

(財)発電設備技術検査協会 水野 亮二, 藤谷 泰之  
足崎試験研究センター 正野 進, 松田 福久

Development of in-process control method on weld quality (Report 2)

by Ryoji MIZUNO, Yasuyuki FUJIYA, Susumu SHONO and Fukuhisa MATSUDA

## 1. 緒言

発電設備はその大半が溶接構造部材で構成されているので、溶接後の非破壊検査のみならず、溶接中に溶接継手の冶金的健全性を評価することが発電設備溶接部の信頼性を確保することに非常に重要となる。一方、溶接部の冷却特性は、ステンレス鋼溶接部の鋭敏化、低合金鋼溶接部の韌性劣化や硬化等、母材 HAZ 部の性能に大きく影響を与えることから、溶接部の冷却特性を監視することにより溶接部の冶金的健全性を保証することができる。前報では赤外線温度計測法により表面の 800°C～500°C の冷却時間を計測できることを示した。しかし、溶接部の冶金的性質の劣化は表面だけでなく母材内部においても起こる。よって、母材内部の冷却特性も監視することが必要である。本報では、赤外線温度計測法により計測した表面の冷却時間から母材内部の冷却時間を推定する方法について検討した。

## 2. 内部温度推定方法

母材内部の冷却時間を推定するために、3 次元熱伝導計算により最高到達温度に対する表面の冷却時間と内部の冷却時間の関係を求めた。熱伝導計算には(1)式に示す田中の式<sup>(1)</sup>を用いた。

$$T(x, y, z, t) = T_{\infty} + \frac{Q_p}{\pi \lambda h} \exp\left(-\frac{vw}{2k}\right) \sum_{n=0}^{\infty} A_n \left( \cos \frac{u_n z}{h} + \frac{hd}{u_n} \sin \frac{u_n z}{h} \right) K_0 \left( \frac{r}{h} \sqrt{u_n^2 + \left(\frac{vh}{2k}\right)^2} \right) \quad (1)$$

ここで、 $Q_p$ :実効入熱、 $T$ :温度、 $T_{\infty}$ :雰囲気温度、 $h$ :板厚、 $v$ :溶接速度、 $w$ :移動座標= $x-vt$ 、 $\lambda$ :熱伝導率、 $k$ :熱拡散率、 $d$ :放熱係数= $\alpha / \lambda$ 、 $\alpha$ :熱伝達率、 $u_n$ : $\tan u_n = 2u_n hd / (u_n^2 - h^2 d^2)$  の固有値、 $A_n = u_n^2 / (u_n^2 + h^2 d^2 + 2hd)$ 、 $K_0$ :0次の第2種ベッセル関数、 $r = \sqrt{w^2 + y^2 + z^2}$  である。計算には炭素鋼の物性値を用いた。Fig. 1 に表面と内部の計算点を示す。

Fig. 2 に板厚 20mm の時の入熱に対する冷却時間、Fig. 3 に入熱 9kJ/cm の時の板厚に対する冷却時間の計算結果を示す。それぞれ最高到達温度 1350°C の時の冷却時間である。表面と内部において、冷却時間はほぼ一致している。最高到達温度 800°C～1500°C でも同様の結果が得られている。この結果から表面の冷却時間計測から内部の冷却時間がほぼ推定できると考えられる。

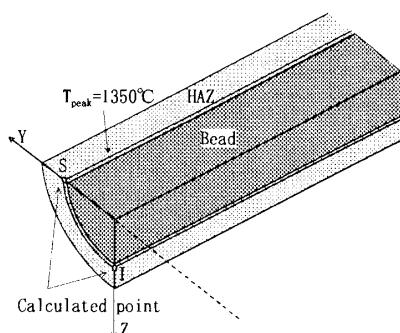


Fig. 1 calculated points.

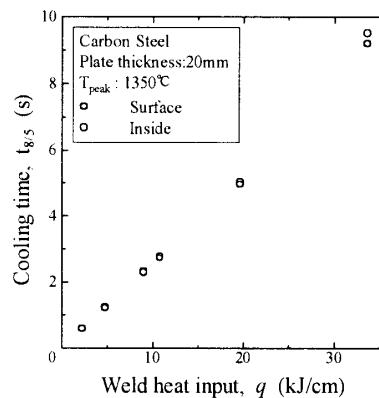


Fig. 2 Cooling time for weld heat input at peak temperature 1350°C.

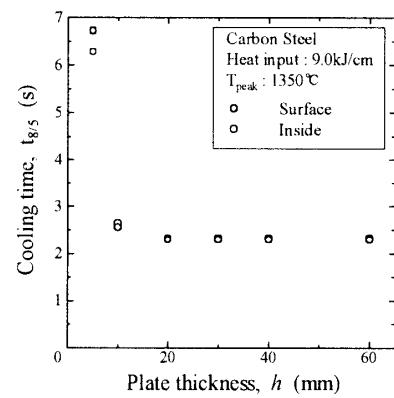


Fig. 3 Cooling time for plate thickness at peak temperature 1350°C.

### 3. 実験方法

計算結果を確認するために母材内部の 800°C～500°C の冷却時間を熱電対により計測し、赤外線カメラにより計測した表面の冷却時間と比較検討した。母材には板厚 20mm の SS400 を用い、TIG 溶接により入熱 9, 9.6, 18kJ/cm の 3 条件でビード溶接を行った。内部の冷却時間の計測は母材の裏側から溶接線上に垂直に穴を開け、K 熱電対を取り付け内部の冷却時間を計測した。同時に、赤外線カメラにより表面の冷却時間を計測した。また、内部の冷却時間の計算も行った。

### 4. 実験結果

Fig. 4 に計測結果と計算結果を示す。熱電対で計測した内部の冷却時間と赤外線カメラで計測した表面の冷却時間は、同一最高到達温度でほぼ一致している。内部の冷却時間の計算結果もほぼ一致している。

### 5. 結言

- 内部の冷却時間は最高到達温度が同じであれば、表面の冷却時間とほぼ一致する。
- 表面の冷却時間計測から、溶接部内部の冷却時間を十分推定できる。
- 前報の結果と合わせて、赤外線温度計測法により溶接部の冷却特性の監視が可能である。

### 参考文献

- 田中：移動熱源による熱伝導に就て、溶接学会誌、Vol. 13、No. 9、1943

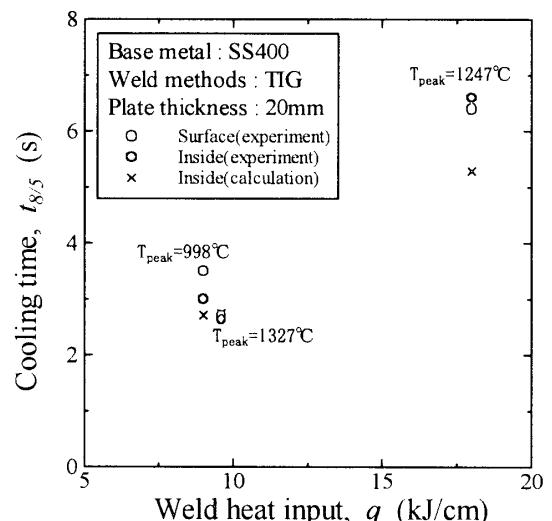


Fig. 4 Comparison of cooling time of surface and inside.