

鋼製車体フレームの軽量化のための 最適板厚分布を具現化する面ろう付工法の開発

Development of 2D Brazing Method to Realize Optimum Thickness Distribution of Component for Light Steel Body Frame

銭谷 佑*
Tasuku ZENIYA

西畑 ひとみ
Hitomi NISHIBATA

児玉 真二
Shinji KODAMA

泰山 正則
Masanori YASUYAMA

抄 録

自動車車体の衝突安全性能向上と軽量化を実現するためには、曲げ剛性が要求される部位のみ厚肉化する最適板厚分布設計が重要となる。部分的な厚肉化技術としては、従来はスポット溶接を用いた補強部品の後付け工法が用いられているが、補強部品による厚肉化効果を最大化するためには、点付けであるスポット溶接よりも面で接合可能なろう付が好適であると考えられた。そこで、ホットスタンプ工程を活用した全面ろう付工法を開発したので紹介した。

Abstract

Recently, in order to improve crash safeness and achieve a light weight of automotive bodies, it is important to design optimum sheet thickness distribution to suppress the bending deformation. In many cases, components are reinforced partly through attaching reinforcement by spot welding. However, it is considered that large joining area is needed for enhance reinforcing. Here, developed full brazing method utilizing the hot stamping process was introduced.

1. 緒 言

近年、自動車分野においては、二酸化炭素排出量の削減を目的とした車体の軽量化のため、部品の薄肉化が求められている。しかし、薄肉化は部品性能の低下につながるため、衝突安全性能を担保するためには、鋼板の強度を高める必要がある。そのため、高張力鋼板の車体への適用が増加している^{1,2)}。例えば、側突時における乗員空間の保護を目的とした骨格部材であるセンターピラーでは、焼き入れと同時にプレス成形することで寸法精度良く超高強度な部材を製造可能なホットスタンプ(以後 HS)技術の適用が増加している³⁾。

側突時に乗員空間であるキャビンを守るには、骨格部材の変形を抑える必要があり、センターピラーには高い曲げ性能が求められる。そのため、センターピラーは高強度化の上、さらにその一部に補強部品をスポット(以後 SP)溶接で貼り付けられることで必要な曲げ性能が高められている。しかし、図1左に示すように、従来の工法ではセンターピラーと補強部品はそれぞれ成形された後に組み

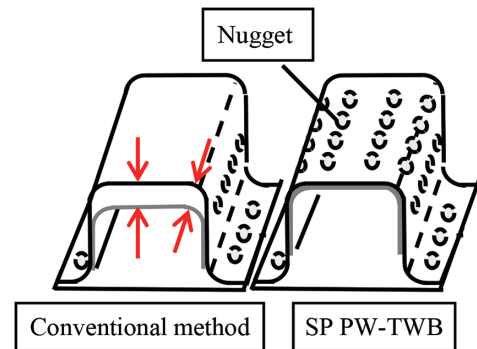


図1 ハット部材の補強方法
Reinforce method of hat channel

立てられるため、センターピラーと補強部品の間に矢印に示す数 mm の隙間が生じてしまう。隙間があると、センターピラー、補強部品がそれぞれ個別に変形し、ずれが生じるため、一枚の厚板として挙動せず、厚肉化による曲げ性能向上の効果を活かしきれない。この隙間を極力小さくするために、図1右に示すパッチワーク・テーラードブランク(以後 PW-TWB: Patchwork-Tailored Welded Blanks)工法が実

* 鉄鋼研究所 利用技術研究部 主任研究員 兵庫県尼崎市扶桑町 1-8 〒 660-0891

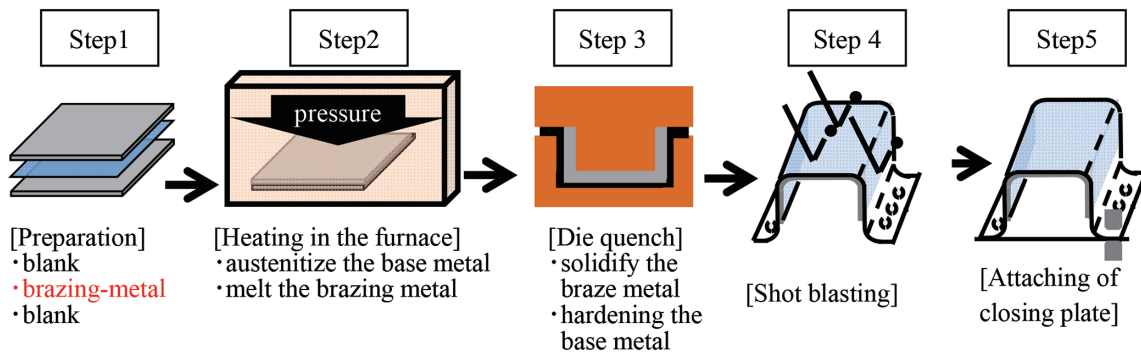


図2 ホットスタンプ工程を活用した面ろう付工法の模式図
Schematic diagram of 2D brazing utilizing hot stamping process

用化されている⁴⁾。

これは、プレス前の平板の状態、メイン部品用鋼板と補強部品用鋼板をSP溶接し、その後プレス成形により部材化するという工法である。従来工法では接合ができない部材の稜線にもSP溶接することが可能であり、またセンターピラーと補強部品の隙間を小さくできる。しかし、このSP PW-TWBを用いて部材を作成した場合においても、溶接部以外は接合されていないため、曲げ変形時にセンターピラーと補強部品間の未接合部にずれが生じ、両者の合計板厚に見合った曲げ性能向上効果が得られない。つまり、補強材による厚肉効果を最大化するためには、センターピラーと補強部品間を全面で接合し、曲げ変形時のセンターピラーと補強部品間のずれ変形を抑制する必要があると考えられる。そこで、SP溶接という点接合ではなくセンターピラーと補強部材の全面を、HS工程における炉加熱を利用し、ろう付する方法を考えた。

本稿では、このホットスタンプ工程を活用した面ろう付技術の概要と、面ろう付により作成した継手強度の評価結果を報告する。さらに、作成したハット部材の三点曲げ試験により、面ろう付適用による曲げ性能向上効果を確認したのでその結果について報告する。また、接合部の非破壊検査による、ろう廻り不足部の検出可否について検討したので合わせて報告する。

2. HS工程を活用した面ろう付方法

図2にハット部材を例に、HS工程を活用した面ろう付工法の工程概略図を示す。まずStep 1では、メイン部材用の鋼板と補強用鋼板の間に箔状のろう材を挟み込んだ状態で準備する。Step 2において加圧しながら炉内加熱を行い、母材組織をオーステナイト化するとともに、ろう材を溶融させる。その後、鋼板を金型へ運搬し、Step 3にて金型冷却し、焼き入れと同時にプレス成形を行う。成形後には、Step 4にてショットブラスト等を用いてスケールを取り除き、Step 5においてクロージングプレート(SP溶接)を取り付けることで閉断面部材として完成させる。

表1 供試材組成例 (mass%)

Chemical compositions of hot stamped sheet (mass%)

C	Mn	B	Cr
0.21	1.26	0.001	0.2

3. 実験方法

3.1 供試鋼板、ろう材

供試鋼として、焼き入れ後に1.5GPaの引張強度となる非めっきHS鋼板及び亜鉛めっきHS鋼板を用いた。化学成分例を表1に示す。供試鋼の板厚は、継手強度評価試験では1.4mm、1.6mm及び1.8mm、ハット部材の強度試験では1.2mm、1.4mm及び2.6mm、また非破壊検査の検討では0.8mm、2.3mmとした。前述のように、HS工程では、鋼板の焼き入れを行うため、一度母材組織をオーステナイト単相へと変態させる必要がある。

本ろう付方法では、HS工程における加熱をろう付熱源として利用するため、鋼板のオーステナイト変態温度(本報の供試材では831℃)以上で炉内ろう付が可能なるろう材を用いて接合する。また、後述の液体金属脆化割れを考慮すると、固相線温度が炉内温度に近いろう材選定が良い。図3に、JIS規格を参考に整理した一般的なろう材の液相線温度域を示す。本報では、HS工程の炉内温度(900℃～1000℃)でのろう付が可能で、比較的安価、かつ大気雰囲気でのろう付が可能な箔状の黄銅ろうと、青銅ろうを用いて検討を行った。ろう材の成分、物性値を表2に示す。

3.2 液体金属脆化割れ評価方法

実部材作成時には、高温での焼き入れ、曲げ加工が行われるが、ろう材の種類によっては(例:銅ろう)、高温曲げ加工時の液体金属脆化(以後LME: Liquid Metal Embrittlement)割れが危惧される。そこで、ろう付試験片に対して高温曲げ試験を行い、LME割れの発生と固相線温度との関係を調べた。長さ60mm×幅30mmの全面にろう材を挿入した試験片を1000℃で5min加熱し、試験片長さ方向中心部を曲げR5mm、角度90°のポンチで、800℃、750℃の2水準の高温曲げ加工を行った。その後、試験片の外観観察と接

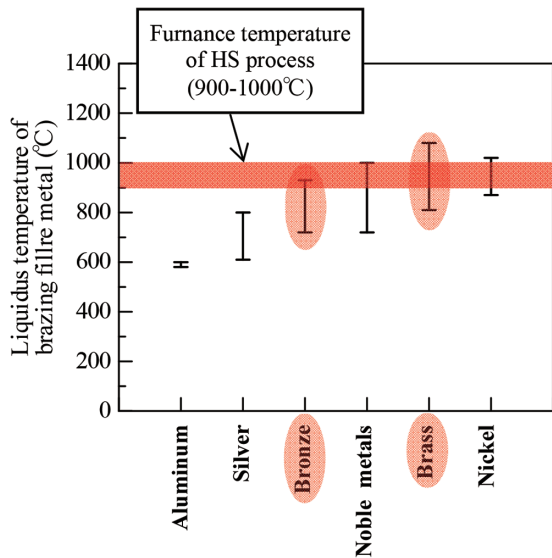


図3 各種ろう材の液相線温度域

Liquidus temperature range of the various brazing filler metal

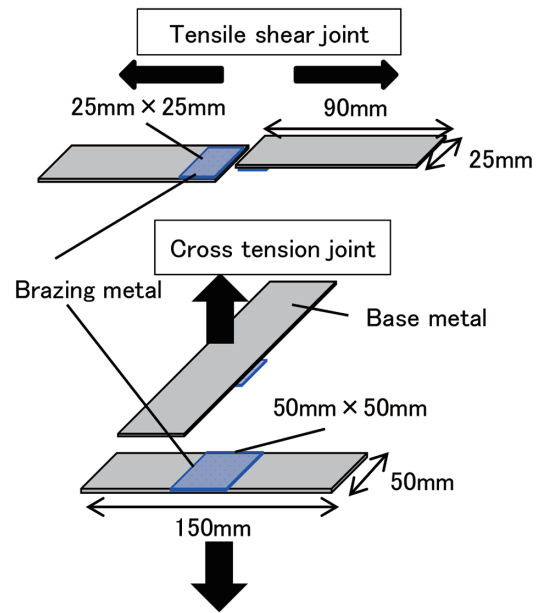


図4 継手強度評価用試験片の概略
Shape of TSS and CTS specimens

表2 ろう材の成分、物性値
Chemical compositions and material properties of brazing filler metal

Materials	Chemical compositions (mass%)	Liquidus temperature (°C)	Solidus temperature (°C)	Use of application
Brass	Cu: 64%–68% Zn: Bal.	930	903	Strength evaluation of joints and hat channels
Bronze	Cu: 80% Sn: 20%	925	770	Evaluation of LME crack

合部断面観察により、LME 割れ発生の有無を確認した。なお、ろう材が液相状態での曲げの場合において、LME 割れの発生が懸念されるため、本評価のみ、固相線温度が低い青銅ろうを用いて本試験を実施した。

3.3 炉内での加圧

被接合材は炉内での昇温に伴い、反りかえり等の変形を生じ、ろうのぬれを阻害する。そこで、3.4 で後述する十字引張強さ(以後 CTS : Cross Tensile Strength) 評価試験片を用い 1000°C、5min で、炉内での加圧を行わなかった場合と、炉内で被接合材へ 7×10^{-4} MPa の加圧を行った場合の 2 通りの引張試験片の破断面を観察し、炉内加圧の有無が接合状態に与える影響を評価した。

3.4 継手強度の評価方法

実部材のろう付面にかかる荷重は、せん断方向、剥離方向の合力であると考えられる。そこで、継手強度評価のための引張試験として引張せん断強さ(以後 TSS : Tensile Shear Strength) 試験と CTS 試験の 2 種類で評価を行った。図 4 に試験片の概要を示す。TSS 試験片は長さ 90mm × 幅 25mm (一部試験は 20mm) の鋼板とし、重ね合わせ長さを 25mm (一部試験は 15mm) とし、その重ね合わせ部全面を

ろう付した。また、CTS 試験片は長さ 150mm × 幅 50mm の鋼板 2 枚の中央部を 50mm 重ね合わせ、重ね部全面 (50mm × 50mm) をろう付した。また、継手強度を比較するため、JIS Z 3136 を参考に、TSS、CTS 共に SP 溶接の継手強度試験も実施した。

SP 溶接継手の引張せん断試験片では、長さ 100mm × 幅 30mm の鋼板 2 枚の端部を 30mm 重ね合わせ、重ね部中心にナゲット径が 5.36mm ($4\sqrt{t}$ (t: 板厚)) となる溶接条件にて SP 溶接を行った。十字引張試験片では長さ 150mm × 幅 50mm の鋼板 2 枚の中央部を 50mm 重ね合わせ、重ね合わせ部を中心を引張りせん断試験片と同じ条件で SP 溶接した。作成した引張せん断・十字引張試験片に対して、室温において引張速度 10mm/min で引張試験を行った。

3.5 ハットの三点曲げ試験法

ハット部材を作成し、三点曲げ試験により、曲げ荷重-ストローク曲線と吸収エネルギーを求めた。曲げ試験では、図 5 に示すように、設置間隔 500mm の支持点 (R=30mm) の上にハット部材を配置し、R が 150mm のポンチを用いて、圧壊速度 15mm/min、最大 50mm の押し込みにより曲げ変形を与えた。評価に用いたハット部材を図 6 に示す。面ろ

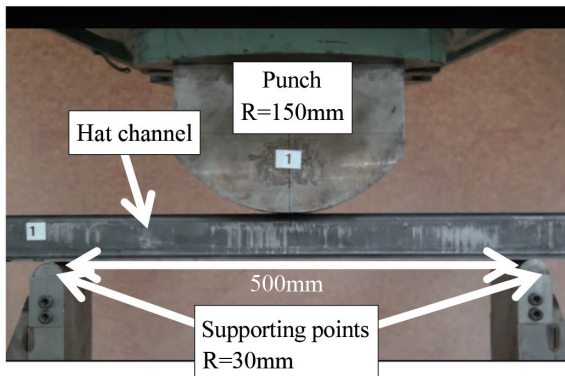


図5 三点曲げ試験の概略
Schematic of three-point bending test

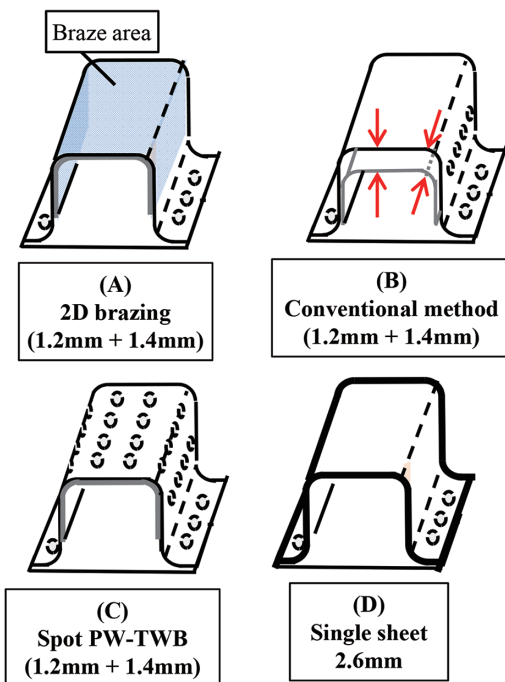


図6 三点曲げ試験片形状の概略
Simple overview of hat members for three-point bending test

ろう付を用いて作成したハット部材 (A) はメインハット部における $170\text{mm} \times 595\text{mm}$ の全面をろう付した。なお、ろう付過程における板の取り扱いを考慮して、板の中心部に SP 溶接で一打点溶接した。

ろう付条件は 4.1 で後述する継手強度の検討結果を基に、接合温度を 1000°C 、接合時間を 10min 、ろう材厚みを $100\mu\text{m}$ とした。また、焼き入れ開始温度は 800°C とした。比較材には、従来工法を模擬し、メインハット部及び補強部を別途作成し、後からスポット溶接により接合した従来工法ハット (B)、ブランク段階でメインハット部-補強部を SP 溶接しておく SP PW-TWB ハット (C)、及びメイン部品と補強部品の合計板厚に相当する板厚 2.6mm の HS 鋼板一枚板で作成した一枚板ハット (D) で作成した。なお、一枚板ハット (D) のみ、補強部のみならずフランジに至るまで部品全体が 2.6mm である。

3.6 非破壊検査手法

本工法を用いて作成した部材は板-板間に接合部が位置する構造となるため、ろう廻り不足部を外観から検出することが困難である。そこで、非破壊検査によるろう廻り不足部 (内部欠陥) の検出可否検討を行った。非破壊検査方法には種々の方法が存在するが、本検討では、溶接部での欠陥検査に一般的に使用される X 線による放射線透過検査を用いて、管電流値 3.0mA 、管電圧 $50\sim 150\text{kV}$ 、照射時間 2min の条件下でろう廻り不足部の非破壊検査を実施した。試験片には CTS 試験片を用い、ろう付後に放射線透過検査を行った後、引張試験により強制的に破壊することで破面を得た。X 線による放射線透過像と破面とを比較することで、非破壊検査による、ろう廻り不足部の検出精度を検証した。用いたろう材挿入厚みは $100\mu\text{m}$ 、母材板厚には前述のように 0.8mm 、 2.3mm の 2 水準を用いて試験を行った。なお、本試験においては、試験結果の差を明瞭にするため、CTS 試験片作成時の炉内での加圧を与えなかった。また挿入したろう材は $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ のサイズとした。

4. 実験結果及び考察

4.1 液体金属脆化割れに及ぼす曲げ温度の影響

青銅ろうの、固相線温度以上である 800°C での曲げと、固相線温度以下である 750°C での曲げ試験の結果を図 7 に示す。本試験での曲げ加工では、曲げ内側の板の、ろう材に接する面において引張応力が生じ、LME が生じうる。固相線温度以上の 800°C での曲げ加工では、LME 割れが散見された。他方、固相線温度以下の曲げ加工では LME 割れが発生しないことが判った。このことから、ろうの固相線温度以下で曲げ成形するように被接合材を温度管理することで、LME 割れの防止が可能であることを確認できた。なお、黄銅ろうでの高温曲げ試験においても、固相線温度以下である 800°C での曲げ加工において、曲げ内側の板に LME が生じていないことを確認している。

4.2 接合界面に及ぼす炉内加圧の影響

図 8 に、炉内において圧力を与えなかった場合、与えた場合のそれぞれの破面を示す。圧力を与えなかった場合 (0MPa) には、点線枠外に示されるろう廻り不足部が散見された。一方、 $7 \times 10^{-4}\text{MPa}$ と低い加圧力ではあるが、炉内加圧をすることで、炉内加圧をしない場合と比較してろう廻り不足部の少ない、良好な破面となることが判った。炉内昇温の際に加圧をし、被接合材の変形を抑制することで、被接合材間の隙間発生とそれに伴うろう廻り不足部発生を防ぎ、良好な接合面を形成できたものと考えられる。

4.3 継手の強度に及ぼす接合条件の影響

まず、接合温度、接合時間が継手強度に及ぼす影響を調

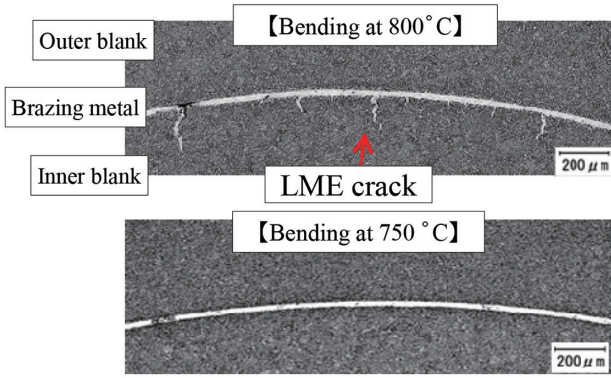


図7 高温での曲げ成形によるLME割れの有無
Interface of 2D brazed specimens bending at 800°C and 750°C

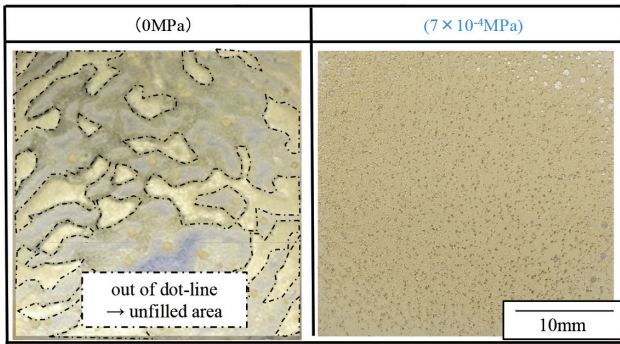


図8 炉内加圧の有無がろう廻りに与える影響
Fracture surface of CTS test at the case of 0MPa and 7×10^{-4} MPa

べた。図9に接合温度950°Cでの接合時間5, 10minの継手強度を、図10に接合時間10minでの接合温度950°C, 1000°Cの継手強度を示す。破断形態は1000°C, 10minのTSSでの母材破断条件を除き、すべて凝集破断となっていた。接合温度950°Cでは、5minで34.8kN, 4.2kNであったTSS, CTSが、10minにすることで45.6kN, 5.1kNと向上することが判った。また、接合時間10minでは、950°Cで45.6kN, 5.1kNであったTSS, CTSが1000°Cにすることで48.5kN, 8.9kNと向上することが判った。このことから、TSS, CTS共に、接合温度は高く、接合時間を長くすることで継手強度が向上することが判った。

次に、ろう材挿入厚みが継手強度に及ぼす影響を検討した結果について述べる。なお、ろう材挿入厚みは、接合前に挿入したろう材厚みでの整理とした。また、本試験でのTSSの接合面積は幅20mm×長さ15mmとした。結果を図11に示す。破断形態は全て凝集破断であり、TSSでのろう材挿入厚み50, 100μmの差は小さかったものの、TSS, CTS共にろう材挿入厚みが厚くなるほど、継手強度が高くなる傾向であることが判った。一般に、ろう付でのTSSはろう材厚みが薄くなるほど高くなるが、本工法で得られた継手はその傾向と異なっていた。

ここまでの検討を踏まえ、本検討範囲内での最良条件である1000°C, 10min, 100μmで接合されたろう付継手と、

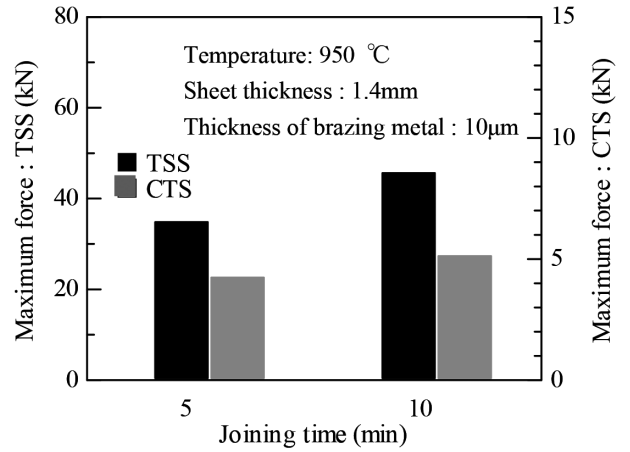


図9 接合時間が継手強度に与える影響
Effect of joining time of brazing filler metal to joint strength

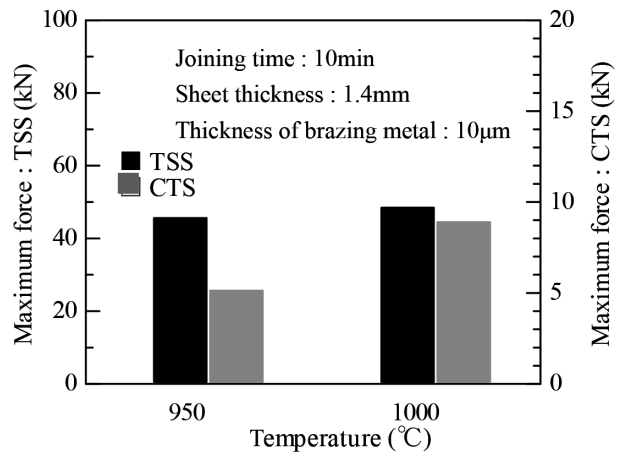


図10 接合温度が継手強度に与える影響
Effect of joining temperature of brazing filler metal to joint strength

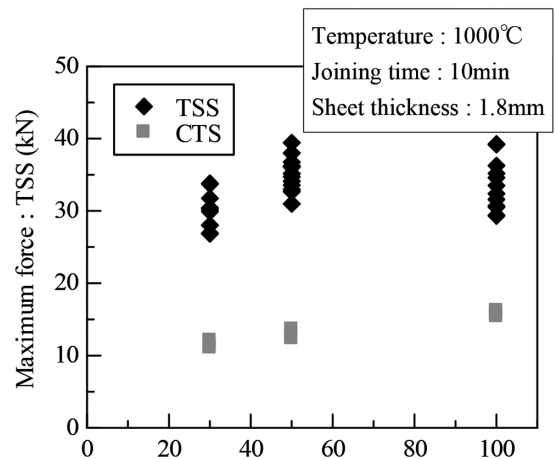


図11 ろう材挿入厚みの継手強度への影響
Effect of thickness of brazing filler metal to joint strength

SP溶接継手の継手強度を比較した結果を図12に示す。ろう付継手はSP溶接継手に対し、TSSで2.2倍、CTSで2.7倍であり、面ろう付継手はSP溶接継手よりも継手強度が高かった。このことから、面ろう付継手は骨格部材を作成するのに十分な強度を有すると判断された。

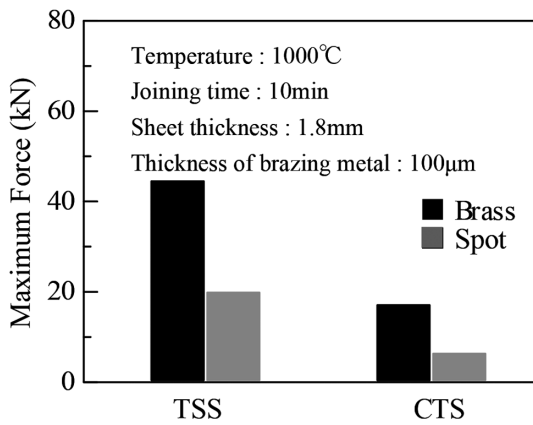


図12 ろう付継手及びSP溶接継手の強度比較

Comparison of joint strengths made by brass brazing, made by spot welding

表3 ろう材挿入厚みがろう部成分に与える影響
Chemical compositions of brazing filler metal after brazing

Joining temperature (°C)	Joining time (min)	Thickness of brazing filler metal (μm)	Fe	Cu	Zn
1000	5	10	4.65	63.71	31.65
		50	1.65	67.29	31.07

4.4 継手強度への影響因子

ろう付条件と継手強度の関係を調査するために、継手強度に比較的大きな差が見られた、挿入厚み 10、50μm の条件を用いてろう付後のろう部の成分分析を行った。表3に、1000°C、5min、挿入厚み 10、50μm でろう付された試験片のろう部のエネルギー分散型 X 線分析結果を示す。挿入厚みが薄い 10μm の方が Fe 濃度が高いものの、どちらの場合もろう部は Cu に Zn が固溶した単一相となっていた。継手の破断形態は凝集破断であり、ろう付条件の違いによるろう部成分の差が小さいことから、各継手強度とろう部の成分との相関は小さいと考えられる。一方、本ろう付工法では炉内加圧力が小さいため、マイクロなレベルでのろう廻り不足部やろう付面外周部でのろう廻り不足部が観察された。そのため、検討範囲内において、高い継手強度を有した長時間、高温、ろう材挿入厚みが厚い条件では、ろう廻り不足部が減り、実質的に接合面積が増えることで継手強度が向上したのではないかと推定された。

そこで、図11に示した試験片を用いて、ろう廻り不足部を除いた実質の接合面積を求め、継手強度ごとに整理した。結果を図13、図14に示す。TSS、CTS共に、ろう材挿入厚みが厚くなることでろう廻り不足部が減り、実質の接合面積は増加した。また、TSS、CTSは共に実質接合面積の増加に伴い、増加する傾向が見られた。TSSの差が小さい50、100μmでは、実質接合面積の差も同様に小さいことが確認された。これらの結果から、継手強度は実質の接合面積に影響を受けているため、長時間、高温、多量、とろう材のぬれや充填を促進しやすい条件ほど、継手強度が高く

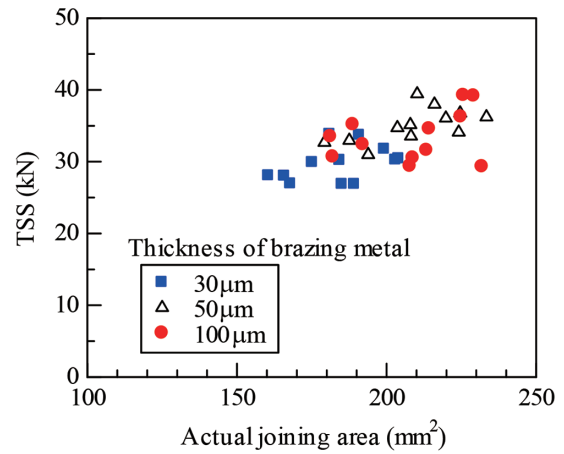


図13 実質接合面積が TSS に与える影響
Effect of actual joining area to TSS

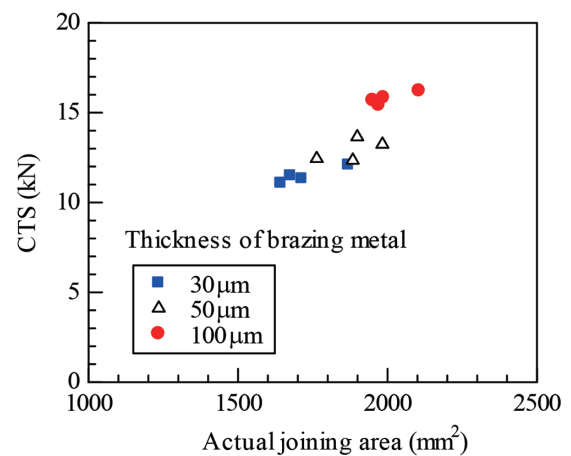


図14 実質接合面積が CTS に与える影響
Effect of actual joining area to CTS

なったものと考えている。

4.5 亜鉛めっきホットスタンプ材を用いた面ろう付

4.4までの検討はすべて非めっき鋼板を用いて実施したが、実部材においては防錆用途の亜鉛めっき HS 鋼板を用いることも多い。そこで、亜鉛めっきホットスタンプ鋼板を対象に面ろう付の適用可否検討を行った。ろう材には、めっきの主成分である Zn が成分に含まれる黄銅 (Cu-Zn) を用いた。接合条件は、非めっき HS 鋼板での検討結果を踏まえ、1000°C、10min とし、ろう材挿入厚みは 50μm とした。

接合部断面を図15に示す。面ろう付前には 10μm 未満の厚みで存在していた亜鉛めっき相は明瞭には残存せず、ろう-母材のろう付が可能であることが確認された。亜鉛めっきはろうと溶け合うことで、一体のろうとして作用し、ろう付が可能となったものと考えられる。

次に TSS、CTS を評価した。接合条件は接合可否検討と同様に 1000°C、10min とし、ろう材挿入厚みは 50μm、TSS の接合面積は幅 20mm×長さ 20mm とした。引張試験

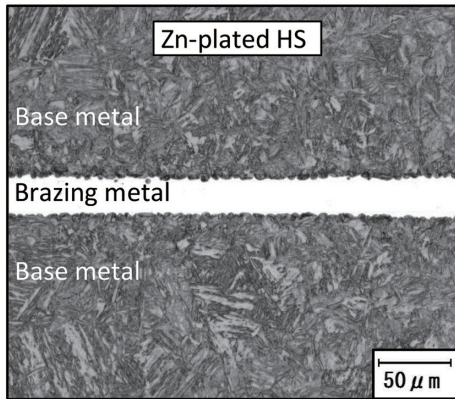
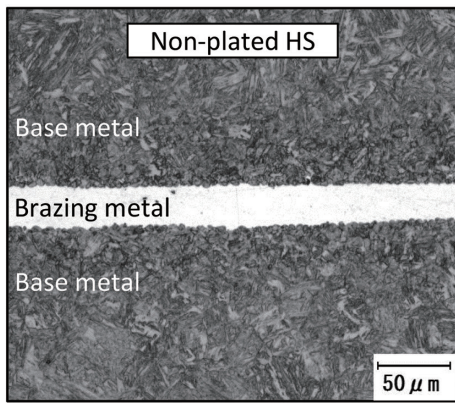


図 15 接合界面の断面
Cross section of brazing area

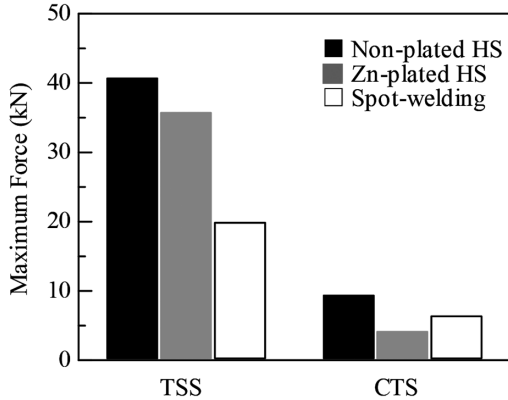


図 16 継手強度の比較
Comparison of joint strength

結果を図 16 に示す。なお、比較のため、同条件で作成した、非めっき HS 鋼板における継手強度も併記した。亜鉛めっき鋼板を用いたろう付継手は、TSS が 35.7kN、CTS は 4.1kN と、非めっき鋼板における TSS (40.6kN)、CTS (9.3kN) よりは低位であったものの、SP 溶接継手強度と比較しても遜色のない継手強度となっていた。

以上の結果から、亜鉛めっき HS 鋼板を用いた面ろう付が可能であることが確認された。また SP 溶接同等の強度であることから、部品製造への適用が可能である可能性が示唆された。ただし、現状は亜鉛めっき HS 鋼板でのろう付条件の検討は不十分であるため、今後さらなる条件適正

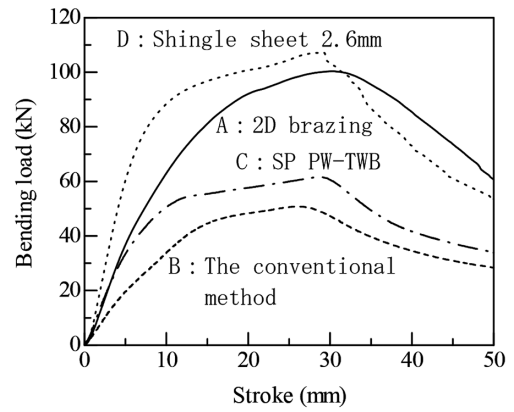


図 17 三点曲げにおける曲げ荷重の比較
Comparison of bending loads in a three-point bending test

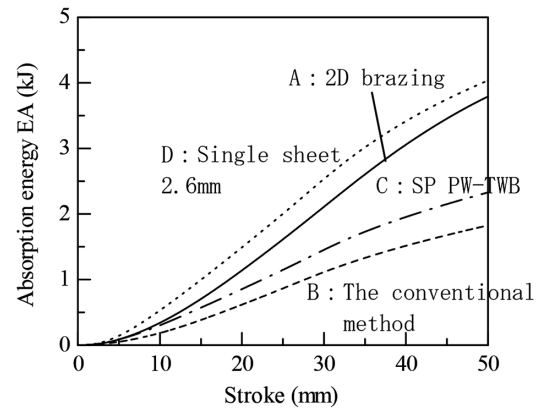


図 18 三点曲げにおける吸収エネルギーの比較
Comparison of absorption energy in a three-point bending test

化を図っていく。

4.6 ハット部材の三点曲げ試験結果

三点曲げ荷重-ストローク曲線を図 17 に、吸収エネルギー-ストローク曲線を図 18 に示す。

従来工法のハット (B) と SP PW-TWB ハット (C) の最大荷重を比較すると、22% (50kN→61kN) 向上することが判った。さらに、HS 面ろう付を用いて作成したハット (A) の最大荷重は、ハット (B)、ハット (C) それぞれと比較すると、100% (50kN→100kN)、63% (61kN→100kN) 向上した。また、ハット (A) と参考比較用の 2.6t 一枚板ハット (D) と比較すると同等の最大荷重を有していた。さらに、エネルギー吸収量を比較すると、HS 面ろう付を用いて作成したハット (A) は 3.79kJ であり、ハット (B)、ハット (C) それぞれと比較すると、176% (1.37kJ→3.79kJ)、63% (2.32kJ→3.79kJ) 向上した。この結果は、面ろう付ハット (A) に、従来工法ハット (B) と同じ荷重がかかった際に、より小さな変形で同じ荷重に耐えられることを意味する。

SP PW-TWB ハット (C) と比較しても面ろう付ハット (A) の最大荷重、吸収エネルギーは高かった。この結果は SP PW-TWB 技術を用いて、メイン-補強部材間の隙間を埋め

るだけでは、変形時のメイン-補強部材間のずれを抑制しきれず、補強の効果を活かしきれないことを示唆していた。また、面ろう付ハット (A) は一枚板ハット (D) と比較しても同等の曲げ性能を有していた。この結果は、メイン-補強部材間全ての上下板間のずれが最大限抑制され、被接合材が一体となって変形できたことで、部材の貼り付けによる曲げ性能向上の効果を最大限に発揮できたことを示していると考えている。

5. X線による放射線透過試験結果

図 19 に破面外観及び X 線による放射線透過試験の官能評価結果を示す。なお、X 線による観察像は、試験条件の範囲内で最も鮮明に観察された像を示している。

ろう材挿入量 $10\mu\text{m}$ において、板厚が薄い 0.8mm ではろう廻り状態がある程度明瞭に観察され、破面と比較しても中心部のろう廻り不足部が X 線透過像により検出可能となっていた。しかし、板厚が 2.3mm では、X 線透過像が全体的に不明瞭となっており、破面観察結果から存在が認められる内部及び周囲のろう廻り不足部の検出が難しいことが判明した。他方、ろう材挿入量 $100\mu\text{m}$ 時には、板厚によらずろう廻り状態が明瞭に観察され、破面と比較しても遜色ない観察が、X 線透過試験により可能であることが判った。

ろう材挿入量が少ない場合に、X 線による観察が困難となる原因は、ろう材挿入量に起因する母材-母材間の距離が、X 線の減衰に影響するためである。ろう材挿入量が少ない場合には母材-母材間の距離が狭く、ろう部による X

線の減衰と、隙間 (ろう廻り不足部) での減衰の差が小さく、像の陰影が不明瞭となる。他方、ろう材挿入量が多い場合には母材-母材間の距離が大きく、ろう部での X 線の減衰が大きい。その結果、ろう部と隙間 (ろう廻り不足部) での X 線の減衰との差が明瞭になった。本試験範囲内で観察が困難であったろう材挿入厚み $10\mu\text{m}$ 、母材板厚 2.3mm の条件であっても、観察装置での条件の適正化により良好な観察が可能となる可能性があるため、今後も検討を継続する。

ところで、ろう材挿入量 $100\mu\text{m}$ 、板厚 0.8mm の場合には矢印部に示されるように、透過像で見られたろう部が、破面において見られないことが判る。この部分のろうは、図 19 に示した破面の相手側試験片に残存していた。この結果は、X 線透過像はろうの存在の有無だけが判別可能であり、母材間を接合しているかどうかの判別は困難であることを意味していた。前述のように本試験では、試験片に対する炉内荷重は負荷していないが、実部材でのろう付状態を X 線による透過検査により検出していくためには、ろう付部への炉内加圧を行い、母材の間の密着状態を確保することが重要となる。そうすることで、X 線透過検査によるろう材の有無を、ろう付がなされているか否かの判定に利用していただけるものと考ええる。

6. 結 言

鋼製車体フレームの軽量化のための最適板厚分布を具現化するため、HS 工程における加熱工程を活用した面ろう付による部分厚肉化技術の開発を行い、次の結果を得た。

(1) 加圧下で炉加熱し、また LME 割れ防止のために焼き入

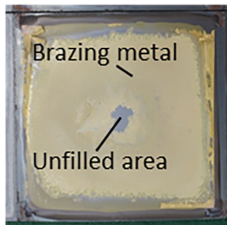
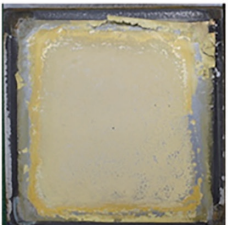
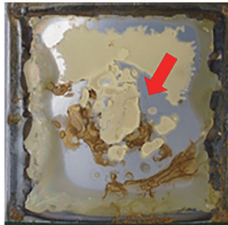
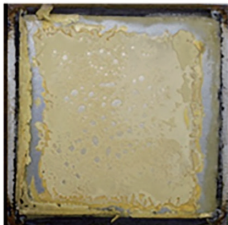
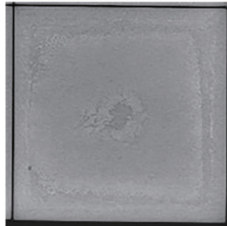
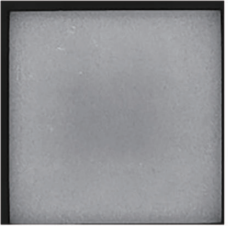
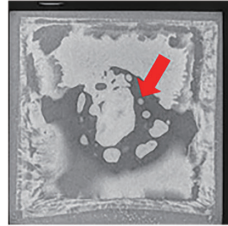
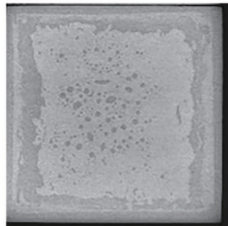
	Thickness of brazing metal : $10\mu\text{m}$		Thickness of brazing metal : $100\mu\text{m}$	
	Sheet thickness : 0.8mm	Sheet thickness : 2.3mm	Sheet thickness : 0.8mm	Sheet thickness : 2.3mm
Fracture face				
X-ray transmission image				
Evaluation ◎ : Excellent ○ : Good × : Poor	○	×	◎	◎

図 19 外観及び X 線による放射線観察結果
Observation results of fracture face and X-ray transmission image

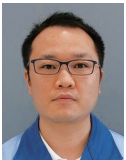
れ温度を制御することで、HS 工程を活用した面ろう付が可能であることを示した。

- (2) 黄銅ろうを用い、最も継手強度の良好な接合条件である接合温度 1000℃、接合時間 10min、ろう材供給量 100 μ m で接合した非めっき HS 鋼板の面ろう付継手の引張せん断強度は、SP 溶接一打点と比較して 2.2 倍高く、十字引張強度は SP 溶接一打点と比較して 2.7 倍高かった。
- (3) 上記接合条件を用いて、亜鉛めっき HS 鋼板の面ろう付継手強度を調査した結果、SP 溶接一打点と比較しても遜色ない継手強度が得られた。
- (4) 面ろう付を用いて作成した部材の三点曲げ性能は、従来法を用いて作成した部材と比較して 2 倍の最大荷重が得られ、また、吸収エネルギーは 2.7 倍となった。
- (5) 面ろう付で作成したハットは、合計板厚分の一枚板で作成したハット部材と比較しても同等の三点曲げ性能を有していた。このことから、面ろう付を活用した部材の厚肉化は、板厚増加による補強の効果を最大限に発揮させると期待される。
- (6) X 線による放射線透過検査を行うことで、殆どの条件において、比較的容易に、ろう材の有無を確認することが可能であることが確認された。

従来の自動車部材では、点での接合であるスポット溶接が多く用いられてきた。しかし、スポット溶接はその面積の小ささが一因となり、継手強度及び部材特性の向上が困難となりつつあり、今後は線接合（レーザー溶接、アーク溶接等）や面接合（接着剤等）の適用も増加していく可能性が高い。このような観点から、本検討では、やや挑戦的姿勢で大面積を接合するろう付工法を開発し、パッチワーク技術へ適用することで、接合方法の改善が部材性能の向上へ繋がる可能性を示した。今後も、超高強度鋼板の優れた性能を最大限に活かす接合技術の開発に邁進していきたい。

参考文献

- 1) 杉山隆司：高強度鋼板の車体への適用と変遷、塑性と加工、46 (534)、8-11 (2005)
- 2) 大栗靖弘：表面、32 (11)、741-748 (1994)
- 3) 榎学 ほか：材料技術この 10 年、自動車技術、64 (1)、79-84 (2010)
- 4) 松崎 ほか：衝突安全と軽量化を両立するホットスタンプパッチワーク技術の実用化、スバル技報、41、109-113 (2014)
- 5) 雀部謙：ろう接部の機械的諸性質とろう付部の信頼性について、ふれいず技術特集編 その 5、p.131-138



銭谷 佑 Tasuku ZENIYA
鉄鋼研究所 利用技術研究部
主任研究員
兵庫県尼崎市扶桑町1-8 〒660-0891



児玉真二 Shinji KODAMA
鉄鋼研究所 接合研究部
主幹研究員 博士(工学)



西畑ひとみ Hitomi NISHIBATA
先端技術研究所 基盤メタラジー研究部
主幹研究員 博士(工学)



泰山正則 Masanori YASUYAMA
鉄鋼研究所 接合研究部
首席主幹研究員