

# 原子炉内表面に発生した孔食の溶接補修

## Weld repair of sea water induced corrosion pits in inner RPV surface

中部電力(株) 原子力安全技術研究所	熊野 秀樹	Hideki YUYA	Member
中部電力(株) 原子力安全技術研究所	岡田 英雄	Hideo OKADA	Non-member
大阪大学 マテリアル生産科学専攻	遠藤 友則	Tomonori ENDO	Non-member
大阪大学 マテリアル生産科学専攻	岡野 成威	Shigetaka OKANO	Member
大阪大学 マテリアル生産科学専攻	望月 正人	Masato MOCHIZUKI	Member

Hamaoka nuclear power plant unit-5 had the sea water intrusion incident in 2011 during the shut-down process. We, Chubu electric power company, have conducted some researches for unit-5 re-start, since we had some concerns about the aftercare of pitting corrosions occurred in the inner surface of RPV. The aftercare includes the determination of whether corrosion pitting might propagate until RPV, determination of whether or not to clean Chloride ions in corrosion pits and the determination of need for weld repair of corrosion pitting after the precise location confirmation by ECT or some other non-destructive method. This report summarize the fundamental weld repair methodology, especially for the necessity of temper beads welding from the view point of hardness and residual stresses, for application against RPV. The computer simulation had been mainly done as a first attempt for the purpose of the resource reduction.

**Keywords:** weld repair, RPV, computer simulation, hardness, residual stress, temper beads welding

### 1. 背景

2011年5月、浜岡原子力発電所5号機（以下「5号機」という）において、原子炉停止後の操作中に復水器から原子炉施設内に海水が流入する事象が発生した。この影響で、原子炉压力容器の内面クラディングの一部に複数の深い孔食を確認したものの、強度部材である压力容器の健全性への影響はなかった。今後、再稼働に向け内面クラディングに残存する孔食に対し、浄化または補修溶接等をオプションとして用意しておくことが必要と考えられる。

封止溶接を補修に用いた場合でも、内面クラディングの厚みが5mm程度と薄いことから、溶接の際の熱が低合金鋼に及ぶことも想定され、その場合にはテンパービード溶接と呼ばれる溶接後熱処理を不要とする溶接を用いることが有意義な手段となりえる。また、最適な溶接条件を効率的に探すためには、溶接を忠実に再現した計算機シミュレーションが適している。

以上のことを踏まえ、5号機を対象に計算機シミュレーションによる検討を主に実施したので報告する。

連絡先:熊野秀樹, 〒437-1695 静岡県御前崎市佐倉 5561, 中部電力株式会社 原子力安全技術研究所 プラントG, E-mail: Yuya.Hideki@chuden.co.jp

### 2. 目的

低合金鋼部の硬化は、Ac1変態点である約670°C以上に加熱されると生じるといわれ [1], また、塑性ひずみが生じる温度上昇の2倍である約400°Cまで加熱されると降伏応力程度の大きな引張残留応力が発生する。このように、硬化や大きな引張残留応力などの材料挙動は温度に支配されるため、溶接部とその周辺の温度分布を把握・制御できれば、これらの挙動を防止・軽減して溶接が行える。

以上を踏まえて本研究では、図1に示すような様々な補修溶接方法・条件と温度分布の関係を明らかにし、原子炉压力容器クラッド部補修の際、ここに示すいずれの溶接方法でも、孔食の形状・寸法に応じた適正な溶接条件を提案することを目的とする。

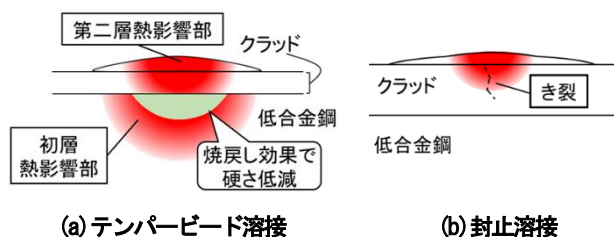


図1 様々な溶接の方法

### 3. 計算機シミュレーション

#### 3.1 計算機シミュレーション

定量的評価に用いた数値解析モデルについては、対称性を考慮して1/2モデルとし、寸法については図2のように設定した。境界条件に関しては試験片の変形を妨げないよう設定し、空気への熱伝達と熱放射も考慮した。

なお、検討はアーク溶接とレーザー溶接を想定した2パターンについて行った。また、低合金鋼の上のステンレスクラッドの厚さ $t$ 、入熱量、溶接速度を表に示すように変化させて検討を行った。

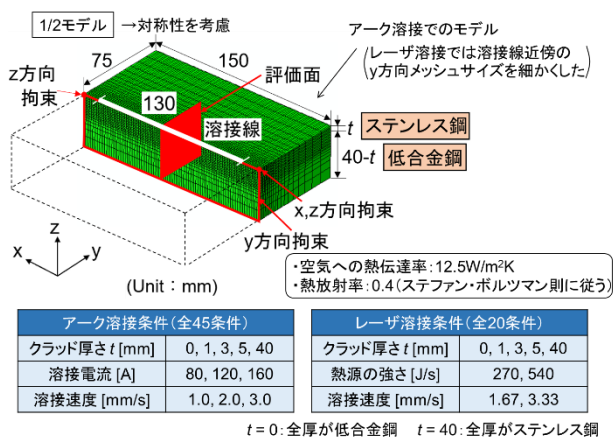


図2 数値計算モデル

#### 3.2 結果

参考とする各種物性値に関しては、温度依存性を考慮し設定した。最高到達温度分布を支配する溶接パラメータとして、移動点熱源による温度上昇の理論解の式において、単位時間当たりの入熱量と溶接速度からなる溶接パラメータ $(q/\sqrt{v})^{23}$ を用いて整理を行い、このパラメータを用いると各温度域寸法を統一的に整理できることがわかった。なお、溶込み深さ、溶込み幅についても同様に整理できた。しかし、クラッド厚さによって整理するための直線が異なっていたため、クラッド厚さの影響も含めて統一的に整理するために、熱影響が想定される温度域深さについて、パラメータ $(q/\sqrt{v})^{23}$ とクラッド厚さ $t$ を用いて $(q/\sqrt{v})^{23}/t$ で整理したところ、クラッド厚さによらず一直線に整理でき、溶接時に低合金鋼部に熱影響が及ぶかの判断が可能となった。また、溶込み深さと溶込み幅についても同様に整理すると、溶接時のクラッド厚さと入熱が決まれば、おおよその溶融部の寸法を把握できると考えられた。

この関係をわかりやすくするために、先程述べた直線それぞれの傾きを求め、それらを比較し、関係を模式的に表したものを図3に示す。これより、溶接時に熱影響が及ぶ寸法に対して何割程度の溶融域寸法を確保できるかに関する指標となった。

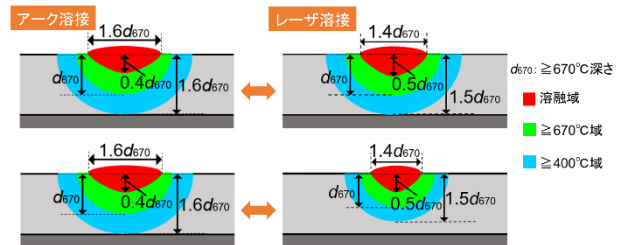


図3 各溶接の温度域比較

図4は、先程のパラメータから求められる670°C以上に加熱される領域の深さと、先程示したビッカース硬度試験の硬度分布の比較であるが、パラメータから求めた670°C以上に加熱される領域で硬化、670°C以下の範囲で比較的高温に加熱された領域で硬さが低減されていることがわかる。よって、これまでの定量的関係性は有用であると言える。

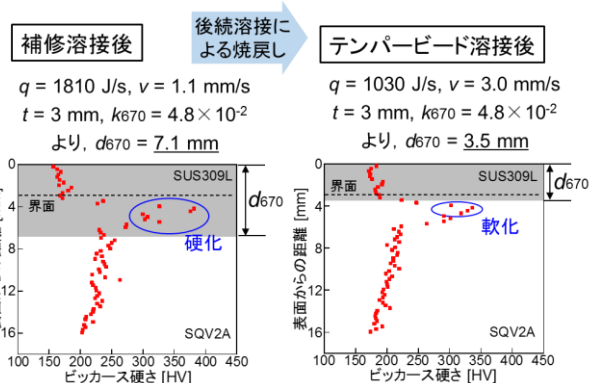


図4 テンパービード溶接の効果の確認

### 4. まとめと今後の課題

単位時間当たりの入熱量 $q$ と溶接速度 $v$ からなる溶接パラメータ $(q/\sqrt{v})^{23}$ を用い、低合金鋼の硬化が想定される温度域 ( $\geq 670^\circ\text{C}$ ) 等を整理できることを示した。

今後は実際の溶接施工をする上で残されている課題について確認していきたい。

#### 参考文献

- [1] 于麗娜ら, 溶接学会論文集, 第29巻, 第2号 (2011), pp.107-1