

薄肉溶接構造物の溶接変形の簡易解析法について

九州大学 工学部 正会員 高海克彦

1. 緒言

溶接による変形の発生は、鋼構造物の寸法精度や外観を損うだけでなく、部材の強度を低下させることにほなり、特に薄肉構造物においてはその影響が著しく、変形の矯正には多大の時間と労力を要する。従来、溶接変形対策は、溶接技術者の経験と勘に頼ることが多かつたが、学問的裏付けをもった溶接変形の予知と防止法の開発が急務とされることである。本研究は、薄肉溶接ばりの溶接に伴う面外角変形を、初期ひずみ分布を有する薄肉ばりの断面変形問題として捉え、一次元的簡易解析法を提案するものである。

2. 溶接による角変形とそれに起因するばりの断面変形

図-1のように2枚の長方形鋼板を変形の拘束なしに溶接接合して折板構造を製作するとき、各鋼板には横収縮、縦収縮、面内回転などの面内変形と、縦曲がり、角変形などの面外変形が生じる。ここでは、これらの諸変形のうち角変形のみを考慮し、他は無視する。面外角変形は、溶接時の板厚方向の温度差を主要因とする面外曲げ変形であるが、曲がりは溶接時の局部加熱により溶接部近傍に生じ、そこを離れれば直線的変化とする。また、この曲は溶接入熱量、層数、板厚等に影響されるので、溶接線(はり軸)方向には一般に2の関数として、任意に与えられるものとする。なお、変形の拘束が一切ない図-1の状態では、各板の面内ひずみは生じないものとする。

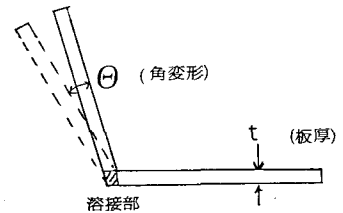


図-1 溶接による角変形

いま、図-2(a)のように、 N 枚の薄肉長方形鋼板を溶接して開断面ばりを製作する。はり断面の圆心を原点とする (x, y, z) 座標系、および板厚中心線に沿って移動する (n, s) 座標系を設ける。ばりの溶接線(折板接合線)を節線とよび、節線で変形の拘束なしに溶接したときに生じる角変形 θ_i ($i=1, 2, \dots, N-1$)は既知量として与えられるが、実際のはりでは種々の変形拘束が存在するため、溶接後の角変形は θ_i となる。この θ_i と θ_i の差が各節線の角変形が連続となるために付加されるもので、弾性角変形とよび、未知量 ϕ_i は、溶接による角変形が生じないばりの断面形状からの断面変形を表わし、薄板接合線によける反時計回りの相対回転角で定義される。本論では、軸方向付加ひずみを生じさせる弾性角変形のみを考慮するので、断面変形の自由度は $N-3$ である。(図-2(b))

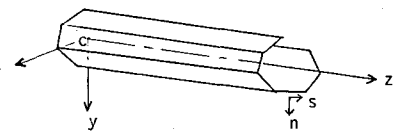


図-2(a) 溶接ばりと座標系

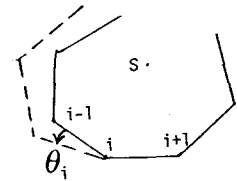


図-2(b) 断面変形の定義

3. 断面変形の変位場

断面変形に伴うせん断中心 $S(x_s, y_s)$ の x, y 方向剛体付加変位を u_s, v_s 、剛体付加回転角を φ とし、 $N-3$ 個の弾性角変位を用いれば、断面任意点の x, y, z 方向付加変位関数 u, v, w は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} u &= u_s(z) - (y - y_s)\varphi(z) - \sum_{i=1}^{N-3} (y - y_i)\mu_i(\theta_i(z) - \theta_i(z)) \\ v &= v_s(z) + (x - x_s)\varphi(z) + \sum_{i=1}^{N-3} (x - x_i)\mu_i(\theta_i(z) - \theta_i(z)) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$w = w_c(z) - u'_s x + v'_s y + w(a) \varphi' + \sum_{i=1}^{N-3} \psi_i(a) (\theta'_i(z) - \theta'_i(z)) \quad]$$

$$\text{ただし, } \mu_i(a) = \begin{cases} 1 & (a \leq a_i) \\ 0 & (a > a_i) \end{cases}$$

ここに、 a_i は節点 i の a 座標、 $w_c(z)$ は圆心 C の w 、 w は z の単位ヤリ関数、 $\psi_i(a)$ は断面形状によって決まる関数、 $(\prime)$ はそれに関する微係数。

4. 断面変形による応力

断面変形による応力として、軸方向付加垂直応力 $\sigma_z (= E \partial^2 w / \partial z^2)$ を考えるが、付加応力の自己平衡条件により u_s, v_s, w_c, φ は消去され、 σ_z は弾性角変位 $(\theta_i - \theta_{i+1})$ のみで表わされる。

$$\sigma_z = E \sum_{i=1}^{N-3} \psi_i(a) (\theta'_i - \theta'_{i+1}) \quad (2)$$

ここに、 $\psi_i(a)$ は断面形状によって決まる関数、 E はヤング係数。

また、弾性角変形 $(\theta_i - \theta_{i+1})$ に伴って生じる軸直角方向曲げモーメントを単位長当り M_s とすれば、次のように表わされる。

$$M_s = \sum_{i=1}^{N-3} M_i(a) (\theta_i - \theta_{i+1}) \quad (3)$$

ここに、 $M_i(a)$ は $(\theta_i - \theta_{i+1}) = 1$ のみによって生じる曲げモーメント。

5. フリあい方程式と境界条件

長さ L の部材について、式(2)、(3)を内力とする仮想仕事式を立てれば、溶接による断面変形のフリあい方程式と境界条件が次のように得られる。

フリあい方程式：

$$\sum_{j=1}^{N-3} \{ E I_{ij} (\theta''_i - \theta''_{i+1}) + f_{ij} (\theta_i - \theta_{i+1}) \} = 0 \quad (4)$$

($j=1, 2, \dots, N-3$)

境界条件： $z=0, L$ において

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^{N-3} E I_{ij} (\theta''_i - \theta''_{i+1}) &= 0 \quad \text{または} \quad \theta'_j = 0 \\ \sum_{j=1}^{N-3} E I_{ij} (\theta''_i - \theta''_{i+1}) &= 0 \quad \text{または} \quad \theta_j = 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

($j=1, 2, \dots, N-3$)

ここに、 I_{ij}, f_{ij} は断面形状によって決まる定数。

6. 数値計算例

図-3のように長さ L で幅 a 、板厚 t の薄肉長方形板4枚を溶接接合する場合を考える。この断面では節線2についての断面変形問題となり、節線2に既知量として与えられる θ は z 方向に一定と仮定する。はり両端では、断面変形に対しては剛となるように単軸支持されている。

図-4は、無次元化して $a/t=40$ として、 L/a を15と30にしたときの断面変形を表す。

<参考文献>

- 1) 彦坂・高海：薄肉開断面曲りばりの断面変形挙動の定式化，土木学会論文集，第356号/I-3，昭和60年4月
- 2) 溶接学会：連載講義「溶接変形の発生とその防止」，溶接学会誌，Vol.52, No.4 ~ Vol.53, No.1, 1983, 1984.

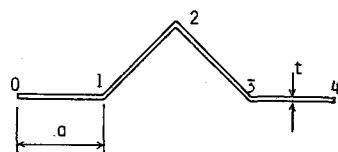


図-3 断面形状

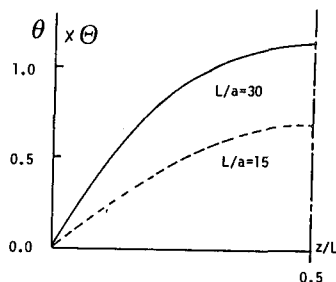


図-4 θ の軸方向変化