

裏面同時加熱による 縦曲がり変形低減長尺パイプ肉盛溶接方法の開発

Development of Long Pipe Overlay Welding Method for
Preventing Welding Deformation Caused by Backside Simultaneous Heating



佐々木 要 輔 Yosuke Sasaki ①
山 田 順 也 Junya Yamada ①
田 中 智 大 Tomohiro Tanaka ①
中 谷 光 良 Mitsuyoshi Nakatani ②

あ ら ま し

当社ではパイプ肉盛溶接中にTIGトーチによる同時裏面加熱を行い、変形を大幅に減少させる溶接装置の開発を行った。本手法では、パイプの軸方向に沿って肉盛溶接を行う場合に、裏面から同時に加熱を行い、裏面側でも加熱による収縮力を生じさせることにより、表面側の肉盛溶接による収縮力とバランスさせることで変形を低減させる。肉盛用MIGトーチ、裏面加熱用タンデムTIGトーチ、TIG用円弧振りウィーバー、倣い治具等を装置に備えている。本装置を用いて、良好な肉盛溶接を行うためのMIG溶接条件および、変形を低減するTIG加熱条件を確立した。長さ1,000mmのパイプを用いて肉盛溶接実験を行い、縦曲がり変形を従来の1/10にすることが可能となった。また、タンデムTIGトーチを用いることで硬さ低減効果が得られた。

Abstract

We have developed welding equipment for reducing deformation significantly during pipe overlay welding by simultaneous backside heating using a TIG torch. When performing overlay welding along the axial direction of the pipe, the method reduces deformation by using simultaneous backside heating and generating a backside shrinkage force to balance the shrinkage force on the overlay welding side. The equipment consists of an MIG torch for overlay welding, tandem TIG torch for backside heating, circular arc weaver for TIG, and tracking jig. Using this equipment, we established MIG welding conditions for good overlay welding and TIG heating conditions for reducing deformation. The results of an overlay welding experiment using pipe length 1000mm showed it is possible to reduce longitudinal deformation to 1/10 of the conventional method.

1. 緒 言

当社が設計、製作を行っているごみ焼却発電施設において、発電用蒸気生成のための排熱回収ボイラ内部には、熱交換のための水管が多数設置されている。これらのパイプの伝熱面に、排ガス中に含まれる煤や灰などのダストが付着することにより、熱交換効率が低下する。この熱交換効率の低下を防止するために、スートブロワによって高圧蒸気を吹き付け、付着した煤や灰の除去を

行っている。しかし、スートブロワを行うことにより、図1のようにパイプが局所的に摩耗により減肉する部位がある。減肉範囲は周状に約200度であり、その範囲に軸状に耐摩耗材料の肉盛溶接を行っている¹⁾。

長尺パイプの軸上に肉盛溶接を行う場合には、溶接入熱による縦曲り変形が大きくなる。肉盛溶接時にパイプが一度変形すると、次パスの溶接が難しくなる上、溶接終了後にひずみ取りの矯正作業が必要となる。縦曲り変形が大きい長尺パイプの矯正作業は非常に大変であり、作業時間が増加し、作業者の負担も大きくなる。

そこで本稿では、長尺パイプを肉盛溶接する際の縦曲り変形を低減させるために開発した「裏面同時加熱によ

① 技術開発本部 ものづくり基盤研究センター

② 技術開発本部 博士(工学), 大阪大学接合科学研究所 特任准教授

「縦曲がり変形低減長尺パイプ肉盛溶接方法」について紹介する。

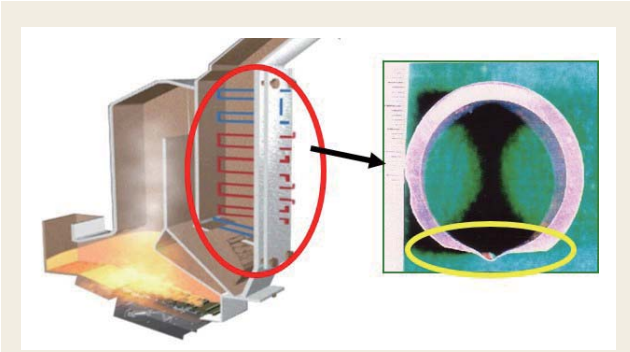


図1 摩耗によるボイラ内部のパイプ減肉

2. パイプ肉盛溶接について

2.1 パイプ肉盛溶接方法 ボイラに用いられている熱交換のためのパイプの一部には、表面に付着したダスト除去のため下側からスートブロウと呼ばれる高圧蒸気を吹き付けている。スートブロウによるパイプの減肉を防止するため、パイプ表面に耐摩耗材料による肉盛溶接が行われている。摩耗範囲やコストの面から、肉盛方法として従来の周状の肉盛ではなく、図2のようにパイプ軸上に肉盛溶接を行っている。肉盛範囲は図3に示すように、周方向に200度としている。



図2 パイプ肉盛溶接

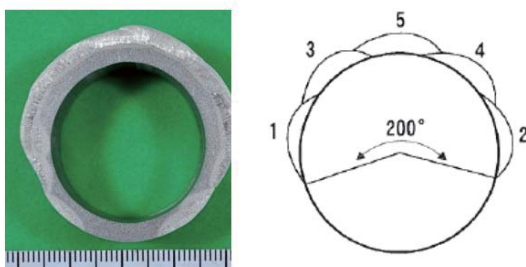


図3 パイプ肉盛溶接箇所

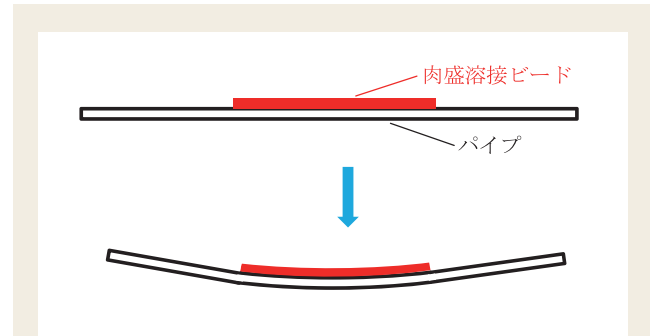


図4 肉盛溶接によるパイプの縦曲がり変形



図5 変形したパイプの矯正作業

長尺のパイプの軸方向に肉盛溶接を行った場合、図4に示すように溶接入熱による収縮により、縦曲がり変形が生じる。そのため、肉盛溶接終了後には図5に示すようなひずみ矯正作業が必要となる。溶接長やパス数が増えるにつれて、縦曲がり変形が増加し、場合によっては溶接時間以上に矯正時間がかかることもある。矯正作業時間の増加はコストアップにつながるため、肉盛溶接時の溶接変形を低減する施工方法が必要となる。

2.2 裏面TIG加熱実験 長尺パイプの肉盛溶接時の縦曲がり変形を低減させるために、溶接中に裏面側からTIG加熱を行い、パイプに逆方向の縦曲がり変形を生じさせる手法が考えられる^{2) 3)}。TIG加熱位置を肉盛溶接位置より前方にし、あらかじめ逆方向の縦曲がり変形を生じさせることで、変形低減効果の向上が期待できる。

パイプ肉盛溶接時の縦曲がり変形低減効果を確認するために、TIG溶接電源を用いて裏面同時加熱を行った。図6に示すような一軸走行台車を用いた実験装置を用いて、裏面TIG加熱実験を行い、溶接後の変形計測を行った。TIGによる加熱は肉盛溶接トーチの前方200mmとし、ボイラ・熱交換器用炭素鋼鋼管 (STB340)、φ38.4mm、肉厚3.5mmのパイプに対して、肉盛溶接側を電流160 A、裏面加熱側を電流250 A、溶接速度195mm/minとした場合の結果を図7に示す。図中には、同じ肉盛溶接条件で裏面加熱を行わなかった場合の結果も示している。裏面TIG加熱を行うことにより、パイプの縦曲がり変形が低減されている。

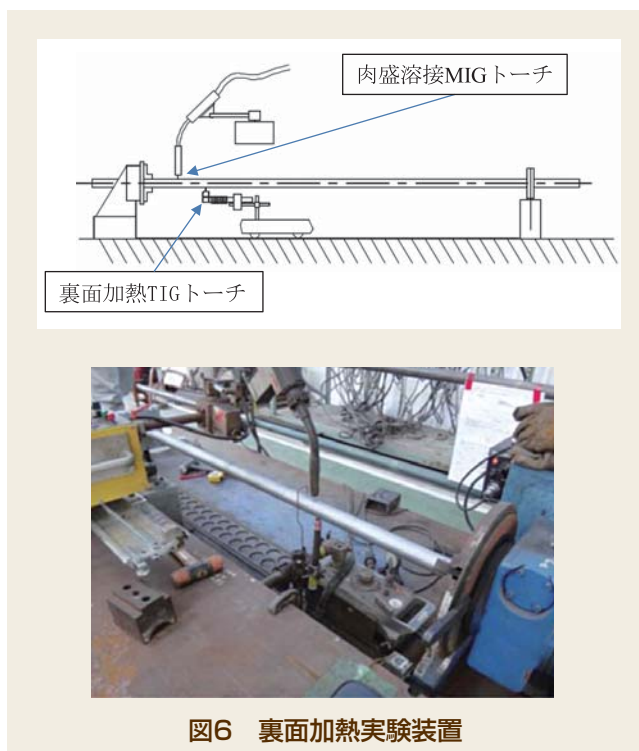


図6 裏面加熱実験装置

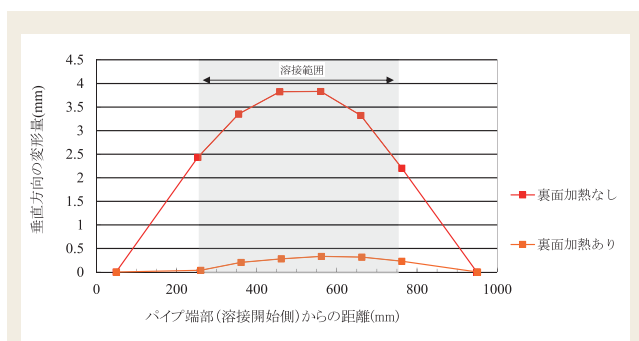


図7 溶接変形の比較

3. 長尺パイプ自動肉盛溶接装置

3.1 装置構成 上述の手法により、縦曲がり変形を低減する自動肉盛溶接装置を開発した。溶接装置の外観を図8に、溶接トーチ周辺の拡大図を図9に示す。本溶接装置は、デジタルインバータ制御式パルスMIG溶接電源、直流TIG溶接電源、MIG用小型ウィーバー、TIG用円弧振りウィーバー、パイプ上下倣い治具から構成されている。

MIGトーチはアーク長の自己制御が期待できるため、溶接方向と直交する向きにウィービングを行う機構としている。一方TIGトーチは、直交する方向にウィービングを行うとアーク長が変動し入熱が変動してしまう。そこで、アーク長を一定に保つために円弧振りウィーバーを用いて、パイプの周方向に沿ってウィービングを行う機構としている。裏面加熱TIGトーチはタンデム化しており、変形矯正に十分な入熱量を確保することができる。また、裏面加熱時の冷却速度を遅くすることと再熱効果により、加熱部の最高硬さの低減が図れる。

MIGトーチとTIGトーチにはそれぞれパイプ倣い治具が取り付けられており、溶接中にパイプが多少変形した場合でも、溶接位置をおよび加熱位置を追従させることが可能である。倣い治具が溶接ビード上に乗り上げた場合の狙い位置ずれを防止するために、MIG側およびTIG側の倣い治具の当たり面は図9に示すように球状になっており、溶接方向に対して上下左右の方向に倣う。倣い治具はそれぞれ溶接の前方向に2セット設置している。溶接中に倣い治具の位置を作業者が調整することで、ビードの段差にも対応することができる。

装置の全長は約10mであり、最大長さ8mのパイプに5mまで肉盛溶接可能である。対象パイプ径は、 $\phi 27.2 \sim \phi 114.3\text{mm}$ 、軸方向の溶接速度は100～500cm/minである。図10に示すパイプ軸上への直線溶接の他に、図11に示す周状の肉盛溶接も可能となっている。



図8 長尺パイプ肉盛溶接装置

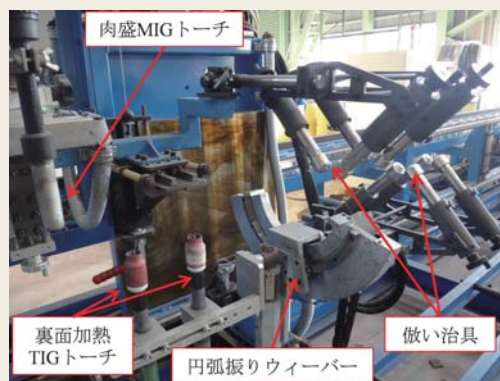


図9 溶接トーチ部分拡大図



図10 直線肉盛溶接



図11 周状肉盛溶接

3.2 施工方法 図12に本溶接装置を用いた肉盛溶接方法の模式図を示す。パイプ内部は水冷した状態で、裏面から溶接前方に二本のTIGトーチが先行で加熱を行い、同時に後行してMIGトーチが肉盛溶接を行う。

肉盛用のMIGトーチと裏面加熱用のTIGトーチは同期して動くため、移動速度は同じであるが、その他の条件は独立での制御が可能である。

3.3 条件設定 本長尺パイプ肉盛溶接装置では、専用ソフトを用いて各種設定を行う。図13に示すようにソフト内で走行速度や、MIGおよびTIGの溶接・加熱条件、ウィーバーの動作条件の設定を行う。MIG側では溶接電流、電圧、ウィーバーの速度、振幅を設定することができる。TIG側ではタンデムトーチの各電流値および円弧振りウィーバーの周速度、振り角度、停止時間等を設定できる。

現在値		走行速度	走行距離
		23456 mm/分	23456 mm
パターン(1~20) 56			
MIG	溶接機	電圧	23456 V
		電流	23456 A
		速度	23456 mm/分
		距離	23456 mm
		停止時間	23456 秒
TIG	溶接機	電流1	23456 A
		電流2	23456 A
		角度	23456 °
		周速度	23456 mm/分
		停止時間	23456 秒
		パイプ径	23456 mm

図13 施工条件設定画面

これら以外にも本装置での施工時には図14に示すように、各トーチと溶接開始/終了位置との位置関係を設定する必要がある。ソフト上では、肉盛溶接長さに加えて、裏面加熱開始点から肉盛溶接開始点までの距離（予備加熱長さ）、肉盛溶接終了点から裏面加熱終了点までの距離（延長加熱長さ）、MIGトーチから後行TIGトーチまでの距離（先行加熱距離）、タンデムTIGトーチ間の距離（トーチ間隔）の4項目の設定を行える。基本的な施工条件としては、TIGトーチが先行して裏面加熱を開始した後に、MIGトーチが肉盛溶接を開始する。このとき、先行TIGトーチと後行TIGトーチの加熱開始位置（または加熱終了位置）は同じとし、肉盛溶接終了後も所定の位置まで裏面加熱を行える。

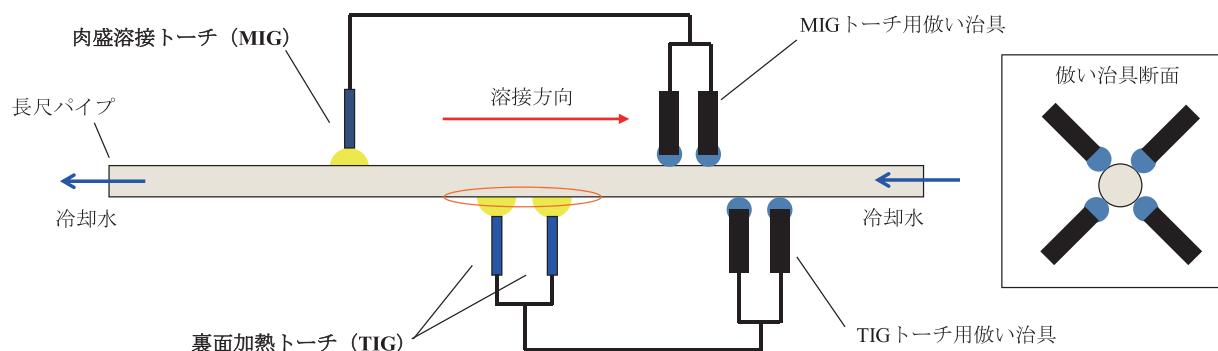


図12 開発装置による肉盛溶接方法の模式図

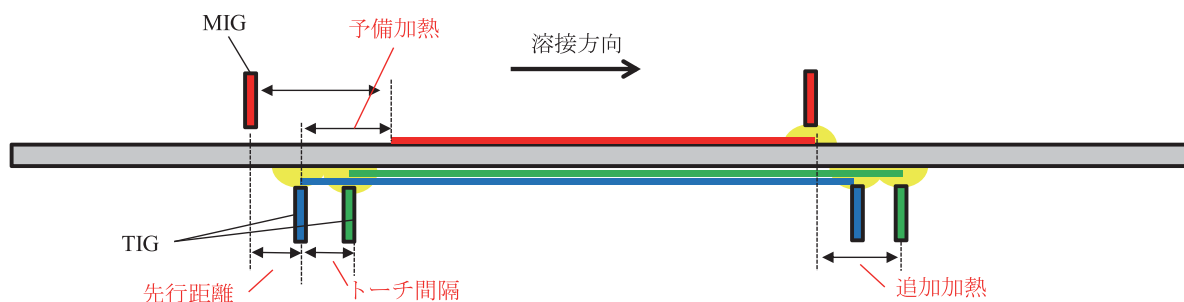


図14 MIGトーチおよびTIGトーチの位置関係

4. パイプ縦曲がり変形低減効果

4.1 パイプ縦曲がり変形低減確認溶接実験

開発した長尺パイプ肉盛溶接装置を用いることで、縦曲がり変形を低減することが可能か確認するための溶接実験を行った。本実験で用いたパイプは、ボイラ・熱交換器用炭素鋼鋼管STB340（外径：φ38.1、肉厚：3.5mm）であり、ワイヤはSUS310（ワイヤ径：φ1.2mm）を用いている。実験では、MIGおよびTIGの溶接条件および加熱条件を変化させ、良好な肉盛溶接が行えて、かつ施工後の縦曲がり変形が小さくなる条件を検討した。まずMIG溶接の条件を様々に変えて実験を行い、適切な肉盛ビードが得られるような条件を選定した。次に、得られたMIG溶接条件で肉盛溶接を行った際に、縦曲がり変形が最小となるような裏面加熱TIGの条件を選定した。また、裏面加熱TIGトーチをタンデム化することで、再熱効果により加熱部の硬さ低減が可能か確認を行った。

4.2 MIG肉盛溶接条件の選定 肉盛溶接を行うパイプ表面には、約200度の範囲にわたって溶接する必要があり、複数パスでの施工となる。施工するときのパス数が少ないほど作業時間が短縮されコストメリットがある。

一方、パイプ表面に肉盛溶接を行う場合は、通常ビード高さの指定があり、ここではビード高さ2mm以上として実験を行った。ウィービング幅や溶接速度を調整してビード高さを高くするほど、ビード幅は狭まり、施工パス数が増える傾向にある。そのため、本溶接実験では、ビード高さ2mmを確保しつつ、ビード幅が広がる条件を選定した。溶接速度を上げ、ウィービング幅を増やすことで、肉盛ビード高さが減少した。ビード外観も考慮した条件で施工することとした。選定した条件で施工したビード外観を図15に示す。



図15 開発装置による肉盛溶接ビード外観

4.3 TIG裏面加熱条件の選定 上述したMIG溶接条件で肉盛溶接を行った際に、縦曲がり変形が最も低減できる裏面TIG加熱条件の選定を行った。本実験では、長さ1,000mmのパイプ中央部に1パスで溶接長さ500mmの肉盛溶接を行った場合の変形計測を行った。タンデムTIGトーチの加熱条件および、各トーチ間の距離や溶接開始/終了点との距離を変えながら実験を行った。種々の実験の結果、選定した条件で施工した場合に溶

接後の縦曲がり変形が0.5mmと最小になった。図16に裏面同時加熱の有無によるパイプ変形の比較を示す。裏面同時加熱を行うことにより、行わない場合の1/10の変形量となっており、本手法を用いることで大幅に縦曲がり変形を低減できることが分かった。

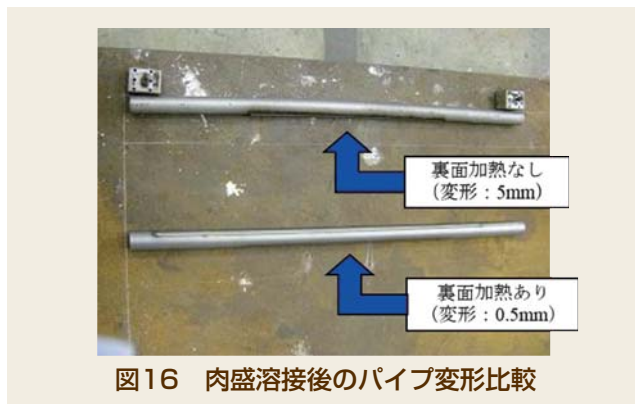


図16 肉盛溶接後のパイプ変形比較

4.4 タンデムTIGトーチによる再熱効果 前述のように、本長尺パイプ肉盛溶接装置では、裏面加熱のTIGトーチはタンデム化している。図17にタンデムトーチによる裏面加熱の断面模式図を示す。先行トーチで加熱を行った後、後行トーチで再度加熱することにより、加熱部の冷却速度はシングルトーチの場合と比べて遅くなり、硬さ上昇を抑えられると考えられる。また、後行トーチの加熱による再熱効果のため、硬さ低減が期待できる。

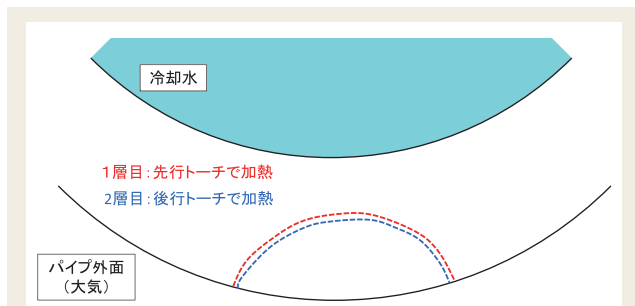


図17 タンデムTIGトーチによる裏面加熱模式図

図18にシングルトーチとタンデムトーチそれぞれで裏面加熱を行った場合の加熱部ビッカース硬さ試験結果を示す。シングルトーチの場合、外表面近くでは、最高硬さ350Hv以上となっている。一方、タンデムトーチの場合、外表面近くの最高硬さは250Hv程度となっており、シングルトーチによる加熱と比べ、最高硬さが大幅に低減していることが確認できる。

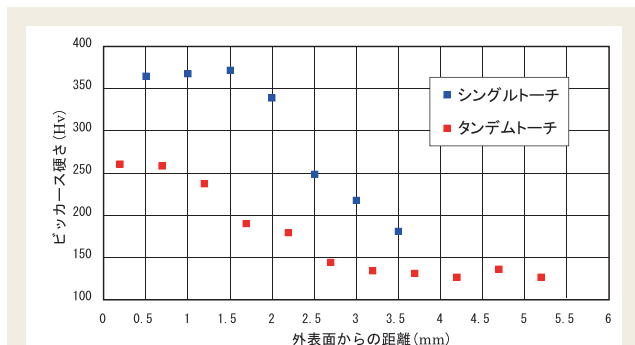


図18 タンデムトーチによる裏面加熱部硬さ低減効果

5. 結 言

MIG溶接によるパイプ肉盛溶接中にTIGトーチによる裏面同時加熱を行い、変形を大幅に減少させる溶接装置を開発した。最大8mのパイプに5mまで肉盛溶接可能であり、TIGトーチには広範囲を安定して加熱するために円弧振りウィーバーを搭載している、また、各トーチには倣い治具が取り付けられているため、パイプが多少変形した場合でも追従することが可能となっている。実験により、良好な肉盛溶接を行うためのMIG溶接条件を確立し、その後、変形を低減できるようなTIG溶接条件を選定した。長さ1,000mmのパイプを用いて、肉盛溶接実験を行い、縦曲がり変形を従来の1/10にすることが可能であることを示した。また、タンデムTIGトーチによる裏面加熱により、パイプ硬さ低減の効果を確認することができた。

本装置は当社工場に導入済みで、実工事に適用し効果をあげている。

参考文献

- 1) 基 吉夫, 遠山 一廣, 中谷 光良: ボイラ水管肉盛溶接による長寿命化, 日立造船技報, **2011**, 72 (2), 57-61.
- 2) 竹野 新二, 松林 照巳: アルミニウム合金の隅肉溶接角変形防止法の検討, 溶接学会全国大会講演概要,**1995**, (56) , 142-143.
- 3) 小谷 祐樹, 津山 忠久, 湯田 誠: すみ肉溶接の角変形量に与える裏面加熱の効果, 川田技報, **2014**, Vol.33

【文責者連絡先】

Hitz日立造船株式会社 技術開発本部 技術研究所
ものづくり基盤研究センター 溶接グループ
佐々木要輔
Tel : 06-6551-9239 Fax : 06-6551-9086
e-mail : sasaki_yo@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Technology Development Headquarters
Technical Research Institute
Welding Technology Section
Innovative Manufacturing & Technology
Research Center
Yosuke Sasaki
Tel : +81-6-6551-9239 Fax : +81-6-6551-9086
e-mail : sasaki_yo@hitachizosen.co.jp



佐々木 要 輔



山 田 順 也



田 中 智 大



中 谷 光 良