

# レーザ重ね継手の引張せん断強度

## Tensile Shear Strength of Laser Lap Joints

宮 崎 康 信<sup>\*(1)</sup>  
Yasunobu MIYAZAKI

古 迫 誠 司<sup>\*(2)</sup>  
Seiji FURUSAKO

### 抄 録

レーザ重ね継手の引張せん断試験を行い、破断位置と最大荷重の溶接長さ、溶接幅依存性を明らかにするとともに、実験結果を再現する力学モデルについて述べた。溶接長が試験片幅の60%以上あり、溶接幅が板厚に対し2倍程度あれば、継手強度は母材強度に比例して高くなった。力学モデルは、継手を一軸応力の作用する母材、引張曲げ状態のR部およびせん断応力の働く溶接金属に分割して考察したもので、軟鋼の場合に、引張せん断試験における継手の破断挙動を概略再現した。

### Abstract

Tensile shear test were carried out for laser lap joints and dependency of fracture portion and maximum load on weld length and weld width were specified. And also, a mechanical model was discussed, which corresponds to tensile shear test. Joints with weld length over 60% of specimen width and weld width of 2 times of sheet thickness show the strength proportional to tensile strength of steel. A mechanical model consider a lap joint as three parts of base metal, portion R and weld metal. And it deal with a uni-axis tension for base metal, a stretch-bending stress for portion R and tensile shear stress for weld metal, respectively. This mechanical model successfully describes behavior of lap joints of mild steel sheet in tensile shear test.

## 1. はじめに

自動車車体の組み立て溶接には、従来、主に抵抗スポット溶接が使われてきた。これに対し近年、欧州の自動車メーカーを中心に、レーザ溶接でスポット溶接を代替している例がみられる<sup>1)</sup>。レーザは非接触で溶接可能であり、また片側からのアクセスで溶接できる。欧州メーカーは、スポット溶接での電極損耗を回避できるところに生産コスト上の利点を見いだしているという。一方、ハイドロフォーム部材など閉断面部材と他部材との溶接や、連続溶接化による部材強度向上といった利点は、あまり具体化されていないようである。これは、不具合の生じた場合にスポット溶接で補修可能な部位への適用に留める傾向があること、連続溶接化の利点が明確でないことによると考えられる。

更にレーザ溶接では、スポット溶接のように、溶接部の形状に軸対称性がないことから、溶接長さや溶接ビード幅の他、溶接方向など継手強度を左右するパラメータが多く、レーザ溶接部がどの程度荷重を負担できるのか、必ずしも明らかではない。これに対し、筆者らは文献<sup>3)</sup>において、継手強度を予測する手法を報告した。本論文では、回帰を一部見直し、より簡便に溶接ビードの寸法と継手強度との関係を明らかとすることを試みた。

## 2. レーザ重ね継手のせん断強度

### 2.1 実験方法

レーザ重ね継手の引張せん断強度を実験的に調べた。表1に、供試鋼板の機械的特性と化学成分を示す。鋼板板厚は1mmに統一し、鋼材強度を300MPaから800MPaまで変化させた。図1は、引張せん断試験を行った試験体の模式図である。溶接には加工点出力1.6kWのNd-YAGレーザを用い、溶接ビードの寸法が継手強度に与える影響を明らかにするために、溶接長と溶接幅を変化させた。溶接長は、試験片の全幅を溶接した50mm長と、一部を溶接した30mm長の2種類である。また、溶接速度を1.6m/minと0.7m/minの2種類

表1 供試鋼板の機械的性質  
Mechanical properties of steels used

Steel	Thickness (mm)	YP (MPa)	TS (MPa)	Elongation (%)
A	1	142	301	49
B	1	339	472	34
C	1	392	629	33
D	1	435	794	24

<sup>\*(1)</sup> 鉄鋼研究所 接合研究センター 主幹研究員  
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511 TEL:(0439)80-2301

<sup>\*(2)</sup> 名古屋技術研究所 主任研究員

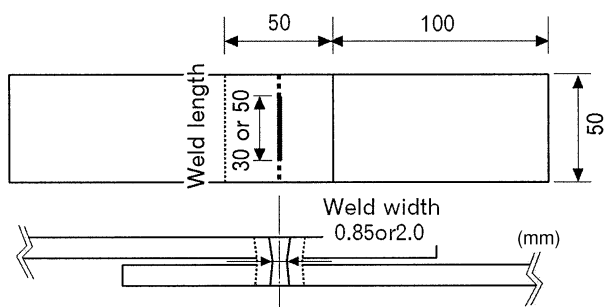


図1 レーザ重ね継手の引張せん断試験体模式図  
Schematic diagram of laser lap joint for tensile shear test

表2 引張試験片を作成した溶接条件  
Welding conditions for tensile test specimens

Beam source	2kW Nd-YAG laser
Laser power at work (kW)	1.6
Focal position	Surface of upper sheet
Beam waist diameter (mm)	0.5
Welding speed (m/min)	0.7, 1.6
Weld width on sheets interface $W_b$ (mm)	2, 0.85
Weld length $L_b$ (mm)	30, 50

に変化させることで、銅板重ね部での溶接ビード幅( $W_b$ )を0.85mmと2.0mmに作り分けた。溶接条件を表2にまとめる。

引張せん断試験は、室温にて引張速度を10mm/min一定として行い、継手の負担できる最大荷重を計測した。また、試験片の変形を記録することを狙い、十分変形するまで载荷した後未破断のまま引張試験を終了し、断面観察を行って溶接部周りの変形を記録した。

## 2.2 引張試験結果

レーザ重ね継手の引張せん断試験において、破断は母材(BM)、溶接金属(WM)および溶接部近傍(以下、R部と表記)で生じた。各破断状態の外観写真と模式図を図2に示す。破断するまでに継手の負担できた最大荷重(以下、継手強度と表記)と、鋼材強度の関係を図3に示す。本図において、破線は母材強度と試験片断面積の積、従って母材で破断する場合に示す継手の最大荷重(以下、母材の引張強さ(Tensile Strength: TS)と混乱しない限り、母材強度と表記)を示している。

図3に示すとおり、溶接幅が2.0mmで、溶接長が50mm、即ち試験片の全幅が溶接されている場合、破断は母材またはR部で生じ、継手強度は母材強度と同等であった。一方、溶接幅が0.85mmで溶接長が50mmの場合、破断は鋼材Aを除き、溶接金属で生じたが、継手強度は鋼材強度が上がるほど高い値を示し、母材強度からの大きな低下は認められなかった。一方、鋼材Aの破断はR部で生じ、継手強度は、母材強度と同等であった。

溶接長が30mmで溶接幅が2.0mmの場合、全ての鋼種において継手はR部で破断し、継手強度は鋼材強度が上がるほど高くなった。一方、溶接長が30mmで溶接幅が0.85mmの場合、鋼材Aを除き、破断は溶接金属で生じた。しかしながら継手強度は、溶接長50mmの場合と異なって鋼材強度には依存せず、鋼材強度が上がってもほとんど変わらなかった。また、鋼材Aについては、ビード幅が0.85mmであってもR部で破断した。

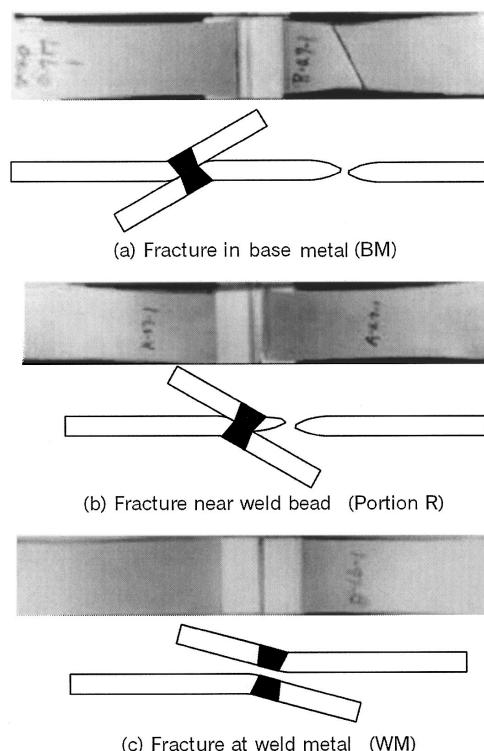


図2 レーザ重ね継手の引張せん断試験における破断形態  
Fracture mode of laser lap joint in tensile shear test

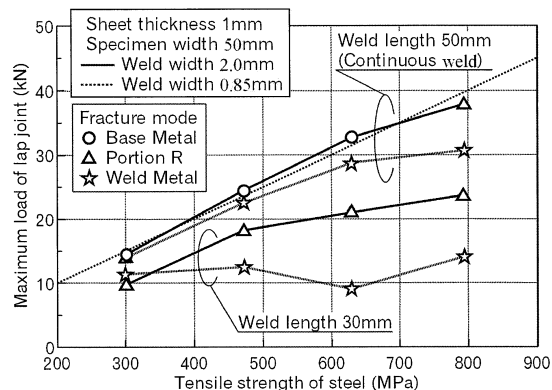


図3 レーザ重ね継手引張せん断強度の鋼材強度依存性  
Dependency of laser lap joint strength on tensile strength of steel

## 2.3 载荷による変形

図4(a)は、引張試験における変形の様子を、断面観察を通して示したものである。試験片は、鋼材Aで作成されており、溶接幅2.0mmで全幅溶接されている。引張前には、载荷される鋼板の板厚中心は左右でずれており、溶接金属を中心とした回転モーメントが生じる。その結果、最大荷重まで引張られた状態では载荷される鋼板の板厚中心が揃うまで変形した。一方、図4(b)に示す溶接幅が0.85mmの試験体では、左右の板厚中心が揃う前に、溶接金属で破断した。

## 3. 重ね継手引張せん断の力学モデル

種々の溶接長さ、溶接幅や試験片幅について、実験的に継手強度を求めることは可能であるが、かなりの労力を要する。そこで以下、引張载荷時に継手に働いている応力状態を考え、継手強度を予

測するモデルの構築を試みる。

### 3.1 各部の応力状態のモデル化

図4に示した試験片の変形の様子は、載荷中の試験片を三つの部分に分けて考えられることを示唆する。すなわち、図5に示すように、溶接金属部、R部、母材部である。各部の応力状態を単純化し、個別に考えることによって、一定荷重下での各部の応力状態を推定することができる。

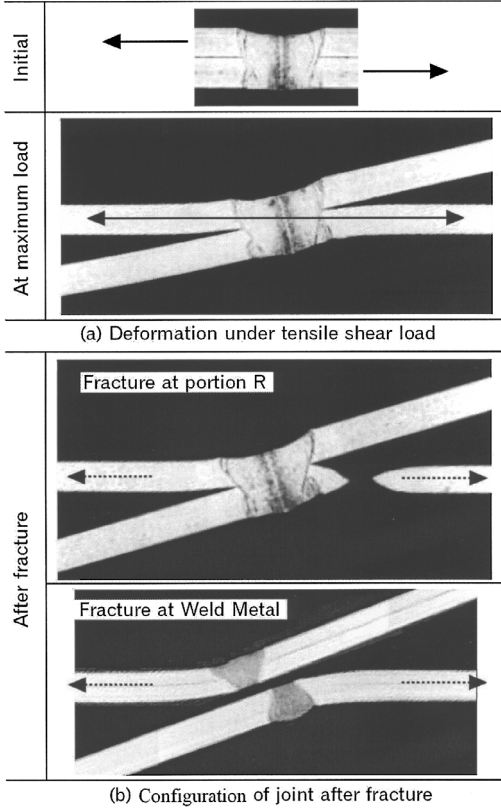


図4 引張せん断力載荷時の試験片形状の変化と破断後の試験片断面形状

Deformation of lap joint under tensile shear load and configuration after fracture, through cross-section of joint

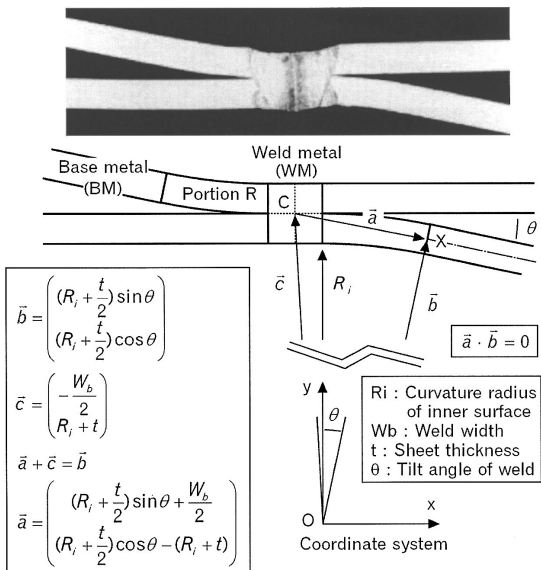


図5 継手部の単純化モデルと形状に対する幾何学的要求  
Simplified model of joint and geometric demand for configuration

### 3.1.1 母材部に働く応力

十分な溶接長と溶接幅があり、図2に示したように、破断が溶接部から離れて生じる場合、母材部には、一枚板の引張試験時と同等の、一軸引張応力が働いていると考えられる。従って外力 $T$ が荷重された場合に、母材部に働く応力 $\sigma_B$ は、次式で見積もることが出来る。

$$\sigma_B = \frac{T}{W_s \cdot t} \tag{1}$$

ここで $W_s$ は試験体の幅であり、 $t$ は板厚である。

また、母材に働く応力 $\sigma_B$ と、鋼材強度 $TS_{BM}$ の比として無次元変数 $\beta$ を導入する。すなわち、

$$\beta = \sigma_B / TS_{BM} \tag{2}$$

このとき $\beta$ は0~1の範囲をとり、 $\beta = 1.0$ まで応力が上昇すると溶接継手は母材で破断する。

ところで(1)および(2)式より応力 $\sigma_B$ を消去すると、外力 $T$ は、荷重の大きさを示す無次元変数 $\beta$ を用いて次式のように表現される。

$$T = \beta \cdot TS_{BM} \cdot W_s \cdot t \tag{3}$$

### 3.1.2 R部に働く応力

R部については図6に示すように、引張曲げ状態にあるものと単純化する。これは少なくとも、溶接金属や母材部との接続部を別にして、それらの中間点では良い近似と考えられる。破断は図4(b)に示したように、溶接金属から少し離れた曲率を有する部位で生じることから、R部についてのこの取り扱いは、どこで破断するかを取り扱うモデルとしては十分であろう。

曲げ変形の一般的な解析手法に従い、伸びも縮みもしない中立面 $R_e$ を想定する。この中立面の内側では圧縮応力が働いており、外側では引張応力が働いている。

曲率中心から距離 $r$ にある面の円周方向のひずみ $\varepsilon(r)$ は、伸び縮みが無い中立面の曲率半径を $R_e$ とすると、

$$\begin{aligned} \varepsilon(r) &= \frac{r \cdot \theta - R_e \cdot \theta}{R_e \cdot \theta} \\ &= \frac{r - R_e}{R_e} \end{aligned} \tag{4}$$

- T : Tensile load
- $\sigma(r)$  : Stress at curvature radius r
- $R_i$  : Curvature radius of inner surface
- $R_e$  : Curvature radius of neutral plane
- $R_m$  : Curvature radius of center plane
- r : Curvature radius of plane under consideration
- a : Distance from neutral plane to center plane
- $\eta$  : Distance from neutral plane to a plane under consideration

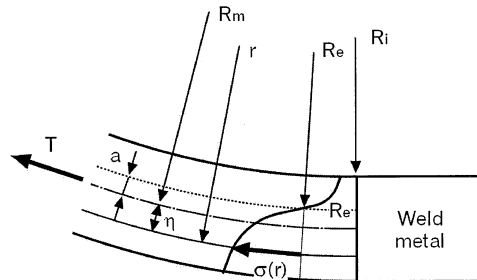


図6 R部諸量の定義  
Definition of parameters at portion R

で与えられる。

また図6に示すように、R部内表面の曲率半径 $R_i$ と、中立面の曲率半径 $R_e$ および中立面と板厚中心との距離 $a$ との関係は、

$$R_e = R_i + t/2 - a \quad (5)$$

で与えられる。

更に、応力とひずみの間によく使われる関係式を用いて、円周方向の応力 $\sigma(r)$ と円周方向のひずみ $\epsilon(r)$ の関係を次式で表現する。

$$\sigma(r) = F \cdot \epsilon^n(r) \quad (6)$$

ここで $F$ は縦弾性係数あるいはヤング係数であり、 $n$ は加工硬化係数である。

以上の準備のもと、引張荷重 $T$ と釣り合うための条件として、R部における円周方向応力の積分値が引張荷重 $T$ と等しくなるものとする次式を得る。

$$T = L_b \int_{R_i}^{R_i+t} \sigma(r) dr \quad (7)$$

ここで $L_b$ は溶接長である。(4)、(5)および(6)式を用いれば、積分は容易に実行されて次式を得る。

$$T = \frac{L_b \cdot F}{n+1} \left(\frac{1}{R_e}\right)^n \left\{ \left(a + \frac{t}{2}\right)^{n+1} - \left| a - \frac{t}{2} \right|^{n+1} \right\} \quad (8)$$

但し、板厚 $t$ は変形において不変とした。

$\sigma(r)$ は外表面で最大値をとり、その値を $\sigma_R$ とすると、次式で与えられる。

$$\sigma_R = F \cdot \left( \frac{t/2 + a}{R_i + t/2 - a} \right)^n \quad (9)$$

ここで、 $\sigma_R$ がR部の材質で決まる引張強さ $TS_R$ に達したときにR部で破断が生じるものとする。

### 3.1.3 溶接金属に働く応力

図4(b)に、溶接金属で破断した場合の、破断部の断面写真を示したが、溶接金属は大きな変形を受けずにせん断破断していることがわかる。引張荷重 $T$ が働いているとき、溶接金属に働く平均のせん断応力 $\tau$ は、次の(10)式で表現される。

$$\tau = \frac{T \cos \theta}{L_b \cdot W_b} \quad (10)$$

$$= \frac{\beta \cdot TS_{BM} \cdot W_s \cdot t}{L_b \cdot W_b} \cos \theta \quad (11)$$

ここで $\theta$ は図7で定義されている、引張によって生じた試験片の回転角度であり、 $W_b$ は鋼板間での溶接幅である。また、(10)式から(11)式への変換では、式(3)により、荷重の大きさを表す無次元変数 $\beta$ を用いた。

せん断破断するときのせん断応力は、引張破断するときの引張強

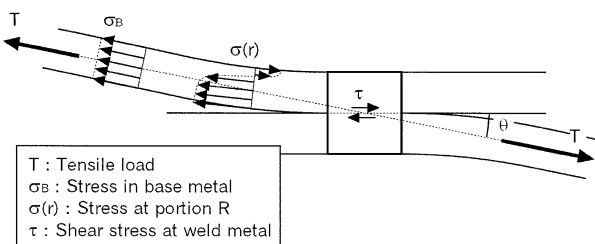


図7 継手各部の応力状態  
Stress state at each part of joint

さの $1/\sqrt{3}$ 倍で見積もることができる。一方、引張強さ $TS$ は、ビッカース硬さ $H_V$ と良い比例関係を示すことが知られており、応力の単位をMPaとすると、 $TS = H_V / 3 \times 9.8$ で関係づけられる。そこで、溶接金属の硬さ $H_{V_{WM}}$ を測定すれば、溶接金属が耐えられる最大のせん断応力 $\tau_{max}$ を次式によって見積もることができる。

$$\begin{aligned} \tau_{max} &= TS_{WM} / \sqrt{3} \\ &= \frac{H_{V_{WM}} / 3 \times 9.8}{\sqrt{3}} \\ &= 1.9 \cdot H_{V_{WM}} \text{ (MPa)} \end{aligned} \quad (12)$$

(11)式で与えられるせん断応力 $\tau$ が、(12)式で与えられる $\tau_{max}$ に達した時、継手は溶接金属でせん断破断すると推定される。

ところで(11)式に従って溶接金属に働くせん断応力 $\tau$ を見積もるためには、試験片の回転角 $\theta$ を知る必要がある。

### 3.1.3 引張荷重と試験片の回転角との関係

図5において、溶接金属とR部および母材が形状的に滑らかに接続される、すなわち母材部とR部との境界線が引張軸と直交するものとする。ところで、溶接金属の中心Cから母材とR部との境界線の板厚中心Xに至るベクトル $\vec{a}$ と、R部の曲率中心Oから点Xに至るベクトル $\vec{b}$ を求めることは容易である。これらベクトルは、十分に変形が進み、左右の鋼板の引張軸が一致した状態では直交することになる。この幾何学的要求は、曲率中心Oから溶接金属の中心Cに至るベクトル $\vec{c}$ を用いて次式で表現される。

$$\begin{aligned} \vec{a} \cdot \vec{b} &= (\vec{b} - \vec{c}) \cdot \vec{b} \\ &= \left(R_i + \frac{t}{2}\right) \cdot \left\{ (1 - \cos \theta) \cdot R_i + \frac{t}{2} + \frac{W_b}{2} \sin \theta - t \cos \theta \right\} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$R_i + t/2$ は、正定値であるので、

$$R_i = \frac{t \cos \theta - \frac{t}{2} - \frac{W_b}{2} \sin \theta}{1 - \cos \theta} \quad (13)$$

を得る。(13)式より明らかなように、溶接幅 $W_b$ が広いほど、同じ角度の変形でも曲率半径 $R_i$ は小さくなることが予想される。

図8は、表1に示した供試鋼板で作成したレーザ重ね継手の引張試験において、十分に回転変形が進むまで載荷した後に除荷し、断面検鏡を行って測定した $R_i$ と $\theta$ の関係を示す。また、(13)式より求める、 $R_i$ と $\theta$ の関係を曲線で合わせて示している。図8は、実験に

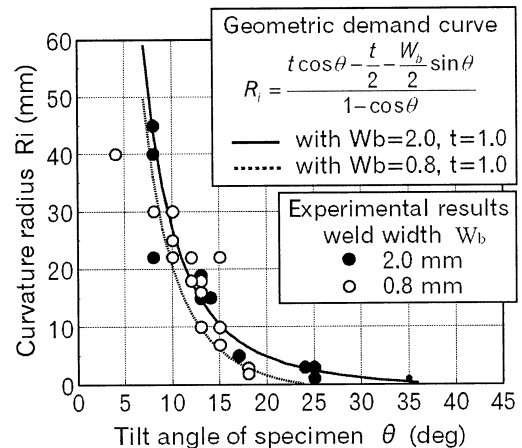


図8 引張せん断試験における試験片の回転角と曲率半径の関係  
Relationship between curvature radius  $R_i$  and tilt angle  $\theta$  in tensile shear test

より求められた $R_i$ と $\theta$ の関係が、幾何学的要求である(13)式から求まる関係とよく合っていることを示している。

次に、引張荷重 $T$ と曲率半径 $R_i$ あるいは、回転角 $\theta$ との関係を求める必要がある。文献3)では、载荷された荷重の無次元変数である $\beta$ を用いて次のように回帰を行っていた。

$$R_i = 147.84 - 147.93\beta \frac{W_s}{L_b W_b^{0.2}} \quad (14)$$

ところで、(13)式は $\theta$ を $R_i$ の関数として解くことはできず、(14)式より決まる $R_i$ に対して、 $\theta$ を決定する作業が若干面倒になる。そこでここでは、無次元変数 $\beta$ に対して、 $\theta$ を直接決定することを試みることにし、回帰関数として次式を用い、係数 $\alpha$ を決定した。

$$\theta = \alpha \frac{\beta^{1.5}}{(L_b/W_s)^{1.5} (W_b/t)^{1.0} TS \text{ (MPa)}^{1.25}} \quad (15)$$

図9は、図8と同じ実験結果について、実測の回転角 $\theta$ と(15)式において、 $\alpha = 45\,000$ とした回帰値との関係を示している。両者が概略一致することが確認できる。

### 3.1.4 R部の機械的性質

R部は、溶接熱影響部(Heat Affected Zone: 以下HAZと略記する)を含んでいることから、R部の機械的特性は一樣ではない。溶接金属に隣接するHAZの機械的特性は、溶接金属のそれとほぼ等しく、溶接金属から遠ざかるにつれて母材のそれに漸近する。ところで図4に示したようにR部での破断は、溶接金属による塑性変形の拘束のため、溶接金属との隣接部では生じず、少し離れた場所で生じる。そこで破断部の機械的特性として母材の機械的特性と溶接金属のそれとの平均的な値を仮定する。すなわちR部の引張強さ $TS_R$ として、

$$TS_R = (TS_{BM} + TS_{WM}) / 2 \quad (16)$$

また、一樣伸び $UE_R$ として、

$$UE_R = (UE_{BM} + UE_{WM}) / 2 \quad (17)$$

ここで $TS_{BM}$ 、 $TS_{WM}$ 、 $UE_{BM}$ および $UE_{WM}$ については実測値を用いる。

R部について引張強さと一樣伸びが求まると、縦弾性係数 $F$ と加

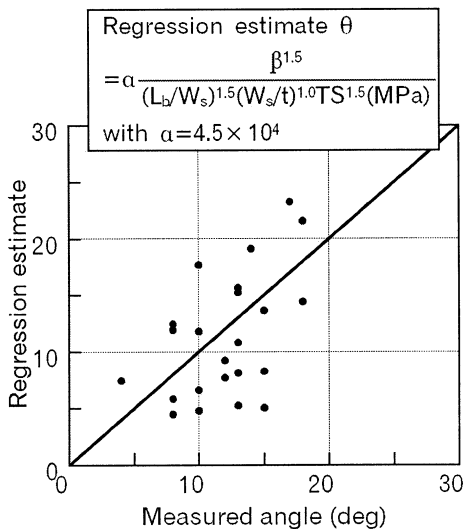


図9 引張せん断試験における試験片回転角の回帰分析  
Regression analysis of specimen tilt angle in tensile shear test

工硬化係数 $n$ を次式で見積もれ、R部のひずみと応力との関係(6)式を利用できる。

$$F = TS_R \cdot (e/n)^n \quad (18)$$

$$n = \ln(1 + UE_R) \quad (19)$$

ここで $e$ は自然対数の底である。

### 3.2 継手の破断位置と強度の推定

以上の結果を改めてまとめる。板厚 $t$ で、幅 $W_s$ の試験片を重ね、レーザを用いて重ね溶接を行い、幅 $W_b$ で長さ $L_b$ の溶接ビードを形成し、引張せん断試験を行うことを考える。無次元変数 $\beta$  ( $\beta = 0$  to  $1$ )を用いると、引張载荷中の各部の応力状態と、破断条件は以下の通り推定される。

母材部の応力 $\sigma_B$ は、母材の引張強さを $TS_{BM}$ とすると、(2)式より、

$$\sigma_B(\beta) = \beta \cdot TS_{BM} \quad (20)$$

母材の破断は、 $\beta = 1$ の時に生じ、 $\sigma_B$ は次式を満足する。

$$\sigma_B(1) = TS_{BM} \quad (21)$$

R部の外側表面に働く応力は、R部の縦弾性係数 $F$ 、加工硬化係数 $n$ 、および引張強さ $TS_R$ を、(16)~(19)式によって見積もった上で、(9)式で与えられる次式を用いて決定できる。

$$\sigma_R(\beta) = F \cdot \left( \frac{t/2 + a(\beta)}{R_i(\beta) + t/2 - a(\beta)} \right)^n \quad (22)$$

ここで、(15)式より試験片の回転角 $\theta$ を $\beta$ の関数として求め、R部の内側曲率半径(図5参照) $R_i$ は(13)式を用いて決定する。すなわち、

$$\theta(\beta) = \alpha \frac{\beta^{1.5}}{(L_b/W_s)^{1.5} (W_b/t)^{1.0} TS \text{ (MPa)}^{1.25}} \quad (23)$$

$$R_i(\beta) = \frac{t \cos \theta(\beta) - \frac{t}{2} - \frac{W_b}{2} \sin \theta(\beta)}{1 - \cos \theta(\beta)} \quad (24)$$

また、 $a$ の値は、(8)式に(3)、(5)式を代入して得られる次式により決定する。

$$\beta = \frac{L_b \cdot F}{(n+1) \cdot TS_{BM} \cdot W_s \cdot t} \left( \frac{1}{R_i(\beta) + t/2 - a(\beta)} \right)^n \left\{ \left( a(\beta) + \frac{t}{2} \right)^{n+1} - \left| a(\beta) - \frac{t}{2} \right|^{n+1} \right\} \quad (25)$$

残念ながら $a$ は、 $\beta$ の関数として陽に表現されていないが、表計算ソフトウェアを利用すると(25)式を満足する $a$ の値を比較的容易に求めることができる。

R部での破断条件は、

$$\sigma_R(\beta) = TS_R \quad (26)$$

である。

溶接金属部のせん断応力は、(11)式より、

$$\tau(\beta) = \frac{\beta \cdot TS_{BM} \cdot W_s \cdot t}{L_b \cdot W_b} \cos \theta(\beta) \quad (27)$$

溶接金属での破断条件は、溶接金属の硬さを $H_{WM}$ とすると、(12)式より、

$$\tau(\beta) = 1.9 \cdot H_{WM} \quad (28)$$

である。

無次元変数  $\beta$  より、破断時の荷重  $T$  を求めるには、(3)式に従い、

$$T(\beta) = \beta \cdot TS_{BM} \cdot W_s \cdot t \quad (29)$$

を用いる。

試験片幅  $W_s$ 、溶接長さ  $L_b$  および溶接幅  $W_b$  を決めるとき、レーザ重ね継手の負担できる最大の引張せん断荷重と破断位置の予測手順は次の通りである。

図10は、板厚1.0mm、試験片幅50mmの軟鋼板をレーザにより長さ40mmの重ね溶接をした場合の破断位置と破断荷重を推定した例である。溶接ビード幅として0.5, 1, 2mmの3種類について計算した。計算に必要な諸数値は図中に記載されている。

$\beta$  の値を0から徐々に大きくすることは、引張試験において荷重を徐々に上昇させることに対応する。 $\beta$  の値を決め、(20)、(22)、(27)式により、母材部に働く応力、R部の外表面に働く応力、溶接金属に働くせん断応力を計算する。 $\beta$  の値を大きくしていき、これら応力が、それぞれの部位の破断条件である(21)、(26)および(28)式で与えられる値に達すると、その部位で破断すると推定される。継手強度は、その時の  $\beta$  を(29)式に代入すれば見積もることができる。

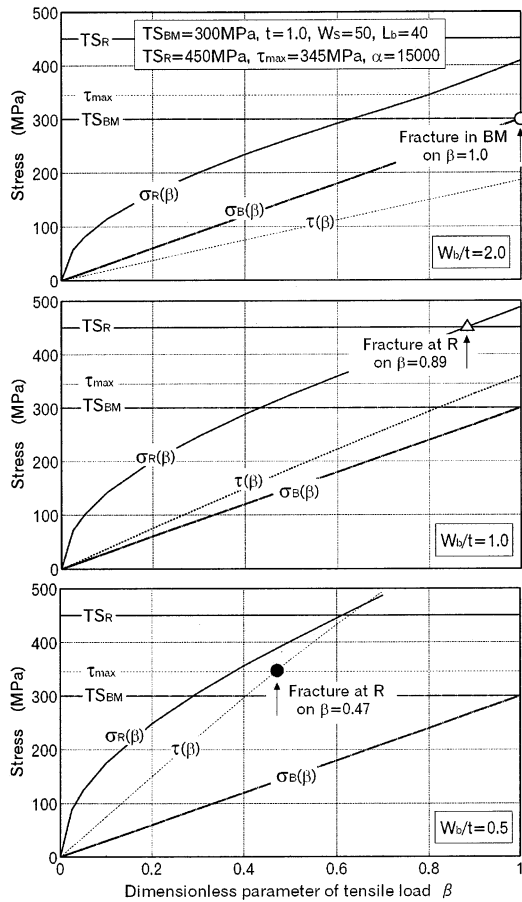


図10 破断位置と破断荷重の推定

Estimation procedure for fracture portion and maximum load

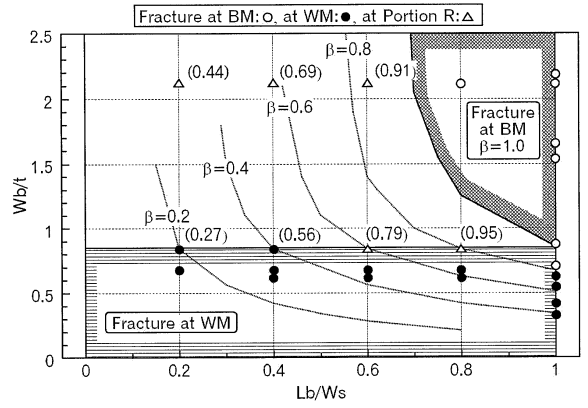


図11 溶接長と溶接幅の引張せん断試験における破断位置と継手強度に及ぼす影響

Effect of weld length and weld width on fracture portion and joint strength in tensile shear test

図10に示すとおり、溶接幅が0.5mmと狭いとき、溶接金属のせん断応力  $\tau$  が、最も小さな  $\beta$  で  $\tau_{max}$  を超え、溶接金属で破断することが推定され、 $\beta$ 、すなわち継手効率は0.47程度と推定される。また、溶接幅を1mmと2倍にしたとき、溶接金属のせん断応力はその分低下する代わりに、R部外表面の応力は余り小さくならず、継手効率は  $\beta=0.89$  で、R部破断することが推定された。一方、溶接幅を2mmと極端に太くした場合、溶接金属やR部の応力が破断限界に達する前に  $\beta$  が1.0に達し、母材で破断することと推定される。

### 3.3 実験結果との比較

以上の破断位置、継手強度推定方法が、どの程度実験結果を再現するかを試みる。図11のプロットは、板厚0.8, 1.0, 1.2mmの軟鋼板を、試験片幅40mmあるいは50mmとして重ね合わせ、レーザにより重ね溶接した試験体での引張せん断試験結果を示す。マークの種類は破断部位を示し、両括弧内の数値は実測された継手効率である。図10中に示した諸量を用いて、破断位置と継手強度の推定を行った。図10では、 $L_b/W_s = 0.8$  の場合に、 $W_b/t = 0.5$  であると溶接金属で破断すると推定されるが、溶接金属での破断は  $L_b/W_s$  の値に関わらず、 $W_b/t = 0.85$  まで生じることが推定された。また、溶接幅がそれ以上大きくなるとR部での破断が推定される。さらに、溶接長および溶接幅の両者がともに大きい場合には母材で破断すると推定された。図11は、これら推定が実験結果を定性的に再現していることを示しており、重ね継手の引張せん断における破断現象を概略表現しているものと考えられる。

## 4. おわりに

レーザ重ね継手が引張せん断力を受けた場合に、各部に働く応力のモデルを確立し、破断する部位と最大荷重を推定することができた。この努力が、レーザ重ね継手の強度と破断挙動を理解する一助となり、高い乗員保護性能など優れた自動車車体の実現に役立つことを期待する。

### 参考文献

- 1) Mann, K. et al.: 溶接技術. (11), 93(1999)
- 2) 森清和 ほか: 日産技報. 45, 74(1999)
- 3) Furusako, S. et al.: Proceedings of SPIE. 4831, 2003, p.197