T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	固有ひずみの板厚方向分布を考慮した残留応力推定手法の提案とその有効性の評価
Title	A Proposal of an Estimation Method of Welding Residual Stresses Considering Eigen-Strain Distribution along Plate Thickness and its Utility Evaluation
著者	西岡勇太, 中村春夫
Author	Yuta Nishioka, HARUO NAKAMURA
出典	日本材料学会 第６２期 学術講演会 講演論文集, , ,
Citation	Proceedings of The 62nd Annual JSMS Meetings, , ,
発行日 / Issue date	2013, 5

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

固有ひずみの板厚方向分布を考慮した残留応力推定手法の提案とその有効性の評価

東京工業大学[院]　○西岡勇太　東京工業大学[院]　中村春夫

A Proposal of an Estimation Method of Welding Residual Stresses Considering Eigen-Strain Distribution along Plate Thickness and its Utility Evaluation

Yuta NISHIOKA and Haruo NAKAMURA

1　緒　　言

1.1　研究背景　溶接構造物において，溶接接合部は損傷・破損の起点となりやすいことが知られており，溶接残留応力の正確な評価が重要課題の一つとなっている．しかし，現状において溶接残留応力の測定手法として一般に採用されているX線法や超音波は，部材の全領域における残留応力を測定することができず，測定したデータを有限要素法に利用できないという問題を有している[1]．このような問題を克服する手法として，固有ひずみ法に基づく残留応力推定手法が提案されている．

1.2　研究目的　これまでに，薄板や薄肉の配管を対象とした溶接残留応力の評価手法が提案されてきている[2][3]．しかし，そこでは厚さ方向の固有ひずみ分布は一定と仮定されており，広範囲な有効性の評価が行えていない．

そこで本研究では，溶接線方向に拘束が存在しない厚板の溶接平板を対象として，残留応力の推定を試みる．そして，その有効性を数値実験により評価する．

2　提案手法

2.1　固有ひずみの板厚方向分布　本研究では，固有ひずみ分布の等値線が，最終パス側の表面を中心とする楕円状になる[4]と仮定して板厚方向分布の影響評価を行った．このとき，分布形状を示す楕円の y 方向の半径 R_y と z 方向の半径 R_z との比を α とすると，固有ひずみ分布の関数形は，ロジスティック関数の線形結合により次式で与えられる（座標軸はFig.1参照）．

$$\tilde{\varepsilon}_s^*(y,z)=\sum_{i=1}^{4}\frac{-a_{si}}{1+\exp\left(p_i+q_i\sqrt{y^2+(z-t)^2/\alpha^2}\right)} \qquad (2.1)$$

ただし，$\boldsymbol{\varepsilon}^*$ は固有ひずみベクトル，$s=(x,y,z)$，p,q は定数，a_{si} は未知定数である．

上式から明らかなように，α の減少に伴い板厚方向分布が顕著となり，逆に $\alpha\to\infty$ で板厚方向の分布はなくなる．以下では，この α を板厚方向分布を表すパラメータとして，その影響評価を行う．

2.2　基礎方程式　固有ひずみベクトル $\boldsymbol{\varepsilon}^*$ と測定解放ひずみベクトル $\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}$ との関係は弾性応答マトリクス $\boldsymbol{R}$ を用いて次式のように表される．

$$\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{em}=\boldsymbol{R}(\alpha)\boldsymbol{\varepsilon}^*(\alpha) \qquad (2.2)$$

したがって，固有ひずみ分布の推定値 $\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^*$ は，$\boldsymbol{R}(\alpha)$ の一般化逆行列 $\boldsymbol{R}^+(\alpha)$ を用いて，

$$\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^*(\alpha)=\boldsymbol{R}^+(\alpha)\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{em} \qquad (2.3)$$

と表される．

しかし，式(2.2)は α に対する非線形方程式であるので，式(2.3)内の一般化逆行列 $\boldsymbol{R}^+(\alpha)$ を直接求めることはできない．したがって，評価関数の最小化問題により未知パラメータ α の推定を行う必要がある．

2.3　評価関数　解放ひずみの残差ノルム $\left\|\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}-{}_{\mathrm{est}}\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}\right\|$ を用いて次式のような評価関数を導入し，評価関数の最小化問題により未知パラメータ α の推定を行う．

$$\begin{aligned}\prod(\alpha_i) &= \left\|\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}-{}_{\mathrm{est}}\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}\right\|^2\\ &= \left\|\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}-R(\alpha_i)\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}^*(\alpha_i)\right\|^2\\ &= \left\|\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}-R(\alpha_i)R^+(\alpha)\Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{\mathrm{em}}\right\|^2\end{aligned} \qquad (2.4)$$

具体的には，まず，α_{exact} に対して α_i を十数点選び，それぞれの α_i に関して評価関数 $\prod(\alpha_i)$ の計算を行う．そして，計算値が極小となる α_i を推定値 α_{est} とする．

3　数値実験

対称性を仮定してFig.1の灰色部で示す1/4平板を解析対象とし，数値実験を行った．Fig.1 で y=0 に相当する面が溶接ビード部に相当する．

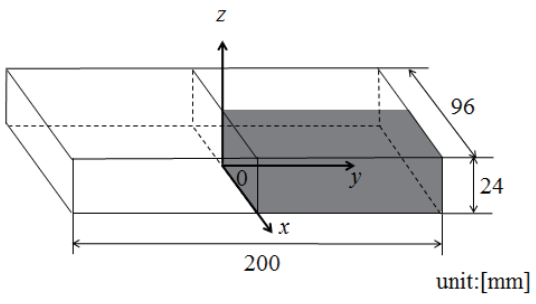
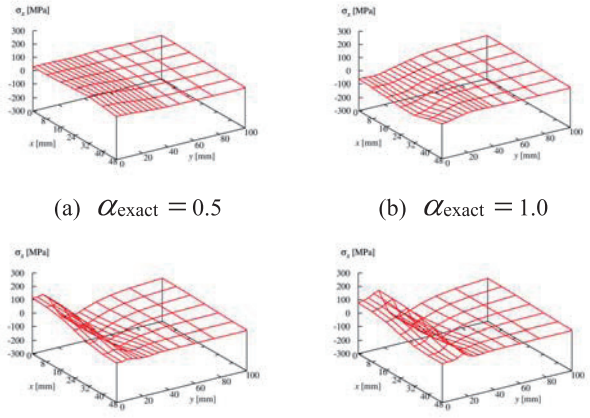


Fig.1　Analyzed model

3.1　順解析　α_{exact}= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 に分布させた正解固有ひずみをモデルに負荷した際に生成される正解残留応力分布を順解析により求めた．結果を Fig.2 に

示す．板裏面($z=0$mm)の残留応力分布は，α の変化に伴い大きく変化している．また，$\alpha_{exact} \geq 2.0$ のときには，固有ひずみを板厚方向に分布させていない場合($\alpha_{exact} \to \infty$)と比べて明確な違いがみられないことが明らかである．



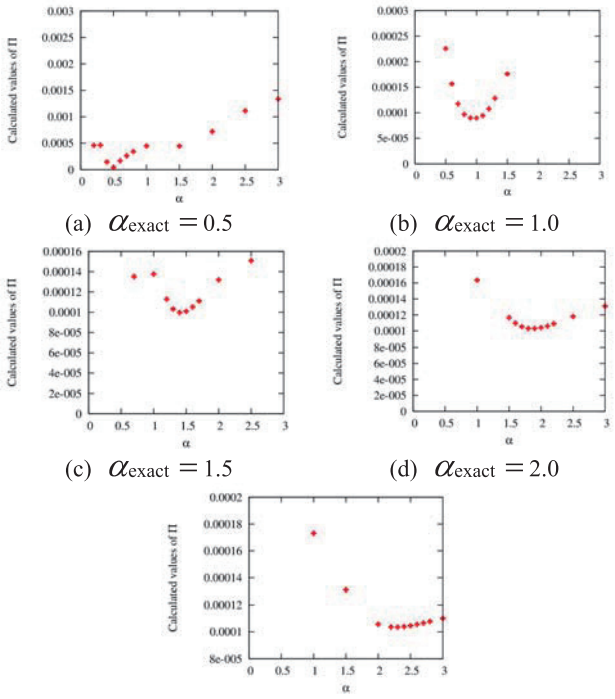
(a) $\alpha_{exact}=0.5$　(b) $\alpha_{exact}=1.0$

(c) $\alpha_{exact}=2.0$　(d) $\alpha_{exact} \to \infty$

Fig.2　Exact σ_x ($z=0$mm)

3.2　逆解析　逆解析の入力情報には，3.1 節で示した正解固有ひずみ分布($0.5 \leq \alpha_{exact} \leq 2.5$)をモデルに負荷した際に生成される板表面($0 \leqq x \leqq 48$ mm, $0 \leqq y \leqq 40$ mm, $z=24$ mm)における解放ひずみ $\Delta\varepsilon_x, \Delta\varepsilon_y, \Delta\gamma_{xy}$ を用いた．

まず，未知パラメータ α の推定を行うため，2.3 節で示した手順に従い，評価関数 $\prod(\alpha_i)$ の計算を行った．得られた結果を Fig.3 に示す．　いずれも $\prod(\alpha_i)$ の計算値



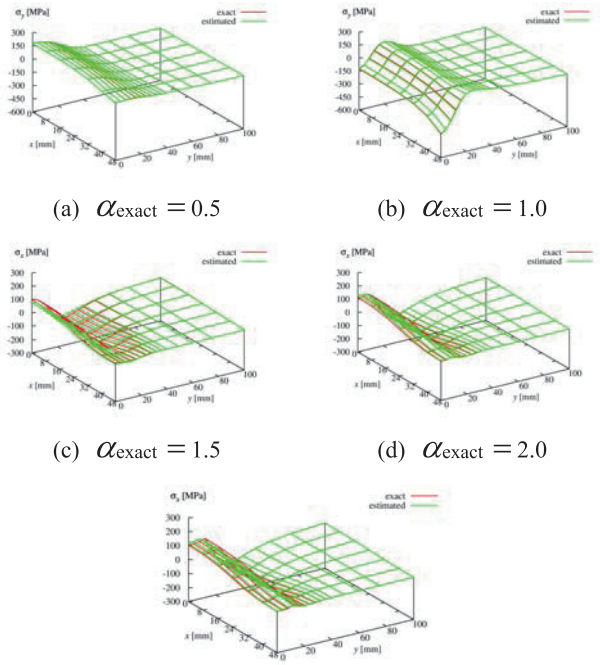
(a) $\alpha_{exact}=0.5$　(b) $\alpha_{exact}=1.0$

(c) $\alpha_{exact}=1.5$　(d) $\alpha_{exact}=2.0$

(e) $\alpha_{exact}=2.5$

Fig.3　Distribution of $\prod$ as a function of α for various given α_{exact}

が α_{exact} に近い α_i で極小値をとっているため，評価関数により α の推定が適切に行えている．厚肉配管を対象とした予備的研究では，限られた範囲でしか α の推定が行えなかったが，溶接平板を対象とした本研究では，特異値分解の階数低下法により α ごとに適切な階数までランクを落として逆解析を行った結果，$0.5 \leq \alpha_{exact} \leq 2.5$ の全ての範囲において α の推定が可能となった．次に、求めた α_{est} を式(2.3)に代入し，推定残留応力分布を求めた．得られた結果を正解と比較して Fig.4 に示す．



(a) $\alpha_{exact}=0.5$　(b) $\alpha_{exact}=1.0$

(c) $\alpha_{exact}=1.5$　(d) $\alpha_{exact}=2.0$

(e) $\alpha_{exact}=2.5$

Fig.5　Comparison between exact σ_x and estimated σ_x ($z=0$mm)

Fig.4 より，$0.5 \leq \alpha_{exact} \leq 2.5$ の全ての範囲において残留応力分布の概形を推定できることが明らかになった．

4　結言

(1)　厚肉溶接平板に対して，固有ひずみの板厚方向分布を考慮した残留応力評価手法の提案を行った．

(2)　提案手法により，$0.5 \leq \alpha_{exact} \leq 2.5$ の全ての範囲において残留応力分布の推定が可能であることを明らかにした．

得られた結果を配管にフィードバックして，精度向上を図ることが今後の課題である．

参考文献

1)　萩,平尾：非破壊検査，45-7，pp526-530，(1996).

2)　熊谷・中村・小林，日本機械学会論文集（A 編），65 巻, 629 号，pp. 133-140 (1999).

3)　小川・中村，日本機械学会論文集（A 編），77 巻 774 号，pp282-292（2011-2）．

4)　上田, 麻：溶接学会論文集,11-1,pp.189-195,(1993).