超音波による圧延鋼板の弾性定数の測定に関する研究

東京工業大学 学生会員 戸塚孝文東京工業大学 正会員 廣瀬壮一

1.序論

鋼板は,鋼材を圧延することによって作られている ため,圧延による塑性変形により異方性が生じること が知られている.これは鋼板を構成している微粒子が, 圧延の際に圧延方向に引き伸ばされるためである.こ の異方性は斜角探触子を用いた超音波探傷試験におい て欠陥の位置に誤差を生じさせる原因になっている. したがって,探傷試験を行なうときにはこの異方性を 考慮しなければならず,そのためにはまず鋼板の弾性 定数を知る必要がある.圧延鋼板の弾性定数を測定す る方法には,鋼板から試験片を作製し測定する方法を 用いる場合がほとんどである¹⁾.もし試験片を切り出す ことなく弾性定数を測定することができれば,異方性 の影響を容易に補正することができる.

そこで本研究では,超音波を用いて圧延鋼板の弾性 定数を非破壊的に求める方法について実験を行なった. 実験方法は接触法と水浸法を組み合わせたものである. そして実験結果より弾性定数を決定し,既往文献²⁾の弾 性定数との比較を行なった.

2.実験方法

実験で使用した試験体は,長さが50cm,幅15cm,厚 さ5cmの直方体の鋼板で,重さは約30kgである.圧延 方向をx2とし,板厚方向をx1として右手系直交座標を 考えると全ての座標軸が決まる.このとき鋼板は,3つ の軸で作られる3つの平面に対して対称と仮定するこ とによって,直交異方性とみなすことができる.

実験は接触法と水浸法の2つに大きく分かれる.求 めるべき9つの弾性定数のうち,接触法で3つ,そし て水浸法で残り6つの弾性定数を求める.

接触法では, 図1のように板厚方向(x₁方向)に対し て探触子を当て, 伝播時間を測定することにより位相 速度を算出する.このとき振動方向がx₁方向の縦波と, 振動方向がx₂方向,x₃方向の2つの横波の位相速度を 測定することができる.そして位相速度と鋼板の密度 から,C₁₁,C₅₅,C₆₆の弾性定数を決定することができる.



図1 接触法の実験装置

水浸法では,入射角を徐々に変えて位相速度を測定 する.そして非線形最小2乗法を用いて,弾性定数を 変数とする理論的な位相速度関数 v(C_{ij})と測定した位 相速度 v_pの差を最小にすることによって残り6つの弾 性定数 C_{ii}を決定する.つまり,

$$\min f(C_{ij}) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{m} \left(\left(v_{p} \right)_{k} - \left(v(C_{ij}) \right)_{k} \right)^{2}$$

になるような,弾性定数C_{ij}を探すことになるただし, mはデータ数である.

水浸法の実験装置は,図2のように送信受信探触子 の間に試験体を置き,超音波の位相速度を測定する. このとき回転盤を回転させることで様々な方向の超音 波の位相速度を測定することができる.今回の実験で は,縦波は0.18°刻みで41点,横波は0.36°刻みで 41点測定した.



位相速度の測定は,鋼板を設置しない伝播時間と鋼

キーワード 超音波,圧延鋼板,異方性,弾性定数 連絡先 〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-w8-22 TEL03-5734-3587 板を置いたときの伝播時間の差 t を用いて測定を行なう. 位相速度 v_p はスネルの法則を使って次のように表される.このとき, h:試験体の厚さ, $_0$:入射角, v_w :水の音速である.

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{v_w}\right)^2 - 2\frac{\Delta t}{h}\frac{\cos\theta_0}{v_w} + \left(\frac{\Delta t}{h}\right)^2}}$$

試験体は,図3のように設置して測定を行なった. まず図3(a)のように圧延方向(x₂)を鉛直方向に向けて 試験体を置き測定する.次に図3(b)のように圧延方向 (x₂)を水平方向に向けて試験体を置き測定する.最後に 図3(c)のように試験体を =45°に傾けて測定する.こ のように,3種類の面上を伝播する超音波を入射させて 位相速度を測定する.



弾性定数を変数とする位相速度関数 v は,下にある Christoffel の方程式の解である.この方程式は3次方 程式であり,準縦波と振動方向の異なる2つの準横波 の3つの位相速度が得られる.ここで, :密度,a:振 動方向ベクトル,n:単位進行方向ベクトルである.

 $\begin{pmatrix} \Gamma_{11} - \rho v^2 & \Gamma_{12} & \Gamma_{13} \\ \Gamma_{12} & \Gamma_{22} - \rho v^2 & \Gamma_{23} \\ \Gamma_{13} & \Gamma_{23} & \Gamma_{33} - \rho v^2 \end{pmatrix} \begin{cases} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{cases} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\Gamma_{ik} = C_{ijkl} n_j n_l)$

3.実験結果

図4は図3(b)および(c)の測定で得られた準横波の測 定値と最適化された位相速度関数を示したものである. 図4(a)ではうまく最適化が行なわれているのに対し, 図4(b)では伝播方向角45°付近においてうまく最適化 が行なわれていないことがわかる.この原因は2つの 準横波の位相速度の差が小さくなることによって,受 信波形が乱れたことによると思われる.

実験により決定された弾性定数は次のようになった. 弾性定数と既往の文献²⁾の弾性定数とを比較したところ,弾性定数 C₄₄, C₂₃において違いが見られたものの, 他の弾性定数は妥当な値であった.



4.結論

異方性圧延鋼板の弾性定数を測定した.その結果, 図3(c)の測定で得られた準横波において,測定値と位 相速度関数との最適化がうまく行なわれなかった.こ れは2つの準横波の位相速度の差が小さくなることで 受信波形が乱れたことによると思われる.この乱れを 低減させるためには.より高周波の超音波を使用して 2つの準横波の波形を分離する等の対策が必要である.

得られた弾性定数と既往の文献²⁾で得られた弾性定数とを比較したところ,弾性定数C₄₄,C₂₃において違いが見られたものの,他の弾性定数は妥当な値であった.

参考文献

- R.Narongsak, H.Shirahata, Hirose.S and C.Miki : Effects of Acoustical Anisotropy of Steel Plates on Ultrasonic Testing, The 51st Nat. Cong. of Theoretical & Applied Mechanics, 2002
- 2) 裏垣博: 超音波による音響異方性材料の溶接欠陥評価に 関する研究,大阪大学博士論文,1992.