

L型平板の応力集中について (第1報)

小川 壽*・足立 拓郎*

On the Stress Concentration of L-type Plate (1st Report)

Hisashi OGAWA・Takuro ADACHI

Abstract

In this treatise photoelastic experiment was conducted using L-type plate as a model of ordinary frame of a right angled member. Generally, the crossed part of member is strengthened by the Lib. However, the problems of stress concentration happen in the part of the Lib in designing, and so we clarified the relation between the size of Lib and vertex of crossed part of member.

1. ま え が き

一般構造物において、直角に部材が交差するような状態で使用されることは多い。特に部材の交差する部分は強度上からその部分に応力が集中して破損を招く原因となる。そのために部材の交差する部分に生ずる応力集中を防ぐためにリブ等の補強を行ったり、適当な曲率を有するすみ肉を付りつけてやらねばならない。従ってこれらのリブは溶接によって付けることにより一般にその剛性を増すことより応力の集中を防いでいる。しかしこれらのリブは設計上基準となるものではなく、対称な三角形リブを作って光弾性実験により、そのリブの大きさによるいろいろな応力集中の関係を求めて設計上一定の基準となるものを明らかにしている。その応力集中率を下げる方法として合形リブの大きさ、リブ内部の縞次数が零となる点、すなわち、剪断応力が零となる点を切り取ってもその集中度には影響を及ぼさぬと仮定して、部材の軽減を行なっている¹⁾²⁾³⁾。しかし、この研究はそれが対称的であり、実用上において使用されることが少ない。

本研究では、その実用性を考慮してL型平板を作り、光弾性実験により円形リブの場合の応力集中における点を明らかにした。これに近い研究として通勤電車等の窓わくにおける応力集中の問題を扱ったものがある。

本報では、円形リブを基準としてその大きさが応力集中に及ぼす影響について、また、設計上問題となる重量の軽減のことより、部材頂部では剪断応力が生じていないのでこれを切り落とすことにより、すみ肉部分の最大応力部分に影響を及ぼすことなく、頂部の切り落とす量

がどの程度まで可能かを明らかにした。すみ肉部周辺の状態についても頂部の切り落とす割合との関係についても縞次数による方法でその影響を詳しく調べた。

2. 実験方法

2.1 試験片

使用した材料の材質は市販のエポキシ樹脂を使用した。

厚さ 6 mm E : 330kg/mm²
引張強さ 8.94kg/mm²
光弾性感度 $\alpha=0.94\text{mm/kg at } \lambda=5461\text{\AA}$

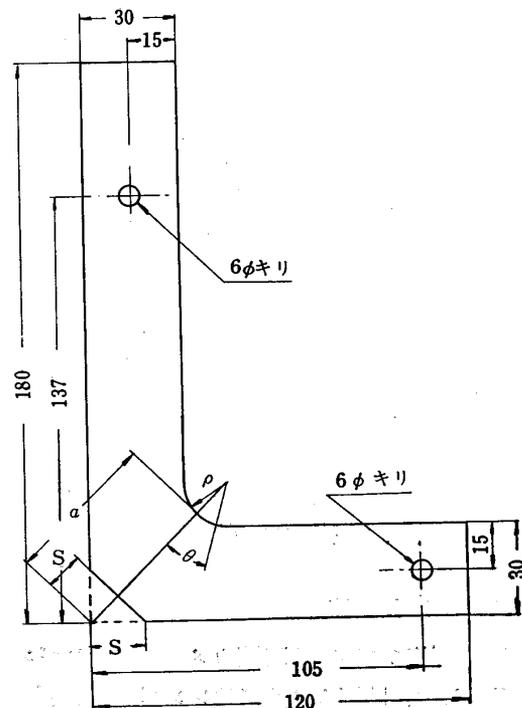


図1 試験片

表1 リブの曲率, 荷重, 応力集中率との関係

mm	2	4	6	8	20	30
	3.95	5.26	6.58	7.90	7.90	10.50
α_k	2.22	1.94	1.78	1.38	1.38	1.1

形状は図1に示す。すみ肉部の曲率半径, 荷重は表1に示してある。

2.2 実験方法

イ) 各々の試験片に対して一定荷重をかけ, すみ肉部の最大応力部分, 縞次数及び, 固定アームの内側フリンジの縞次数を求める。

ロ) 最大縞次数部分は, Tardy 法によって読みアームの縞次数はトレーシングペーパーに写し取り後で比例により求める。

ハ) 切り落とした量は ρ の小さい部分は2mm毎, ρ の大きい部分は4~5mm毎にした。

2.3 荷重装置

図2に示すような装置で, 固定アームを固定し自由アーム側はピンで止めた。頂部の切り落とす毎にその位置がずれる恐れもあり固定アーム側は特に注意を要する。

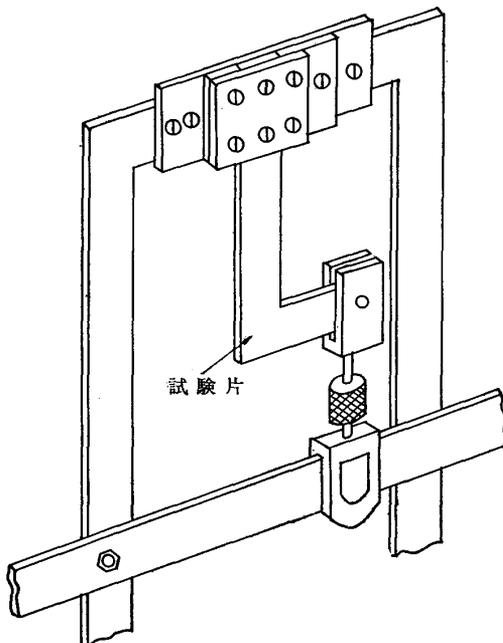


図2 荷重装置

2.4 写真撮影

等色線の撮影については暗箱カメラ, アサヒペンタックスを使用した。暗箱カメラにはレンズを入れずに写し

た。感光紙としては, フジグラフプロジェクションペーパーを使った。普通は乾板でネガを撮りそれを焼きつけるのであるが, 偏光板を 90° ずらすことにより明暗が逆になるので暗視野, 明視野どちらも直接撮ることができる。ただし, この場合には実際に肉眼で見た縞とは別の縞が写る。これは水銀灯から出る紫外線が強く感光するためと思われる。

従ってフィルタを入れ5461Åの緑色光だけを通せばこのようなことは起こらない。しかし, この場合光が弱く, また, プロジェクションペーパーは色感度が悪いので乾板で直接撮ることができない。フィルタなしで写した写真の等色線縞次数と, 肉眼で読んだ縞次数との比は, 比較してみた結果約1.37倍となった。

3. 実験結果と考察

3.1 すみ肉部の最大応力集中

応力集中率は通常呼称応力として理論応力を取り, 応力集中部の縞次数より求めた最大応力との比となる。しかしこの実験の場合, すみ肉部の応力を算出するのは容易でないし, また, 最大応力の位置がCut offによって移動するので理論応力を用いることはやめて, 一定モーメントのかかる固定アームの内フリンジ応力を基礎応力にとることとした。固定アーム部においては, 法線方向の主応力は零となるので縞次数は $\sigma = N/\alpha \cdot t$ より応力に比例して現われるから, α_k は,

$$\alpha_k = \frac{\text{すみ肉部の最大応力}}{\text{固定アーム内縁の縞次数}}$$

で表わすことにする。

a) すみ肉部の半径と応力集中率との関係

すみ肉部の曲率半径 ρ の変化による応力集中率の値を表1に示す。経験的にも明きらかではあるが, 曲率半径が大きくなれば α_k は小さくなる。 $\rho=30$ mmでは1に近くなり ρ の限度としてはこの付近になる。

d) 頂部の切り取り量と応力集中率。

頂部の切り取り量の応力集中率に及ぼす影響を図3・1に示す。図3・2は ρ の大小により断面積が変化し, それによる集中率の影響を消すために切り取り, 量を交差部の斜め断面上の寸法で表わし, それを切り取らない場合の断面寸法で割ってある。すなわち, 元の断面積に対する断面積の減小割合である。図3からある値まで頂部を落としていっても集中率に変化を及ぼしてないことがわかる。 ρ が2mmから8mmまでは集中率の変化を生ずるSの量は14~17mmの付近でなるが, ρ が20mm,

30mmにおいてはその量は大きくなる。ρ=30mmでは約35mmまで落としてもその集中率に変化を及ぼさない。例えばρ=2mmの材料に対して、ρ=4mmの材料ではその頂部の落とす量は約倍の量まで落としても集中率は変わらない。すなわち、設計上材料の軽量化、cost downにおいては非常に役に立つと思われる。

図7、図8の等色線写真より切り落とした辺はある値まで一定の応力が生じており、二つの頂部はやはり無応力状態になる。切り落とす量を大きくしていくと辺のフリッジ応力分布は中心が大きくなって単純梁のモーメント分布に似てくる。ρを大きくし頂部を落としていくと、等色線は半径に沿って平行に流れるようになってくる。

c) 頂部の切り取りによる応力集中点の遷移

ρ=8, 20, 30mmについて頂部の切り取りによって、その最大応力の位置が中心からどのくらいずれるかを調べた結果、ρが8mmでは切り取り量に関係なくその中心に最大位置が存在している。

ρ=20mmでは徐々に中心に近づいていく。ρ=30mmではSが35mm付近で急に中心の方へ最大位置が近づく。これはちょうどα_kの増加する位置と同じである。この図から、はっきりと判断はできないが頂部の切り取りにおけるα_kの増加と応力集点の遷移についてもなんらかの関係がありそうに思われる。

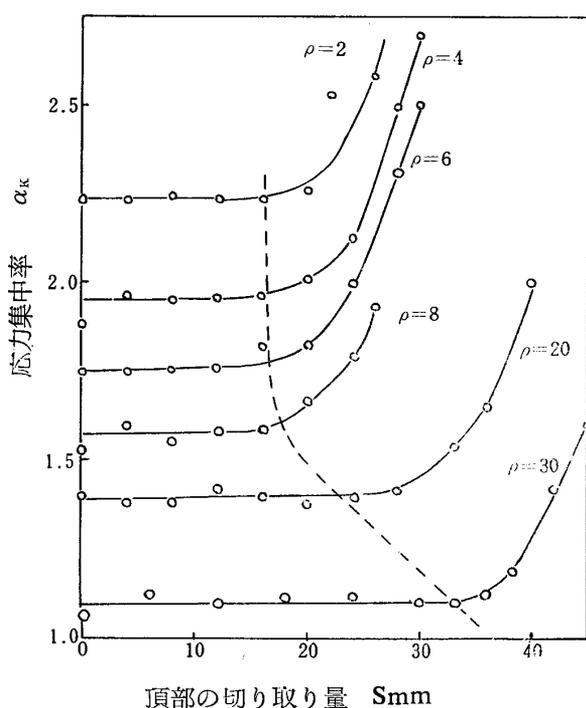


図3・1 頂部切り取りにより各曲率を有すリップの最大応力部の応力集中率

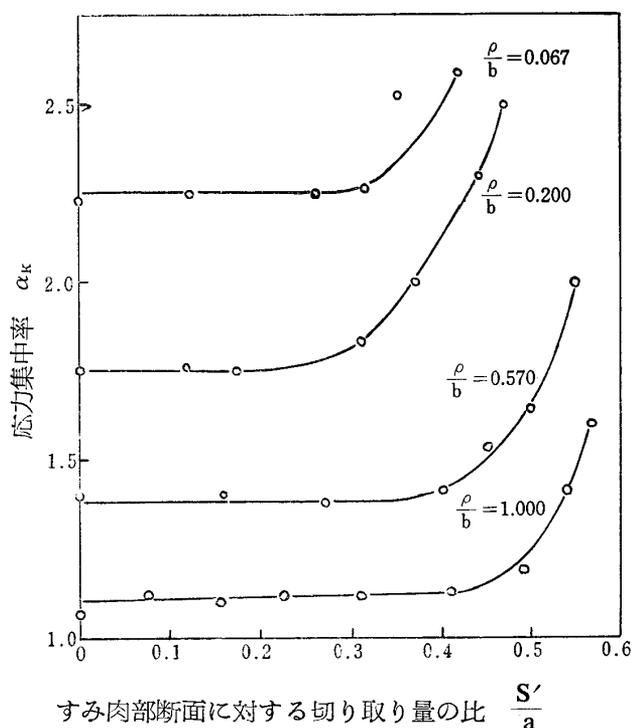


図3・2

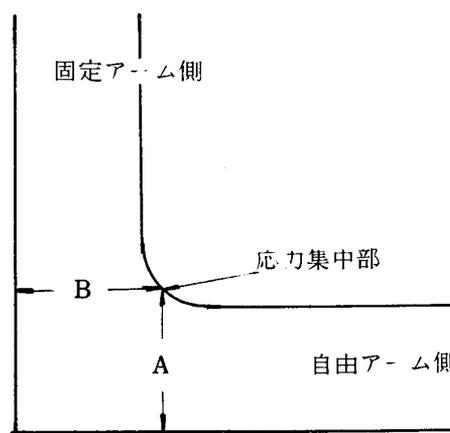


図4

3.2 固定アーム部の周辺応力

等色線写真に見られるように固定アームには平行な縞が表われ、一定の曲げモーメントがかかっていることを示している。また、自由アーム側には自由端に向かって広がっており、曲げモーメントはすみ肉部に向かって増加していると思われる。また、すみ肉部には縞が密集しており、応力が集中しているのがわかる。

偏心荷重として引張が固定アームに作用すると考えると、応力は次のように表わせる。

$$\sigma = \frac{P}{A} + \frac{M}{I} y$$

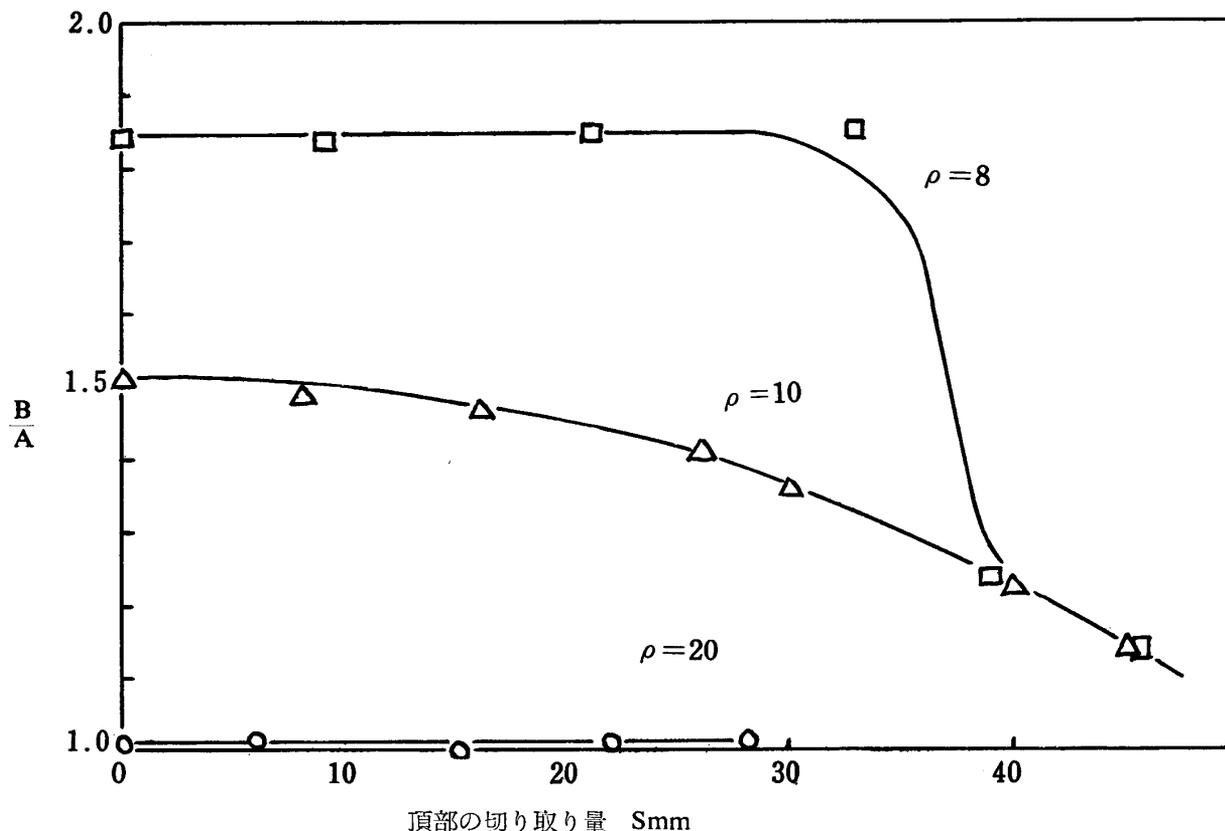


図5 頂部の切り取りによる最大応力集中部の位置の遷移

モーメントは固定アーム部で一定であるので、 $M=L_1P$ とすると、内縁、外縁の応力は

$$\sigma_1' = \frac{P}{A} + \frac{PL_1}{I} y_1 \quad \sigma_2' = \frac{P}{A} - \frac{PL_1}{I} y_2$$

A : 固定アーム部断面積

I : 断面二次モーメント

L_1 : 自由アーム部端から固定アーム部の中立軸までの距離

y_1 y_2 : 中立軸より周辺までの距離

等色線の縞次数より応力は

$$\sigma = N/\alpha \cdot t$$

α : 光弾性感度 0.94mm/kg

それぞれを比較した結果を表2に示す。

応力の計算値と実験値を比較してみると、だいたい似た値を示す。内縁では ρ が 8mm まではだいたい合っているが ρ が 20mm 以上は少し値がずれている。外縁は内縁に比べて値のずれは大きい。

3.3 周辺の応力分布

図6は各周辺での接線方向の応力が頂部の切り取りに及ぼす影響を示している。 $S=0$ の場合、 $\rho=6\text{mm}$ では固定アーム側 30° 自由アーム側 15° まではその数にはさ程変

表2 固定アーム部周辺の計算値と実験値の比較

ρ mm	σ_1' kg/mm ²	σ_1 kg/mm ²	σ_2'	σ_2
2	0.438	0.444	0.375	0.390
4	0.580	0.586	0.500	0.523
6	0.725	0.727	0.625	0.638
8	0.871	0.869	0.751	0.776
20	0.871	0.834	0.751	0.752
30	1.157	1.080	0.998	0.976

化が見られない。 $\rho=10\text{mm}$ においては 15° 付近で応力が集中している。 $\rho=20\text{mm}$ ではそれが 30° 付近となっている。全体に自由アーム側は縞次数が一様に落ちている。固定アーム側 60° 付近で交差しているのは、縞次数が固定アーム側に高く出ることと、縞次数の集中がそのことと関係していると思われる。

$\rho=20\text{mm}$ では、 $\rho=6, 10\text{mm}$ に比べ応力分布が丸みを程し、応力の集中が中心に集まることを示し、それと共に応力が増大する傾向であることがわかる。

$\rho=10\text{mm}$ はすでに集中部では縞次数が高くなり、中

心より外側部分の縞次数がさ程中部の増加に対して増えていない。S=30mmでは、S=20mmの場合固定アーム

側30°付近であった応力集中部も中心に近づいている。それと同時に応力も増大を示している。

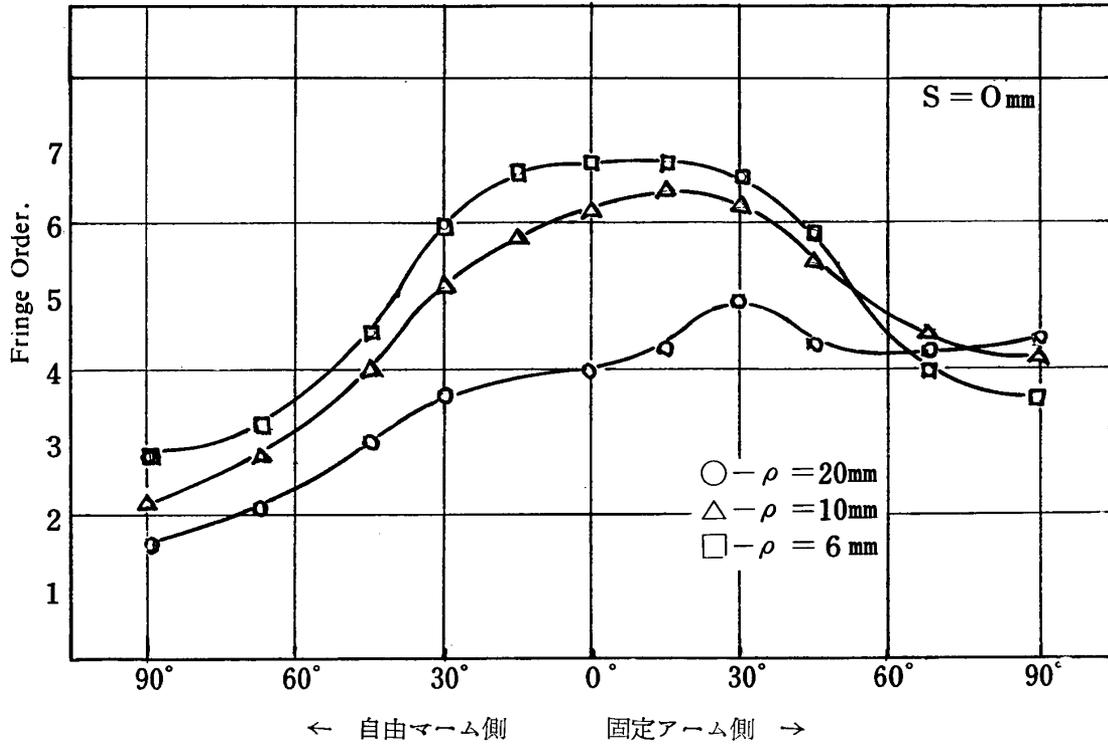


図 6・1 すみ肉部周辺の展開位置と応力分布

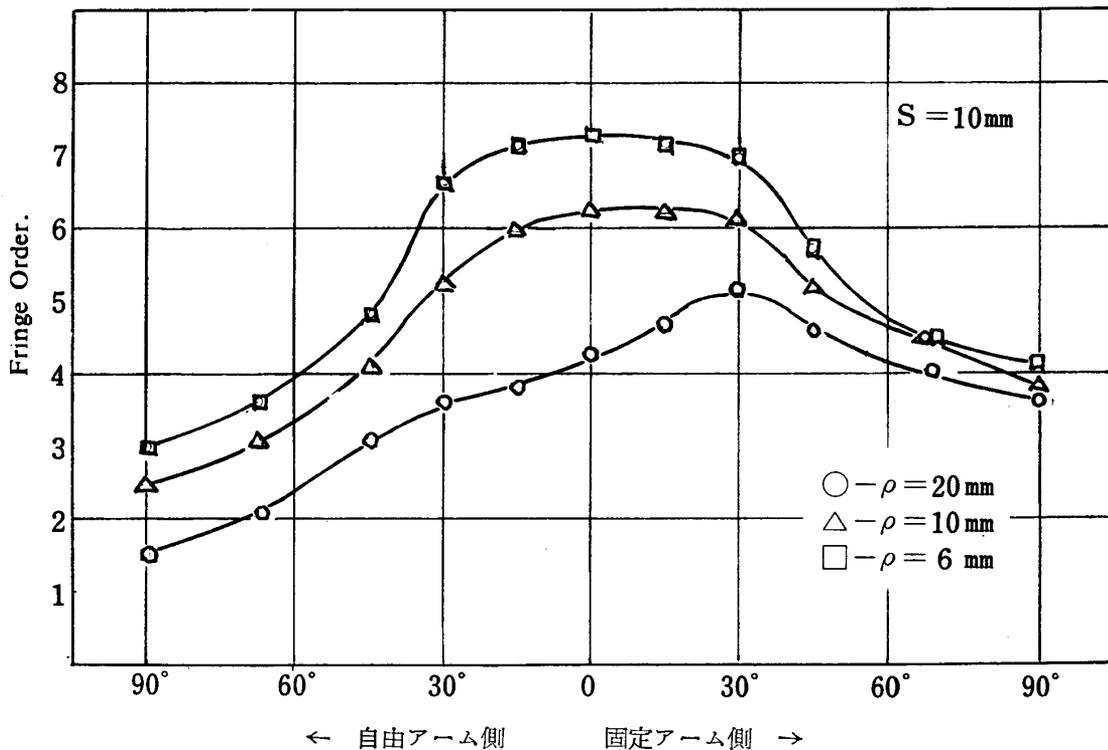


図 6・2 すみ肉部周辺の展開位置と応力分布

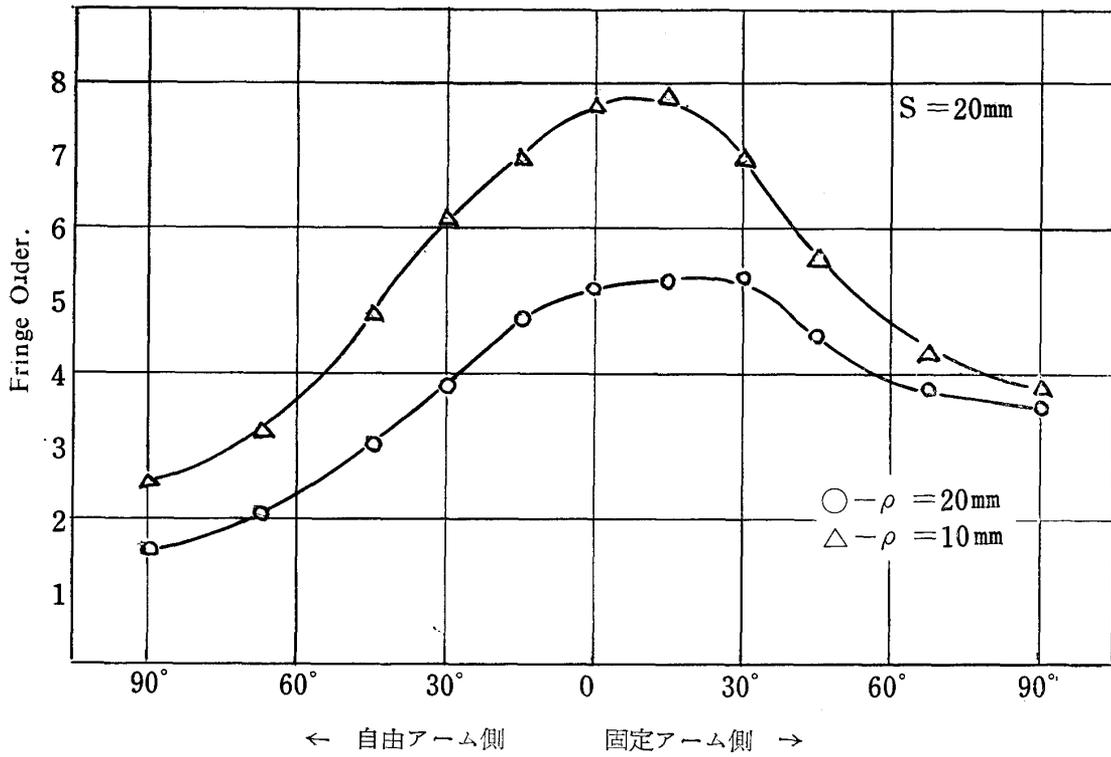


図 6.3 すみ肉部周辺の展開位置と応力の分布

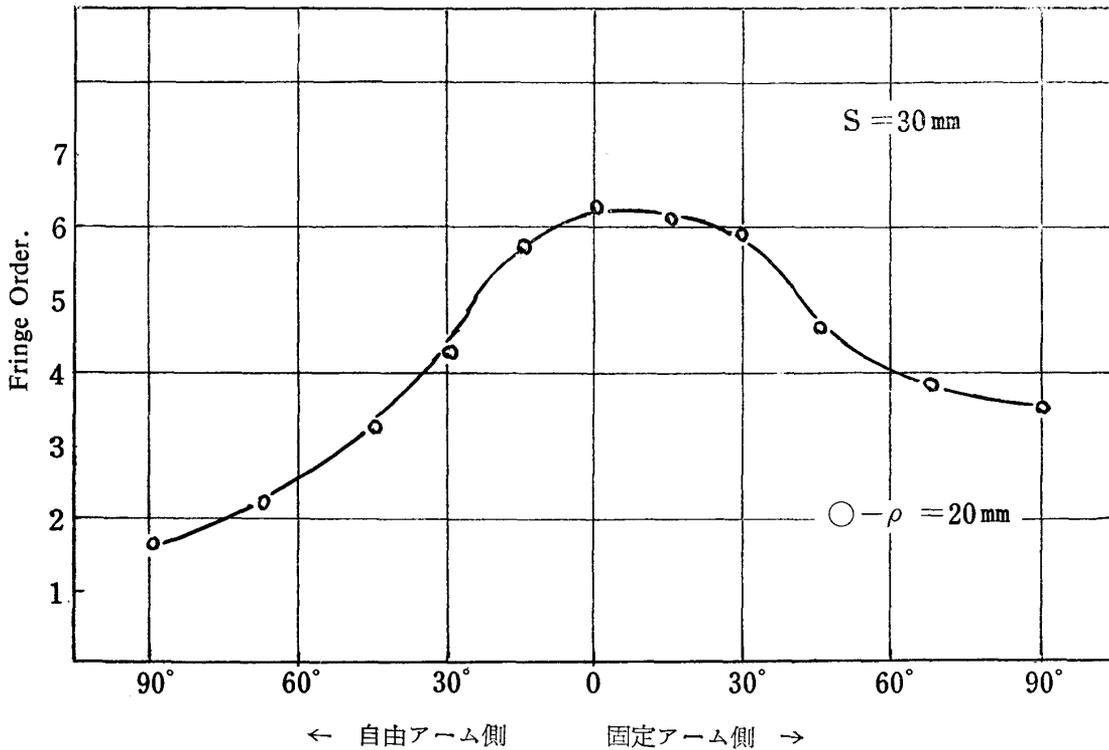


図 6.4 すみ肉部周辺の展開位置と応力分布

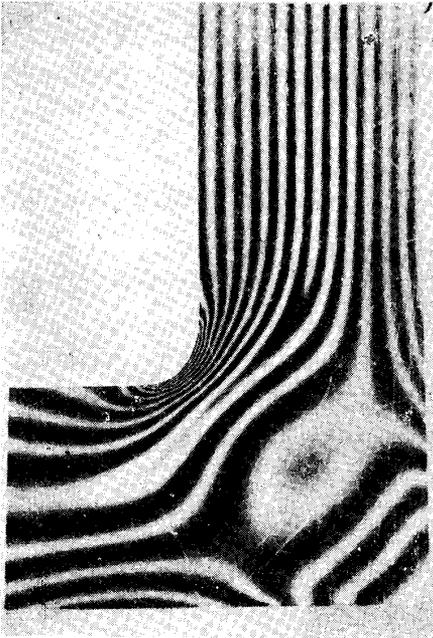


図 7・1 $\rho = 8 \text{ mm}$ に於ける等色線写真
 $S = 0 \text{ mm}$

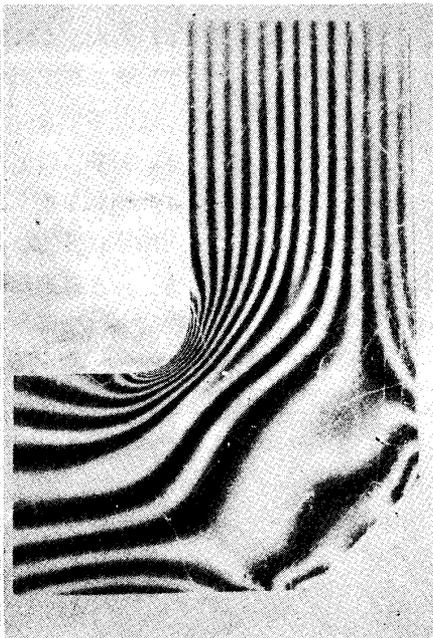


図 7・2 $S = 15 \text{ mm}$

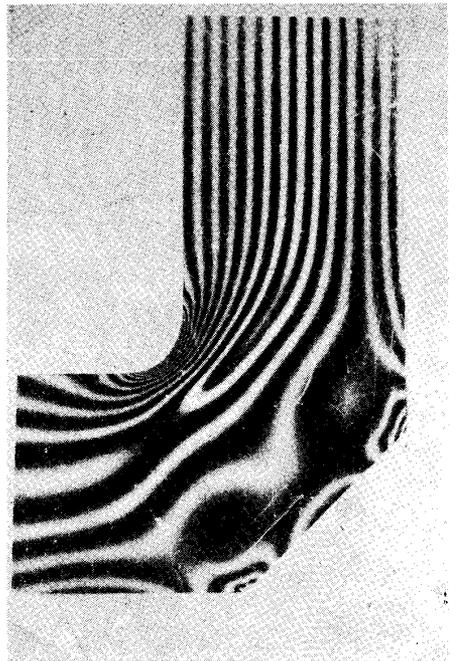


図 7・3 $S = 22 \text{ mm}$

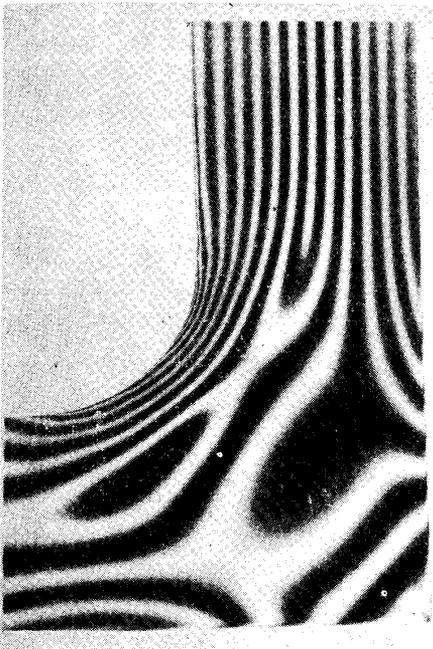


図 8・1 $\rho = 20 \text{ mm}$ に於ける等色線写真
 $S = 0 \text{ mm}$

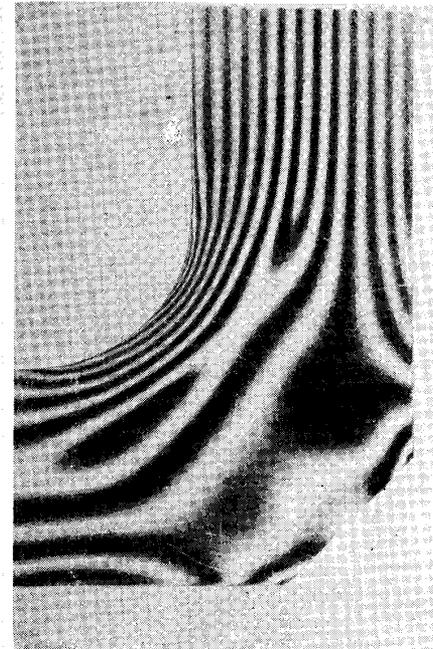


図 8.2 $S = 16 \text{ mm}$

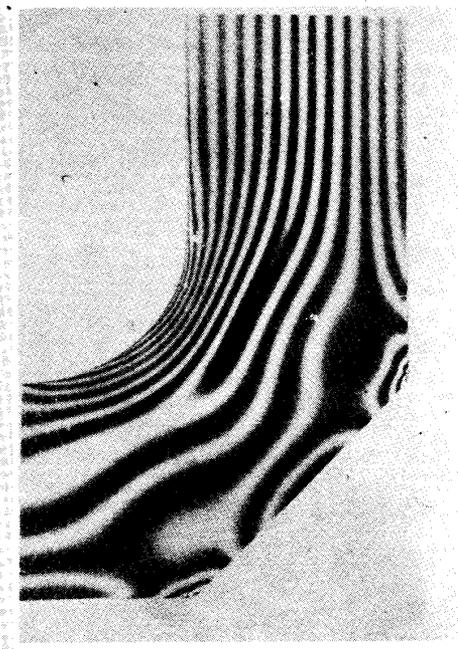


図 8・3 $S = 30 \text{ mm}$

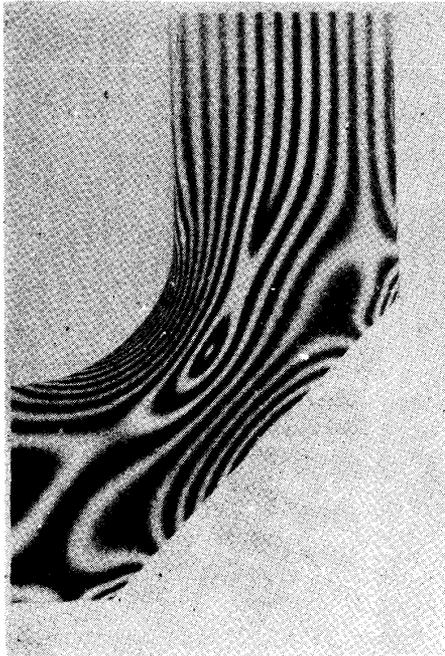


図8・4 S=40mm

4. む す び

本実験において周辺の応力に及ぼす影響について調べ

た結果次のことが明らかになった。

- 1) 最大応力はすみ肉部の固定アーム側に発生する。
- 2) すみ肉部の曲率半径 ρ が大きくなれば、応力集中度率は低下する。
- 3) 頂部には応力は生じない。
- 4) 頂部を切り落としていっても、ある値までは応力集中度率は変化しない。
- 5) 最大応力位置は頂部を切り落とすと、固定アーム側より中央に移動する。

最後に本実験に対して熱心に協力された、本校機械工学科四期生、五期生の卒研学生、及び有益なる助言をいただいた本校助教授望月太喜雄氏に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1) 西岡邦夫, 久光脩文: リブ補強に関する研究 (第1報) 機械学会論文集, 27—139, P985, (1961)
- 2) 西岡邦夫, 久光脩文: リブ補強に関する研究 (第2報), 機械学会論文集, 29—200, P657, (1963)
- 3) 伊藤, 川原, 増田, 戸塚: 通勤電車窓すみ肉部の光弾性実験による応力集中の研究, 機械学会論文集, 32—244, P1793, (1966)

(昭和46年5月1日受理)