

# レーザー重ね溶接継手の疲労強度特性 (第2報、亜鉛めっき鋼板の板厚と強度の影響)

高 行男・藤本正男・井藤賀 久岳・平野和也

## 1. 緒 言

レーザーとは、レーザー媒質を励起し、それから光を共振器で増幅し部分反射鏡でとりだしたもので、「Light Amplification by Stimulated of Radiation」(誘導放出による光の増幅)を語源としている。自動車製造においてスポット溶接に代わる加工法として、片側溶接や連続溶接が可能なレーザー溶接が、採用されつつある。その目的には、軽量化、高剛性化、設計自由度拡大、コスト低減、生産性改善などが挙げられる。つまり、従来のスポット溶接では車体デザインへの制限が多いのに対し、YAGレーザー溶接では柔軟に対応できる可能性がある。また、YAGレーザーは、CO<sub>2</sub>レーザーより波長が短いため光ファイバーで伝送することが可能であるので、従来のスポット溶接に使用されていたロボットのアームに取り付けることが容易である。さらに、レーザー溶接の本来の長所の一つとして連続溶接が挙げられるが、生産性などを目的として断続溶接も可能である。

上述のような特徴を持つレーザー溶接であるが、その適用には溶接部の強度特性を把握する必要がある。レーザー溶接された自動車用薄鋼板継手部の疲労強度特性については、これまでも若干の報告がなされているが、未だ十分とは言えない<sup>(1)~(3)</sup>。

以上の視点から、前報<sup>(4)</sup>ではボディパネルに使用されている270MPa級亜鉛めっき鋼板(板厚0.7mm)を用いて、薄鋼板レーザー溶接重ね継手の引張せん断疲労強度に及ぼすビード長さとその方向および板間隙間の影響について検討した。その結果、試験片の破断は溶接端部近傍の母材部を起点としていること、溶接長さによる影響は認められたが、溶接角度の差異によって顕著な相違がないこと、また、継手の板間隙間は小さくなると強度が上昇する傾向を示すが、その様子は溶接長さによって異なることが確認された。

本研究では、薄鋼板継手の疲労強度特性に及ぼす因子の検討のため、270MPa級亜鉛めっき鋼板(板厚：0.7, 1.0, 1.4mmの3水準)および440MPa級亜鉛めっき高張力鋼板(板厚：1.0mm)を用い、ビード長さを15mm、溶接ビード方向を試験片軸に対して90°、板間隙間を0.2mmとした2枚重ね継手試験片を製作し、引張せん断疲労強度に及ぼす板厚の影響と母材強度の影響について調査した。

## 2. 実験方法

### 2.1 試験片および溶接部の状況

供試材は、板厚が0.7, 1.0, 1.4mmで引張強さ270MPa級の垂鉛めっき鋼板と板厚1.0mmの引張強さ440MPa級の垂鉛めっき高張力鋼板である。その化学成分ならびに機械的性質をTable 1, Table 2に示す。

Table 1 Chemical composition (mass%)

Grade (MPa)	Thickness (mm)	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
270	0.7	<0.001	0.017	0.150	0.013	0.011	0.035	0.040
	1.0	<0.001	0.018	0.221	0.013	0.016	0.037	0.037
	1.4	<0.001	0.015	0.178	0.014	0.010	0.031	0.014
440	1.0	0.168	0.057	0.708	0.020	0.012	0.074	<0.001

Table 2 Mechanical properties

Yield strength	Tensile strength	Elongation
153 (MPa)	305 (MPa)	44.8 (%)

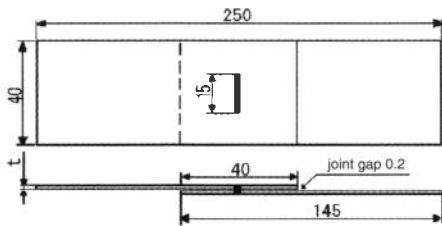
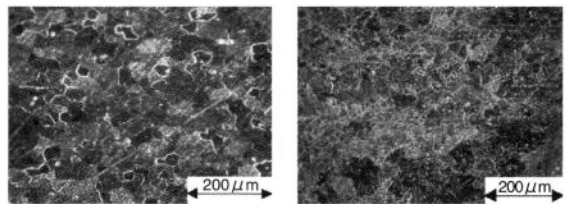


Fig.1 Configuration of test specimen

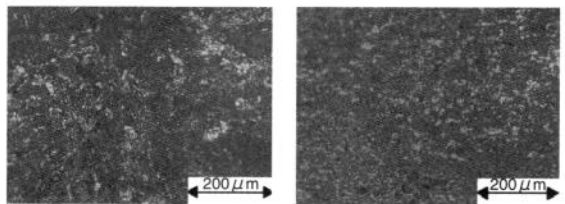
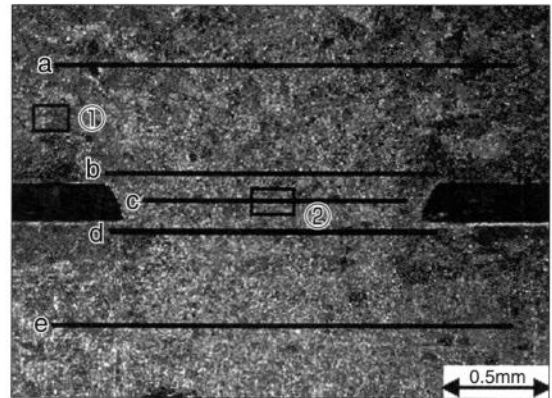
Table 3 Welding condition

Laser power	2.0 (kW)
Welding speed	1.2 (m/min)
Focus spot diameter	0.72 (mm)
Shielding gas	Argon gas 15 (l/min)

薄鋼板レーザー溶接重ね継手試験片の形状および寸法をFig.1に示す。ビード長さは15 mm, 板間隙間は0.2 mm, 板厚 $t$ については0.7, 1.0, 1.4mm, 溶接ビード方向は長手方向に対して垂直方向である。試験片にはTable 3に示す条件によってYAGレーザー溶接を行った。この場合に、6本分の溶接を一度に行うこととし、243×145mmの2枚の鋼板を重ね代40mmを設



① 270MPa, Thickness 1.0 ②



① 440MPa, Thickness 1.0 ②

Fig.2 Microstructure of welded part

け、重ね部分が一定の板間隙間となるように、2枚の鋼板の間にシックネスゲージを入れ溶接を行った。溶接部と母材部の組織をナイトール腐食液を用いて観察した結果をFig.2に示す。

Fig.3に溶接部およびその周辺部においてのマイクロビッカース硬さ試験（荷重2.9N）の結果を示す。図から明らかなように、270MPa級、440MPa級ともに溶接部とその周辺部で硬さが上昇している。また、440MPa級の溶接部の硬さは、270MPa級に比べると2倍程度となる。

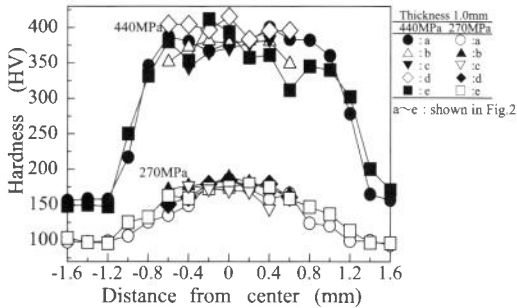


Fig.3 Hardness distribution in welded part

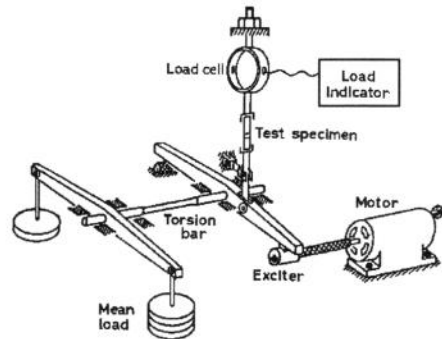


Fig.4 Resonance type fatigue tester for axial loading

## 2. 2 試験方法

静的引張せん断試験は、油圧式10トン万能試験機を用いクロスヘッドスピード5 mm/minで測定した。

疲労強度試験にはFig.4に示す回転質量型の加振器を用いた共振型軸荷重疲労試験機を使用した。図中のレバーの一端に取り付けてある回転質量型の加振器をモータで回転させることにより、試験片に繰返し引張荷重を負荷する。荷重振幅は、モータの回転数を変更することにより行う。また、平均荷重の設定には平均荷重負荷用レバーにおもりを乗せることにより行う。荷重振幅には、試験片と直列に配置されているリング状ロードセルにより行い、荷重制御には、ロードセルからの信号をフィードバックすることによりモータの回転数を自動調節する。各試験片に対し、荷重比（最小荷重/最大荷重） $R=0.1$ 、繰返し速度20~25Hzとして疲労試験を行った。

## 3. 試験結果

### 3. 1 静的引張せん断試験

静的強度を測定した結果をTable 4に示す。270MPa級亜鉛めっき鋼板において、板厚1.0mmに対し、板厚0.7mmは64%、板厚1.4mmは132%の静的強度であった。また440MPa級亜鉛めっき高張力鋼板は、同じ板厚の270MPa級亜鉛めっき鋼板と比較すると6割程度強度が上昇している。角度や板間隙間の影響<sup>(4)</sup>に比べ、板厚や材

Table 4 Tensile shear strength

Material grade (MPa)	Thickness (mm)	Tensile shear strength (kN)
270	0.7	4.308
	1.0	6.678
	1.4	8.835
440	1.0	10.610

質の影響は大きいことが確認された。

### 3.2 疲労強度試験

#### 3.2.1 板厚が疲労強度に及ぼす影響

板厚を変化させた時の  $\Delta L-N$  線図を Fig.5 に示す。この図から板厚が厚くなると疲労強度が上昇している。N=10<sup>6</sup>時の疲労強度は板厚0.7mmに比べ1.0mmは153%、1.4mmは261%となり強度が明確に上昇している。しかし、溶接角度の影響<sup>(5)</sup>と同様に、き裂の発生から進展に至る過程を検討する必要があると考えられる。

荷重  $\Delta L$  を板厚  $t$  で割った値を縦軸に取った時の  $\Delta L/t-N_f$  線図を Fig.6 に示す。N=6×10<sup>6</sup>あたりまでは狭い範囲内のバンドにデータを整理することが可能であった。ただし、疲労限度については今後の検討課題である。

$\Delta L/t$  で示した Fig.6 は、データを公称応力で表わしたものとイえる。すなわち、疲労き裂が発生する継手の接合内面の公称応力は、荷重偏心による曲げ応力を考慮すると、

$$\sigma_{br} = \sigma_t + \sigma_b = 4 \Delta L / br$$

となる。ここで、 $\sigma_t = \Delta L / br$ 、 $\sigma_b = M / Z$ 、 $M = \Delta L \cdot t / 2$ 、 $Z = bt^2 / 6$  である。上式から明らかのように、曲げを考慮した公称応力は板厚に対して  $1/t$  で影響を受けることになる。

Table 5 に示すように、厚さ0.7mmに対し1.0mmと1.4mmの静的強度Tのデータは、それぞれ約1.5倍と2倍となり、板厚比とほぼ一致する。それに対し、疲労強度は1.0mmについてはほぼ一致するが、1.4mmに対しては少し上昇割合が高くなっており、板厚増加による効果が認められる。

ところで、板厚0.7mmについて板幅40mm、

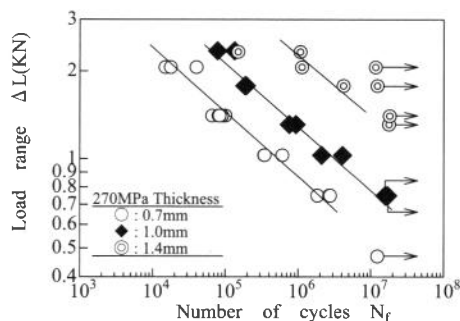


Fig.5  $\Delta L/t-N_f$  diagram for different thickness

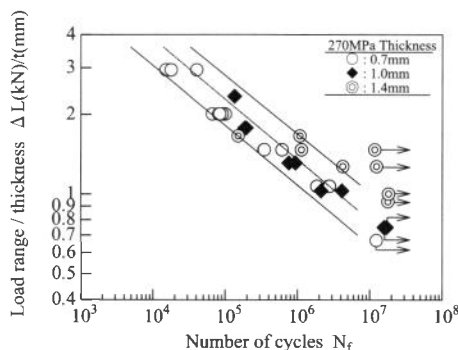


Fig.6  $\Delta L/t-N_f$  diagram for different thickness

Table 5 Fatigue strength and Tensile shear strength

Thickness t (mm)	Load at 10 <sup>6</sup>	Tensile shear strength	
		T (kN)	T/br (MPa)
0.7	0.789	4.308	153
1.0	1.210	6.678	166
1.4	2.060	8.835	157

ビード長さは15mmである。このときの $T/br$ の値は153MPaであるのに対し、母材の機械的性質は305MPaであった。したがって、この継手は板幅が20mmのものに相当（継手効率）しているといえる。

### 3. 2. 2 材質が疲労強度に及ぼす影響

板厚1.0mmに対し、材質を変化させた時の $\Delta L-N$ 線図をFig.7に示す。 $N=10^6$ 時の荷重をみると、440MPa級は270MPa級に比べ1割弱程度強度が高くなっているが、母材の静的強度が1.6倍であるのに比べると疲労強度の上昇割合は非常に低い。

母材の静的強度の上昇割合に比べて、溶接継手の疲労強度の上昇割合が低い結果については、スポット溶接継手についても同様な傾向<sup>(6)</sup>が認められる。継手の疲労強度に板厚は大きく影響するが、母材の強度はあまり影響しないことは、実用上留意する必要がある。

## 4. 結 言

ボディに使用されている亜鉛めっき鋼板(板厚0.7, 1.0, 1.4mm)および亜鉛めっき高張力鋼板(板厚1.0mm)を用い、板厚と強度がYAGレーザ重ね溶接継手の疲労強度に対しどのように影響するかを調査した。その結果、板厚の影響については、板厚が増大すると疲労強度も大きくなることがわかった。他方、母材の引張強度が高くなっても継手の疲労強度への影響は低いことがわかった。

板厚の影響については、単位厚さあたりの疲労強度、つまり荷重偏心曲げを考慮した公称応力で整理することができると考えられる。しかし、疲労限度については、き裂の発生から破壊に至るメカニズムを検討し、明らかにする必要がある。

終わりに、本研究を遂行するにあたり、協力していただいた関係各位に謝意を表する。

付記 著者の平野和也は、本学専攻科自動車工学専攻の第9期(2001年度)生である。

## 参 考 文 献

- 1) 小野守章, 樺澤真事, 大村雅紀, 薄鋼板レーザ溶接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)
- 2) 小野守章, 海津 享, 樺澤真事, 大村雅紀, 自動車用薄鋼板のレーザ溶接, NKK技報, No.154, pp.20-25 (1996)
- 3) 板垣 修, 吉村達彦, 坪井 学, 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)

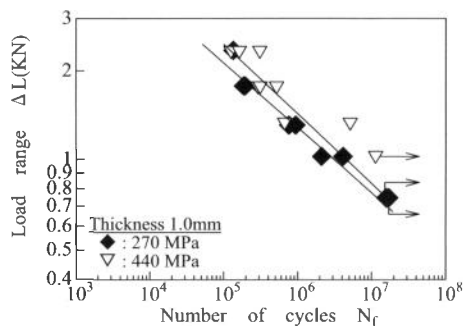


Fig.7  $\Delta L/t-N_f$  diagram for different material

- 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), 中日本自動車短期大学論叢, 第31号, 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年度春季大会前刷集, No18-01, pp.70-73 (2001)
- 6) 福井清之, 山本三幸, 高張力鋼板における溶接技術と今後の課題, No.05-00自動車技術会シンポジウム「新しいボディ構造形成技術」, pp.37-44 (2000)