

光弾性法を用いた音響エバネッセント波の光学的可視化

自然科学一般

○崎山琢斗(院生)、清水健人(院生)、和泉谷日冴(学部生)
山本健(システム理工学部 物理・応用物理学科 准教授)

研究概要・成果

Introduction

2つの異なる媒質の境界面への波の入射において、伝搬速度の遅い媒質(媒質 I)から速い媒質(媒質 II)への入射かつ、入射角が臨界角以上であれば、波は全反射する。その際、媒質 II 側の境界にわずかにしみ出す波「エバネッセント波」が発生する。その振幅は界面からの距離に応じ、指数関数的に減衰する。超音波の可視化技法である光弾性法を用いて、水/ガラス界面の「音響エバネッセント波」の伝搬を可視化し、その特性を検証した。

Experiments

Fig. 1に波面の可視化に用いた光学系を示す。水中およびガラス中の波面はそれぞれ、Fresnel法、光弾性法で可視化した。光源として短時間発光可能なXeフラッシュランプを用いた。超音波の励起と同期させることで、任意の時間の静止画またはスローモーション動画の撮影が可能となる。

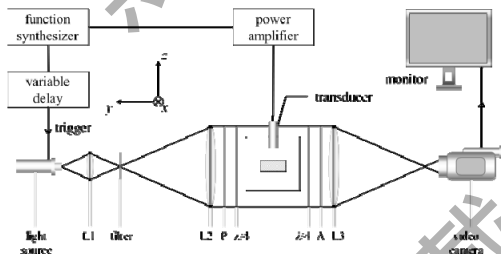


Fig. 1. Optical system and a schematic diagram for the stroboscopic photoelastic method

Fig.2に可視化領域の概略図を示す。媒質 I を水、II を光学ガラスBK7とし、x軸に平行に配置する。35 mm径の円形振動子で超音波を励起した。

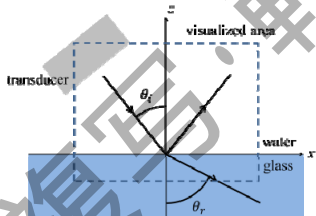


Fig. 2. Orientation of specimen in a visualized area

波がガラス中の縦波臨界角を超えて入射すると、横波のみ透過する。エバネッセント波は入射角 θ_i が横波臨界角 θ_c を超えると発生する。 θ_c はスネルの法則より以下の式で求まる。

$$\theta_c = \sin^{-1}(c_w/c_s) \quad (1)$$

c_w は水中での縦波音波の速度、 c_s はガラス中での横波音波の速度である。 $c_s > c_w$ 、 $\theta_c > \theta_i$ で、透過した横波はエバネッセント波となり、以下の式で表す。

$$\phi = A \exp\left(k_i \sqrt{\sin^2 \theta_i - (c_w/c_s)^2} z\right) \cdot \exp i(k_i \sin \theta_i x - \omega t) \quad (2)$$

(k_i :入射波の波数、 A :任意定数)

したがって、エバネッセント波は波数 $k_i \sin \theta_i$ でx軸に沿って伝搬し、z軸方向へ指数関数的に減衰する波である。また、その波長は以下の式で与えられる。

$$\lambda = 2\pi/k_i \sin \theta_i \quad (3)$$

Results

Fig.3に水中を伝搬する波およびガラス側界面を伝搬するエバネッセント波を示す。

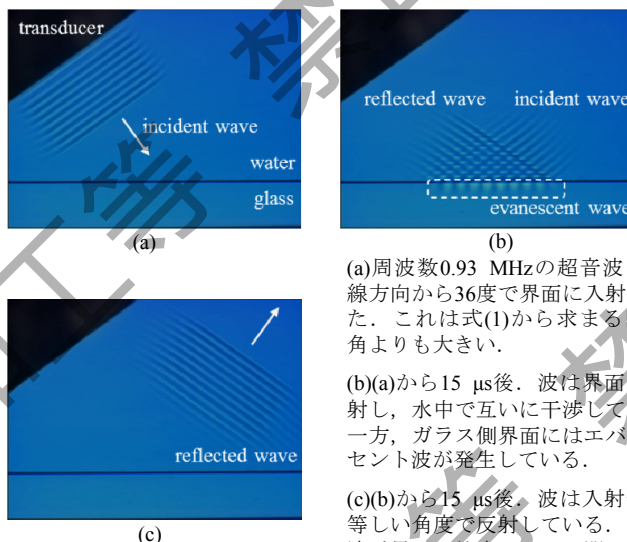


Fig. 3. Visualized images observed by the stroboscopic photoelastic method

(a)周波数0.93 MHzの超音波を法線方向から36度で界面に入射させた。これは式(1)から求まる臨界角よりも大きい。

(b)(a)から15 μ s後、波は界面で反射し、水中で互いに干渉している。一方、ガラス側界面にはエバネッセント波が発生している。

(c)(b)から15 μ s後、波は入射角と等しい角度で反射している。また、波が界面に衝突している間のみエバネッセント波が存在していることが分かる。

Discussions

Fig.4に波長の入射角依存性を示す。曲線は式(3)を満たす理論的な波長である。エバネッセント場の画像にグレースケール処理を行い、波長の値を定量化、グラフにプロットした。レイリー波などの表面波とは異なり、位相速度や波長が入射角により変化するのとはエバネッセント波特有の性質である。

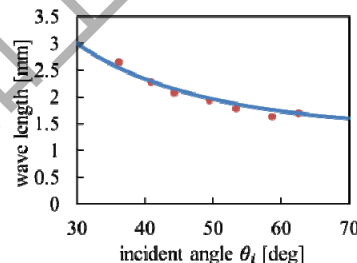


Fig. 4. Incident angle dependence of the wavelength of the evanescent waves

Fig.5に-z方向への光強度を示す。曲線は式(2)の振幅部分のsin関数の2乗に比例する。画像から光強度を定量化し、その値をプロットした。理論曲線と実験データにおおむね一致がみられ、振幅の指数関数的減衰が確認できる。

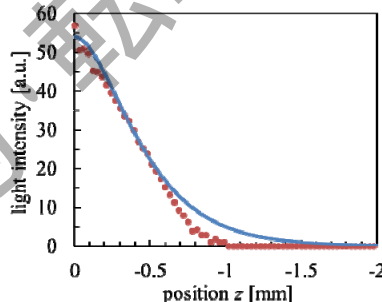


Fig. 5. Light intensity of the obtained image (circles) and the fitted line (solid line) along the z-direction

応用分野、実用化可能分野

円形スピーカ[1]や平面アレイ[2]、近接音響通信デバイス[3]の開発

- [1] H. Ito, K. Furuya, and Y. Haneda, Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing, (2012)221.
[2] D. H. Trivett, L. D. Luker, S. Petrie, A. L. Van Buren, and J. E. Blue, J. Acoust. Soc. Am. 87(1990) 2535.
[3] A. Fujii, N. Wakatsuki, K. Mizutani, Jpn. J. Appl. Phys. 53 (2014) 07KB07.

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 山本 健 E-mail: ken@kansai-u.ac.jp

関大ORDIST

先端科学技術推進機構
社会連携部 産学官連携センター、知財センター