

Title	粒子法による粉体-流体連成モデルを用いたサブマージアーク溶接中の溶融池対流現象の研究
Author(s)	古免, 久弥
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/72395
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (古 免 久 弥)

論文題名

粒子法による粉体-流体連成モデルを用いたサブマージアーク溶接中の溶融池対流現象の研究

論文内容の要旨

本論文は消耗電極式溶接法の一種であるサブマージアーク溶接を対象とし、溶接条件が溶融池やスラグの形成に与える影響とそのメカニズムを解明することを目的として実施したものである。

第1章では、サブマージアーク溶接および溶滴移行現象の概要について説明し、実験による溶接現象の可視化の現状を述べた。また数値計算においては他の消耗電極式溶接法の先行研究例も紹介し、その概要と問題点について述べた。さらに計算格子を用いない粒子法の種類や計算例についても記述し、本研究の目的を述べた。

第2章では、イメージインテンシファイアを取り付けた高速度ビデオカメラとX線源を用いたX線透過観察および高速度ビデオカメラを用いた直接観察の手法について述べた。そして、これらの手法を用いて行ったサブマージアーク溶接中の溶接部の可視化の結果を示した。観察の結果、溶滴径がワイヤ径よりも小さなスプレー移行形態の溶滴の輸送や溶接方向の前後方向への波打ちのようなスラグの流動、溶滴直下で維持される二層に分かれたアークプラズマなどが可視化された。また、溶接条件がフラックス内部のスラグや溶滴の挙動に及ぼす影響について考察した。

第3章では、まず熱源であるアークプラズマのシミュレーションに用いる有限体積法の原理に基づいて支配方程式群を離散化し、計算領域や境界条件を含む詳細な計算条件について述べた。次に、母材と溶滴の挙動をSPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 法の原理に基づいてNavier-Stokes方程式を離散化した。また、SPH法を非圧縮性流体に適用するために用いた非圧縮性近似手法の詳細についても述べた。最後に、フラックスの挙動をシミュレートするDEM (Discrete Element Method) の原理に基づき、Newtonの運動方程式を離散化した。

第4章では、一般的なガスメタルアーク溶接を対象に、非圧縮性SPH法を用いた数値解析モデルによって溶融池形成過程のシミュレーションを行った。その結果、時間の経過に伴う熱源の移動と共に、溶融池が形成され、その後方では溶融金属が再凝固して余盛を形成するという、実際のガスメタルアーク溶接で見られる現象がシミュレートできた。この計算結果は溶着金属高さがやや高く、溶着金属が外に濡れ広がっているものの、実験結果と同等の溶込みを得ることができ、計算モデルの妥当性が示された。また1滴の溶滴の座標を追跡することで、溶融池へ輸送された溶滴の挙動を明らかにした。計算で得られた数値データにアンサンブル平均処理を施すことで、平均化された速度分布を求めることができ、溶滴の輸送に伴う溶融池の速度場の変化を三次元的に考察することが可能であることを示した。その後、溶滴を構成する粒子群の軌跡を追跡し、溶融池へ輸送された後の溶滴の挙動についても考察した。また、アンサンブル平均処理を適用することで溶融池の流れ場を明らかにし、溶滴が輸送されてから次の溶滴が輸送されるまでの溶融池内の速度分布の動的な変化について考察した。

第5章では溶接と共に母材上のフラックスが溶融しスラグを生成するサブマージアーク溶接を対象とし、まずは有限体積法とSIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) 法を用いて熱源をモデル化した。次に離散要素法と非圧縮性SPH法を組み合わせた連成計算手法を開発し、スラグ形成および溶融池形成をシミュレートした。その結果、有限体積法とSIMPLE法によって得られた熱源の温度場から推定されるスラグの厚さは実験とよく一致した。また本研究で構築した連成計算モデルは溶融池とスラグの形成を同時に再現できた。これらの形成過程中、母材はフラックスによって加熱・冷却され、スラグによって保温されている様子が可視化された。この計算モデルを用いて異なる溶接速度を設定したところ、溶接速度の増加に伴ってスラグの中央部が凹む現象が再現された。また連成計算結果から得られたスラグとフラックスの速度分布から、このようなスラグの傾向が得られるのは下から押し上げられて上向きに動こうとするスラグと、ワイヤの送給や溶接方向への移動に伴って下向きに動こうとするフラックスの運動量の大小関係によることを示唆した。

第6章は結論であり、本研究で得られた知見について総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (古 免 久 弥)	
	(職) 氏 名
論文審査担当者	主 査 教授 田中 学 (接合科学研究所)
	副 査 教授 浅井 知
	副 査 教授 西川 宏 (接合科学研究所)
	副 査
	副 査
	副 査
	副 査
論文審査の結果の要旨	
<p>種々の溶接法の中でも造船やパイプラインなどに用いられるサブマージアーク溶接は大電流で施工することが可能で、太径のワイヤを使用することができる。太径のワイヤが大電流で溶融すると一度に多くのワイヤを溶着できることから、この溶接法は厚板の溶接を効率よく接合できる消耗電極式溶接法である。しかしながらこの溶接法は被溶接材料表面がフラックスと呼ばれる粉体で覆われているために、その溶接現象の観察が困難であり、未解明な点が多く残されている。本論文はサブマージアーク溶接を対象とした実験観察手法と数値計算モデルを提案することで、実験と数値計算の双方からこの溶接現象の解明を試みている。</p> <p>本論文によって明らかにされている点は以下の通りである。</p>	
<p>(1) トンネル法による観察では、溶滴径がワイヤ径よりも小さなスプレー移行形態の溶滴の輸送や溶接方向の前後方向への波打ちのようなスラグの流動、溶滴直下で維持される2層に分かれたアークプラズマなどを可視化している。</p>	
<p>(2) X線透過観察では、溶接電流の上昇によってスラグの生成量やキャビティの大きさが異なり、スラグの挙動に違いが生じていることを明らかにしている。さらに、溶接電流をDCEP 800 Aに設定すると溶融池の流動が大きくなり、波打ちのような流動によってスラグが強制的に流動する様子を可視化している。</p>	
<p>(3) 異なる極性を設定するとワイヤ送給速度の増加に伴って溶融金属量が増加し、溶融池の前方で溶融池が盛り上がる様子をX線透過観察によって可視化している。このときの溶滴移行は溶滴径がワイヤ径よりも大きくなるグロービュラー移行形態となる。このワイヤ送給速度の増加は、陰極に設定されたワイヤ表面の陰極点の移動によってアークプラズマが動くことで、広い表面積のワイヤ表面が加熱されるためであると考察している。</p>	
<p>(4) 本論文で構築した、離散要素法と非圧縮性 SPH 法による粉体-流体連成モデルを用いた数値シミュレーションでは溶融池とスラグの形成を同時に再現している。これらの形成過程中、母材はフラックスによって加熱、冷却され、スラグによって保温されている様子をシミュレートしている。</p>	
<p>(5) 異なる溶接速度を設定することで、溶接速度の増加に伴ってスラグの中央部が凹む現象を数値計算によって再現している。またスラグとフラックスの速度分布から、このようなスラグの傾向が得られるのは下から押し上げられて上向きに動こうとするスラグと、ワイヤの送給や溶接方向への移動に伴って下向きに動こうとするフラックスの運動量の大小関係によるものであることを示唆している。</p>	
<p>以上のように、本論文は未解明な点が多いサブマージアーク溶接現象を実験と数値計算の双方から明らかにしており、本論文で得られた知見はサブマージアーク溶接のみならず、今後の溶接分野における研究開発に大きく貢献すると期待できる。</p>	
<p>よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>	