

# 計算科学と高精度実験を用いたレーザー溶接時溶融池挙動の解明

## 1. はじめに

原子力発電所をはじめとした人工構造物の溶接補修技術に対しては、プラント寿命期間中の構造健全性を的確に担保することが求められる。この観点より、熱的影響範囲が狭いレーザーを用いた溶接補修技術が常用化される方向であるものの、プラント寿命期間中の溶接補修部構造健全性を担保するための残留応力低減の考え方や補修部材の機械的強度特性の変化などの観点からの現象論的かつ定量的な評価は行われてきていない。

本稿では、レーザー溶接プロセスを特徴づける溶融・凝固現象を含む複合物理過程に対し、計算科学と高精度実験を併用した現在進行中の評価例を紹介する。

## 2. 評価すべき複合物理過程

図1は、補修部材にレーザー光が照射されてから補修が完了するまでの特徴的な挙動を模式的に示したもので、この評価においては、レーザー光—物質相互作用（波長吸収—分子振動誘起による実効入熱量評価）、半溶融帯（Mushy zone）を介した溶融金属—固体材料間の熱的機械的相互作用評価、溶融・凝固相変化過程—金属結晶化過程—残留応力生成過程の連成評価などの複合物理過程を定量化する必要がある<sup>(1)</sup>。

## 3. 溶接計算科学と高精度実験

上記のさまざまな複合物理過程を数値解析的に取り扱えるようにするため、マイクロ挙動とマクロ挙動とを多階層スケールモデルにより接続する、気—液—固統一非圧縮粘性流・残留応力評価コード SPLICE (residual Stress control using Phenomenological modeling for Laser welding repair process In Computational Environment)<sup>(2)</sup>を開発中である。

図2は、SPLICEコードをビードオンプレート溶接シミュレーション（レーザー出力300W、レーザー光スポット径2mm、走査速度10mm/s）に適用した一例で、溶接後に現れる溶接

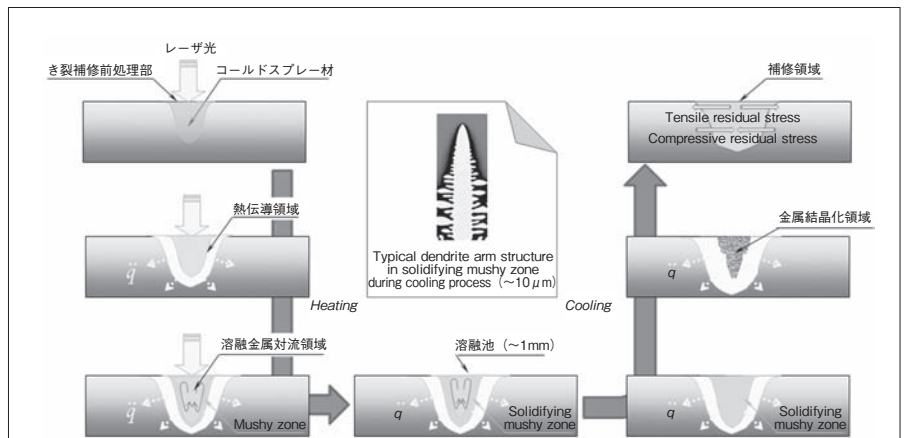


図1 レーザ溶接プロセス

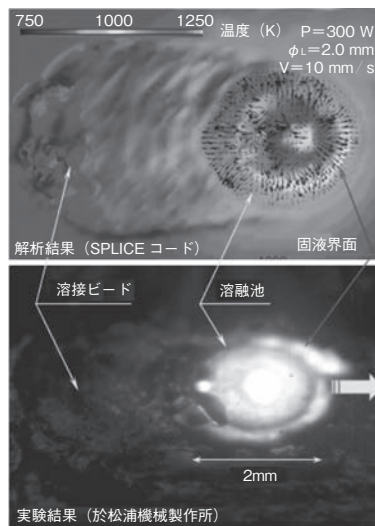


図2 SPLICEコードによるレーザー溶接シミュレーション

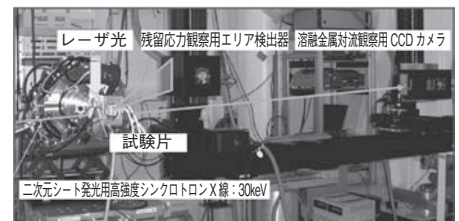


図3 放射光 X 線による固液界面挙動のその場観察

ビードなどの特徴的な挙動を的確に再現した。

図3は、レーザー照射時に補修領域が固体から液体に相変化してゆく際の境界（固液界面）を大型放射光施設（SPring-8）の高強度 X 線でその場観察した結果で、レーザー照射による溶融過渡現象を的確に捉えることに成功した<sup>(3)</sup>。

## 4. おわりに

溶接計算科学と高精度実験による詳細データは、レーザー溶接時に発生する複合物理過程を現象論的に解釈するうえで極めて有効であるとともに、マイクロ挙動とマクロ挙動とを接続するため

の新たな物理モデリング研究に強力なツールとなり得ることを確認した。

（原稿受付 2011年6月10日）

〔村松壽晴（独）日本原子力研究開発機構〕

### ●文献

- (1) Muramatsu, T., ほか, *X-Ray Lasers 2010*, (2010), 245-255, Springer.
- (2) Yamashita, S., ほか, *The Visual-JW 2010 Sympo.*, 1, JWP-15 (2010-11).
- (3) Yamada, T., ほか, *The Visual-JW 2010 Sympo.*, 1, MTJW-3 (2010-11).