

テーラードブランク用マッシュシーム溶接部の特性評価

Properties of Mash Seam Weld for Tailored Blanks

内原正人/Masato Uchihara・総合技術研究所 鋼板プロジェクト推進部 副主任研究員

高橋通泰/Michiyasu Takahashi・総合技術研究所 化学研究部 副主任研究員

栗田真人/Masato Kurita・総合技術研究所 基盤技術研究部 副主任研究員

広瀬洋三/Yozo Hirose・総合技術研究所 鋼板プロジェクト推進部 主任研究員

福井清之/Kiyoyuki Fukui・総合技術研究所 鋼板プロジェクト推進部 主任研究員

要 約

テーラードブランク用のマッシュシーム溶接部の実用性能を評価する。試験方法および試験結果を紹介する。成形性、疲労特性、耐食性を調べ、レーザー溶接部の特性と比較した。張り出し成形性はマッシュシーム溶接部はレーザー溶接部と同等であるが、伸びフランジ性は、マッシュシーム溶接がやや劣る。疲労特性はマッシュシーム、溶接材は劣る傾向にあるが、プレス成形を受けることで大きく疲労強度は上昇する。耐食性は、溶接法の違いよりも、亜鉛めっきの有無に影響を受け、亜鉛めっき母材では溶接部はほとんど腐食しない。総合的に見て、マッシュシーム溶接はレーザー溶接と同様、テーラードブランクの溶接法として十分実用的である。

Synopsis

In this paper, formability, fatigue properties and corrosion behavior of both laser and mash seam welded steel sheet are investigated, and the differences in performance are discussed. The difference in formability between laser and mash seam welds depended on forming test methods. The difference in stretch formability was not observed in stretching dome test. Laser welded specimen however showed higher formability in hole expansion test. The fatigue strength of mash seam welds was slightly lower than that of laser welds. The corrosion resistance of electro-deposition (ED) coated welds was significantly influenced by zinc coating. The laser welds exhibited superior corrosion resistance to mash seam welds in uncoated steel sheets. While, in case galvanized steel was used, both laser and mash seam welds exhibited similar corrosion resistance to unwelded portion.

1. 緒 言

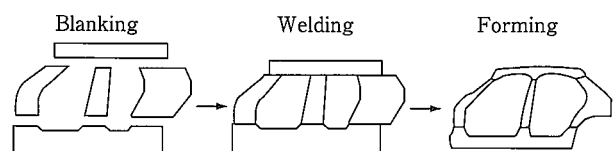
現在、自動車ボデーの製造分野では、低コスト、軽量化のキーテクノロジーとして、従来、一枚板で作製していたブランク(プレス前の素材)を複数の鋼板を溶接により組み合わせで作製する、テーラードブランク技術が注目されている(第1図)。テーラードブランクには次のようなメリットがある。

- ①材料歩留まりの向上
- ②補強部材の廃止による、金型費、組立費の削減
- ③適材適所の材料利用による軽量化

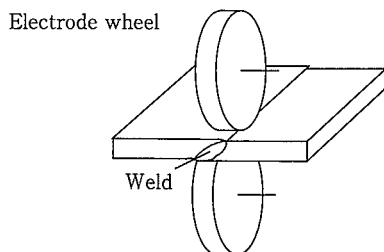
世界的には、テーラードブランクの溶接にレーザー溶接とマッシュシーム溶接(第2図)が実用化されている。国内では1980年代後半からレーザー溶接の実用化が進んだ¹⁾。

マッシュシーム溶接は欧米では古くから普及していたが、国内では最近急速に普及し始めた。

国内では、テーラードブランクが適用できる部品の多くは、部品メーカーにて製造されている。マッシュシーム溶接は、初期投資が低い、設備のメンテナンスや操作が容易、等の理由から、レーザー溶接に比べ導入しやすい技術である点が見直され、最近では、自動車メーカーに加え、部品メー



第1図 テーラードブランク
Fig.1 Tailored blank



第2図 マッシュシーム溶接
Fig.2 Mash seam welding

カーまでマッシュシーム溶接の導入の動きが広がっている。

国内でマッシュシーム溶接の普及が遅れた理由の一つとして、溶接部性能に関する基礎的データの不足が挙げられる。国内では、先にレーザ溶接の普及が進んだため、レーザ溶接に関してはすでに多くの報告例¹⁾がある一方で、マッシュシーム溶接についてはほとんど検討されたことはなかった。そこで、当社では、お客様でのマッシュシーム溶接技術の導入に際して、マッシュシーム溶接部の成形性、疲労特性、および耐食性等の実用性能に関して研究を進めてきた。

テーラードブランクの溶接部特性を正しく評価するためには、評価手法が重要となる。テーラードブランクの試験方法も、基本的には従来の自動車用鋼板の試験方法の延長線上にある。しかし、テーラードブランクとしての実用性能を明らかにするためには、数多くある試験方法の中から用途に即した評価方法を選定し、更に、その結果が持つ実用上の意味を理解することが重要である。本報では、当社で行ってきた溶接材の成形性、疲労特性、および耐食性に

関する試験方法、およびその試験結果について紹介するとともに、マッシュシーム溶接部の実用性能を述べる。

2. 溶接材の成形性

2-1 試験方法

2-1-1 供試材料および溶接方法

第1表に供試材料の特性を示す。供試鋼板は厚さ0.8 mmの極低炭素鋼板である。第2表に溶接条件を示す。本報では溶接材の基礎的特性を明確にするため、同種同厚材同士の溶接継手を供試材とした。なお、異厚材継手の特性については、著者らによる既報²⁾が詳しい。

2-1-2 成形試験方法

成形性として、張り出し成形性、絞り成形性、伸びフランジ性を調査した。張り出し成形性は、引張試験、液圧バルジ試験、および球頭張り出し試験で調べた。本報では紹介しないが、広く実施されているエリクセン試験もこの範囲の試験法である。なお、引張試験は張り出し成形ではないが、本報では便宜的に張り出し成形に分類した。

引張試験では第3図に示すJIS 5号引張試験で溶接材の伸びを測定した。また、溶接線に垂直方向の引張試験で

第1表 供試材料の特性

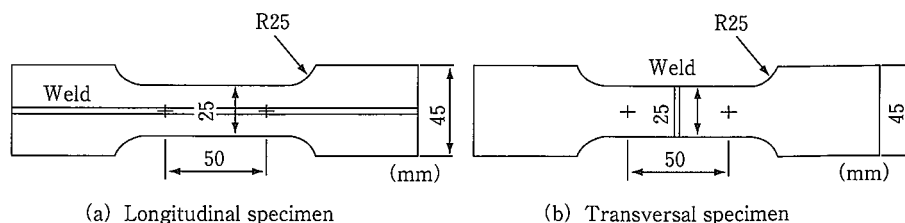
Table 1 Mechanical property of material

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Thickness (mm)
141	300	48.0	0.8

第2表 溶接条件

Table 2 Welding conditions

(a) Laser welding		(b) Mash seam welding	
Laser weld		Mash seam weld	
Laser	CO ₂	Welding current	CR : 12kA
Power	3 kW	Electrode force	5 kN
Welding speed	5 m/min	Welding speed	2.5m/min
Focus	Surface	Overlap	2 mm
Shielding gas	Ar		



第3図 引張試験片形状

Fig.3 Tensile test specimens

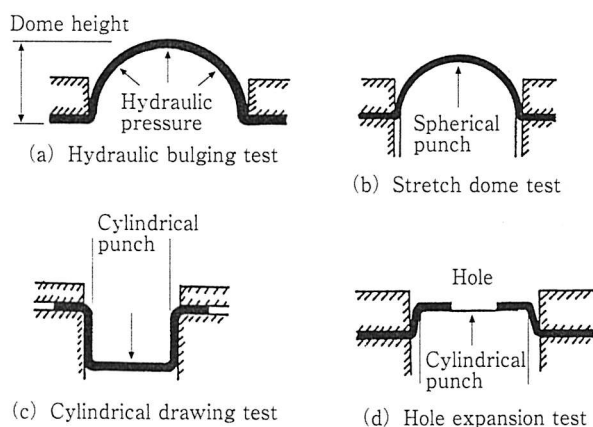
は、50mmの標点間に5mmピッチの小標点を設け、塑性ひずみの分布を測定した。第4図に本試験で用いた成形試験法を模式的に示す。液圧バルジ試験では直径100mmのダイを用いて張り出し高さを測定した。球頭張り出し試験では長手方向が溶接線方向である100×100mm、100×60mm、100×40mmおよび100×20mmのサイズの試験片をφ50ポンチで張り出し、試料表面に転写した直径1/4インチのスクライブドサークルの直径の変化からFLD(成形限界線図)を作成した。

絞り成形性は円筒絞り試験によって評価した。直径50mm、コーナ半径5mmの円筒ポンチを用い、絞り比を1.8とした。しわ押さえ圧を10kNから90kNの範囲で変化させ、破断の有無や成形後の試料の形状から絞り成形性を評価した。

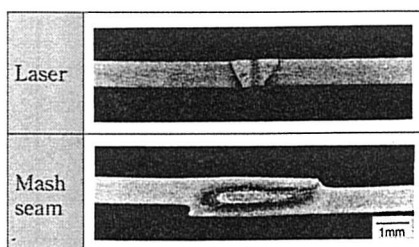
伸びフランジ成形性は、円筒ポンチを用いた穴抜き試験で評価した。溶接線を中心とする直径10mmの初期穴を、コーナ半径3mm、直径33mmの円筒ポンチを用い、き裂が生じるまで抜き、限界穴抜き率(HER)を求めた。

$$HER(\%) = (D_f - D_o) / D_o \times 100 \quad (1)$$

ここで、 D_o は初期穴径、 D_f はき裂が発生した穴径である。また、用いたダイは直径36mm、しわ押さえ圧は30kNである。



第4図 成形性試験
Fig.4 Formability test methods



第5図 溶接部断面
Fig.5 Cross-section of weld

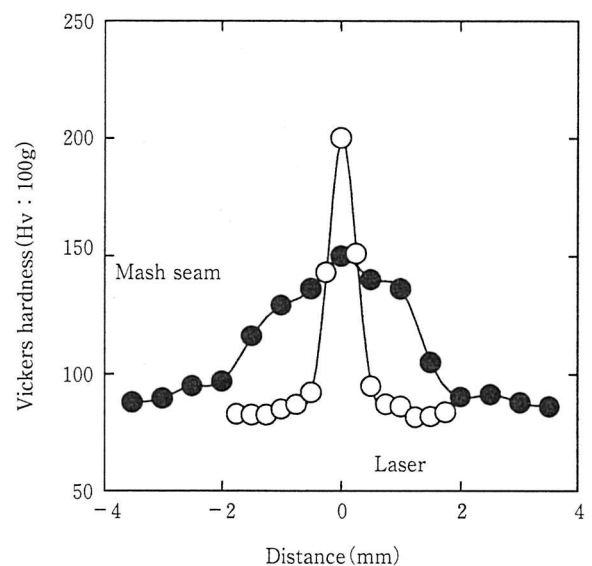
2-2 成形試験結果

2-2-1 張り出し成形性

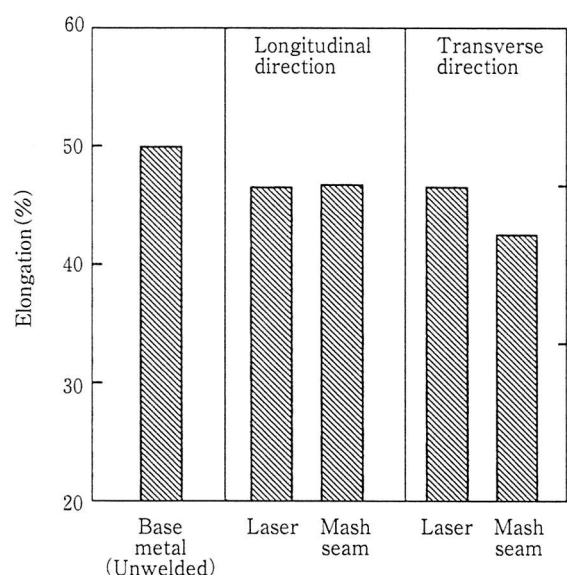
第5図に供試材の溶接部形状を、第6図に硬度分布を示す。マッシュシーム溶接部は溶接部の肉厚が母材より大きくなり、レーザ溶接部に比べ硬度分布がブロードであることが特徴である。

第7図に引張試験結果を示す。溶接線方向の引張試験では、溶接部から溶接線に垂直方向のき裂が発生して破断する。レーザ溶接材とマッシュシーム溶接材の伸びは同様に、母材に比べ約10%低下する。溶接線に垂直方向の引張試験では、溶接材の伸びは母材より低く、伸びの低下はマッシュシーム溶接材が大きい。

第8図に液圧バルジ試験による試験片外観を、第9図

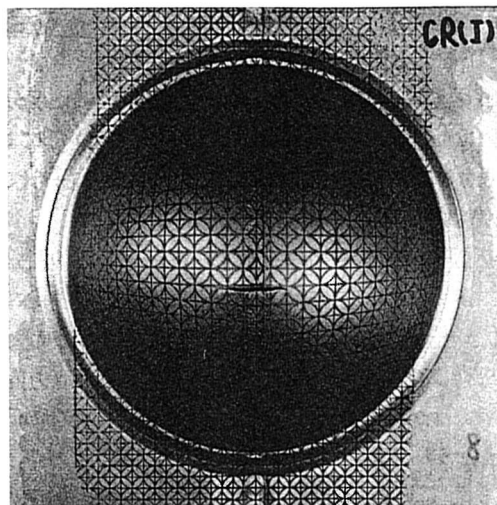


第6図 硬度分布
Fig.6 Hardness distribution of weld



第7図 引張試験結果
Fig.7 Tensile test result

技術報文

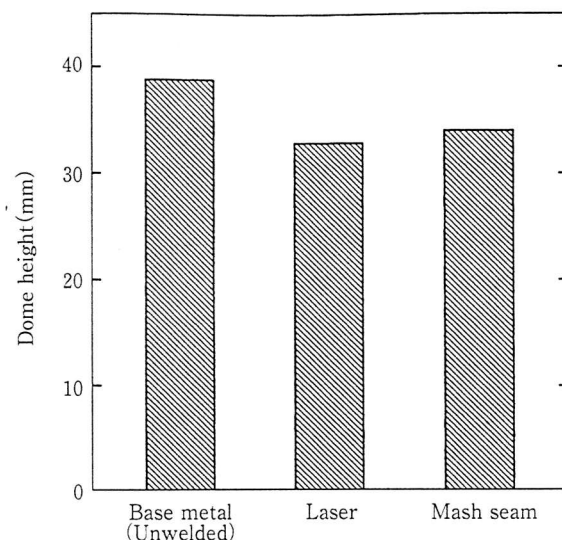


第8図 液圧バルジ試験後外観(マッシュシーム溶接材)
Fig.8 Appearance of specimen after bulging test (Mash seam)

に張り出し高さを示す。溶接材は溶接線に垂直方向のき裂が生じて破断する。レーザ溶接材とマッシュシーム溶接材の張り出し高さの差は小さく、母材より約15%程度低下する。

第10図に母材および溶接材の変形限界線図(FLD)を示す。図中のプロットの横には試験片の種類またはサイズを示す。本試験ではすべて溶接部から溶接線に垂直方向のき裂が生じた。変形が1軸引張($\epsilon_y = -1/2\epsilon_x$)に近い場合は、溶接材の破断ひずみは母材よりわずかに低下する。一方、液圧バルジ試験のような、本来なら等2軸変形($\epsilon_y = \epsilon_x$)する場合、溶接材は溶接線に垂直方向に変形し難く、不等2軸変形になる。この傾向はマッシュシーム溶接材で顕著である。また、この場合の溶接材の破断ひずみは母材よりやや小さい。

FLDの結果から溶接材の張り出し成形性は次のように考えられる。1軸引張りに近い変形状態では、溶接材の成

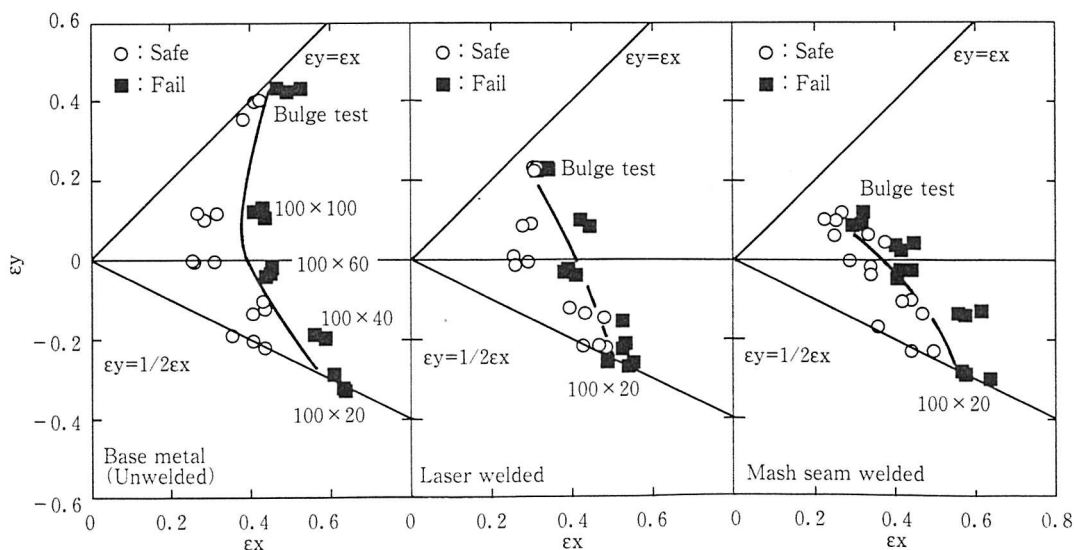


第9図 液圧バルジ試験結果
Fig.9 Dome height by hydraulic bulging test

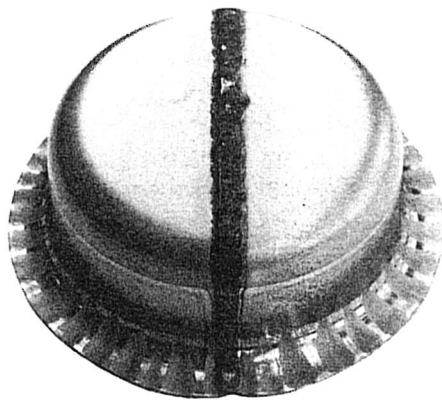
形性は母材より低下するが、母材に近い良好な成形性を示す。一方、2軸変形の場合も溶接材の母材に対する低下は小さいが、この領域では変形の異方性が大きいことが溶接材、特にマッシュシーム溶接材の特徴である。

2-2-2 絞り成形性

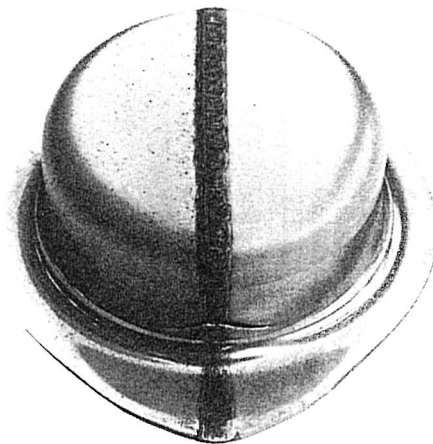
第11図に円筒絞り試験片外観を、第3表に試験結果を示す。一般に、しわ押さえ圧を大きくすると材料が流入し難くなり、ポンチコーナ部等でき裂が発生しやすくなる。限界しわ押さえ圧からみて、母材とレーザ溶接材は同等の絞り成形性を有すると言える。マッシュシーム溶接材も絞り加工は可能であるが、フランジ部にしわが生じやすい。これは、溶接部の肉厚が母材より大きいいため、しわ押さえジグ間に隙間が生じるためである。しわ押さえ圧を大きくするとしわの発生は抑えられるが、溶接部が集中的に押さえられるため、フランジ長さが不均一となる。また、しわ



第10図 変形限界線図
Fig.10 Forming limit diagrams



(a) BHF: 10kN



(b) BHF: 90kN

第11図 絞り試験後外観(マッシュシーム溶接材)

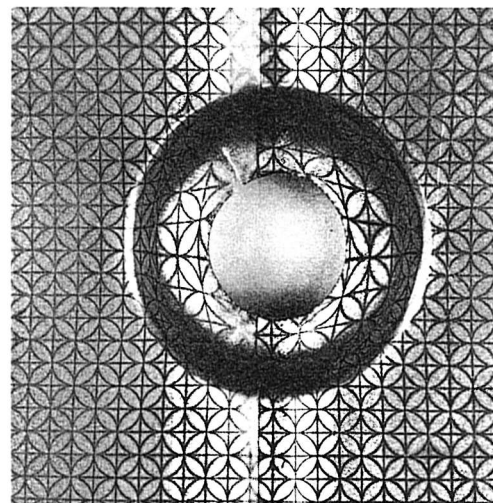
Fig.11 Appearance of specimens by drawing test (Mash seam)

押さえ圧が大きいと溶接部破断の危険性も高くなる。しかし、このフランジしわの発生の問題は金型の形状の調整によって対処可能な問題であることから、実用的にはマッシュシーム溶接材もレーザ溶接材や母材と同様な絞り成形性を有すると考えられる。

2-2-3 伸びフランジ性

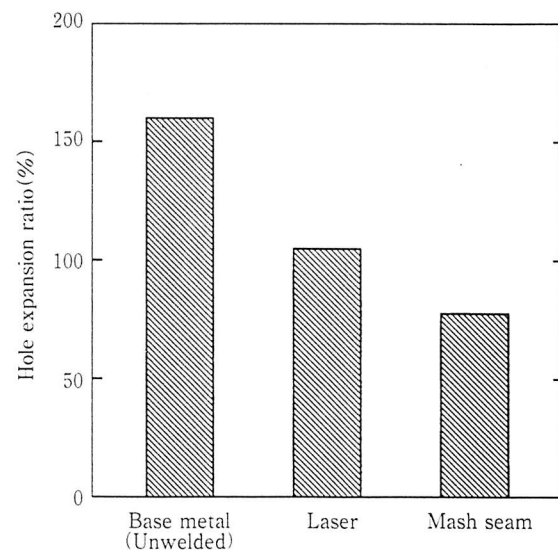
第12図に穴拡げ試験片外観を、第13図に限界穴拡げ率を示す。溶接材は母材より穴拡げ率が低く、その低下量はマッシュシーム溶接材が大きい。これは、マッシュシーム溶接部が溶接線に垂直方向に変形しにくいために、母材にひずみが集中しやすいことに起因する。第14図は溶接線に垂直方向の引張試験片に約35%の全ひずみを与えた場合の局部ひずみ分布である。溶接部近傍は変形が小さいので母材部にひずみが集中し、また、マッシュシーム溶接材はレーザ溶接材に比べてこの傾向が強いことがわかる。マッシュシーム溶接部は硬化幅が大きく、溶接部の肉厚も大きいことが、溶接線に垂直方向の荷重に対して変形し難い理由と考えられる。

実用上、テーラードブランクの伸びフランジ性が問題となるのは、開口部のコーナ部近くに溶接線が位置する場合である。レーザ溶接によるテーラードブランクでは溶接線位置をコーナ部から離す等の対策がとられており³⁾、マッシュシーム溶接においても同様に、設計時には溶接線位置



第12図 穴拡げ試験片外観(マッシュシーム溶接材)

Fig.12 Appearance of hole expanded specimen (Mash seam)



第13図 穴拡げ試験結果

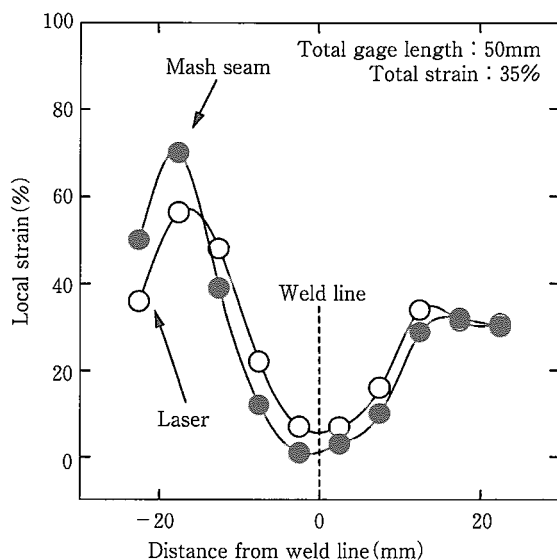
Fig.13 Hole expanding test result

第3表 円筒絞り試験結果

Table 3 Cylindrical drawing test result

	Blank holding force				
	10kN	20kN	50kN	70kN	90kN
Base metal	Good	Good	Good	Crack	—
Laser weld	Good	Good	Good	Crack	—
Mash seam weld	Wrinkle	Wrinkle	Good	Good	Crack

Wrinkle : Wrinkling of flange



第14図 引張試験片のひずみ分布
Fig.14 Strain distribution of tensile test specimen

について注意を払う必要がある。

総合的にみてマッシュシーム溶接材の成形性は、張り出し成形性についてはレーザ溶接材と同程度、絞り成形性および穴抜き性はレーザ溶接材よりやや劣る場合があることがわかった。しかし、その劣化の程度は実用性を否定するものではなかった。

3. 溶接部の疲労特性

3-1 疲労試験方法

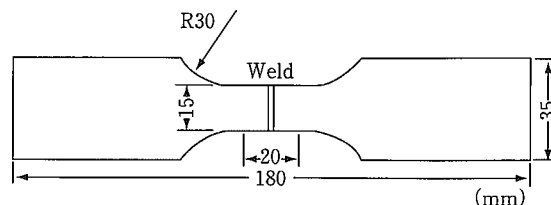
一般に、溶接材の疲労特性は小型試験片で得られた疲労試験結果に基づいて議論されている。しかし、実部品の疲労強度は部品の形状やプレス成形等の影響を受けると考えられる。本試験では、プレス成形によるマッシュシーム溶接部の疲労強度の変化を基礎的に調べるために、予ひずみを与えた溶接材の疲労強度も検討した。

第15図に疲労試験片形状を示す。疲労試験は電磁共振型疲労試験機にて軸力引張荷重制御(最小荷重9.8MPa, 繰返し速度約85Hz)で実施した。予ひずみ材は、第16図に示す試験片の標点間100mmに10%の塑性ひずみを与え、その後、平行部から第15図の疲労試験片を採取した。

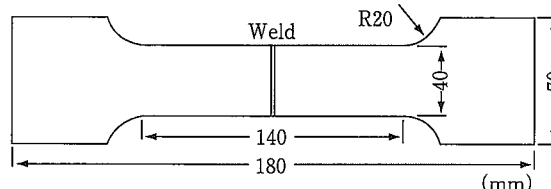
3-2 溶接材の疲労試験結果

第17図に疲労試験結果を示す。予ひずみのない場合、レーザ溶接材は母材と同等の疲労限度を示すが、マッシュシーム溶接材の疲労限度は母材より低下する。

母材およびマッシュシーム溶接材とも予ひずみの付与により疲労限度は大きく上昇する。予ひずみによる疲労限度の増加の程度は、約30%であった。このように、プレス成形は溶接部の疲労強度に対しては良い影響を及ぼす可能性があることがわかった。第18図に破断後の断面写真を



第15図 疲労試験片形状
Fig.15 Fatigue test specimen



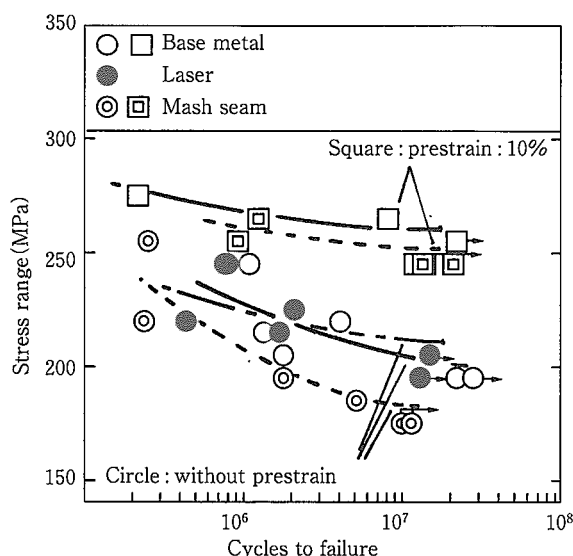
第16図 予ひずみ付与用試験片形状
Fig.16 Tensile specimen for prestraining

を示す。き裂はレーザ溶接材では溶接金属部と母材部の境界部で、マッシュシーム溶接材では母材から溶接部にかけての形状変化部で生じている。このき裂発生位置は予ひずみ材でも同様であった。

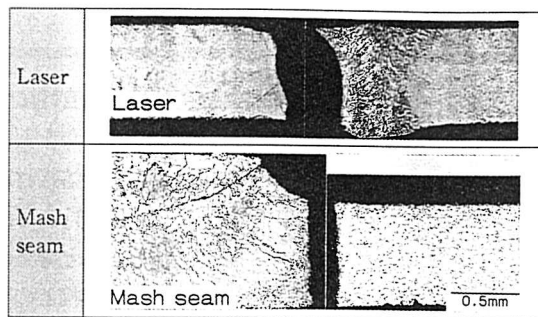
溶接継手の疲労強度は溶接部の破断危険部における応力集中に強く影響を受ける。マッシュシーム溶接部は溶接部での形状変化が大きく、応力集中が大きいため、低い疲労強度を示したと考えられる。溶接部の形状変化が大きい差厚継手ではマッシュシーム溶接材とレーザ溶接材の疲労強度の差が更に大きくなるとの報告^{2),4)}もある。

予ひずみによる疲労強度上昇の理由については、加工硬化や圧縮残留応力の導入等が考えられる。第19図に示すように予ひずみによって母材および溶接部いずれも硬化しており、加工硬化が疲労強度上昇の一因であることを示唆している。

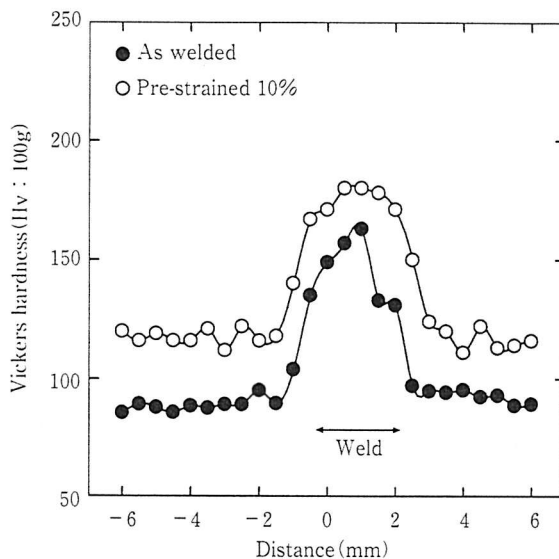
マッシュシーム溶接部は応力集中が生じやすく、レーザ



第17図 疲労試験結果
Fig.17 Fatigue test result



第18図 破断後の溶接部断面
Fig.18 Cross-section of fractured weld



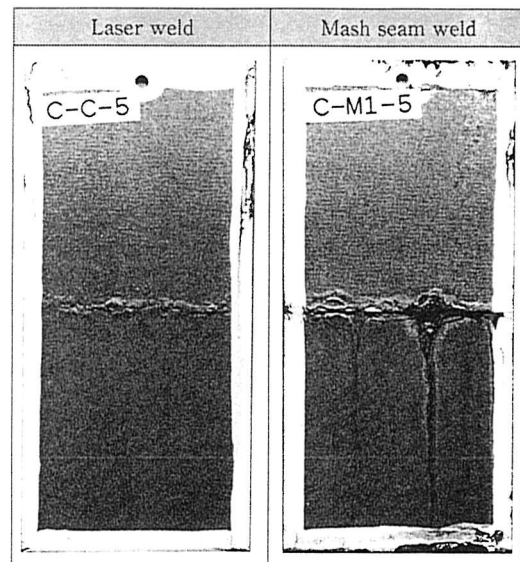
第19図 予ひずみ材の硬度分布
Fig.19 Hardness distribution of prestrained specimen

溶接材より疲労特性面からは不利である。しかし、テールードblankではプレス成形後に疲労強度が上昇する可能性があり、溶接のままの試験結果は疲労強度を過小評価する場合もあると思われる。したがって、疲労特性に関する実用性の判断は、実部品の耐久試験によるのが最も合理的と考えられる。

4. 溶接部の耐食性

4-1 試験方法

供試材は第1表の冷延鋼板裸材に加え、極低炭素鋼板母材の合金化溶融亜鉛めっき鋼板(目付量片面あたり60g/m²)を用いた。溶接材を150×70mmに切り出した後、アルカリ脱脂、化成処理を行い、電着塗装を20μm施した。電着後の焼付け条件は165℃、25分である。腐食試験として複合腐食試験を実施した。複合腐食試験では5%の塩水噴霧、乾燥、湿潤(湿度95%以上)のサイクルを1日1回、90日間繰り返した。耐食性は溶接部近傍の腐食深さで評価した。腐食深さは、溶接部近傍を10分割し、各領域内での最も大きい腐食深さを求め、平均値を平均腐食深さ、最大値を最大腐食深さと定義した。



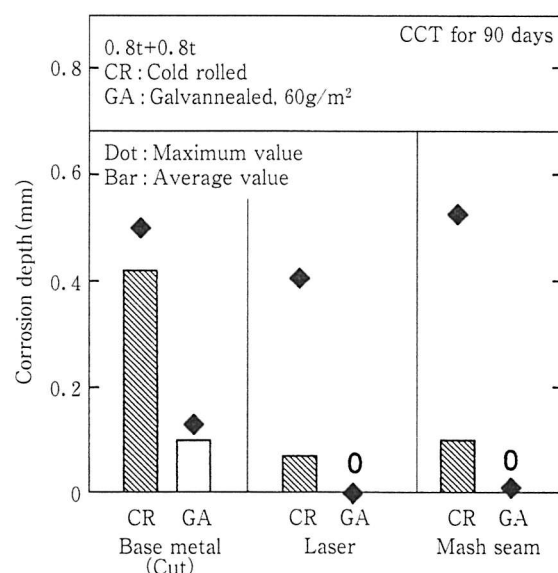
CCT: 90 cycles, Base metal: CR

第20図 腐食試験後外観

Fig.20 Appearance of corrosion tested specimen

4-2 腐食試験結果および考察

第20図に平板溶接材の腐食試験後の外観を、第21図に腐食深さを示す。腐食はいずれも溶接部から生じる。マッシュシーム溶接部では溶接部の段差の凸部で、レーザー溶接部ではビード上から腐食が発生する。ナイフカットにより作成した人工塗膜欠陥部の腐食深さと比較すると、非めっき材の溶接部の最大腐食深さは人工塗膜欠陥部と同レベルであるが、平均値で見れば人工塗膜欠陥部の20-30%程度である。溶接法による違いをみると、外観、腐食深さともややマッシュシーム溶接部の方が耐食性に劣る。耐食性は母材による違いが大きく、亜鉛めっき鋼板では腐食深さは



第21図 腐食試験90日後の腐食深さ

Fig.21 Corrosion depth of weld after corrosion test for 90 days

非常に小さい。これは、溶接部周囲の亜鉛めっきの犠牲防食作用によるものと考えられる。このように、亜鉛めっき鋼板の使用は溶接部の耐食性確保に有効であることがわかる。

マッシュシーム溶接部の場合、段差部先端の凸部での塗膜のつきまわり性が悪いのが腐食の原因と考えられる。したがって、溶接部に段差が生じるマッシュシーム溶接部の方がレーザー溶接部より耐食性は不利と考えられる。しかし、レーザー溶接でも溶接条件によっては耐食性が大きく左右されることが報告されており⁵⁾、両者の耐食性の優劣について単純に比較することは難しい。

以上より、溶接部の耐食性は母材より低下するが、チップング傷のような母材傷の部位に比べれば耐食性ははるかに良好であると言える。実用上は、溶接部は腐食の起点になりやすいことを念頭に置き、適正な位置に溶接線を設定し、要求される耐食性に応じて亜鉛めっき鋼板と非めっき鋼板を使い分けることが重要である。

5. 結 言

マッシュシーム溶接部の成形性、疲労特性、耐食性について、当社で実施してきた試験方法および試験結果を紹介した。性能的にはマッシュシーム溶接材がレーザー溶接材に劣る点も認められたが、実用性能という視点で見ると、マッシュシーム溶接は十分実用的な溶接法であると考えられる。今後は、コストや性能面などからレーザー溶接との使い分けが進むものと予想される。



内原正人 / Masato Uchiyama

総合技術研究所
鋼板プロジェクト推進部
副主任研究員
(問合せ先：06(489)5731)

参考文献

- 1) 例えば、夏見文章、杉浦宏明、東和男、加藤裕司、田中尚彦、高砂俊之：レーザー溶接結合素材による一体プレス部品生産技術の開発、自動車技術会学術講演会前刷集901、(1990)、p. 245-248
- 2) 内原正人、広瀬洋三、高橋通泰、栗田真人、福井清之：テーラードブランク用マッシュシーム溶接部の特性、自動車技術会学術講演会前刷集974、(1997)、p. 245-248
- 3) 定村一洋、戸田宗敬、夏見文章：結合素材によるボデーパ

ネルの一体化、自動車技術、Vol. 48, No. 11, (1994)、p. 27-32

- 4) A.Lee, E.Feltham and J.V.Deventer: Tailor Welded Blank Technology for Automotive Applications, SAE Technical Paper Series, 960817 (1996)
- 5) 泰山正則、高橋通泰、福井清之：自動車用表面処理鋼板の重ね合わせレーザー溶接部の耐食性及び諸特性、溶接学会第157回溶接法研究委員会資料、SW-2481-97、(1997)