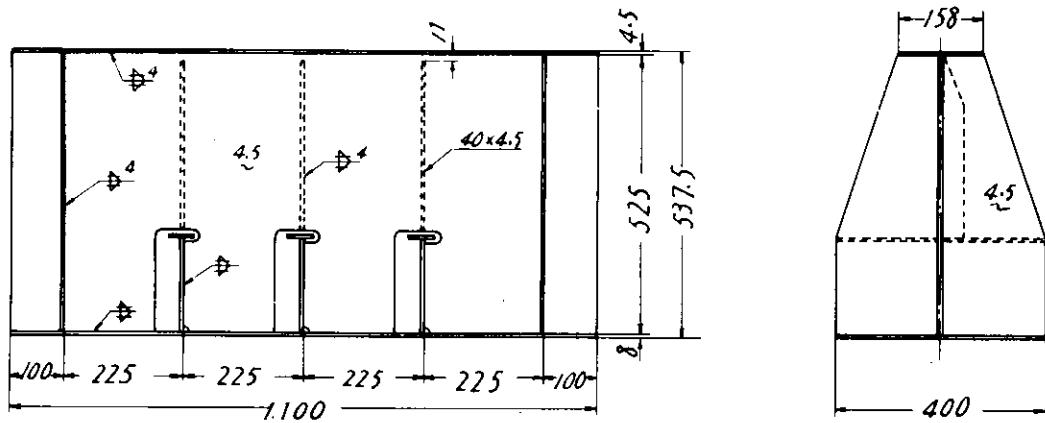


図 3.4.1(a) 供試体外形

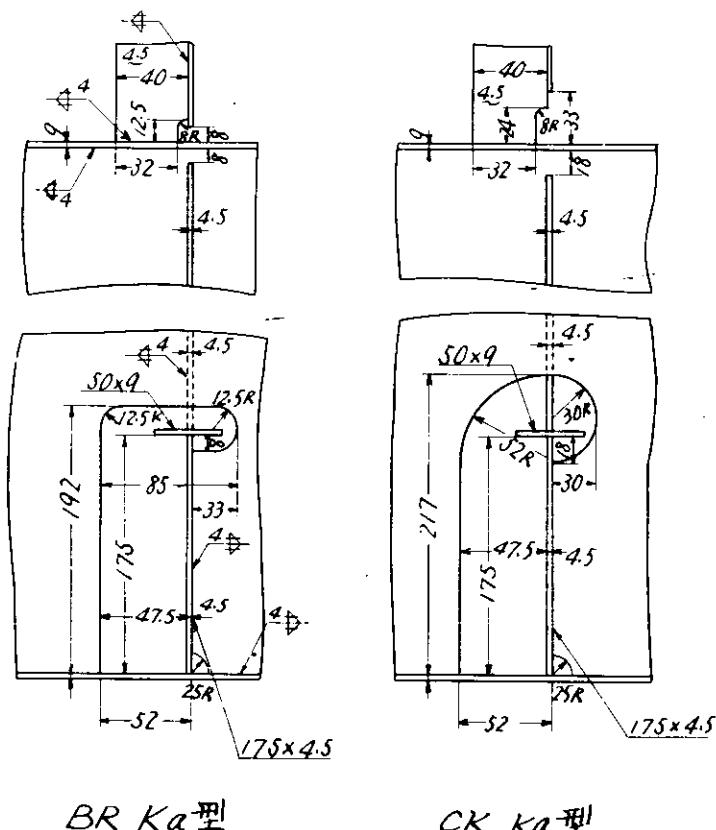


図 3.4.1(b) スロット周辺詳細図

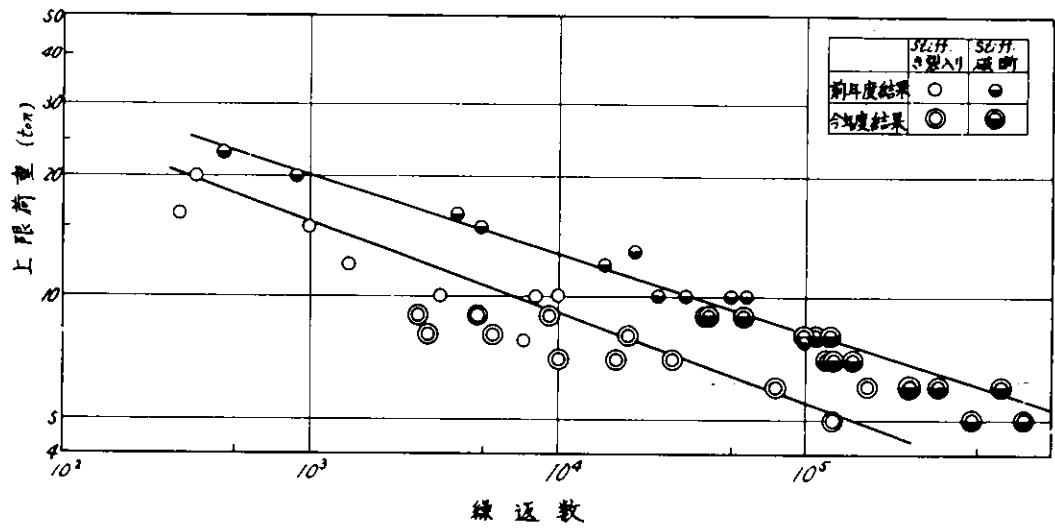


図 3.4.3 S-N線図 (BR型)

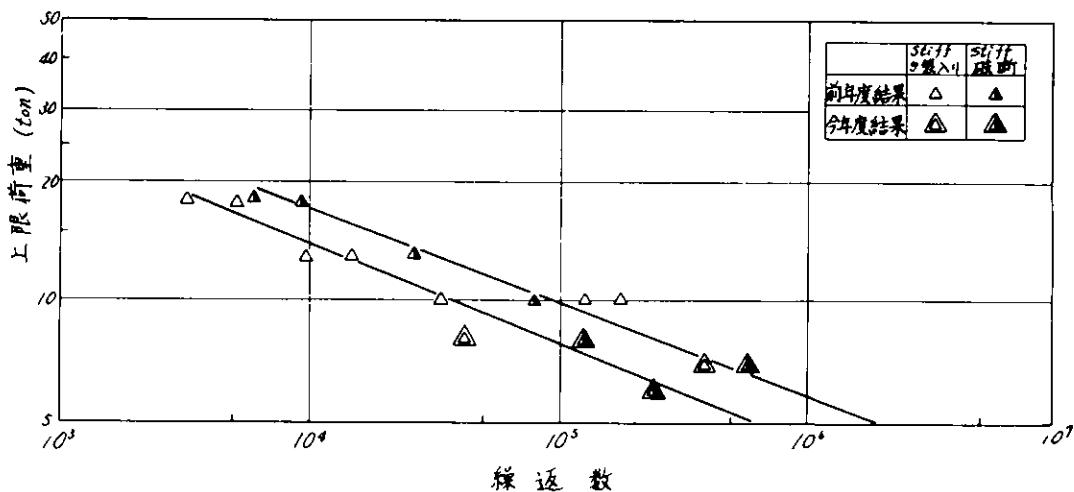
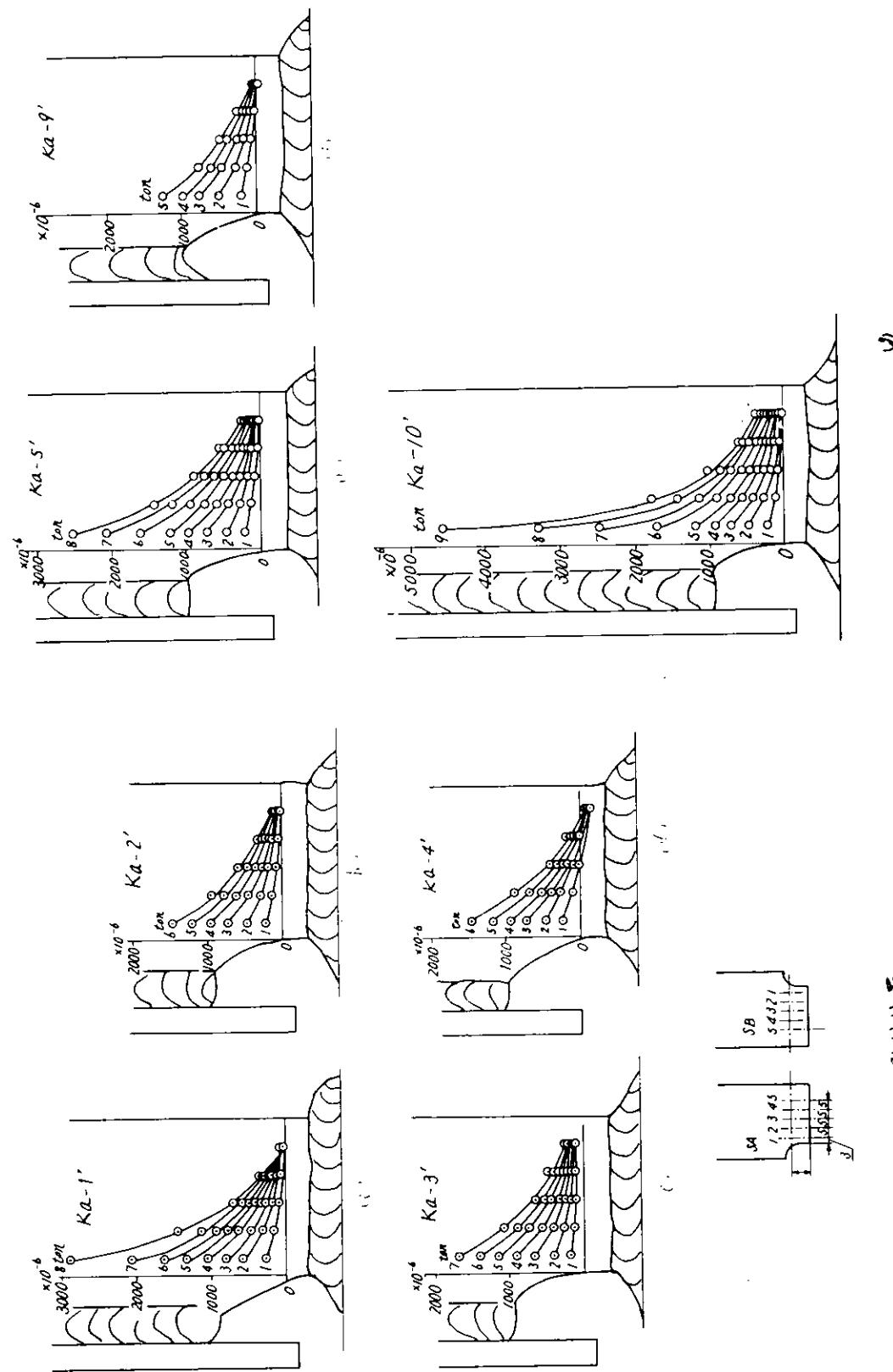


図 3.4.4 S-N線図 (CK型)



注) ケーブル 施工位置

図 3.4.5(1) スチフナのひずみ分布

図 3.4.5(2)

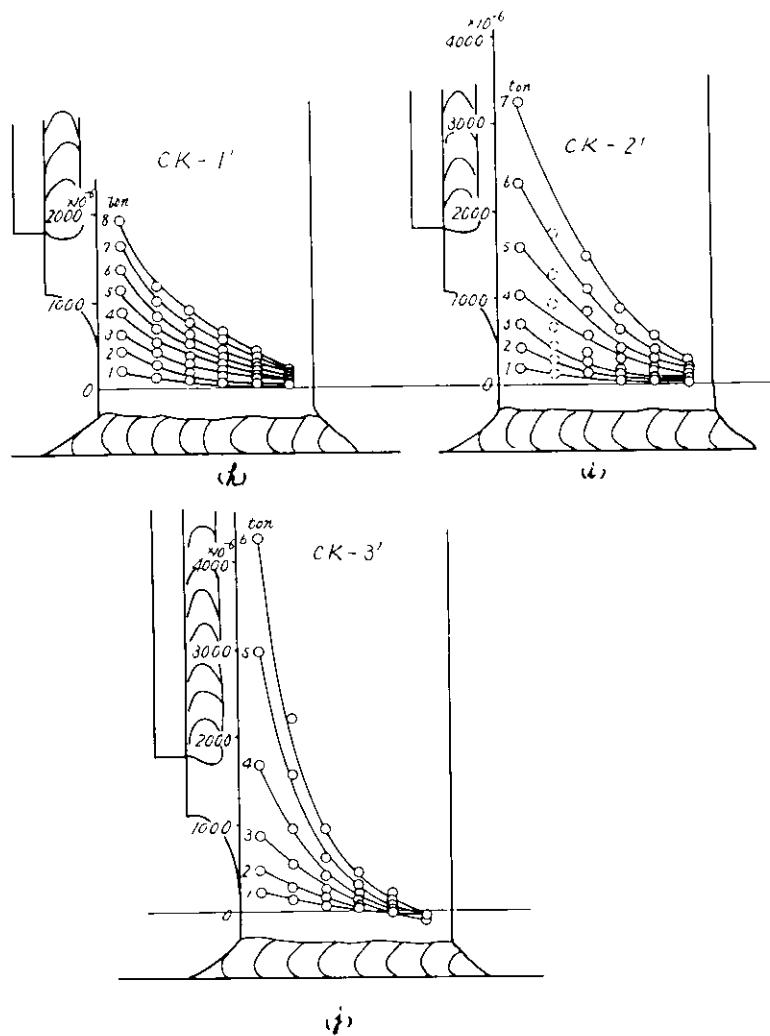


図 3.4.5(3)

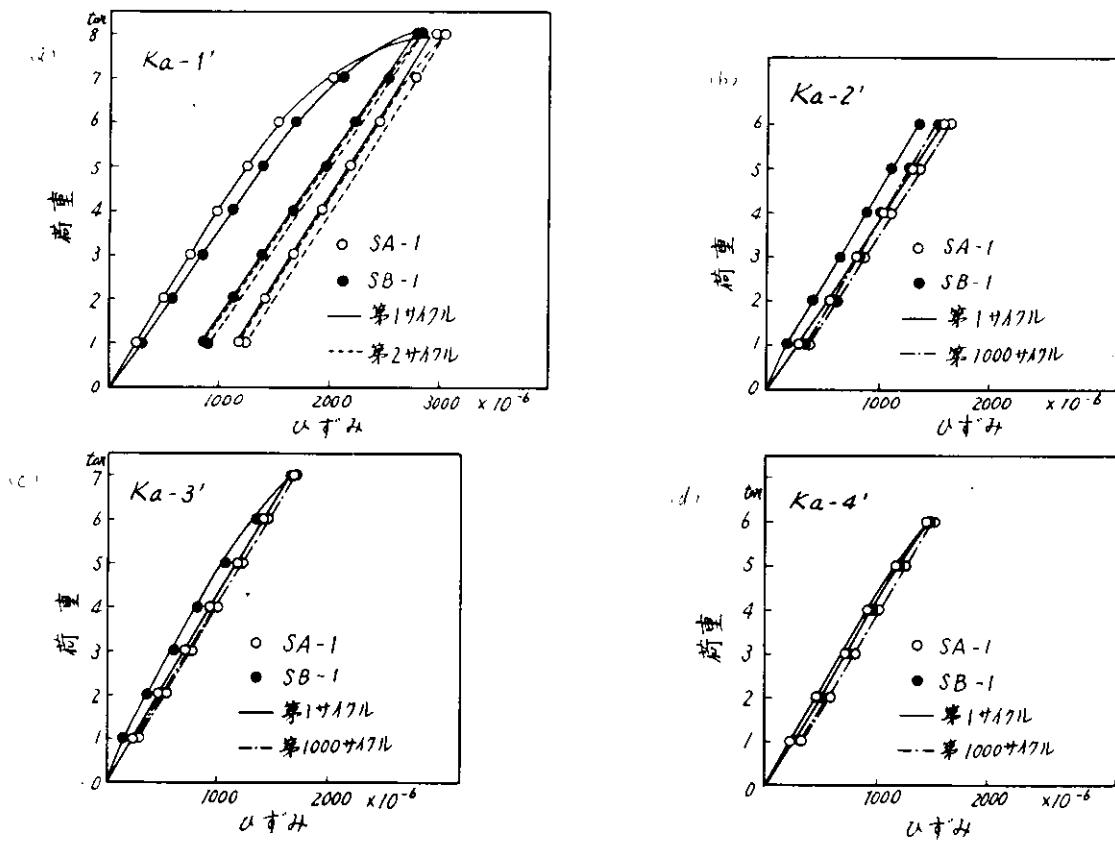


図 3.4.6(1) 荷重ーひずみ履歴曲線

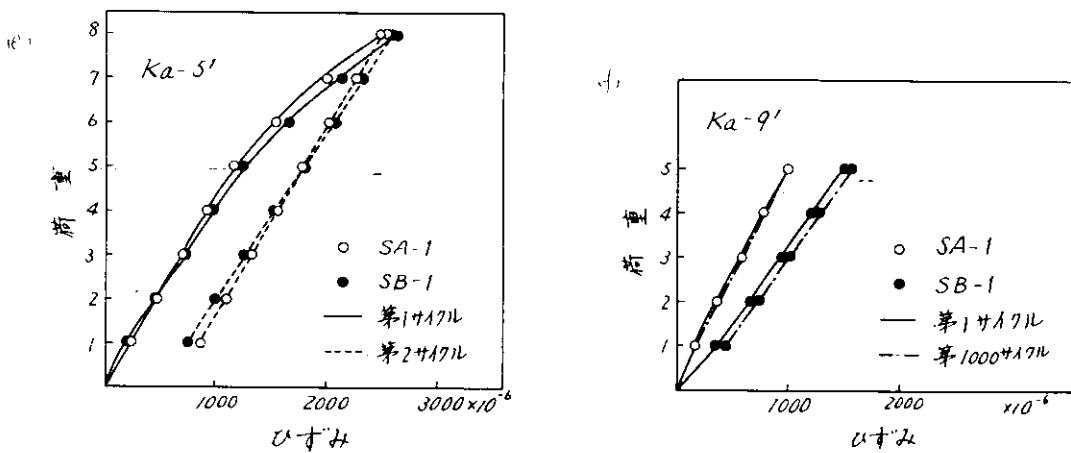


図 3.4.6(2)

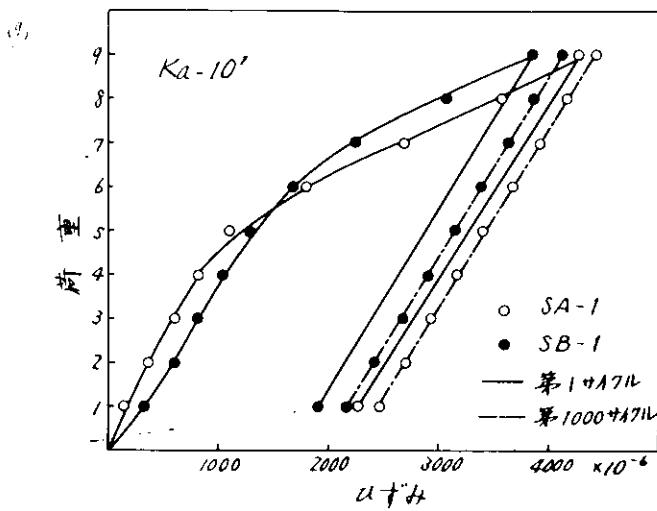


図 3.4.6(3)

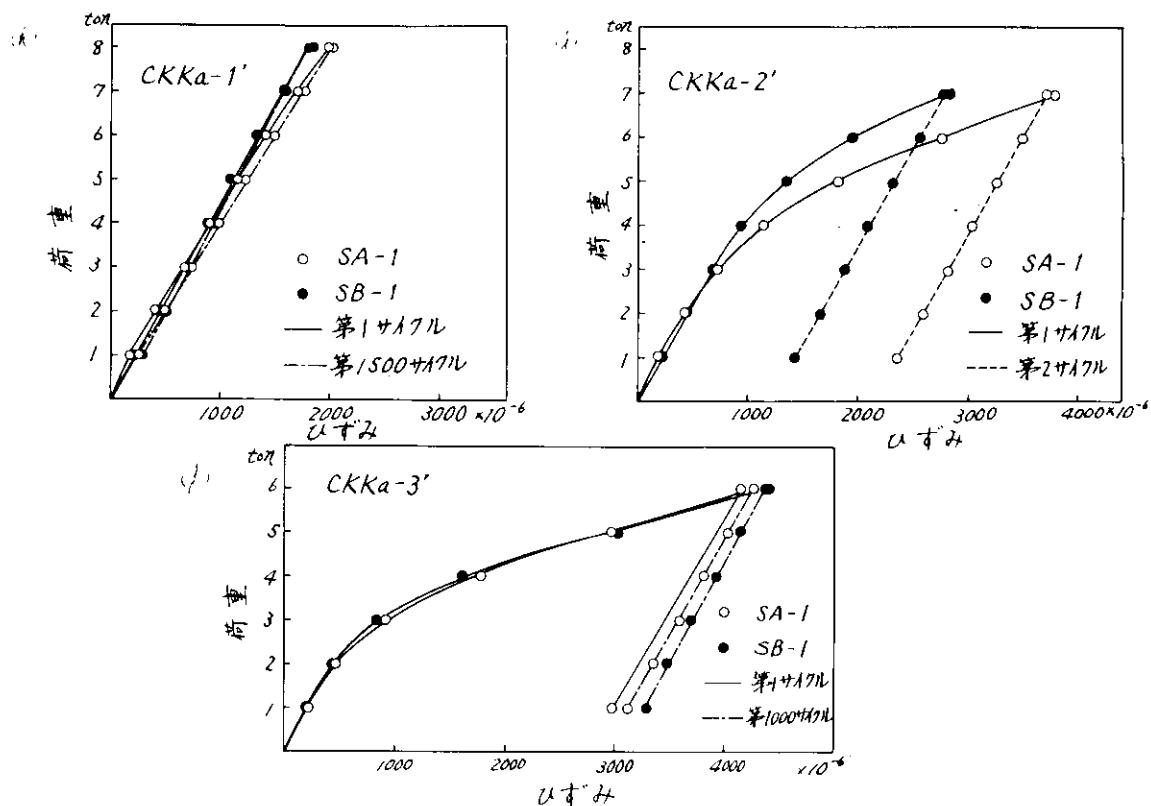


図 3.4.6(4)

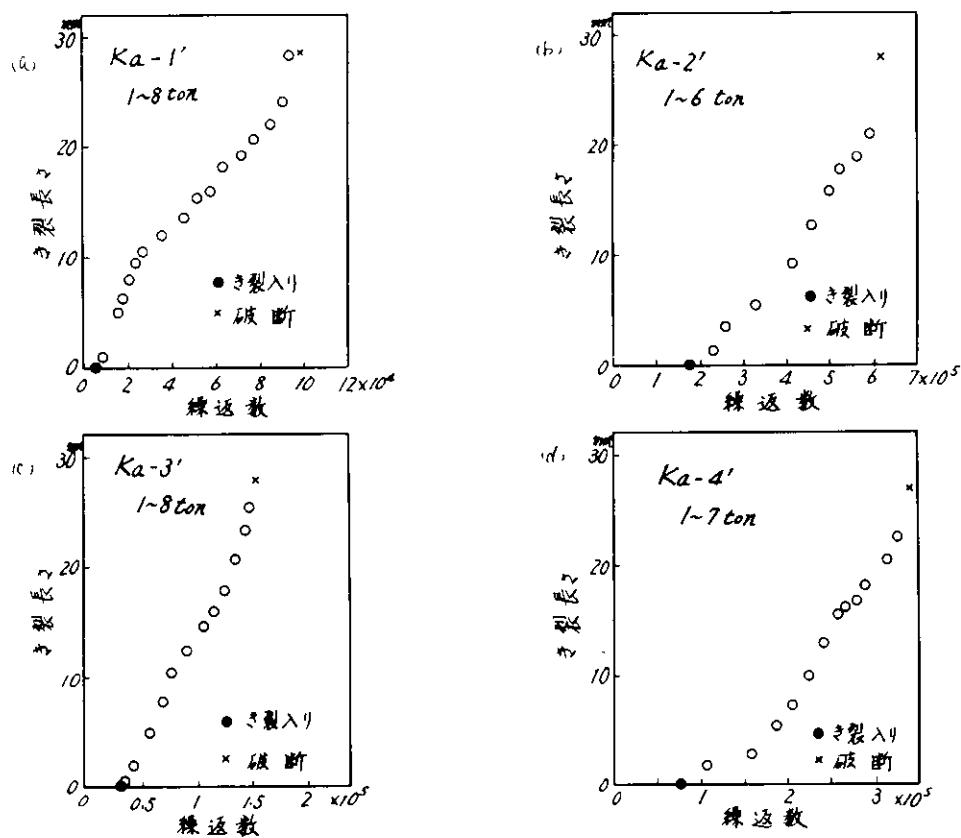


図 3.4.7(1) き裂進展状況

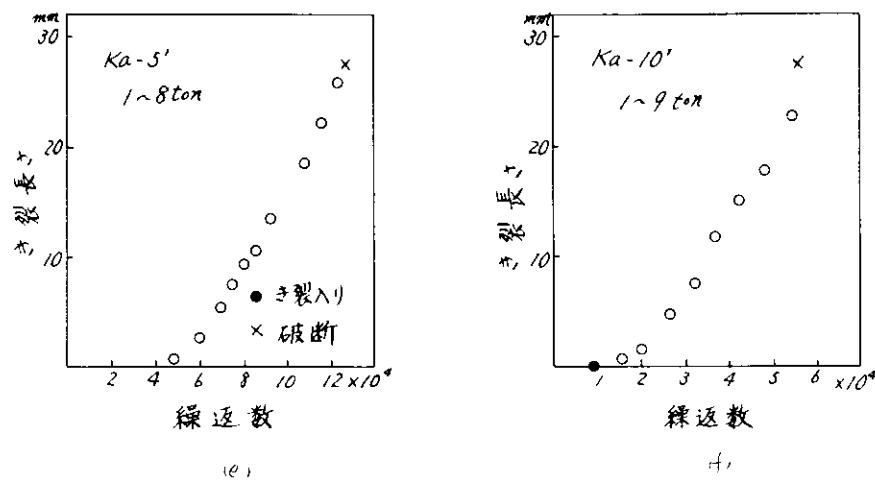


図 3.4.7(2)

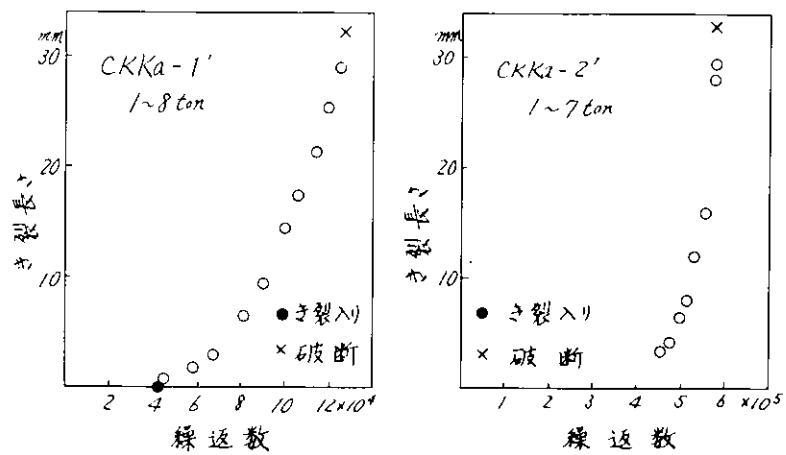


図 3.4.7(3)

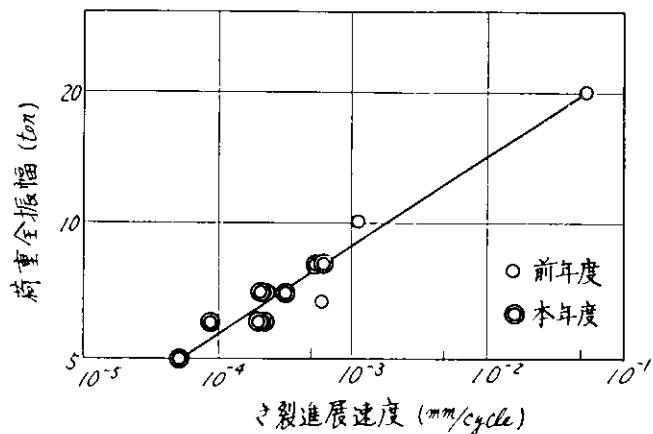


図 3.4.8 荷重一き裂進展速度線図 (Ka型)

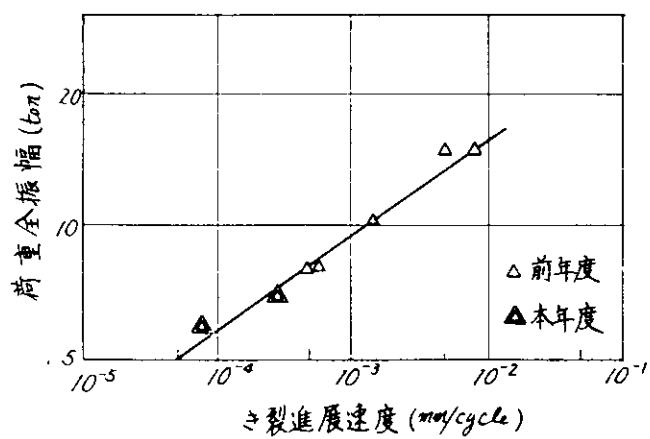


図 3.4.9 荷重一き裂進展速度線図 (CKKa型)

3.5 三菱重工業㈱長崎研究所における疲労試験

4.5年度に引き続いて、SLOT構造模型の低サイクル疲労試験を実施し、HALF COLLARおよび、BACK BKTの効果に関する疲労試験データを追加した。また、STIFFENER基部の局部模型（十字継手）について板厚を変えた4.4mmと15.9mmの二種類の疲労試験を行ない、STIFF基部溶接部の疲労き裂発生に及ぼす縮尺の影響を調べた。

3.5.1 SLOT構造模型疲労試験

使用した試験体および負荷方法は前年度と同じで、図3.1.1に示されたような各部形状を組合せたB-RP, B-RP', BMR-, B-I-の四種類とした。ここで用いる試験体名称は、STIFF.形状、BACK BKTの形状、SLOT形状そしてCOLLAR PLの形状の順序にならべて表わしている。表3.5.1に今年度三菱にて製作を分担した分の材料の機械的性質を示している。

まず、疲労試験に先立ちSTIFF. SLOT各部の応力を測定した。図3.5.1はSTIFF.および、B.BKT基部の応力分布を比較したものである。前年度に計測した標準型B-R-に比べて、上記四形式の試験体STIFF. 切欠部の最大応力は、いずれもかなり低くなっている。P型とP'型のHALF COLLARでは大きな差はないようである。図3.5.2、図3.5.3はSLOTコーナーの応力分布を表わしている。P型よりもP'型のほうが応力が大きくなる傾向が見られるが、これは図3.5.4(1)、(2)に示すSLOTコーナー近傍WEBの主応力、せん断応力値の傾向と一致している。I型SLOTでは、R型に比べてSTIFF基部の局部応力は低下しているが、SLOTコーナーの応力がかなり高くなっている。

表3.5.2に疲労試験結果をまとめて示している。また、図3.5.5～図3.5.8にSTIFF. および、SLOTのき裂発生・破断サイクル数と最高荷重の関係、き裂進展の状況などを示した。図3.5.5、図3.5.6で()をつけたものが今年度の試験結果であり、その他は前年度のものである。両者はかなり良い対応をしている。なお、比較のために4.5年度に実施された標準型試験体B-R-のき裂発生データも併記している。

P型、P'型のHALF COLLAR付き試験体のSTIFF. き裂発生サイクル数はほとんど差がなく、これは応力計測結果の傾向とも一致しているが、低荷重域に近づくと、標準型B-R-のき裂発生寿命との差がなくなるような傾向が見られる。これは図3.5.1の応力値の傾向と一致しなくなるが、その理由はよくわからない。なお、COLLAR PL. 付きだけ、他の形式に比べてSTIFF. のき裂伝播速度が遅く破断までの寿命が非常に長くなる特徴があるが、今回のPおよびP'型においてもその傾向が顕著でSLOTコーナー部のき裂発生寿命を延ばす効果が見られる。

なお、HALF COLLAR付きでは、FULL COLLAR付きに比べて、COLLAR PL溶接部の多数箇所からき裂を生じる傾向が見られる。しかもCOLLAR PLの溶接施工不良も影響していると思われるが、SLOTコーナー部よりも早い時期にき裂が発生している点、注意が必要である。写真3.5.1～写真3.5.6に代表的な疲労き裂の状況を示している。

図3.5.9は静荷重による破壊試験結果をまとめたものである。破壊は、STIFF切欠部母材が塑性変形してき裂を生じ、変形の進行とともにき裂も拡大する。COLLAR PL溶接部にき裂を生じたときが最高荷重であり、さらに変形が進行するとともに荷重は低下しつつSTIFF.破断という経過をたどっている。写真3.5.7と写真3.5.8に破断後の状況を示している。

3.5.2 局部模型（十字継手）による疲労試験

図3.5.10、図3.5.11に示しているような形状が相似でSTIFF.の板厚が4.4mmと15.9mmの2種類の十字継手試験片により疲労試験を行なった。表3.5.3に材料の機械的性質、表3.5.4に疲労試験結果を示している。荷重はSTIFF.基部の引張応力 σ_0 と曲げ応力 σ_b の比が、構造模型の応力分

布を考慮して、 $\sigma_b / \sigma_o = 0.8$ となるように偏心させた片振引張荷重を負荷した。

図 3.5.1 2、図 3.5.1 3 は応力の再現性を確認するために、縮尺模型 2 体、実寸模型 3 体について弾性応力分布および弾塑性歪分布を測定したものである。応力分布図の計算値は FEM 計算によるもので計測値と良く合っている。計測値の再現性も良好である。図 3.5.1 4 は縮尺模型と実寸模型の応力分布を比較したもので、切欠部近くで少しづらつきがあるが、両者は大体合っていると見ることができる。単位断面積当たりの荷重を等しくして図 3.5.1 2、図 3.5.1 3 の歪分布を比較しても両者は良く合っていることがわかった。

このように試験体の荷重条件をほぼ合せて試験できる見通しを得たので、次に疲労試験を実施した。図 3.5.1 5、図 3.5.1 6 は繰返し荷重とき裂発生・破断サイクル数の関係を示している。断面の引張応力 ($\sigma_o = P_{max} / A$) によって整理すると、図 3.5.1 7 のようになり、き裂発生繰返数で約 2 倍程度縮尺模型のほうが実寸模型よりも強くなる傾向が見られる。しかし、あまり大きな差ではなく、前年度より実施してきた構造模型疲労試験データをもとに、実船強度を推定する場合の信頼性が一応確認されたと考えられる。写真 3.5.9～写真 3.5.12 は破面の代表例を示している。

3.5.3 む す び

前年度に引き続き SLOT 構造模型の応力計測、低サイクル疲労試験、静荷重による破壊試験を行ない、主に HALF COLLAR の効果などについて調べた。これら疲労試験結果は、常年度の結果と良く対応がついており、試験データの信頼性が確認された。P型、P'型の HALF COLLAR による効果の間には大きな差はない、STIFFE のき裂進展速度を遅らせる上で COLLA P^L は大きな効果が見られる。これは、SLOT のき裂発生をおくらせることにもつながるようである。

また、板厚を変えた 2 種類の十字継手により疲労試験を行なった結果、試験体板厚によるき裂発生サイクル数の大きな差けなく、これまで実施してきた構造模型疲労試験結果から実船強度を推定する上での信頼性が確認された。

ただし、これまでのデータは、ほとんど 10^5 サイクル以下の領域に限定されており、もっと High cycle 領域のデータが今後の問題であろう。

表 3.5.1 S L O T 模型供試材 (SS 41) の機械的性質

試験片 名 称	試 験 片 尺 法	降伏点	引張強さ	伸 び
	板厚×幅×標点距離 (mm)	(Kg/mm²)	(Kg/mm²)	(%)
A-R-	4.38 × 24.88 × 50	32.5	45.7	38.4
C-R-	4.34 × 24.95 × 50	32.1	46.0	38.4
B-I-	4.39 × 24.82 × 50	32.6	45.9	37.8
B-RP	4.40 × 24.85 × 50	31.3	43.7	39.0
C-K-	4.37 × 24.95 × 50	31.7	45.0	37.8

表 3.5.3 十字継手供試材の機械的性質

模 型	試 験 片 尺 法	降伏点	引張強さ	伸 び
	板厚×幅×標点距離 (mm)	(Kg/mm²)	(Kg/mm²)	(%)
実寸模型	15.88 × 40.06 × 200	28.3	45.0	31.3
	15.82 × 40.06 × 200	28.7	44.1	31.7
縮尺模型	4.38 × 24.89 × 50	32.0	45.3	38.3

表 3.5.2(1) SLOT模型の疲労試験結果

試験片 名 称	横返荷重 (TON)			WEB STIFFENER			SLOT			SLOT 下部溶接			BACK・BKT			備 考		
	上限	下限	振幅	N C	N F	N F - N C	N C	N F	N C	N C	N F	N C	N F	N C	N F	N C	N F	
15	1.5	6.75	A: 1020	26306	25286	26306 - N C	F: 20250 J: (32800) E: 35250 H: (67825) G: ("") L: 発生せず	J: 70850	K: 27150 M: (34150)									
19	1.9	8.55	A: 395	3838	3443	3838 - N C	F: 4480 J: 5210 E: 12230 H: 9880 G: 22500 L: 17540	J: 26361	K: 8680 M: 8730									
22	2.2	9.9	A: 310	7180	6870	7180 - N C	F: 7660 J: 1720 E: 7300 H: 6020 G: (12200) L: 6280	J: 12888	K: 2080 M: 3320									
B-RP	2.4	10.8	A: 147	1550	1403	1550 - N C	F: 4440 J: 1240 E: 4580 H: 1440 G: 4950 L: 6890	J: 7097	K: 1910 M: 1880									
26	2.6	11.7	A: 98	3760	3662	3760 - N C	F: 1350 J: 1020 E: 3680 H: 1680 G: 6250 L: 5580	J: 6544	K: 1740 M: 2070									
28	2.8	12.6	A: 82	837	755	837 - N C	F: 2800 J: 500 E: 3000 H: 1330 G: 発生せず L: (2400)	J: 3588	K: 680 M: 1460									

注: () 内 Cycle
で付すでき裂
発生していた。

表 3.5.2(2) SLOT 構型の疲労試験結果

試験片 名 称	継返荷重 (TON)			WEB STIFFENER			SLOT			SLOT 下部溶接			BACK BACK		備 考
	上限	下限	振幅	N C	N F	N F - N C	N C	N F		N C	N F				
B-RP'	2.4	2.4	1.08	1.95	717	522	F: 1160 J: 3920 E: 2500 H: 440 N: 2570 L: 発生せず	4287	P: 1410 M: 2670						
BMR-	1.9	1.9	8.55	A: 2180 B: 3385	4560	2380	E: 4560	5388	K: 3060	C: 発生せず D: 420	1815				
B-I--	1.2	1.2	5.4	A: 840	11950	11110	E: 16200	25212	K: 6670						
	1.6	1.6	7.2	A: 550	3970	3420	E: 4330	7358	K: 3340						

表 3.5.4 十字継手の疲労試験結果

模 型	試験片 符 号	脚 長 (mm)	繰返荷重 (T O N)			き裂発生 N C	破 断 N F	N F - N C
			上 限	下 限	振 幅			
実 寸 模 型	No. 3	13	60	6	27	250	998	748
	No. 4	〃	50	5	22.5	1430	3030	1600
	No. 2	〃	40	4	18	1640	4560	2920
	No. 1	〃	30	3	13.5	7210	30660	23450
	No. 5	〃	20	2	9	>51400		
縮 尺 模 型	No. 3	4	5	0.5	2.25	280	398	118
	No. 5	〃	4.5	0.45	2.03	400	725	325
	No. 2	〃	4	0.4	1.8	3000	3143	143
	No. 1	〃	3	0.3	1.35	7000	12365	5365
	No. 6	〃	2.5	0.25	1.13	8000	13334	5334
	No. 4	〃	2	0.2	0.9	34000	>61060	

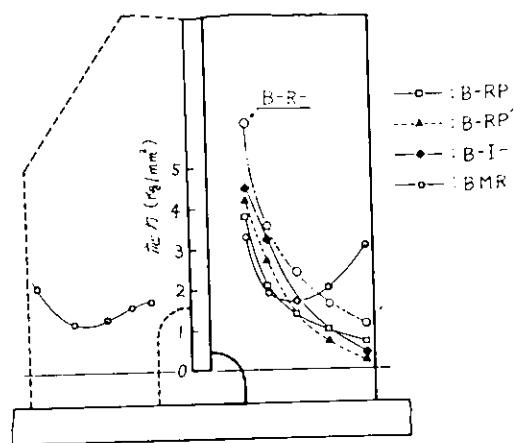


図 3.5.1 STIFF. 基部断面の応力分布
($W = 1 \text{ ton}$ の時)

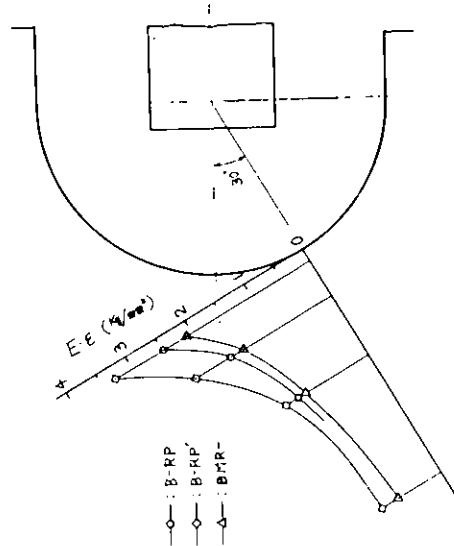


図 3.5.2 SLOT コーナーの応力分布
($W = 1 \text{ ton}$ の時)

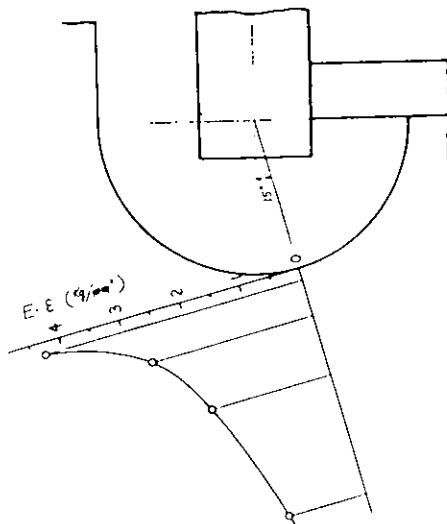


図 3.5.3 SLOT コーナーの応力分布
(B-I-模型, $W = 1 \text{ ton}$ の時)

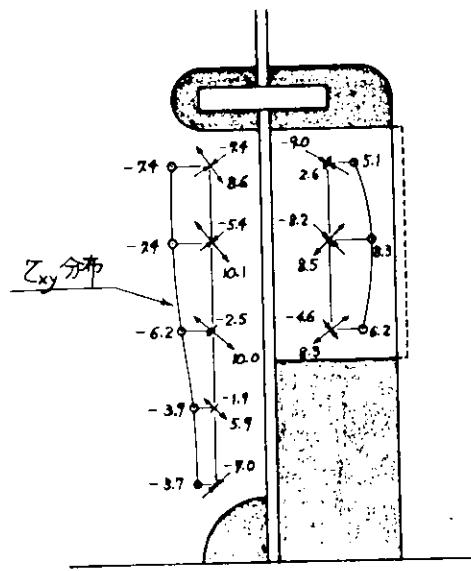
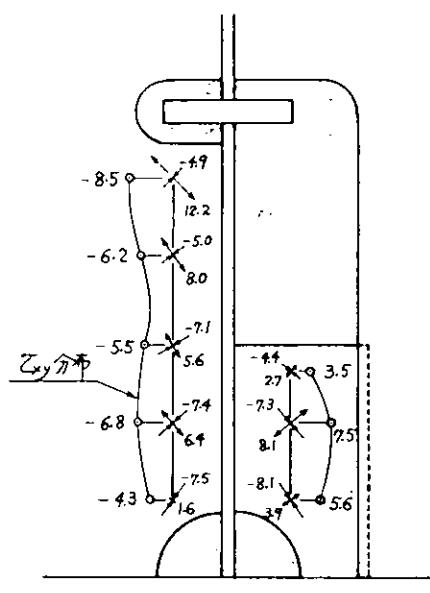


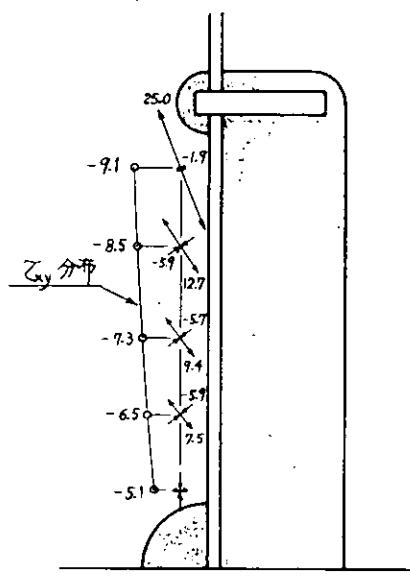
図 3.5.4(1) WEB の主応力およびせん断応力
($W = 10 \text{ ton}$ の時)

(1). B-RP 模型



(2) B-RP' 模型

図 3.5.4(2)



(3) B-I 模型

図 3.5.4(3)

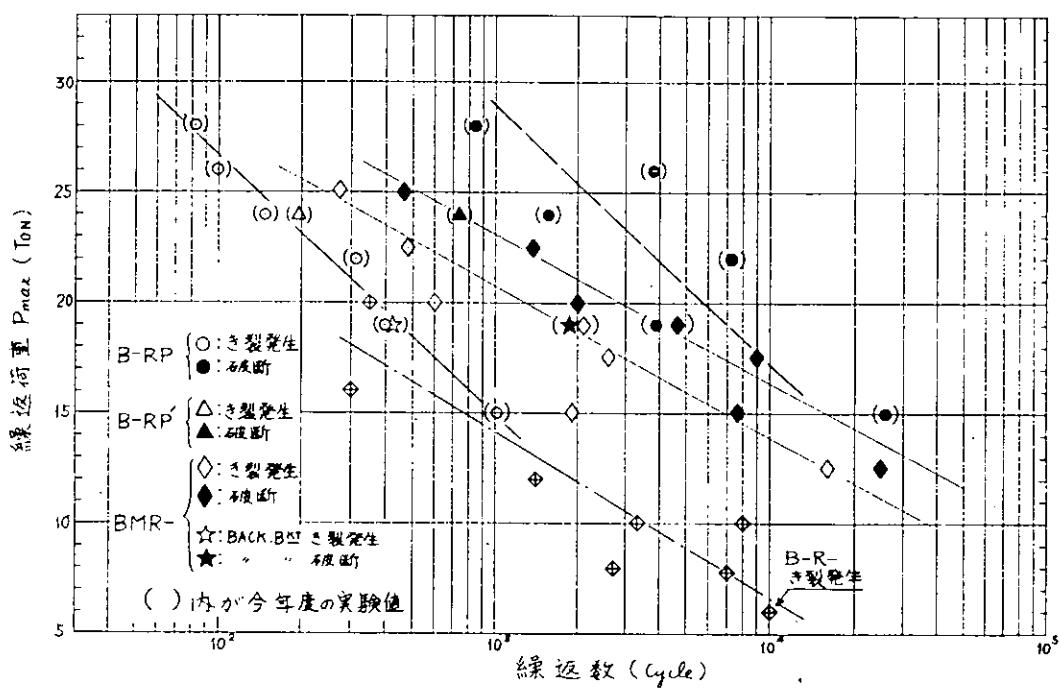


図 3.5.5 WEB STIFF. 基部の疲労試験結果

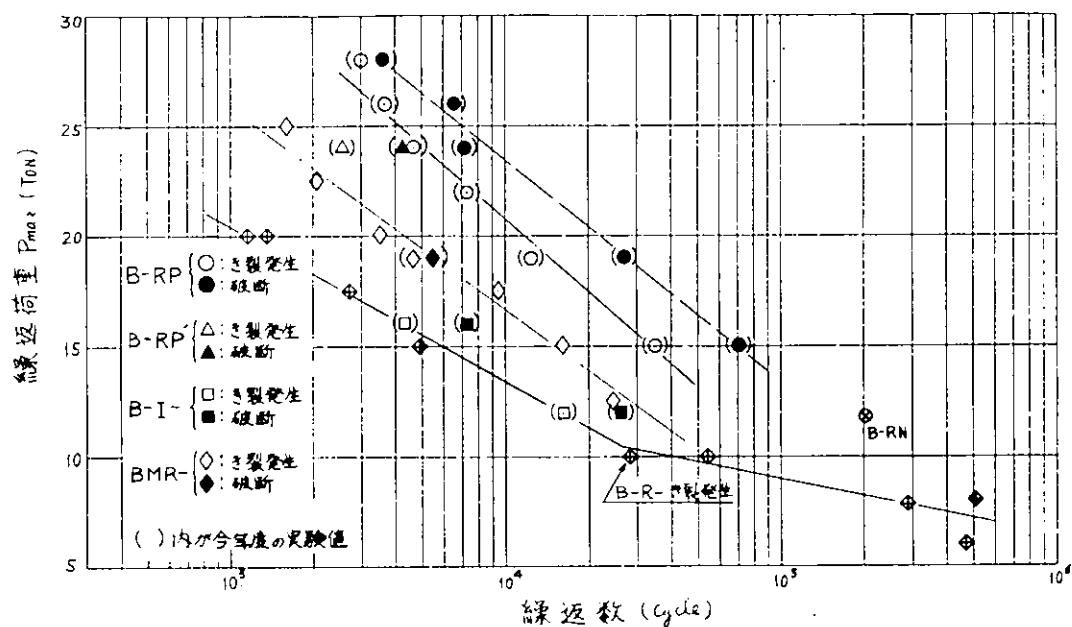


図 3.5.6 SLOT コーナー部の疲労試験結果

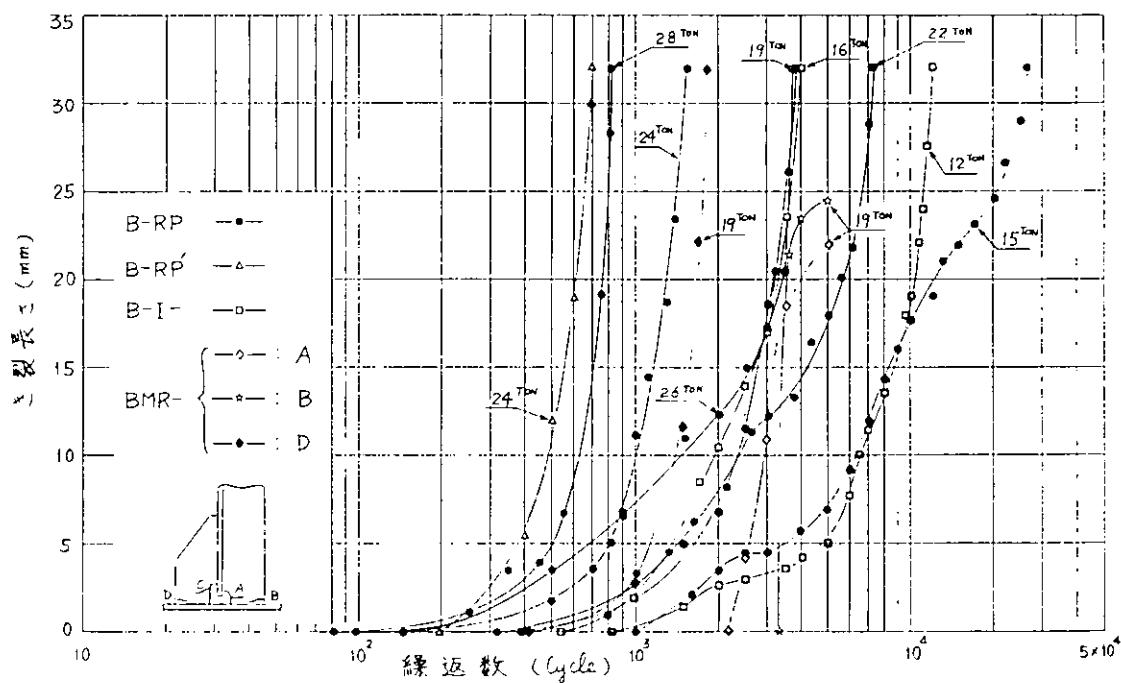


図 3.5.7 WEB STIFFENER のき裂伝播状況

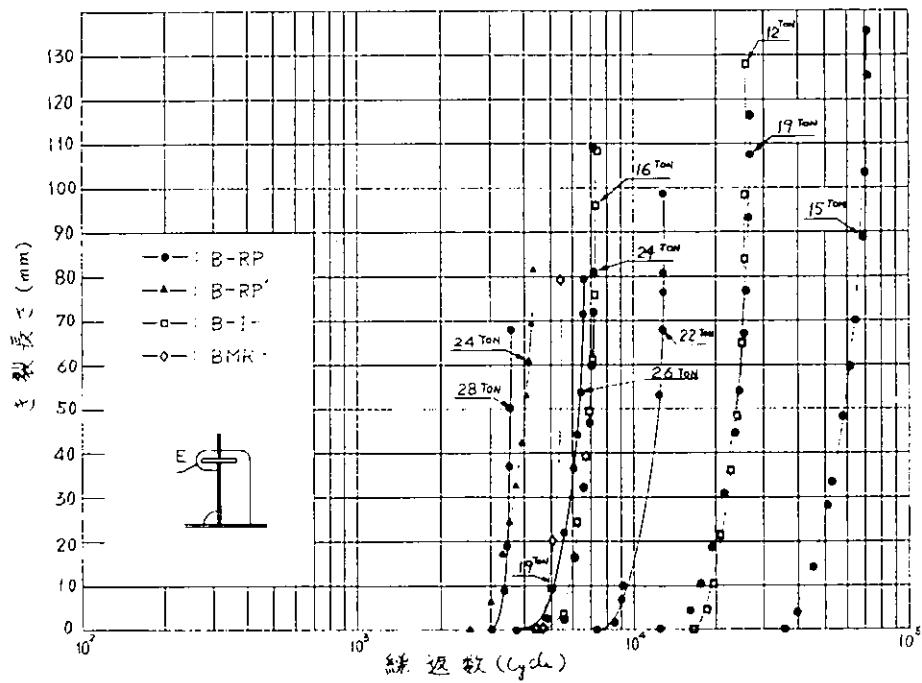


図 3.5.8 SLOT のき裂Eの伝播状況

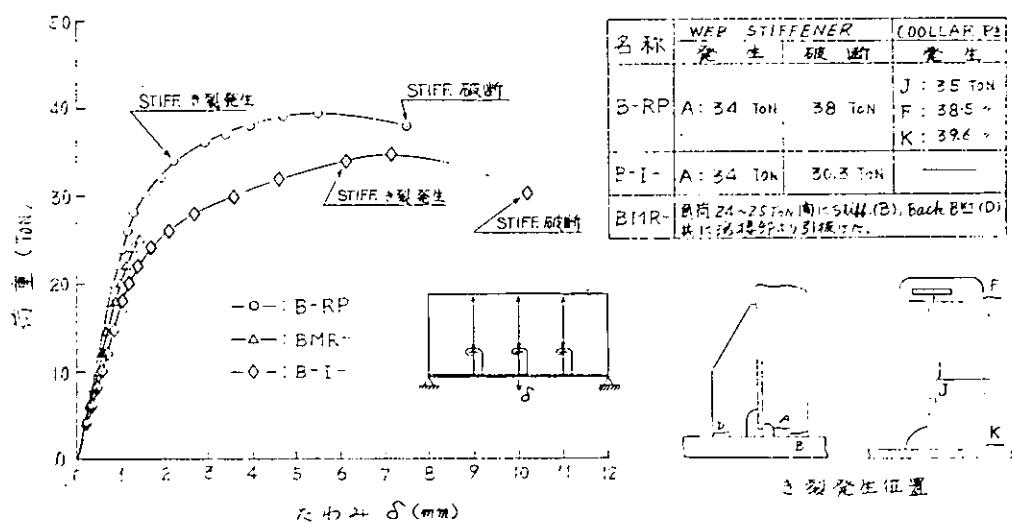


図 3.5.9 SLOT 模型の静荷重破壊試験結果

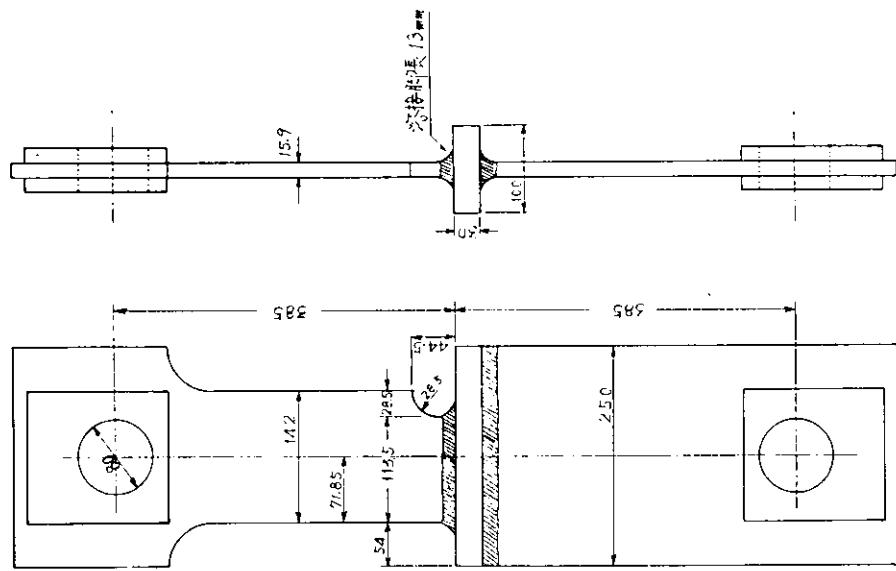


図 3.5.11 STIFFENER

十字継手実寸模型の形状、寸法

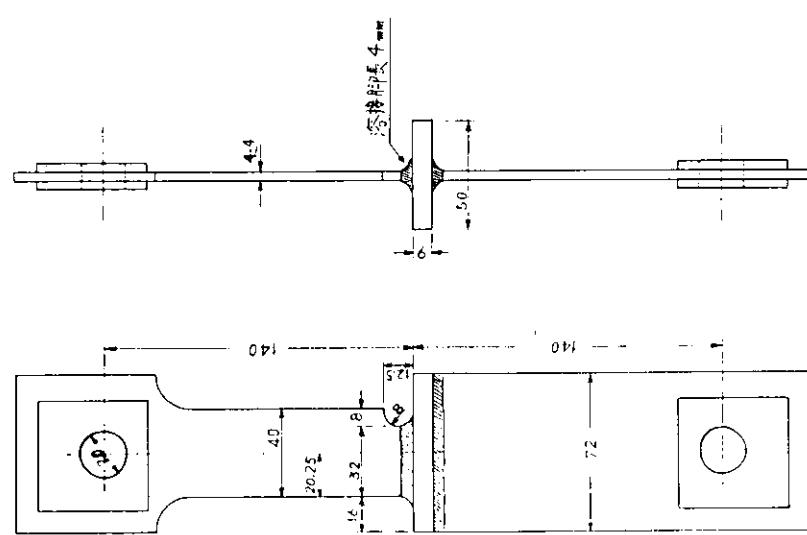


図 3.5.10 STIFFENER

十字継手縮尺模型の形状、寸法

(1) FIGURE FIG.

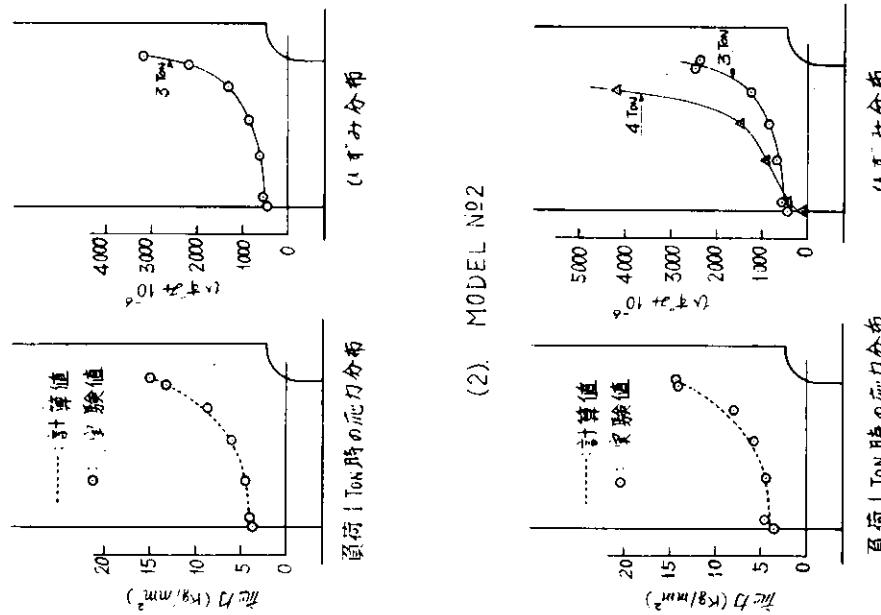
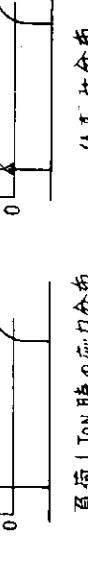


図 3.5.12 十字継手縮尺模型の応力、ひずみ分布

負荷 1 Ton 時の応力分布 ひずみ分布



負荷 25 Ton 時の応力分布 ひずみ分布

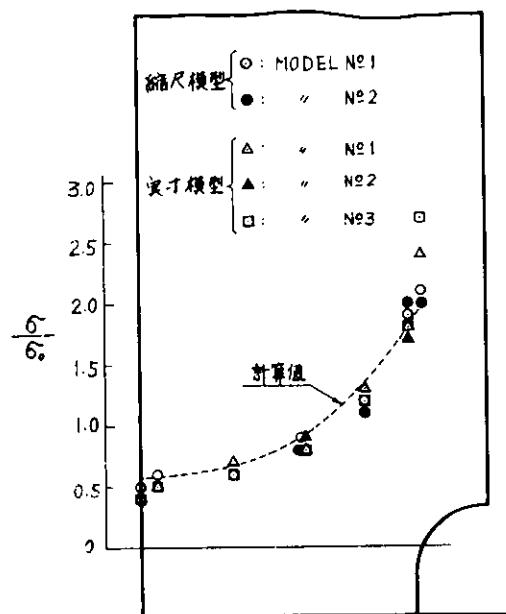


図 3.5.14 十字継手の縮尺模型と
実寸模型の応力分布比較

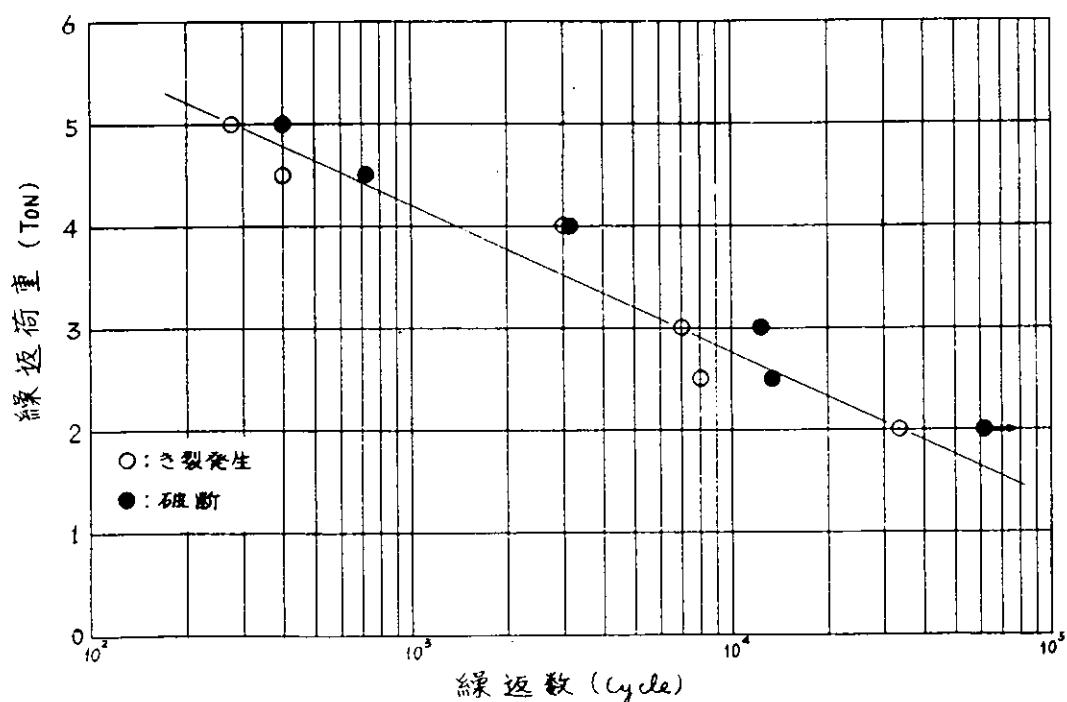


図 3.5.15 十字継手縮尺模型の疲労試験結果

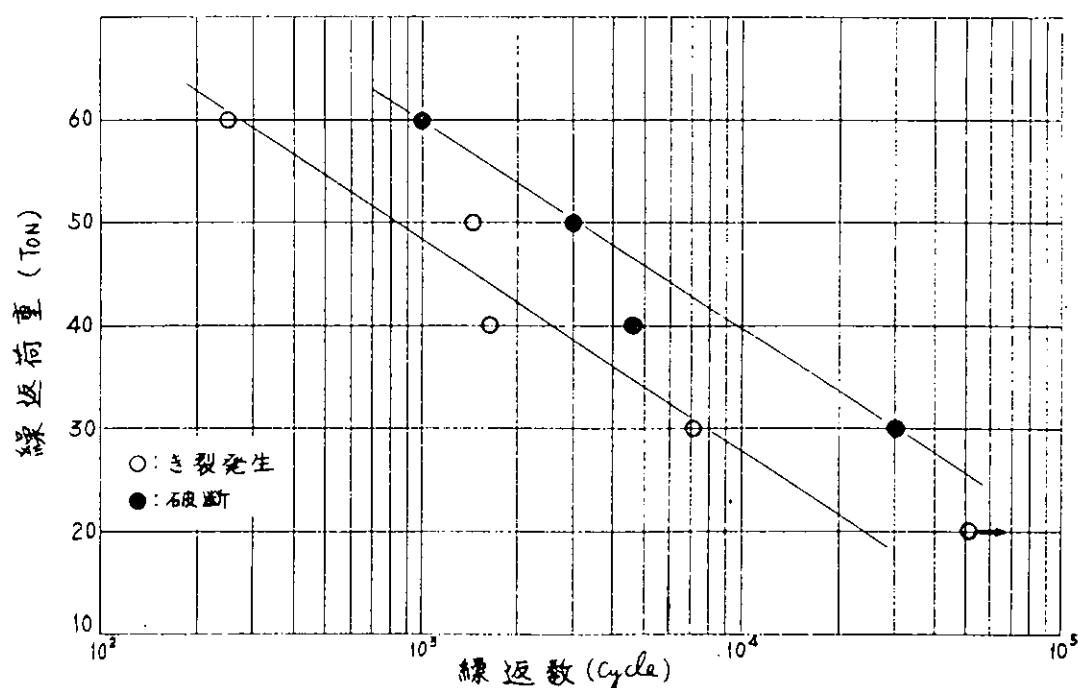


図 3.5.16 十字継手実寸模型の疲労試験結果

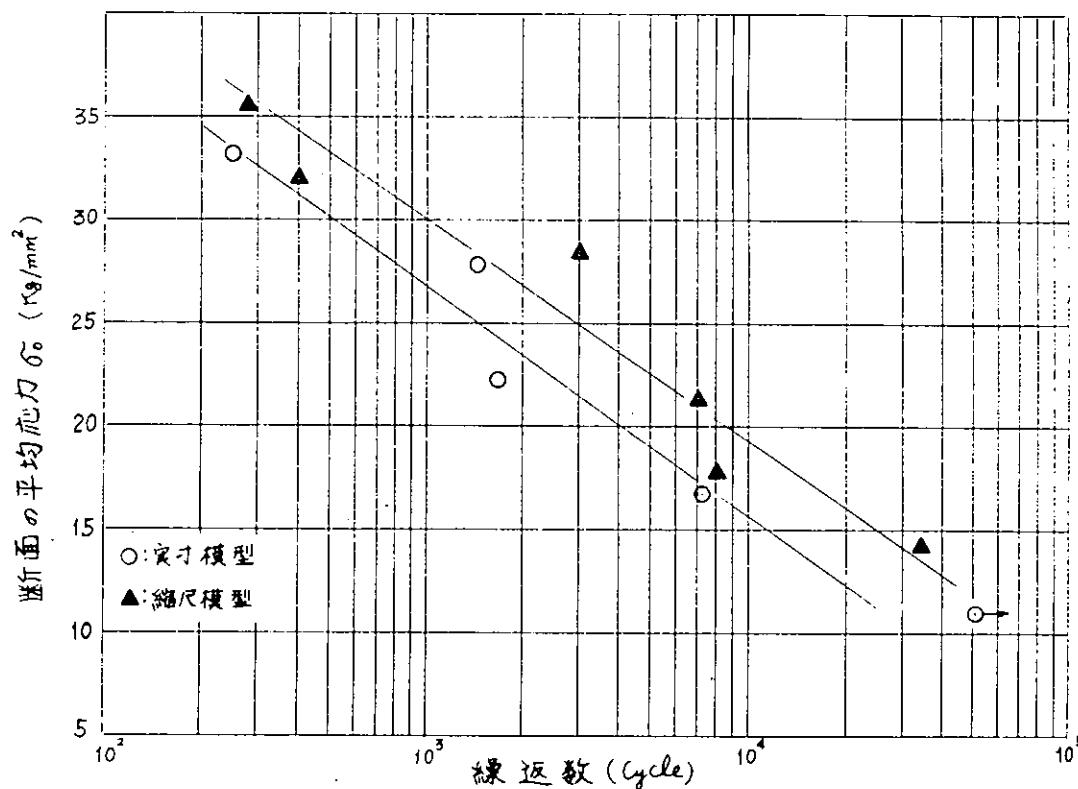


図 3.5.17 十字継手実寸 縮尺模型のき裂発生繰返数の比較



写真 3.5.1 模型 B - RP \odot WEB STIFF. のき裂状況
($P_{max} = 26 \text{ ton}$)



写真 3.5.2 模型 B - RP \odot SLOT CORNER のき裂状況
($P_{max} = 26 \text{ ton}$)

写真 3.5.3 模型 B - RP \odot COLLAR PLATE のき裂状況

($P_{max} = 24 \text{ ton}$)

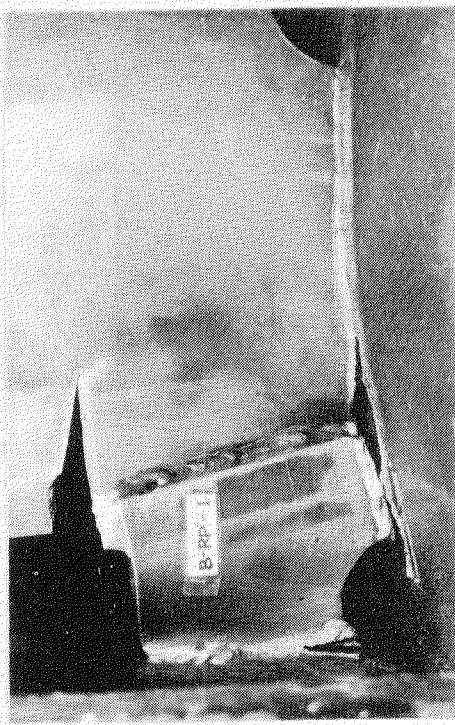


写真 3.5.4 模型 B - RP \odot COLLAR PLATE のき裂状況
($P_{max} = 24 \text{ ton}$)

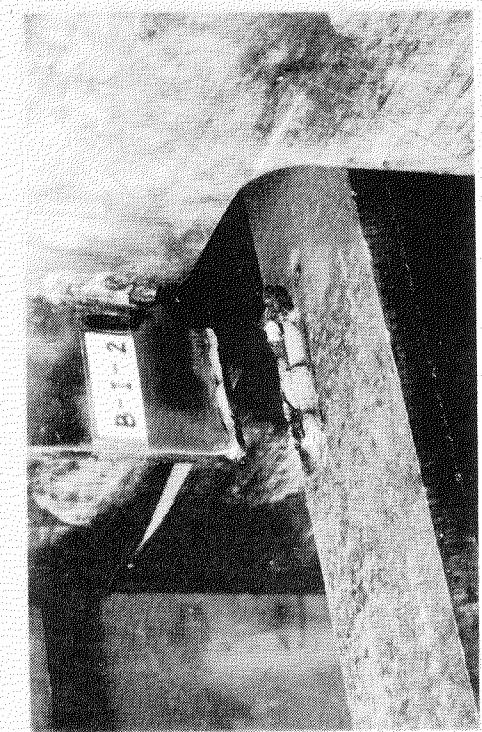


写真 3.5.5 模型 B - I - Ø SLOT CORNER のき裂状況
($P_{max} = 1.2 t_m$)



写真 3.5.7 模型 B - RP の静荷重破壊状況
(WEB STIFFENER)

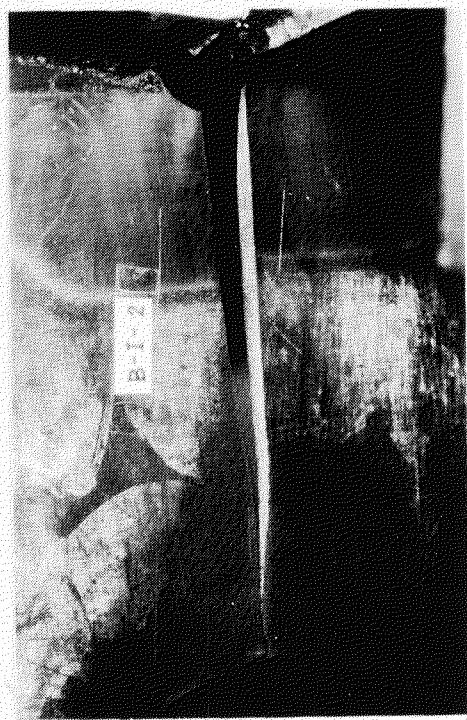


写真 3.5.6 模型 B - I - Ø WEB STIFF. のき裂状況
($P_{max} = 1.2 t_m$)

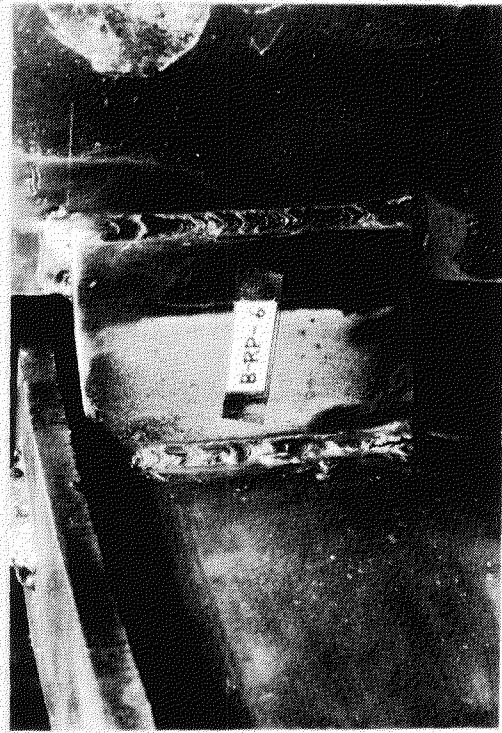


写真 3.5.8 模型 B - RP の静荷重破壊状況
(COLLAR P.L.)



写真 3.5.9 十字縦手実寸模型の破断状況
($P_{max} = 30 \text{ ton}$)

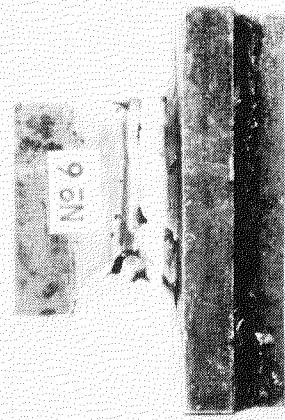


写真 3.5.11 十字縦手編尺模型の破断状況
($F_{max} = 2.5 \text{ ton}$)



写真 3.5.10 十字縦手美寸模型の破断状況
($P_{max} = 30 \text{ ton}$)

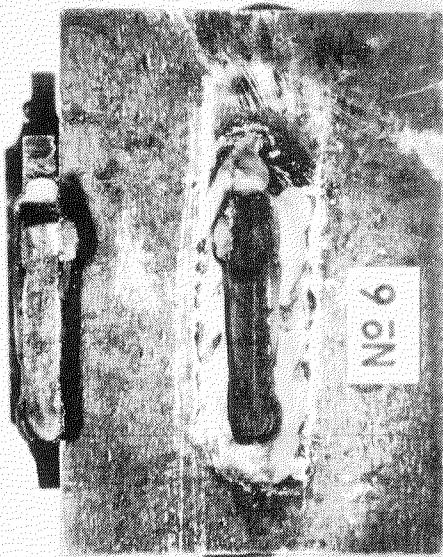


写真 3.5.12 十字縦手縮尺模型の破断状況
($P_{max} = 2.5 \text{ ton}$)

3.6 大型船スロット部疲労試験結果整理の一例

3.6.1 まえがき

実船のスロット部に対する疲労解析において、一般的に用いられるようなS-N線図は現在のところない。疲労解析には、それが構造体であるかぎり、特定の構造に対してのみ、使用可能であるようなS-N線図が書けるだけである。

ここでは、それらを全体として一つのものに集約することを目的として、設計上目やすとなるようなS-M線図を作成するため、昨年度に引き続き、本部会において実行されている。スロット模型疲労実験結果を整理した。ならに実船に適用するために、腐食雰囲気中における疲労強度低下を考慮して、修正してみた。

さらに、このようにして作成されたS-N線図を用いて疲労強度についての検討を行なってみた。

3.6.2 S-N線図作成

(1) slot部のS-N曲線作成については、前年度と同一の方法¹⁾によつて、45年度疲労試験のうち、試験未了のため、45年度報告書に間に合わなかったもの、および46年度疲労試験のうち46年12月までのものの結果と計算応力を表3.6.1に示す。またそれを図3.6.1にプロットし、参考のため、45年度報告書記載のプロットを併せ示した。

図3.6.2はmean stressを縦軸にとつてプロットしたものである。

図3.6.3は図3.6.1のstiff.だけを取り出したものであり、同様に

図3.6.4は図3.6.1のslot free edgeだけを、

図3.6.5は図3.6.1のstiff.破断だけを取り出したものである。

本年度得られたデータは、昨年度プロットのバラツキ範囲に入り、S-N曲線の信頼度が上つてゐる。ただし、mean stressで

整理した図3.6.2ではあまりよい相関性はみられない。

(2) ばらつきのある点についての検討

図3.6.1を見ると、BIとARSの1点づつまた、DRシリーズが他のものにくらべてかけはなれでいる。そこで、これらについて検討してみる。

	Pmin (t)	Pmax (t)	
BI-Ka4	3.29	10.16	6.3×10^2
BI-Ka1	3.09	10.49	9.44×10^3

以上のような2つのデータがあり、このKa4だけがばらついている。この2つのデータは、ほとんど同じ荷重で行なわれておらず、それにもかかわらず、スチフナ基部クラック発生回数が、1.5倍も異なっている。それゆえKa4は他の要因が関係していると思われ、この点は無視しう

1) 日本造船研究協会第120部究部会

大型船の横部材におけるスロット周辺のクラック防止に関する研究報告書

46年3月 F194

るとする。

- A R S の点も他の A R S 試験片に対し、異常に早くクラックが発生しているのでこれも無視する。
- D R シリーズはそれだけであるならば、よい相関を示すが、全体の中では特に早くこわれている。

これは試験片中唯一のプラケット型スチフナ（トリッピング・プラケット）であり、他のものがよい相関を示していることを考えると、スチフナ集中係数 ϕ のとり方が相対的に低すぎるのはないかと考えられる。

以上を考えて S-N 線図を作成する。

(3) 実船への適用、S-N 線図

実験結果によれば STIFFENER から先にクラックが発生しており、このクラック発生を防止することができれば、他のクラック発生、破断は緩慢防げると考えてよい。

なぜなら、実験によつては、ほとんどがスチフナ部からクラックが発生しており、スチフナがほとんど切れてから、あるいは完全に破断してから、スロットフリーエッジにクラックが発生しているからである。また、千研式はもともとスチフナが完全な状態にあるときの近似式であり、スチフナが切れたときにはたとえ、荷重による修正を行なつていたとしても、発生応力はより高いものが発生していることが考えられる。それゆえ、スロットフリーエッジでの応力は幾分誤差があると考えられる。

以上の理由により、疲労強度を推定するまでの S-N 線図は、スチフナ基部応力を基本として作成する。（図 3.6.3）

本実験は、集中荷重のみがロングにかかったときのものであり、剪断荷重による疲労は考えていない。この場合、剪断荷重と集中荷重による疲労強度への効果を等しいものと考えれば、本実験によつて作成された S-N 線図を用いてスチフナ基部に発生する最大応力値によつて疲労強度を推定すればよいことになる。

最大応力計算式としては、千研式を完璧に用いており、 σ_y 以上の σ_{max} は仮想応力ということになるが、 σ_y 以下であれば、ほぼ実際の応力を示していると考えられる。また、この式は実船、模型にかかわらず、使用可能であるから、この S-N 線図は実船にも使用可能と考えることとする。

(4) 海水中での S-N 線図

腐食雰囲気中での平均 S-N 線図作成に対しては、使用し得るデータがほとんどない。そこで直線式構造の疲労強度に関する検討（三菱重工）に示されている軟鋼の海水中両振曲げ試験結果（図 3.6.6）を利用する。

ここで作成しようとしているスチフナ基部の疲労強度も、上記の軟鋼の海水中での強度低下と同一の割合で低下すると考えれば、図 3.6.3 の Nに対する ϕ_m を図 3.6.6 の Nに対する応力比で修正し、図 3.6.7 の S-N 線図を求めることができる。

ただこれは、テストピースによるものであり模型に変化する最大応力と回数の関係になつているのに対し、図 3.6.3 に示されている応力は、応力集中部の最大応力であり、一概には同一の比で低下するとはいえないが、現在のところこのように考へることにする。

3.6.3 実船における SLOT 部疲労強度

構造物の疲労強度、中でも slot 周辺のごとき複雑な構造に対して未解決事項が多いのであるが、今までに得られている知見でもつて slot 部の疲労強度に当つてみる。

slot 部の受ける荷重により発生する応力としては専用 ballast tank についていうと、荷油の

積下しにともなう荷重変動による応力変動量 σ_1 、波浪に起因する応力変動量 σ_2 、さらに振動による応力変動量 σ_3 が重複していることが考えられ、各サイクル数は n_1 、 n_2 、 n_3 となる。応力波形(弹性計算)は図3.6.8のごとくなる。

それぞれのサイクル数を計算してみると σ_1 に対し、計算応力値と実船損傷との対比によりスロット対策懇談会²⁾で bottom trans の stiff 基部許容応力を 4 年で 3.5kg/mm^2 としているので、この 3.5kg/mm^2 を基準として考える。よって 4 年間の σ_1 、 σ_2 、 σ_3 の回数を計算する。

一航海 34 日 1 年 8 航とし、平均出合周期を 10 秒 blade frequency を 500 とすれば

$$n_2 = 8 \times 4 \text{ 年} = 32 \text{ 回}$$

$$n_2 = 8 \times 4 \text{ 年} \times 34 \text{ 日} \times 24 \text{ 時} \times 3600 \text{ 秒} \div 10 \text{ 秒} = 9.45 \times 10^6 \text{ 回}$$

$$n_3 = 8 \times 4 \text{ 年} \times 34 \text{ 日} \times 24 \text{ 時} \times 60 \text{ 分} \times 500 \text{ 回分} = 7.18 \times 10^8 \text{ 回}$$

となる。波により応力の発生回数を考える場合、最大波高を 1 としたとき、その分布が回数の log に対し直線分布をするとすれば³⁾このときの 1.0 、 0.9 、 0.8 …… 0.1 をこえる回数は図3.6.9 のようにして決定され、波による疲労は次のようにして計算できる。

等価応力	頻度 n	寿命 N	疲れ被害
1.0 × Se	n_{21}	N_{21}	n_{21}/N_{21}
0.9 "	n_{22}	N_{22}	n_{22}/N_{22}
0.8 "	n_{23}	N_{23}	n_{23}/N_{23}
0.7 "	⋮	⋮	⋮
0.6 "	⋮	⋮	⋮
0.5 "	⋮	⋮	⋮
0.4 "	⋮	⋮	⋮
0.3 "	⋮	⋮	⋮
0.2 "	⋮	⋮	⋮
0.1 "	D_{210}	N_{210}	n_{210}/N_{210}
			$\Sigma n_{2i}/N_{2i} = D_2$

日本ペルシャ湾における 4 年間での最大波高を 1.6 m 応答量を 0.5 つまり、有効波高を 8 m と仮定し、 FULL と BALLAST で 3.5kg/mm^2 の応力を発生する船のヘッド差が 1.4 m である

2) 船体構造委員会東地区部会

”スロット対策懇談会” 造船誌 46.7.8 月号所載

3) 隅田丸による北太平洋実船強度実験 安藤、長沢、島田

造船協会論文集 第 119 号 S 41.5 月

ったとすれば、4年間で最大土 1.0 Kg/mm^2 の変動応力を発生することとなる。

* 3.5 Kg/mm^2 を決定したときの船の主要寸法

$$L \times B \times D \times d$$

$$22.8 \times 35.0 \times 16.7 \times 12.0$$

$$22.5 \times 37.8 \times 18.6 \times 12.6$$

$$23.7 \times 37.2 \times 18.5 \times 14.0$$

$$25.2 \times 38.0 \times 21.8 \times 15.0$$

$$29.0 \times 47.5 \times 24.0 \times 16.0$$

$$\text{ヘッド差} \quad \text{BALLAST} \quad D \times 0.7$$

$$FULL \quad d$$

さて波による応力は 3.5 Kg/mm^2 を基準としてこれに重畠されているので模型解析に使用した修正法を用いて修正した応力値を計算すると、 1.0 Kg/mm^2 は、 14.6 Kg/mm^2 の両振り荷重に修正される。

以上より σ_1 および σ_2 に対する D を求めると

$$D_1 = 0.012$$

$$D_2 = 0.907$$

$$D_1 + D_2 = 0.919 \div 1 \text{ となり}$$

破壊する公算が高い。

と考えられる。（ $0.1 \times S_e$ に対応するものは、この中に入っていない。すなわち、小さな応力域は無視したことに対応する）

σ_3 であるが、もし σ_3 のみで破壊すると考えた場合は、約 3.5 Kg/mm^2 の片振りで破壊する。これを 3.5 Kg/mm^2 をベースにとると約 1.7 Kg/mm^2 の振動発生応力を要することとなり、これからみると振動は比較的の問題でなく思える。

しかし、このような低応力での $S-N$ 線図は実験等の裏づけのあるものではまったくなく、単に試みてみたにすぎないので、本当に振動による疲労を考えるには、低応力の腐食雰囲気中の実験等を行なう必要がある。

ともかく全体として考えてみると、波によるものはかなりの高応力を発生させるであろうし、そのあたりではかなり $S-N$ 線図が信頼をおけると考えれば、波の変動外力による疲労で破壊すると考えてよいように考えられる。

3.6.4 むすび

疲労強度見積上の整理方法として一つの例を実行してみた。本部会の実験においては、低応力による疲労実験結果が少なく、疲労限界が明らかではない。また、海水中においては軽油によるテストピース結果、1つからだけ推定したので、極高サイクルによる疲労についての検討はほとんど不可能であり、振動応力による疲労についてもほとんど不明のままである。しかし、波による疲労については、通常の海を走っている場合には、波による疲労はかなり大きなものになり、主な原因は波によるものであると考えてよいように考えられる。ただ振動と波どちらが破壊に大きな影響を与えるかということは言えない。

これから問題としては、海水中での疲労に対する研究を進める必要がある。また、振動応力の把握を行なわねばならない。

表 5.6.1 46年度・45年度疲労試験結果および計算応力
45年度報告書分を^vで示す。

No	mark	slot	stiff	Pmin (t)	Pmax (t)	Pa (t)	Stiffner		slot	PaCによる応力(Kg/mm)			stiff area (mm ²)	Ps (kg)	Pa-Ps (kg)	GR [*] (kg/mm)		
							crack initiate N	failure N		f	stiff.	slot	mean	max	GR ₁ (mm)			
1	AR-To-1	I	●	1.6	8.0	32	9.00×10 ³	2.82×10 ³	3.40×10 ³	5.60	7.5	420	12.5	182	1365	1835	21.6 (23.9)	
2	To-2	I	●	1.2	12.0	54	2.00×10 ³	4.05×10 ⁴	3.72×10 ⁴	—	12.6	70.6	21.2	—	2293	3107	30.4	
3	To-3	I	●	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
4	BR-To-2	I	●	1.4	7.8	32	7.00×10 ³	1.00×10 ⁵	2.90×10 ³	6.80	8.3	564	13.3	146	1212	1988	21.1 (23.8)	
5	To-1	I	●	1.3	12.1	54	1.40×10 ³	1.55×10 ⁴	1.60×10 ⁴	—	14.0	95.2	22.5	—	2044	3356	35.2	
6	To-3	I	●	1.5	16.1	73	3.00×10 ³	3.80×10 ³	4.50×10 ³	—	18.9	1285	30.4	—	2754	4511	48.8	
7	Nk	I	●	1.9	10.0	45	8.00×10 ³	4.94×10 ⁴	5.40×10 ⁴	—	11.6	78.9	18.7	—	1694	2806	29.5	
8	Nk	I	●	1.0	6.0	25	1.00×10 ³	1.90×10 ⁵	4.74×10 ³	—	6.5	44.3	10.4	—	950	1550	16.9 (21.9)	
9	Nk	I	●	1.0	8.0	35	2.70×10 ³	5.29×10 ⁵	5.11×10 ³	—	9.1	62.0	14.6	—	1330	2170	23.6 (24.6)	
10	MA-1	I	▲	1.0	10.0	45	3.30×10 ³	(2.50×10 ⁴)	2.83×10 ⁴	—	11.6	78.9	18.7	—	1694	2806	29.5	
11	Mn-5	I	●	1.25	12.5	5625	3.08×10 ²	3.61×10 ³	7.16×10 ³	—	14.6	99.3	23.4	—	2132	3493	36.9	
12	•Mn-3	I	●	1.5	15.0	675	9.90×10 ³	4.70×10 ³	4.90×10 ³	—	17.5	119.0	28.1	—	2555	4195	43.6	
13	Mn-7	I	●	1.5	15.0	675	2.90×10 ²	3.81×10 ³	5.55×10 ³	—	17.5	119.0	28.1	—	2555	4195	43.6	
14	Mn-4	I	●	1.75	17.5	7875	1.35×10 ³	2.71×10 ³	2.70×10 ³	—	20.4	138.5	32.8	—	2978	4897	51.7	
15	•Mn-2	I	●	2.0	20.0	90	3.50×10 ²	8.84×10 ²	1.36×10 ³	—	23.3	158.5	37.1	—	3402	5598	57.2	
16	Mn-6	I	●	2.0	20.0	90	未	4.99×10 ²	1.15×10 ³	—	23.3	158.5	37.4	—	3402	5598	57.2	
17	•Ka-1	I	●	2.88	23.0	1001	未	4.50×10 ²	1.16×10 ³	—	26.0	177.0	41.7	—	3796	6214	66.8	
18	•Ka-2	I	●	2.68	12.74	503	定	2.08×10 ⁴	(1.96×10 ⁴)	—	13.0	88.4	20.9	—	1898	3132	32.6	
19	•Ka-3	I	●	2.88	9.67	3395	—	3.22×10 ⁴	6.20×10 ⁴	—	8.8	59.9	14.1	—	1285	2110	24.5 (24.5)	
20	CR-To-1	I	▲	1.1	8.0	345	3.00×10 ⁴	2.90×10 ³	3.40×10 ⁵	5.80	7.5	43.5	14.0	146	1095	2355	29.4 (29.4)	
21	To-2	I	●	1.1	12.0	545	3.00×10 ³	2.87×10 ⁴	3.40×10 ⁴	—	11.9	69.0	22.0	—	1737	3713	31.2	
22	To-3	I	●	1.3	16.0	735	6.00×10 ²	3.30×10 ³	4.30×10 ³	—	16.0	92.8	29.7	—	2336	5014	41.5	
23	DR-To-1	I	■	1.3	12.0	535	1.00×10 ³	8.89×10 ⁴	5.30×10 ⁴	8.30	3.8	31.6	18.4	684	2599	2751	22.2 (22.2)	
24	To-2	I	●	1.6	16.2	73	4.00×10 ²	3.36×10 ⁴	1.64×10 ⁴	—	5.2	43.2	25.0	—	3557	3743	29.9	
25	Nk	I	●	1.0	10.0	45	7.90×10 ³	1.15×10 ⁵	5.00×10 ⁴	—	3.2	26.6	15.4	—	2189	2311	22.5 (22.5)	
26	Nk	I	●	1.0	8.0	35	1.00×10 ⁴	2.10×10 ³	1.90×10 ⁵	—	2.5	20.7	12.0	—	1230	2270	22.8 (22.8)	
27	BI-Ka-1	I	▲	3.04	10.49	37	9.44×10 ³	1.84×10 ⁵	1.30×10 ⁵	6.80	5.5	37.1	13.9	146	803	2497	14.2 (14.2)	
28	•Ka-2	I	●	3.09	13.75	533	3.84×10 ³	2.37×10 ⁴	(2.40×10 ⁴)	—	7.9	53.7	20.0	—	1153	4177	24.6 (24.6)	
29	•Ka-3	I	●	2.88	18.29	7705	3.90×10 ²	1.23×10 ⁴	9.17×10 ³	—	11.4	77.5	28.9	—	1664	6041	34.1	
30	Ka-4	I	●	3.29	10.16	3435	6.30×10 ²	8.28×10 ⁴	1.80×10 ⁵	—	5.1	34.7	12.9	—	745	2690	16.7 (16.7)	
31	Ka-5	I	●	3.09	10.8	750	5.50×10 ²	1.56×10 ⁵	1.32×10 ⁴	—	11.1	75.5	28.1	—	1621	5879	30.5	
32	Ka-6	I	●	3.09	13.14	5025	1.72×10 ⁴	7.55×10 ⁴	7.00×10 ⁴	—	7.4	50.3	18.9	—	1080	3345	24.1 (24.1)	
33	CK-Ka-1	I	▲	3.09	13.14	5025	9.80×10 ³	未	測定	7.20×10 ⁴	5.60	9.3	52.1	18.6	146	1358	3667	25.2
34	•Ka-2	I	●	3.09	17.6	7285	5.10×10 ³	9.43×10 ³	(1.10×10 ⁴)	—	13.5	75.6	27.0	—	1971	5314	35.4	
35	•Ka-3	I	●	3.09	13.14	5025	1.50×10 ⁴	2.69×10 ⁴	(6.70×10 ⁴)	—	9.3	52.1	18.6	—	1358	3667	25.2	
36	Ka-4	I	●	3.09	10.16	3435	(1.26×10 ³)	1.81×10 ⁵	—	—	6.4	35.8	12.8	—	934	2501	17.1 (17.1)	
37	Ka-5	I	●	3.09	17.87	739	(3.30×10 ³)	(6.00×10 ³)	6.63×10 ³	—	13.7	76.8	27.4	—	2000	5390	36.4	
38	Ka-6	I	●	3.09	10.18	3505	3.43×10 ⁴	8.05×10 ⁴	—	—	6.5	36.4	13.0	—	949	2556	17.8 (17.8)	
39	ARN-To-1	I	●	0.9	8.2	365	2.00×10 ⁴	—	—	—	6.3	35.3	6.9	182	1147	2503	17.0 (17.0)	
40	Nk	I	●	1.0	10.0	45	4.50×10 ³	1.78×10 ⁴	2.03×10 ³	—	7.9	44.2	8.5	—	1438	3062	15.3 (15.3)	
41	Nk	I	●	1.0	12.0	55	8.30×10 ³	8.74×10 ⁴	1.90×10 ⁵	—	9.6	53.8	10.4	—	1747	3753	17.2 (17.2)	
42	Nk	I	●	1.0	14.0	65	1.30×10 ³	3.60×10 ⁴	6.70×10 ⁴	—	11.3	63.2	12.3	—	2055	3945	20.2 (20.2)	
43	Nk	I	●	1.0	8.0	35	6.50×10 ⁴	3.13×10 ⁴	3.60×10 ⁴	—	6.1	34.2	6.6	—	1110	2390	17.2 (17.2)	
44	BRN-Ts-1	I	●	1.2	12.0	54	4.50×10 ³	5.46×10 ³	2.00×10 ⁵	6.80	10.0	68.0	10.1	146	1460	3940	17.2 (17.2)	
45	ARP-Nk	I	●	1.0	10.0	45	7.00×10 ³	1.18×10 ³	1.18×10 ⁵	5.60	8.7	48.6	11.7	182	1583	2917	17.2 (17.2)	
46	Nk	I	●	1.0	8.0	35	1.36×10 ⁴	1.98×10 ⁴	2.10×10 ⁴	—	6.8	38.1	9.1	—	1237	2263	17.5 (17.5)	
47	ARS-To-1	I	♦	1.0	12.0	55	1.00×10 ⁴	8.20×10 ⁴	6.60×10 ⁴	5.00	5.5	27.5	18.4	495	2720	2780	31.4	
48	To-2	I	●	1.2	16.2	75	1.40×10 ³	2.20×10 ⁴	2.20×10 ⁴	—	7.5	37.5	25.1	—	3710	3790	41.6	
49	To-2	I	●	1.0	10.0	45	5.00×10 ³	6.53×10 ⁴	4.94×10 ⁴	—	4.5	22.5	25.1	—	2230	2270	30.0	
50	Nk	I	●	1.0	8.0	35	3.12×10 ³	1.49×10 ⁶	1.65×10 ⁶	—	3.5	11.7	—	—	1734	1766	23.2 (23.2)	
51	ARM-Nk	I	●	1.0	10.0	45	1.00×10 ⁶	7.22×10 ⁴	7.55×10 ⁴	5.00	6.2	31.0	15.6	328	2034	2466	28.1	
52	Nk	I	●	1.0	8.0	35	5.00×10 ³	—	—	—	4.8	24.0	12.1	—	1574	1926	22.6 (22.6)	
53	BRM-Mn-5	I	●	1.25	12.5	5625	3.68×10 ³	2.50×10 ⁴	2.39×10 ⁴	6.05	8.3	50.2	20.6	292	2424	3201	36.2	
54	Mn-2	I	●	1.5	15.0	675	1.93×10 ³	—	1.63×10 ⁴	—	9.9	59.9	24.8	—	2891	3859	41.9	
55	Mn-5	I	●	1.75	17.5	7875	2.58×10 ³	9.00×10 ³	9.40×10 ³	—	11.6	70.2	28.9	—	3387	4188	50.1	
56	Mn-1	I	●	2.0	20.0	90	6.00×10 ²	3.10×10 ³	3.52×10 ³	—	13.2	79.9	33.0	—	3854	5146	56.4	
57	Mn-4	I	●	2.25	22.5	10125	4.80×10 ²	1.65×10 ³	2.05×10 ³	—	14.9	90.1	37.1	—	4351	5774	63.9	
58	Mn-3	I	●	2.5	25.0	1125	2.70×10 ²	1.52×10 ³	1.60×10 ³	—	16.6	100.0	41.3	—	4847	6403	69.7	
59	ATO-4	I	●	1.65	725	4.09×10 ³	6.9×10 ³ </											

$S_a(E\varepsilon) \sim N$ ($R = -1$, in air)

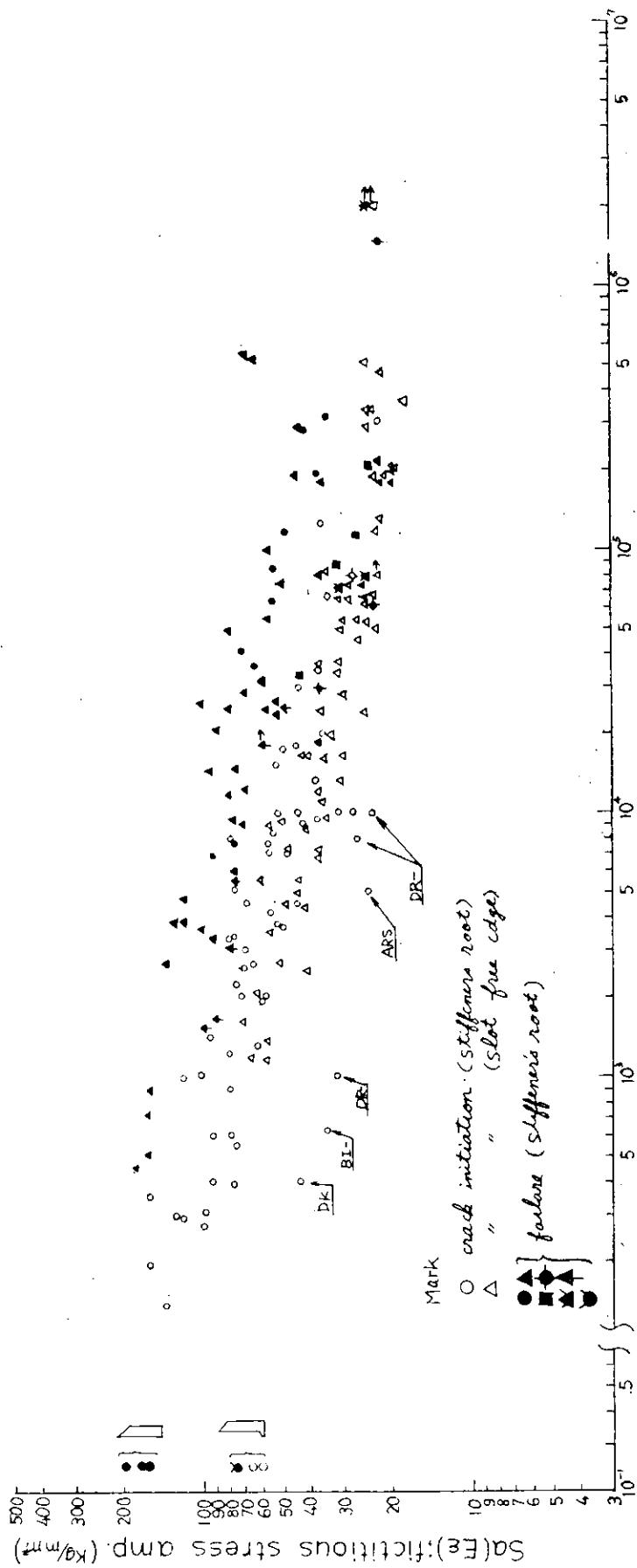


图 3.6.1 N : cycle

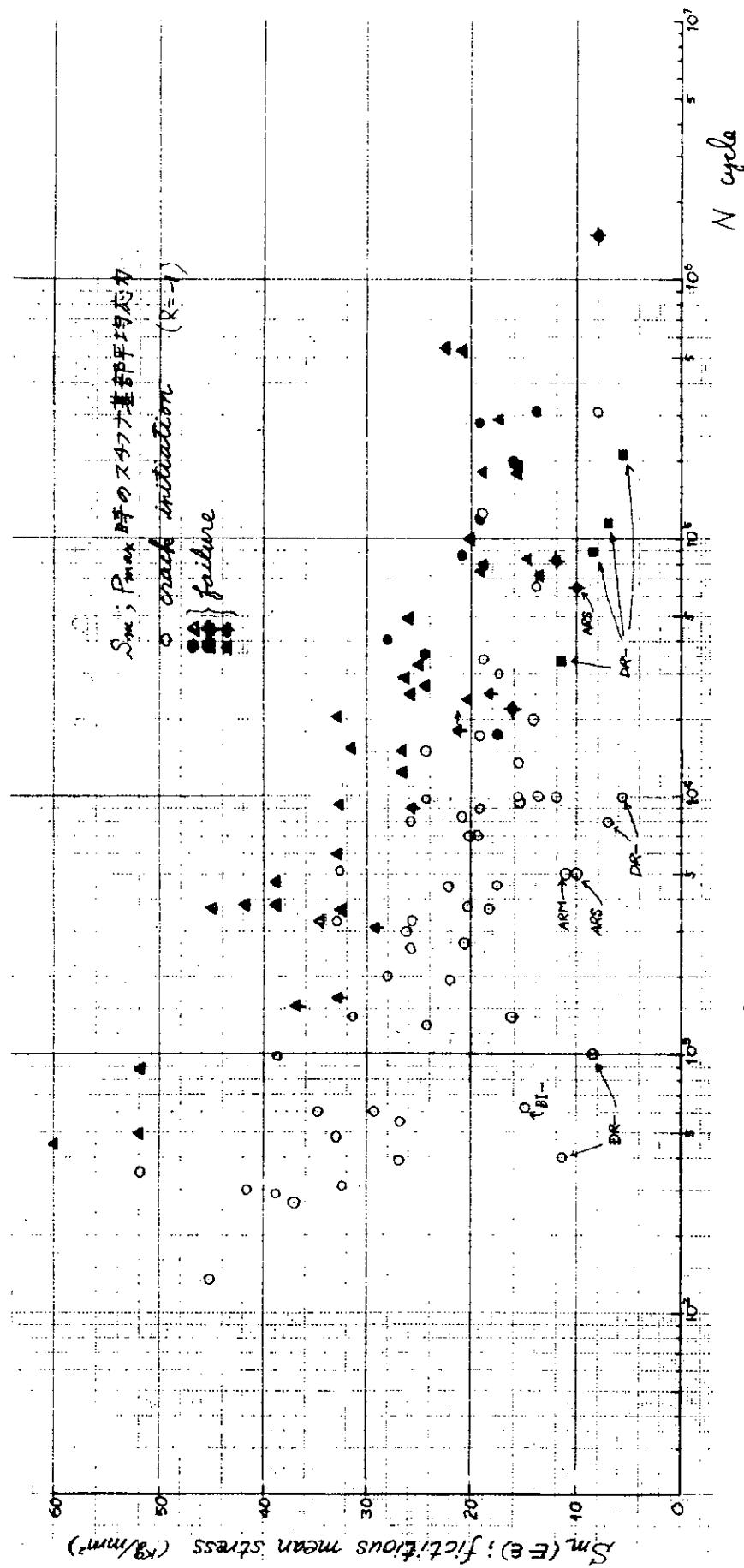


図 3.6.2 $S_m \sim N$ (スチフナ基部のみ)

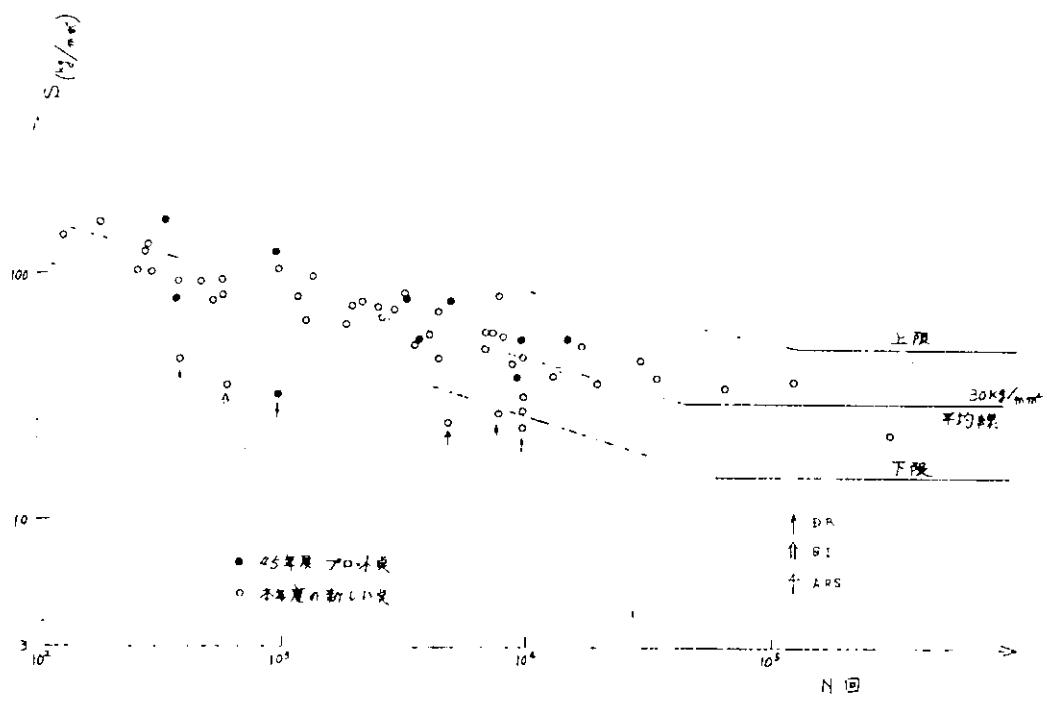


図 3.6.3 スチフナクラック発生と応力との関係
S-N線図 ($R = -1$, in air)

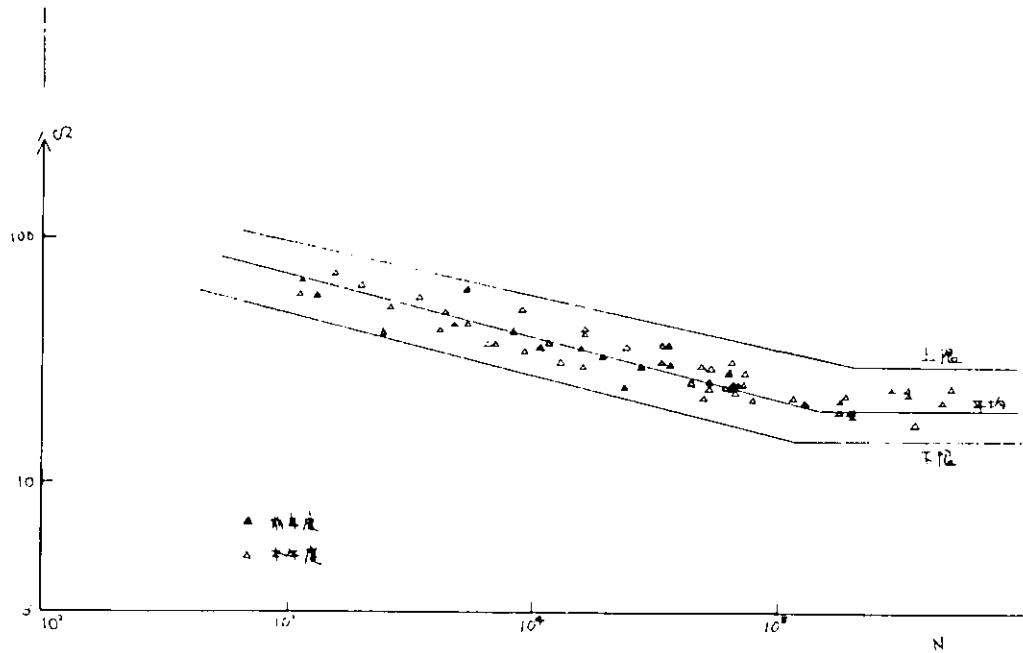


図 3.6.4 スロットクラック発生回数と応力の関係
($R = -1$)

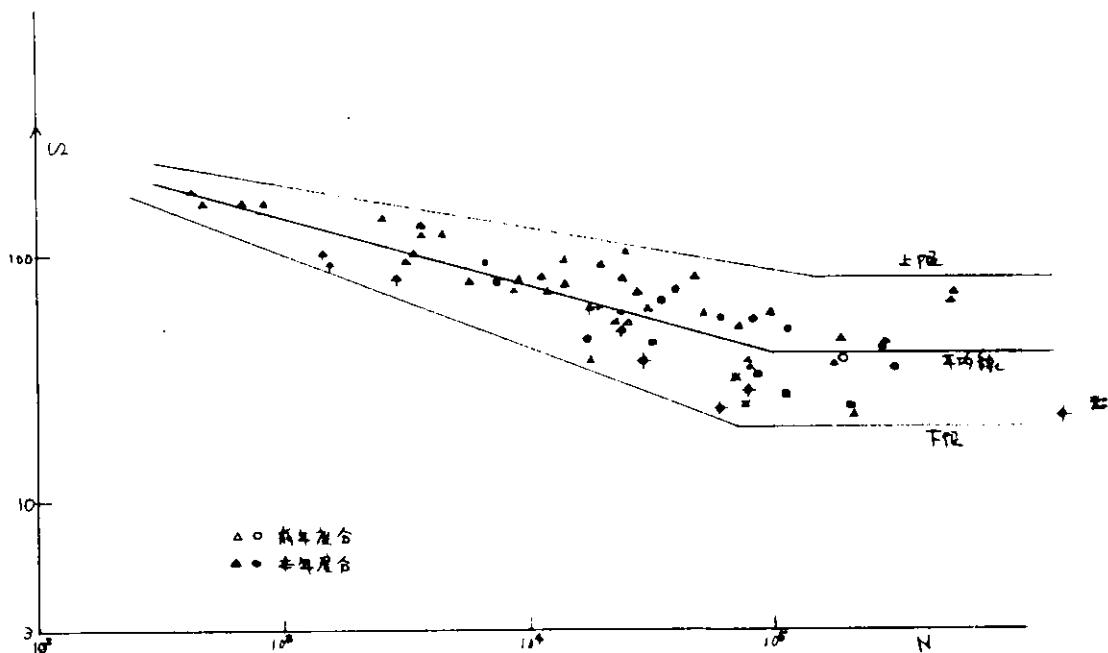


図 3.6.5 スチフナ破断回数と応力の関係
($R = -1$)

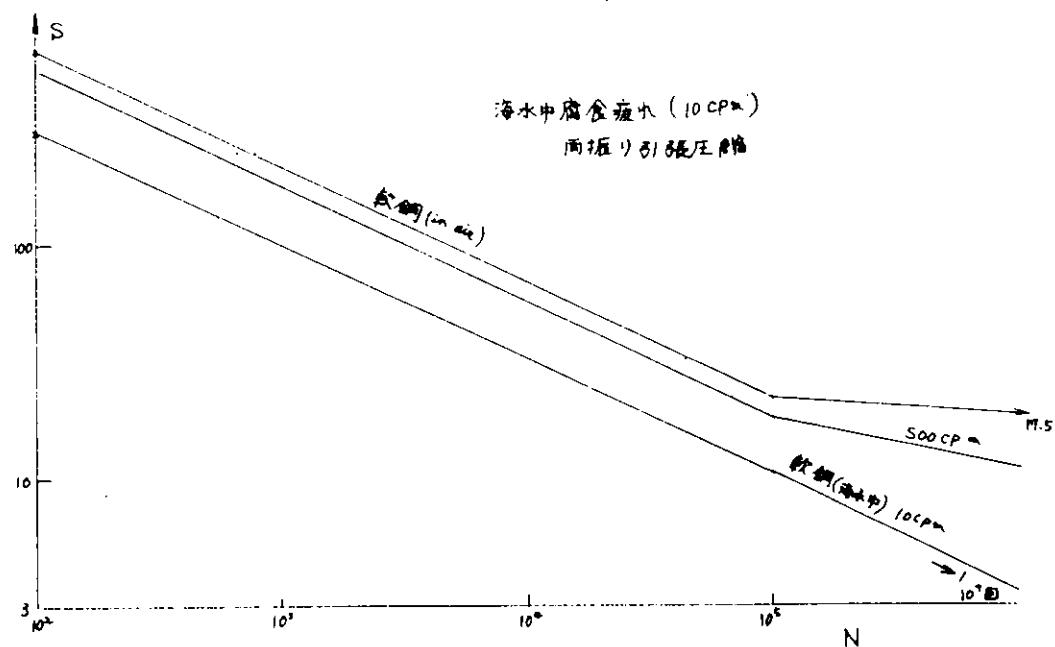


図 3.6.6 海水中腐食疲れ (10 cpm)
—両振り引張圧縮—

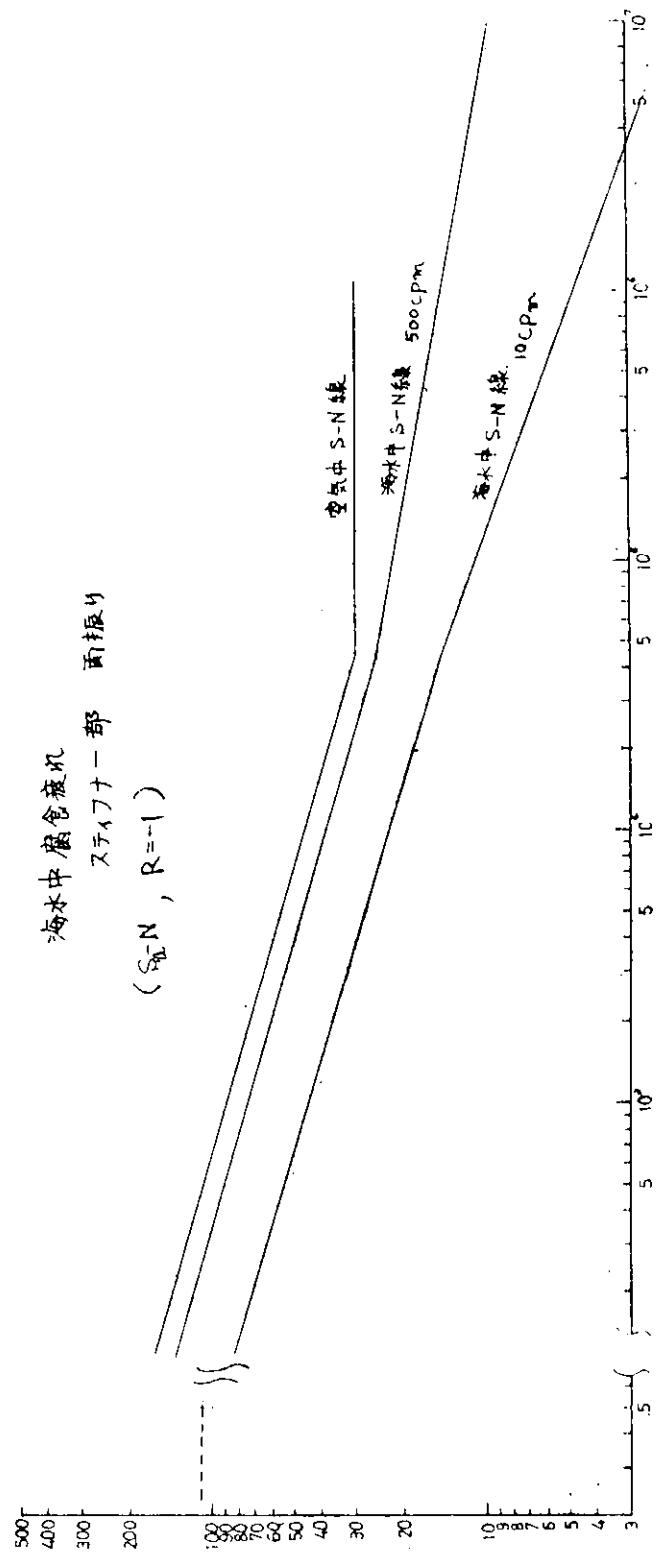


図 3.6.7 N:cycle

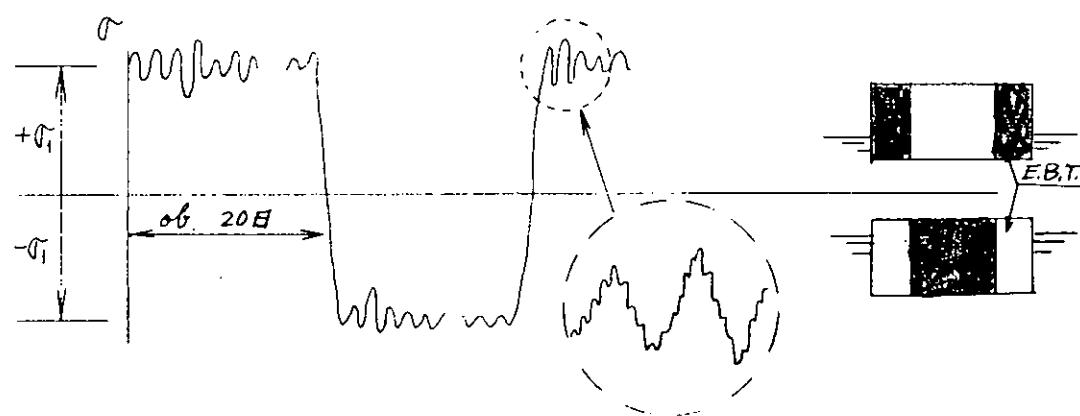


図 3.6.8 Slot 部の受ける応力波形

波高/最大波高

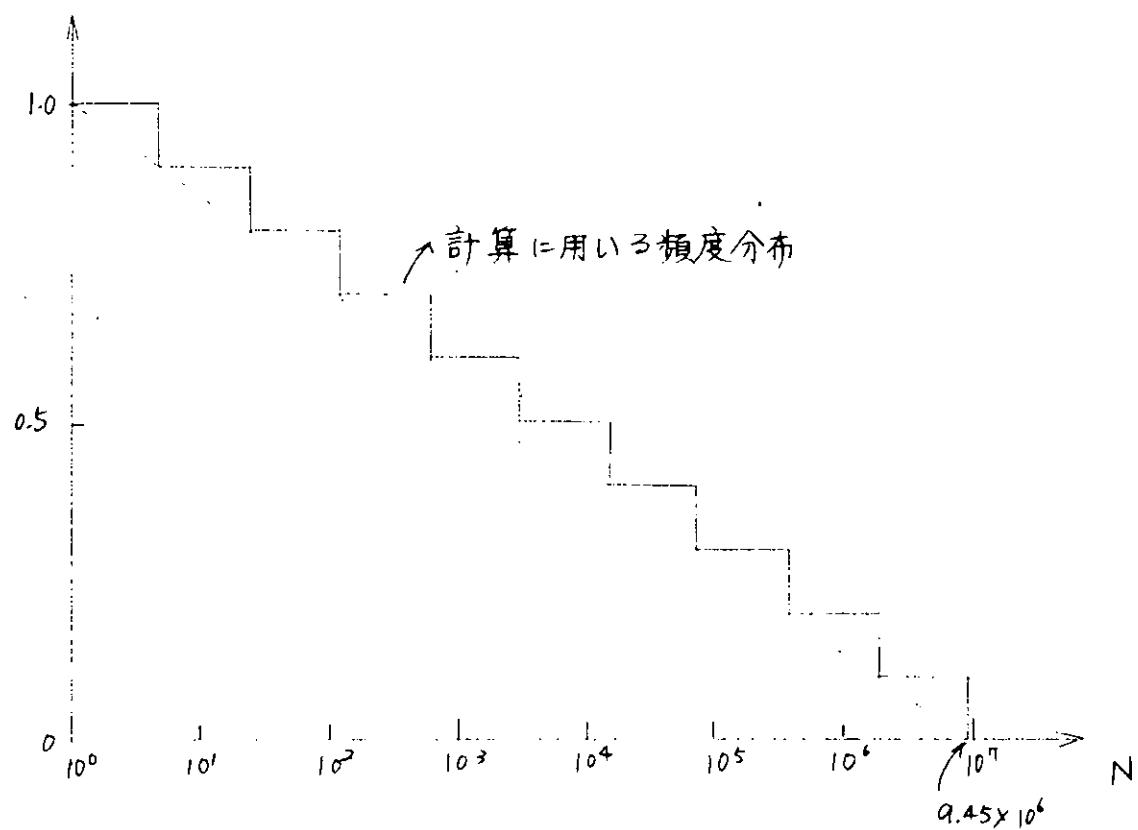


図 3.6.9 累積波浪頻度分布

4. 振動試験

4.1 まえがき

大型タンカ - 横桁材のスロット周辺に発生するクラックの原因のひとつとして横桁材の振動による疲労破壊が考えられる。これに対する基本的な対策を行なうためには、横桁材の振動性状を知ることが不可欠であり、このため、第1年度においてアクリル樹脂により簡単な船体タンク模型を作り、横桁材の振動に対する実験および若干の解析を行なった。本年度は、第1年度の実験でのたりない点をおさなうために、アクリル樹脂により第1年度とほぼ同一の模型を作り、タンク内の部材配置が振動に与える影響を調べた。また、横桁材に面内力がかかった場合の振動性状を求める実験と、船底パネルの振動による横桁材の振動を調べる実験を鋼製の模型により行なった。さらに 215.000 DWT タンカ - の実船計測を行ない、タンク内横桁材の振動の実状をも調査した。

4.2 プラスチック製模型による振動実験

4.2.1 まえがき

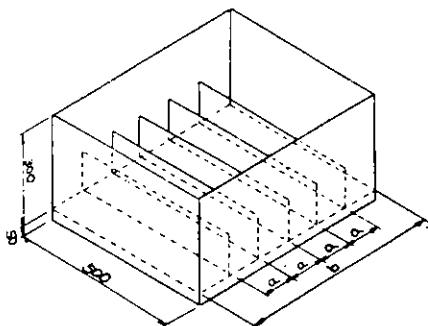
タンカ - 横桁材の基礎的な振動性状を知るために、第1年度においてはアクリル樹脂により簡単な船体タンクの模型を作り、空気中および水中において横桁材が振動する際の固有振動数および振動モードを求める実験を行なった。本年度は、前年度の補足として、横桁材の寸法、形状の変化により水中で振動する場合の付加質量がどのように変るかを調べる実験を行なった。

4.2.2 模型

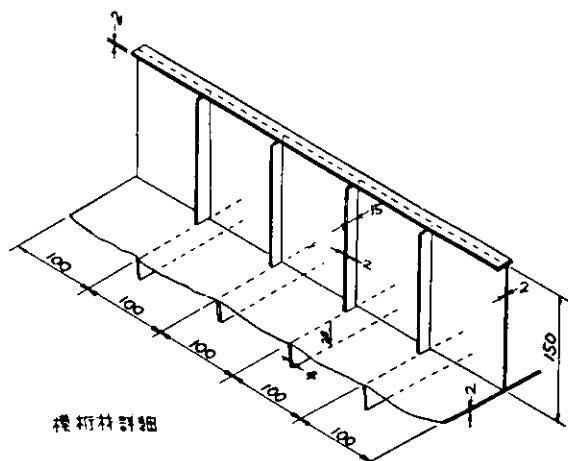
船体タンクを模する箱を作り、中に横桁材を設けた。横桁材はスチフナもフランジもないパネルのみのもの、フランジのついたもの、フランジとスチフナのついたもの、フランジとスチフナに、さらにブラケットのついたものの3型式とした。トランスリングスペースの影響を調べるため、この寸法を4通りに変えた模型を作成した。横桁材の face におけるフランジの幅の影響を調べるため、フランジの幅を4通りに変化させた。ロンジは問題を簡単にするために設けず、タンク底面の剛性をあげるため裏側に補剛材を入れた。

模型はアクリル樹脂板で製作した。使用したアクリル樹脂板の比重は 1.175、ヤング率は 483 kg/mm² である。

模型の略図を図 4.2.1 に示す。

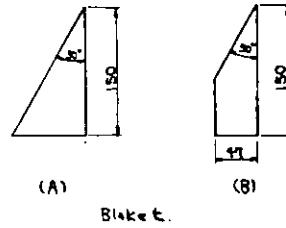


模型	寸法 a (mm)	寸法 b (mm)	横桁枚数
I	50	300	5
II	100	600	5
III	150	750	4
IV	200	800	3



フランジ幅は模型 I, III は 20 mm, II, IV は 10, 20, 30, 40 mm の 4通り。

各模型とも Panel のみ、Flange のついたもの、Flange と Stiffener のついたもの、さらに Blaket のついたものの 4型式につき実験。Blaket は外側の Stiffener の位置につけた。



Blaket.
(A) は 模型 I～Ⅲに
(B) は I に使用

図4.2.1 試験模型

4.2.3 実験方法

横型を振動台にのせ、模型タンクの長手方向に加振した。（図4.2.2）模型タンク内に水を入れた場合と入れない場合について、横枠材全体の最低次の固有振動数、および振動モードを測定した。

計測は加速度ピックアップ（圧電型 重量 1.5グラム）5個を横部材上に接着、1個を振動台に固定し測定した。

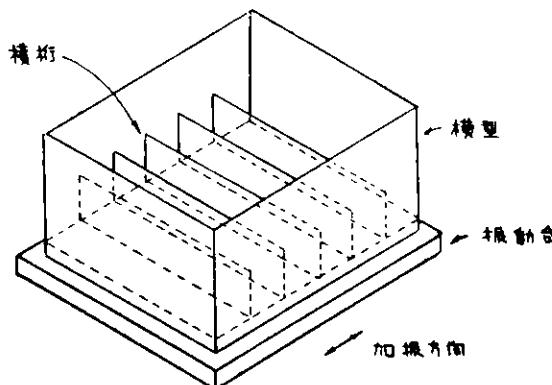


図4.2.2 加振方法

水を入れる場合の水深は特にことわらないかぎり290mm（横枠材上140mm）とした。

4.2.4 実験結果とその考察

(I) 固有振動および振動モード

実験より求められた空气中および水中における横枠材の最低次の固有振動数を表4.2.1～4.2.3に示す。また、最低次の固有振動数における振動モードの代表例としてトランスリングスペースが200mmの模型の場合、すなわち、トランスリングスペースと横枠材高さの比が4:3である場合について、スチフナのない場合、スチフナのある場合、スチフナとプラケットのある場合の各ケースについて水中および空气中での振動モードを図4.2.3に示す。この図で矢印の長さは、各横枠材ごとに測定点のうちで最大の値を示したものとあっており、他の測定点での値はその最大点との比率で表わしてある。したがって、この図からは各横枠材の振動モードはわかるが、各横枠材の振幅の絶対値の比較はできない。

トランスリングスペースの差による水中における共振時の振幅のちがいを見るために、フランジ幅20mmでスチフナがある場合についてトランスリングスペースを変化させた場合の振動モードを図4.2.4に示す。この図では矢印の大きさは、測定点加速度を振動台加速度で除した加速度倍率（振幅倍率に等しい）を表わしている。

これらの結果より、第1年度の報告でのべたように横枠材の振動がスチフナとフランジで形成される骨組構造と、スチフナで囲まれたパネルとの連成運動となっていることが認められるが、横枠材が空气中で振動する場合と水中で振動する場合とでは振動モードにかなりの差があり、空气中で振動する場合は横枠材全体としての振動が主体であるのに対し、水中で振動する場合にはスチフナで囲まれたパネルの振動が主体となる傾向がみられる。

水中で振動する場合は、後でのべるようによるとトランスリングスペースが大きくなると付加質量が増

し、固有振動数がさがるが図4.2.4にみられるように本実験の範囲では、それによる振動モードの変化は特に認められず、ほぼ同じモードでトランスリングスペースが大きくなるにつれ、共振時の振幅が大きくなっていく傾向がみられる。

表4.2.1 スチフナのない場合の固有振動数および付加重量

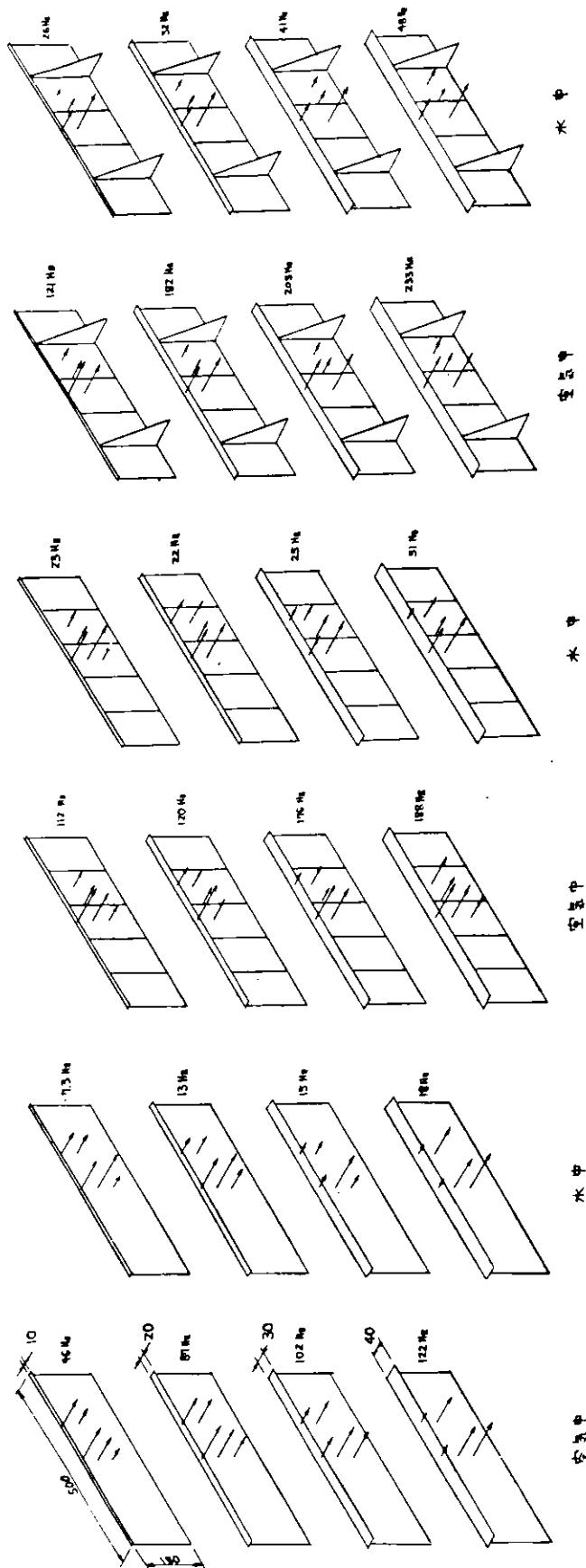
試験体 フランジ巾 (mm)	トランスリング スペース (mm)	最低次固有振動数 (Hz)		付加質量高さ t_w/h
		空中 f_a	水中 f_w	
フランジなし	50	3.9	7.3	0.44
	100	3.8	6.6	0.51
	150	3.7	6.1	0.65
	200	3.9	5.8	0.71
10	100	4.3	8.6	0.41
	200	4.6	7.3	0.65
	50	9.1	1.5	0.63
	100	8.6	1.4	0.68
20	150	8.6	1.3	0.71
	200	8.7	1.3	0.75
	100	11.2	1.9	0.63
	200	10.2	1.5	0.85
30	100	12.4	2.0	0.73
	200	12.2	1.8	0.89
40	100			
	200			

表4.2.2 スチフナのある場合の個有振動数および付加質量

試験体		最低次固有振動数 (Hz)		付加質量高さ t_w/h
フランジ巾 (mm)	トランスリング スペース (mm)	空中 f_a	水中 f_w	
10	100	117	25	0.41
10	200	112	23	0.46
20	50	140	44	0.18
20	100	140	29	0.44
20	150	122	25	0.46
20	200	120	22	0.58
30	100	118	26	0.44
30	200	176	25	0.11
40	100	214	64	0.25
40	200	188	51	0.56

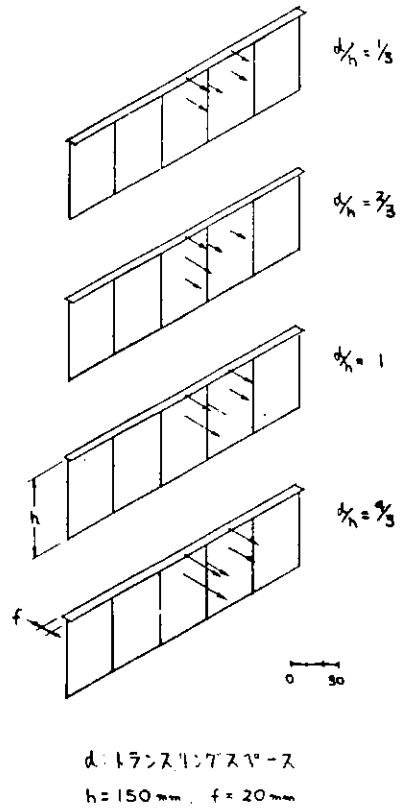
表4.2.3 プラケットのある場合の固有振動数および負荷水重量

試験体		最低次固有振動数 (Hz)		付加質量高さ t_w/h
フランジ巾 (mm)	トランスリング スペース (mm)	空中 f_a	水中 f_w	
10	200	121	26	0.38
20	50	178	62	0.14
20	100	197	38	0.53
20	150	176	33	0.54
20	200	182	32	0.59
30	200	205	41	0.49
40	200	233	48	0.50



矢印の長さは各横幅ごとに同一の横幅における測定点の振幅の最大のものを単位長さに $\times 3$ 。
各横幅の例に固有振動数を示す。

図 4.2.3 最低次固有振動数における振動モード
(トランシリングスペース 200 mm の場合)



d:トランスリングスペース

$h = 150 \text{ mm}$, $f = 20 \text{ mm}$

矢印の長さは振幅倍率を示す。

$$\text{振幅倍率} = \frac{\text{測定点加速度}}{\text{振動台加速度}}$$

図4.2.4 トランスリングスペースの横桁材の
水中振動振幅に与える影響

(ii) 横桁材が水中で振動する場合の付加質量

横桁材が空气中で振動する場合の固有振動数と、水中で振動する場合の固有振動数がわかると、水中で振動する場合の付加質量は近似的に次式で算出できる。

$$\frac{f_a}{f_w} = \sqrt{1 + \frac{M_v}{M_a}} \quad \dots \dots \dots \quad (4.2.1)$$

ここで

f_a : 空気中における固有振動数

f_w : 水中における固有振動数

M_a : 空気中における振動質量

M_v : 水中で振動する場合の付加質量

この式の M_a にはスチフナ、フランジをも含んだ横桁材の全重量を用いる。 M_v として得られる値は横桁材に付加質量が均一の厚さに分布していると仮定した場合の値となる。

この付加質量が横桁材に均一に分布しているとした場合の付加質量の厚さを横桁材の高さで除して無次元化した値を付加質量高さとするとこの値は次式により求められる。

$$\text{付加質量高さ } \frac{t_w}{h} = \frac{M_v / \rho}{l h^2}$$

M_v : (4.2.1) 式より求めた付加水重量

ρ : 水の比重

l : 横桁材長さ

h : 横桁材高さ

実験結果より求めた付加質量高さを表 4.2.1 ~ 4.2.3 に示す。

トランスリングスペースと付加質量高さとの関係を図 4.2.5 に示す。これよりいずれの型式の横桁材に対してもトランスリング・スペースが大になるほど付加質量が大となることがわかる。また d/h (d : トランスリングスペース, h : 横桁高さ) が $1/3$ と $2/3$ のスチフナなし、フランジありの場合、および d/h が、 $1/3$ のスチフナもフランジもない場合では付加質量高さがトランスリングスペースよりも大きくなっている。このことはフランジより上の部分の水もかなり動いていることを示している。

フランジの幅と付加質量高さとの関係を図 4.2.6 および図 4.2.7 に示す。これよりフランジ幅が増大すると付加質量も増加する傾向にあることがわかる。

模型タンク内の水深を変えて行なった実験より、付加質量高さを求めた結果を図 4.2.8 に示す。これより水深が深くなると付加質量が増加するが、横桁の 2 倍程度で付加質量がほぼ一定になることがわかる。

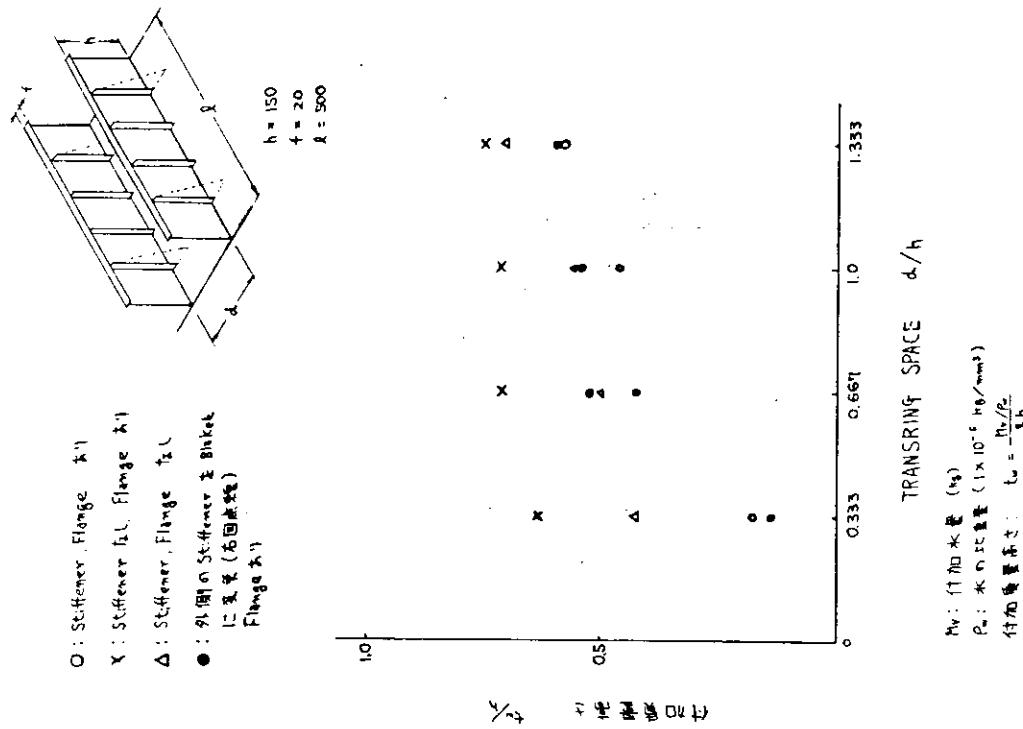


図4.2.5 付加質量[m]に対する
トランシング・スペースの影響

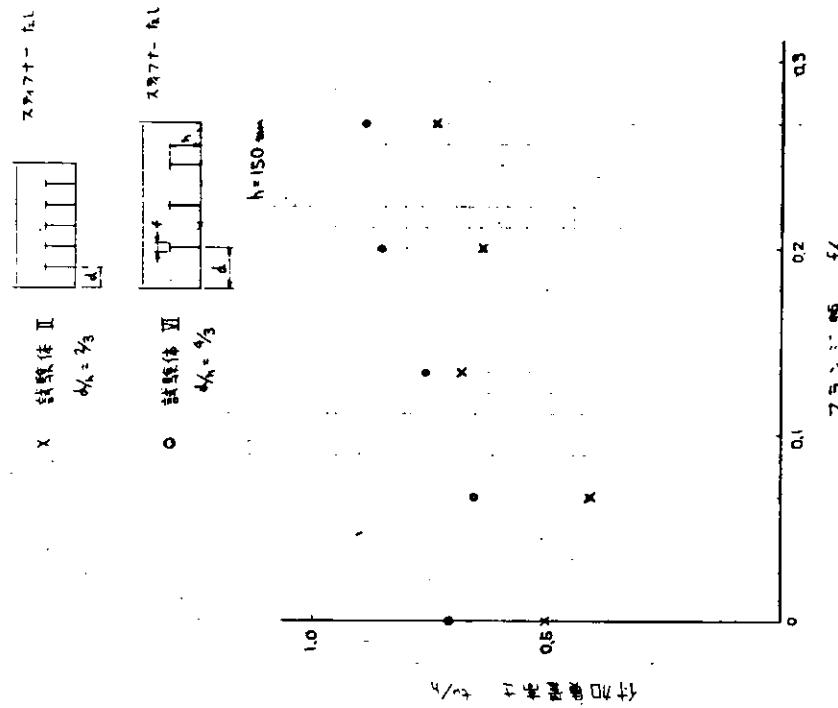


図4.2.6 付加質量[m]に対するブランシ幅の影響
(スチフナのない場合)¹⁾

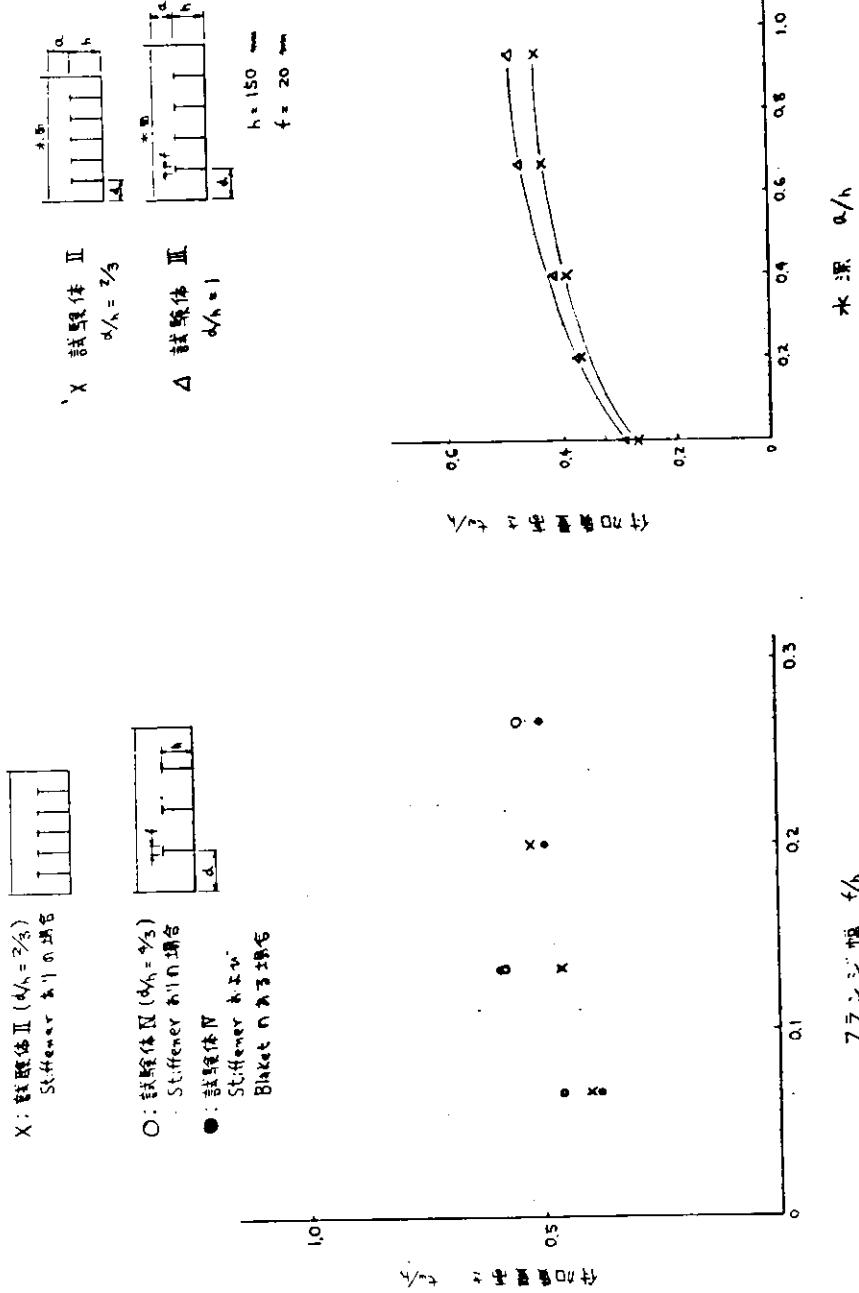


図 4.2.7 付加質量にに対するフランジ幅の影響
(スチフナのある場合)

図 4.2.8 付加重量に対するタンク内水深の影響

4.2.5 結果要約

実験の結果を以下に要約する。

- (i) 横桁材が空気中で振動する場合と水中で振動する場合とでは、振動モードにかなりの差がある。
いずれの場合にも補剛材と補剛材間パネルとの連成振動をなしてはいるが、空中で振動する場合は横桁材全体の振動が主体となり、水中で振動する場合は補剛材間パネル主体の振動となる傾向がある。
- (ii) トランスリング・スペースが大きくなると水中で振動する場合の付加質量が増大し、共振時の振幅も増大する。
- (iii) フランジ幅が増大すると、水中で振動する場合の付加質量も増大する。
- (iv) 水深が深くなると水中で振動する場合の付加質量も増大する。この増加は水深が横桁材の高さのほぼ2倍で一定値に達する。

4.3 鋼製船底模型振動試験

4.3.1 まえがき

trans web 付 stiff 基部や slot 周りの損傷の分布を見ると、起振源である主機やプロペラに近い船尾部に相対的に多く、これは振動に起因すると考えられる。また、cargo oil tank 内でも振動が原因と考えられる損傷がみられる。

slot 周辺の損傷の一原因として trans の面外振動が系統的に研究された文献¹⁾は少ない。
ここでは、鋼製模型による実験を加振方向を上下方向とした場合につき特性を調べ、さらに trans に面内力が作用するときの固有振動数の変化も調査研究する。また、対象は損傷の特に多い bottom trans とし、複雑な構造について、隣接 trans 影響 bottom パネルとの連成、cargo oil の挙動など種々の検討項目が必要と考えられる。しかし、応答問題となると推定を不確定にする要素が多く、ここでは、215,000 DWT TANKER の実船振動計測結果を例にとって吟味する。

4.3.2 振動実験

(1) 面内力がある場合の trans の面外振動

(a) 目的

ballast tank の bottom trans は、満載状態で圧縮軸力を受ける、バラスト状態で引張軸力を受ける。一方、タンク内の付加水質量については、満載状態で無くバラスト状態であり、これは、trans の軸力の固有振動数に及ぼす影響と逆になっている。今回の実験で上記の trans の軸力、および long₁ からの集中荷重の trans の固有振動数に及ぼす影響を調査し、面内力による影響を定性的に把握する。

(b) 実験方法

供試体は 85,000 DWT タンカーの bottom trans の約 1/4 スケールで、図 4.3.1 に示すように 4 long₁ ベースであり、両端は固定されている。負荷は同図に示すように long₁ からの集中荷重はオイル・ジャッキにて long₁ と trans の交点に負荷し、trans 軸力は供試体両端の固定用厚板をロードセル兼用のボルトにてしつけ圧縮軸力がかかるようにした。負荷点は供試体がねじれ変形しないように定めている。

次に上記負荷時の trans web の面内応力分布を計測し、面内応力状態と振動挙動との関連がとれるようにしておいた。

加振実験は、負荷なしの状態と trans 軸力がモデル全体に対し、30T、60T(1 ボルト当り 7.5T、15T) の圧縮の 2 種、long₁ からの集中荷重が(stiff が圧縮軸力を受ける方向) 1 long₁ 当り 5T、10T の 2 種について行なった。加振点は図 4.3.1 に示しているように trans face の中央 stiff 位置で、trans face から 30mm の web 上に加速度ピックアップを取り付け、これによって共振曲線を描かせた。また、web 面上に塩化ビニール粒子をまき共振点における局部振動を目視観察した。

負荷なし	long ₁ からの集中荷重		trans の軸力	
	5T(1ロング)	10T(〃)	7.5T(1ボルト)	15T(1ボルト)
CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5

* 1) 永元外、「タンク内構造部材の振動について」(その1)、西部会報 40号

* 2) 大沼、「Deep Girder の水中における横倒れ振動」、造学会 130号

(c) 実験結果

図 4.3.2 に負荷時 (trans 方向の軸圧縮、外板部からの曲げ) の trans web の応力分布を示す。

図 4.3.3 に共振曲線を示す。共振曲線中のピーク値 (グラフ上のピーク値) の高いところが、最も大きく共振しているということではない。サイクル数の上昇とともに加振力も増大しているので、ピックアップの加速度と加振器内蔵ピックアップのそれの比が大きいところほど共振していることを示す。

写真 4.3.1 に振動モードを塩ビ粒子の散布により求めた結果を示す。

(d) 実験 2-1 に対する考察

(i) 面内力の影響

固有振動数と軸圧縮力の関係から、妹沢は座屈荷重が求められることを示しているが、座屈荷重に達したとき固有振動数はゼロになるのではなく、高次の振動が発生し、それは圧縮のないときに比して低くなることを熊井が示している。^{*}

一例として、四辺単純支持の矩形板の場合につき、軸圧縮力と固有値の関係を示したのが、図 4.3.4 である。

同図中 m は x 方向半波長数、n は y 方向半波長数で、実線は $m = n = 1$ 破線は $m = 2, n = 1$ を示している。

- 1. a/b が大きいほど圧縮軸による固有振動数低下の割合が大きい。
- 2. $a/b \approx 1.4$ 以下では座屈後に高次の振動が発生する可能性がある。また、 $a/b \approx 1.4$ 以上ではある圧縮軸力以上では、最低次および 2 次の固有振動が起る可能性があることがわかる。

この模型に対する実船の負荷状態を算出する。 $longl_space \times trans_space \times d = 0.9\text{m} \times 5.25\text{m} \times 1.2\text{m} = 57\text{T}$ で模型の scale が $1/4$ であることを考えると、 $longl$ からの集中荷重 5 T は実船の最大静荷重の 1.4 倍に相当する。また、trans 軸力 30 T (1 ポルト当り 7.5 T) は図 4.3.2 の応力分布では 4kg/mm^2 程度となり、この order の軸応力は実船で十分考えられる。

写真 4.3.1 の撮影は図 4.3.3 の共振曲線のピーク位置すべてについて行なった訳ではないが、ある程度の傾向はつかめる。

同写真中 (6) → (17), (9) → (18) のようにモードが似ているものどうしを比較すると、(6) → (17) の場合で $303\text{Hz} \rightarrow 250\text{Hz}$ というふうに低下が認められる。

すなわち、写真中 (6) → (17) のごとく実船で考えられる order の圧縮軸力がかかった状態で固有振動数が軸力なしの状態に比べ ± 5 % 程度も下ることになり、実船で slot 近傍の座屈損傷事故例が報告されていることからも、固有振動数計算に軸力影響を加味する必要があることがわかる。

この圧縮軸力による影響が、図 4.3.4 の右下りの曲線からみても大きいことがわかり、引張に対しては図 4.3.4 の傾斜がなだらかになることから圧縮ほどは影響を受けないということは、図 4.3.3 からもうかがえる。すなわち、case 2～3 は case 1 と余り違わない共振曲線を示し、case 4～5 は、case 1 とは少し違った様相を示していることがわかる。

(ii) 固有振動数計算

図 4.3.3 の共振曲線中のピーク位置のサイクル数を表 4.3.1 に示す。

* 熊井、"面内圧縮を受けている板のたわみ固有振動について" SR112 資料 V45-6

表 4.3.1 実験値と計算値、電算値
(in Hz)

Hz	case 1 # 2 # 3 # 4 # 5					case 1	
	計算値	電算値					
100	146						
	165						
	191						
200	214	212			179		
	225	254	246	250	248		
300	303	302	293				1次のみを示す
			302				
	339	345	351				
400	366	446	446		461		
				495			
500	565						
600	638			630	624		
		674	669				

(注) 上表で各ピーク値を書き並べただけで case 1 ~ 5 で横の関連、すなわち、モードが同じで振動数がちがうということを示しているのではない。

計算値は、簡易計算式により最低時固有振動数を算定したものである。

* 1 造船誌 4.5.3 "船尾部タンク内構造の損傷とその対策案" (3辺支持 trans face 自由)

* 2 SRI 20、45年度報告書で I.H.I の提示した式によるもの (* 4 とはほぼ同様)

* 3 NV Rule 中の式によるもの (bottom 面固定、trans 端端、face 部単純支持) である。また、

* 4 NV Rule の根拠となつた計算法を電算解したもので trans を直交異方性板とし、trans の両端を単純支持とし、stiff. と long₁ は回転バネ支持、trans face 剛性も考慮に入れたものである。

* 5 三菱総合研究所 (MRI) の3次元 program "VIBRAN" によるもので、使用上の制限条件 (mass のかかる JOINT ≤ 20 など) よりモデルの片側半分につき計算した。

(MRI 技術サービスメモ 第 133 号参照)

板構造を骨組構造に置換するのに stiff. 間のパネル自体が大きく振動しているので、stiff. 間のパネルをも格子にとつた図 4.3.5 のようなモデル化を行なった。

図 4.3.5 中実線部は振動質量を分布させた部材で、般線部は部材の剛性のみを考慮したものと示し詳細は下記の通りである。

部材 1 ~ 2 外板および外部端補強桁部材の剛性と重量、

* 2 ~ 8 1 long₁ space の外板と long₁ の剛性と後者のみの重量

* 8 ~ 17 1 / 2 long₁ space の web と stiff. の剛性と 1 long₁ space の web と

stiff.の重量を算入

部材 24~25……… trans face の剛性と重量

" 7~16 ……… 1/2 longl space の web の剛性

" 16~25 ……… 1/2 × (longl face ~ trans face) の web の剛性

" 6~7 ……… 1/4 × " "

計算はモデルの片側半分だけにつき行なった。すなわち、Jt、3、10、19、28のy軸まわりの回転拘束を行ない、部材3-10、10-19、19-28の剛性は半分を input した。この結果モデルの左右で trans face の位相が逆というようなモードは得られない。図 4.3.6 に振動モードを示しているが、stiff. 間 web の局部振動は mass 有りとして計算しているのではなく、剛性のみ考えているのでこの mode は出でていない。

stiff. 間 web パネルの重量は stiff. 位置の部材に流しこんでいるので、ある程度の誤差がでてくるのは仕方ない。

(2) 船底模型の実験 (その1)

(a) 目的

船底模型の上下振動により trans の面外振動と振動による stiff. 基部の発生応力との関係を知る。

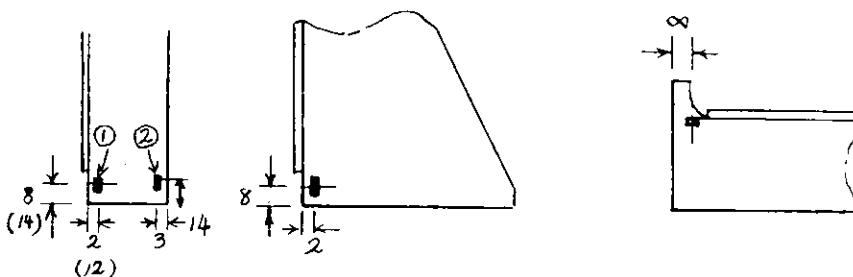
(b) 実験方法

図 4.3.7 に示すような 45 年度静水圧実験に用いた模型を、図 4.3.8 に示すようにセットした。(trans両端の上下方向は支持していない。)

試験体の四隅を支持し、船底パネルの中央部外板を上下に加振した。(図 4.3.8 参照)

測定は、モード型測定器にて モードを測定し、中央部の stiff. 基部の応力を dynamical に測定した。

歪ゲージ位置は下図の通り、表・裏貼付し、平均応力を取る。



No. 4

No. 1

No. 2

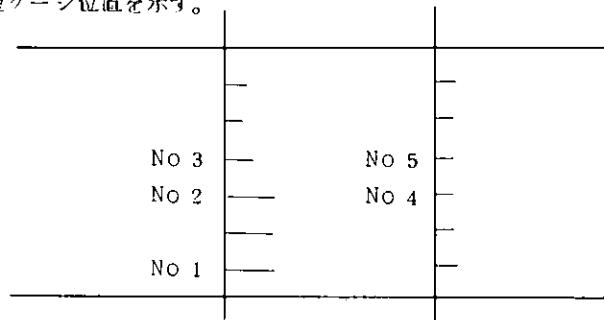
端 部

No. 3

No. 5

カラーフラッシュ カラーなし

()内は、 web 側と free edge 側の発生応力値の比較のために貼付した歪ゲージ位置を示す。



加速度ピックアップを船底パネルについては、加振点上面 longl face については加振点のすぐ横の longl face、trans face については B トランスのスパン中央に配置し、共振線を計測した。

(c) 実験結果

共振曲線より、船底パネルおよび long¹ face 上面では、121、181、242、362 (Hz)において共振点を示し trans face 上面では、これよりも少し低め、すなわち、114、164、228、328 (Hz)において共振点を示した。

このときの上記3点の起振点に対する振巾比を表4.3.2に示す。

表 4.3.2 加速度振巾化

振動数	船底パネル	long ¹ face	trans face
114 (Hz)	.		4.2
121	0.82	0.64	
164			3.23
181	0.85	0.75	
228			4.6
242	0.81	0.67	
328	0.85		3.6
362	0.83	0.83	

- (1) trans face は B-trans 上面中央である。
- (2) 加振点振巾を 1 とし正規化したものである。
- (3) 参考 NV の計算法によれば B-trans の固有振動数は 149 Hz である。

表に示すように、静水圧実験の変形と異なり、trans と船底の振巾比(trans face 面外／加振点)が 3～5 となる振動モードを持つことがわかる。121 Hz、228 Hz、242 Hz の各場合の共振曲線と振動モードを、図4.3.9に示す。このモード図より、121 Hz では、trans の面外振巾は小さく、228 Hz では B-trans、242 Hz では A-trans に大きな面外振動がみられる。

応力の実測値の中で比較的大きい場合を表4.3.3に示す。表中の値は、加振点振巾 0.01 mmに対するものである。

表 4.3.3 STIFFNER 基部応力

振動数	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5
121 (Hz)	0.08	0.126	0.05		
180			0.30		
228	0.20	0.26		0.37	0.23
242	0.26	0.57	0.30	0.14	0.04

trans の面外振巾比が大きい 228、242 Hz において大きな応力を発生しており、228 Hz では B-trans 上にある No. 4、No. 5 が大きな応力を発生し、242 Hz では B-trans 上にある、No. 1、No. 2、No. 3 が大きな応力を発生している。

(d) 実験結果からの考察

(i) 121 Hz は trans の面外振動は web の局部のみで、主として船底構造が振動しているのに対し、228、242 Hz は B-trans、および A-trans の面外固有振動数に相

当しているものと思われる。異なる振動数を示した理由としては、A、B-trans の形状の差異(stiffner の向き)およびその剛性の差、(stiffner の形状)によると考えられる。

本実験モデルでの trans における振巾比は 3~5¹⁾であつたが、実船の形状に較べて、モデルの trans face の幅が、WEB深さの割合に対して広いように思われ、したがって、trans の面外剛性によつては、さらに大きい振巾比の発生も考えられる。

昨年度実施した静水圧実験結果の振巾比に相当する値は、1 以下であり、trans の面外変形がみられる点では変形様式は同様であるが、振巾倍率は振動実験のほうが大きい値を示している。

(ii) 本実験によつて、船底の上下方向起振力が trans の面外振動を誘起することが判明したが、その伝達経路としては、次の場合が考えられる。すなわち、一つは船底パネルの変形により trans 基部にモーメントを伝達する場合、今一つは上下方向振巾が trans に剪断力として加わり、trans 形状の前後非対称性による横倒れを起させる場合である。

228 Hz の B-trans は船底の位相と併せ考えてみると、後者の影響が大きく、242 Hz の場合は、両者が重疊して若干前者が大きかったとも考えられる。しかし、船底パネルの四辺の枠のモードも考えると、単純には判断はできない。

(iii) 静水圧実験における応力値を参考までに引用してみると、

No 1	7 Kg/mm ²	No 2	4.5 Kg/mm ²	No 3	2 Kg/mm ²
No 4	3 Kg/mm ²	No 5	4.5 Kg/mm ²	(静水圧)	0.5 Kg/cm ²

この場合、振動実験の加振点に対する中心点の上下変位量は、0.8 mm であつた。静実験が分布荷重であるのに対し、振動実験は中央集中荷重であること、および、周辺支持条件の違いもあって、単純に両者を比較できないが、上述の値に関する限り、船底中央の単位変位に対する stiffner 基部の応力値は、振動実験結果のほうが大きい。

したがって、船底に生ずる振巾如何によつては、スロット部の損傷の対象となる応力発生も考えられるが、応答量を議論するには、本実験のモデルでは、相似則を十分満足しておらず、できうれば実船によつて確認されることが望ましい。

また、stiff. の edge 側にも歪ゲージを貼付して応力計測した結果を以下に示す。都合により実験方法の項に示した No.4 stiff. についてのみ計測し、ゲージ位置は()内に示した。web 側応力について、先に示した位置における応力を比較するために修正をした応力を①とし、①での応力を 1 として比をとると

	①	②	①'
227 Hz	1	4.4 6	2.7 9
242 Hz	1	0.4 3 1	0.2 7

となり、trans が面外振動をするときには、スチフナの基部で web 側よりも free edge 側で、より大きい振動応力を発生させることもあり、その逆もあることがわかった。

(3) 船底模型の実験(その2) (trans 両端の上下変位を支持したときの振動)

(a) 目的

船底の上下振動による trans の面外振動と stiff. 基部応力の関係を知るために、船底と trans の模型(45年度静実験に使用したもの)の四隅を支持して船底中央を上下に加振実験したのに引き続き、ここでは、この trans の両端も支持した状態で上下加振実験を行なつたもので、このほうが実船の船底構造の状態に近いと考えられる。

(b) 実験方法

図 4.3.8 に上下加振方法と模型(trans face 158)の概略図を示した。trans

両端部を支持した以外は、モデルその他は(2)に示したものと同一である。stiff付根の垂ゲージ貼付位置も(2)の実験と同じ位置である。

(c) 実験結果

図4.3.1.0に模型上の各点にとりつけた加速度計による共振曲線を示す。pick upとりつけ位置は、船底の加振点(±上下方向)加振点すぐ横のlong₁のface上(上下方向)、A-trans face中央(上下方向とlong₁方向)、B-trans face中央(同)である。B-trans face上(long₁方向)に加振点振巾0.01mmに対する発生応力を示した。

(d) 実験結果からの考察

共振曲線は(2)の結果と大差はないが、振動系全体の剛性が増加したために、共振振動数がわずかながら上昇しているとみられる箇所もある。

振動モードを図4.3.1.0に2.97Hzの場合につき示しているが、船底モードが船底3パネルで相異っている。(2)の実験では、3パネルとも同位相であったが、2.97Hz付近の振動数についてはモードをとらなかったので、この原因が船底パネルの2次モードが出たものか、trans両端を支持したためか不明であるが、(2)で2.42Hzでも同位相であったことを考えると、原因は後者によるものと考えられる。

各transの剛性が同一の実船においては、振動モードに示すように船底パネルの位相がtransの前後で異なることと、web stiff.がtrans片側についていることにより、long₁の角変位量が正負となるため隣り合うtrans位置にてstiff.基部応力の大小が認められることが考えられる。

実験モデルは2transの剛性が異なるため、trans自身の固有振動数がわずかではあるが異っているために、上記現象そのものではないが、B-transに示した応力値から考えると3.70Hzあたりまではstiff.基部のfree edge側応力が大きく、3.70Hz以上ではweb側応力が大きいことから、約3.70Hzで船底パネルの位相反転があり、上下方向反力の大きさが変化したともみられる。

図4.3.1.0の各振動数のstiff.基部発生応力をみると、加振点振巾0.01に対し0.1~1.0Kg/mm²で、静実験の場合より1order大きいが、実船における加振力が不明なので疲労強度云々はいい難い。2.34Hzにて1Kg/mm²/0.01mmampと大きいのは、B-transの固有振動数と一致したためとみられるが、これだけ異常に大きい理由はわからない。

(4) 船底模型の実験(その3)(タンクモデルによる加振実験)

(a) 実験方法

支持状態は(3)実験と同じである。ただ次のようにモデルを改造した。側壁をたて、trans face巾を158→100mm、stiff.をすべて巾4.0.5のflat bar型に、coll plateを取除いた。slot形状は実験3の型式(K.Q型)と同じである。(図4.3.1.1参照)

加振方法は(3)と同様である。加振は空中と水中(bottom plate上面から6.90mまで注水)で行ない、trans face上面に取付けた加速度pick upにより共振曲線をとった。また、strain gaugeにより応力計測も行なった。

(b) 実験結果

図4.3.1.2に空中および水中におけるA、B-transの共振曲線およびモードを示す。一部共振曲線の下欄に各時点での加振点振巾0.01mmに対する発生応力を示す。

(5) 模型実験(2)~(4)に対する考察

注) 固有振動数計算が行なわれていない現在、明確な言い方をし難いのであるが、実験から得られたものを示すと、

- (a) 模型に取り付けた加速度ピックアップからとり出した共振曲線をみると、多数のピーク値が現れる。これは、§ 4.3.3に示す実船振動計測結果と最も異なる点である。模型の減衰が小さいこと、加振法が bottom panel 中央を上下に加振するということで実船とは力の伝達経路がちがうこととに原因していると考えられる。
- (b) stiff. 基部発生応力は振動に対して常に free edge 側に web 側より大きい応力が生じるとは限らない。これは trans と long₁ のモードにより stiff. 基部に働く M_t が逆符号の場合もあることを示している。今後、計算により trans と long₁ の位相関係との関連をみて、この応力の反転現象は説明つくものと考えられる。
- (c) (3)によると実船で問題となるのは、最低次だけで 2 次以上は振動数がよほど低くない限り問題とならないようである。
- そこで模型実験から得られた知見はそのまま実船に適用することはできないが、模型実験をうまく説明できる電算プログラムにより、最低次のみにつき、なりさげて種々の検討を電算実験して設計基準等につなぐことになる。

4.3.3 P 船実船振動計測

(1) 実船計測概略

実験では実船の trans の振動挙動推察に不明の点が多いので、ある実船につき、試運転時に計測を行なった。本船は D/W 約 215000 T の tanker 主機は diesel 9 cylinders propeller は 6 blades である。

(a) 計測点配置図

計測点配置図を図 4.3.1.3 図 4.3.1.4 に示す。A - 8 V は歪ゲージ、他は全て加速度型ピックアップである。

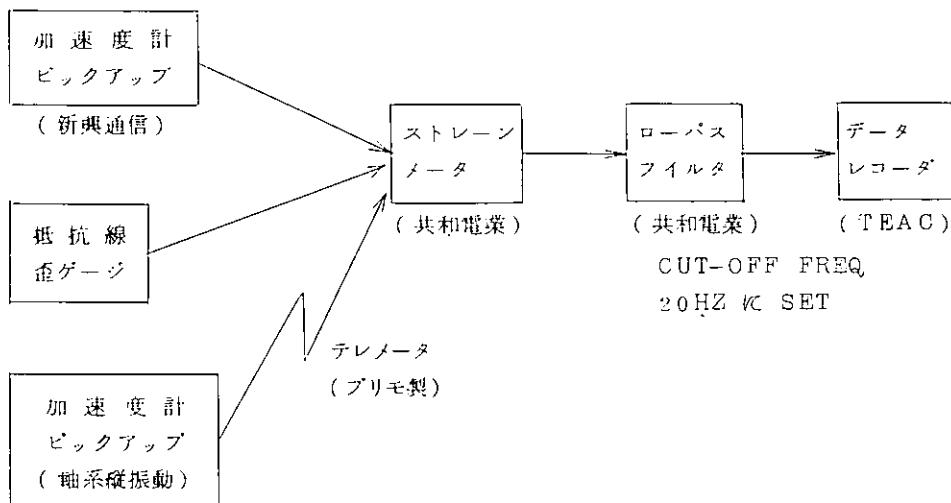
(b) 計測時コンディション

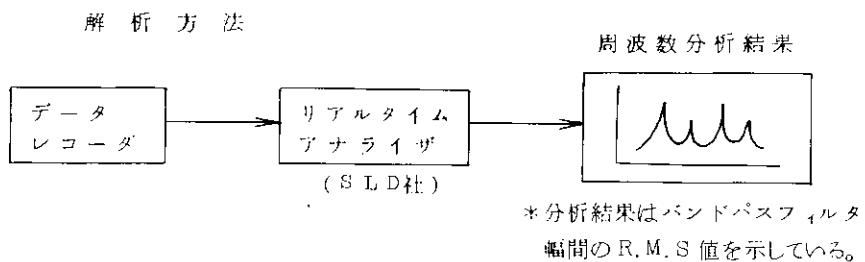
計測は full load コンディションで、軸系ねじり振動計測におこなわれた。計測時の載荷状態を図 4.3.1.5 に示す。

なお、計測は主機回転数を 35 ~ 106 R.P.M まで 2 ~ 3 R.P.M ごとに実施したものである。

(c) 計測器および解析方法

計測器の配列





(2) 計測結果

(a) 記録波形

図4.3.1.6～1.9には91～106 RPMの記録波形のうち、計測点B-10V, B-11V, A-9V, A-6L, A-7V, A-8V (STRAIN GAGE)のものを示す。(~~~~~は同時計測のグループ)

96 RPMで、B-11V, A-9Vは、なんらかの共振状態を示している。B-10V, B-11Vは両舷対称位置に取りつけたものであるが波形は異なっている。

100 RPMで、A-6L, A-7V, A-8V (S.G.)はピートも少くなり、振幅も大きくなっている。これは、transの面外固有振動数が主機回転数の6次成分(600 RPM)に近いことを示しているものと思われる。また、この3者は位相関係を見ても関連を持った挙動をしていることがわかる。trans基部の縦方向につけたB-12Lのpick upが計測不能となつたため、船体縦振動との関連を見ることができなかった。なお、波形より読みとった半振巾の応力値は、約1.3 kg/mm²、後述の分析結果はR.M.S値であることと、このような低周波数域の分析には分解能が低くなるため、peak to peak valueに較べ低めの値を示しているので、ご注意願いたい。

(b) 周波数分析結果

図4.3.2.0～2.2は91～106 RPMの記録波形に対する周波数分析結果のうち300～900 RPMの部分を抜粋したものである。図に示すようにこの回転数範囲で卓越するピークは主機回転数の6次成分であることがわかる。

とりわけ、A-6L, A-8(S.G.)の結果は、600 Hz付近に顕著なピークがみられ、他の領域にはほとんどピークらしきものがみられないのが特徴である。

(c) 共振曲線と考察

以上の結果より見て、主機回転の6次成分と trans 基部応力との関連が強いことがわかったので図4.3.2.3, 2.4では、計測回転数58～106 RPMの分析結果の6次成分を取り出してみた。

- ① 軸系O節縦固有振動数が93 RPM 6次(約558 RPM)付近にある。
- ② A-4L, A-1L, A-2Vの共振曲線はsharpではないが、600 RPM付近がピークになっている。A-6L, A-8V (S.G.) のピークと対応している。

前者の計測点が600 RPMでピークになつた原因は、軸系O節固有振動数とは若干異なつておらず、surface force(本船6翼)あるいは船体固有振動数等考えられるが、transの面外固有振動数がそれらと一致したことがA-6Lのピークを顕著にしたものと思われる。本船はcenter girder less方式(図4.3.2.5参照)であり、形状寸法よりいっても一般的とはいがたい点もあるが、本結果に関するかぎり trans 基部に発生する応力は、主機軸系の回転に起因する振動源による成分が支配的であり、しかも共振振動数を5%も回避すれば半分以下になつている。

③ A' = 9 V の図中 X印の上には、対応する振動数での B = 10 V との比 $A' = 9 V / B = 10 V$ を示す。(()内数値は $A' = 9 V / A = 4 L$) A' = 9 V の値のバラツキは $A' = 9 V / A = 4 L$ に較べ著しく大きい。本結果程度では推測の域をでないが、振動伝達経路としては、振動源→船体主構造振動→trans と考えるよりは、振動源→船底構造→trans と考えるべきなのかもしれない。

4.3.4 むすび

- (1) 実船振動計測を行なった結果、振動応力で問題となるのは共振点を含めた狭く狭い周波数領域（共振点の前後 10 % 程度）で、これを外れたらほどんど問題にならぬ程度の発生応力である。すなわち、減衰が大きいことがわかった。また、この peak 値は本船の場合、常用回転数あたりまででは最低次のものしか記録されてからず、実船計測の一例だけで断を下すことは危険性を伴うが、まず、本船程度の構造配置のとき、最低次の共振点のみ回避すればよいことになる。
- (2) 上記の共振点の最大発生応力は片振巾 1.3 Kg/mm^2 であったが、疲労強度的に云々は、まだ不確定因子が多数あり、ここでは云えない。
- (3) trans の軸力影響は面内力無しの状態に比べ、実船軸応力 8 Kg/mm^2 程度で 15 % 程度固有振動数が下る結果が得られ、今後、面内力も勘定に入れて振動解析したほうがよいと思われる。

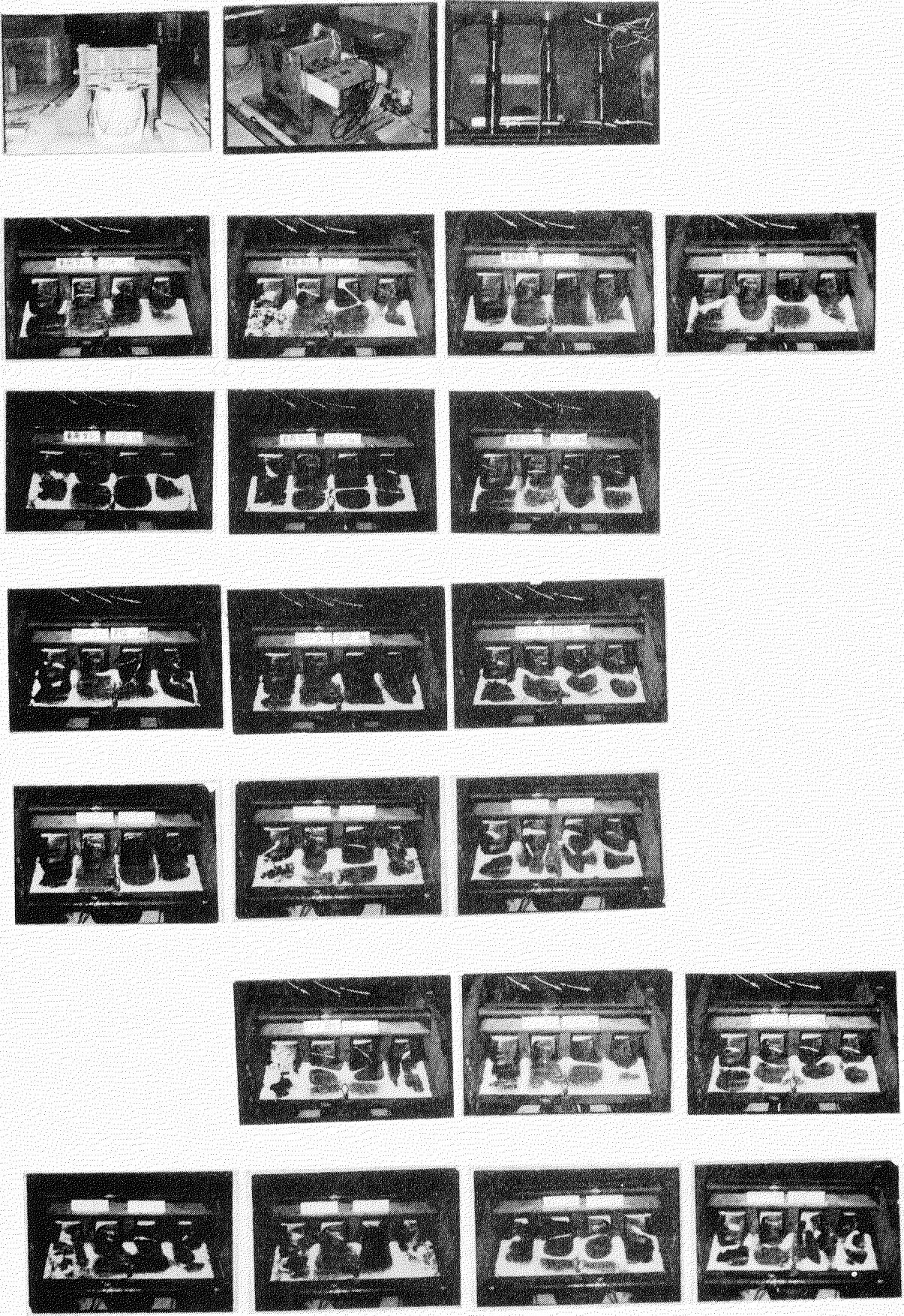


写真 4.3.1 振動モード

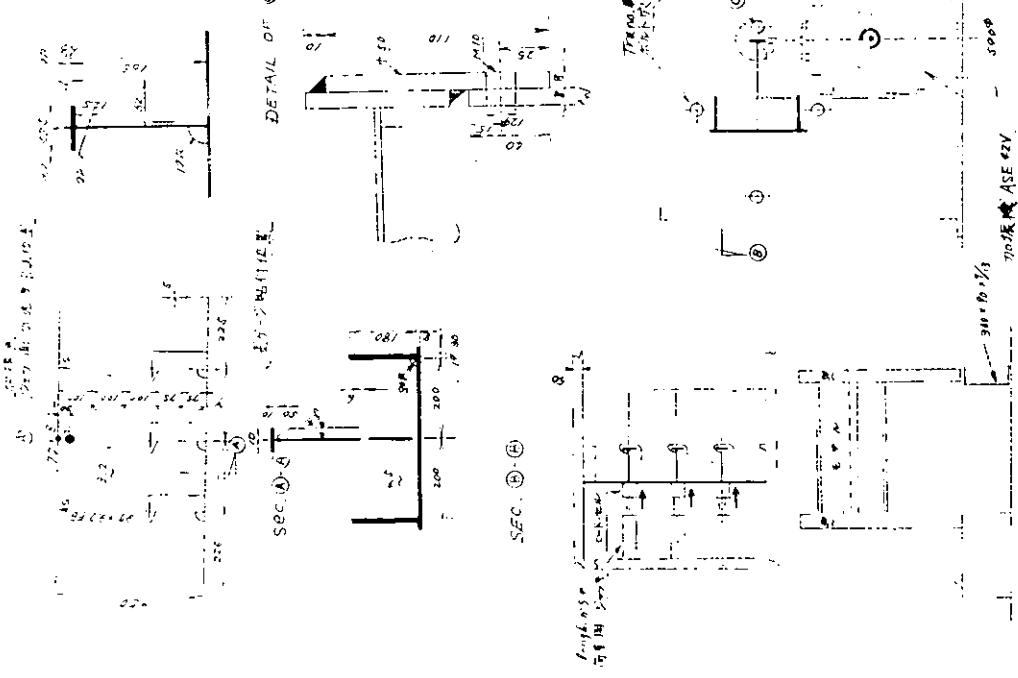


図 4.3.1 供試体と負荷方法概略

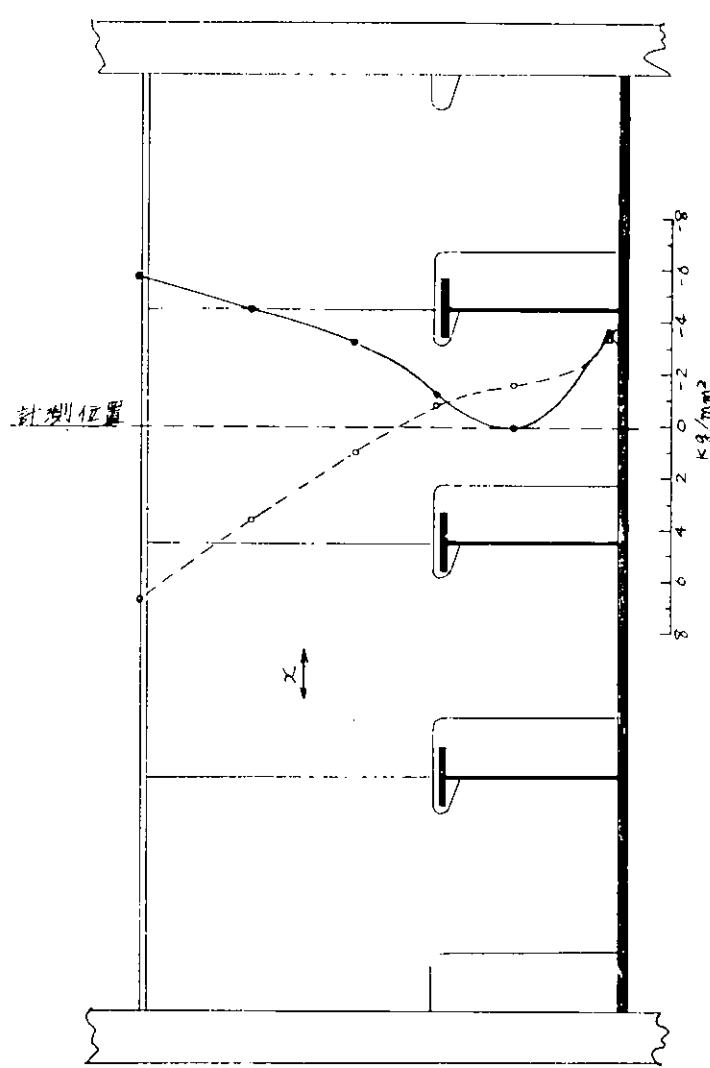


図 4.3.2 Trans.の応力分布 (σ_x)

—— 圧縮軸力 (10 kg/mm²)
----- ロング集中力 (10 kg/mm²)

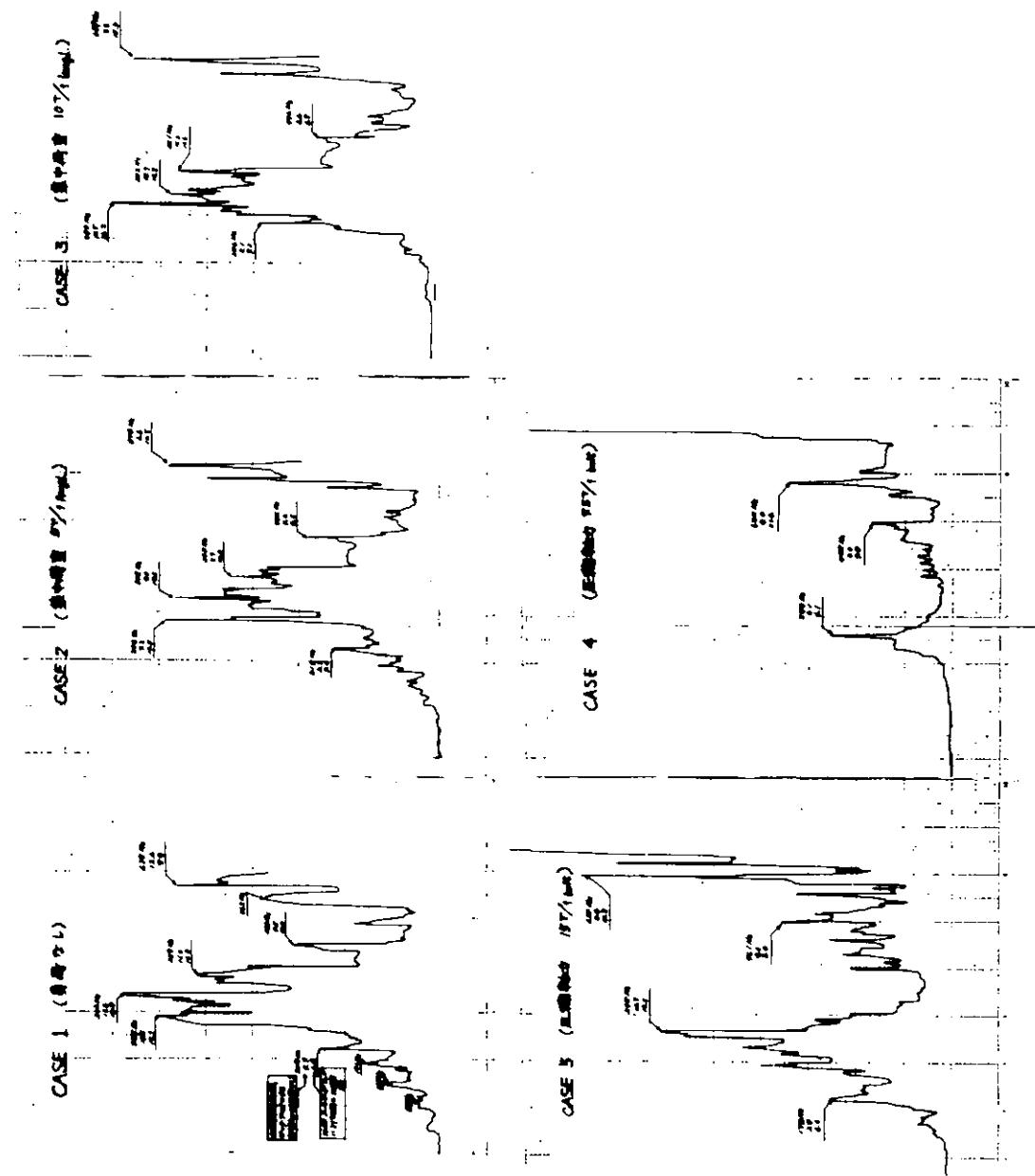


図 4.3.3 面内力の影響を調べる実験

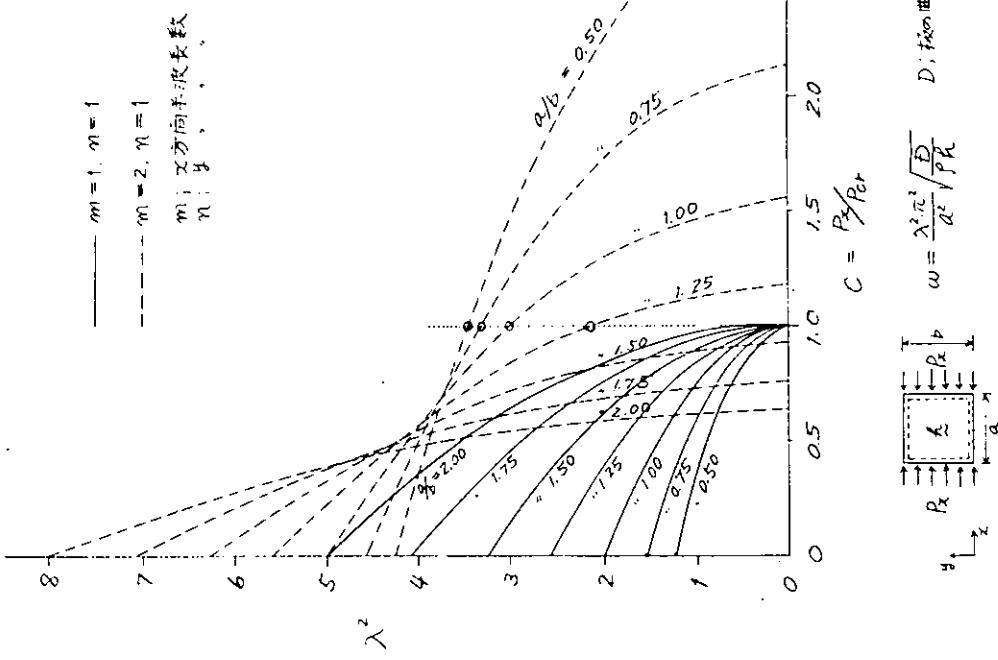


図 4.3.4 軸圧縮力と振動の固有値の関係(周辺支持)

$$\omega = \frac{\lambda^2 \pi^2}{a^2} \sqrt{\frac{D}{P_0 r}} \quad D: 細い曲げ剛性$$

↑ 計算値
— 実験値

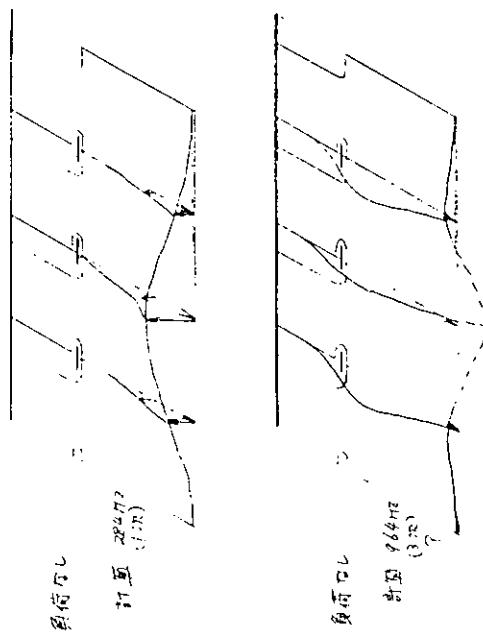


図 4.3.6 Stiff の振動モード(負荷なし) cal. by VIBIAN

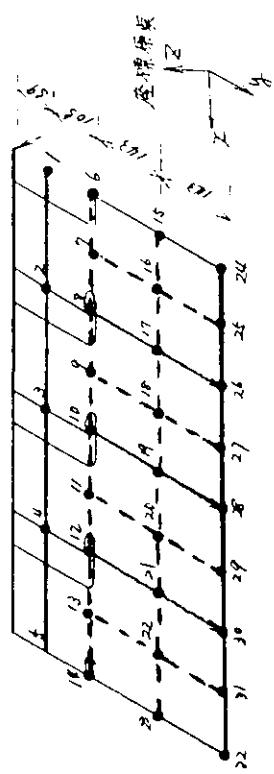


図 4.3.5 固有振動数計算のモデル

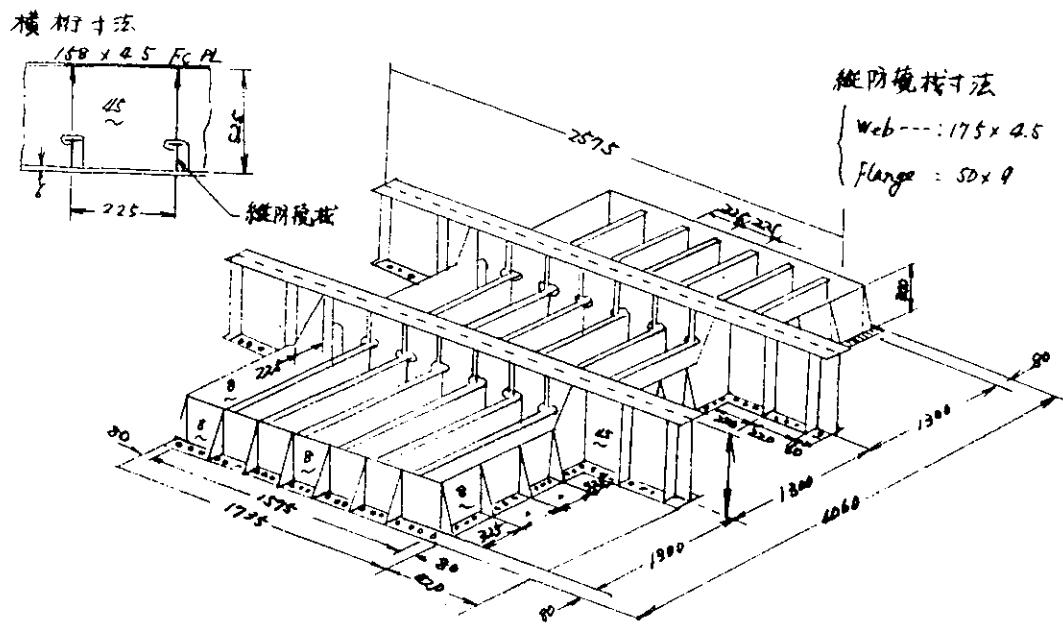


図 4.3.7 供試験体の寸法形状 (stiff 和 slot の type は § 実験方法参照)

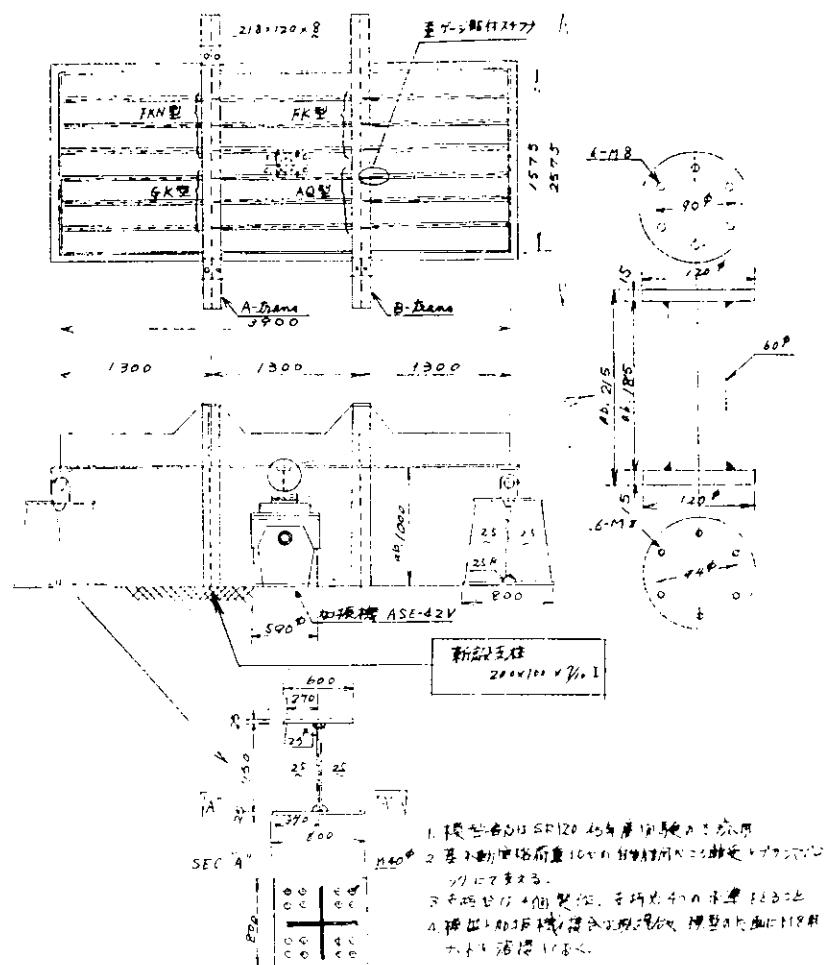


図 4.3.8 供 試 体

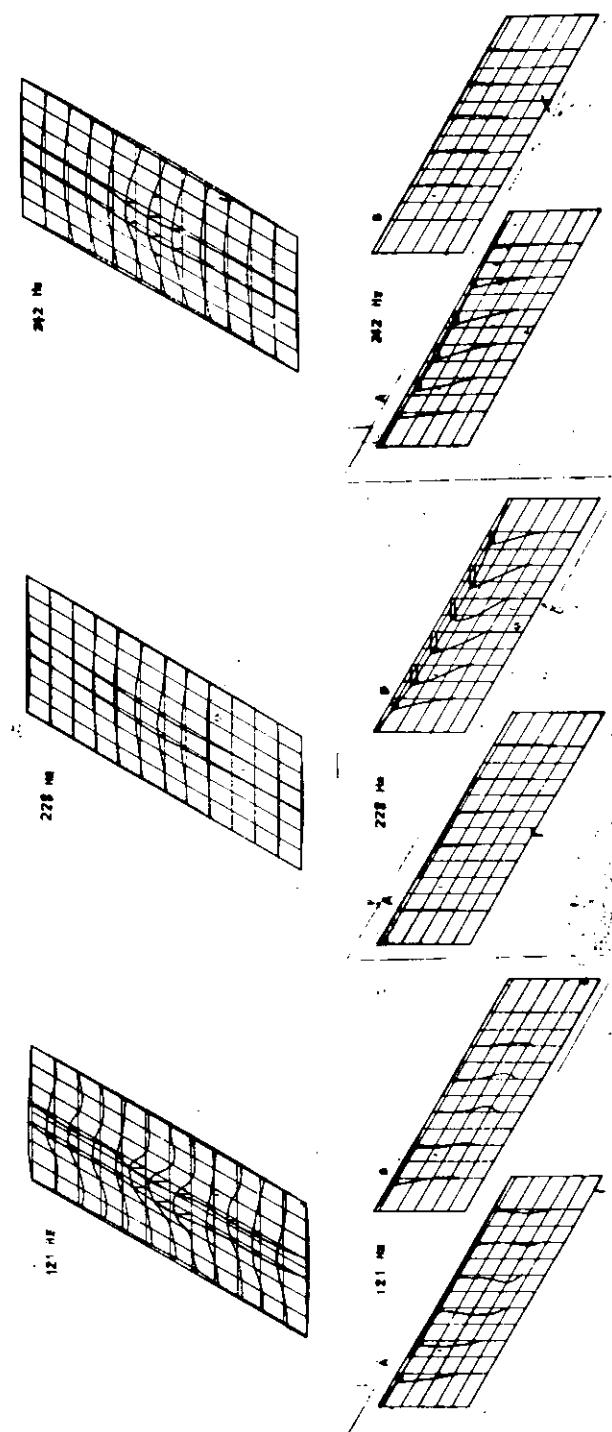
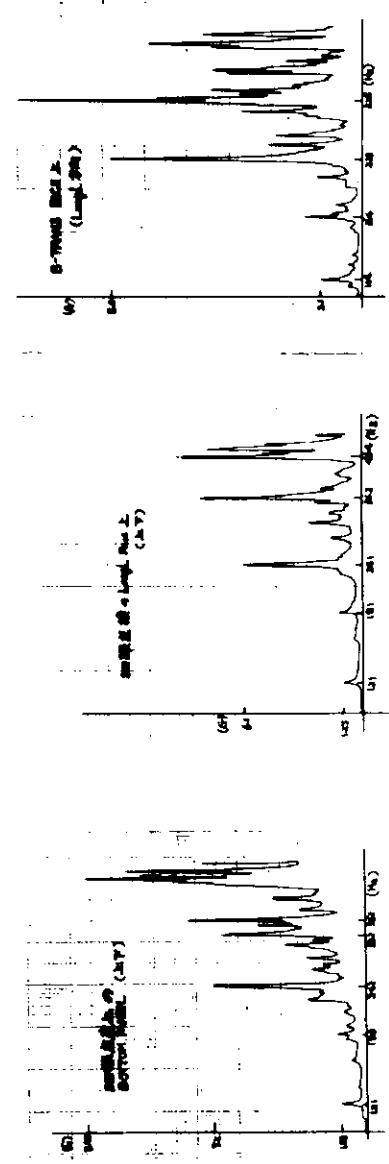


図 4.3.9 船底模型の実験（その1）側壁なし、Trans 両端自由、各種 Slot・Stiff 形式

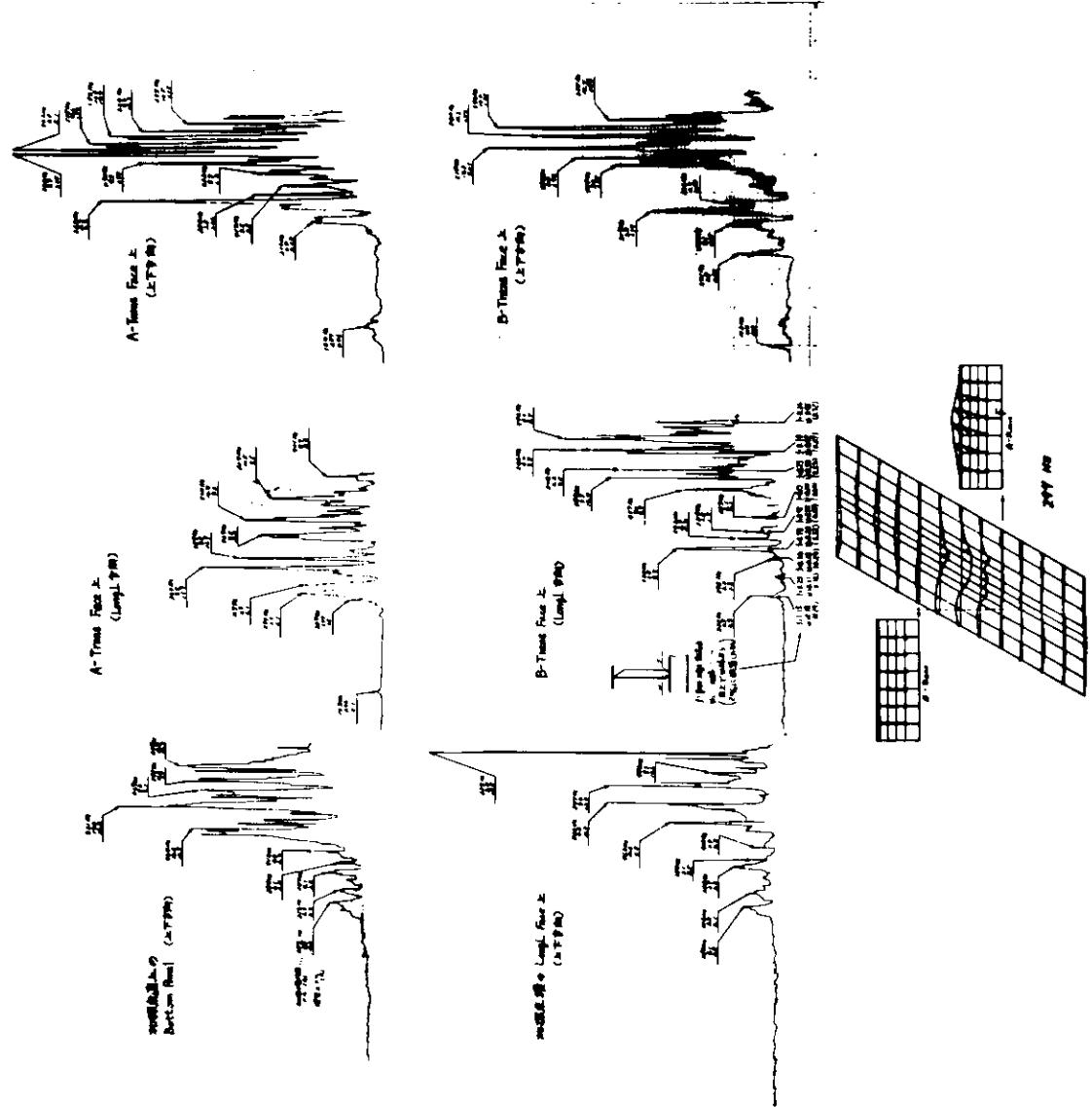
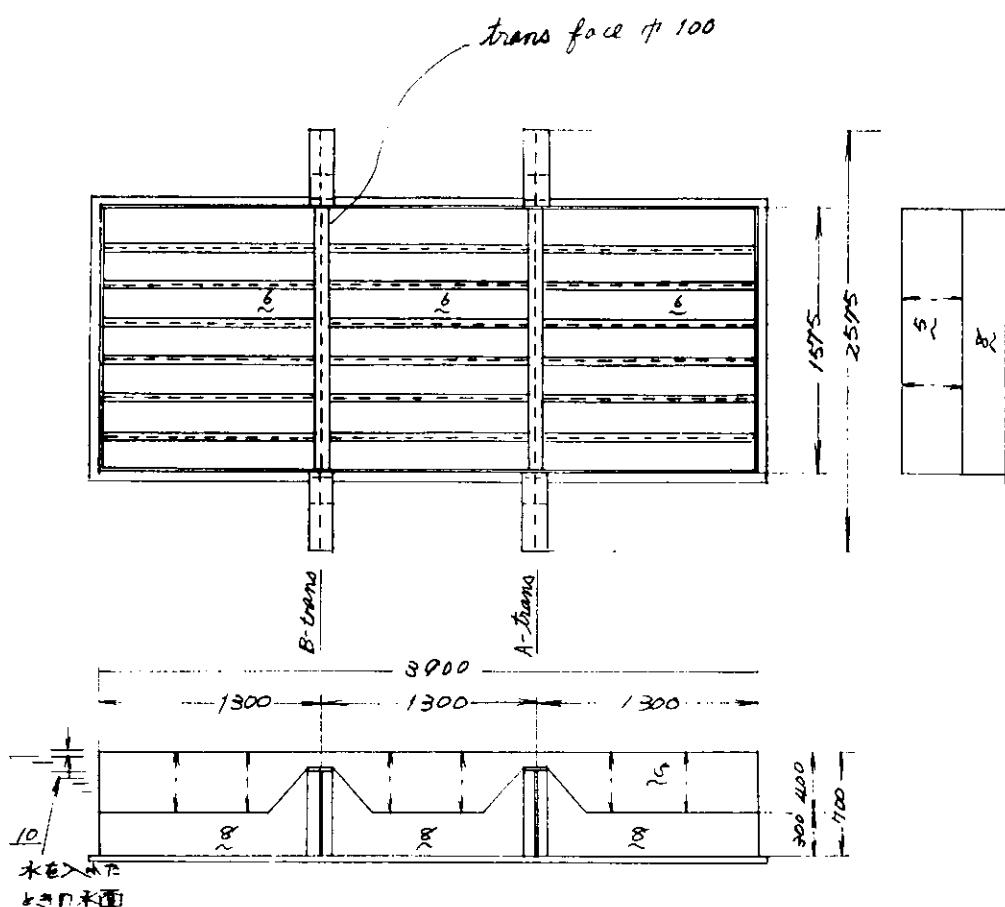


図 4.3.10 船底模型の実験（その 2）側壁なし、Trans 両端支持、各種 Slot - Stiff 形式



web に stiff はすべて右側の筋板に
統一し、coll. sl. は取外す。
slot は K 型 Q 型 など。

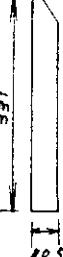


図 4.3.11

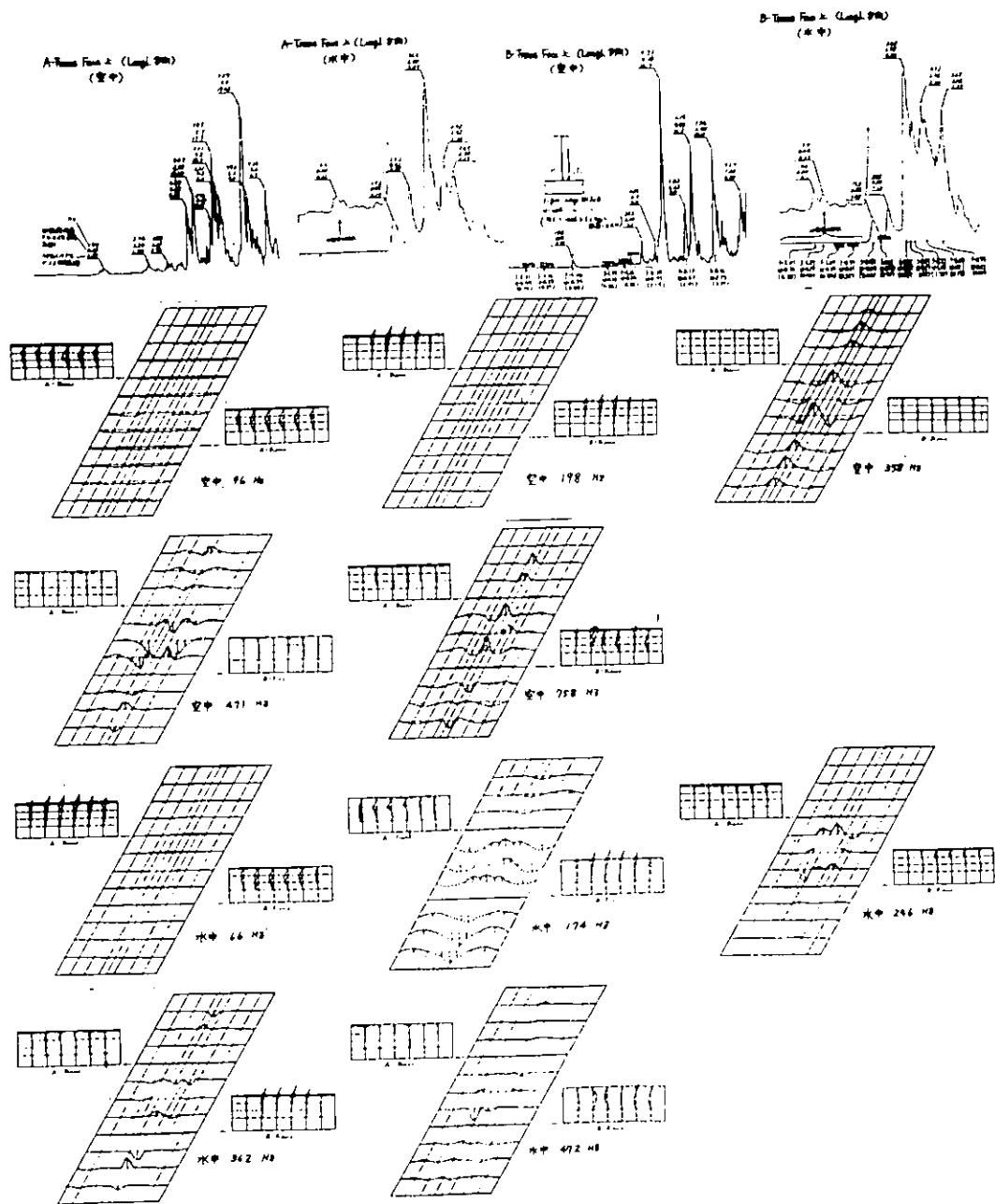


図 4.3.12 船底模型の実験（その 3） 側壁付き、Trans両端支持、

同一 Slot・Stiff 形式

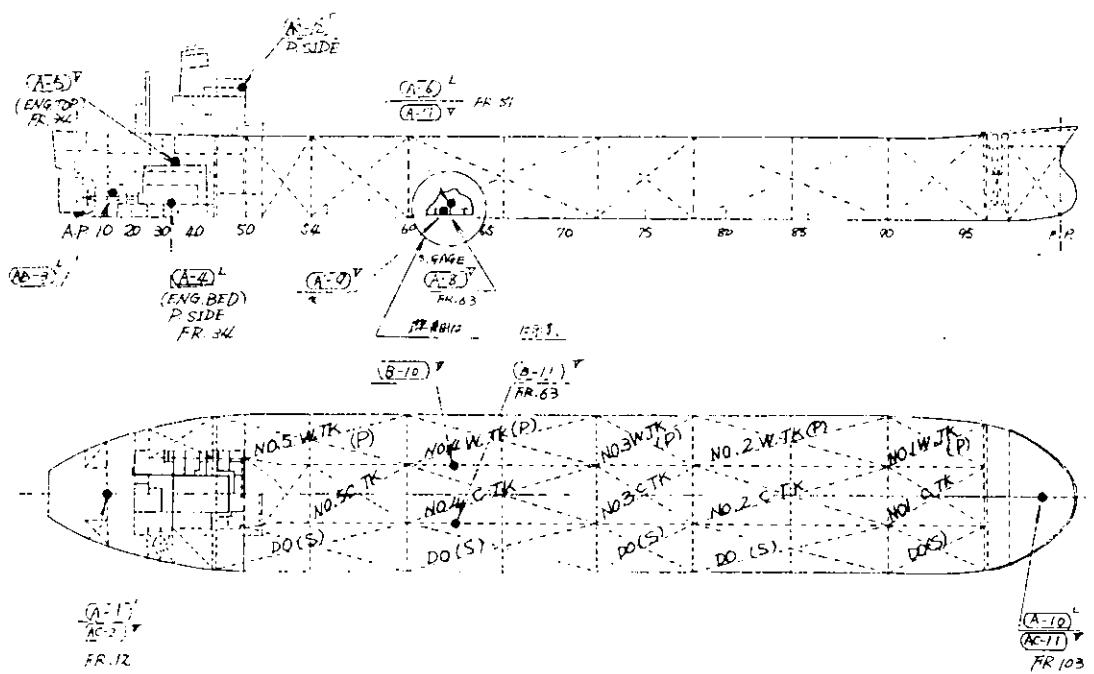


図 4.3.13 計測点配置図

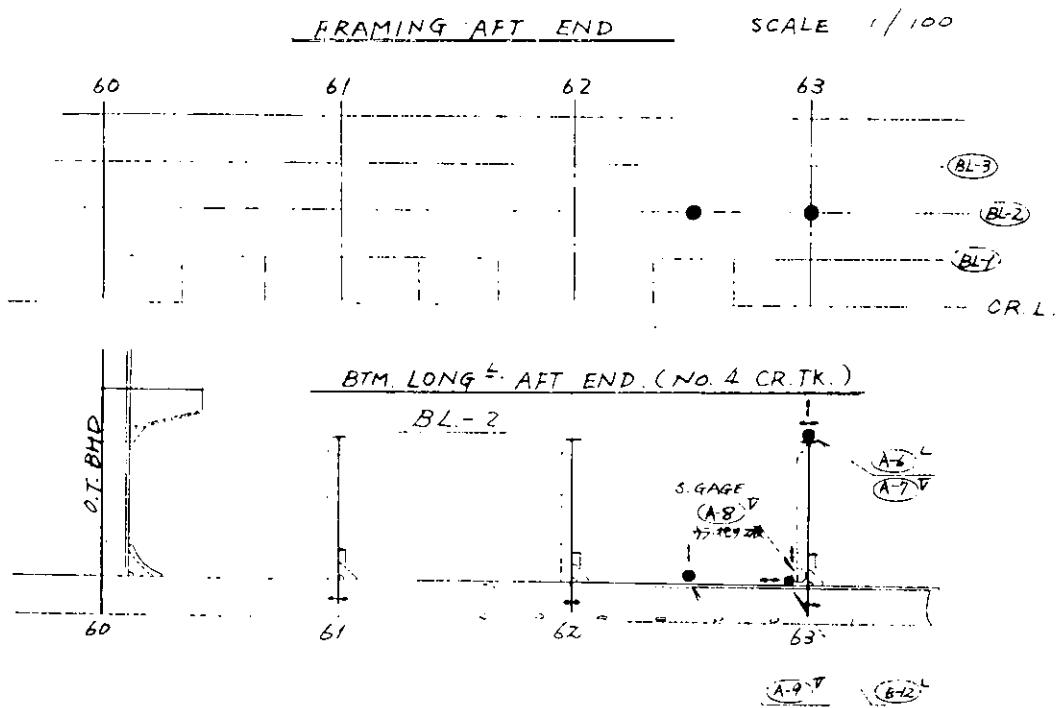


図 4.3.14 計測点配置図

TANK CONDITION FOR SEA TRIAL
FULL LOAD CONDITION

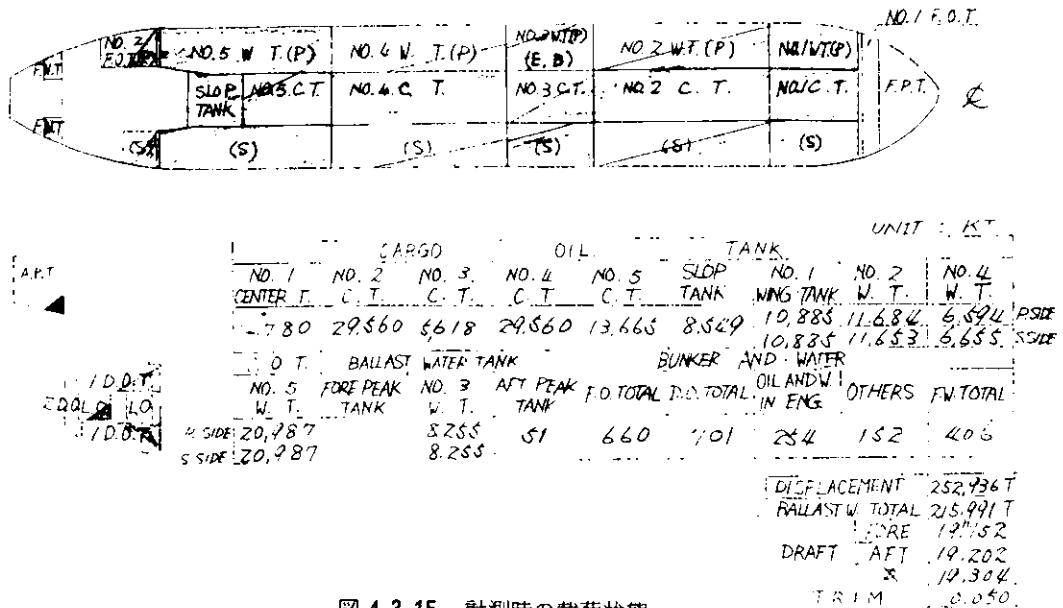


図 4.3.15 計測時の載荷状態

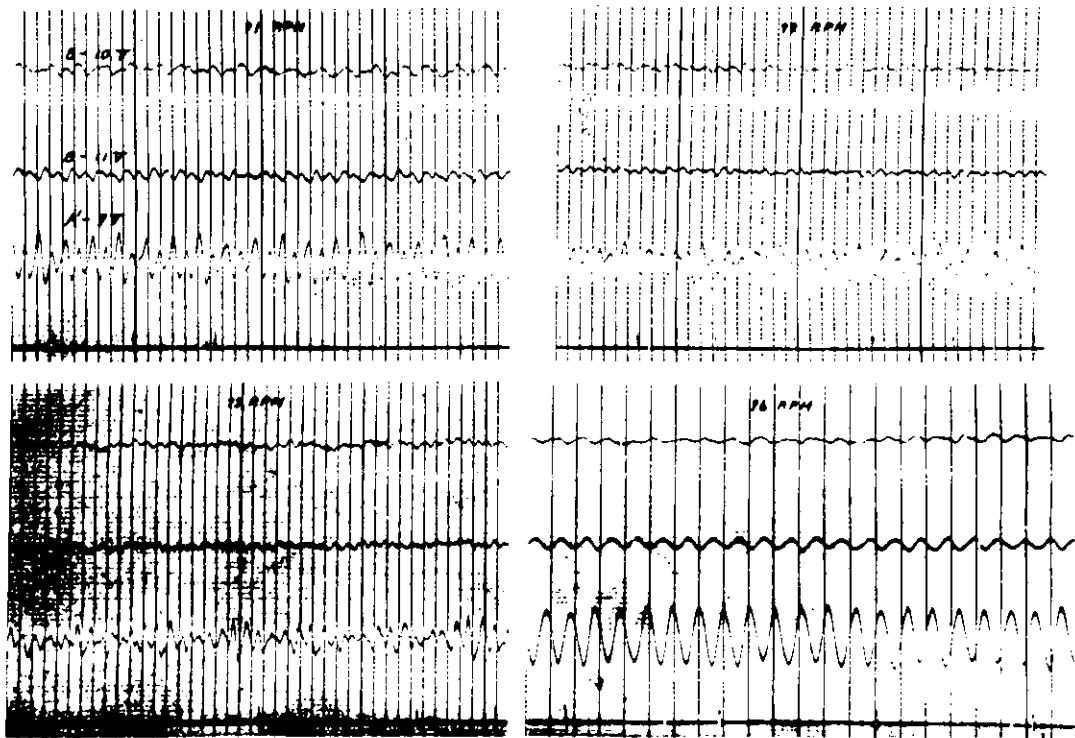


図 4.3.16 記録波形

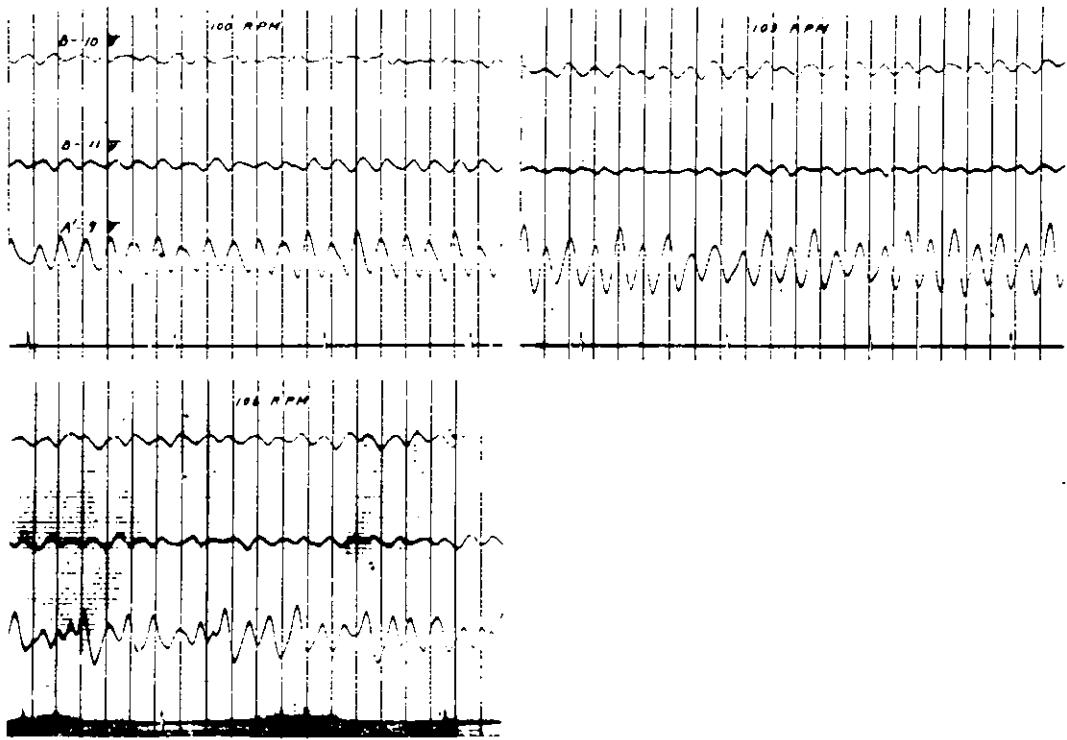


図 4.3.17 記録波形

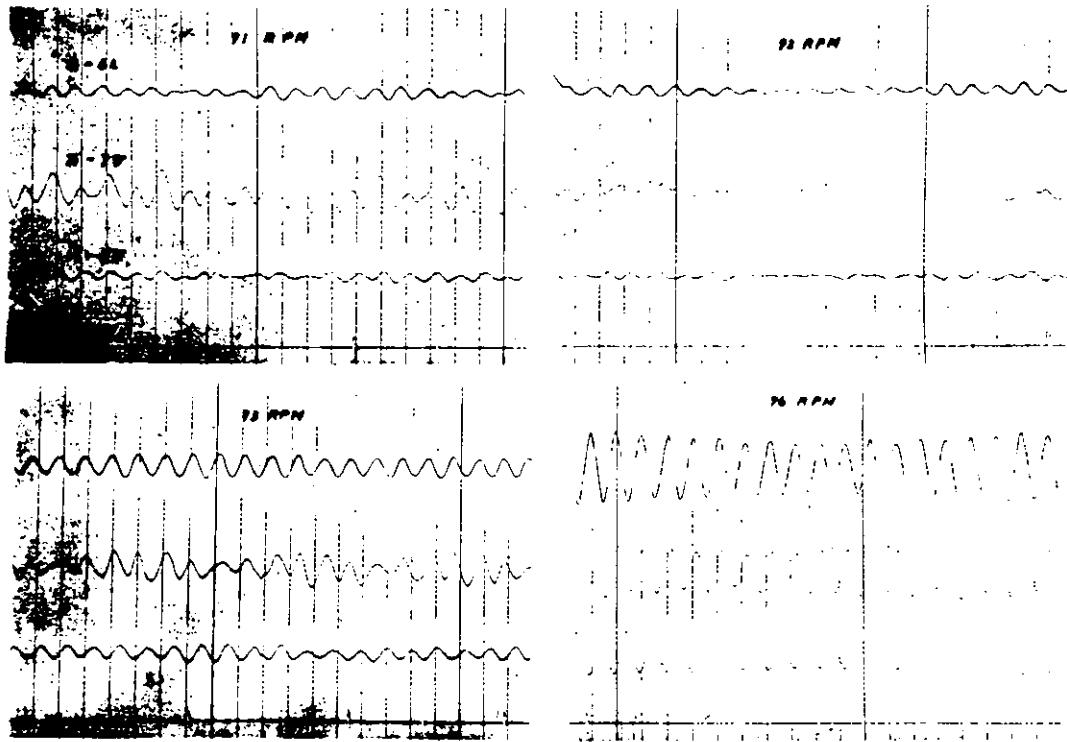


図 4.3.18 記録波形

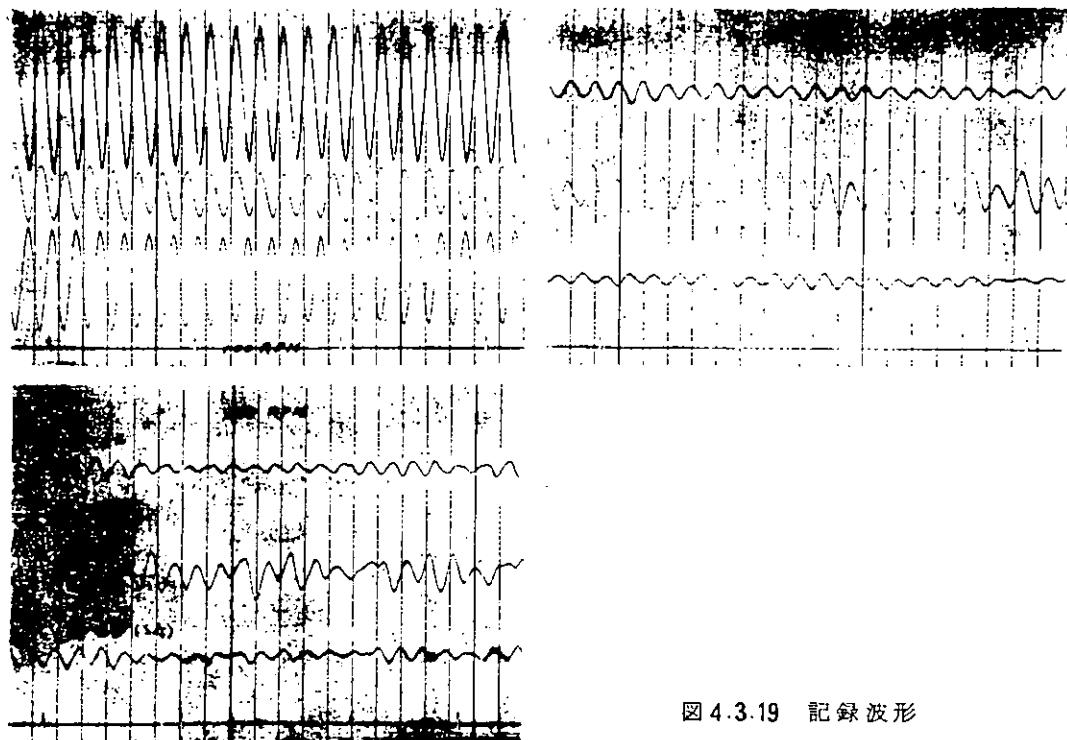


図 4.3.19 記録波形

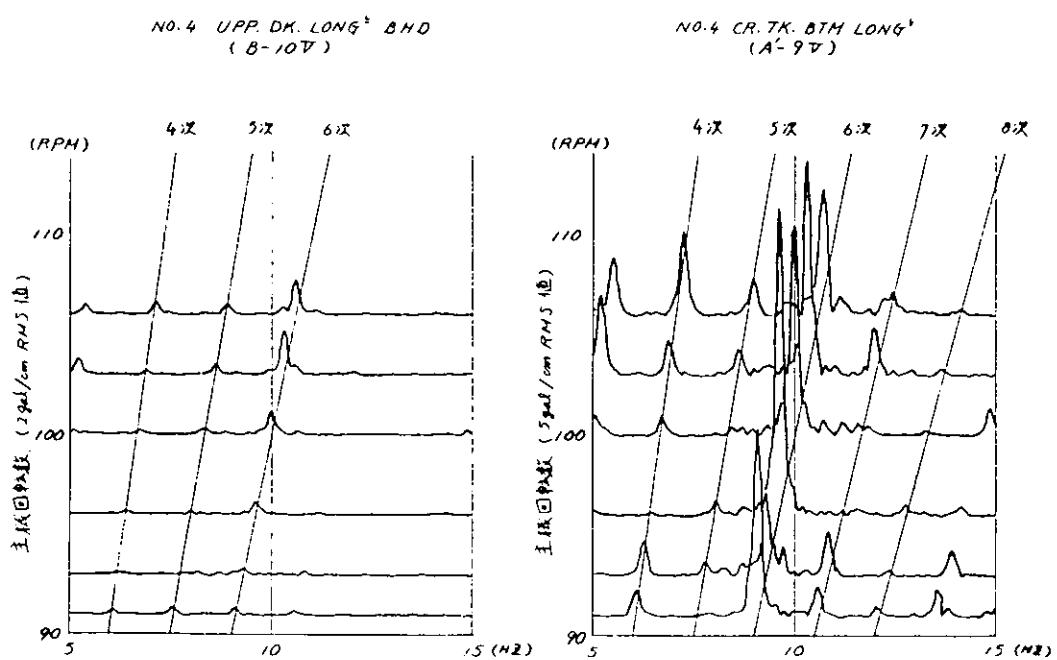


図 4.3.20 周波数分析結果

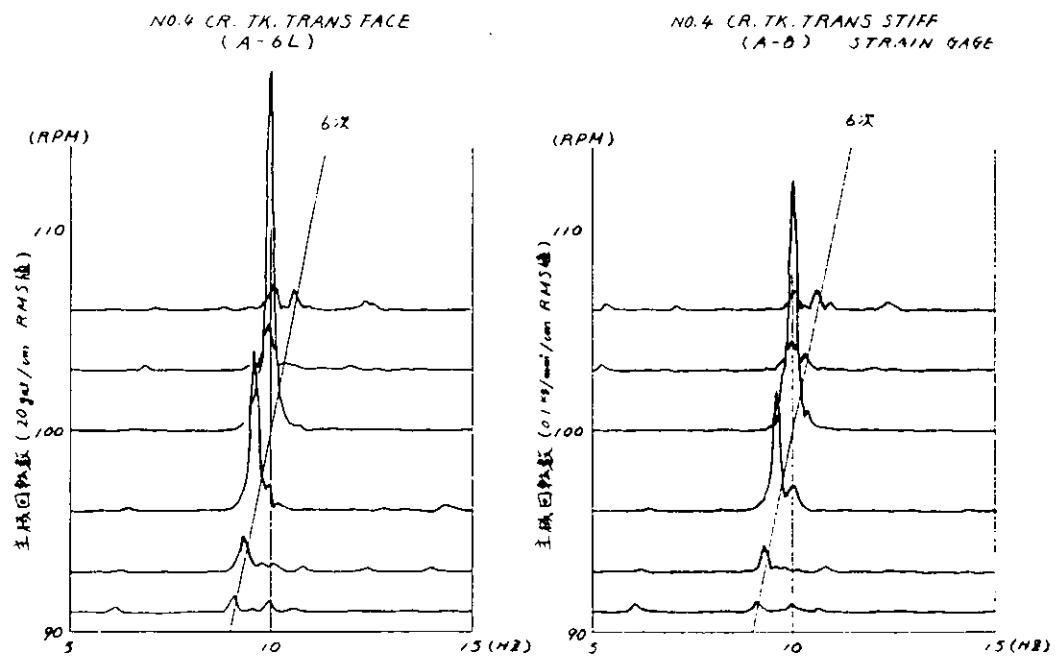


図 4.3.21 周波数分析結果

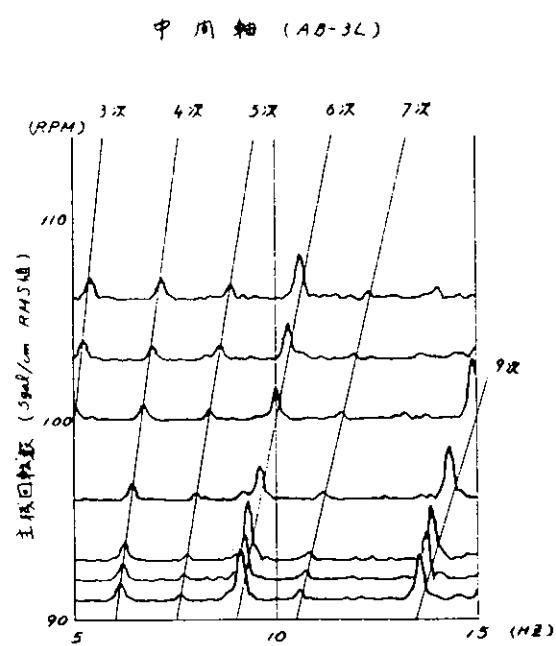


図 4.3.22 周波数分析結果

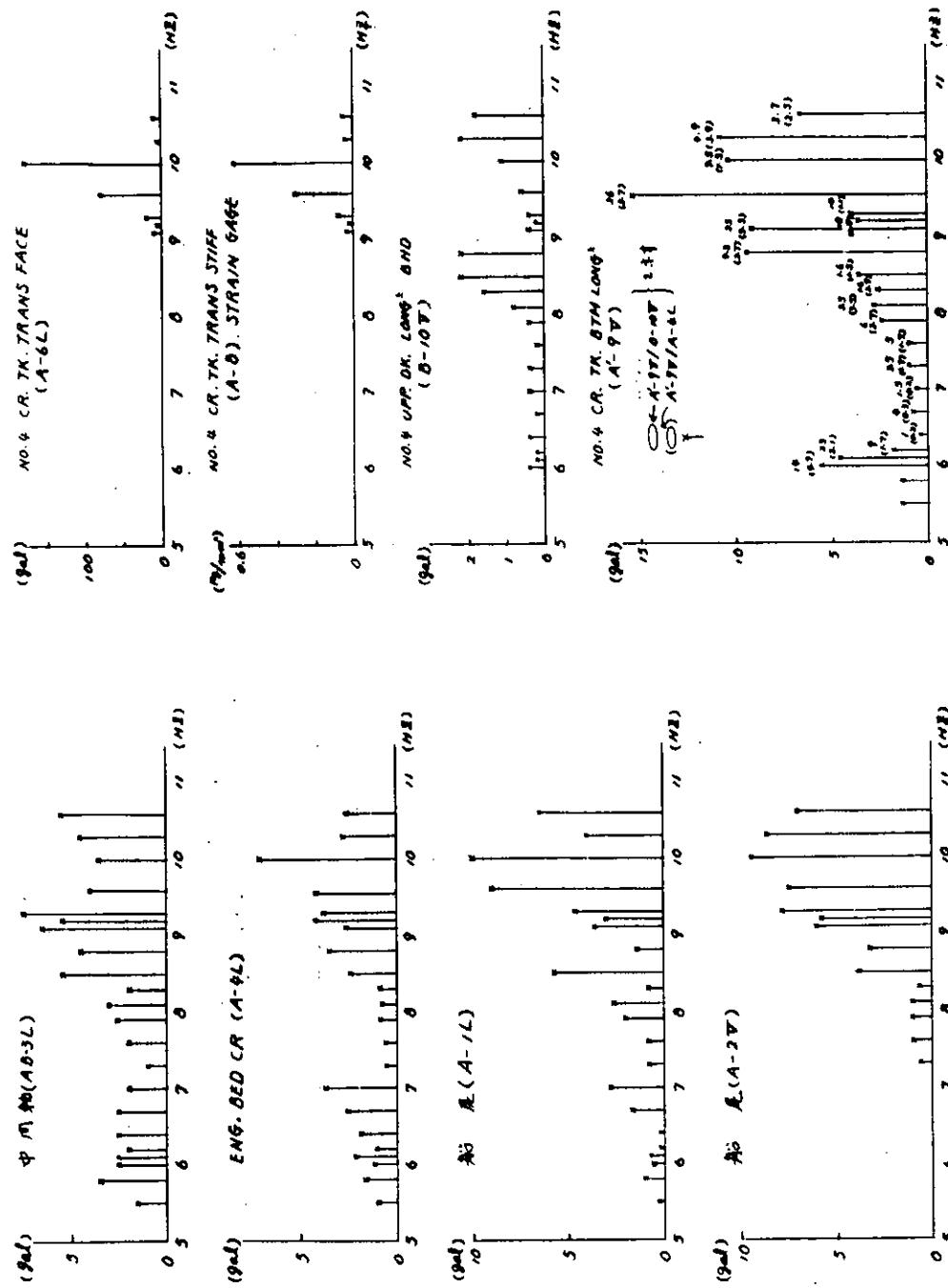


図 4.3.23 主機回転数の 6 次成分 (R.M.S 値)

図 4.3.24 主機回転数の 6 次成分 (R.M.S 値)

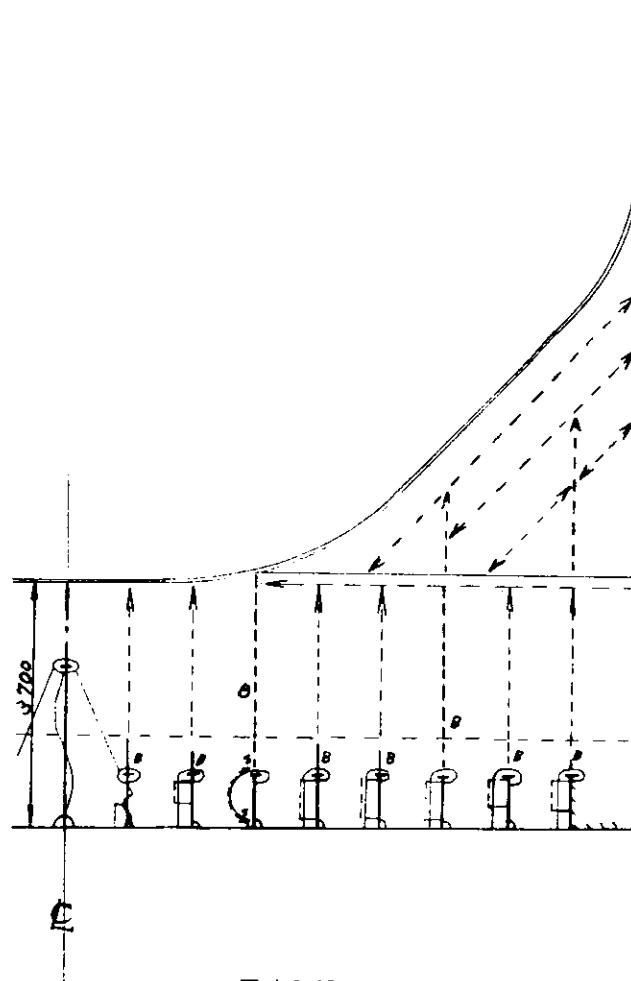


図 4.3.25 TRANS. 概略

5. 応力解析

5.1 まえがき

本章では、昨年度に引き続き、本部会で実験された静および疲労実験模型の応力分布を有限要素法により計算し、計測値と比較検討し、実船における応力計算の方法を確立することを目的とする。

現在スロット部のFEM計算におけるモデリング方式としては、昨年度報告書にも述べたごとく、三井千葉研の方法、日立技研の方法等がある。

三井千葉研の方法は、1ロング・スペースのウェブ面計算より得られたウェブの有効巾分布をとりこんだ単一スチフナ面計算により、比較的短い計算時間で実用的応力分布を得ることを狙ったものであり、この方法によりスロット対策懇談会では、スロット問題に対し、とりあえずの対策を求めた（日本造船学会誌 1971, 7月および8月号）。

日立技研の方法は、3次元FEM計算を連続3ロング・スペースのパネルにつき行ない、中央パネルの結果を使用することにより、境界条件による誤差、立体計算によりウェブ面スチフナ面の変位適合性に関する誤差が入らないことに重点をおいたものである（日本造船学会論文集 A6127）。

昨年度の報告書では、応力解析に関しては、三井千葉研の方法により求めた静および疲労試験についての応力解析、計測値との比較検討、および日立技研の方法による静実験模型についての単位外力による応力分布計算結果を報告した。

本年度は

- (1) 三井技研の方法において、スチフナ基部応力に及ぼすトランス・フェイスのウェブ面外変位の影響を多数のロングを含むパネル構造を立体骨組構造にモデリングして計測ロング位置のスチフナトップの変位を求め、それによりトップが自由の場合、拘束の場合の応力分布をインタポレイトすることにより求めて、実船計測および本部会の模型計測と比較した結果および
- (2) 日立技研の方法による静および疲労実験に対する応力解析および計測値との比較結果を報告する。

5.2 スチフナ基部応力におけるトランス・フェイスの面外変位

5.2.1 まえがき

本部会の前年度報告書において実験を行なった各型式のstiff.の基部応力をFEM計算して示したが、このFEM計算はstiff.topのtransvのfaceの変位がwebの面外方向について拘束されている場合および全然拘束されずに自由である場合について行なわれており、その計算結果が両方の場合についてかなり異なるものが得られている。

実船においてはtransvのfaceは数long1 spおきにtripping bktで支持され、その間をある剛性を持って連続梁的につながり、tripping bktを含めて各long1において、stiff.の反力をうけている。したがって、structural arrangementとloading conditionにより各stiff.のtopの変位は自由に近いか拘束に近いか異なる訳で、topの変位を何らかの方法により計算して求め、これにより拘束および自由の場合のFEMによる応力をinterpolateせねばならない。

このtop変位を計算する場合stiff.およびtripping bktの基部におけるlong1の回転変位をとりこまねばならぬので、modellingとしてshell panelを含んだものである要があり、このように計算対象が広い場合はFEMではコスト的に実行不可能であり、適当にmodellingされた骨組構造でやっと可能となる。

このような骨組モデルを多ロングモデルと以下称し、そのうちの1ロング分だけ取り出してtrans

の face で変位自由としたモデルを单ロンジモデルと以下称すると、多ロンジモデルの stiff. top 変位 (stiff. top 基部の long₁ の回転による修正を行なって相対変位に直したもの) に対応する応力は、自由な单ロンジモデルの stiff. top 変位 (同様相対変位に直したもの) により FEM による拘束と自由時の応力を interpolate して求まる。

骨組構造への置換法および荷重 (web の面内の面内剪断荷重を含めて) の取扱い方についての考え方を前年度報告書に示したが、今回これを実船における応力計測がなされている。

SR 83 資 料 F 船
SWG 資 料 K 丸

および模型による応力計測のあるもののうち

SR 120 静水圧実験模型のうち 1 例

について応力計測時の荷重条件につき実行してみたので、その概要を報告する。

5.2.2 梁構造へのモデル化基準

(1) 節点番号付番法および節点の固定条件

(a) 付番法

各 long₁ の骨組 model は、その節点番号を図 5.2.1 のごとく付番する。ただし、J 2 は slot 部、J 0 は color plate 部の端点に設ける。

多 long₁ model の場合は、long₁ model (設計図面の long₁ model ではなく model 化の際適宜付番したもの) を 10 倍した値を各節点番号に加えて区別する。(詳細は図 5.2.2 ~ 図 5.2.4 参照)

(b) 節点の固定条件

- 1) 全節点は X、RY 方向を固定する。
- 2) joint 0、2 はともに全方向固定
- 3) joint 1、3 は Y、RZ 方向を固定
- 4) joint 4、5、6 は RZ 方向を固定
- 5) joint 7 は Z、RX 方向固定
- 6) joint 8、9 は、実船の場合 X - Z 平面 (船の横断面) に関して各点の両側で対称の挙動を示すはずであるから Y、RX、RZ を固定する。

模型実験モデルの場合は Y、Z および RZ を固定する。

以上の原則を各節点についてまとめたのが下表である。

表 5.2.1 節点の固定条件 (1 は固定を表わす)

JOINT NO	X	Y	Z	RX	RY	RZ
0	1	1	1	1	1	1
1	1	1			1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1			1	1
4	1				1	1
5	1				1	1
6	1				1	1
7	1		1	※	1	
8	1	1	((1))	((1))	1	1
9	1	1	((1))	((1))	1	1

() の固定条件は実船の場合のみとする。

* JOINT - DATA で fix, MEMBER - DATA で free とする。

(()) の固定条件は実験の場合のみとする。なお、実験の場合は J8, J9 は模型端とする。

次の図 5.2.2 ~ 図 5.2.4 図に各モデルの概要および節点番号を掲げる。

(2) 荷重

荷重は各ロングに働く線分布荷重 P_w および Web 面内剪断力によって各スロット部 (color pl.) のある場合は color pl 部にも荷する) の初期変位量 δ_s をそれぞれ load condition 1, 2 とし、その合成荷重を load condition 3 としてインプットした。

a) 線分布荷重 P_w

1 ロングにかかる線分布荷重 (船の長手方向に一様)

P_w は、

$$P_w = \int_{-\frac{x_0}{2}}^{\frac{x_0}{2}} W(x) dx \quad [F/L] \quad \dots \dots \dots \quad (5-1)$$

$$(x_0 = \text{long1 sp.})$$

で表わされる。W の値はその long1 が所属するプレート部における水圧とする。

(図 5.2.5 参照)

b) 初期変位置 δ_s

上記線分布荷重 P_w によって生じる剪断力 S より図 5.2.6 ごとく各ロングに働く剪断力 S_o を決定し

$$\delta_2 = \frac{6}{5} \cdot \frac{S_{o1} \ell_2}{GA} \quad \dots \dots \quad (5.2)$$

$$\delta_0 = - \frac{\ell_2}{\ell_2} \delta_2 \quad \dots \dots \quad (5.3)$$

より各初期変位置を定める (図 5.2.7)

$W(x)$ が一定値でない場合 (F 船サイドシェル部) の荷重状態を図 5.2.8、図 5.2.9 に示す。

(3) 梁モデルへの変換について

一番問題となるのは stiff 部の梁モデルであるが、今回の解析にあたっては、まず三次元板構造をスロット対策懇談会において作業した Web 面 FEM 計算よりの応力集中度より算出した有効巾を有する。

変断面梁に置換し、さらにそれを各節点間において均一 T 形梁として計算した。

こうすることによって Web の剛性をとりこんであるが、stiff を 3 部材で表現することに特別の根拠があるわけではなく、trans の有効巾が信頼のおけるものとすれば、今後のより精密な解析においては有効巾の変化度に対応した stiff 部材の置換法が要求されるであろう。

全部材は X 軸方向を固定してある (F 船 side shell 部においては Z 軸方向を固定) が現実にはその方向の変位は微小ながらも生じ得る。時に非対称の場合問題となる。また 3~4 部材 (図 5.2.1 参照) は剛体変形に近い挙動を示すと仮定して long1 部の部材 (1~8, 3~9) より 100 倍大きな剛性をインプットした。

1~3 部材は stiff の剪断性を考慮するものとして long1 Web 断面積に stiff の長手に切

った断面積を加えてその断面積とした。

7番節点のX軸回り(F船side shell部の場合は、Z軸回り)の回転を拘束し、6-7部材の7番節点との端末結合状態をピン支持にしたため、trans faceのねじれ効果は生じない。ただし、trans faceのわん曲しているモデル(F船、K丸)では、このようを固定条件でもねじれ効果は現われる。

解析部分はモデル化の便利のため、細い点で省略したり人为的な規則を加味したりしてはあるが、物理モデルとして実際の挙動を表現するのに特に大きな問題点はない。

5.2.3 骨組単ロンジモデルの解析

(1) 解析概要

多ロンジモデルの中より各1ロンジ(応力計測の行なわれたlong1)を選んで部材、荷重、固定条件を多ロンジと同一として解析を行なう。この場合、topの7番節点がY方向に自由となって拘束がなくなってくるので多ロンジと比較することができる。

(2) 解析モデル概要

解析は各3caseについてF船、K丸、SR120の応力計測時の荷重状態で解析を行なった。これらの各モデルを図5.2.10に示し、その荷重状態を表5.2.2に示す。

表5.2.2 荷重条件

LOAD CASE			
	(A)	(B)	(C)
LOAD (1)	等分布荷重 128-121 121-123 } 5.5 123-129 }	等分布荷重 266-61 61-63 } 4.0 63-366 }	等分布荷重 204-41 41-43 43-101 } 0.90 101-103 103-214 }
LOAD (2)	PER. SET量 -0.8×10^{-3}	PER. SET量 -6.2×10^{-3}	PER. SET量 0.15×10^{-3}

LOAD(3)

$$= LOAD(1) + LOAD(2)$$

LOAD CONDITION

(単位) 分布荷量 (t/m)

初期変位 (cm)

(3) 単ロンジモデルの解析結果

解析結果のうち、特に注目しているstiff.topのweb面外変位を取りだし、表5.2.3に基づく回転角の補正を行なったものを表5.2.4に示す。

表5.2.3 Stiff.topの横変位

	LOAD	LOAD CN-(1)	LOAD CN-(2)	LOAD CN-(3)
CASE	topのjoint no.	δ_7	δ_7	
F船	127	$-4,356 \times 10^{-2}$	$6,187 \times 10^{-3}$	$-3,737 \times 10^{-2}$
K丸	67	$-2,426 \times 10^{-1}$	$3,442 \times 10^{-2}$	$-2,082 \times 10^{-1}$
SR120	47	$-2,152 \times 10^{-3}$	$-1,165 \times 10^{-3}$	$-3,316 \times 10^{-3}$
	107	$-7,775 \times 10^{-3}$	$3,949 \times 10^{-4}$	$-8,170 \times 10^{-3}$

表 5.2.4 回転角補正を行なった補正值

	LOAD	LOAD CN-(1)	LOAD CN-(2)	LOAD CN-(3)
CASE	topのjoint no.	$\delta_7 - \delta_R$	$\delta_7 - \delta_R$	$\delta_7 - \delta_R$
F 船	127	$-3,363 \times 10^{-2}$	$6,182 \times 10^{-3}$	$-2,807 \times 10^{-2}$
K 力	67	$-2,235 \times 10^{-1}$	$3,440 \times 10^{-2}$	$-2,009 \times 10^{-1}$
SR 120	47	$-3,682 \times 10^{-3}$	$-1,143 \times 10^{-3}$	$-4,826 \times 10^{-3}$
	107	$-3,335 \times 10^{-3}$	$3,804 \times 10^{-4}$	$-3,640 \times 10^{-3}$

5.2.4 多ロンジモデルの解析

(1) 解析概要

解析の主内容は、各 `long1` の `stiff_top` が `face` の剛性で連結された場合の `stiff_top` の Y 方向変位量および付根における `longle` の回転を考慮した相対変位を求めることがある。解析モデルの説明は、すでに 5.2.2 項で行なっているので、ここでは省略する。

(2) 多ロンジモデルの解析結果

`stiff_top` の Y 方向変位計算結果を図 5.2.11 ~ 図 5.2.13 を示す。

5.2.5 Stiff. 付根応力の修正計算法

FEM 計算によって得られた上端 `free` と `fix` の場合の応力の差を柔計算によって得られた変位の比により `interpolate_fix` のときの応力をその変位時の応力に補正する。

すなわち

$$\sigma = \sigma_{fix} + (\sigma_{free} - \sigma_{fix}) \times \frac{\delta}{\delta_{free}} \quad \text{とするものである。}$$

ここで δ_{free} は単ロンジ計算によって得られた変位であり δ は船底構造の柔構造、すなわち、多ロンジモデルによる計算変位である。

変位比は

$$\text{F 船で } \frac{\delta}{\delta_{free}} = \frac{1.8}{2.81} = 0.64$$

$$\text{K 力で } \frac{\delta}{\delta_{free}} = \frac{1.9}{2.01 \times 10} = 0.095 \quad \text{となり}$$

以上によって修正した応力分布を図 5.2.14、図 5.2.15 を示す。

以上により K 力については、極端 FEM 計算においての `stiff` 上端 `fix` の状態であることが説明でき、また、F 船については、誤差としてはかなりの程度見うけられるが、まあまあ `free` に近い応力状態であることがわかる。

SR-120 模型に対しては、

トリッピングブラケット

$$\frac{\delta}{\delta_{free}} = 0.605$$

となり、プラケットに対しては、freeに近いことを示していくままであり、スチフナについては、freeのとき以上の応力を発生するような計算となるが、実験値はfreeの状態に近く定性的には説明することができる。

5.2.6 むすび

long₁の挙動を含めてtransvのface、すなわち、web stiff. topの変位を前年度本部会報告書記載の骨組計算法で実行してみた結果

- (1) transvのfaceはtripping bkt位置を含めて、比較的なめらかな変位モードを示す。
- (2) stiff付根long₁の回転を考慮して、long₁に対するstiff. topの相対的変位を face剛性なしとして各long₁につき単独に挙動させた場合のそれと比較すると、前者は後者に近い、すなわち、いわゆる、topでfreeの状態に近い場合も後者とほぼ等しい。
すなわち、いわゆる、・topでfix・の状態と両方とも中間の場合を含めてあります。
- (3) stiff付根応力分布が計測されている実船、F船、K丸およびSR120模型につき 計算結果と計測値を比較した結果、各計測時の特徴的な応力分布の出かたを説明できたようである。
- (4) structural arrangementおよびloading conditionにより、どのような場合fixに近く、どのような場合freeに近いか、今回の数例の計算では一般的なことを云うには不足である。

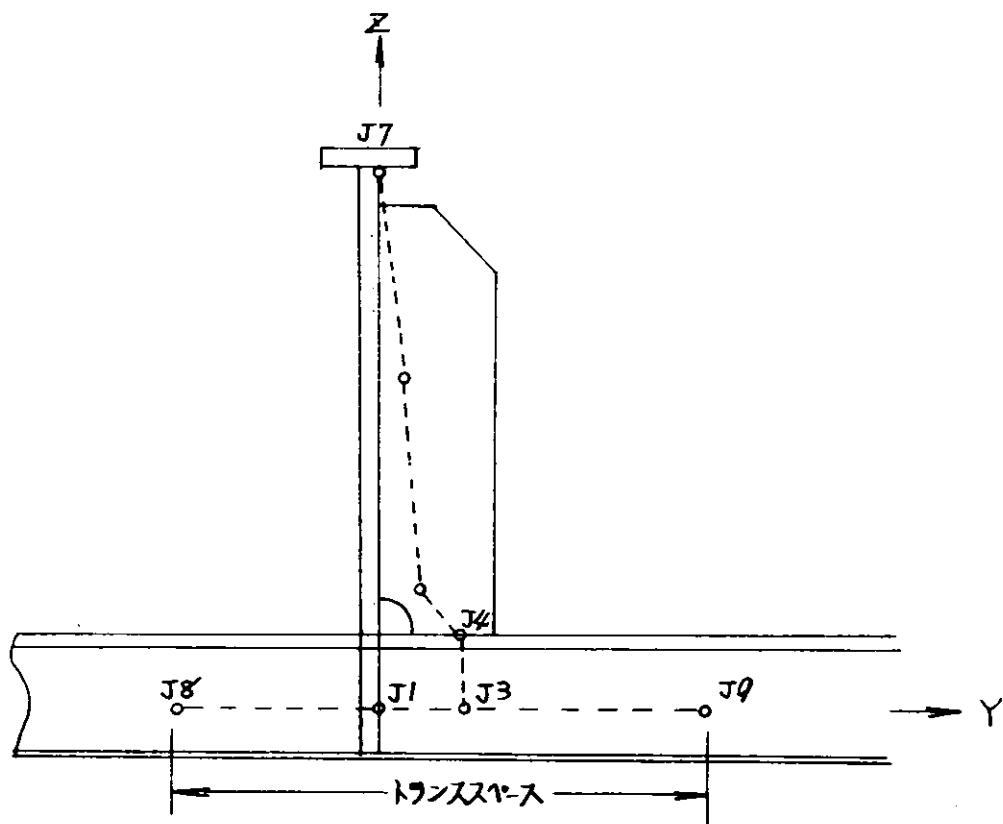


図 5.2.1 節点番号付番法

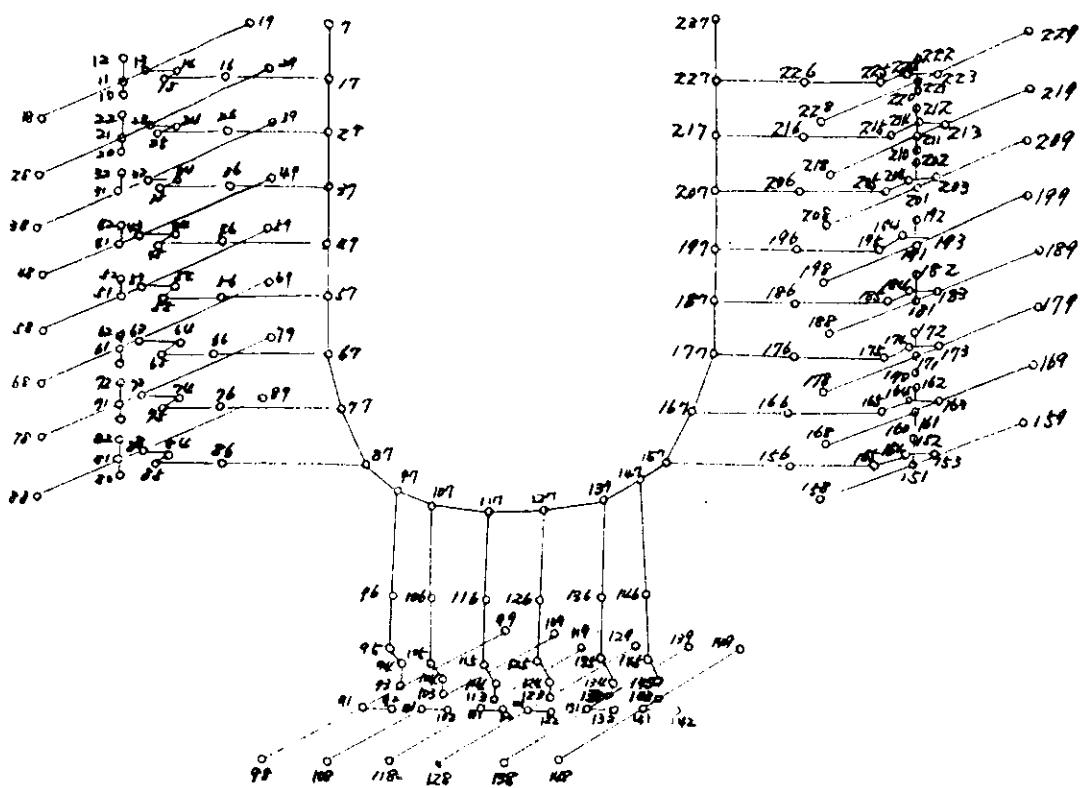


図 5.2.2 F 船節点番号図

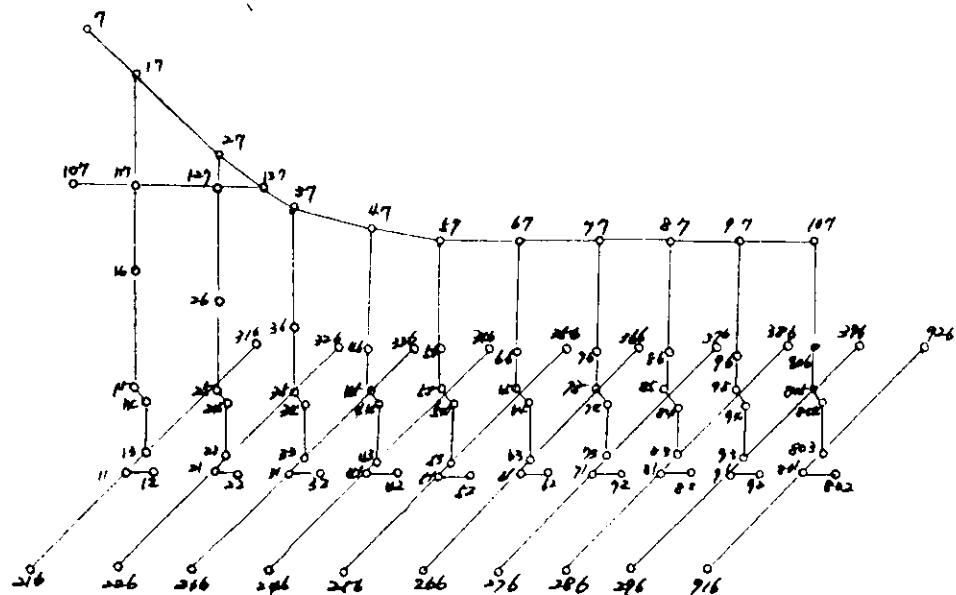


図 5.2.3 K 丸節点番号図

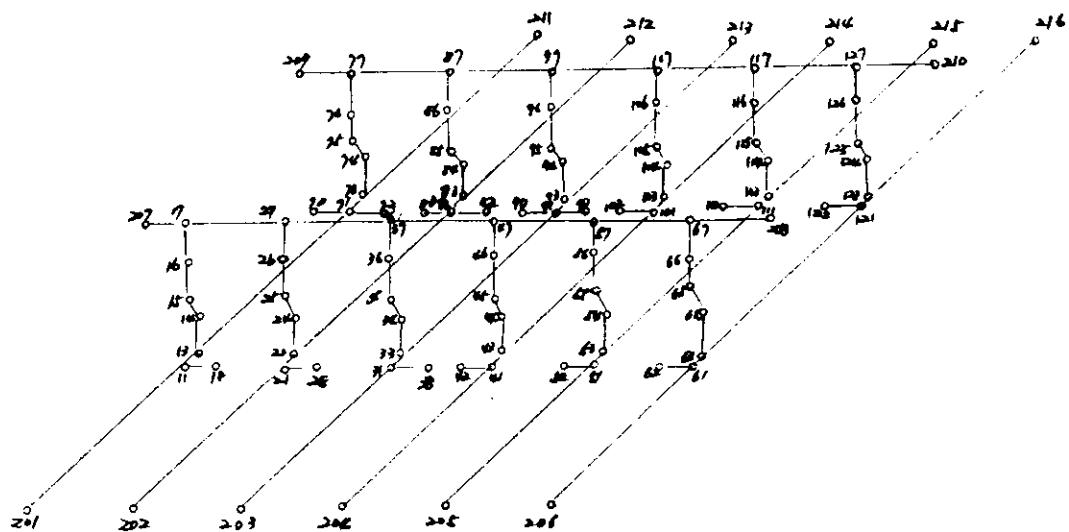


図 5.2.4 SR 120 節点番号図

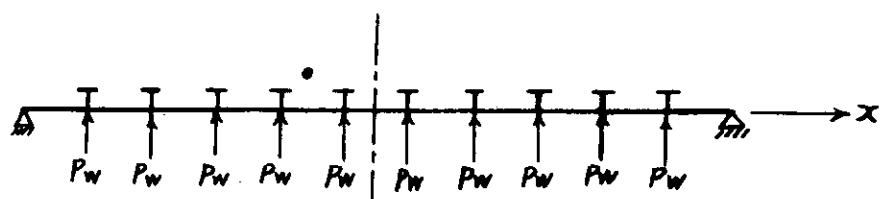


図 5.2.5 $P_w = W \times \text{Long l. sp.}$

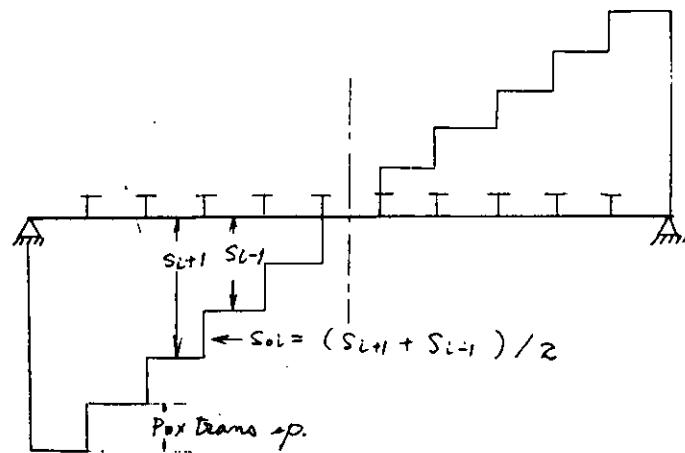
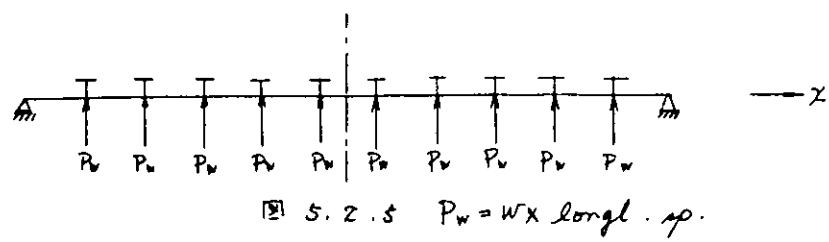


図 5.2.6

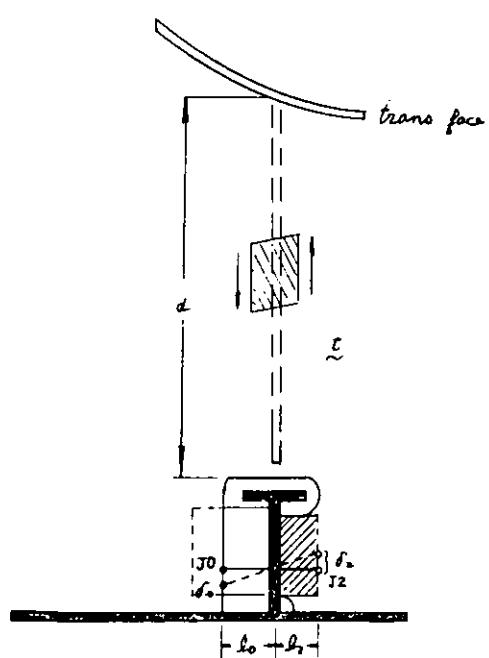


図 5.2.7

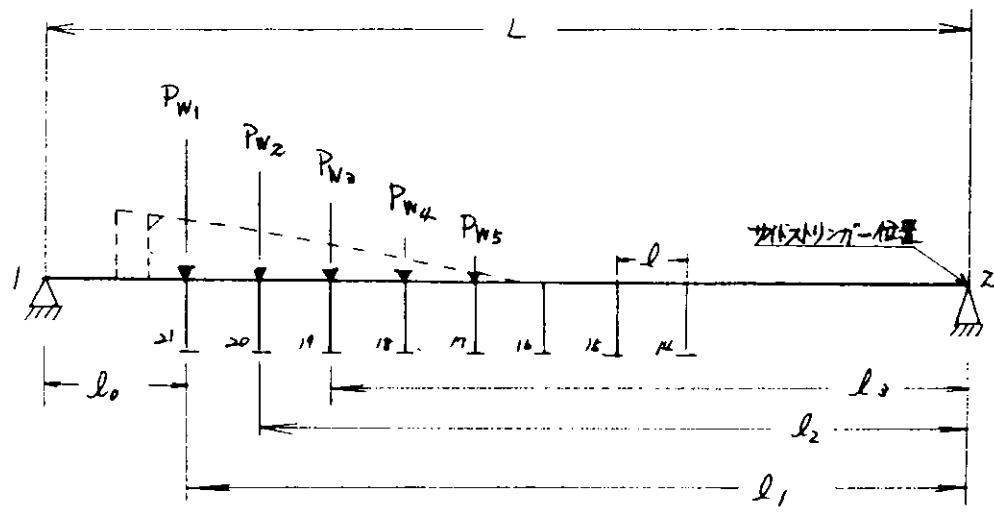


図 5.2.8

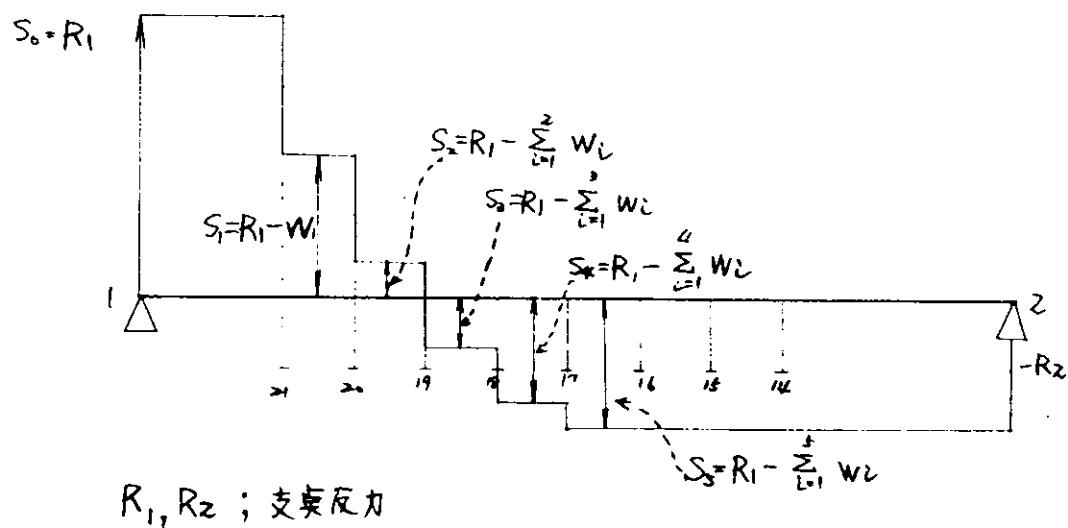


図 5.2.9

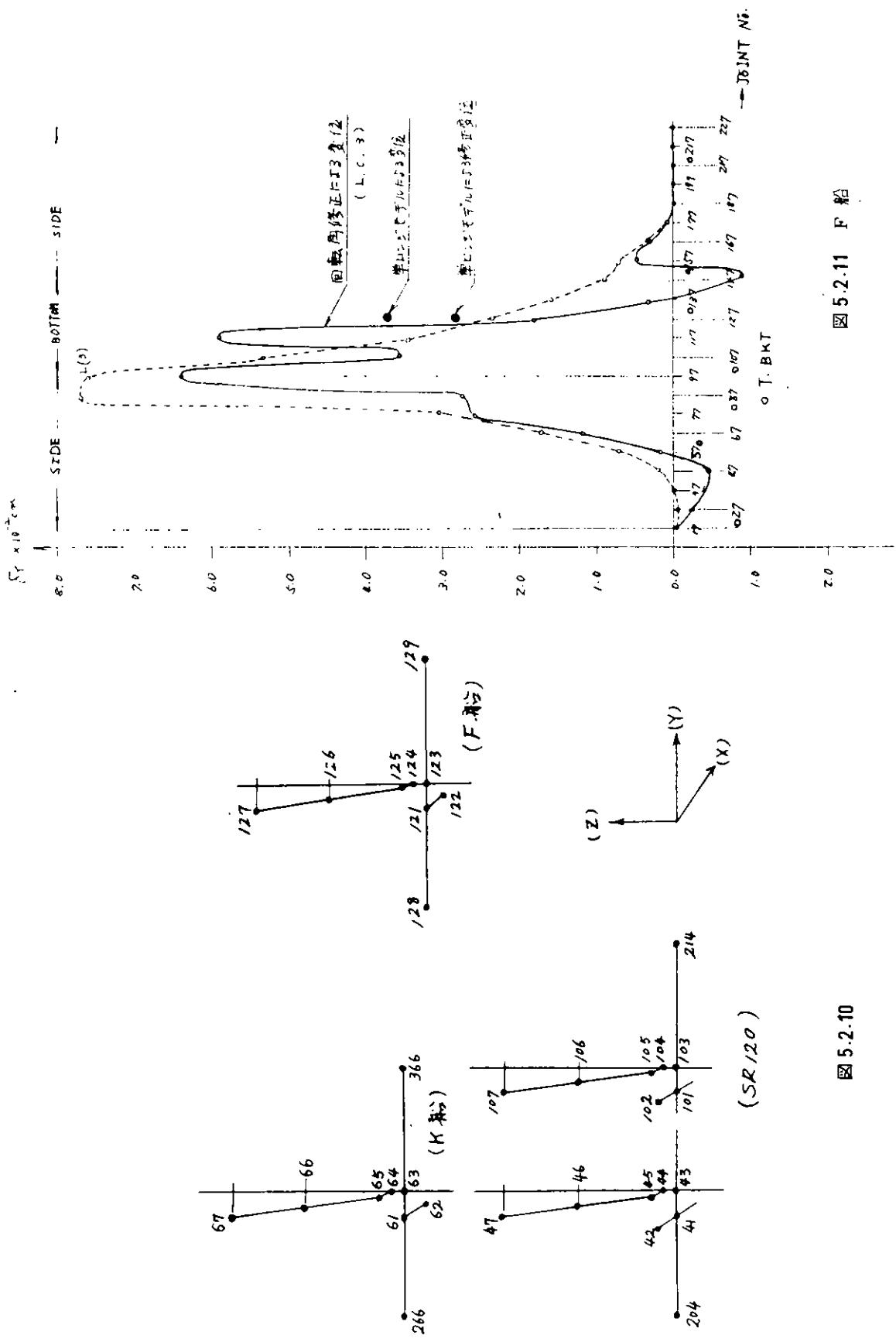


図 5.2.10

図 5.2.11 F 船

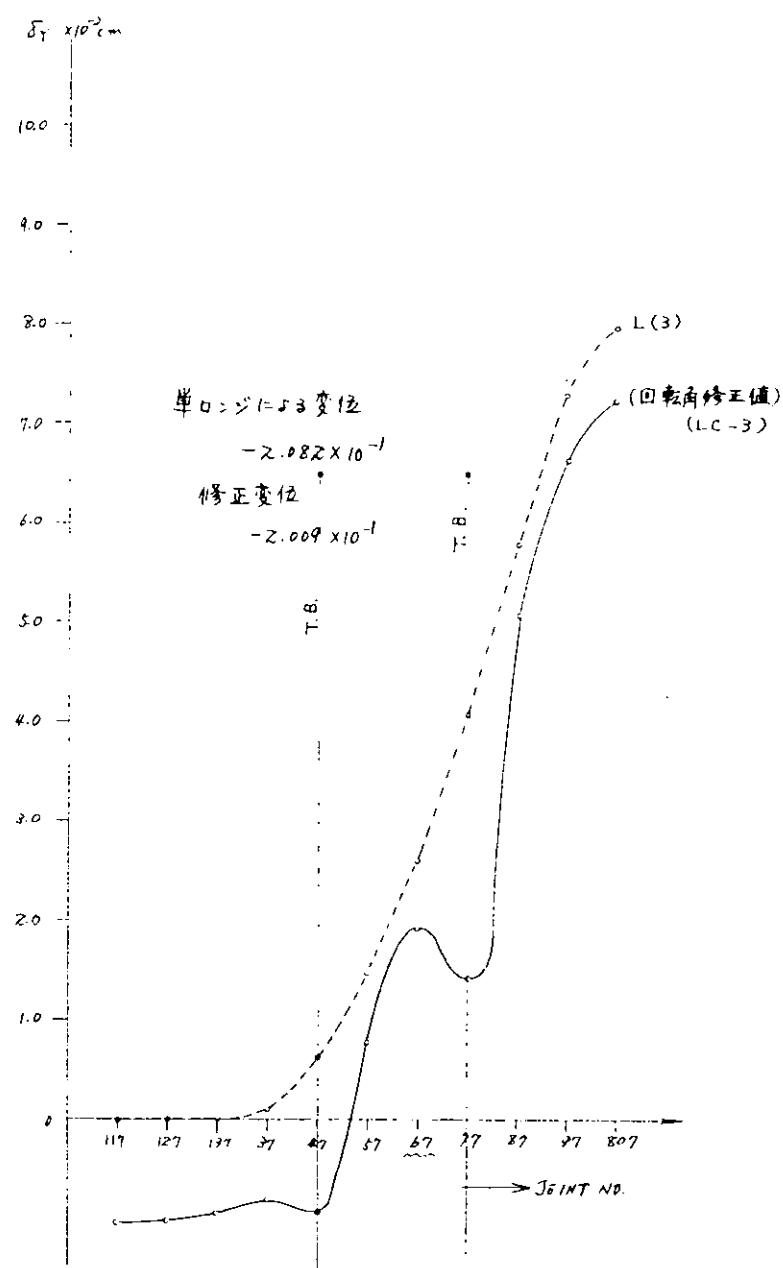


図 5.2.12 K丸モード図

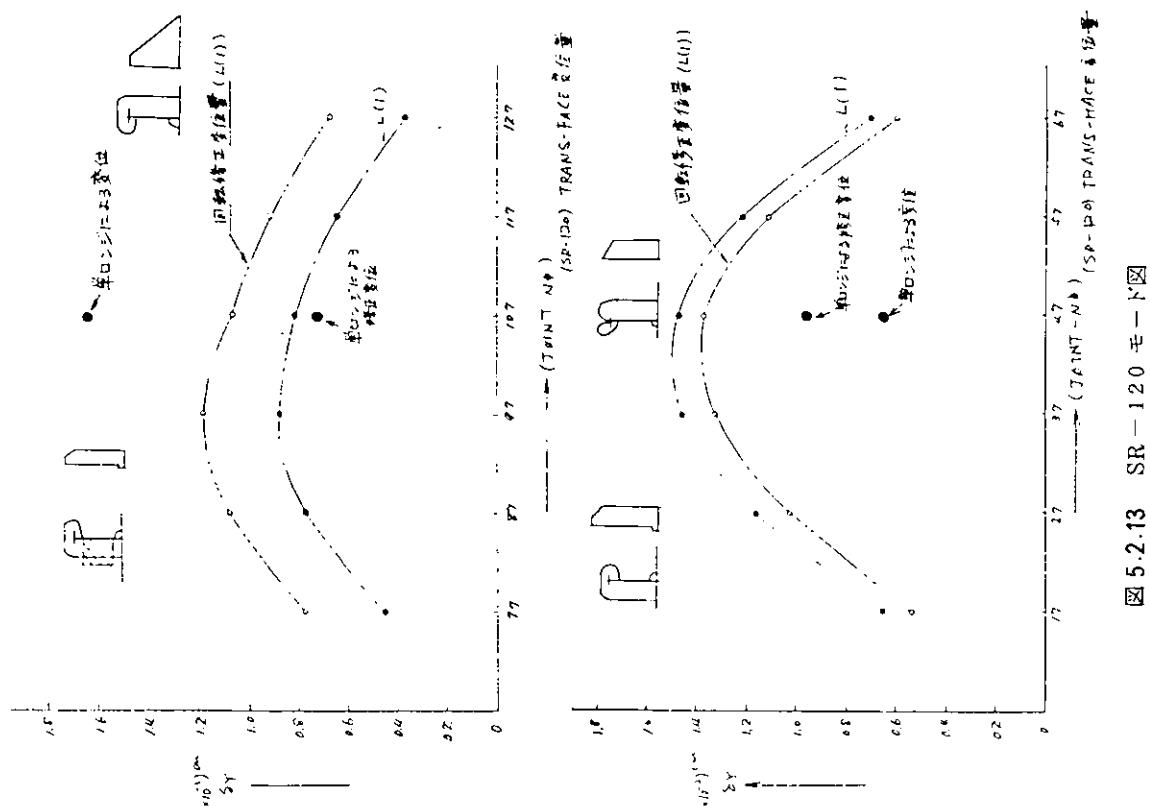


图 5.2.13 SR-120 拉力分布图

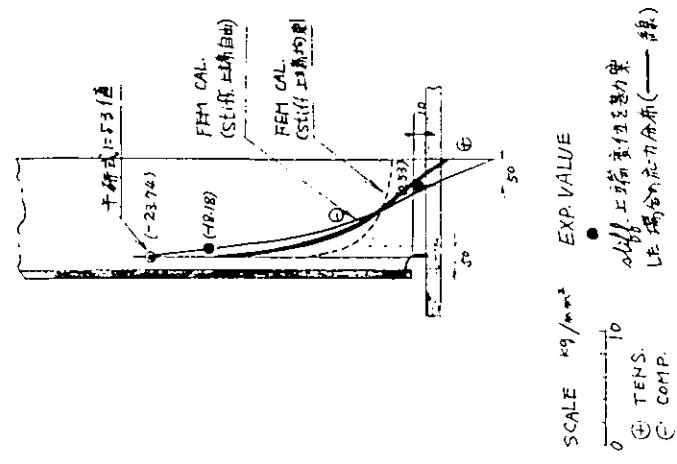


图 5.2.14 F 船修正压力分布图

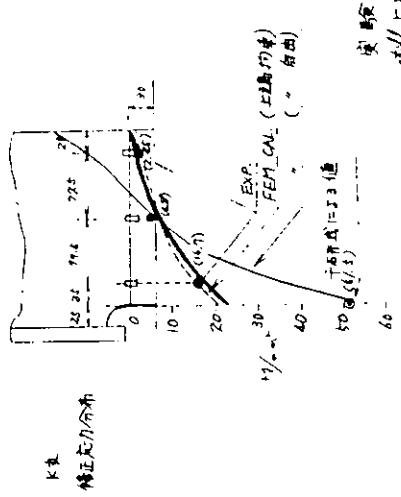


図 5.2.15

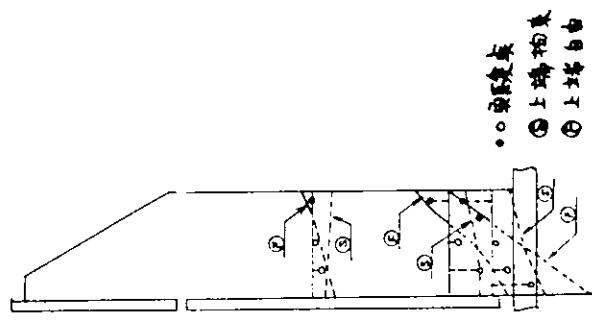


図 5.2.16 \mathcal{M}_3 Trans. 切欠を有する Stiffener の応力分布図

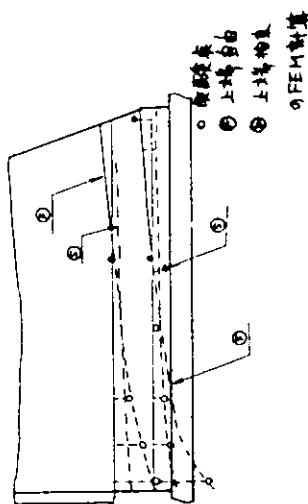


図 5.2.17 \mathcal{M}_4 Trans. Tripping bkt. の応力分布図

5.3 日立造船(株)技術研究所のモデル化方式による応力解析

5.3.1 まえがき

昭和45年度には、日立技研の方法により小型船底模型に単位外力が作用した場合の応力分布の解析を行なった。昭和46年度には、引続いて、小型船底模型の静的実験および小型模型疲労実験の応力解析を行ない、計測値と比較検討した。

5.3.2 応力解折

(1) 模型

本節における計算の対象とする模型は、表5.3.1に示す4種類である。

表 5.3.1 計算対象模型

型式名称	説明
A R	無切欠スチフナ、標準型スロット
B R	中切欠スチフナ、"
B R N	" " , フルカラー
B I	" , インパート型スロット

これら4種類の模型の計算上用いられた形状寸法を図5.3.1に示す。

ウェブの面材(158×4.5)、縦通材の面材(50×9)および外板(1300×6)は集中断面積として取り扱った。

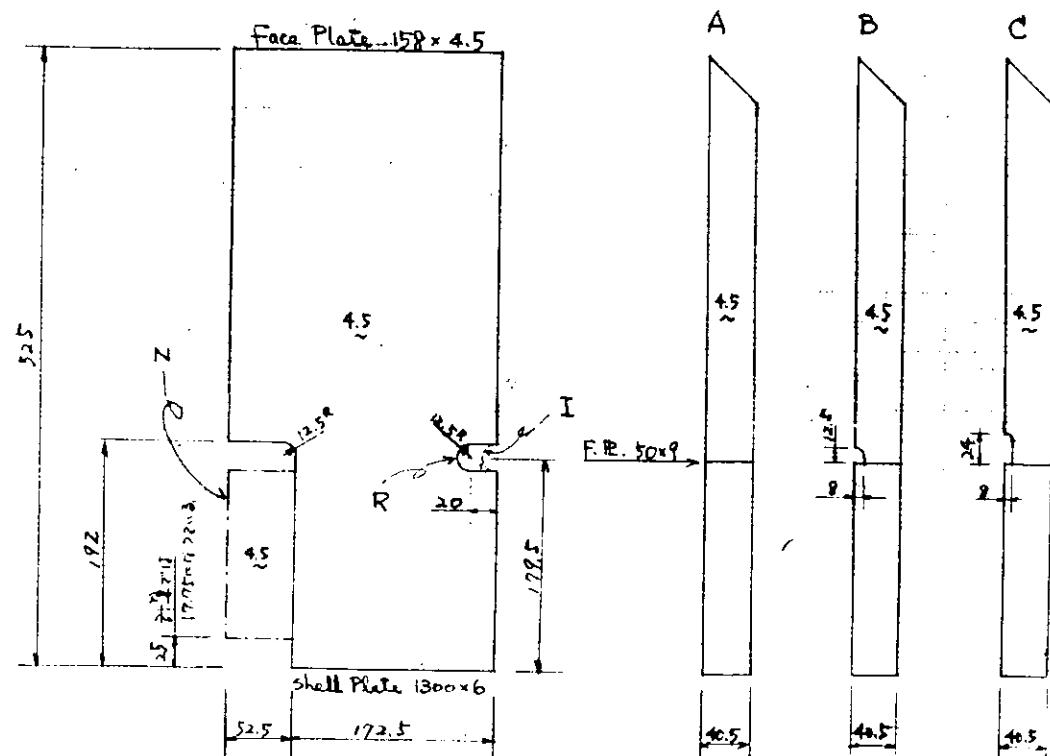


図 5.3.1 模型寸法

(2) 計算方法

計算の対象とするパネルをはさんで左右3縦通材間隔の連続3パネルのウエブ、これに取付けられているウエブ・スチフナおよびウエブ・スチフナの深さの範囲の縦通材からなる構造系を考え、これを図5.3.2に示す片持梁として考える。

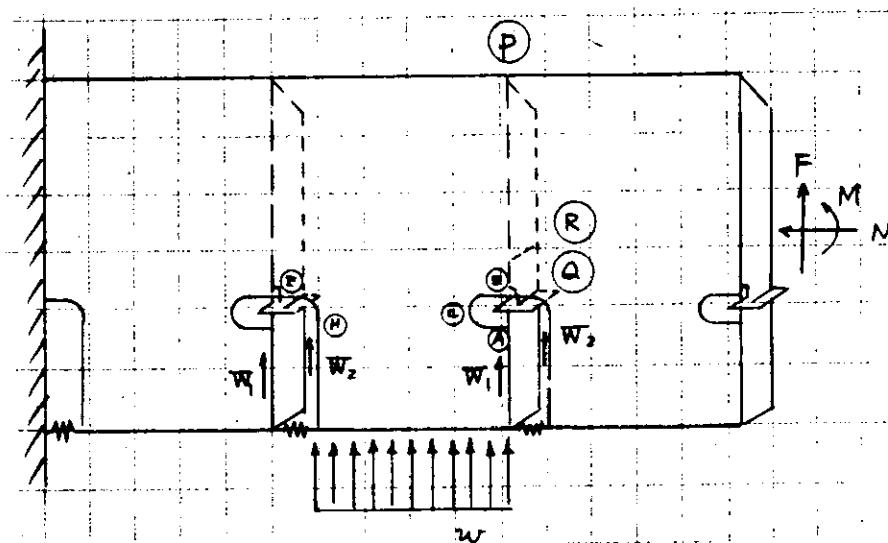


図5.3.2 計算の対象となる構造系

この構造に対して、外力として自由端に剪断力F、軸力Nおよび曲げモーメントMを、また縦通材から伝わる力として W_1 、 W_2 を、さらに外板からウエブに直接伝わる力として分布荷重Wを考える。

図5.3.2に示した3パネル、ウエブ・スチフナおよび縦通材からなる構造を有限要素に分割する。この分割は3つのパネルについて同一であり、その分割の状態を図5.3.3に示す。

B I型を除く他の3種類の模型についてはウエブの形状は同一であり、図5.3.3(1)に示す分割を共通に採用している。ただし、図5.3.3(1)のカラーブレートについては、実際にカラーブレートがあるのはB R N型のみであるので、その他のA R型、B R型についてはカラーブレートの板厚を零として計算を行なっている。

B I型のウエブの有限要素分割は図5.3.3(2)に示す通りであって、図5.3.3(1)の分割と相似である。

ウエブ・スチフナの分割は図5.3.3(1)に示し、特に切欠部の詳細は図5.3.3(3)に示すが、切欠のないA R型、中切欠のB R、B R N、B I型に対してそれぞれ異った分割をしている。

(3) 計算結果

(a) 小型船底模型静的試験

小型船底模型静的試験の応力解析は図5.3.4に示す横桁に水圧 0.75 kg/cm^2 が作用した場合の

中央部のスロットについて行なった。横桁は曲げに対して両端で固定であると見做して、桁に作用する剪断力 F 、曲げモーメント M および縦通材に作用する力 W_1 、 W_2 を計算した。
ただし、軸力 N は零とし、桁に作用する分布荷重 W の影響は W_1 および W_2 に含ませた。

応力解析結果を図 5.3.5～図 5.3.12 に示す。

(b) 小型模型疲労実験

小型模型疲労実験の応力解析は図 5.3.13 に示す桁に集中力 3 トンが作用した場合の中央部のスロットについて行なった。図 5.3.13 に示すように、両端単純支持桁に作用する曲げモーメント M 、剪断力 F および縦通材に作用する力 W_1 、 W_2 を計算した。

応力解析結果を図 5.3.14～図 5.3.19 に示す。

(4) 実験結果および考察

(a) 小型船底模型静的試験

小型船底模型静的試験は石川島播磨重工業㈱にて実施されたものであり、電気抵抗線歪計により計測された結果を図 5.3.5～図 5.3.12 に示す。

実測値と計算値は比較的良好く一致している。

(b) 小型模型疲労実験

小型模型疲労実験は東京大学、日本海事協会、三菱重工業および川崎重工業にて実施されたものであり、電気抵抗線歪計により計測された結果を図 5.3.14～図 5.3.19 に示す。

実測値と計算値は比較的良好く一致している。

图 5.3.3(2) 有限要素分割

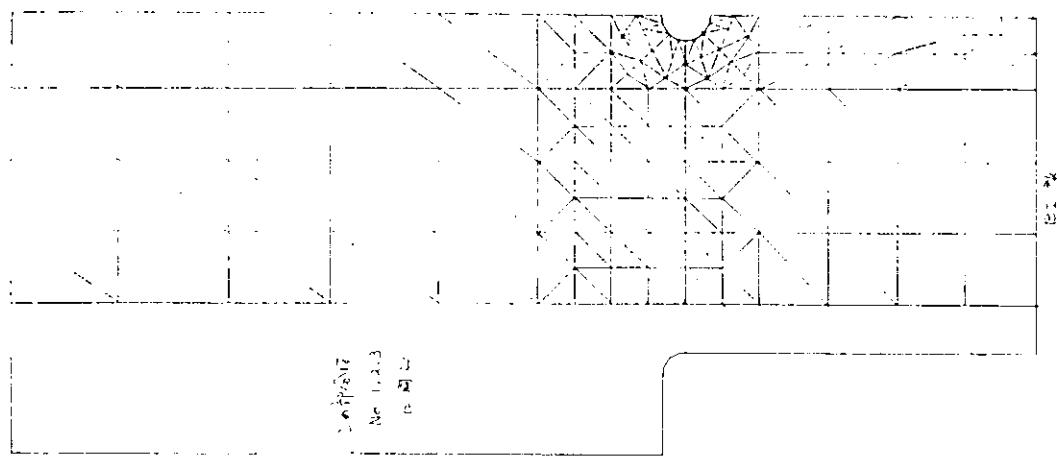
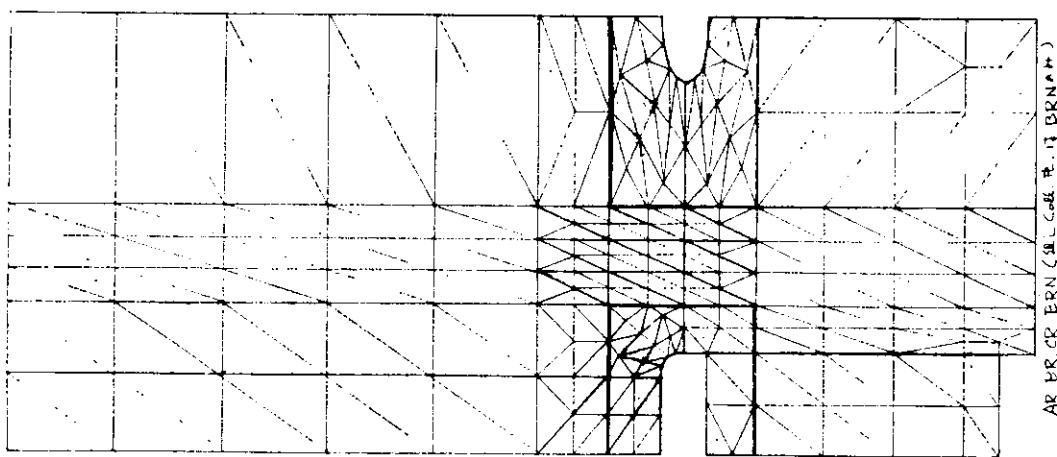


图 5.3.3(1) 有限要素分割



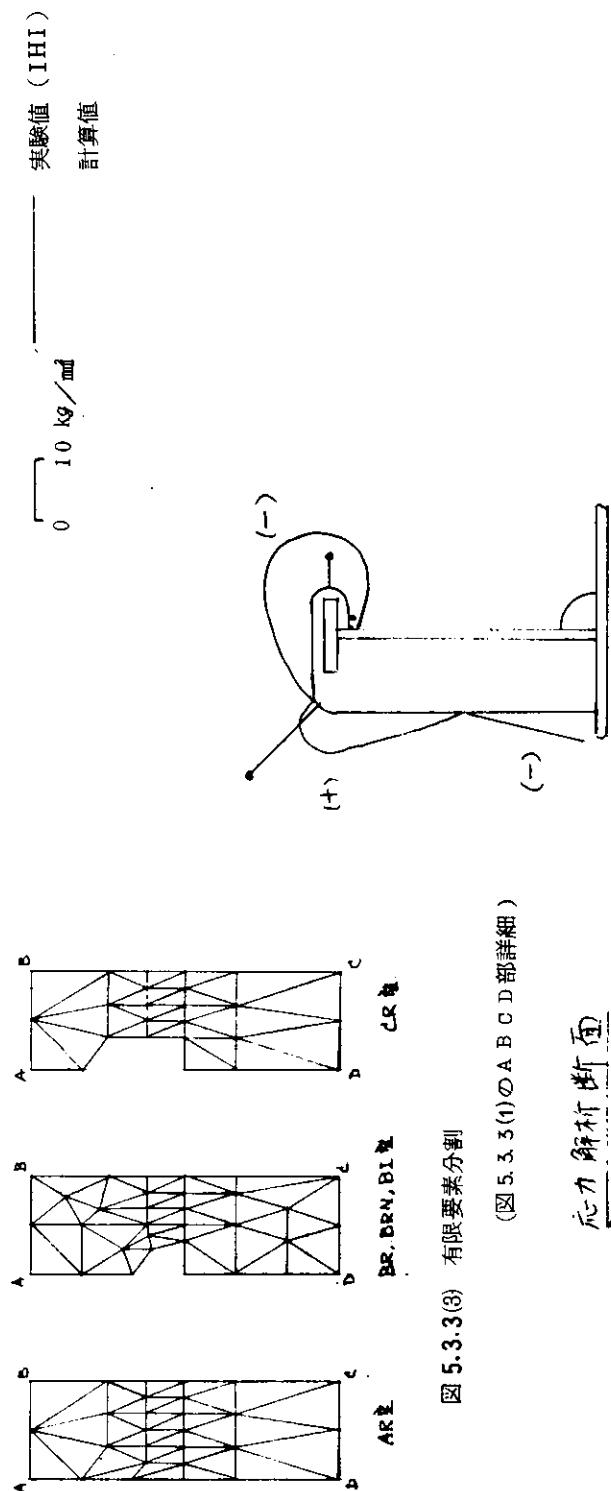


図 5.3.3(3) 有限要素分割
(図 5.3.3(1)○A B C D 部詳細)

応力解析断面

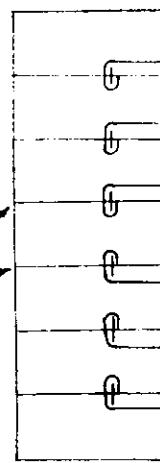


図 5.3.4 小型船底模型静的実験

図 5.3.5 A R 型

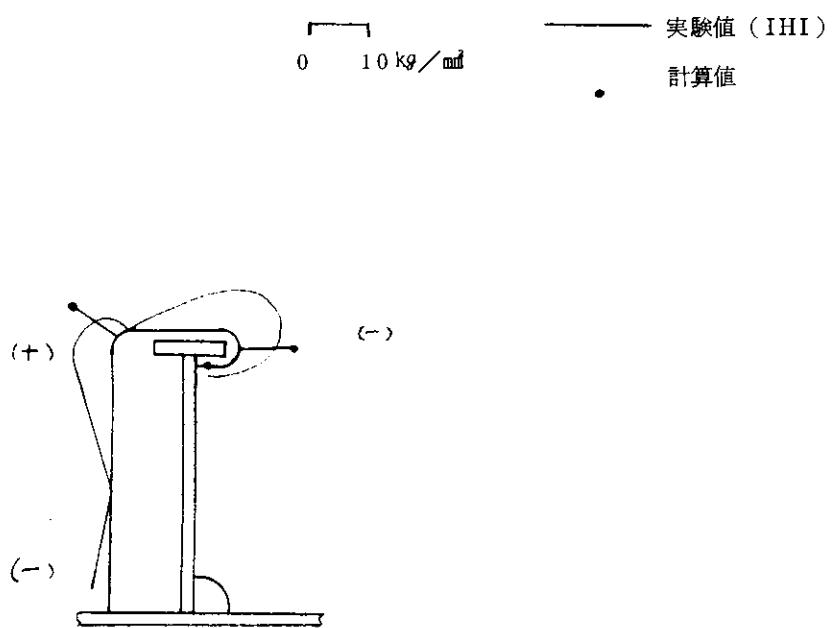


図 5.3.6 B R 型

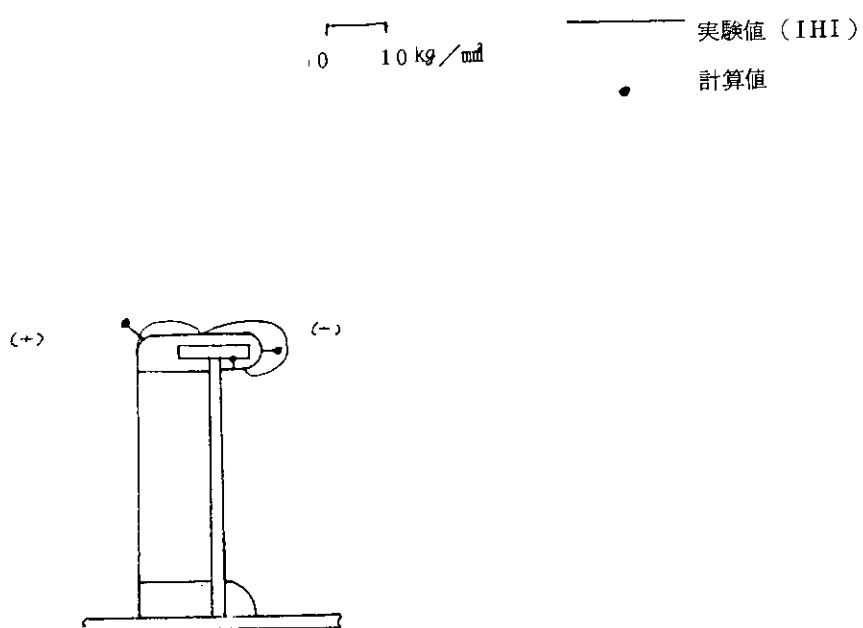


図 5.3.7 BRN 型

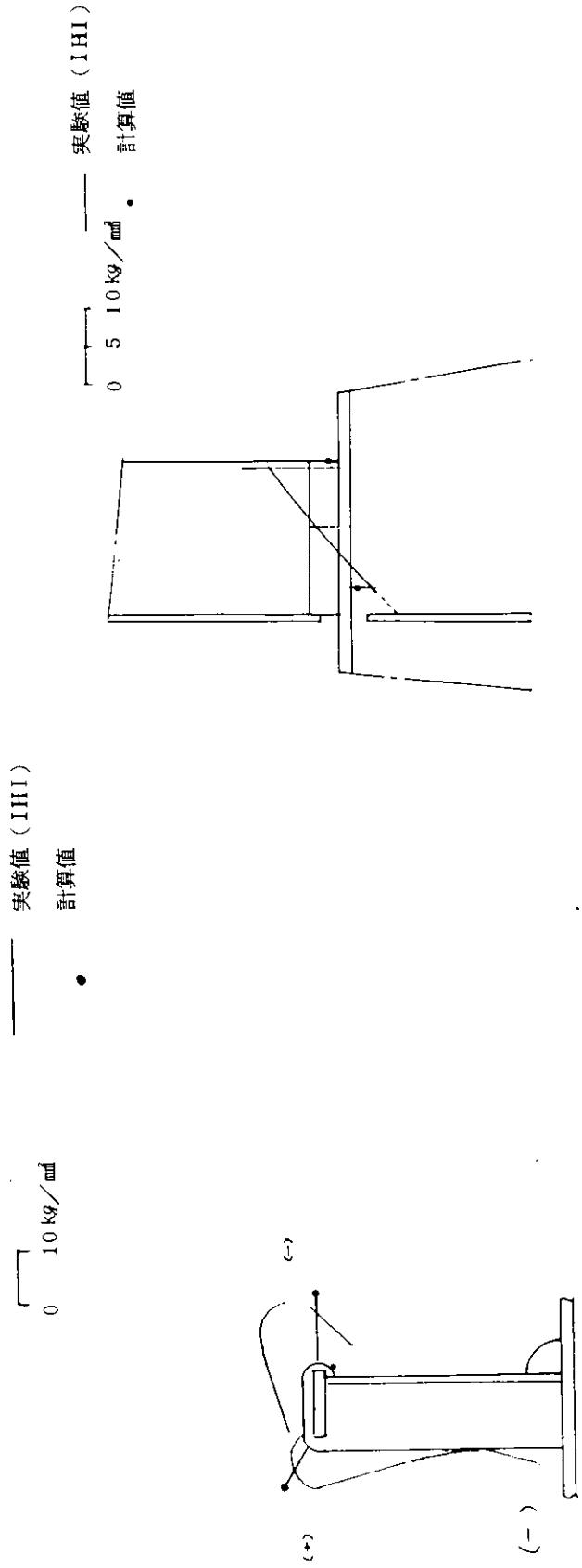


図 5.3.8 BI 型

図 5.3.9 AR 型

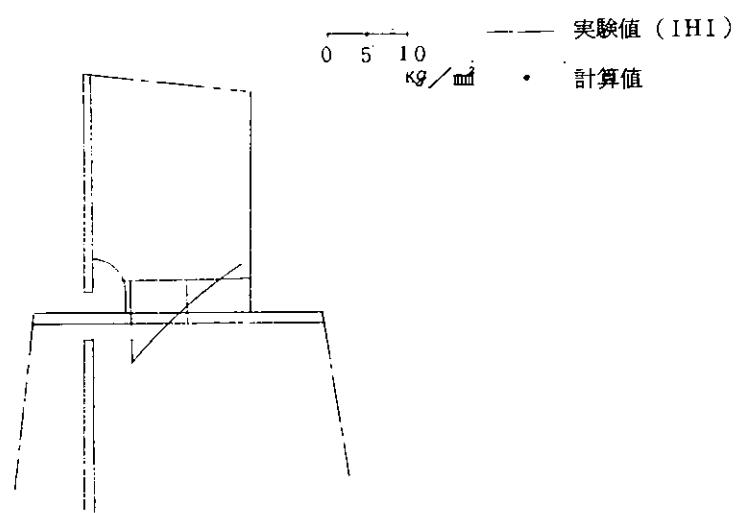


図 5.3.10 BR 型

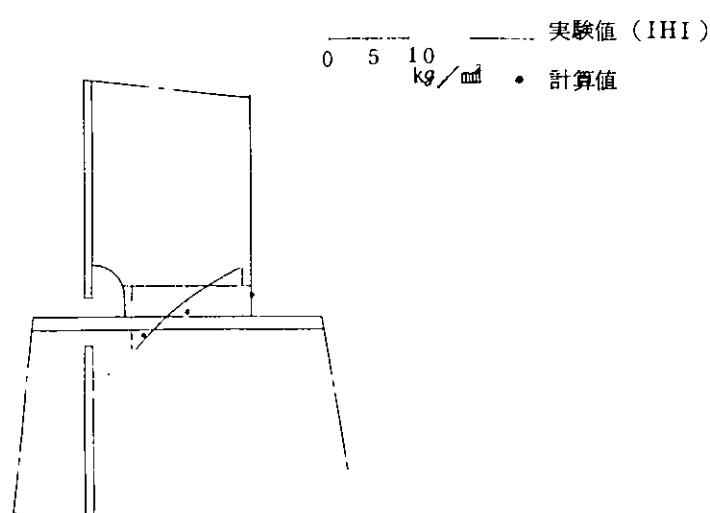


図 5.3.11 BRN 型

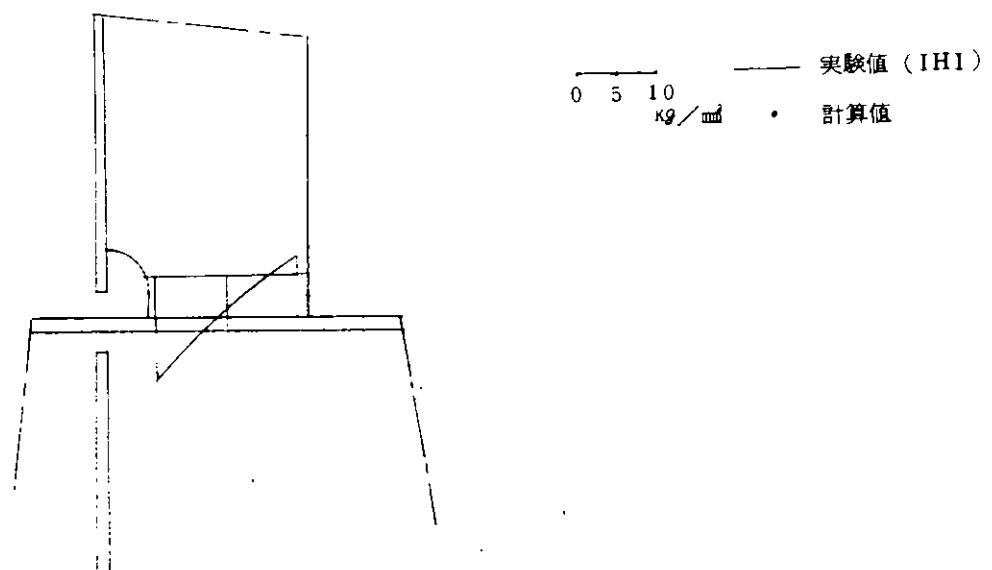


図5.3.12 BI型

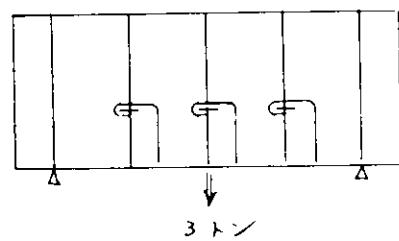


図5.3.13 小型模型疲労実験

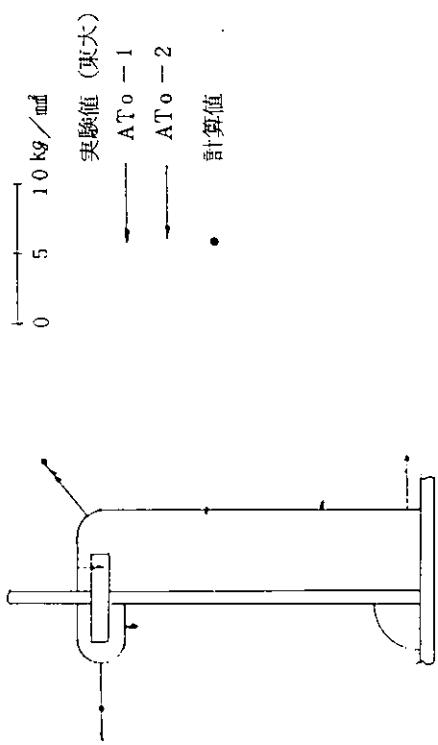


図 5.3.14 A.R 型

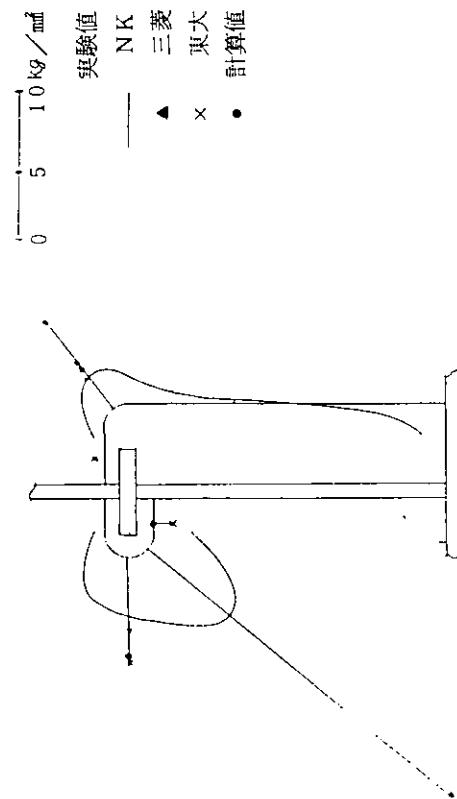


図 5.3.15 B.R 型

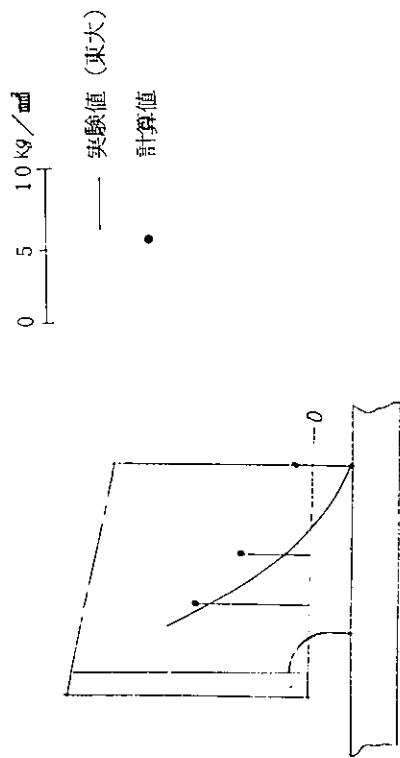


図 5.3.16 BRN 型

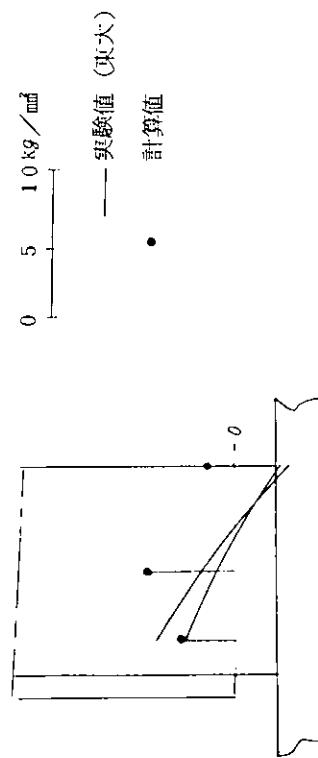


図 5.3.17 A.R 型

図 5.3.19 BRN型

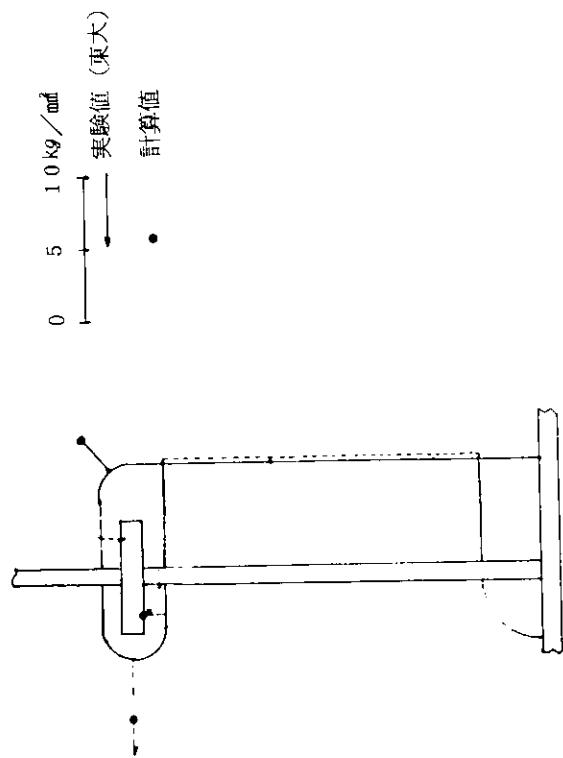


図 5.3.18 BR型

