

I-A188 残留応力の板厚方向分布測定に関する研究

東京工業大学 学生員 竹之井勇 東京工業大学 学生員 荒川泰二
東京工業大学 正会員 穴見健吾 東京工業大学 フェロー 三木千壽

1. はじめに

鋼構造物の溶接継手部に不可避に存在する溶接残留応力は疲労、脆性破壊などの破壊強度に大きな影響を及ぼすため、溶接継手部に存在する3次元的な残留応力、特に疲労の観点から考えると表面から約5mm程度までの残留応力を精度よく評価することが重要である。溶接残留応力を測定できる簡便かつ非破壊的な手法として「穴あけ法」があり、その中で残留応力の板厚方向分布を測定する手法に Integral Method が挙げられる。しかし Integral Method の場合①測定限界深さがゲージ中心半径の0.5倍程度であること②円孔縁の降伏のため降伏点の1/3程度の残留応力までしか測定できないなどの問題点がある。そのため疲労損傷などの起点となる溶接部のように降伏点に近い残留応力が存在する箇所への適用は出来ないとされている。本研究では溶接部近傍の溶接残留応力の測定を想定し、板厚方向に非一様かつ降伏点に近い残留応力が存在する場合の Integral Method の適用性について研究する。

2. Integral method

図1に Integral Method の手法を示す。i 層まで穴をあけた時の各ゲージ方向での歪変化 ε_{1i} , ε_{2i} , ε_{3i} および i 層内に生じている残留応力 σ_{1i} , σ_{3i} , τ_{13i} を次のように置換する。

$$\begin{aligned} p_i &= (\varepsilon_{3i} + \varepsilon_{1i}) / 2 & q_i &= (\varepsilon_{3i} - \varepsilon_{1i}) / 2 & t_i &= (\varepsilon_{3i} + \varepsilon_{1i} - 2\varepsilon_{2i}) / 2 \\ P_i &= (\sigma_{3i} + \sigma_{1i}) / 2 & Q_i &= (\sigma_{3i} - \sigma_{1i}) / 2 & T_i &= \tau_{13i} \end{aligned} \quad (1)$$

この置換した歪変化 p_i , q_i , t_i と応力 P_i , Q_i , T_i との間には次の関係がある。

$$\sum_{j=1}^{j=i} a_{ij} P_j = (E / (1 + \nu)) p_i \quad \sum_{j=1}^{j=i} b_{ij} Q_j = E q_i \quad \sum_{j=1}^{j=i} b_{ij} T_j = E t_i \quad 1 \leq j \leq i \quad (2)$$

a_{ij} , b_{ij} は j 層に生じている単位応力が解放されることにより表面ゲージ位置での歪変化にどれ位影響を及ぼすかを表す値であり歪解放関数と呼ばれ、これは弾性有限要素法解析により求めることができる。

3. 測定限界深さに関する検討

Integral Method を用いた場合の測定限界深さを歪解放関数 a_{ij} が0になる深さと考える。またこれは円孔縁とゲージ中心半径までの距離に依存すると考えて、穴半径 ra 、ゲージ中心半径 rm をパラメータとして測定限界深さを解析的に検討した。解析モデルを図2に、検討結果を図3に示す。ここではゲージ長を考慮せず解析を行った。無次元化した穴深さが $h / (rm - ra) = 1$ のときに最下層での歪解放関数は0となっており、これより Integral Method を用いて

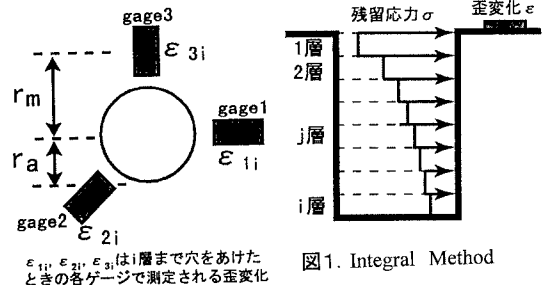


図1. Integral Method

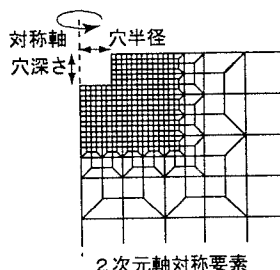


図2. 歪解放関数算出に用いた解析モデル(円孔近傍)

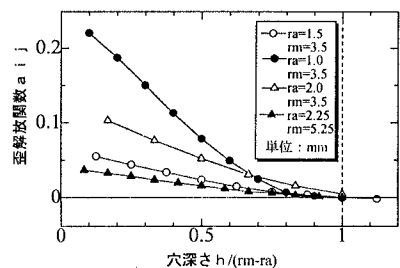


図3. 測定限界深さの解析結果

キーワード：残留応力、穴あけ法、Integral Method

〒152-0034 東京都目黒区大岡山 2-12-1 (TEL:03-5734-2596)

残留応力の板厚方向分布を測定し得る測定限界深さは $h=(rm-ra)$ であることが分かる。

4. 高い残留応力場への穴あけ法の適用

〔解析による検討〕 高い残留応力場への穴あけ法の適用性を検討するために、図4に示すモデルを用いて2次元弾塑性解析を行った。その解析結果を図5に示す。ここでは弾性計算を行った場合と弾塑性計算を行った場合の歪変化の差異に着目した。円孔近傍では特に荷重軸直角方向で大きな誤差が見られるものの、円孔中心からある程度離れたと円孔縁降伏の影響はほとんどなくなることが分かる。

〔実験による検討〕 表面近傍において高い残留応力が存在している領域で、残留応力の板厚方向分布を Integral Method により精度よく測定できるかを検討するために実験を行った。試験体を図6に示す。ここでは解析同様、試験体(降伏点 $\sigma_y=309\text{MPa}$)に1軸引張応力($0.25\sigma_y, 0.9\sigma_y$)を作用させた状態で、エアブレイジング法($ra=1.0\text{mm}$, $rm=2.57\text{mm}$)により穴あけを行い測定を行った。測定結果を図7に示す。荷重の差異によらず穴深さが浅い領域では作用応力と測定結果が良く一致している。これより、高い残留応力場でも Integral Method を用いて表層付近の残留応力分布を精度よく測定できることが分かる。一方両作用応力において穴深さが大きくなるに従い、作用応力との差が大きくなっている。この理由としては測定限界深さに近づくに従い、歪解放関数が小さくなることなどが考えられる。

5. 溶接継手部における残留応力測定への穴あけ法の適用

ここでは Integral Method を溶接継手試験体に適用し残留応力の測定を試みた。試験体はビードオンプレート溶接試験体(降伏点 400MPa)を用い、溶接

部の残留応力を測定した。図7に試験体形状を示す。図8に Integral Method による測定結果と切断法による残留応力の測定結果を併せて示す。両試験体とも表面近傍の残留応力は大きくないが Integral Method による測定結果と切断法による測定結果が良く一致していることが分かる。

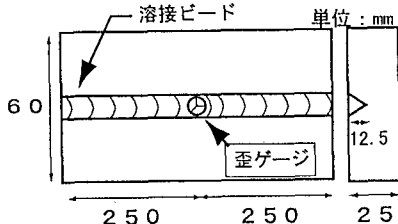


図8. ビードオンプレート溶接試験体形状およびゲージ貼付位置

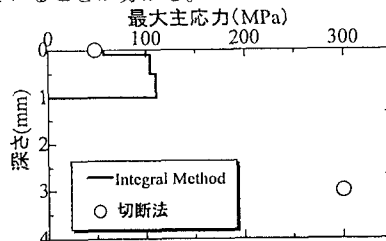


図9. 残留応力の板厚方向分布

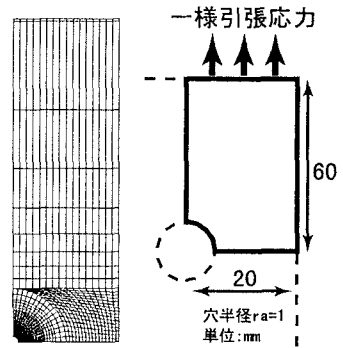


図4. 2次元弾塑性解析モデル

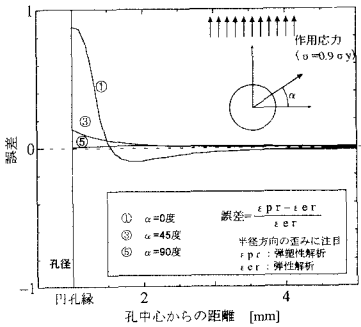


図5. 半径方向歪変化の誤差

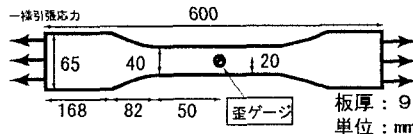


図6. 試験体形状およびゲージ貼付位置

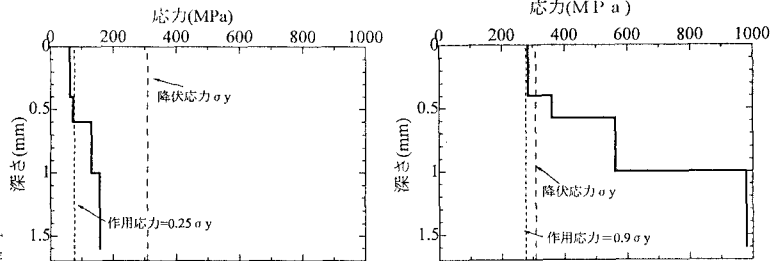


図7. 残留応力の板厚方向分布