

水浸超音波探傷法の実験と 数値シミュレーション

岡山大学大学院 学生員○佐藤 明
岡山大学環境理工学部 正 員 廣瀬壮一

1. はじめに

非破壊検査において超音波法がかなり利用されている。実験室レベルでの超音波法においてよく用いられる方法に、供試体を水に浸して水を媒体として超音波を入力する水浸超音波法がある。水浸超音波法は、水と弾性体の結合問題となるため、あまり多くの解析は行われていない。本研究では、水浸超音波法の定量化や高精度化を図るため、水浸超音波探傷法の実験及び数値シミュレーションを行い、それぞれの結果について考察を行った。

2. 探傷実験

本研究では、図1のような実験装置を用いて実験を行った。探触子は中心周波数が2MHzの広帯域水中超音波探触子を用いた。供試体はアルミニウム製で、図2に示すようなそれぞれ空洞の位置が異なる3種類のものを使った。(a)、(b)、(c)は供試体の上面から、それぞれ、2mm、5mm、10mmの位置に直径3mmの円筒の空洞をあけたものである。1つの探触子を用いて超音波の入力、検出をするパルスエコー法を用い、超音波の入力、検出は板上面の法線と $\theta=20^\circ$ の角度をなすようにした。検出した散乱波形には探触子や、計測機器などの未知特性を含んでいるため線形システム論を用いて実験で得られた波形と参照波形のフーリエ変換の比を求めることによって圧力振幅 Ω_F を得た。参照波形としては欠陥の無い供試体に $\theta=0^\circ$ で超音波を入射した時の供試体上面からの反射波を用いた。

3. 数値シミュレーション

液体－固体の2相媒体における2次元散乱問題を考える。固体は均質等方な線形弾性体であるとし、液体は圧縮流体であるとする。欠陥は液体－固体界面近傍の固体内にあるとする。入射波は時間調和な平面圧力波で、液体側より角度 θ で入射するものとする。液体、固体のそれぞれの無限体に対する基本解を用いて境界積分方程式を導いて離散化を行い、それらを連続条件、境界条件を用いて結合し欠陥近傍の変位 u と表面力 t を求める。そして、それをGreen関数を用いた遠方場の積分表現に代入して遠方散乱場の計算を行なった。遠方場における散乱波による圧力 p^{far} は次のようになる。

$$p^{far}(x) = \frac{1}{(8\pi k_F |x|)^{1/2}} e^{i(k_F |x| + \pi/4)} \Omega_F(\theta) \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 k_F は水中での波数、 $\Omega_F(\theta)$ は次式で示される遠方場での圧力振幅(距離減衰項 $(k_F |x|)^{-1/2}$ は除く)を表す。

$$\Omega_F(\theta) = \sum_{\alpha=L,T} \left(\int_B G^\alpha(\theta, y) \cdot t(y) dS - \int_B Tr(\partial_y) G^\alpha(\theta, y) \cdot u(y) dS \right) \dots\dots\dots (2)$$

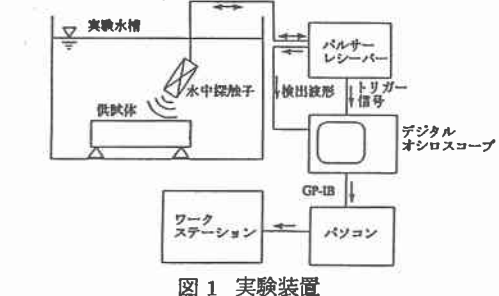


図1 実験装置

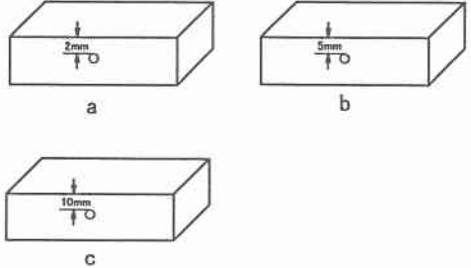


図2 実験供試体

$Tr(\partial_y)$ は表面力作用素であり、 G^a は遠方場におけるGreen関数の α 波の放射パターンを表わす。入射波は時間調和な平面圧力波であると仮定した。実験においては探触子を用いて入射波を入力しているの、全体的に見れば、入射波は平面波よりはむしろ球面波に近づいている。しかし、探触子と欠陥の距離は欠陥の寸法に比べて十分に長く、欠陥近傍での入射波の曲率半径は欠陥寸法に比べて十分に大きいので、欠陥近傍では入射波は平面波とみなすことができ、また、探触子と欠陥の距離 $r=8\text{cm}$ 、入射波の周波数 $f=2\times 10^6\text{Hz}$ 、固体内の横波速度 $c_T=3100\text{m/s}$ とすると、 $k_T r \simeq \frac{2\pi f}{c_T} r = 32$ となり、実験での受信波は遠方での散乱波とみなしても差し支えない。

4. 実験及び数値シミュレーションの結果

以下に、シミュレーション及び、実験による周波数スペクトルを示す。縦軸には振幅 Ω_F 、横軸には無次元化波数 ak_T (a :欠陥の半径)をとってプロットしたものである。シミュレーションと実験の山と谷の出現するパターンは同じである。ただし、本実験では、2 MHzの探触子を用いて、入射波は $ak_T=6.1$ を中心とした1.2~9.7の周波数成分を持っているので、実験結果において無次元化波数 ak_T が1.2より小さいところの値は信頼性が無い。今後の課題としては、複数の人工欠陥をもつ供試体でシミュレーション、入射波を球面波としたシミュレーション、並びに得られた実験データから欠陥の位置や形を再現する逆解析など行う予定である。

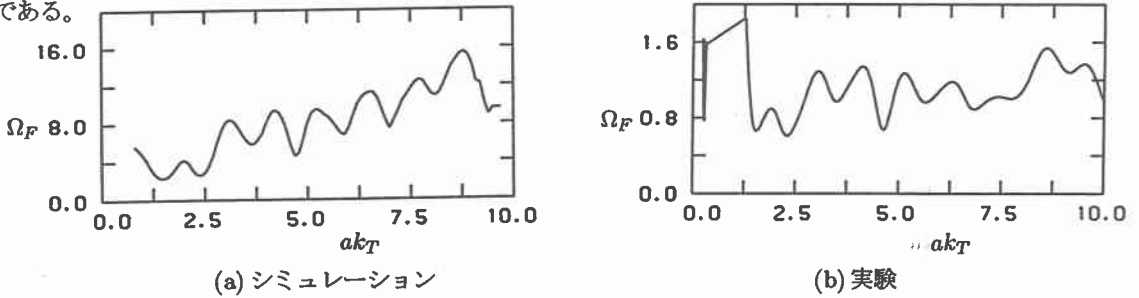


図3 供試体a周波数スペクトル

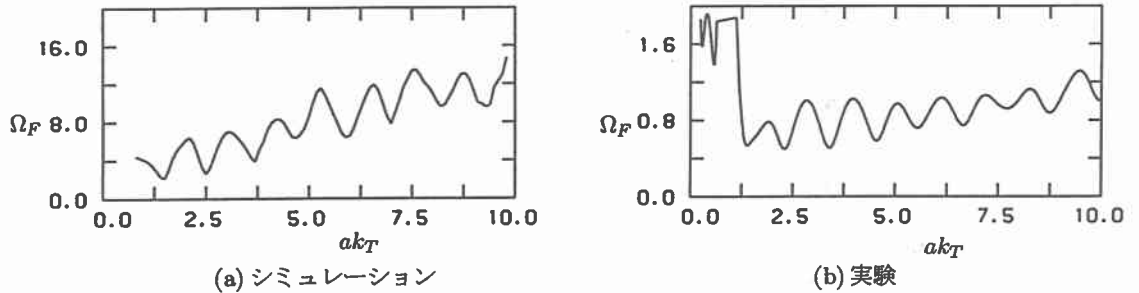


図4 供試体b周波数スペクトル

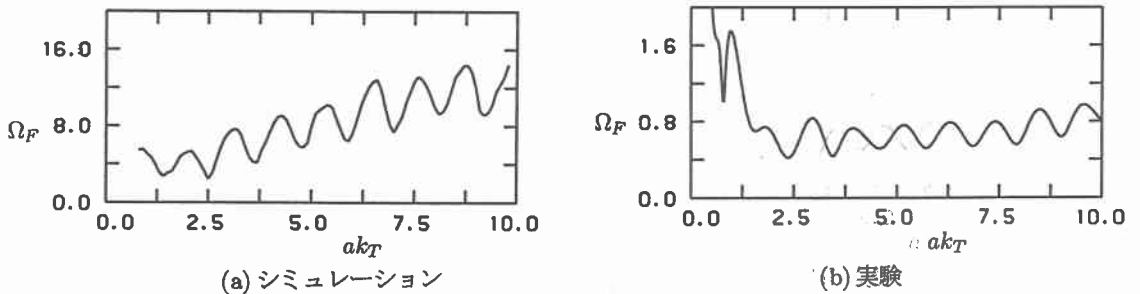


図5 供試体c周波数スペクトル