

平鋼板および曲鋼板の超音波伝播特性

Characteristic of ultrasonic wave propagation on a flat plate and a spherical plate

原子力安全システム研究所 石田 仁志 Hitoshi ISHIDA Member

A purpose of this study is evaluation and determination of specifications of ultrasonic testing system for a large component for which it is difficult to develop UT system with a mock-up. We have tried to evaluate elastic wave intensity with elastic wave propagation finite element analysis for a flat plate.

This study reports characteristic of ultrasonic wave propagation on a spherical plate by measurements of ultrasonic wave signal intensity and comparison with result with a flat plate.

Keyword Ultrasonic testing, ultrasonic wave, elastic wave, spherical plate, Quantitative Evaluation

1. 緒言

本研究は、実規模のモックアップを用いた実験検証が困難な、大型構造物の超音波探傷試験システムの開発仕様を、弾性波伝播解析により検討、選定することを目的としている。そのためには、実験で得られる超音波受信信号強度を弾性波伝播有限要素解析によって定量的に再現することが必要である。既報[1][2]において、平鋼板上の超音波伝播強度分布において、その超音波探傷器の受信信号強度を再現する弾性波伝播有限要素解析による弾性波強度の計算値を求めた。本報では、さらに現実的な大型構造物の形状の一つである、曲率鋼板における超音波伝播特性をその強度分布により実験的に計測し、平鋼板と比較評価した結果を述べる。

2. 実験装置

2.1 試験体

平鋼板の弾性波伝播の実験に用いた試験体を Fig.1 に示す。試験体は、厚さ 38mm、長さ 2.0m、幅 1.0m の炭素鋼板である。

曲率鋼板の弾性波伝播の実験に用いた試験体を Fig.2 に示す。試験体は、厚さ 6mm、直径 2000mm、曲率半径 2000mm および 200mm の曲率部からなる炭素鋼板である。

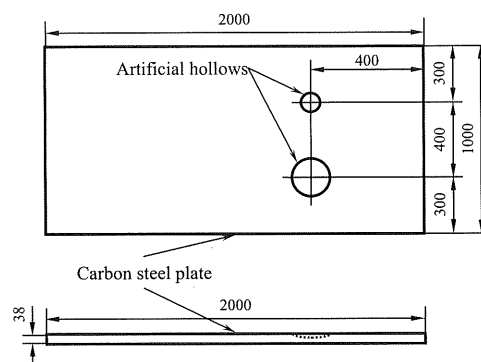


Fig.1 A flat plate

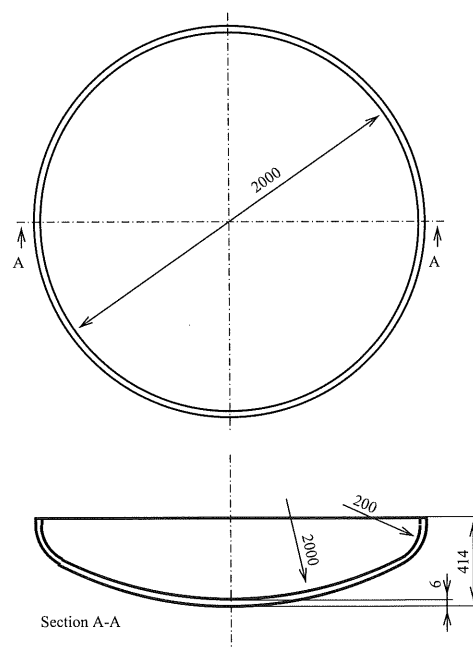


Fig.2 A spherical plate

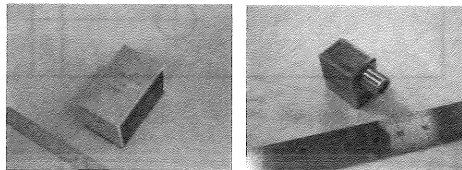
2.2 超音波探触子

Tab.1 に測定に使用した探触子の仕様を示す。平鋼板試験体の測定には、周波数 0.3MHz, 振動子の幅が 40mm の SH 波探触子(Probe-F)を使用した。曲率鋼板試験体の測定には、周波数 1MHz, 振動子幅 4mm の SH 波探触子(Probe-S)を使用した。図 3 に外観写真を示す。

Tab.1 Specification of transducers

	Probe-F	Probe-S
Mode	SH*	SH*
Refraction angle	90deg.	90deg.
Frequency	0.3MHz	1MHz
Element size (mm) (width×depth)	40×40	4×4

*: Shear horizontal wave



(1) Probe-F

(2) Probe-S

Fig.3 View of Transducers

2.3 実験方法

図 4 に平鋼板試験体の超音波伝播強度の測定実験方法を、図 5 に曲率鋼板試験体平鋼板試験体の超音波伝播強度の測定実験方法を示す。

それぞれの試験体の端面近傍に送信用探触子を配置し、超音波入射方向およびこれと垂直方向に 100mm 毎の格子状の位置を測定点として受信用探触子を配置し、その位置での送信探触子からの超音波受信波を測定、記録した。超音波探傷装置には、菱電湘南エレクトロニクス製デジタル超音波探傷器 UI-25 を使用した。

Fig.6 に曲率鋼板試験体による試験状況を示す。

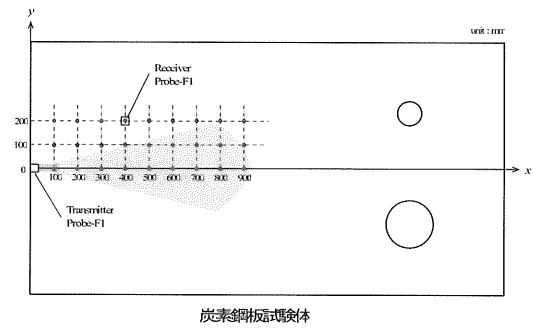


Fig.4 Measurement of ultrasonic wave on the flat plate

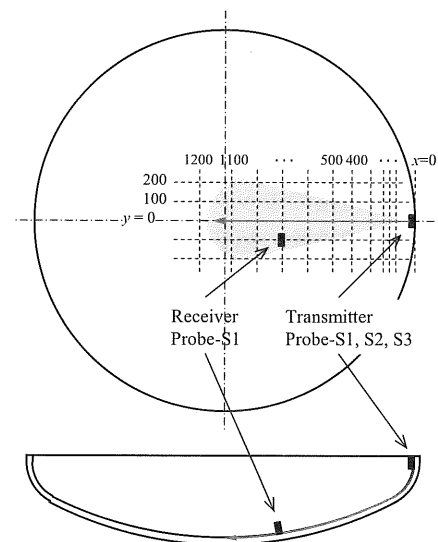


Fig.5 Measurement of ultrasonic wave on the spherical plate

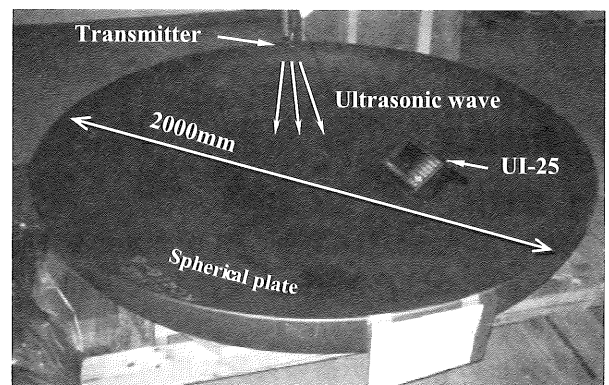


Fig.6 Experiment with the spherical plate

3. 実験結果

Fig.7 に平鋼板試験体の, Fig.8 に曲率鋼板試験体の, 送信探触子からの距離と受信信号強度の関係を示す. 受信強度は, 受信信号を超音波探傷器の画面縦軸の 80%高さに調整したときの探傷器増幅度により算出し, 入射位置における強度により規格化したものである.

$y=0$ の探触子中心線上の測定点では, x 距離が大きくなると, y 方向への超音波の拡散によって受信信号強度が低下する. $y=100, 200$ の測定点では, y 方向への超音波の拡散に伴い, x 距離が大きくなると, 測定点は超音波の拡散したビームの領域に含まれることによって, 受信信号強度が増大する. 曲率鋼板試験体の実験において, $y=200$ の測定点では SN 比が低下し, 適切な強度評価は困難であった.

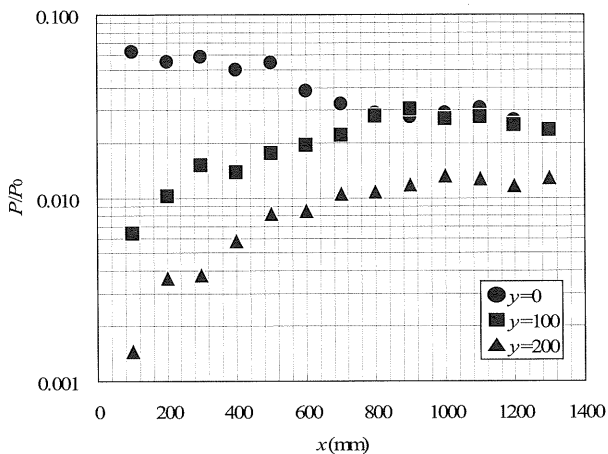


Fig.7 Measurements on the flat plate

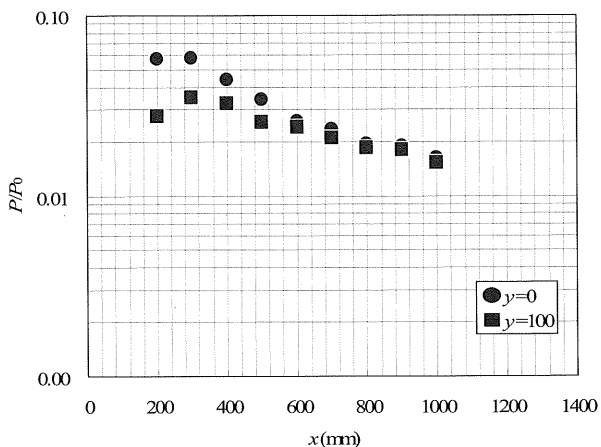


Fig.8 Measurements on the spherical plate

4. 考察

平鋼板および曲率鋼板試験体の xy 表面上を伝播する超音波の強度分布について, 振動子の指向角から検証を試みた,

探触子の振動子幅に着目し, 試験体表面の xy 面における振動子からの超音波ビームの指向角を試算した.

方形振動子の振動子面に垂直方向における指向角は, 次式により与えられる[3].

$$\varphi_0 = 57 \frac{C}{Df} \text{ (度)} \quad (1)$$

ここで, D は振動子の幅, f は周波数, C は音速を表す.

また, -6dB 指向角は, 次式によって表される[3].

$$\varphi_{0.5} = 25 \frac{C}{Df} \text{ (度)} \quad (2)$$

また, 近距離音場限界距離は, 次式により表される[4].

$$x_0 = \frac{D^2 f}{4C} \quad (3)$$

式(3)による探触子 Probe-F および Probe-S の近距離音場限界距離は, それぞれ 37.2mm, 1.2mm であり, 本実験における測定点は遠距離音場にあると考えることができる.

式(2)および(3)により計算される探触子 Probe-F および Probe-S の指向角を Tab.2 に示す. $y=100, 200$ における指向角および -6dB 指向角に相当する x 距離を求め, 図に表したものが, Fig.9 および Fig.10 である.

Fig.9 の平鋼板試験体では, $y=100$ においては, $x=847.5$ 以上で -6dB 指向角の範囲内にある. これは, Fig.7 において, $y=0$ および 100 の強度が, $x=800$ 以上の測定点において一致することに対応するものである. $y=200$ の場合は, -6dB 指向角範囲内となるのは, $x=1695.1$ 以上であり, このことは, 実験の測定範囲においては, $y=200$ の強度は, $y=0$ の強度に至っていないことにも対応する.

Fig.10 の曲率鋼板では, $y=100$ においては, $x=272.0$ 以上で -6dB 指向角の範囲内にある. これは, Fig.7 において, $y=100$ の強度が, $x=300$ 以上の測定点において, $y=0$ の強度と差はあるが, $y=0$ と同様に距離 x とともに減少していくことは一致する. -6dB 指向角の範囲内にあることを示すものである.

Tab.2 Divergence angle

	Probe-F	Probe-S
Divergence angle ϕ_0 (deg.)	15.3	46.0
Divergence angle $\phi_{0.5}$ (deg)	6.7	20.2

超音波探傷試験Ⅱ, p.15(2000).

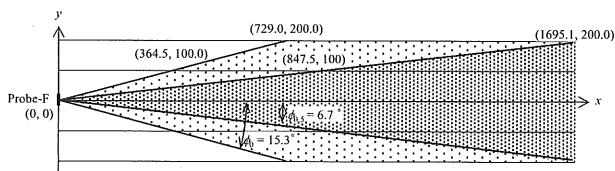


Fig.9 Divergence angle (Probe-F)

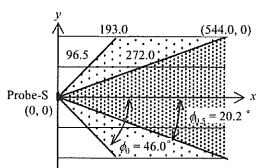


Fig.10 Divergence angle (Probe-S)

5. 結言

平鋼板および曲率鋼板試験体表面を伝播する超音波の強度分布を計測し、探触子の振動子幅による超音波ビーム指向角によって超音波強度が分布することを確かめた。今後はさらに超音波伝播解析、模擬欠陥の反射波強度の評価によって、実規模構造物の解析評価への見通しを得ることを試みる。

参考文献

- [1] 石田仁志, 飯井 俊行, “アクセス不能構造物における弾性波伝播解析による弾性波強度指標評価の試み,” 日本保全学会第6回学術講演会要旨集, 2009, pp.226-231.
- [2] H. Ishida, T. Meshii, “A Trial of Application to Ultrasonic Testing System Development with Finite Element Elastic Waves Propagation Analysis,” Proceeding of the 7th International conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurized Components, 2009, 163-176.
- [3] (社)日本非破壊検査協会, 非破壊検査技術シリーズ 超音波探傷試験Ⅲ, p.46(2001).
- [4] (社)日本非破壊検査協会, 非破壊検査技術シリーズ