

音弾性による圧延鋼板材の残留応力測定

梅本 剛幸

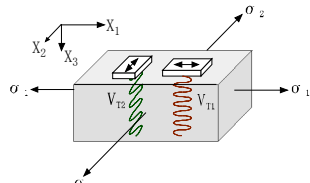
研究背景・目的

構造物の基盤である構造物材には、製造工程における塑性変形や不等沈下、熱応力により残留応力が発生する。この応力が負荷応力に重畳して強度低下を引き起こすことがある。超音波を用いて非破壊的に応力を測定する方法に音弾性法があり、複屈折音弾性法では板厚方向、表面SH波音弾性法では表面近傍の平均主応力差が測定可能である。本研究では複屈折音弾性法に現れる組織異方性と表面SH波音弾性法で測定できる表面異方性の間に相関が存在すると仮説を立て立証することにより、これまで未知とされてきた組織異方性を算出し正確な板厚平均の残留応力を測定することを目的とした。

音弾性法

音弾性法とは、固体内を伝搬する超音波の音速が応力状態によって変化する現象を利用した応力測定法である。

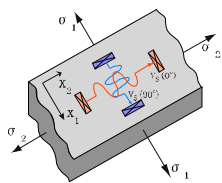
●複屈折音弾性法



$$B = \frac{V_{T1} - V_{T2}}{(V_{T1} + V_{T2})/2} = B_0 + C_A(\sigma_1 - \sigma_2)$$

- σ_1, σ_2 : 主応力 (互いに直交)
- B : 音響異方性
- V_{T1}, V_{T2} : 主応力方向に偏向した2つの横波の音速
- B_0 : 組織異方性 (無応力状態の音響異方性)
- C_A : 複屈折音弾性定数

●表面SH波音弾性法



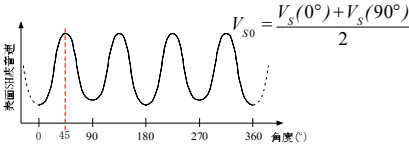
$$\Phi_s = \frac{V_s(0^\circ) - V_s(90^\circ)}{\{V_s(0^\circ) + V_s(90^\circ)\}/2} = C_s(\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$C_s = \frac{l}{2C_T} = -\frac{l}{2\mu}$$

- Φ_s : 音響異方性
- $V_s(0), V_s(90)$: 偏向方向がそれぞれ X_1, X_2 方向の表面SH波の音速
- C_s : 表面SH波音弾性定数
- μ : 剛性率

○表面異方性

表面SH波音弾性法において圧延方向に偏向する波を 0° として 360° 回転させると右図に示す音速変化となる。



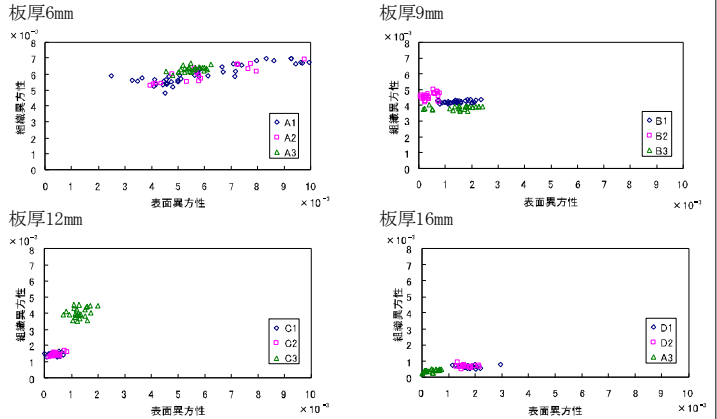
ここで、 0° と 90° 方向の平均音速と最も変化する 45° 方向の音速を用いて求めた音響異方性を **表面異方性** (Φ_{s4}) とする。

$$\Phi_{s4} = \frac{V_{s0} - V_s(45^\circ)}{\{V_{s0} + V_s(45^\circ)\}/2}$$

$$V_{s0} = \frac{V_s(0^\circ) + V_s(90^\circ)}{2}$$

板厚ごとの相関

多数点で測定した組織異方性と表面異方性を板厚ごとにまとめると以下のような結果となった。試験片はそれぞれメーカーの異なる3種類の鋼板を用いた。



メーカーが異なる3種類の鋼板を用いたにも関わらず、板厚ごとにまとめた結果が得られ、相関が存在する可能性が期待できる。

応力測定

単軸引張試験片(板厚9mm)に負荷応力を与え、残留応力を測定することにより求めた相関の評価を行った。

負荷応力(MPa)	20	40	60	80	100	120
表面異方性($\times 10^{-3}$)	0.71	0.76	0.64	0.87	0.80	0.78

組織異方性($\times 10^{-3}$) 4.32 4.31 4.34 4.28 4.30 4.30

測定した組織異方性 ($\times 10^{-3}$) 4.38

比較するとほぼ同じことから組織異方性が推定可能である

複屈折音弾性法で測定した音響異方性

負荷応力(MPa)	20	40	60	80	100	120
音響異方性($\times 10^{-3}$)	4.53	4.69	4.86	5.05	5.21	5.35

測定した音響異方性をそのまま応力換算すると、組織異方性を含んでいるため、正確な応力値を測定できない

600MPa を引くと、直接応力換算(MPa) 621 642 666 692 714 733

破壊的手法により測定した応力

測定応力(MPa)	21	42	66	92	114	133
-----------	----	----	----	----	-----	-----

本手法で測定した応力

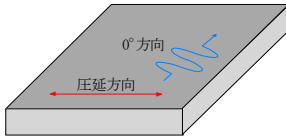
測定応力(MPa)	29	52	71	106	125	144
-----------	----	----	----	-----	-----	-----

比較すると最大14MPaの差

本手法により求めた組織異方性を用いて応力異方性と分離することができ、板厚平均の残留応力が測定可能である

実験方法

板厚の異なる試験片を用いて、複屈折音弾性法と表面SH波音弾性法で多数点測定を行い、組織異方性と表面異方性の相関を求めた。



シングア라운드法で音速測定を行った。

接触媒質として低粘度のタンソニックオイルを使用した。

試験片
材質：軟鋼SS400
寸法：200×200 (mm)

	A	B	C	D
板厚(mm)	6	9	12	16

まとめ

- 圧延鋼板材において、組織異方性と表面異方性の相関は、板厚ごとに異なっているがまとめた結果が得られた。
- 求めた相関を用いて板厚平均の残留応力測定を行ったところ、表面異方性から組織異方性を推定し、ほぼ正確な残留応力が測定可能となった。

表面SH波音弾性法と複屈折音弾性法を組み合わせることにより、板厚平均の正確な残留応力測定の可能性が広がった。