アーク溶接プロセスを考慮した高精度溶接変形解析システムの構築とその応用

大阪府立大学大学院　工学研究科　航空宇宙海洋系専攻　柴原研究室　M1　土橋知幸

研究背景

溶接変形シミュレーション

有限要素法を用いて溶接の力学現象（溶接変形・残留応力）を解析

熱源であるアーク放電とそのプラズマ現象については考慮されていない

→ 溶接条件の変化に応じた溶接変形解析を行うことは不可能

連成

アーク溶接プロセス解析

アーク溶接におけるプラズマ現象について解析

本研究

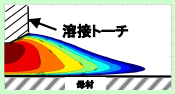
アーク溶接プロセスを考慮した高精度溶接変形解析システムの構築

アーク溶接プロセスを考慮したFEM解析

本解析手法

アーク溶接プロセス解析

入熱分布

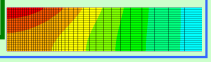


アーク溶接プロセスを考慮した入熱

↓

FEM熱伝導解析

温度分布



↓

FEM熱弾塑性解析(変形、応力)

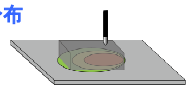
連成

高精度な入熱密度分布に基づく温度場が算出可能

従来手法

仮定された入熱密度分布

入熱分布

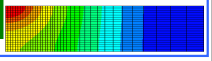


矩形入熱・Goldak入熱 etc.

↓

FEM熱伝導解析

温度分布



↓

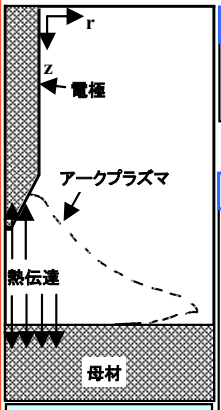
FEM熱弾塑性解析[1)] (変形、応力)

本解析手法により

応力解析・変位解析が高精度化

1)上田，山川：有限要素法による熱弾塑性挙動の解析，溶接学会誌，42-6(1973)，567-577

アーク溶接プロセス解析[2,3)]



u：速度　B：磁束密度
κ：熱伝導率　P：圧力
E：電界強度　T：温度
η：粘性係数　ρ：密度
J：電流密度　μ：透磁率
U：放射係数　C_p：比熱
σ：電気伝導率
J_i：イオン電流密度
J_e：電子電流密度
J：アーク電流
k_B：ボルツマン係数
V_K：陰極降下電圧
V_A：陽極降下電圧

電磁場解析

電流保存式	オームの法則式	マクスウェル方程式
$\nabla \cdot J = 0$	$J = \sigma E$	$\nabla \times B = \mu J$

↓ 電流密度、電界強度、磁束密度の算出

熱流場解析

質量保存式	運動量保存式
$\nabla \cdot u = 0$	$\rho(u \cdot \nabla)u = -\nabla P + \eta \nabla^2 u + J \times B + \rho g$

↓ 流速、圧力の算出

エネルギー保存式

$$\rho C_p (u \cdot \nabla) T = \kappa \nabla^2 T + J \cdot E - U$$

→ 温度の算出

アークプラズマによる熱伝達解析

アークプラズマによる電極近傍での熱流束

$$q_K = J_i\left(\frac{3}{2}\frac{k_B T}{e} + \frac{\varepsilon_i - \phi_K}{e} + V_K\right) - J_e \frac{\phi_K}{e} + |\kappa \nabla T| + U_{arc} - U_A$$

アークプラズマによる母材表面近傍での熱流束

$$q_A = J\left(\frac{5}{2}\frac{k_B T}{e} + \frac{\phi_A}{e} + V_A\right) + |\kappa \nabla T| + U_{arc} - U_A$$

アーク長、シールドガス流量、シールドガスの種類を入力

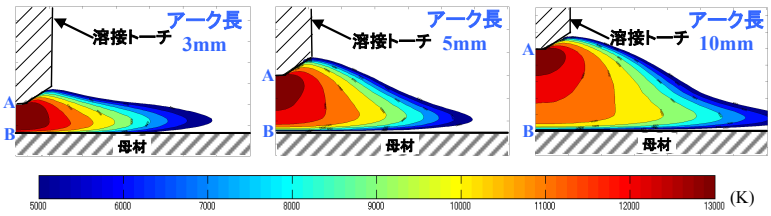
プラズマの温度分布、母材表面上の入熱密度分布が解析可能

2)田中，田代：溶接アークの熱的ピンチ降下に関する一考察，溶接学会誌，74(2005)，pp.95-99.
3)田中，寺崎：ティグ溶接における陽極熱輸送とその溶け込み断面積に与える影響，溶接学会論文集，第23巻，第3号，p.398-404(2005)

アーク溶接プロセス解析結果

アークプラズマの温度分布

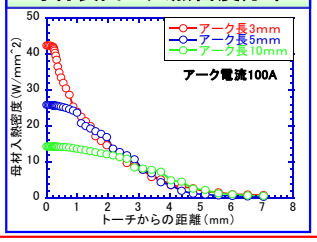
アーク電流：100A　A-B:アーク長



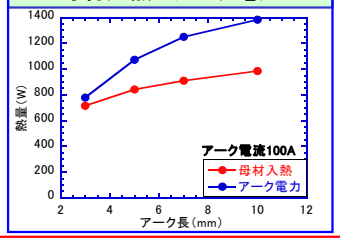
アーク長の変化に伴い母材表面近傍のアークプラズマの温度分布が変化

入熱密度分布と熱効率に及ぼす物理パラメータの影響

母材表面上入熱密度分布



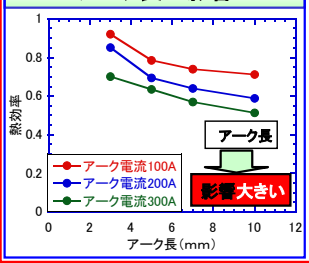
母材入熱とアーク電力



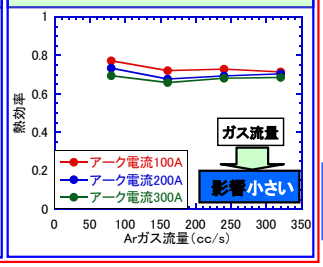
熱効率を算出

熱効率 = 母材入熱量(W) ÷ (アーク電流(A)×アーク電圧(V))

アーク長の影響



Arガス流量の影響

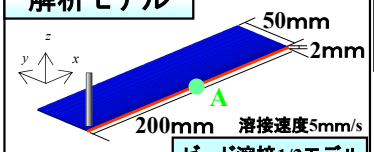


アーク溶接パラメータにより熱効率が変化

アーク溶接パラメータの影響を考慮することが重要

アーク溶接プロセスを考慮した熱弾塑性解析結果

解析モデル



ビード溶接1/2モデル

Tendon Force

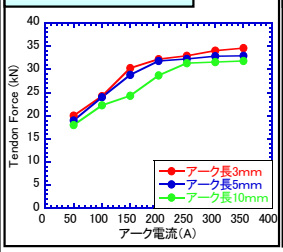
$$F_T = E\int_{Ag} g_x dA$$

g_x：x方向塑性ひずみ
E：ヤング率

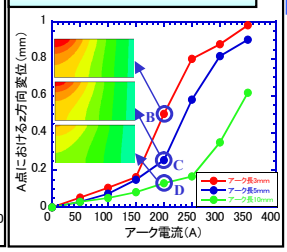
Tendon Forceとは溶接により溶接線上に発生するx方向の収縮力

残留応力・溶接変形

Tendon Force



A点におけるz方向変位

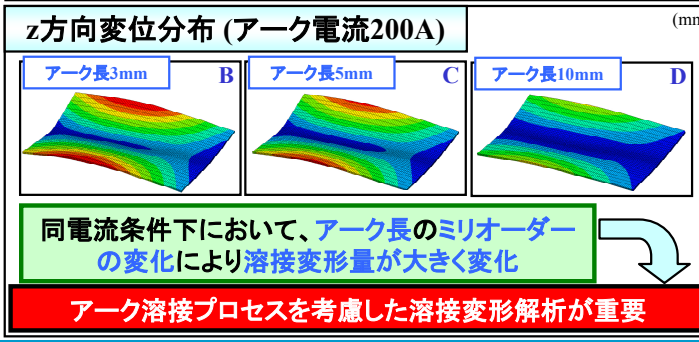


アーク長変化により Tendon Force が変化

→ 座屈変形と考えられるz方向変位量が大きく変化

アーク長等、アーク溶接プロセスパラメータは重要である

z方向変位分布 (アーク電流200A)



同電流条件下において、アーク長のミリオーダーの変化により溶接変形量が大きく変化

アーク溶接プロセスを考慮した溶接変形解析が重要

結言

本研究では、アーク溶接プロセスを考慮できる高精度溶接変形解析システムを構築した。本手法をビード溶接に適用した結果以下の結論を得た。

- アーク長が熱効率に及ぼす影響は大きく、また、Arガス流量の影響は小さいことを示した。
- アーク長が溶接変形に及ぼす影響は大きいことを示した。この結果は、アーク溶接プロセスを考慮した溶接解析システムは重要であることを意味するものである。