

レーザー重ね溶接継手の引張せん断荷重下の応力分布

藤本正男・高 行男

1. ま え が き

近年,自動車ボディの組み立て接合に,YAGレーザー溶接が使用されるようになってきた。レーザー溶接は,従来のスポット溶接に比べて,連続溶接やフランジを必要としない溶接も可能であり,構造設計の自由度が高く,軽量化にも有利である。

しかし,薄板を重ね合わせた継手は,引張せん断等の荷重を受けると,重ね合わせた接合内面に,比較的高い応力集中が生じるため,その応力分布の状況は,疲労強度に対する設計上の重要課題になっている^{1)~5)}。

本報では,薄鋼板の2枚重ね継手につき,引張せん断荷重下での応力分布について,有限要素法による応力解析を行ったので,その結果を述べる。

2. 解 析 モ デ ル

解析対象の継手は,図1に示すように,板厚0.7mm,板幅40mmの薄鋼板2枚を重ね代40mmで重ね合わせ,その中央にレーザー溶接を行った形状である。レーザー溶接の長さは, $\ell = 10\text{mm}, 15\text{mm}$ の2水準,溶接方向は,継手軸に対して $a = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ の3水準,また,2枚の板の重なりの際間については, $g = 0.2\text{mm}, 0.4\text{mm}$ の2水準とした。解析モデルの種類を表1に示す。

表1 解析モデルの種類,および,解析結果の最大応力

ケースNo.	溶接長さ ℓ (mm)	溶接方向 a ($^\circ$)	板間隙間 g (mm)	解析結果の最大応力 σ_x (kgf/mm ²)
1	10	0	0.2	202
2	15	0	0.2	188
3	10	45	0.2	193
4	15	45	0.2	185
5	10	90	0.2	137
6	15	90	0.2	104
7	15	0	0.4	215
8	15	45	0.4	207
9	15	90	0.4	123

解析モデルの要素分割パターン例を,図2~4に示す。解析条件は,NASTRANのCHEXA 6面体要素を用い,板厚方向に4層分割して約20,000節点のモデルとした。溶接ビードの幅は,試験片の

実測値から1.5mmに設定し、この幅を4等分した0.375mmが、最小要素の一辺の長さとした。継手の長手軸方向に、引張荷重 $P=300\text{kgf}$ を加え、線形解析を行った。材料定数には、 $E=21,000\text{kgf/mm}^2$ 、 $\nu=0.3$ を使用した。

3. 解析結果と考察

3.1 解析結果の表示

各解析モデルについて、解析結果を、図5～13に示す。各図の応力分布はいずれも、最大応力が生じる接合内面での分布状況である。各図の(a)は、von Misesの相当応力で表示した分布図である。(b)は、接合内面における軸応力 σ_x の軸方向の分布を示す。図の横軸は、原点をレーザ溶接止端部内の中心(半円Rの中心)にとって示した継手軸に沿う方向の座標である。一方、(c)は、接合内面における幅方向応力 σ_y の軸方向の分布を示し、横軸は、図(b)と同じである。なお、図13のみは、von Misesの応力分布は割愛した。

3.2 応力分布の傾向

図5～13に示した応力分布は、いずれも荷重として $P=300\text{kgf}$ の値を仮に与えて得た線形解析結果の応力分布であり、応力の数値そのものは最大 200kgf/mm^2 前後の高い値を示しているの、鋼板の強度から見ると実情の数値とは異なるが、分布の傾向については比較できるので以下に考察する。

各ケースのvon Misesの応力分布、あるいは軸応力 σ_x の分布において、最大値はいずれも接合内面の溶接端部に発生している。軸応力 σ_x の分布から最大値の値を読み取った数値を表1の右欄に示す。また、このグラフを図14に示す。

図14より、溶接方向 a の変化について、他のパラメーターが同じケース同士で比べて見ると、継手軸に沿った 0° のケースの場合に、いずれも最も高い応力が発生している。また、 0° と 45° における最大応力の差は少ないが、 90° の応力はかなり低くなっている。これは、von Misesの応力分布を見て分かるように、 0° 、 45° の場合は、溶接先端近傍で、非常に局所的な応力集中が見られるが、 90° の場合には、溶接端に応力集中は現れているものの、継手軸に直角方向の溶接線に沿った部分に、比較的応力の高い領域が広く見られるので、溶接端部の応力集中は、 0° 、 45° に比べ、低めに抑えられているものと考えられる。

一方、溶接長さ l が、10mmと15mmでは、10mmの応力の方が高くなっており、それぞれ、 $a=0^\circ$ では7.4%、 45° では4.3%、 90° では31.7%高くなっている。

また $l=15\text{mm}$ の場合、板間隙間 g が0.2mmと0.4mmを比べると、 $g=0.2\text{mm}$ の方が、 $a=0^\circ$ では8.8%低く、 45° では10.6%、 90° では15.4%低くなっている。

3.3 公称応力の検討

次に、公称応力の考え方を検討した。まず、継手の一枚の板の断面積 $A=bt$ は、 $40 \times 0.7 = 28 \text{mm}^2$ であるから、加えた荷重 $P=300 \text{kgf}$ を A で割った平均の引張応力 σ_0 は、

$$\sigma_0 = P/A = P/bt = 300/28 = 10.7 \text{ kgf/mm}^2$$

である。一方、継手の板の荷重線との偏心量 $e=t/2$ を考慮すると、曲げモーメント $M=P \cdot e = P \cdot t/2$ によって生じる曲げ応力は、断面係数 $Z=bt^2/6$ であるから、

$$\sigma_b = M/Z = 6M/bt^2 = 3P/bt$$

となる。接合内面の応力について、単純に、上で求めた平均引張応力と曲げ応力を重ね合わすと、継手の公称応力 σ_{0b} として、

$$\sigma_{0b} = \sigma_0 + \sigma_b = 4P/bt$$

が得られる。従って、今回の場合、

$$\sigma_{0b} = 4 \times 300/40 \times 0.7 = 42.9 \text{ kgf/mm}^2$$

となる。この値と、今回のモデルの解析で得られた最大応力を比べると、厳密ではないが、応力集中率に類する値として、2.4～5倍の数値が得られていることが分かる。

4. 結 言

レーザ溶接で接合した薄鋼板の2枚重ね継手について、有限要素法による応力解析を行った結果、9種の継手形状のケースについて、応力分布及び、応力集中の傾向を把握することができた。

今後、これらの結果がレーザ溶接構造の設計において参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 板垣 修 他：薄鋼板YAGレーザ重ね溶接継手の強度特性，日本機械学会1999年度年次大会講演論文集，pp.173-174 (1999)
- 2) Wang, P.C. and Ewing, K.M. : A Comparison of Fatigue Strength : Laser Beam vs. Resistance Spot Welds, *Welding Journal*, Vol.70, No.10, pp.43-47 (1991)
- 3) 小野守章 他：薄鋼板レーザ重ね溶接継手の強度特性，溶接学会論文集，Vol.14, No.3, pp.586-591 (1996)
- 4) 高 行男，藤本正男，井藤賀久岳，田浦謙一，土屋 寛：レーザ重ね溶接継手の疲労強度特性（第1報，亜鉛めっき鋼板の基本特性），No.31，中日本自動車短期大学論叢，pp.13-19 (2001)
- 5) 田浦 謙一，高 行男，藤本正男，井藤賀久岳，土屋 寛：薄鋼板レーザ溶接重ね継手の引張せん断疲労強度，自動車技術会2001年春季大会学術講演会前刷集，No.18-1，Paper No.20015081，pp.1-4 (2001)

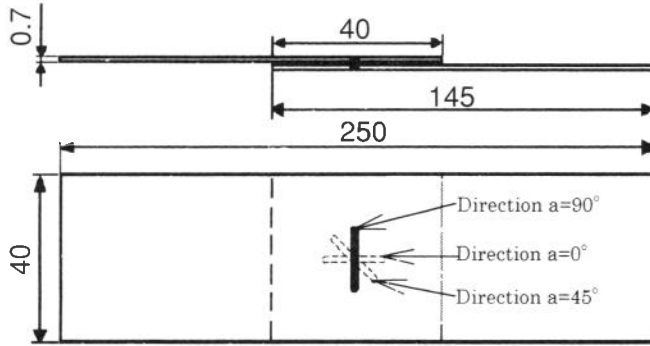
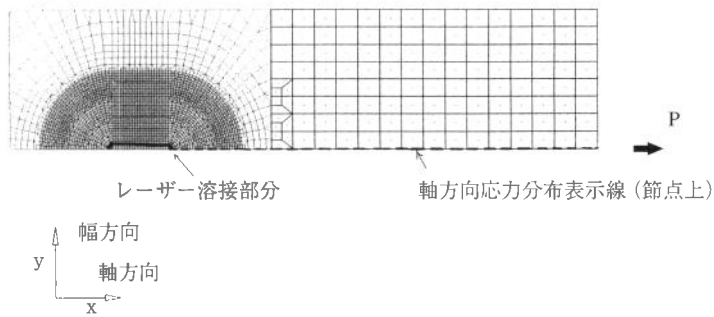
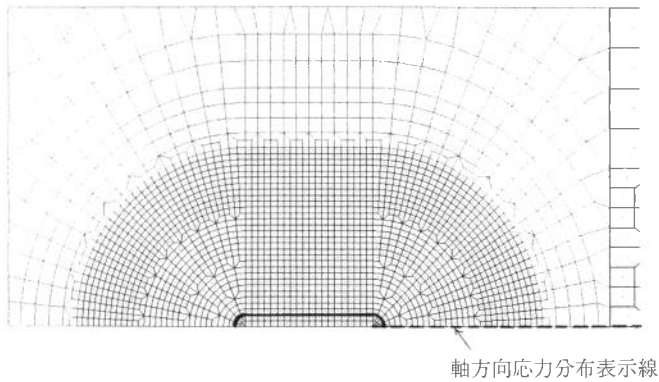


図1 解析対象のレーザー溶接継手



(a) 継手片面の要素分割 (1/2モデル)



(b) 溶接部近傍の分割拡大 (1/2モデル)

図2 ケース1 ($l=10\text{mm}$, $a=0^\circ$, $g=0.2\text{mm}$) の解析モデル

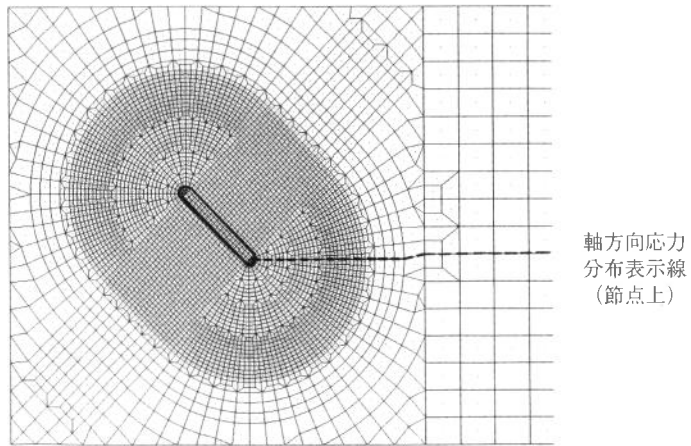
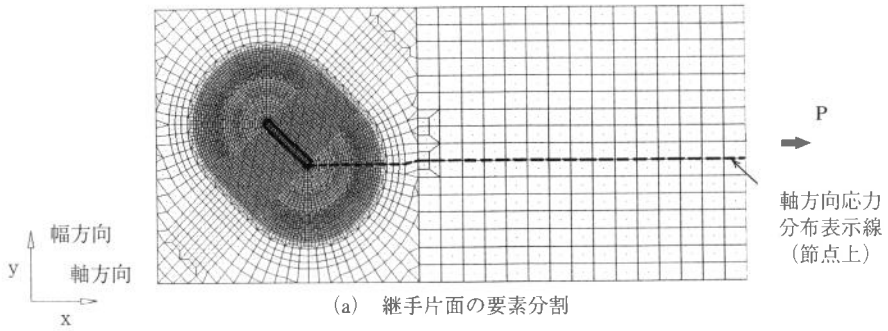


図3 ケース3 ($\ell=10\text{mm}$, $a=45^\circ$, $g=0.2\text{mm}$) の解析モデル

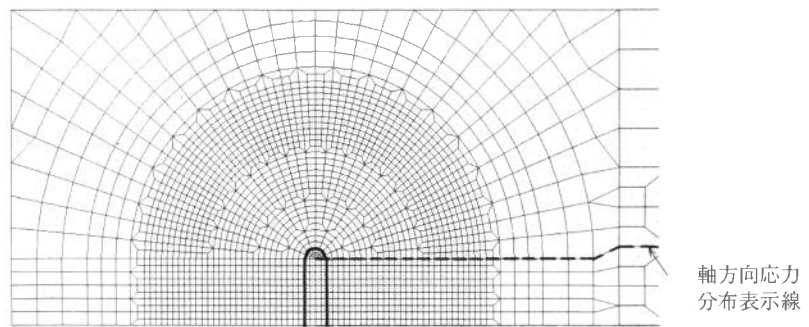
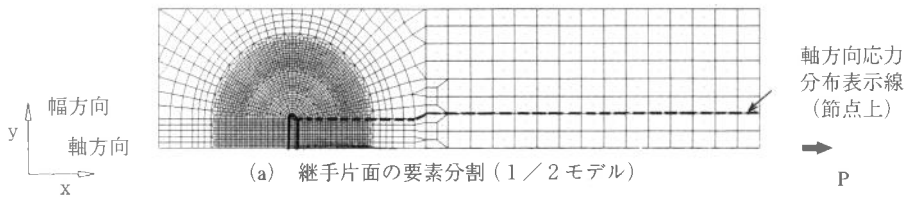
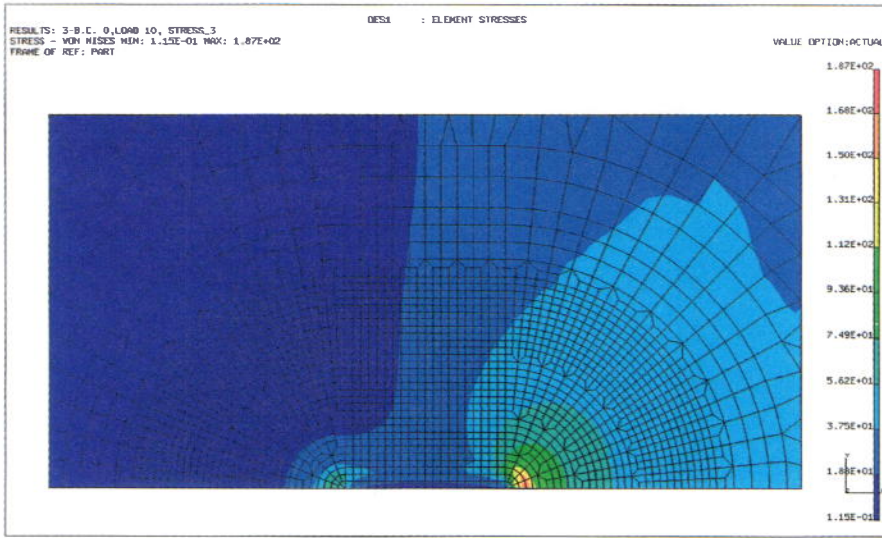
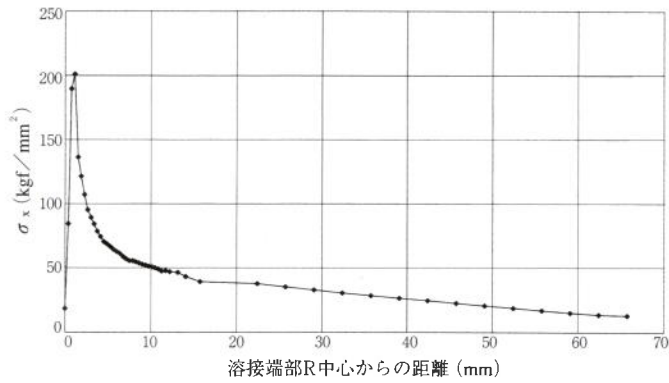


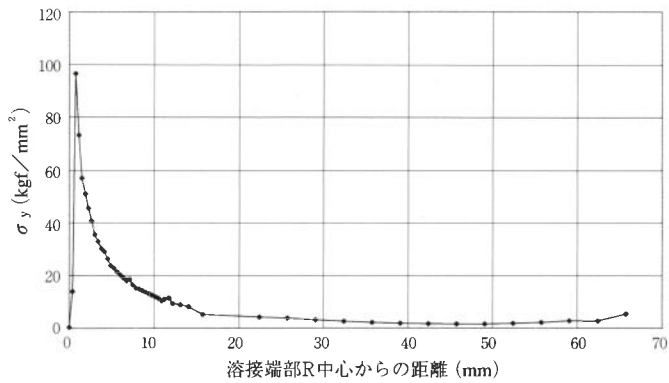
図4 ケース5 ($\ell=10\text{mm}$, $a=90^\circ$, $g=0.2\text{mm}$) の解析モデル



(a) von Misesの応力分布

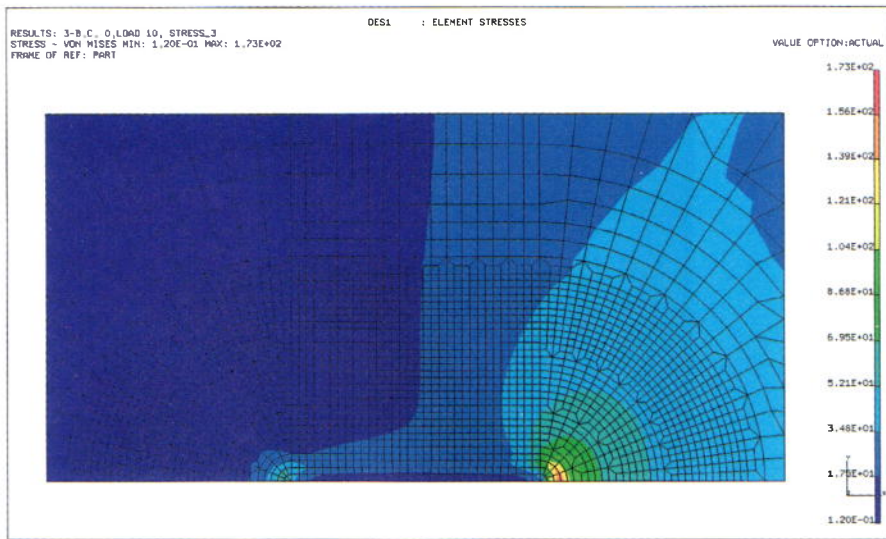


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

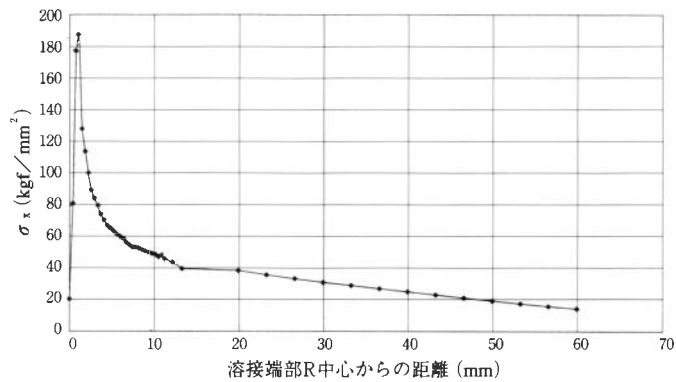


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

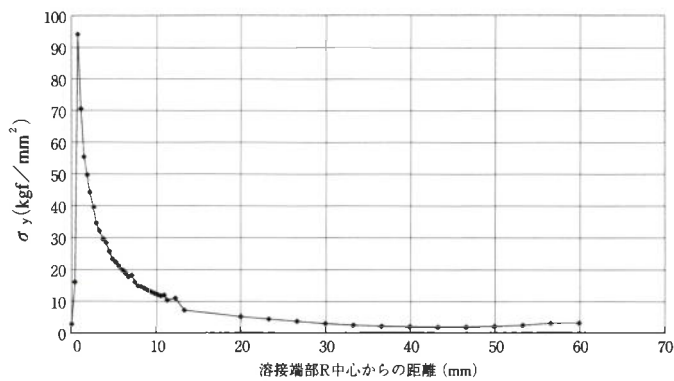
図5 ケース1 ($\ell = 10\text{mm}$, $a = 0^\circ$, $g = 0.2\text{mm}$) の応力分布



(a) von Misesの応力分布

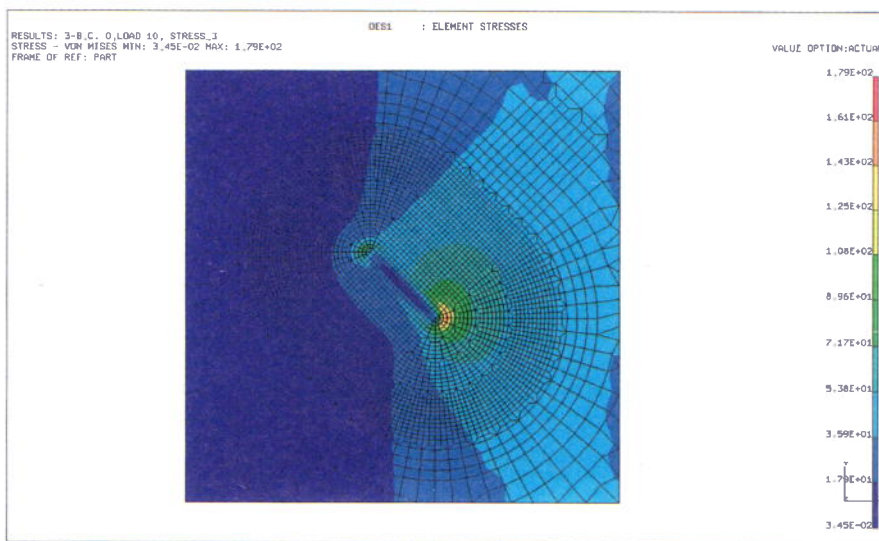


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

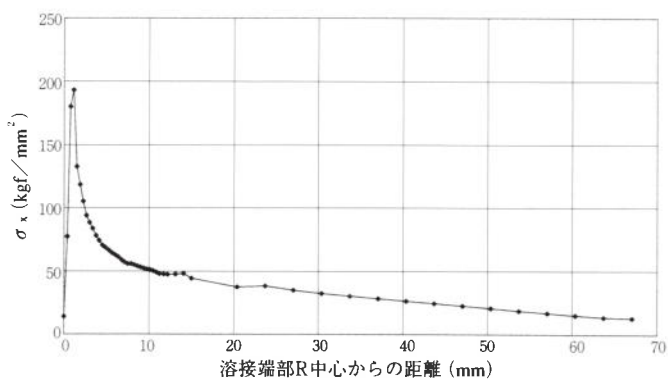


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

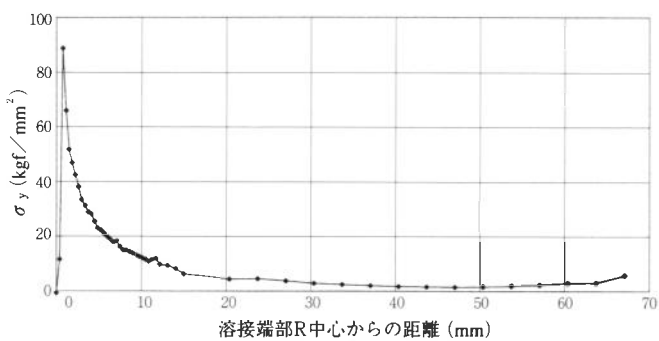
図6 ケース2 ($\ell=15\text{mm}$, $a=0^\circ$, $g=0.2\text{mm}$)の応力分布



(a) von Misesの応力分布



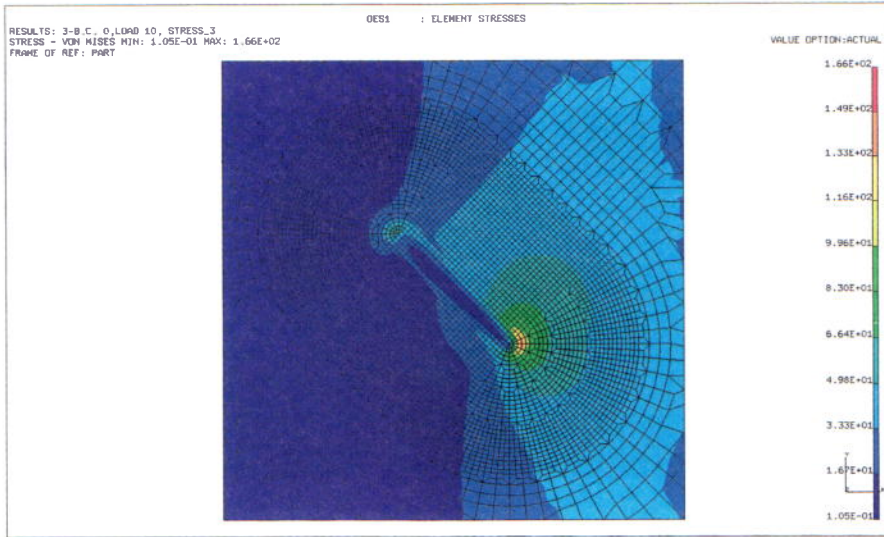
(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布



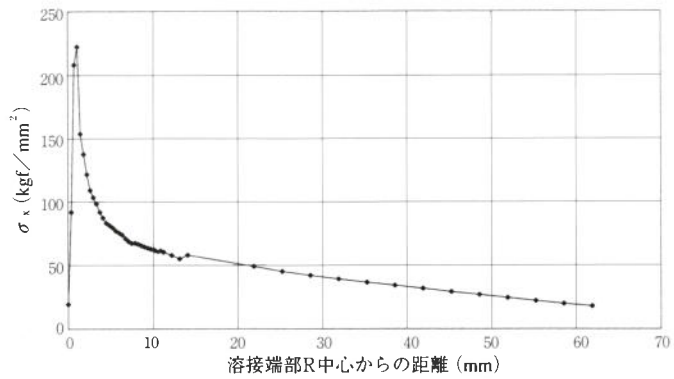
(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

図7 ケース3 ($\ell=10\text{mm}$, $a=45^\circ$, $g=0.2\text{mm}$) の応力分布

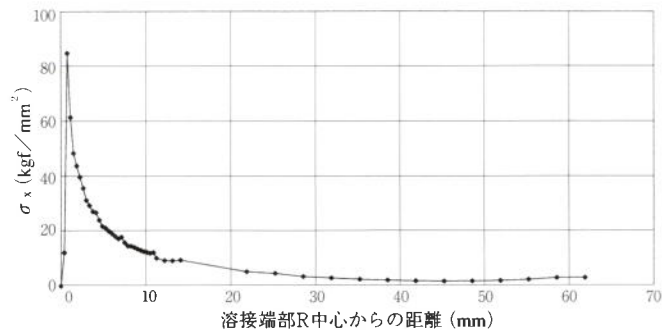
藤本正男・高 行男：レーザー重ね溶接継手の引張せん断荷重下の応力分布



(a) von Misesの応力分布

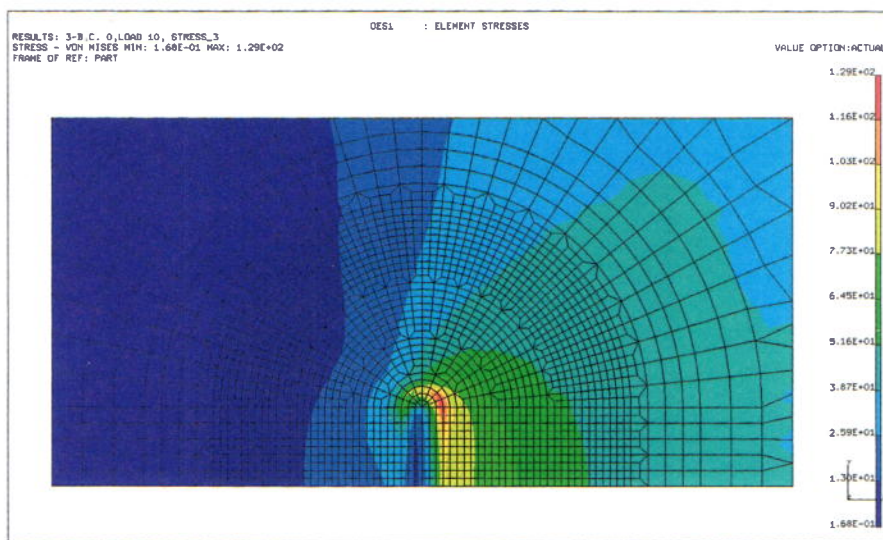


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

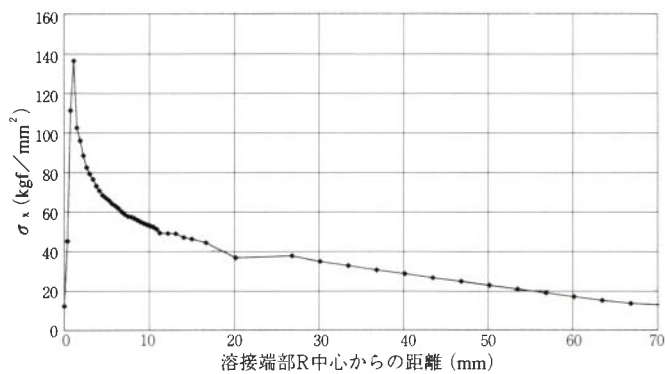


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

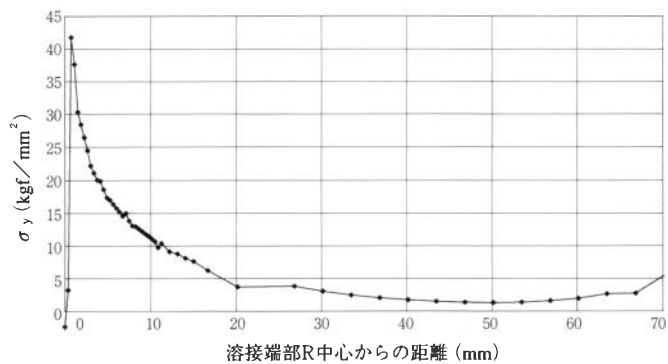
図8 ケース4 ($\ell = 15\text{mm}$, $a = 45^\circ$, $g = 0.2\text{mm}$)の応力分布



(a) von Misesの応力分布

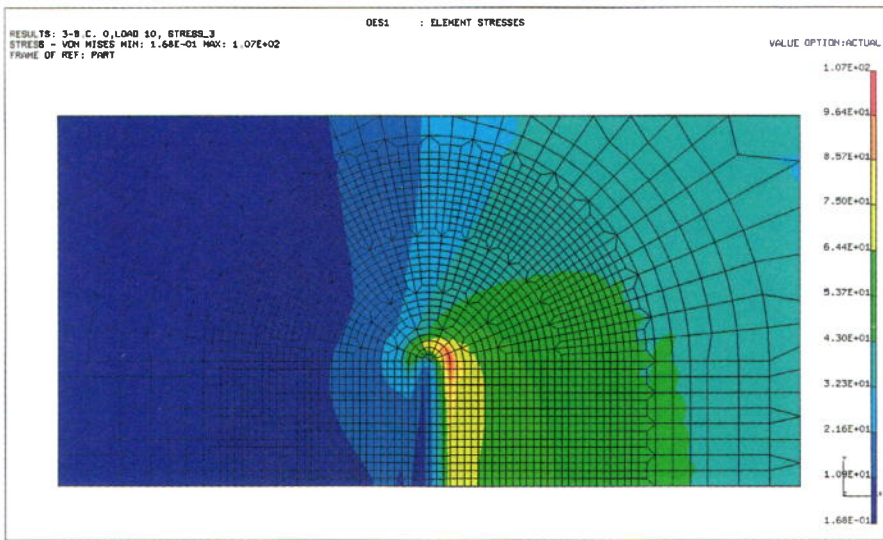


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

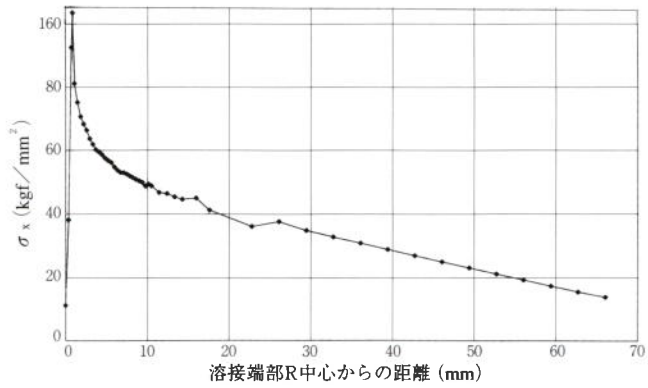


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

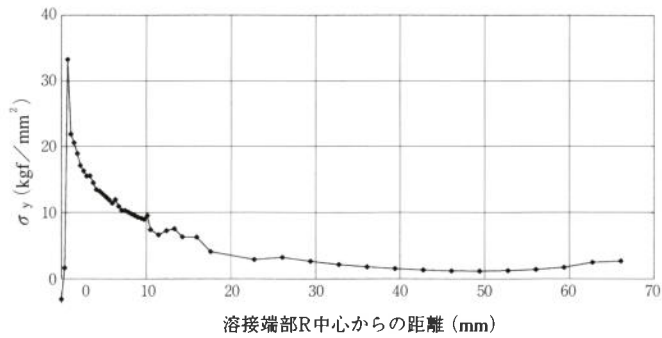
図9 ケース5 ($l=10\text{mm}$, $a=90^\circ$, $g=0.2\text{mm}$) の応力分布



(a) von Misesの応力分布

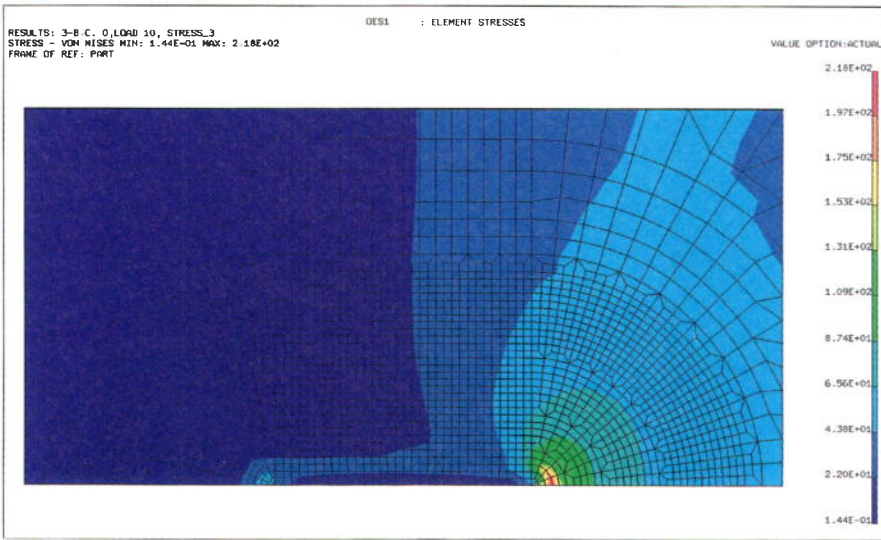


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

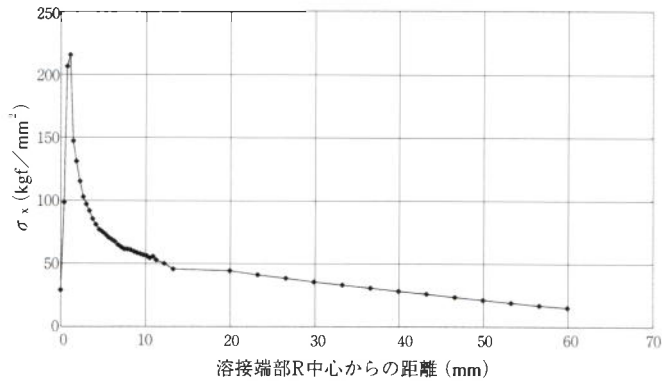


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

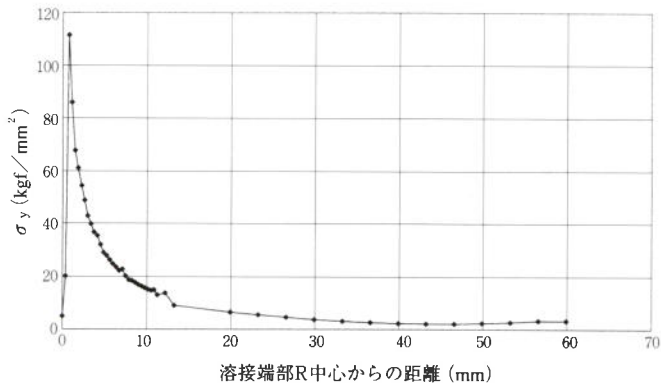
図10 ケース6 ($l=15\text{mm}$, $a=90^\circ$, $g=0.2\text{mm}$)の応力分布



(a) von Misesの応力分布

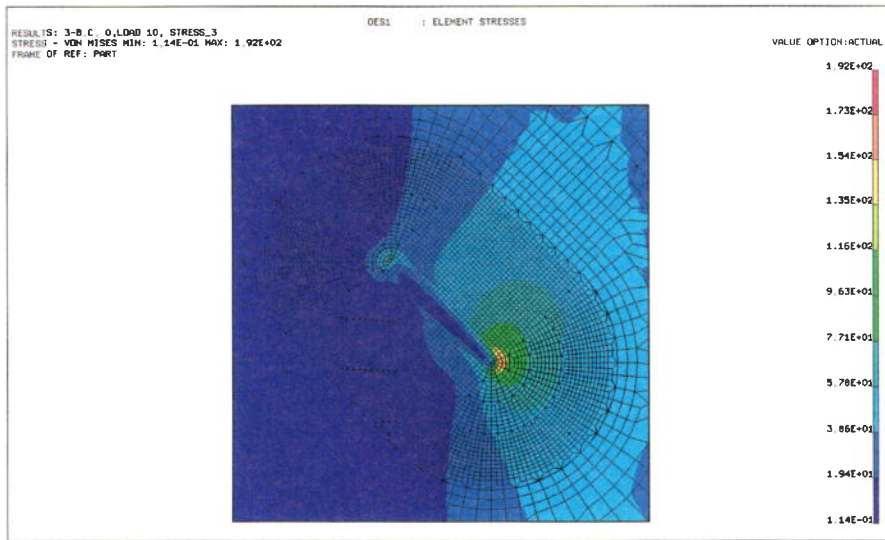


(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布

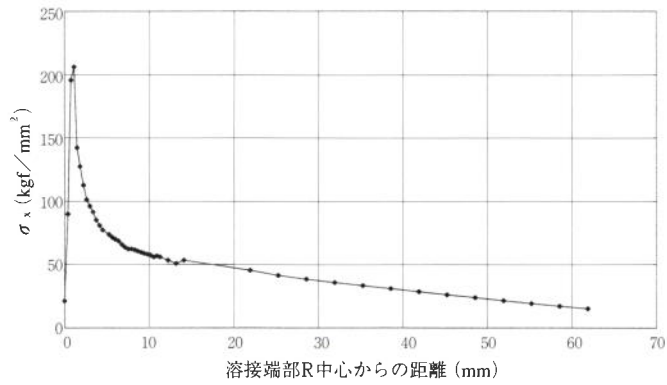


(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

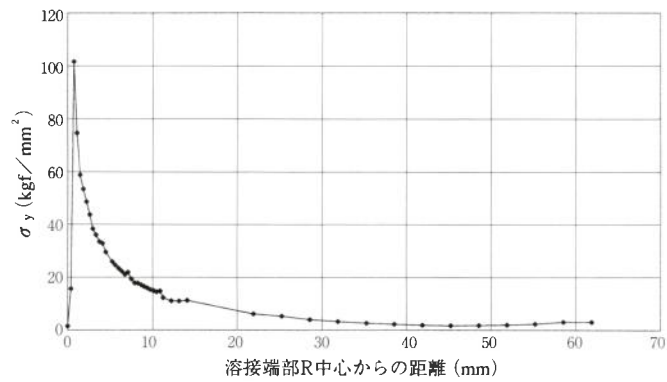
図11 ケース7 ($\ell = 15\text{mm}$, $a = 0^\circ$, $g = 0.4\text{mm}$) の応力分布



(a) von Misesの応力分布



(b) 接合内面の軸応力 σ_x の軸方向分布



(c) 接合内面の幅方向応力 σ_y の軸方向分布

図12 ケース 8 ($\ell = 15\text{mm}$, $a = 45^\circ$, $g = 0.4\text{mm}$) の応力分布

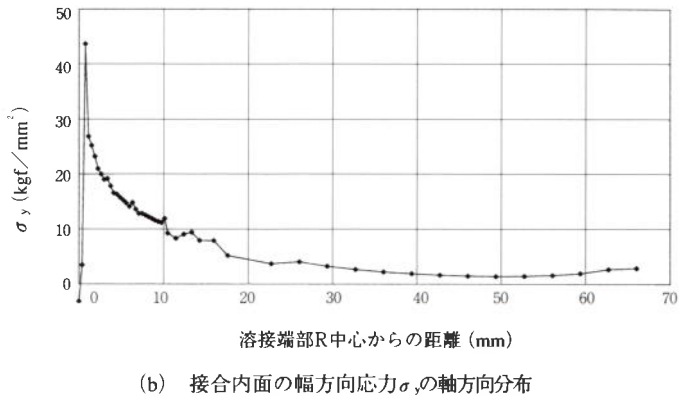
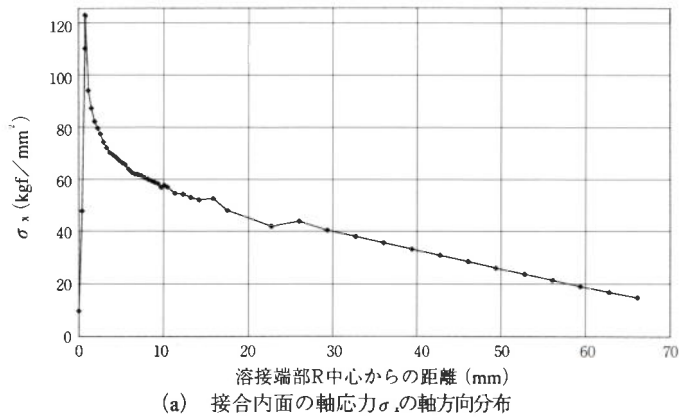


図13 ケース9 ($\ell = 15\text{mm}$, $a = 90^\circ$, $g = 0.4\text{mm}$) の応力分布

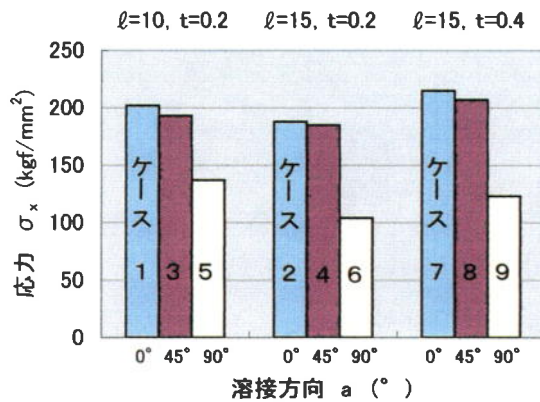


図14 最大応力値の比較