624.078.8:620.171.5:539.4.013

リブ補強に関する研究*

(第3報, 直交する部材の剛性が互に異なる場合の
三角形リブすみ肉部の応力集中)

西岡 邦夫**, 久光 脩文**

Research on the Reinforcement by the Rib

(3rd Report, The Stress Concentration at the Reentrant Corner of Triangular Rib
when the Rigidities of Intersecting Members are different)

by Kunio NISHIOKA and Nobuyoshi HISAMITSU

By using the two-dimensional photoelastic method, the authors have investigated the various factors affecting the scf. at the reentrant corner of triangular rib, when the rigidities of intersecting members were different and subjected to pure bending.

The results obtained were as follows:

1. The stress concentration factor (scf.) was not affected by the rigidity of the opposite member unless the rib was very small.
2. The scf. decreased as the fillet radius and dimension of rib increased. On the other hand, the scf. increased as the angle of rib and thickness of member increased.
3. For reinforcing the intersecting members with different rigidities, the dimensions of triangular rib should be so chosen as the longer side is attached to the member of higher rigidity and the shorter one to that of lower rigidity, because the maximum stresses at the reentrant corners could be thus equalized. And the most appropriate ratio of the shorter side to longer one decreased with increasing ratio of rigidity of intersecting members, dimension of rib and fillet radius.

1. 緒 言

第1報⁽¹⁾において, 著者らは, 一般的なリブ補強を考える上で基本となる, 互に直交する相等しい部材に, 直角二等辺三角形のリブを補強した場合を取上げた。そして, これに純粋曲げが作用したとき, リブすみ肉部に生じる応力集中が, リブの大きさ, すみ肉部の曲率半径によりどのように影響されるかを二次元光弾性実験により明らかにした。さらに, 第2報⁽²⁾においては実際の補強リブの設計に適用し得るように, 部材の剛性をその厚さを変えることにより変化させた三次元の試験片について, すみ肉部の応力集中を簡便な反射光弾性実験により調べ, 直交する相等しい部材に直角二等辺三角形リブを補強する場合のリブの設計基準を確立した。

しかしながら, 実際の構造物においては, 直交する

部材の剛性が相等しいという場合は比較的少なく, 一般に互に異なっている。このような場合には, それぞれの部材に作用する荷重も異なるのが普通であろうが, 曲げモーメントは両部材に均等に作用することが多い。このような構造物にリブ補強を行なう場合には, 曲げモーメントにより両すみ肉部に生じる集中応力が等しくなるように, リブを設計することが望ましいわけである。このような条件を満たす形状のリブを, 本報においては最適形状のリブと称することにする。

本報では, それゆえ, 直交する部材の剛性が互に異なるような場合を取上げ, これに補強をする直角三角形リブの最適形状を決定することを目的として, 両側の部材の剛性比, リブの形状, 大きさ, すみ肉部の曲率半径および部材の厚さと, すみ肉部の応力集中率との関係を, 純粋曲げが作用した場合について, 二次元光弾性実験および反射光弾性実験により明らかにした。

2. 実験方法

2.1 試験片 両側で部材の剛性が異なる場合に, 第1, 2報で考えたような直角二等辺三角形のリブを補

* 昭和37年10月29日 第40期全国大会講演会において講演, 原稿受付 昭和38年3月1日。

** 正員, 住友金属工業会社中央技術研究所 (名古屋市西長洲本通1の3)。

強すれば、両すみ肉部の曲率半径が同一であると、応力集中率は、部材の剛性の異なる側で大きく、小なる側で小さくなる。一方、部材に生じる応力は、その剛性が増すほど小さくなるので、両側の部材の剛性比に応じて、適当な形状の不等辺直角三角形リブを補強することにより、両すみ肉部の集中応力を等しくすることが可能である。

エポキシ樹脂板から作られた試験片の形状、寸法は、このようなリブの最適形状を決定することができるように選ばれたもので、第1図に示すごとくである。すなわち、断面二次モーメント I_1 および I_2 ($I_1 < I_2$) の互に直交する部材 1, 2 に、ABC なる直角三角形のリブを、長辺が部材 1 の側に、短辺が部材 2 の側にくるようにし、すみ肉部の曲率半径を両側とも ρ にとって溶接したと考えられる形状になっている。ここで両部材の剛性比 (断面二次モーメント比) I_2/I_1 、三角形リブの形状、大きさおよびすみ肉部の曲率半径をいろいろに変えた。このようにして作られた試験片の一覧を第1表に示す。両部材の剛性比は、部材 1 の幅 b_1 を一定にし、部材 2 の幅 b_2 を変えることにより変化させているので、 $I_2/I_1 = (b_2/b_1)^3$ なる関係が成立する。したがって、以下では両部材の幅の比 b_2/b_1 をもって剛性比に替えることにする。なお b_2/b_1 の値は $(b_2/b_1)^3$ がそれぞれ 1.5, 3, 5 になるように選ばれている。また、直角三角形リブの形状は、 $\tan \varphi_1 (=a_2/a_1)$ もしくは $\tan \varphi_2 (=a_1/a_2)$ で表わすことにする。

第1図 試験片の形状

第1表 試験片の寸法

b_2/b_1 (I_2/I_1)	ρ/b_1	$\tan \varphi_1$ (a_2/a_1)	a_1 mm	
1.15 (1.5)	0.075	0.25	10	$b_1=20$ mm $b_2=23$ mm
	0.125	0.50	20	
	0.250	0.75	30	
1.45 (3)	0.075	0.25	10	$\rho=1.5$ mm 2.5 " 5.0 "
	0.125	0.50	20	
	0.250	0.75	30	
1.7 (5)	0.075	0.25	10	
	0.125	0.50	20	
	0.250	0.75	30	
	0.125	1.0	40	

表中の $\tan \varphi_1=0.25$ という場合は、リブの形状としては非常に細長い形になるので、変形の防止にはあまり役立たず、実用的とは考えにくい。リブの最適形状を決定するのに必要なので実験を行なったものである。

なお、 $\tan \varphi_1=\tan \varphi_2=1$ の場合のリブすみ肉部の応力集中率も必要なことがあるが、 $b_2/b_1=1$ の場合には、第1報の結果より求めることができる。しかし、 $b_2/b_1 \neq 1$ の場合には、応力集中率は第1報の結果から求めることができず、また、 $b_2/b_1=1$ として第1報から得られる値とは若干異なっていると考えねばならない。両者の差は、両側の部材の幅の差が大きくなるほどはっきりと現われることが予想されるので、この点を検討するために、第1表の最後の行にある $b_2/b_1=1.7$ のときに $\tan \varphi_1=1$ であるような試験片も作られた。

さらに、実際の構造物でのリブ補強に適用し得るように、部材の厚さとリブの厚さが異なる場合について、第2報で得られたような関係が本報の場合にも成り立つかどうかを検討する目的で、 $b_2/b_1=1.45$, $\rho/b_1=0.125$, $\tan \varphi_1=0.5, 0.75$, $a_1=10, 20, 30, 40$ mm, $t/t_1=2, 3$ の反射光弾性実験用の試験片も製作された。ここに、 t_1 はリブの厚さ、 t は部材の厚さである。この試験片の製作方法、これを用いての実験方法については第2報に詳述してある。

2.2 加荷方法およびしま次數の測定方法 第1

図の D, E, F, G 点をナイフエッジで支持し、矢印の方向に荷重を加え、リブ補強された部分には純粋曲げが作用するようにした。このようにして曲げモーメントを加えたときに、リブすみ肉部に生じる最大しま次數は、セナルモン法を用いて求めた。

3. 実験結果

試験片に純粋曲げを加えることにより得られた光弾性しま写真の一例を第2図に示す。リブすみ肉部の応

$b_2/b_1=1.15$, $\rho/b_1=0.075$, $\tan \varphi_1=0.50$

第2図 光弾性しま写真の一例

力集中率としては、これまでと同様に、すみ肉部の最大応力を部材の最外層に生じる応力で割った値を採用した。このようにして求めた応力集中率を第2表に示す。ここで、剛性の小さい部材1側の応力集中率を α_{k1} 、剛性の大きい部材2側の応力集中率を α_{k2} で示してある。

なお、この表中には $\tan \varphi_1 = \tan \varphi_2 = 1$ の場合の応力集中率も同時に示してあるが、これは $b_2/b_1 = 1$ の

場合を取扱った第1報の結果を利用して次のような方法で図式に求めたものである。いま、一例として、 $b_2/b_1 = 1.15$ の場合の α_{k1} 、 α_{k2} を求めてみよう。本実験では $b_1 = 20$ mmの一定にしてあり、また $a_1 = a_2 = 10, 20, 30, 40$ mmであるから、 $a_1/b_1 = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ となり、 α_{k1} は第1報の第4図より直ちに求めることができる。他方、 α_{k2} は $b_2 = 1.15$ 、 $b_1 = 23$ mmであるから、 $a_2/b_2 = 0.45, 0.87, 1.30, 1.74$ となり、

第2表 リブすみ肉部の応力集中率

b_2/b_1 (I_2/I_1)	ρ/b_1	a_1/b_1	$\tan \varphi_1 = 1.0$		$\tan \varphi_1 = 0.75$		$\tan \varphi_1 = 0.50$		$\tan \varphi_1 = 0.25$	
			α_{k1}	α_{k2}	α_{k1}	α_{k2}	α_{k1}	α_{k2}	α_{k1}	α_{k2}
1.15 (1.5)	0.075	0	2.79							
		0.5	2.39	2.56	2.14	2.60	1.86	2.72	1.56	2.79
		1.0	2.14	2.29	1.96	2.34	1.78	2.46	1.48	2.60
		1.5	1.99	2.14	1.80	2.21	1.67	2.33	1.42	2.43
		2.0	1.92	2.04	1.75	2.07	1.57	2.18	1.37	2.34
	0.125	0	2.19							
		0.5	2.01	2.12	1.85	2.15	1.61	2.20	1.36	2.25
		1.0	1.91	1.98	1.76	1.98	1.57	2.08	1.33	2.11
		1.5	1.81	1.88	1.71	1.86	1.55	1.95	1.31	2.04
		2.0	1.74	1.82	1.69	1.81	1.50	1.86	1.30	1.94
	0.250	0	1.60							
		0.5	1.58	1.61	1.59	1.61	1.54	1.63	1.44	1.79
		1.0	1.55	1.60	1.56	1.51	1.49	1.60	1.38	1.71
		1.5	1.55	1.59	1.54	1.47	1.46	1.59	1.35	1.64
		2.0	1.53	1.56	1.52	1.42	1.45	1.59	1.33	1.61
1.45 (3)	0.075	0	2.79							
		0.5	2.39	2.80	2.16	2.81	1.88	3.06	1.53	3.85
		1.0	2.14	2.54	1.93	2.50	1.79	2.78	1.46	3.18
		1.5	1.99	2.36	1.84	2.35	1.69	2.49	1.40	2.83
		2.0	1.92	2.21	1.76	2.21	1.61	2.31	1.36	2.65
	0.125	0	2.19							
		0.5	2.01	2.38	1.85	2.40	1.68	2.62	1.37	3.12
		1.0	1.91	2.18	1.78	2.18	1.60	2.39	1.36	2.78
		1.5	1.81	2.06	1.67	2.02	1.58	2.14	1.33	2.49
		2.0	1.74	1.96	1.64	1.92	1.53	2.03	1.30	2.33
	0.250	0	1.60							
		0.5	1.58	1.76	1.53	1.88	1.45	2.23	1.39	2.61
		1.0	1.55	1.70	1.52	1.72	1.44	1.98	1.36	2.32
		1.5	1.55	1.70	1.49	1.69	1.43	1.82	1.34	2.12
		2.0	1.53	1.66	1.48	1.60	1.40	1.66	1.31	1.96
1.7 (5)	0.075	0	2.79							
		0.5	2.39	2.99	2.18	3.11	1.87	3.32	1.54	5.06
		1.0	2.14	2.67	1.95	2.76	1.75	2.97	1.46	3.87
		1.5	1.99	2.49	1.84	2.54	1.70	2.76	1.40	3.52
		2.0	1.92	2.37	1.79	2.44	1.61	2.56	1.36	3.06
	0.125	0	2.19							
		0.5	2.01	2.58	1.85	2.64	1.62	2.70	1.41	3.62
		1.0	1.91	2.35	1.74	2.40	1.54	2.46	1.38	3.23
		1.5	1.81	2.21	1.67	2.26	1.48	2.32	1.37	2.99
		2.0	1.74	2.10	1.61	2.14	1.42	2.21	1.34	2.80
	0.250	0	1.60							
		0.5	1.58	1.91	1.53	2.28	1.49	2.67	1.41	3.22
		1.0	1.55	1.82	1.52	2.04	1.46	2.32	1.39	2.94
		1.5	1.55	1.80	1.50	1.85	1.43	2.07	1.37	2.74
		2.0	1.53	1.75	1.49	1.80	1.44	1.90	1.34	2.56

第1報第4図よりこれらの a_2/b_2 に対する応力集中率 α_k がそれぞれの ρ/b について得られ、この α_k と ρ/b との関係を第3図のごとく描くことができる。

$\rho/b_1=0.075, 0.125, 0.250$ のとき $\rho/b_2=0.065, 0.109, 0.217$ となるので、これらの ρ/b_2 に対する応力集中率を図式に求めることにより α_{k2} が得られる。したがって、このようにして得られた α_{k1} は両部材の幅が b_1 のときの値であり、 α_{k2} は逆にそれが b_2 のときの値であるから、 $b_2 \neq b_1$ の場合の応力集中率とはいくらか異なるはずのものである。本報で実験を行なっている $b_2/b_1 > 1$ の場合には、 $b_2/b_1 = 1$ の場合に比して、 α_{k1} ではいくらか高く、また α_{k2} ではいくらか低くすることが予想される。これらの差がどの程度であるかを知るために、 $b_2/b_1 = 1.7$ 、 $\rho/b_1 = 0.125$ の場合につき実験を行なった結果を、図式に求めた第2

第3図 第1報の結果を用いて α_{k2} を求める方法の説明図

第3表 リブすみ肉部の応力集中率
($\tan \phi_1 = 1.0$, $\rho = 2.5 \text{ mm}$)

a_1 mm	$b_1 = 20 \text{ mm}, b_2 = 34 \text{ mm}$		$b_1 = b_2 = 20 \text{ mm}$	
	α_{k1}	α_{k2}	α_{k1}	α_{k2}
10	1.98	2.52	2.01	2.58
20	1.88	2.26	1.91	2.35
30	1.81	2.13	1.81	2.21
40	1.76	2.01	1.74	2.10

第4表 リブすみ肉部の応力集中率 (部材の厚さが増した場合)

$b_2/b_1 = 1.45$, $\rho/b_1 = 0.125$

a_1/b_1	$\tan \phi_1 = 0.75$						$\tan \phi_1 = 0.50$					
	$(\alpha_{k1})_1$	$(\alpha_{k1})_2$	$(\alpha_{k1})_3$	$(\alpha_{k2})_1$	$(\alpha_{k2})_2$	$(\alpha_{k2})_3$	$(\alpha_{k1})_1$	$(\alpha_{k1})_2$	$(\alpha_{k1})_3$	$(\alpha_{k2})_1$	$(\alpha_{k2})_2$	$(\alpha_{k2})_3$
0.5	1.85	2.01	2.46	2.40	2.72	3.42	1.68	1.88	2.17	2.62	2.96	3.57
1.0	1.78	1.89	2.30	2.18	2.37	2.96	1.60	1.75	2.03	2.39	2.60	3.11
1.5	1.67	1.77	2.04	2.02	2.15	2.57	1.58	1.68	1.95	2.14	2.30	2.74
2.0	1.64	1.68	1.97	1.92	2.01	2.33	1.53	1.63	1.89	2.03	2.17	2.48

表中の値とともに第3表に示す。

これをみると、 α_{k2} はわずかではあるが $b_2/b_1 > 1$ の場合のほうが小さいようである。しかし、その差は2~3%程度であり、 α_{k1} はほとんど差がない。 $b_2/b_1 = 1.15, 1.45$ では当然両者の差はさらに小さくなるはずである。したがって、 $\tan \phi_1 = 1$ の場合には、第1報の結果を利用して、 $b_2/b_1 = 1$ のときのすみ肉部の応力集中率を図式に求めて $b_2/b_1 \neq 1$ の場合に用いても、実際上は問題ないことがわかった。

さらに、部材の厚さがリブの厚さよりも大になった場合について、すみ肉部の応力集中率を求めた結果を第4表に示す。このときの称呼应力も、厚くなった部材の最外層に生じる曲げ応力を採用した。なお、表中の $(\alpha_{ki})_j$ は部材 i のリブすみ肉部での $t/t_i = j$ のときの応力集中率を表わす。本実験は $b_2/b_1 = 1.45$ 、 $\rho/b_1 = 0.25$ の場合についてのみ行なわれたが、第2報の結果と総合すると他の場合の応力集中率も大きな誤差なく推定できる。

4. 考 察

4.1 すみ肉部の曲率半径と応力集中率の関係

第2表より、応力集中率を、すみ肉部の曲率半径と部材の幅の比 ρ/b との関係で、両部材の幅の比 b_2/b_1 ごとに示したものが第4~6図である。なお、このときにはパラメータとしてリブの大きさと部材の幅の比 a/b をとっている。当然のことながら、リブの大きさが一定のもとでは、応力集中率は曲率半径が小さくなるとともに大きくなり、その効果も曲率半径が小さくなるほど著しい。

4.2 両側の部材の剛性比およびリブの大きさと応力集中率の関係 両側の部材の剛性が異なる場合のリブすみ肉部の応力集中を調べるのに、本報では b_1 を一定にし b_2 を変化させた実験が行なわれている。このときには、 α_{k1} 、 α_{k2} ともに b_1 、 b_2 により影響を受けるはずであるが、 α_{k1} が b_1 の変化により受ける影響および α_{k2} が b_1 の変化により受ける影響は少なく、これに反して、 α_{k1} が b_1 により受ける影響および α_{k2} が b_2 により受ける影響のほうがはるかに大き

いことは当然考えられる。いま、第2表において、同一形状、同一寸法のリブを補強した場合、 b_2 が増加しても α_{k1} の値はほとんど変わらず、 α_{k2} の値は急激に大きくなっているのが認められ、また、前節の第3表においても同様の結果がみられる。さらにこのことを詳細に検討するために、一例として、 $\rho/b=0.125$ の場合について、第2表の応力集中率を、 b_2/b_1 ごとに $\tan \varphi$ をパラメータにとって、リブの大きさとの関係で表わしてみたものが、第7,8図である。

第7図より α_{k1} は b_2/b_1 が 1.15, 1.45, 1.7 と変化しても、同一の $\tan \varphi_1$ で比較すると、ほとんど変化しないことがわかる。また第8図より α_{k2} は、実験点が a_2/b_2 の比較的小さい範囲しかないので確定的なことはいえないが、 a_2/b_2 の比較的大きい場合には、 α_{k1} の場合と同様に b_2/b_1 の影響をほとんど受けないと考えてよいようである。ただ、 a_2/b_2 が小さくなりしかも $\tan \varphi_2$ が大きくなると、 α_{k2} を計算する際の称呼应力としては、部材1に生じる曲げ応力を用いた

ほうがよいようなすみ肉部の応力分布になってくると、およびリブと部材との区別が判然としにくくなり、リブ補強部全体の応力状態も、リブの大きいときのそれとは著しく異なってくるものが、干渉しを觀察することにより認められる。これらが原因して、第8図にみられるように、 a_2/b_2 が非常に小さいときの α_{k2} の値は、 $\tan \varphi_2$ が同一のときでも、 b_2/b_1 によりかなり異なっており、また、 b_2/b_1 が小さい 1.15 のときは α_{k2} は $\tan \varphi_2$ によりほとんど差のないのが、 b_2/b_1 が大きくなるにつれて $\tan \varphi_2$ による差がめいりように現われてくるのである。

これらのことより、 α_{k1} はリブの大きさが本実験程

第4図 応力集中率とすみ肉部の曲率半径の関係

第5図 応力集中率とすみ肉部の曲率半径の関係

度であれば, b_2 の影響をほとんど受けず, α_{k2} も a_2/b_2 が 0.5 以上ではやはり b_1 の影響を受けないことが明らかとなった。すなわち, このような場合の応力集中率は, 考えている側のみの部材の幅, リブの大きさ, すみ肉部の曲率半径およびリブの角度により決定されることになる。しかし, リブが非常に小さくなると, α_{k1} , α_{k2} ともに両側の部材の剛性を考慮する必要がある。

さらに, これらの図より, α_{k1} , α_{k2} の値はともに, リブの形状が与えられているときは, リブが大きくなるとともに減少し, その減少のしかたは, リブが大きくなるほどゆるやかになっているのが認められる。

4.3 リブの形状と応力集中率の関係 リブの形

第 6 図 応力集中率とすみ肉部の曲率半径の関係

状を与える無次元量 $\tan \varphi_1$ と応力集中率 α_{k1} との関係を, 第 2 表をもとにして, a_1/b_1 をパラメータにと

第 7 図 応力集中率とリブの大きさとの関係

第 8 図 応力集中率とリブの大きさの関係

って曲率半径ごとに示したものが第 9~11 図の実線である。なお、ここでは後述する最適なリブの形状を求めるのに都合であることから、 α_{k2} は $\alpha_{k2}' = (b_1/b_2)^2 \times \alpha_{k2}$ として α_{k2} より計算した α_{k2}' と $\tan \varphi_1$, a_1/b_1 との関係として一点鎖線で示してある。

図で α_{k1} についてみると、 b_1 , b_2 が与えられていてしかも一定の a_1/b_1 のもとでは、 $\tan \varphi_1$ が小さくなるにつれて、いいかえれば、リブが細長い形状になるほど、 α_{k1} は小さくなり、 $\tan \varphi_1 \rightarrow 0$ の極限では $\alpha_{k1} = 1$ となることは明らかであろう。また、その減少のしかたは、 $\tan \varphi_1$ が小さくなるほど著しくなっている。

つぎに α_{k2} について考える。 b_1 , b_2 および a_1/b_1 が一定であれば、 $\tan \varphi_1$ が小さくなるということは $\tan \varphi_2$ が大きくなることになる。したがって、図より、 $\tan \varphi_2$ が小さくなるにつれて α_{k2} が小さくなっていることがわかる。このことは α_{k1} と $\tan \varphi_1$ の関係と全く同様である。 $\tan \varphi_2 \rightarrow 0$ の極限においては、応力集中率は両部材の幅が b_1 , b_2 で $a_1 = a_2 = 0$ の場合の応力集中率、すなわち、リブがなくすみ肉の丸みのみをつけた場合の応力集中率となり、また、 $\tan \varphi_2 \rightarrow \infty$ の極限においては、部材の幅がそれぞれ $b_1 + a_2$, b_2 で $a_1 = a_2 = 0$ の場合の応力集中率に一致するはずである。

参考までに、 $\tan \varphi_2 = 0$ および ∞ での応力集中率を

第 9 図 応力集中率とリブの形状の関係

求めるために、第 1 図においてリブ ABC がなく、A 点に丸みをつけたとき試験片が作られた。ここで丸

第 10 図 応力集中率とリブの形状の関係

第 11 図 応力集中率とリブの形状の関係

みの曲率半径 1.5, 2.5, 5 mm の3種に対して, b_1 を 20 mm の一定としておき, b_2 を 50 mm から 20 mm まで 5 mm おきに小さくしてゆきながら, 純粹曲げによるすみ肉部の応力集中率を求めた. 得られた応力集中率 α_k と b_2/b_1 の関係を第12図に示す. ただし, $b_2/b_1=1$ の場合は第1報の $a_1/b_1=0$ の値と一致するので, これと合わせるために上記 α_{k1} の称呼应力としては b_1 側の部材の最外層に生じる応力を採用した. それゆえ, $\tan \varphi_2=0$ となったときの α_{k2} の値は, 称呼应力は部材2について考えねばならないから, 第12図から得られる α_k の値に $(b_2/b_1)^2$ を乗ずることにより求められる. 同様に $\tan \varphi_2=\infty$ のときの α_{k2} は b_1+a_2 と b_2 の大小関係から称呼应力を選ばねばならない.

第12図の関係をも考慮して $\rho/b=0.125$ の場合について一般的に $\tan \varphi$ と α_k との関係を a/b をパラメータにとって示すと第13図のごとくなり, $\tan \varphi > 1$ では α_k の変化は非常にわずかである.

4.4 部材の厚さと応力集中率の関係 第4表より, 横軸に部材の厚さ t とリブの厚さ t_1 の比 t/t_1 をとり, これと応力集中率との関係を a_1/b_1 をパラメータにして示したものが第14図である. これより, 部

材の厚さが増すと応力集中率は急速に大きくなることがわかる. この場合にも, すみ肉部の応力集中率のみに注目すれば, 第2報において述べたと同様に, t/t_1 が3あるいはそれより少し大きくなると, 本実験の範囲内で最小の応力集中率を与える $a_1/b_1=2.0$ の値がかなり大きなものとなり, $t/t_1=1$ で最大の応力集中率を与える $a_1/b_1=0$, すなわち, リブが全くなく, 両部材の交点を同一の曲率半径で丸みをもたせた場合の応力集中率よりも大きくなるということが第4表からもわかる. このような場合には, リブの厚さを大にするかあるいはリブの数を増してすみ肉部の応力集中率を低下せしめることが望ましい.

なお, $t/t_1 > 3$ での応力集中率を求めたいときは, これも第2報において用いた γ を利用するとよい. いま, 同一の曲げモーメントが作用した場合に, 任意の厚さの部材でリブすみ肉部に生じる最大応力と, $t/t_1=1$ の部材でのすみ肉部の最大応力との比 γ をとり, これを t/t_1 との関係で示したものが第15図である. $t/t_1 > 3$ では γ の t/t_1 による変化は非常にわずかであるから, これらの図より γ を求めて $\gamma = \{(\alpha_{ki}) / (\alpha_{ki})_1\} / (t/t_1)$ の関係より, $(\alpha_{ki})_1$ は第2表あるいは第4~6図から得られるので, $(\alpha_{ki})_j$ を計算により比

第12図 リブのない場合のすみ肉部の応力集中率

第13図 応力集中率とリブの形状の関係

第14図 応力集中率と部材の厚さの関係

較的正しく推定することが可能である。また、第2報および第15図などから、 γ の値そのものも、すみ肉部の曲率半径、リブの形状、部材の幅などによってほとんど影響されないと考えてよいので、本報で実験を行っていない、 ρ/b , $\tan \varphi$, b_2/b_1 に対しても、近似的には第15図の γ を用いてもよいと思う。

4.5 最適な三角形リブの形状 これまでに求めてきた結果をもとにして、両側のすみ肉部の曲率半径が等しい場合に対して、純粋曲げが加わった場合に、リブすみ肉部に生じる最大応力が両側で等しくなるようなリブの形状を求めてみよう。

いま、第1図のごとくリブ補強を行なう場合、両すみ肉部に生じる最大応力は、曲げモーメントを M とすれば、

$$\text{部材1側 } \sigma_{\max 1} = -\frac{M}{I_1} \frac{b_1}{2} \alpha_{k1}$$

$$\text{部材2側 } \sigma_{\max 2} = -\frac{M}{I_2} \frac{b_2}{2} \alpha_{k2}$$

であるから、 $\sigma_{\max 1} = \sigma_{\max 2}$ になるためには、部材1, 2の厚さはともに t であることを考慮して、結局、両すみ肉部の応力集中率の間で

$$\alpha_{k1} = \left(\frac{b_1}{b_2} \right)^2 \alpha_{k2}$$

なる関係が成立すればよい。したがって、このときの $\tan \varphi$ を求めればこれが最適なリブ形状を与えることになる。第9~11図に上の関係を満足する $\tan \varphi_1$ を図式に求めている。すなわち、図中の実線は α_{k1} と $\tan \varphi_1$ との関係を示し、一点鎖線は α_{k2}' と $\tan \varphi_1$ との関係を示しているから、それぞれの曲線群のうちでパラメータ a_1/b_1 の等しい α_{k1} 曲線と α_{k2}' 曲線との交点の $\tan \varphi_1$ がそれである。図中の破線はこれらの交点を結んだ曲線であって、最適なリブの形状とそのときの応力集中率との関係を示すものである。

第9~11図の破線より、最適な三角形リブの形状に関して次のようなことが明らかである。

(a) 同一の曲率半径のもとでは、 $\tan \varphi_1$ は部材の剛性比が大きくなるほど小さくなる。これは、部材の剛性比が大きくなるときは、 α_{k2} が大きくなる程度よりも部材2の称呼応力の減少の程度が著しいので、両すみ肉部の最大応力が等しくなるためには、 α_{k2} が大きくなるように $\tan \varphi_1$ を小さくする必要があるわけである。

(b) 部材の剛性比が一定のもとでは、 $\tan \varphi_1$ はリブが大きくなるほど小さくなる。このことは、リブが大きくなると応力集中率は低下するが、低下のしかたは第2表からもわかるように α_{k2} のほうが α_{k1} よ

り著しく、そのために、 α_{k2} が α_{k1} と同じ割合で低下するには $\tan \varphi_1$ を小さくする必要があることから考えて理解されよう。

(c) 部材の剛性比が一定のもとでは、 $\tan \varphi_1$ はリブすみ肉部の曲率半径が大となるほど小さくなる。これは第4~6図をみると明らかであるように、曲率半径の増加による応力集中率の減少は、 α_{k2} のほうが α_{k1} よりも著しく、それゆえ、 α_{k2} と α_{k1} の減少のしかたを等しくするには、 $\tan \varphi_1$ を小さくしなければならないからである。

さらに実際の構造物におけるごとく、部材の厚さがリブの厚さよりも大になったような場合についても、全く同様の手順で、最適な三角形リブの形状を求めることができる。本報において実験を行なっている範囲では実験データが不足であるが、 γ より $(\alpha_{ki})_j$ を推定すればこの値を用いてやはり図式に求めることがで

第15図 γ と部材の厚さの関係

きる。同一曲率半径のもとでは、部材の厚さが増すと (a) において述べたと同じ理由から $\tan \varphi_1$ は小さくなることが予想される。また、一定の t/t_1 での最適なリブ形状とリブの大きさあるいは曲率半径との関係は、 $t/t_1=1$ の場合の傾向がそのままあてはまるはずである。

なお、ここで述べた三角形リブの最適形状というものは、直交する両部材でのすみ肉部の曲率半径が同一の場合であって、これが両側で異なっているような場合には、 $\rho/b, a/b$ を適当に組合わせてとることにより、任意の形状の三角形リブで、両すみ肉部の最大応力を等しくせしめることができるわけである。しかし、実際に作業する側からいえば、両すみ肉部の曲率半径が異なっているということは好ましくないであろう。ただ、変形をおさえるのがリブ補強の最大の目的であるから、変形に関してもっとも効果的なリブということを考えれば、当然、集中応力の面から両すみ肉部の曲率半径が異なってくることもあり得るわけで、この問題については、近い将来、変形を検討するときに取上げることにする。

5. 結 論

二次元光弾性実験により、直交する部材の剛性が互に異なる場合、これに直角三角形リブを補強したときに、リブすみ肉部に生じる応力集中が、リブの大きさ、形状、すみ肉部の曲率半径、両側の部材の剛性関係および部材の厚さによってどのように影響されるかを、純粋曲げを加えながら調べた。さらに、得られた結果より、両側の部材の剛性関係によって、補強すべき三角形リブの最適形状がどのように変わるかを検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 純粋曲げが作用する場合には、剛性の大きい部材の側が短辺、剛性の小さい部材の側が長辺となるように、直角不等辺三角形のリブを補強すると、両すみ肉部に生じる最大応力が均等化されて、強度上から

は有利である。

• (2) リブの大きさが一定のもとでは、応力集中率は、すみ肉部の曲率半径が小さくなるとともに大きくなり、その効果も曲率半径が小さいほど著しい。

(3) リブが小さい場合を除いては、応力集中率は、反対側の部材の剛性の影響はほとんど受けない。

(4) リブの短辺と長辺の比が一定のもとでは、応力集中率は、リブが大きくなるとともに低下し、その低下のしかたも、リブが大きくなるほどゆるやかになる。

(5) リブの大きさが一定のもとでは、応力集中率は、リブの角度が大きくなるとともに増大する。しかし、その増加のしかたは角度が大きくなるとともにゆるやかになり、 $\pi/4$ をこえると実用上は変化しないと考えてもさしつかえない。

(6) リブの形状、大きさが一定のときは、応力集中率は部材の厚さが増すとともに急速に大きくなる。部材の厚さがリブの厚さの3倍以上になるような場合には、応力集中の面からは、リブを厚くするかその数を増すことが望ましい。また、部材の厚さが大となった場合に曲げモーメントによりすみ肉部に生じる最大応力と、部材とリブの厚さが等しい場合に、同一の曲げモーメントが作用したときの最大応力の比 γ を用いれば、部材の厚さが本報での実験よりも大になった場合についても、比較的正確に応力集中率を推定できる。しかも、この γ の値は、近似的には、すみ肉部の曲率半径、リブの形状には関係なく一定と考えてよい。

(7) 最適な三角形リブの形状を与える $\tan \varphi_1 = \alpha_2/\alpha_1$ は、すみ肉部の曲率半径一定のもとでは、部材の剛性比が大きくなるほど小さくなり、さらに、部材の剛性比が一定のもとでは、リブが大きくなるほど、また、曲率半径が大きくなるほど小さくなる。

文 献

- (1) 西岡・久光, 機械学会論文集, 27-179 (昭36-10), 985.
- (2) 西岡・久光, 機械学会論文集, 29-200 (昭38-4), 657.