

表面SH波音弾性による圧延鋼板材の残留応力測定 -T形表面SH波センサを用いた表面SH波の波動伝搬経路解析-

関山 光晴

研究背景・目的

近年、大型構造物の大変形や破壊事故が多数報告されている。残留応力の値を正しく評価することは、構造物の安全性・信頼性を確保する上で重要である。残留応力を測定する有望な方法に音弾性がある。本研究では、音弾性に表面SH波音弾性を用い、表面SH波の伝搬経路を解明し、高精度な残留応力測定を行うことを目的とした。

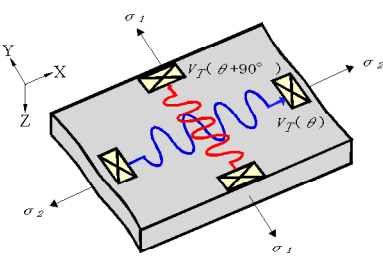
表面SH波音弾性

表面SH波を測定物の表面方向に互いに垂直に伝搬させることで音響異方性を求めることができる。表面SH波音弾性では、組織異方性に煩わされずに表面近傍の平均応力の測定ができる。

$$\Phi_s = \frac{V_T(0^\circ) - V_T(90^\circ)}{V_{T0}} = C_s(\sigma_1 - \sigma_2)$$

$$\Phi_{SA} = \frac{V_{T0} - V_T(45^\circ)}{(V_{T0} + V_T(45^\circ))/2}$$

- Φ_s : 音響異方性
- $v_T(0^\circ), v_T(90^\circ)$: $0^\circ, 90^\circ$ 方向の音速
- v_{T0} : $0^\circ, 90^\circ$ 方向の平均音速
- C_s : 表面SH波音弾性定数
- σ_1, σ_2 : X, Y方向の主応力
- Φ_{SA} : 表面異方性



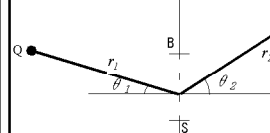
表面異方性は 0° 方向、 90° 方向の平均音速と 45° 方向音速の相対音速差で定義した。

解析方法・結果

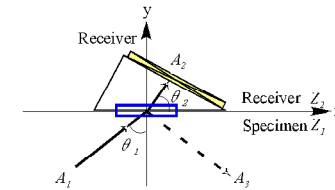
ホイヘンス・フレネルの原理を波動方程式に結びつけたキルヒホッフの回折積分により数値解析を行い、観測点Pでの振幅、位相を求め、受信波形を求めた。

キルヒホッフの回折積分

$$u = \int_s \frac{1}{2\sqrt{r_1 \cdot r_2}} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) \cdot e^{i(kx - \omega t)}$$

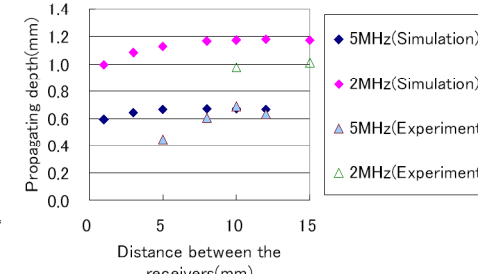
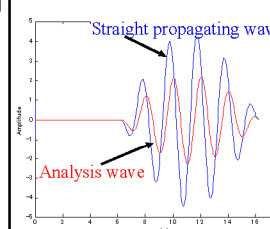


表面SH波の受信には変位伝達率Kを考慮に入れた。



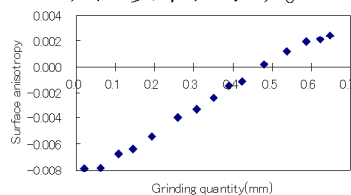
$$A_2 = \frac{2KZ_1 \cos \theta_1}{Z_1 \cos \theta_1 + KZ_2 \cos \theta_2} A_1$$

表面を直線状に伝搬した送信波と計算で求めた受信波の伝搬時間差から表面SH波の伝搬深さを求めた。



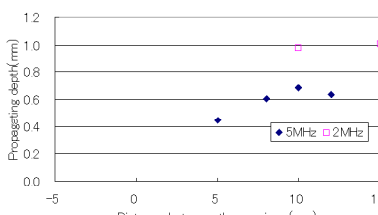
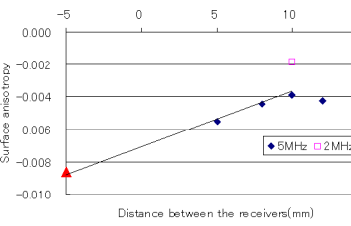
実験方法・結果

試験片には、表面異方性が板厚方向に直線変化する軟鋼SS400(板厚6mm)を用いた。使用したT形表面SH波センサは以下に示す。



Type	Frequency [MHz]	Distance between the receivers [mm]
①	5	5
②		8
③		10
④		12
⑤	2	10
⑥		15

表面SH波の伝搬経路を表面異方性をトレーサとすることで求めた。表面SH波の伝搬深さを求めるには表面直下の表面異方性を求める必要がある。ここでは、周波数5MHz、受信子間距離5, 8, 10mmの近似直線をセンサの送・受信子間距離5mmを考慮に入れた-5mmまで外挿した値を表面直下の表面異方性の推定値とし、表面SH波の伝搬深さを求めた。



応力測定に及ぼす組織異方性の影響

無応力状態の軟鋼SS400(板厚6mm, 9mm)において応力を測定し、組織異方性の影響について調べた。また、斜角SH波音弾性の関係式から計算により、組織異方性の応力換算値を求めた。

(a) 板厚6mm

	5MHz(8mm)	5MHz(10mm)	5MHz(12mm)	2MHz(10mm)	2MHz(15mm)
Propagating depth (mm)	0.67	0.67	0.66	1.17	1.17
Stress (MPa) Experiment	-4.5	-5.6	-6.0	-11.7	-8.1
Stress (MPa) Calculation	-7.8	-5.9	-4.5	-15.6	-9.1

(b) 板厚9mm

	5MHz(8mm)	5MHz(10mm)	5MHz(12mm)	2MHz(10mm)	2MHz(15mm)
Propagating depth (mm)	0.67	0.67	0.66	1.17	1.17
Stress (MPa) Experiment	-5.2	-4.1	-4.2	-5.5	-5.6
Stress (MPa) Calculation	-6.2	-4.7	-3.5	-12.3	-7.3

実測値と計算から求めた組織異方性の応力換算値がほぼ一致し、応力測定時に組織異方性の影響を受けることがわかった。

まとめ

表面SH波の伝搬深さは、T形表面SH波センサの周波数、受信子間距離の組み合わせで任意に設定できることが判明した。また、表面SH波音弾性応力測定時に組織異方性の影響を受けることがわかった。これより、圧延鋼板の板厚毎にT形表面SH波センサの周波数、受信子間距離を適切に設定することで、高精度な残留応力測定が可能になると期待される。