

金沢工業大学 正員 西田 進
金沢工業大学 学生員 ○星名 博文

1. まえがき

従来の残留応力分布の自己つり合条件式に関する研究では、残留応力分布のつり合条件式を静的つり合いから導びいていたため、残留応力分布のそりに関する条件は不明確である。本研究では残留応力のなす仕事量の変分原理からそのつり合条件式を導き、従来の条件に加えてそりに関する条件と必要なことを明らかにする。また、残留応力分布の実測値を用いてつり合条件式の満足度を検討し、つり合条件式を満たす溶接組立薄肉断面部材の簡単な残留応力分布モデルと提案する。記号は座屈解析に用いられるものを使用し、その説明を割愛する。

2. 自己つり合条件式

任意荷重を受けるはりの x, y, z 方向変位を u, v, w とすれば、断面剛の仮定とそりに関する条件より、つぎの変位と軸ひずみの式をえる。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_c - (y - y_s) \varphi \\ v &= v_c + (x - x_s) \varphi \\ w &= w_c - x u_c' - y v_c' + \omega_n \varphi' \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\} \quad (2)$$

式(1)を式(2)に代入すると次式のひずみをえる。

$$\epsilon_z = w_c' - x u_c' - y v_c' + \omega_n \varphi' + \frac{1}{2} \left\{ (y - y_s)^2 + (x - x_s)^2 \right\} \varphi^2 \quad (3)$$

部材内応力として残留応力 σ_r のみが存在し、外力の作用しない場合を考えると、外力のなすポテンシャルエネルギーは零となる。したがって、全ポテンシャルエネルギー Π は次式のように表わされる。

$$\Pi = \int_0^L \int_A \sigma_r \epsilon_z dA dz \quad (4)$$

Π の変分をとり式(3)のひずみを代入すると次式

3. 実測値による検討

残留応力のなす断面力と下式に示す降伏断面力の比により、残留応力分布のつり合条件式の満足度を検討する。

$$P_Y = \sigma_Y \cdot A, \quad M_{xY} = \sigma_Y \cdot W_x, \quad M_{yY} = \sigma_Y \cdot W_y, \quad M_{\omega Y} = \sigma_Y \cdot I_{\omega} / (\omega_n)_{\max}, \quad K_Y = \sigma_Y \int_A (x^2 + y^2) dA \quad (7)$$

なお、 $\sigma_Y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ とする。溶接H形断面部材、溶接溝形断面部材および溶接Z形断面部材の残留応力分

$$\delta \Pi = \int_0^L \int_A \sigma_r \delta \epsilon_z dA dz \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \int_0^L \left[\int_A \sigma_r dA \delta w_c' + \int_A \sigma_r x dA \delta u_c' \right. \\ &\quad + \int_A \sigma_r y dA \delta v_c' + \int_A \sigma_r \omega_n dA \delta \varphi' \\ &\quad \left. + \int_A \sigma_r \left\{ (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 \right\} dA \varphi \delta \varphi \right] dz = 0 \end{aligned}$$

をえる。変分量 δ は任意であることより、次の残留応力に関するつり合条件式をえる。

$$\left. \begin{aligned} N &= \int_A \sigma_r dA = 0 \\ M_x &= \int_A \sigma_r y dA = 0 \\ M_y &= \int_A \sigma_r x dA = 0 \\ M_{\omega} &= \int_A \sigma_r \omega_n dA = 0 \\ K \varphi &= \int_A \sigma_r \left\{ (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 \right\} dA \varphi = 0 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

残留応力のみ存在し、外力が作用しない場合は、ねじり角 φ が零なることより、 $K = \int_A \sigma_r \left\{ (x - x_s)^2 + (y - y_s)^2 \right\} dA$ は零なる条件を必要としない。

布の測定結果を図-1に示す。図より、いずれの断面形においてと分布形はほぼ対称となり、また、表-1に示すようにつり合条件式とはほぼ満足している。なお、零なる条件を必要としないK値はいずれの断面形に対してと有限な値となっている。溶接H形断面部材のフランジの残留応力値が小さいのは、フランジの幅がせますぎ、溶接時にフランジ全体を熱する結果となり、焼きなましの現象が生じたものと思われる。

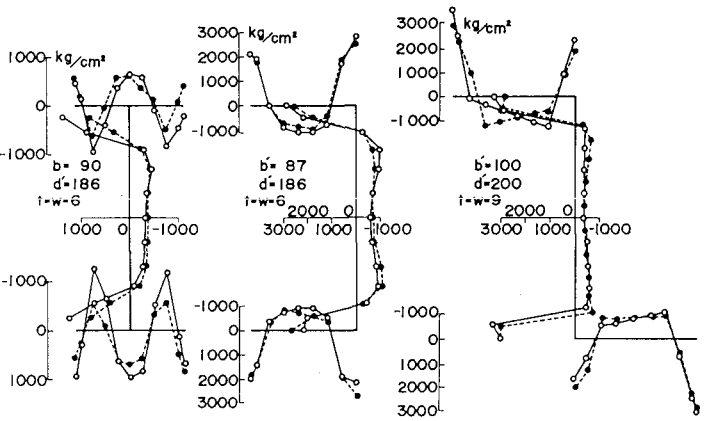


図-1 溶接組立薄肉断面部材の残留応力分布

4. 簡単な残留応力分布モデル

溶接薄肉部材は通常ガス切断した鋼板を溶接組立によって作成するため、その切断部に引張残留応力が生じる。そこで、図-2に示すような厚さ方向に一定で、長さ方向に折線分布する残留応力を仮定すると、残留応力のなす軸力 $N = \int_A \sigma_r dA = 0$ の条件より、次式をえる。

$$N = -\sigma_0 b t + \frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_0) \beta b t + \frac{1}{2}(\alpha \sigma_y + \sigma_0) r b t = 0 \quad (8)$$

また、残留応力のなす軸まわりの曲げモーメント $M_x = 0$ の条件より、次式をえる。

$$M_x = \int_A \sigma_r y dA = -\frac{1}{2}(\sigma_y + \sigma_0) \beta b t \left(\frac{1}{2} - \frac{\beta}{3} \right) b + \frac{1}{2}(\alpha \sigma_y + \sigma_0) r b t \left(\frac{1}{2} - \frac{r}{3} \right) b = 0 \quad (9)$$

式(8)および(9)の連立方程式を β 、 r について解くと次式をえる。

$$\beta = \frac{3\alpha\sigma_y - \sigma_0}{2(1-\alpha)\sigma_y} \left\{ \sqrt{\frac{(\alpha\sigma_y + \sigma_0)(3\sigma_y - \sigma_0)}{(\sigma_y + \sigma_0)(3\alpha\sigma_y - \sigma_0)}} - 1 \right\}, \quad r = \frac{2\sigma_0}{\alpha\sigma_y + \sigma_0} \frac{\sigma_y + \sigma_0}{\alpha\sigma_y + \sigma_0} \beta \quad (10)$$

なお、厚さ方向の変化を無視すると M_y は常に零である。図-2に示す薄板要素の残留応力分布モデルを用いると次式に示すように式(6)のつり合条件式を常に満足する。

$$M_x = \int_A \sigma_r y dA = \sum_{i=1}^n \left\{ -\lambda_i \int \sigma_r S_i dA_i + C_i \int \sigma_r dA_i \right\} = \sum_{i=1}^n \left\{ -\lambda_i M_{ni} + C_i N_i \right\} = 0$$

$$M_y = \int_A \sigma_r x dA = \sum_{i=1}^n \left\{ \lambda_i \int \sigma_r S_i dA_i + C_i \int \sigma_r dA_i \right\} = \sum_{i=1}^n \left\{ \lambda_i M_{ni} + C_i N_i \right\} = 0$$

$$M_\omega = \int_A \sigma_r \omega_n dA = \sum_{i=1}^n \left\{ A_i \int \sigma_r S_i dA_i + B_i \int \sigma_r dA_i \right\} = \sum_{i=1}^n \left\{ A_i M_{ni} + B_i N_i \right\} = 0$$

$$N = \int_A \sigma_r dA = \sum_{i=1}^n \int \sigma_r dA_i = \sum_{i=1}^n N_i = 0$$

以上のことより、溶接組立薄肉断面部材の簡単な残留応力分布モデルとして、残留応力のつり合条件式を満足する図-3を提案する。

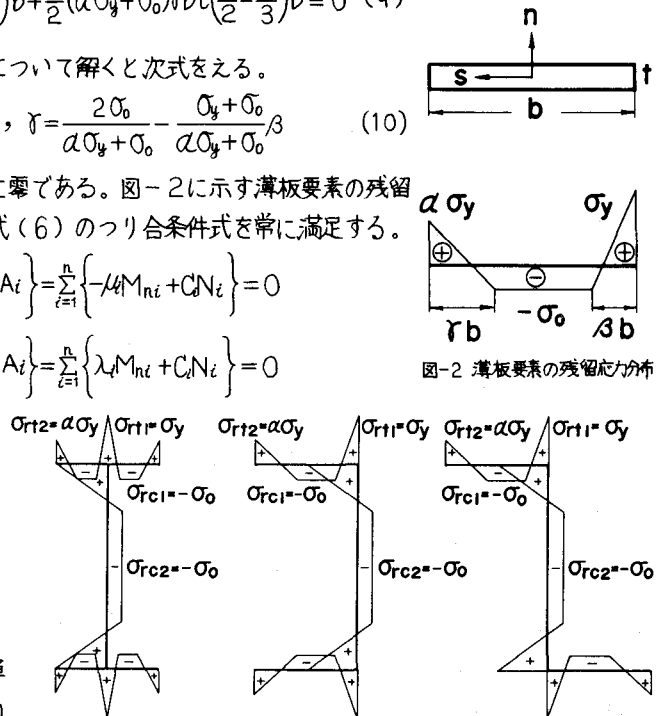


図-2 薄板要素の残留応力分布

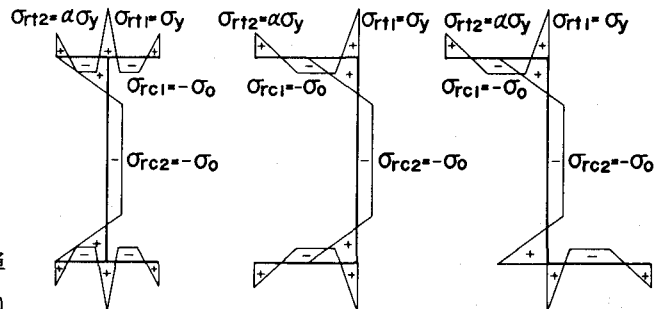


図-3 溶接組立薄肉断面部材の残留応力分布モデル