620.171.5:621.792.052

接合材応力の光弾性的研究*

(第2報, スカーフ接合およびバット接合)

辻 一郎**, 島田 平八***

Photoelastic Investigation of the Stresses in Cemented Joints

(2nd Report, Scarf and Butt Bondings)

by Ichiro TUZI and Heihachi SHIMADA

The stresses in cemented joints, especially those by scarf and butt bondings, were studied photoelastically. The photoelastic models were made of epoxy resin and epoxy rubber, or epoxy resin and metal, namely, each material has respective elastic constant. Tests were carried out under tension and bending on a bar bonded with various angles. The results of experiment revealed that the stress concentrations were comparatively small on the scarf or butt bonding. The other result had revealed that the stresses on bonded boundary were not uniform under tension and bending, and that in the joints with a soft adhesive layer bonded to hard adherends, the stress concentrations were found on the end of bonded boundary with an obtuse angle, and in those with a hard adhesive layer bonded to soft adherends, found on the end of bonded boundary with an acute angle.

1. はじめに

前回⁽¹⁾に引続き弾性特性の異なった接合材の接合形のうち, スカーフ接合とバット接合について, 引張りおよび曲げ荷重を与えた場合の光弾性的研究を行なった。ここで採り上げたスカーフ接合とバット接合については, 現在まで種々の研究がなされ, 理論的研究では, Lubkin⁽²⁾ や小島と井上⁽³⁾ の研究などがあるが, 被接着材が剛体であるとか, 接着層界の応力が一様で

ある等の仮定が含まれており, また形状を変えた接着層には適用できないきらいがあった。実験的研究では, Mylonas⁽⁴⁾ が金属に樹脂をバット接合した場合の

第1表 試験片の寸法と材質

試験片 系列番号	θ°	h mm	t mm	被接着材 A	接着材 B	E_a/E
I	1	30	6	5	ジュラルミン	KT-102
	2	45	6	5	$E=7\ 200^*$	$E_a=320^*$
	3	60	6	5	$\nu=0.34$	$\nu_a=0.35$
	4	90	6	5		$\alpha=0.9^{**}$
II	1	30	6	5	ジュラルミン	軟エポキシゴム
	2	45	6	5	$E=7\ 200$	$E_a=10$
	3	60	6	5	$\nu=0.34$	$\nu_a=0.45$
	4	90	6	5		$\alpha=40$
III	1	30	6	5	KT-102	軟エポキシゴム
	2	45	6	5	$E=320$	$E_a=10$
	3	60	6	5	$\nu=0.35$	$\nu_a=0.45$
	4	90	6	5	$\alpha=0.9$	$\alpha=32$
IV	1	30	6	5	KT-102	硬エポキシゴム
	2	45	6	5	$E=320$	$E_a=100$
	3	60	6	5	$\nu=0.35$	$\nu_a=0.37$
	4	90	6	5	$\alpha=0.9$	$\alpha=1.3$
V	1	30	6	5	硬エポキシゴム	KT-102
	2	45	6	5	$E=100$	$E_a=320$
	3	60	6	5	$\nu=0.37$	$\nu_a=0.35$
	4	90	6	5	$\alpha=1.31$	$\alpha=0.87$
VI	1	30	6	5	軟エポキシゴム	KT-102
	2	45	6	5	$E=50$	$E_a=320$
	3	60	6	5	$\nu=0.44$	$\nu_a=0.35$
	4	90	6	5	$\alpha=2.68$	$\alpha=0.87$

* 単位 kg/mm^2 , ** 単位 mm/kg

第1図 接合材試験片

第2図 曲げ応力荷重方法

* 昭和38年11月9日 仙台地方講演会において講演, 原稿受付 昭和39年1月7日.

** 正員, 平工業高等専門学校(平市上荒川).

*** 正員, 東北大学工学部.

$P=0.071 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.073 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.073 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.073 \text{ kg/mm}^2$

(a) III 系列, 引張り, 等色線図

$P=0.369 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.374 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.366 \text{ kg/mm}^2$

(b) N 系列, 引張り, 等色線図

$P=0.375 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.314 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.320 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.316 \text{ kg/mm}^2$

(c) V 系列, 引張り, 等色線図

$P=0.316 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.205 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.201 \text{ kg/mm}^2$ $P=0.314 \text{ kg/mm}^2$

(d) VI 系列, 引張り, 等色線図

$P=0.202 \text{ kg/mm}^2$

第 3 図 (その 1)

応力集中を光弾性実験により研究しているが, これは接着層の厚みと長さの変化による応力の影響を調べている。しかし, 設計上に採り入れる問題については, バット接合とスカーフ接合とを総合的に研究しなければならないと思われるので, 特に接着材および被接着材の弾性率を変えた場合について, 接着角度の変化による応力集中の影響を中心に光弾性実験を行ない, よりよい形の研究を目的とした。

I 系列, 引張り

第 4 図 接着層界のしま次数

II 系列, 引張り

第 5 図 接着層界のしま次数

III 系列, 引張り

第 6 図 接着層界のしま次数

IV 系列, 引張り

第 7 図 接着層界のしま次数

V 系列, 引張り

第 8 図 接着層界のしま次数

2. 実 験

実験は第 1 図に示すような試験片を用いた。図の被接着材 A および接着材 B の材質は第 1 表に示してある。

エポキシ樹脂は KT-102 (理研計器製) を使用し, またエポキシゴムは Araldite D に, Thiokol LP-3, ハードナー 930 を混合して作ったもので, その混合比を変えることによって, 各種の弾性率および光弾性感度のものを作った。試験片の詳細な寸法は第 1 表に示してある。荷重は第 1 図に示すように, 試験片の中心部を通るように加えた引張荷重と, 第 2 図に示すような曲げ荷重を加えた。

なお実験の精度を上げるために, 低荷重, 中荷重, 高荷重でしま写真を撮り, 端数の決定には Tardy の方法を用いた。ここに E_a および E は接着材および被接着材の縦弾性係数 kg/mm^2 , ν_a および ν はそれぞれのポアソン比, α は光弾性感度 mm/kg , 使用波長は $5461 \text{ \AA}$ である。

3. 引張応力による端部の影響

第 3 図の (a)~(d) は III, IV, V, VI 各系列の試験片に引張荷重を加えた場合の光弾性実験によるしま写真群を示したものである。図中の数字はしま次数を表わしている。

第 3 図 (a) は III 系列の場合のしま写真であるが、接着角度 θ が 90° すなわちバット接合の場合は、接着層端 C および D に応力の集中がみられる。 θ が 60° , 45° および 30° の場合には D 点で応力が最高になっており、また θ が 60° および 45° では接着層界のしま次数の変化は比較的少ない。しかし、 θ が 90° および 30° の場合にはしま次数の変化が多く、応力の集中がみられる。接着層界のしま次数 n を、材質を一樣とした場合のしま次数 n_0 で割った値 n/n_0 を、接着層界 C D のおのおのについてグラフに図示すると第 6 図のようになる。

VI 系列, 引張り

第 9 図 接着層界のしま次数

第 10 図 材料の変化による接着層界への影響 (引張荷重)

なお、第 4 図および第 5 図はおのおの I および II 系列のグラフである。

第 3 図 (b) は IV 系列の場合のしま写真であるが、(a) と同様 θ が 90° のときは C および D 点で、 θ が 60° , 45° , 30° のときは D 点で応力が最高になっている。このうち、特に θ が 45° および 60° のとき接着層界のしま次数の変化が小さい。これをグラフに示したものが第 7 図である。

以上 4 種の系列より、接着材 B の材質がやわらかい場合には、必ず最大応力値が D 点に生ずることがわかった。

第 3 図 (c) は V 系列の場合のしま写真である。これは被接着材 A より接着材 B の材質がかたい場合であるが、 θ が 90° すなわちバット接合のときは第 3 図 (a), (b) と同様に応力の最高値が C および D 点にみられるが、 θ が 60° , 45° および 30° の場合には、(a), (b) とは逆に C 点で応力の最高値を示す。もちろん、被接着材 A も C 点で応力が最高値を示している。また、 θ が 60° のとき接着層界のしま次数の変化が小さい。これをグラフに示すと第 8 図のようになる。

第 3 図 (d) は VI 系列の場合のしま写真である。この場合には (c) と同様に θ が 90° のときは C および D 点、 θ が 60° , 45° および 30° のときは C 点で応力が最高値を示す。また θ が 60° のとき、接着層界のしま次数の変化が小さい。これをグラフに示すと第 9 図のようになる。

第 10 図は、各系列の接着角度を変えた場合の、接着材の接着層界の最高しま次数 $n_{\max}$ を n_0 で割った値の変化を図示したものである。これによると、I, III および IV 系列はともに $n_{\max}/n_0$ の値は θ が 30° のときに最高であり、また I 系列では、 θ が 60° 付近

第 11 図 材料の変化による被接着層界への影響 (引張荷重)

$\sigma = 1.137 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.967 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 1.054 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.967 \text{ kg/mm}^2$

(e) I 系列, 曲げ, 等色線図

$\sigma = 0.049 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.054 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.053 \text{ kg/mm}^2$

(f) II 系列, 曲げ, 等色線図

$\sigma = 0.046 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.048 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.048 \text{ kg/mm}^2$ $\sigma = 0.048 \text{ kg/mm}^2$

(g) III 系列, 曲げ, 等色線図

第 3 図 (その 2)

I 系列, 曲げ

第 12 図 接着層界のしま次数

II 系列, 曲げ

第 13 図 接着層界のしま次数

で最低であり, III系列では, θ が 90° 付近で最低値を示している. またIV系列では, θ が 45° 付近で最低値を示している. II系列では, III系列と同様 θ が 30° で最低値を示しているが, θ が 45° 付近で最高値を示している. VおよびVI系列はともに, I, IIIおよびIV系列とは反対に, θ が 90° のときに $n_{\max}/n_0$ の値が最高値を示し, θ が 60° 付近で最低値を示している.

第 11 図は, 各系列の接着角度を変えた場合の被接着材の接着層界の $n_{\max}/n_0$ の変化を図示したも

V 系列, 曲げ

第 16 図 接着層界のしき次数

VI 系列, 曲げ

第 17 図 接着層界のしき次数

ときはD点で応力が最高値を示している。

第 12~15 図は, これらの n/n_0 の値を接着層界 C D のおのおのについて図示したものである。

第 3 図の (i), (j) は, V および VI 系列 (接着材 B が被接着材 A よりかたい場合) のしき写真であるが, これらも引張荷重のときと同様に, θ が 90° のとき C および D 点で応力の集中がみられ, θ が 60° , 45° および 30° の場合には, C 点が応力の最高値を示している。これらの n/n_0 の値を接着層界 C D のおのおのについて図示したのが第 16 図および第 17 図である。第 18 図は, 各系列の接着角度を変えた場合の接着材の接着層界の最高しき次数 $n_{\max}$ を, n_0 で割った値の変化を図示したものである。これによると I, II, III および IV 系列はともに θ が 90° のときに $n_{\max}/n_0$ が最高値を示し, θ が小さくなるほど $n_{\max}/n_0$ の値も減少している。ただ, IV 系列では θ が 30° で上昇が

第 18 図 材料の変化による接着層界への影響 (曲げ荷重)

見られる。しかし, V および VI 系列では逆に θ が 30° で $n_{\max}/n_0$ の値が最高値を示し, θ の値が増加するほど $n_{\max}/n_0$ の値が減少している。

5. おわりに

接合形のうち, スカーフおよびバット接合は, ラップ接合等⁽¹⁾に比し応力の集中が比較的少ない。とくに接着角度が 45° から 60° の付近で応力の集中が少ないことがわかった。ただし接着材がゴム状の場合は引張りのとき傾向が逆になっている。

しかし, Lubkin の理論のように, 引張りおよび曲げ荷重を加えた場合の応力は, 接着層の境界に沿って一様ではなく, 接着材 B が被接着材 A よりやわらかい場合には, D 点に応力の集中がみられ, また逆に接着材 B が被接着材 A よりかたい場合には, C 点に応力の集中がみられることがわかった。

接着層の厚みによる応力への影響は, なお研究する必要がある。

おわりに, ごべんたつご助言をいただいた岩手大学樋口盛一学長, 東北大学玉手統教授ならびに平工業高等専門学校佐藤光校長, 森禎教授に対し厚くお礼を申し上げます。

文 献

- (1) 辻・島田, 機械学会論文集, 29-203 (昭 38-7), 1 122.
- (2) J.L. Lubkin, *J. Appl. Mech.*, 24-2 (1957), 255.
- (3) 小島・井上, 工業化学雑誌, 61-1, (1958), 43.
- (4) C. Mylonas, *Proc. Soc. Exp. Stress Analys.*, 12 (1955), 129.