

〈論文〉

(受理：平成10年8月25日)

引張り荷重を受ける単純重ね合せ接着継手の
弾塑性有限要素応力解析と強度

樋口 泉*・沢 俊行**・鈴木 靖昭***

要 旨

弾塑性有限要素解析を用い引張り荷重を受ける同種材料の単純重ね合せ接着継手における応力解析と継手強度の予測を行った。解析においては上部被着体の端部を固定し、下部被着体の端部に引張り荷重を作用させた。引張り荷重の増加に伴い接着層界面においてははく離が進展する状況を明らかにした。はく離は荷重の増加と共に接着層端部から発生し界面に沿って中央部まで進展し中央部より接着層内部に進み継手の破壊につながる事が分かった。被着体の降伏強度、被着体の縦弾性係数、重ね合せ長さ、被着体厚さが接着界面のはく離に及ぼす影響を調べた。その結果、被着体の降伏強度、被着体の縦弾性係数、重ね合せ長さ、及び被着体厚さが増加するに従い継手強度は向上することが分かった。継手強度に関する実験を行い強度推定結果と実験結果はかなりよく一致した。

1. 緒 言

従来、接着技術の向上に伴いその利点を生かして機械構造物中に接着継手が数多く用いられるようになってきた。その利点の一つである軽量化という観点から航空宇宙産業及び自動車産業をはじめとして薄板の重ね合せ接着継手が多用されている。このため従来より引張り荷重を受ける単純重ね合せ接着継手の変形や応力に関しては有限要素法や境界要素法などによる研究¹⁻⁶⁾、及び解析的な研究⁷⁻⁸⁾など数多くなされている。しかし、荷重の増加に伴って継手、特に被着体が塑性変形を起こすことが知られ、被着体の降伏が継手強度に影響を及ぼすことも推測されるが、従来の研究の多くは弾性解析のみで被着体と接着層の塑性変形を考慮した研究はいくつか¹⁰⁻¹²⁾を除いてあまりなされていないようである。Harris, J. A. ら¹⁰⁾は、弾塑性有限要素解析を用いて単純重ね合せ接着継手の強度予測を行ない、被着体の材質によって接着層の降伏の進展状況と破壊の形態を明らかにした。網島ら¹¹⁾は有限要素法を用いて接着継手の1次元弾塑性

応力を求め亀裂の進展について明らかにしているが、被着体の降伏の影響については考慮されていないようである。沢ら¹²⁾は、被着体の降伏を考慮して単純重ね合せ接着継手の強度予測を行っているが、はく離に伴う力の釣り合いに問題があるようである。また、実際の単純重ね合せ接着継手において荷重作用に対応して接着層境界に生ずるはく離応力により接着層境界にはく離が進展すると考えられるが、従来の研究の多くではこのはく離が考慮されていないため、継手強度に関する予測値と実験結果とが必ずしもよく一致していないようである。

そこで本研究では、被着体が同種材料の場合の単純重ね合せ接着継手に引張り荷重が作用するときの接着層内(Adhesive)及び被着体(Adherend)の応力分布を、ひずみ増分理論に基づき弾塑性問題として有限要素法(有限要素コードLUSAS)により解析を行う。解析にあたって荷重の増大に伴って発生する接着層境界の接着層及び被着体の降伏開始の状態からさらに増大する荷重に対して進展する境界付近の接着層と被着体の降伏領域を明らかにして、接着層及び被着体の降伏進展過程を調べる。さらに、被着体の降伏応力、縦弾性係数、厚さ、及び重ね合せ長さなどが、接着層境界及び被着体の弾塑性応力分布に及ぼす影響を明らかにする。接着界面の降伏条件として最大主応力説及び被着体の降伏条件としてミーゼスの降伏条件を用い、段階的に荷重を増加させて

* 山梨県立甲府工業高等学校
甲府市塩部2-7-1 〒400-0026

** 山梨大学工学部
甲府市武田4-3-11 〒400-0016

*** 日本車輛製造(株)
(原稿受付日：平成10年6月22日)

いく過程において接着層境界における接着層の要素の最大主応力が接着剤の引張り強さに達したときにはく離を生じるものとしてその要素の節点を外す。さらに荷重を零から次の要素の最大主応力が接着剤の引張り強さに達するまで増大させ、順次接着剤境界層のはく離進展過程を明らかにする。さらに継手破壊に至るまでの最大負荷荷重を継手強度とし、上述の諸因子が継手強度に及ぼす影響を明らかにする。継手強度に関する実験を行い、解析結果と実験結果との比較も行う。

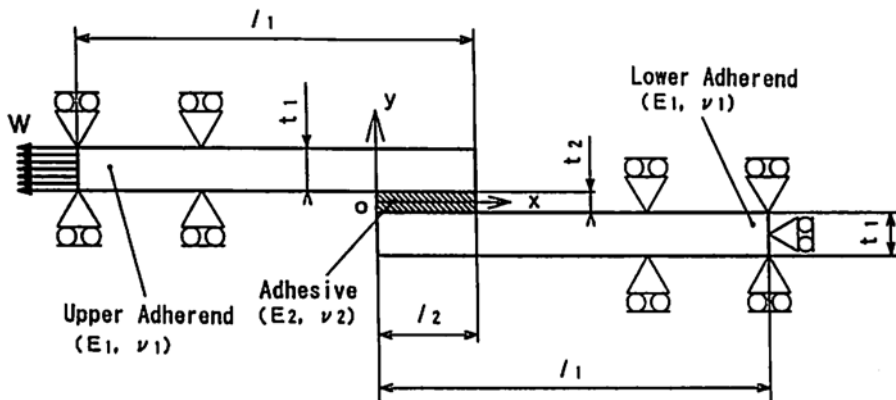
2. 解析方法

2.1 継手内の応力分布

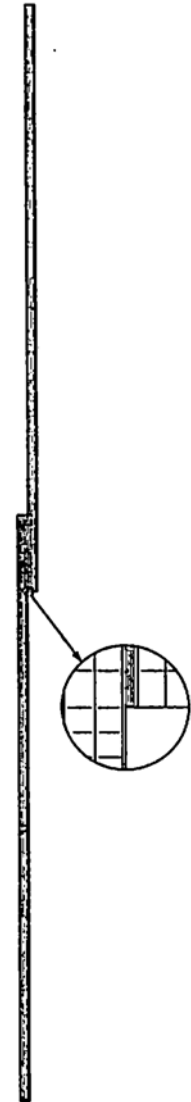
Fig. 1 (a) 及び Fig. 1 (b) はそれぞれ有限要素解析モデルの座標及び要素分割例を示す。被着体の長さ、厚さをそれぞれ l_1 及び t_1 とし、接着層のそれらをそれぞれ

れ l_2 及び t_2 とする。解析モデルは実験結果との比較のため実験に使用した被着体及び接着層の材料と寸法を同一のものとした。解析に用いた境界条件は、被着体の当て板を接着する端部から 56.5mm までの部分において Y 方向の変位を固定し、一方の被着体の端部を X 方向に固定した。他方の被着体端部に荷重 W を作用させる。四角形要素 (要素数 520, 節点数 1574) を用い、平面ひずみ状態と仮定し、弾塑性有限要素法を用いて解析を行う。なお、要素分割の寸法が継手強度に及ぼす影響についても検討する。

Fig. 2 は荷重 W の増加にともなって、接着層の降伏が進展し接着層境界端部の要素が接着剤の引張り強さに達しはく離が起こる一例を示す。はく離が生じる条件を物理的に明らかにすることは困難であるため本研究では一つの仮説として接着層境界のある要素の最大主応力が



(a) Dimensions and boundary conditions in FEM analysis.



(b) An example of mesh division.

Fig. 1 Model for analysis.

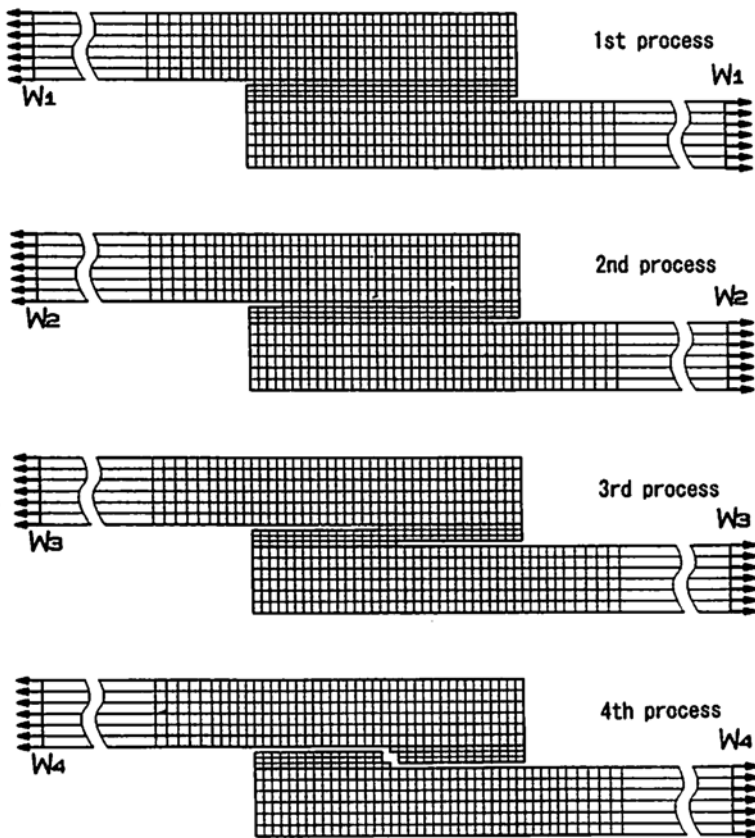


Fig. 2 Delamination progress in the model for analysis.

Table 1 Mechanical Properties of the adherends and adhesive.

	A5052	A7075	SS400	EA9430
E(GPa)	69.7	77.8	200	1.77
ν	0.314	0.308	0.291	0.370
σ_y (MPa)	262	779	425	30.4
C(GPa)	8.99	18.0	19.8	0.0304

接着剤の降伏応力を超えた後に、更に荷重 W が増加し境界面の要素がその引張り強さに達したときにはく離が生じるものとした。この後、はく離が生じた要素の節点を外し、再び荷重を零から増加させくり返し計算を行い、はく離の進展過程を明らかにする。Fig. 2 の 1st process は、荷重 W_1 の作用下で接着層境界面端部からはく離が発生した状況を示し、Fig. 2 の 2nd process 及び 3rd process は荷重 W_2 及び W_3 の作用下で接着層境界面に沿ってはく離が進展した状況を示している。Fig. 2 の 4th process は荷重 W_4 の作用下で中央部近傍より接着層内部に向かい破壊が進展し継手が破壊するまでの状況を示す。なお、はく離の先端では特異応力の発生が予測されるのでその部分の要素を細かく分割してくり返し

計算を行う。

Table 1 は解析に用いた被着体と接着層の材料定数を実験により求め、その結果を示す。被着体材料は実験との対応のためアルミニウム合金 A5052, A7075 及び軟鋼 (SS400) とし、接着剤はエポキシ系接着剤 (NAVILOC EA9430) を用いた。本研究では被着体の降伏応力の値は曲げ剛性を考慮に入れるため、3点曲げ試験により決定した。Fig. 3 は一例として被着体材料 A5052 の場合の応力-ひずみ線図を示す。有限要素解析においては破線で示される実験値を弾硬化塑性体 (実線) として近似して用いた。ここで、Table 1 中の C の値は、Fig. 3 中の材料の応力-ひずみ線図を弾硬化塑性体に近似したときの降伏後の傾き (実線) を表す。

2.2 継手強度の推定

Fig. 2 のそれぞれの過程において、接着層境界のある要素の最大主応力 σ_1 が接着剤の引張り強さに達したときの荷重を W_n ($n = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$) とする。その要素を外した計算での結果を W_{n-1}

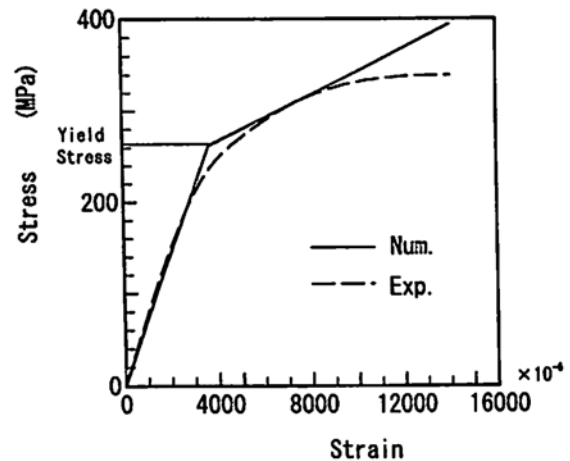


Fig. 3 Stress-strain diagram for aluminum alloy A5052.

とする時、 W_0, \dots, W_{n-1} の中での最大値 W_k ($k = 0, 1, 2, 3, 4 \dots$) を継手強度とする。

3. 実験方法

Fig. 4 は継手強度に関する実験に用いた試験片の寸法を示す。被着体の厚さ t_1 、及び重ね合せ長さ l_2 が継手強度に及ぼす影響を調べるために、 $t_1 = 1.6, 3.0$ 及び

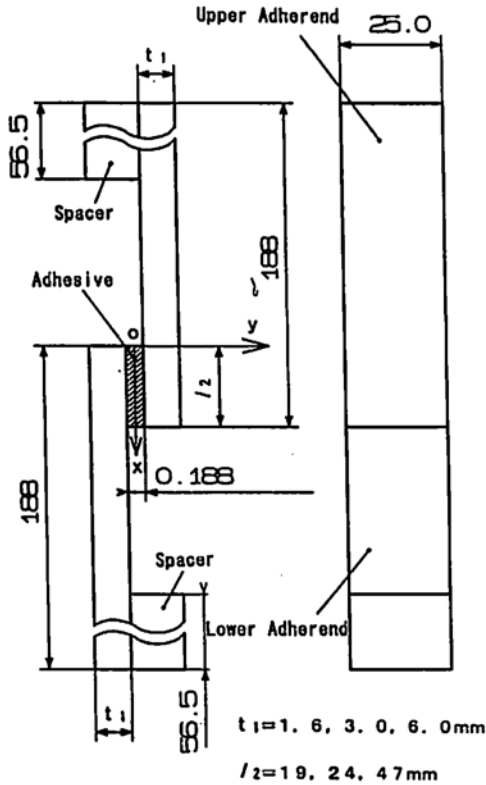


Fig. 4 Dimensions of single-lap joints used in experiment.

6.0mm, $l_2 = 19, 24$ 及び 47mm の 3 種類ずつ用意した。被着体については曲げに対する降伏応力 σ_y 及び縦弾性係数 E_1 の値が継手強度に及ぼす影響を調べるため、その材質がアルミニウム合金 A5052, A7075, 及び軟鋼 SS400 の 3 種類の場合について実験を行う。接着方法は、被着体の接着面を研磨紙で研磨後脱脂洗浄し、エポキシ系構造用接着剤 (NAVILOC EA9430) を用い 20°C で 24 時間及び 80°C で 8 時間キュアリングした。接着層厚さは接着用治具に貼り付けた粘着テープにより 0.188mm に統一した。この継手に当て板を接着し油圧式材料試験機により荷重を負荷させて継手強度の測定を行う。強度のばらつきを考慮するため、有効実験回数 30 回の結果を統計処理を行い、本研究の場合、一方法として 80% 非破壊率値を用いて継手強度の実験結果とする。

4. 解析結果及び実験結果との比較

4.1 解析結果

4.1.1 被着体の降伏応力が継手内の応力分布に及ぼす影響

実験結果との比較のため解析モデルの寸法及び材料定数は試験片のそれらと対応させた。接着層の引張り強さは実験結果より求めた値 $\sigma_{max} = 43.2$ (Mpa) とした。また、重ね合せ長さ $l_2 = 24$ mm ($l_2/l_1 = 0.125$) とした。

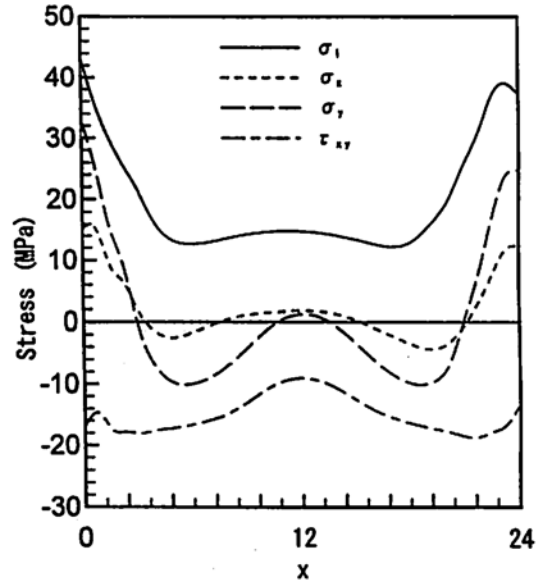


Fig. 5 Stress distributions at the interface in the case where adherends are A5052. ($\sigma_y = 262$ MPa, $E_1 = 69.7$ GPa, $y = t_2/2$, $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 0.188$ mm, $l_1 = 188$ mm, $l_2 = 24$ mm).

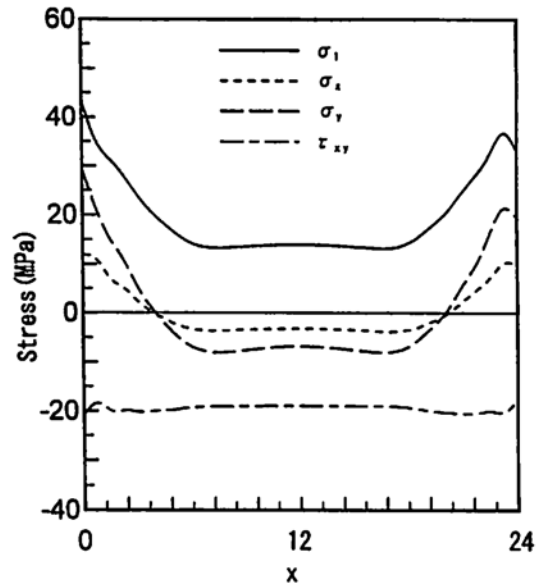


Fig. 6 Stress distributions at the interface in the case where adherends are A7075. ($\sigma_y = 779$ MPa, $E_1 = 77.8$ GPa, $y = t_2/2$, $t_1 = 3$ mm, $t_2 = 0.188$ mm, $l_1 = 188$ mm, $l_2 = 24$ mm).

Fig. 5 及び Fig. 6 はそれぞれ被着体が A5052 ($\sigma_y = 262$ Mpa) と A7075 ($\sigma_y = 779$ Mpa) の場合の接着層境界における応力分布を示す。縦軸は接着層境界における各応力成分及び最大主応力 σ_1 を、横軸は端部からの位置 x を表す。

Fig. 2 における 1st process では接着層境界で荷重を受ける側の端部が接着剤の引張り強さに到達している。この時の荷重 W の予測値は A5052 (Fig. 5) の場合

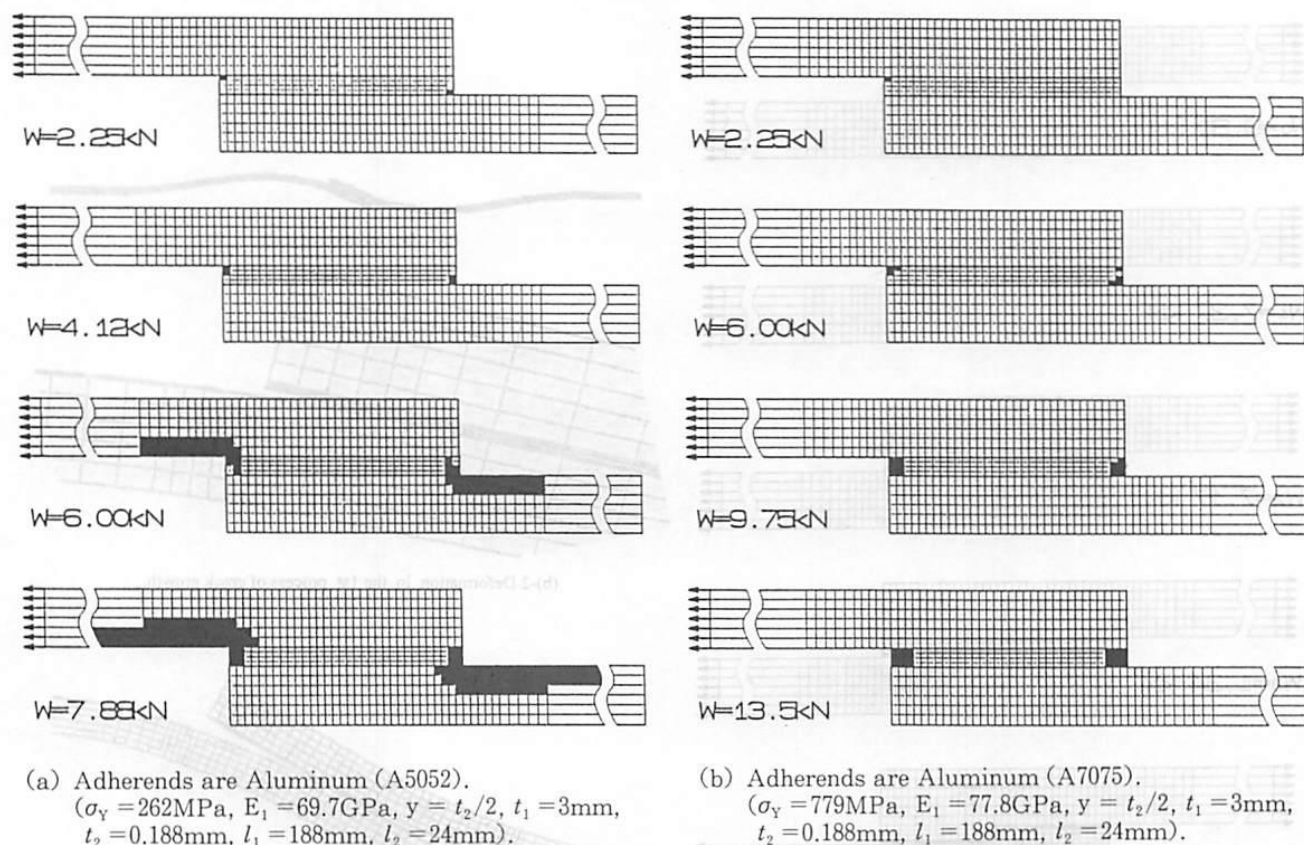


Fig. 7 Progress of the yielded region in joint.

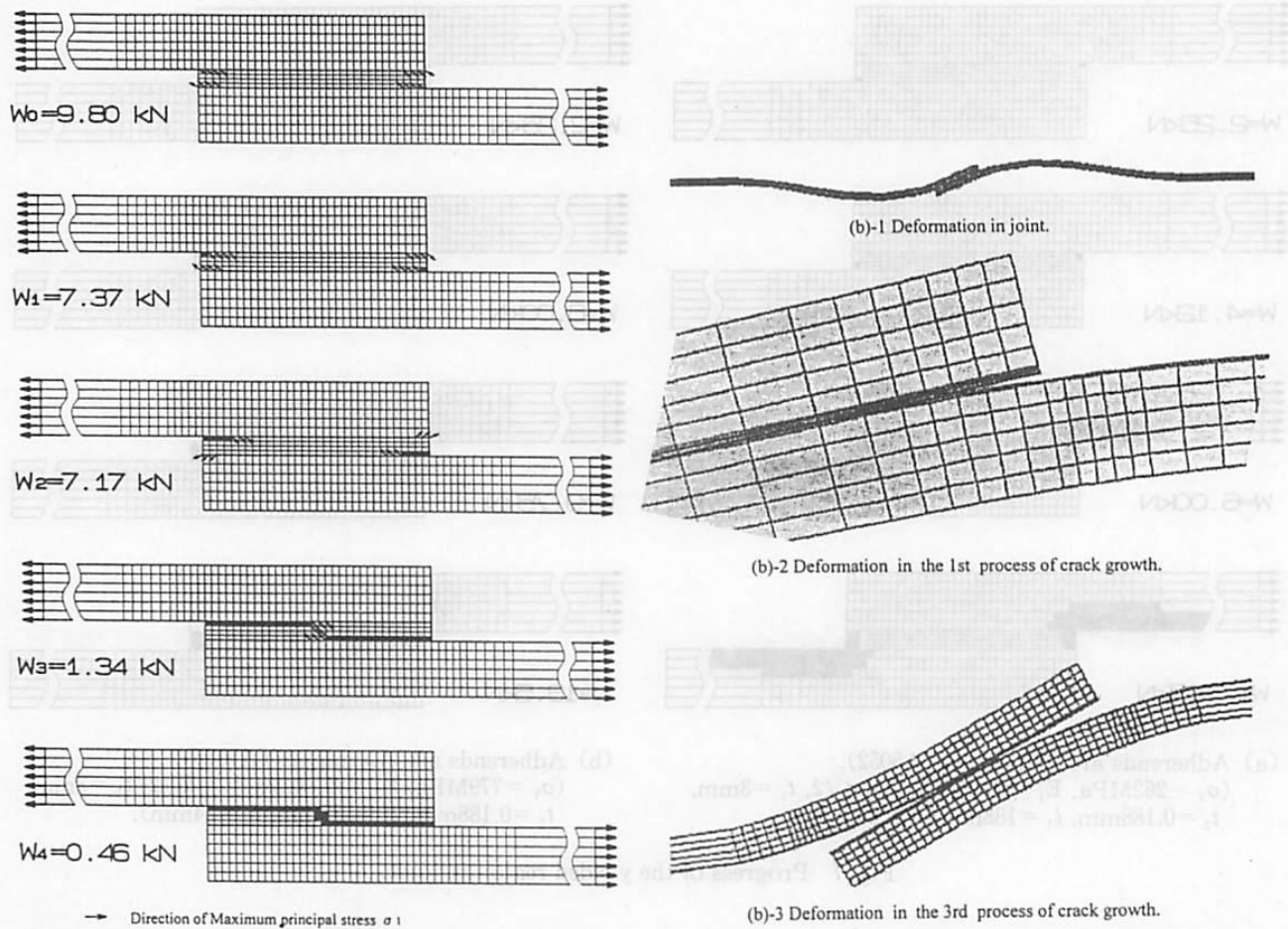
9.8kN, A7075 (Fig. 6) の場合 11.7kN となる。

接着層両界面 ($y = t_2/2, y = -t_2/2$) における各応力成分の分布は、Fig. 5 及び Fig. 6 とともに、 $x=12\text{mm}$ ($x = l_2/2$) で対称的な分布となることを確認した。破壊は接着層両端部からほぼ同時に発生すると予測される。

Fig. 7 は降伏領域の進展状況を黒色で示す。実際の数値計算における接着層厚さが被着体のそれに比べて小さい。しかし接着層と被着体の界面付近の降伏進展状況をわかりやすくするために、接着層部分を実際の寸法に比べて拡大して示している。被着体材料が A5052 材の場合 (Fig. 7 (a)) と A7075 材 (Fig. 7 (b)) の場合と比較すると各応力成分ともに接着層界面中央部において減少する傾向にあり、 σ_y の平均値が大きく、 τ_{xy} の平均値が小さくなっている。このことは、Fig. 7 においては被着体が A5052 材の場合は、荷重の増加に伴い接着層界面端部近傍の要素の降伏が進み被着体の曲げ変形が大きくなっているが、A7075 材の場合は荷重が増加しても被着体の降伏がみられず前者と比べ曲げ変形が小さくなっていることと対応すると考えられる。

Fig. 8 (a) 及び (b) は、接着剤の引張り強さに達した要素の節点を順次外した計算結果とそれぞれの要素分割例及び継手の変形の一例を示す。接着剤の降伏応力に

ついては、接着層界面端部の要素が、その要素の引張り強さに達した時の応力分布を観察すると、隣の要素の最大主応力 σ_1 が接着剤の降伏応力に達していないので、節点を外した次の計算の時には降伏応力に変更を与えなかった。被着体についても降伏応力に変更を与えずはく離の進展状況の予測を行った。Fig. 8 (a) は要素の最大主応力 σ_1 が引張り強さに達したために外した要素を黒色で示す。引張り強さに達した要素を順次外した結果が $W_0 > W_1 > W_2 > W_3 > W_4$ となっていることより、接着層境界端部の要素が計算上破壊すると、その荷重で継手全体が破壊することになる。さらには、接着層界面両端部のはく離が両界面に沿って進展し、接着層中央部で接着層内に向かって進み継手が破断にいたることも推測される。また、最大主応力 σ_1 の方向は被着体が A5052 の場合、両接着層界面端部 ($x = 0, y = t_2/2$ 及び $x = 24\text{mm}, y = -t_2/2$) においては、Fig. 8 (a) の矢線で示すようにそれぞれ x 軸より時計針の回転方向に約 31 度、211 度の方向に向かっている。また、被着体が A7075 の場合はそれぞれ約 34 度、214 度となる。この時の継手強度の予測値が、それぞれ 9.8kN (A5052)、11.7kN (A7075) となるので、最大主応力 σ_1 の方向が継手強度に及ぼす影響は小さいと予測される。



(a) Illustrations of crack growth (Adherends are A5052).
 ($E_1 = 69.7\text{GPa}$, $E_2 = 1.77\text{GPa}$, $y = t_2/2$, $t_1 = 3\text{mm}$,
 $t_2 = 0.188\text{mm}$, $l_1 = 188\text{mm}$, $l_2 = 24\text{mm}$).

(b) Deformations of joints.

Fig. 8 Illustrations of crack growth and deformations of single-lap joints.
 (Adherends are A5052.)

4.1.2 被着体の縦弾性係数の影響

Fig. 9 は被着体の縦弾性係数 E_1 が接着層境界 ($y = t_2/2$) における最大主応力 σ_1 の分布に及ぼす影響を示す。被着体の縦弾性係数 E_1 が接着層境界の応力分布に及ぼす影響を検討する。縦弾性係数 $E_1 = 69.7\text{GPa}$, 200GPa 及び 400GPa を想定した。ともに重ね合せ長さ $l_2 = 24\text{mm}$ ($l_2/l_1 = 0.125$) である。縦弾性係数 E_1 が大きくなるに従い分布が均一になる傾向がある。これは被着体の曲がり変形が小さくなるためであると推測される。

4.1.3 重ね合せ長さの影響

Fig. 10 は重ね合せ長さが $l_2 = 19, 24$ 及び 47mm ($l_2/l_1 = 0.1, 0.125$ 及び 0.25) のときの接着層界面 ($y = t_2/2$) の最大主応力 σ_1 の分布の計算結果を示す。被着体材質はともに A5052 である。荷重 W は 8.80kN , 9.80kN 及び 10.8kN となる。どの場合も、端部 ($x = 0$,

$y = t_2/2$) において特異応力が発生している。また、 l_2 が大きくなるにしたがい中央部における応力が小さくなり、分布が均一になる傾向がある。

4.1.4 被着体厚さの影響

Fig. 11 は被着体厚さ $t_1 = 1.6, 3.0$ 及び 6.0mm ($t_1/t_2 = 17, 32$ 及び 64) のときの接着層界面 ($y = t_2/2$) の最大主応力 σ_1 の分布の計算結果を示す。被着体材質はともに A5052 である。荷重 W は 8.78kN , 9.80kN 及び 13.9kN である。 t_1 が大きくなるに従いどの応力成分も特異性が緩和される傾向にある。また、 t_1 が大きくなるにつれて分布が均一になっている。これは、 t_1 が大きくなるにしたがって曲げ変形が小さくなると推測される。

4.2 継手強度について

4.2.1 被着体の降伏応力及び重ね合せ長さの影響

Table 2 は継手強度に関する実験結果 (Exp.) 及び

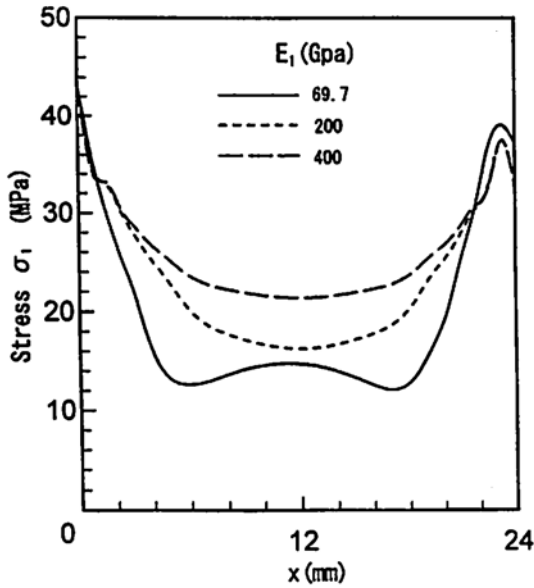


Fig. 9 Effects of Young's modulus of adherends at the interface ($y = t_2/2$).
($E_2 = 1.77\text{GPa}$, $t_1 = 3\text{mm}$, $t_2 = 0.188\text{mm}$, $l_1 = 188\text{mm}$, $l_2 = 24\text{mm}$)

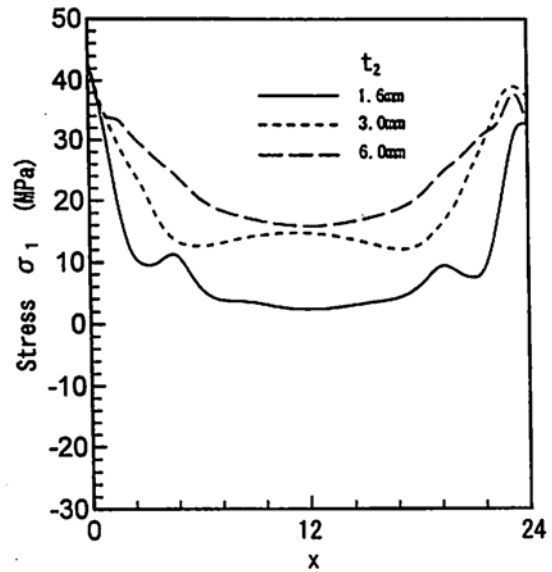


Fig. 11 Effects of the adherends thickness at the interface ($y = t_2/2$).
($E_1 = 77.8\text{GPa}$, $E_2 = 1.77\text{GPa}$, $t_2 = 0.188\text{mm}$, $l_1 = 188\text{mm}$, $l_2 = 24\text{mm}$)

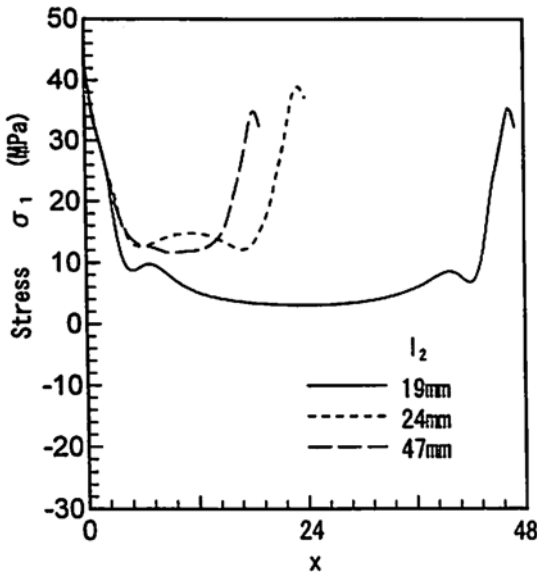


Fig. 10 Effects of overlap length at the interface ($y = t_2/2$).
($E_1 = 77.8\text{GPa}$, $E_2 = 1.77\text{GPa}$, $t_1 = 3\text{mm}$, $t_2 = 0.188\text{mm}$, $l_1 = 188\text{mm}$)

解析結果 (Num.) の比較を示す。ここで、被着体材質 A5052 と A7075 ではそれぞれの縦弾性係数 E_1 について若干の差がみられるが、降伏応力 σ_y の比は約 3 であるので、 σ_y の影響について比較できるとみなした。これより被着体の降伏応力 σ_y が大きくなるにしたがい、継手強度の向上がみられた。これは被着体が降伏すると曲げ変形が大きくなるため応力の特異性が大きくなり、接着層端部が、より小さい荷重で接着剤の引張り強さに

Table 2 Comparisons between the analytical and experimental results concerning joint strength. (Effects of lap length and yield stress of adherends.)

	l_2 (mm)	Num. kN	Exp. kN
A5052	19	8.80	9.05
	24	9.80	10.5
	47	15.5	16.8
A7075	19	9.10	9.16
	24	11.7	12.9
	47	18.7	20.4

達してしまうためと考えられる。また、重ね合せ長さ l_2 が小さいときは降伏応力の影響がほとんどみられないが、 l_2 が大きいときはその影響が大きくなる。計算結果と実験結果はかなりよく一致している。

有限要素解析における要素寸法に関しては、接着層界面端部 ($x = 0, y = t_2/2$ 及び $x = 24, y = -t_2/2$) において特異応力が発生する事が予測されるためこの周辺を細かく分割して計算を行った。接着層界面端部における要素の x 方向の最小長さを接着層の x 方向長さ $l_2 = 24\text{mm}$ に対して 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.75, 0.85 及び 1.0mm として計算した結果、接着層のはく離開始予測荷重 W はそれぞれ 6.14, 6.68, 7.16, 7.65, 8.64, 9.80, 9.91 及び 10.1kN となった。要素の最小寸法が 0.75mm より小さい時には要素寸法の変化に対して継手強度予測荷重の値の変化が大きいが、要素の最小長さ

が0.75mmより大きい時には継手強度予測荷重の値の変化が少なかった。すなわち最小要素長さを0.75mm程度にすると要素寸法が継手強度予測値に及ぼす影響は小さい。このため本研究では要素の最小寸法を0.75mmとして計算を行った。

4.2.2 被着体の縦弾性係数の影響

Table 3は被着体の縦弾性係数 E_1 が継手強度に及ぼす影響に関する実験結果(Exp.)及び解析結果(Num.)の比較を示す。これより、接着層の縦弾性係数 E_2 (=1.77GPa)を一定としたとき、 E_1 が大きくなると継手強度が向上することがわかる。これは、荷重による被着体の曲げ変形が少なく接着層端部($x=0, y=t_2/2$ 及び $x=l_2, y=t_2/2$)における応力の特異性が小さくなるためである。

Table 3 Comparisons between the analytical and experimental results concerning joint strength. (Effects of Young's modulus of adherends ($l_2=24\text{mm}$)).

E_1 (GPa)	Num. kN	Exp. kN
19	8.80	9.05
24	9.80	10.5

4.2.3 被着体の厚さの影響

Table 4は被着体の厚さ t_1 ($t_2=0.188\text{mm}$ で一定)が接着強度に及ぼす影響を示す。これより t_1 が大きくなると継手強度が向上することがわかる。4.2.1及び4.2.2項と併せて比較すると被着体の降伏応力の方が曲げ剛性EIより継手強度に及ぼす影響は大きいと推測される。なお、継手強度の実験結果の標準偏差は最も大きいもので0.949kN(A7075, $l_2/l_1=0.1, t_1/t_2=32$ の場合)、最も小さいもので0.201kN(SS400, $l_2/l_1=0.125, t_1/t_2=17$ の場合)となり、他の場合の標準偏差はこれらの間の値となった。

Table 4 Comparisons between the analytical and experimental results concerning joint strength. (Effects of adherends thickness ($E_1=69.7\text{MPa}, l_2=24\text{mm}$)).

t_1 (mm)	Num. kN	Exp. kN
1.6	8.78	9.12
3.0	9.80	10.5
6.0	14.0	14.5

5. 結 言

本研究では単純重ね合せ接着継手に引張り荷重が作用するときの継手界面の応力分布及び強度を、被着体の降伏、接着層の降伏とはく離進展を考慮し、弾塑性有限要素法(有限要素コードLUSAS)を用いて解析した。この結果以下のような結果が得られた。

(1) 継手内の応力分布を接着層境界においてはく離が生じる過程及び被着体の降伏を考慮に入れて解析した。その結果、接着層界面の破壊によるはく離進展状況及び被着体の降伏状況を数値的に示し、被着体の降伏応力、縦弾性係数、重ね合せ長さ及び厚さが、応力分布に及ぼす影響を示した。さらに、被着体の降伏応力が小さいと接着層におけるはく離が、より小さい荷重で発生することが分かった。

(2) 接着層の破壊を最大主応力説を用い、継手強度の推定を行い上述(1)に示す諸因子が継手強度に及ぼす影響を調べた結果、接着層境界における応力の特異性を小さくすることによって継手強度が向上することが推測された。さらに、被着体の曲げ剛性、及び接着層界面に進展するはく離を考慮に入れた本解析法の有効性を示し、本解析による継手強度に関する計算結果と実験結果はかなりよく一致することを示した。その結果、継手強度は被着体の降伏応力、縦弾性係数、重ね合せ長さ及び厚さが大きくなると向上することが分かった。

文 献

- 1) 杉林, 池上, 日本機械学会論文集(C編), 50-449, 17 (1984)
- 2) 服部, 日本機械学会論文集(A編), 56-523, 618 (1989)
- 3) 沢 俊行, 天摩勝洋, 岩田昭浩, 石川浩久, 日本機械学会論文集(A編), 53-487, 523 (1987)
- 4) Adams, R. D. and Harris, J. A., *J. Adhesion*, 12, 193 (1988)
- 5) Borgmeier, P. R., Devries, K. L., Strozier, J. K., and Anderson, G. P., *ASME AND*, 104, 151 (1989).
- 6) 結城, 境界要素法論文集, 7, 53 (1990).
- 7) Goland, M. and Reissner, E. J., *Appl. Mech.*, 11, 17 (1944).
- 8) Ojalvo, I. U. and Eidinoff, H. L., *AIAA*, 16-3, 204 (1987).
- 9) 永弘, 能野, 機械学会論文集(A編), 50-425, 709 (1984).
- 10) Harris, J. A. and Adams, R. D., *Int. J. Adhesion and Adhesive*, 4, 65 (1984).
- 11) 網島, 田中, 日本接着学会誌, 23-7, 256 (1987).
- 12) 沢, 鈴木, 渡邊, 堀内, 日本機械学会論文集(A編), 59-564, 1881 (1993)

<Original>

**An Elast-plastic Finite Element Analysis and Strength Prediction of
Single-lap Adhesive Joints Under Tensile Loads**

Izumi HIGUCHI*, Toshiyuki SAWA** and Yasuaki SUZUKI***

*Kouf high school of technology

** Yamanashi University

*** Nipponn Sharyou Co.lted

(Accepted for publication : August 25, 1998)

Abstract

Stress distributions of single-lap adhesive joints under tensile loads are analyzed using elast-plastic finite element method in order to predict the joint strength. The effects of yield stress, Young's modulus and tensile strength of adherends on the yielded region of the adhesive and the adherends are clarified. In addition, the crack growth process at the interfaces due to peel stress is examined. Using the crack growth process at the interfaces and the stress distributions in the joints, the joint strength is estimated. It is seen that the peel stress at the interfaces increases as the rigidity of the adherends decreases. Joint strength was measured. A fairly good agreement is seen between the analytical and the measured results of the joint strength. In addition, it is observed that the joint strength increases as the yield strength, Young's modulus and the rigidity of the adherends increase.

(Received : June 22, 1998)
