

(371) 鋼管の残留応力測定方法について
(鋼管残留応力の研究 第1報)

新日鐵(株)八幡製鐵所

○矢崎陽一, 丸山和士
福永信一

1. 緒言: 鋼管の残留応力測定については従来より幾つかの方法が提唱されている。本研究では中小径管の残留応力測定にいずれの方法が適しているかをしらべるため, 同一鋼管につき各方法を適用し比較検討する。さらにこれらの中から Sachs 法を取上げ, 測定方法の改善, 解析のプログラム化を検討する。

2. 結果: (1) 供試材 API 5 LX-X 52 (SML) O.D.=89.1mm, t=4.9mm, 最終工程 冷間矯正
(2) 残留応力測定方法 破壊的方法 4種, 非破壊的方法 1種 (表1)

3. 結果および結論: (1) 各種測定方法の比較(表1)

以下の点が今回の結果より明らかとなった。

(i) 周方向残留応力(以下 σ_θ)はどの方法を用いてもほぼ同一の結果が得られる。

(ii) 軸方向残留応力(以下 σ_z)は切断法以外はほぼ同一の結果が得られる。

(iii) 板厚方向に非直線的に分布する残留応力に対しては, Sachs 法で求める必要がある。ただし Sachs 法では測定解析に時間がかかるので合理化の検討が必要である。

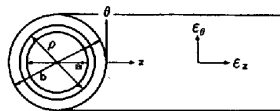
(2) Sachs 法解析のプログラム化

Sachs 法による残留応力解析法は図1に示すとおりで, 各旋削ステップにおける解放歪量から λ, θ を計算し, つぎに $\lambda-A, \theta-A$ 曲線の微係数 $d\lambda/dA, d\theta/dA$ を求め, 式に従って残留応力 $\sigma_z, \sigma_\theta, \sigma_r$ を計算する。この一連の解析は非常に手間がかかり, 微係数を計算する代わりに近似解法, 図式解法が提案されている。ここではすべてをプログラム化することにし, 図2に示すフローチャートに従って解析システムを完成させた。 $\lambda-A, \theta-A$ 曲線の回帰式の精度が残留応力値に著しく影響を及ぼすため, 1次~4次までの多項回帰分析を取入れた。一方歪測定に関しても改善を加え, 現在 Sachs 法による鋼管残留応力測定が精度良く迅速に行えるようになった。

表1 各種方法による残留応力測定結果⁽¹⁾
(供試材 X-52, $\sigma_y: 47.3 \text{ kg/mm}^2, \sigma_B: 57.7 \text{ kg/mm}^2, \epsilon: 30.0\%$)

測定法	破壊的方法					非破壊的方法
	切断解放	一部切断解放		Sachs 法		
結果		Anderson-Fahman法	Crampton法	内層逐次除去法	外層逐次除去法	X線応力測定法 ⁽³⁾
(2) 外表面残留応力 σ_θ (kg/mm ²)	12	—	13	(内表面) -23	14	12~13
(2) 内表面残留応力 σ_z (kg/mm ²)	3	6	—	(内表面) -8	8	5~8
長所	(1) 測定が簡単	(1) 簡便的: 準備および測定が早くできる (2) 歪ゲージ不要	(1) 簡便的: 準備および測定が早くできる (2) 歪ゲージ不要	(1) 周方向, 軸方向, 径方向の残留応力が求められる ($\sigma_\theta, \sigma_z, \sigma_r$) (2) 板厚方向の分布がわかる (3) 正確	(1) 周方向, 軸方向, 径方向の残留応力が求められる ($\sigma_\theta, \sigma_z, \sigma_r$) (2) 板厚方向の分布がわかる (3) 正確	(1) 材料が無駄にならない (2) 正確
短所	(1) 精度やゆがみ不十分	(1) 精度やゆがみ不十分 (2) 板厚方向に非線形系分布する場合適用不可	(1) 精度やゆがみ不十分 (2) 板厚方向に非線形系分布する場合適用不可	(1) 逐次旋削のため測定に時間を要する — 短縮化の必要 (2) 解析に時間を要する — 計算のプログラム化	(1) 逐次旋削のため測定に時間を要する — 短縮化の必要 (2) 解析に時間を要する — 計算のプログラム化	(1) 特殊技能が必要 (2) 測定解析に時間がかかる

(1) 測定結果は2本以上の鋼管の平均値 (2) σ_θ : 周方向, σ_z : 軸方向 (3) \sin^2 法 Cr-Mn

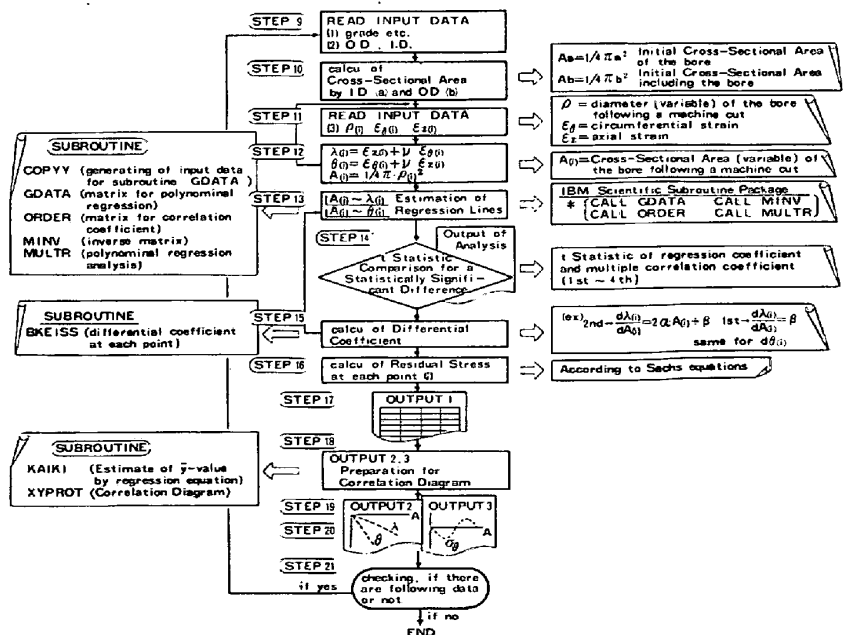


a = Inner Diameter (mm)
b = Outer Diameter (mm)
 ρ = Bored Diameter (mm)
 $Ab = (1/4)\pi b^2$ = Initial Cross Sectional Area including the bore (mm²)
 $A = (1/4)\pi \rho^2$ = Cross Sectional Area of the bore following a machine cut (mm²)
 ϵ_θ = Circumferential Strain
 ϵ_z = Axial Strain
 $\lambda = \epsilon_z + \nu \epsilon_\theta$
 $\theta = \epsilon_\theta + \nu \epsilon_z$
 ν = Poissons ratio (= 0.298)
 E = Young's modulus (= $21 \times 10^4 \text{ kg/mm}^2$)

Residual Axial Stress $\sigma_z = \frac{E}{1-\nu^2} \left\{ (Ab-A) \frac{d\lambda}{dA} - \lambda \right\}$
Residual Circumferential Stress $\sigma_\theta = \frac{E}{1-\nu^2} \left\{ (Ab-A) \frac{d\theta}{dA} - \frac{Ab+A}{2A} \theta \right\}$
Residual Radial Stress $\sigma_r = \frac{E}{1-\nu^2} \left\{ \frac{(Ab-A)}{2A} \theta \right\}$
(σ : kg/mm²)

Sachs Method for Residual Stress Determination (Boring)

図1.



Flow Chart for Analysis of Residual Stress of Pipe

引用文献

米谷 茂: 「残留応力の発生と対策」 養賢堂 (1975)

図2. 残留応力解析のためのフローチャート