

## I - A235

## 水浸超音波法のシミュレーション

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

超音波法においてはしばしば、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用いられる。水浸超音波法の定量化を進めるためには、その数値シミュレーションを行なう必要がある。本研究では、液体－固体の2相媒体における散乱問題をBEMにより解析し、その遠方散乱場を超音波実験で得られたデータと比較した。

## 2. 超音波実験

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、10mm、5mm、2mm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 $\Omega_F$ 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。

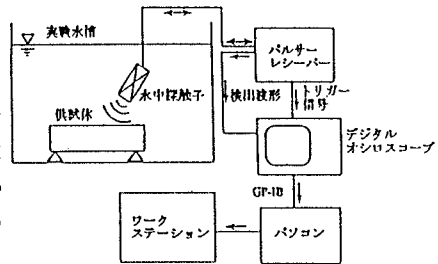


図1 実験装置

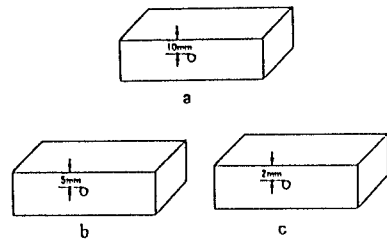


図2 実験供試体

## 3. 数値シミュレーション

解析方法は境界要素法を用いた。図3に示すような液体－固体の2相媒体における2次元散乱問題を考える。固体 $D_S$ は均質等方な線形弾性体であるとし、液体 $D_F$ は圧縮流体であるとする。境界 $B$ を持つ欠陥 $D'$ は液体－固体界面 $S$ 近傍の固体 $D_S$ 内にあるとする。入射波は $\exp(-i\omega t)$ なる時間調和な平面圧力波 $p^{in}$ で、液体 $D_F$ 側より角度 $\theta$ 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。

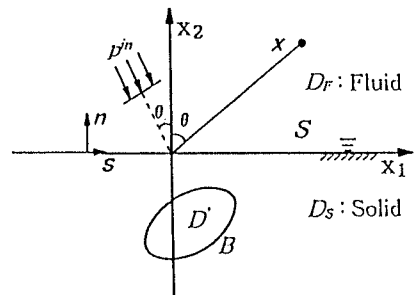


図3 解析モデル

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

水浸超音波法、線形システム論、境界要素解析、遠方散乱場

† 〒700 岡山市津島中2-1-1 TEL086-251-8168 FAX086-253-2993

‡ 同上

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。

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

$\text{Tr}(\partial_y)$ は表面力作用素であり、 $G^\alpha$ は偏角 $\theta$ での遠方場におけるGreen関数の $\alpha$ 波の放射パターンを表わす。数値計算においては境界 $S$ 及び、 $B$ を一定要素に分割し、境界 $S$ は $-3d < x_1 < 3d$ ( $d$ :供試体上面から欠陥までの距離)の有限長さで打ち切った。

#### 4. 実験及び数値シミュレーションの結果

図4、5は供試体(a)、(b)を用いた実験において得られた波形とその周波数スペクトルを図示したものである。また、図6に数値シミュレーションによる周波数スペクトルを示す。図5、6において、横軸は空洞の半径 $a$ で無次元化した横波数 $ak_T$ である。本実験では、2 MHzの探触子を用いていて、入射波は $ak_T=6.1$ を中心として1.2~9.7の周波数成分しか持っていないので、無次元化波数 $ak_T$ が1.2より小さいところでは、実験と数値解析結果が一致していない。低周波域を除いた部分では、実験と数値結果のスペクトルの形状はよく一致している。いずれのスペクトルにおいても周期的な変動が見られるが、これは図4の波形に見られる大小2つの波の干渉によるものである。ただし、これらの2つの波がどのように発生したか、そのメカニズムは現在検討中である。今後、複数の人工欠陥をもつ供試体でシミュレーションや、入射波を球面波としたシミュレーションを行い、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を予定している。

