

L型平板の応力集中について

第3報 リブ補強による応力集中率緩和

小川 壽*・足立 拓郎*

On the Stress Concentration of L-type Plate (3rd Report)

The Mitigation of the Rate of Stress Concentration under
the Rib Reinforcement

Hisashi OGAWA, Takuro ADACHI

Abstract

We made Photoelastic experiment on the mitigation of the rate of stress concentration under the Lib reinforcement of L-type structure.

Two purposes are thought as to the Lib reinforcement; One is the suppression of transformation following the increase of rigidity, the other is the improvement of the stress concentration at intensity following the mitigation of the rate of concentration.

This study is aimed chiefly at the latter, and we experimented by separating Lib into three types --- an isosceles triangle Lib, a scalene triangle Lib, and a trapezoidal Lib.

1. ま え が き

一般に構造物に力が加わると部材が交差する部分に集中応力が発生することが知られている。この応力集中を防ぐ方法の一つにリブ補強がある。著者らはすでに交差部の曲率と頂部の切り落としとの関係について述べたが¹⁾²⁾、本研究では補強リブの二つの目的、すなわち、1) 剛性増加による変形量の抑制、2) 集中応力の軽減による強度的改善のうち後者に主眼を置いた。

普通、工作上の問題と前者とから三角形リブを取り付けることが多いが、本報ではすみ肉部の曲率半径および剛性比、部材の長さ比などによりどのように変化するかを光弾性実験によって測定し、まとめてみた。

2. 実 験 方 法

2.1 試 験 片

使用した試験片を図1に示す。

材料：エポキシ樹脂

厚さ：6.2mm

ヤング率：341kg/mm²

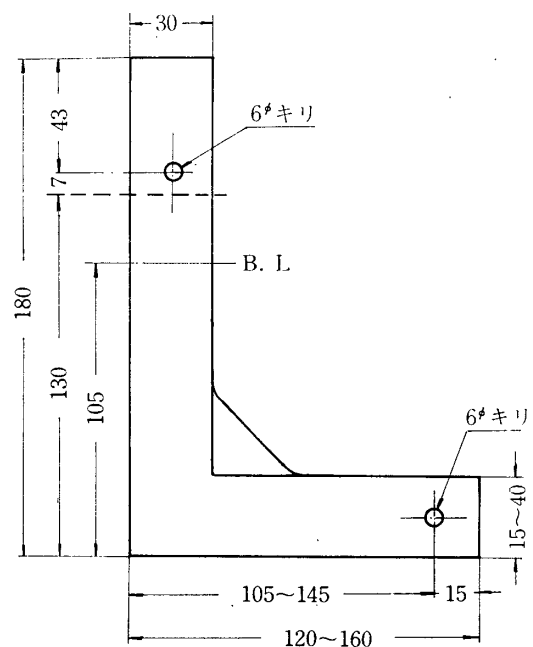


図1 試 験 片

* 宇部工業高等専門学校機械工学科

引張強さ：9.22kg/mm²

光弾性感度： $\alpha=9.27\text{mm/kg}$ ： $\lambda=5461\text{\AA}$

2.2 実験方法

(1) 部材の一端を固定し、他端をピンで止め荷重を加えた。荷重範囲は2～5kg、したがって自由端には6～15kgの荷重が加わる。

(2) 各々の試験片に3種の荷重を加え、固定部材の内側リブすみ肉部および所定点の縞次数を Tardy 補整法によって読み、応力集中率は平均をとった。

(3) リブの応力集中に影響を及ぼす因子として、1) リブすみ肉部の曲率半径、2) リブの大きさ、3) 三角形リブの形状、4) 台形リブの高さ、取付角、5) 自由部材の幅(剛性)、6) 自由部材の長さ、などの変化を試みた。

3. 実験結果および考察

本研究では補強リブの形状を、(1) 二等辺三角形、(2) 不等辺三角形、(3) 台形リブ、の三つに大別した。考察の基準として最も一般的で比較に適する二等辺三角形リブを中心に一端固定L型平板の応力集中率の推移の特性を述べる。なお三角形リブを補強すると集中応力が2箇所(両すみ肉部)に生じる。固定部材側のすみ肉部の応力集中率を α_{k2} 、自由部材側を α_{k1} とする。

3.1 固定部材側の応力状態

1報で述べたように、一端固定L型構造物においては図2のような曲げモーメントが中心軸に対して生ずる。自由部材における最大曲げモーメントは一般に次式で与えられる。

$$M = M_0 = W(L_1 - h_2/2)$$

図3のように曲げモーメントと引張りによる応力との和が基準応力として表わされる。すなわち、内縁における応力は

$$\sigma_0 = \frac{W}{h_2 t} + \frac{\sigma W(L_1 - h_2/2)}{h_2^2 t}$$

となる。したがって、集中点の応力は $\sigma = \alpha_k \sigma_0$ である。また、引張応力と曲げ応力との比率は実際に数値を入れて求めてみると、本実験の試験片では $\sigma_b = 18\sigma_t$ となる。曲げ応力の方が引張応力よりもはるかに大きいわけである。このことから内側縁の応力が外側縁の応力よりも19/17だけ大きい事がわかり、また、無応力点が外側の方へ寄る事もうなづける。

3.2 二等辺三角形リブ

(1) リブの大きさと応力集中率

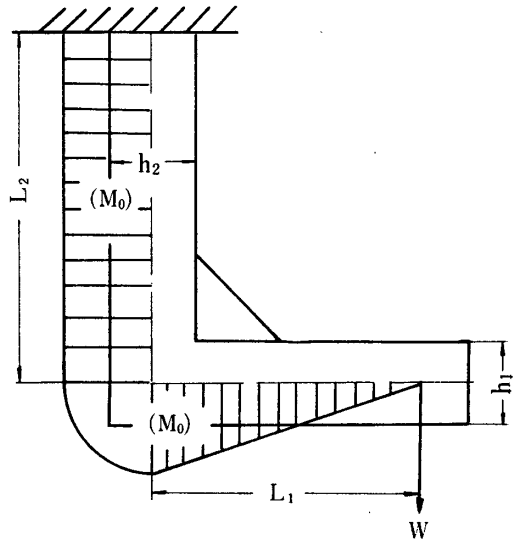


図2 曲げモーメント図

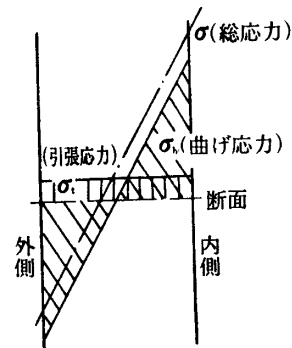


図3 固定部分の応力

リブの大きさによってリブすみ肉部の集中率がいかに変化するかを図4に示す。ここで着目すべき点は α_{k2} の推移である。 α_{k2} は一定条件(曲率半径、部材の幅が一定)のもとではリブの大きさに関係なく一定である。 α_{k1} は α_{k2} よりかなり低くなっている。しかもリブが大きくなるにつれてほぼ直線的に減少する。

この α_{k1} と α_{k2} の大小関係は、図2における曲げモーメント図のリブ接地点における曲げモーメントの比にほぼ一致していることがわかった。

つまり

$$\frac{\alpha_{k1}}{\alpha_{k2}} = \frac{M}{M_0}$$

である。(図4)

α_{k1} の減少状態についてももう少し述べると、図5の場合、リブの大きさを三角形リブの一辺の長さにとったが、これをリブの側面積の増加からみると、図6に示すように徐々に減少勾配がゆるやかになっている。つま

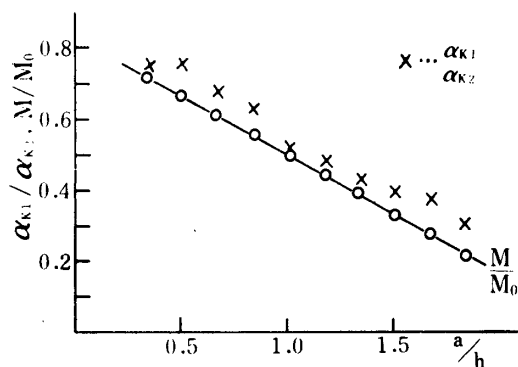


図4 モーメント比と集中率

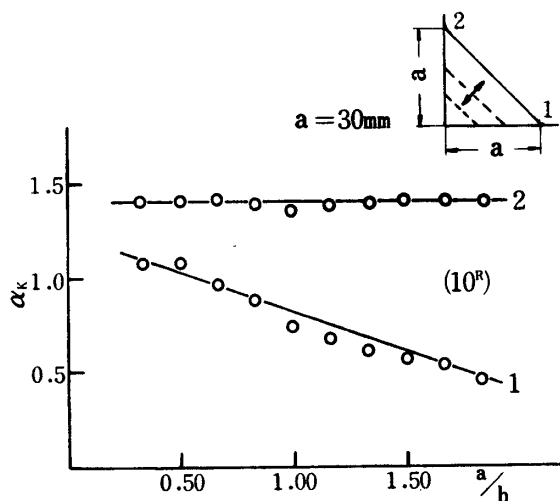


図5 応力集中率とリブの大きさとの関係

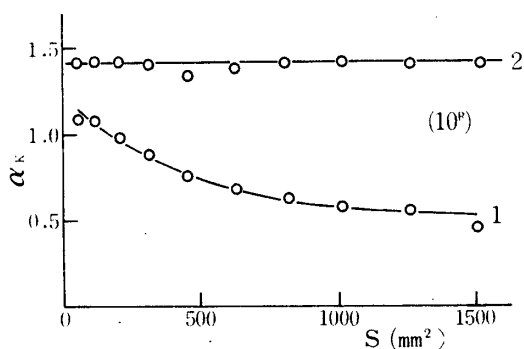


図6 側面積の変化に対する集中率

り、リブを余り大きくしてもある値以上では集中率の減少は期待できなくなる。

(2) 部材の剛性比と応力集中率

リブ以外の因子として部材の剛性比によっても集中率は考えられる。部材の剛性は幅と厚さによって決まるが、本実験では自由部材の幅を変えることにより剛性比を変えた。結果を図7に示す。

自由部材の剛性変化に対して α_{k2} はほとんど影響を受けない。しかし、 α_{k1} は剛性減少とともに上昇している。そして、 I_1/I_2 が1.0より小さくなるあたりから急激に上昇して、二次曲線の様相を示している。

これはすみ肉部の応力が $\sigma M/bh^2$ に従うことを証明している。固定部材の幅(剛性)を変化させても同様の結果が推察される。最大応力という観点にたつと、 $\alpha_{k1} = \alpha_{k2}$ なる値までは剛性変化による弱化は考えなくてよい。剛性比に対する最適形状リブについては不等辺三角形リブの項(3.2項)で述べる。また、図7における破線はリブがない時の交差点の応力集中率である。

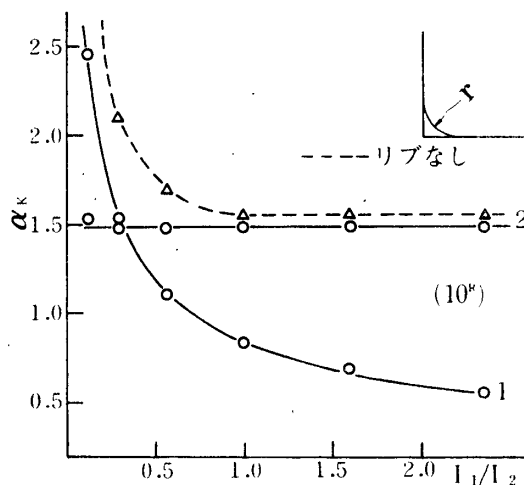


図7 応力集中率と部材の剛性比との関係

(3) 部材の長さの比と応力集中率

自由部材の長さを変化させ荷重点を移動させると、モーメントは比例的に変わる。集中率については、その実験結果を図8に示す。モーメントの直線的な減少とは関係なく α_{k2} は一定、 α_{k1} は上昇しその上昇割合はだんだん少なくなるという結果が出た。最大曲げモーメント (M_0) 一定でも自由部材の長さによって、 α_{k1} は変化

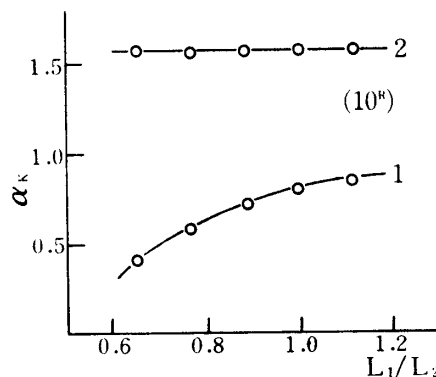


図8 応力集中率と部材の長さの関係

が認められる。これはリブ接地点におけるモーメントに集中率が大きく支配されていることを意味している。自由部材を無限に伸ばすと、 α_{k1} と α_{k2} は値が一致する理屈になるが、現実的には有り得ない。

(4) リブすみ肉部の曲率半径と応力集中度

リブすみ肉部の曲率半径と集中度との関係は図9のようになった。集中度は曲率半径の減少とともに上昇し、曲率半径が極めて小さくなると急激に上昇していく。

($r \rightarrow 0$ で $\alpha_k \rightarrow \infty$) 経験的にも明らかなることであるが、実際、溶接などによる取付けではすみ肉部の曲率を調整することは、はなはだ困難である。

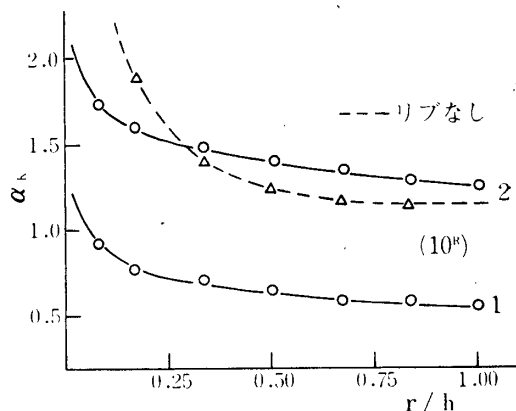


図9 応力集中度と曲率半径との関係

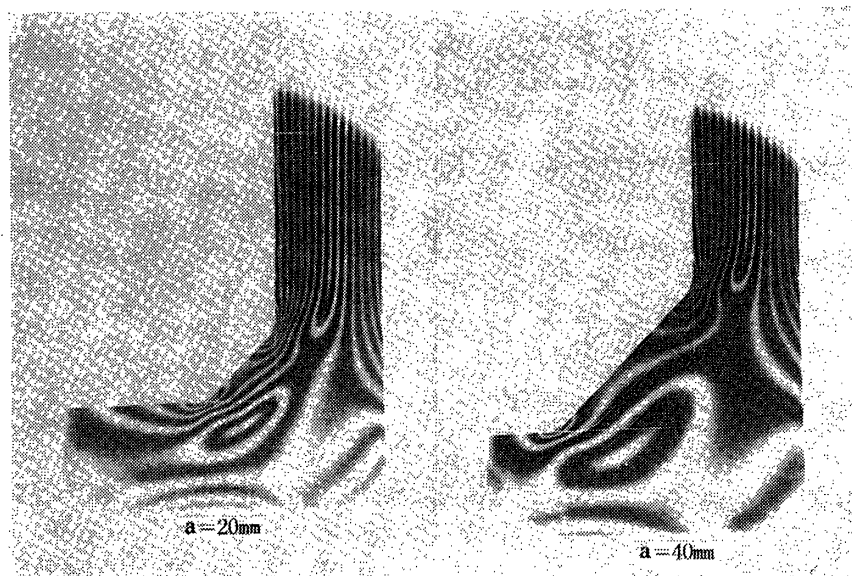


図10 二等辺三角形リブの光弾性写真 (明視野)

3.3 不等辺三角形リブ

二等辺三角形リブ、すなわち、取付角 45° のものについては特殊な場合を除くと常に α_{k1} より α_{k2} の方が高くなっている。直交部材の補強を応力集中から考えると、一方のすみ肉部に最大応力集中が生じるのは好ましいことではない。この最大応力の減少について三角形二辺の長さを変えることが考えられ、次にその結果を示す。

(1) 側面積一定の三角形リブの形状と応力集中度

側面積を一定にして三角形リブの辺の長さの比を変えると図11のような結果になる。つまり、固定部材側を長辺にとると α_{k2} は減少する。この場合、 α_{k1} が上昇するのは最大応力という観点にたてばかまわないと言える。 $\alpha_{k1} = \alpha_{k2}$ なる点が最適リブ形状を決める $\tan \theta$ を示す。(本実験では、試験片の寸法からその点を求める

までにいたらなかった。)

なお、図において破線で示してあるのは、曲率半径を一段階大きくしたときの結果である。

これによると、応力集中度がリブの形状に影響されなくなっていることがわかる。集中度にとって曲率半径の作用は大きいと言わねばならないが、前述したように実用的にはその調整は困難である。

この曲率半径を変えても $\alpha_{k1} = \alpha_{k2}$ は実現できるが、 a_2/a_1 の方が容易である。なお、この結果はリブの大きさと無関係であることが実験でわかった。

この結果に部材の剛性比を組み合わせたのが図12である。これによると剛性比によっては最適三角形を決める $\tan \theta$ が求まる。また、剛性が大きくなった方の辺の長さを大きくとる必要がある。

(2) 側面積変化の三角形リブの形状と応力集中度

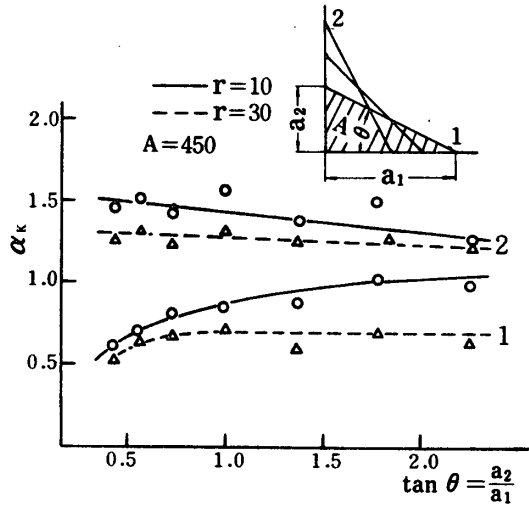


図11 応力集中率とリブ形状との関係

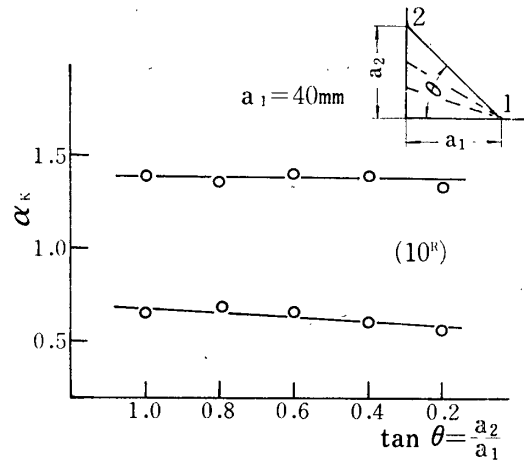


図13 応力集中率とリブ形状との関係

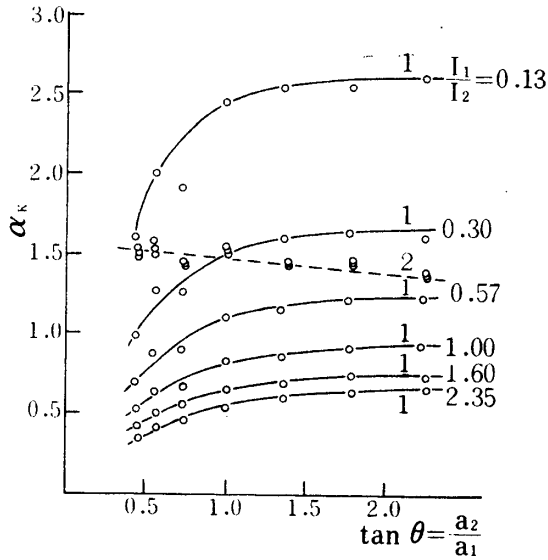


図12 部材剛性比による応力集中率とリブ形状との関係

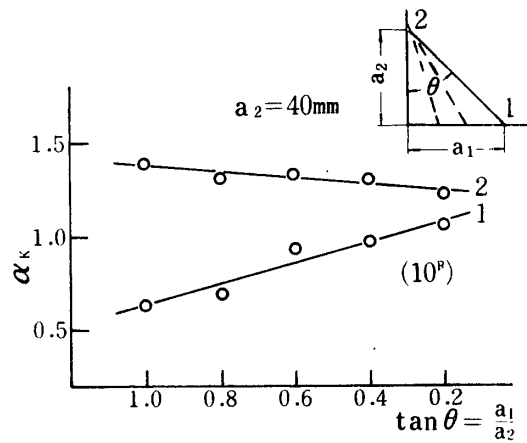


図14 応力集中率とリブ形状との関係

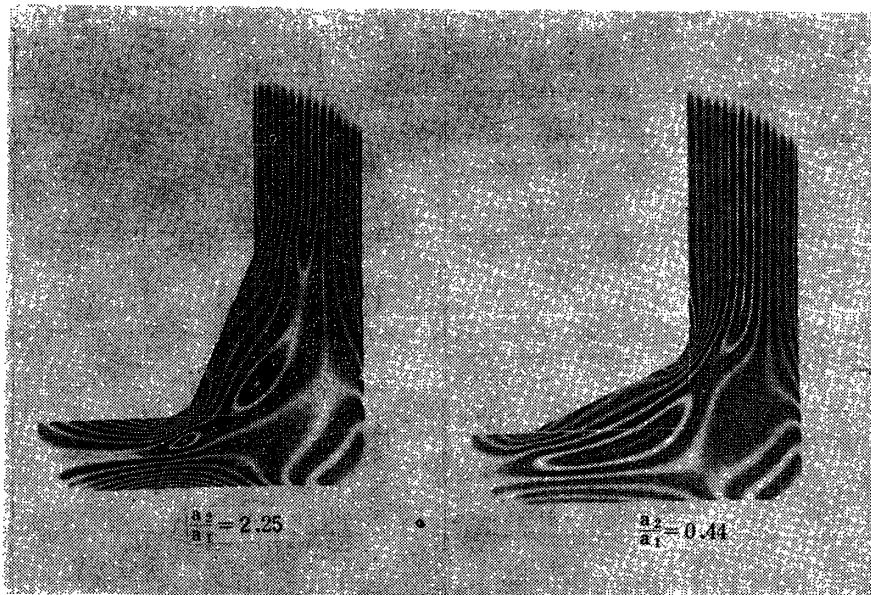


図15 不等辺三角形リブの光弾性写真 (明視野)

次に側面積（リブ）を無視して長さの比を変えると、実験（図13, 14）より α_{k2} の減少は得られた。ごくわずかではあるがリブ取付角が 180° に近くなるにつれてすみ肉部の集中率は減少する。これはすみ肉部の部分が部材そのものに近くなるためである。しかし、 α_{k2} は減少するが変形量と関係してくる。

3.4 台形リブ

等色線写真を見ると三角形リブの頂点にあたる部分に零次の縞があり、応力が零に近いことがわかる。無応力部分は切り落としても、つまり台形リブを取付けても応力集中に影響はないはずである。

(1) 台形リブの高さと応力集中率

図16に示すのが、三角形リブの頂点から切り落とした時の集中率の推移である。これによると、ある値までは切り落としても集中率に変動がないことがわかった。一般に最大応力は外側すみ肉部に働くが（内側すみ肉部の集中率は内側の曲率半径に関係なく常に外側より小さい。部材交差のすみの点Aの集中率は零に近く小さい。）台形の高さ（幅）が極めて小さくなると、リブそのもの

の集中率がリブすみ肉部の集中率に近づき、ついには大きくなる。（図17）

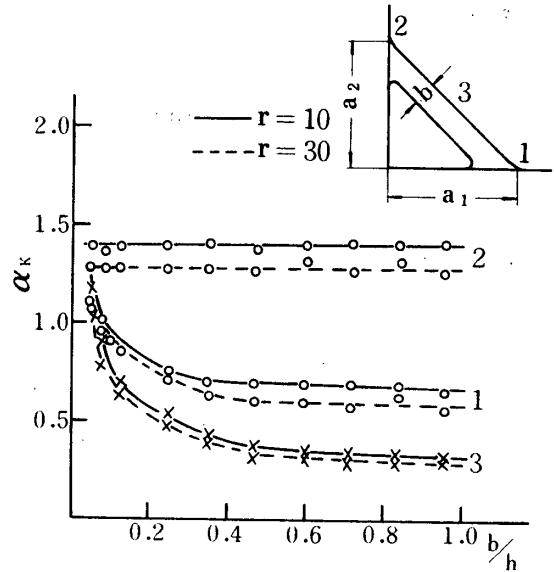


図16 応力集中率と台形リブの高さとの関係

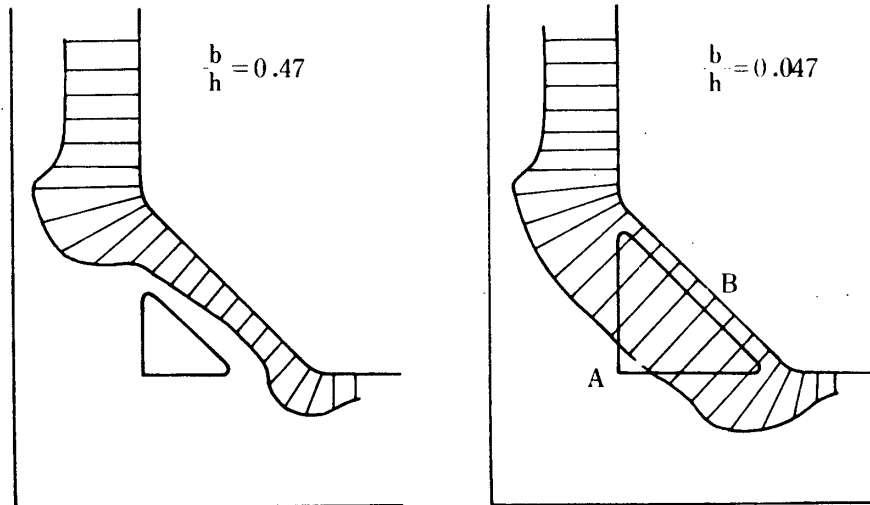


図17 応力分布図

この状態では強度的にほとんど意味がなくなり、高さの限界には注意を要する。帯状のリブでは一般に引張（圧縮）力と曲げモーメントが同時に加えられた状態であって、外側、例えば中央点Bの応力は常に内側の中央点より大きい。リブ高さの限界値を越えると、リブには引張力のみが作用すると考えられ材料の伸びが問題になってくる。外側曲率半径による影響はもちろんある。図16

の破線に一例を示す。

(2) 台形リブの形状と応力集中率

台形リブの形状については実験結果を図18に示す。ここで台形リブの高さがある値までは三角形リブと同じ結果を示すが、リブが細く帯状になると α_{k2} と α_{k3} (B点の α_k) にほとんど影響がなくなるということである。つまり、リブをどういう角度で取付けてもかまわな

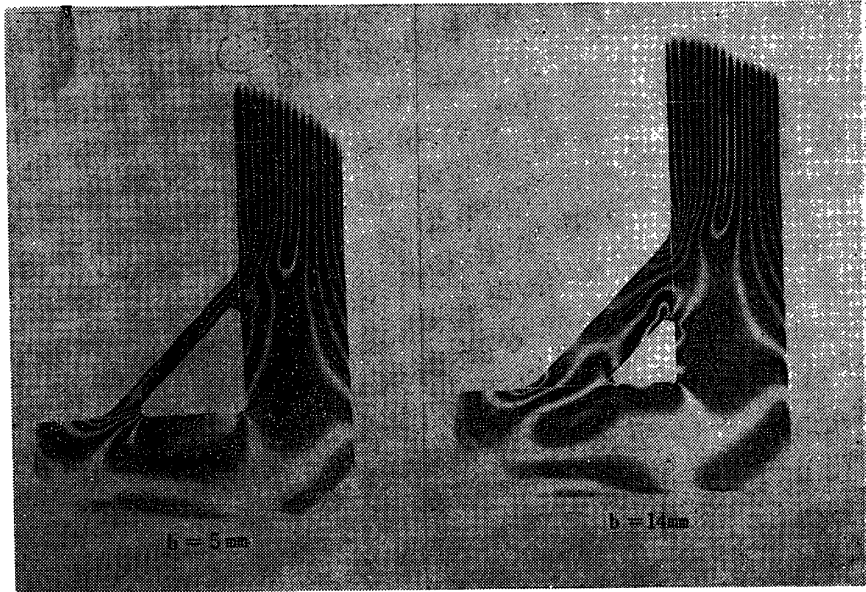


図19 合形リブの光弾性写真(明視野)

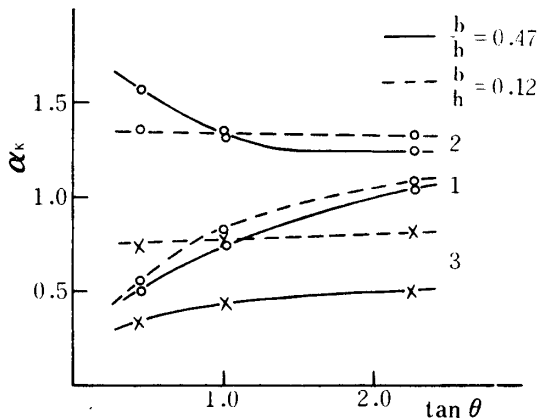


図18 応力集中率と合形リブの形状との関係

いことになる。

4. む す び

一端固定L型平板のリブ補強について次のことが明らかになった。

- 1) 二等辺三角形リブの場合、固定部材側のすみ肉部に最大応力を生じる。
- 2) リブを大きくしても応力集中率は変わらない。しかし、自由部材側のすみ肉部の集中率は直線的に減少する。
- 3) 応力集中率はリブすみ肉部の曲率半径が小さくなるにつれて上昇し、その上昇割合は曲率半径が極小になると急激に大きくなる。

4) 自由部材の剛性変化に対しては、固定部材側のリブすみ肉部の集中率は影響を受けない。しかし、ある値を越すと、最大集中率は自由部材側のリブすみ肉部に移る。

5) 自由部材の長さによって集中率は変化しない。しかし、自由部材側の集中率は長くなるにつれて増加し、その増加割合はだんだん小さくなる。

6) リブの大きさ一定のもとで固定部材側を長辺、自由部材側を短辺とするような直角不等辺三角形リブを付けると、応力集中率は減少する。

7) 三角形リブにおいてはその内部ではあまり大きな応力は受けておらず、中にはほとんど応力を受けない部分がある。このような部分、即ち、三角形の頂部を落としてもある値までは集中率に変化はない。

最後に本研究に対し、熱心に実験を進めてくれた本校機械工学科47年度卒業生、西見博光、温品知之の両君に対し深湛なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小川 壽, 足立拓郎: L型平板の応力集中について (第1報), 宇部高専研究報告, 13号, P15, (1971)
- 2) 望月太喜雄, 畠山耕治, 小川 壽: L型平板の応力集中について (第2報), 宇部高専研究報告, 16号, P1, (1972)

(昭和48年5月19日受理)