

接触型圧電センサーを用いた欠陥形状の再構成

東北大学大学院 学生員 大西正浩
東北大学大学院 正員 山田真幸
東北大学大学院 正員 北原道弘

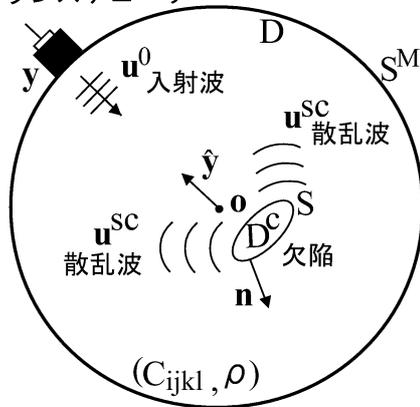
1 はじめに

材料内部に存在する欠陥の形状を再構成する手法の一つとして線形化逆散乱解析法が挙げられる．逆散乱法の超音波計測への適用性について検討するために，水浸法¹⁾が利用されており，欠陥形状を再構成できることが分かっている．ここでは，より現実に近づけるため，接触法により欠陥形状の再構成を試みた結果について報告する．

2 線形化逆散乱解析法

図{1}に示すように均質等方な2次元無限弾性体D内に空洞状の欠陥D^cが存在している場合を考える．境界S^M上に設置されたトランスデューサーによって入射波u⁰を送信し，空洞欠陥D^cによって散乱された散乱波u^{sc}を同じ位置のトランスデューサーで受信するパルスエコー法を採用し，この散乱波から空洞欠陥の形状を推定する．

圧電型トランスデューサー



図{1} 超音波の送受信

2.1 ボルン逆散乱法

入射波は，近似的に平面縦波であると仮定する．ボルン近似を適用すると，計測点yにおける縦波散乱振幅A_mは次式のようになる．

$$A_m(k_L; \hat{y}) = i \frac{u^0 \hat{y}_m k_L^2}{2} \int_D i(x) e^{i 2k_L \hat{y} \cdot x} dV \quad (1)$$

ここで，u⁰は入射波の振幅であり，i(x)は欠陥領域内でのみ値を持つ関数である．上式右辺の積分にお

いてK = 2k_Lŷとすれば，特性関数i(x)のK-空間におけるフーリエ変換であることがわかるので，これを逆フーリエ変換することにより特性関数i(x)は次のように表すことができる．

$$i(x) = i \int_{\mathbb{R}^2} \frac{1}{4^2} \int_0^{2\pi} \frac{1}{u^0 k_L^2} \hat{y}_m A_m(k_L; \hat{y}) e^{i 2k_L \hat{y} \cdot x} k_L dk_L d\hat{y} \quad (2)$$

2.2 キルヒホフ逆散乱法

キルヒホフ近似を適用すると，計測点yにおける縦波散乱振幅A_mは次式のようになる．

$$A_m(k_L; \hat{y}) = i \frac{u^0 \hat{y}_m k_L}{2} \int_D {}^\circ_H(x) e^{i 2k_L \hat{y} \cdot x} dV \quad (3)$$

ここで，^oH(x)は入射波が直接到達する境界部分のみで値をとる関数である．特異関数^oH(x)も同様にK-空間の逆フーリエ変換により次のように表すことができる．

$${}^\circ_H(x) = i \int_{\mathbb{R}^2} \frac{1}{4^2} \int_0^{2\pi} \frac{1}{u^0 k_L} \hat{y}_m A_m(k_L; \hat{y}) e^{i 2k_L \hat{y} \cdot x} k_L dk_L d\hat{y} \quad (4)$$

式(2)と式(4)に計測波形から求めた縦波散乱振幅ŷ_mA_m(k_L; ŷ)を用いることによって，欠陥形状を表す関数i(x)と^oH(x)を求める．

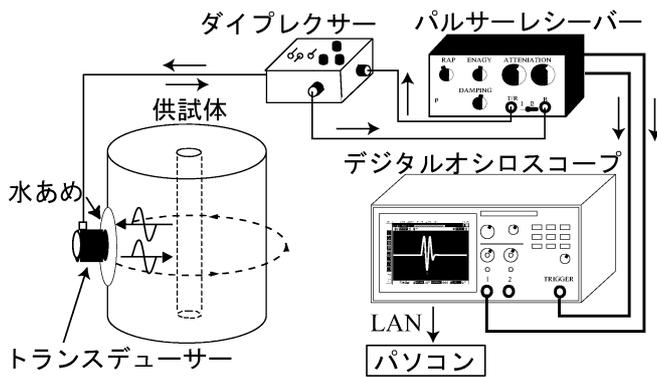
3 超音波計測実験

3.1 計測装置，方法

図{2}に示すような計測装置を用いて超音波パルスエコー実験を行った．パルサーレーザーから発せられたパルス状の電気信号は探触子を駆動して，超音波を発振する．この超音波は固体内を伝播し，内部欠陥によって散乱される．この散乱波は再び同じ探触子で受振され，電気信号に変換される．その後，ダイプレクサーによって分波された信号はパルサーレーザーによって増幅されて，デジタルオシロスコープで時間域波形として記録される．さらに，LANを介して波形データをパソコンへ転送し波形処理を行う．

キーワード：接触法，形状再構成，ボルン近似，キルヒホフ近似

〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06, TEL 022-217-7126, FAX 022-217-7127 URL: <http://www.nde.civil.tohoku.ac.jp/>

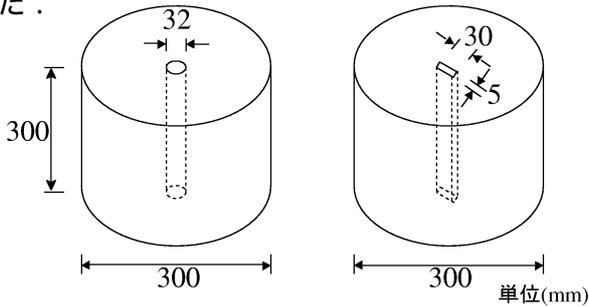


図{ 2 計測装置

計測において、トランスデューサーと供試体との接触媒質として水あめを用い、10[±] 間隔で一定面内を一回転させて受信波形を記録した。接触媒質に水あめを用いることによって、接触圧を一定に近づけること、センサーをある程度固定すること、供試体とセンサー間に生じる隙間を埋めることができ、水浸法に近い条件下で計測を行うことができた。

3.2 供試体

供試体は図{3}に示すように円柱セメントペーストの中心に、円形、ノッチ型の空洞をあけたものを用いた。



図{ 3 供試体

3.3 波形データ処理

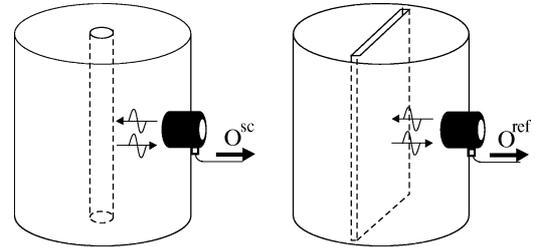
受信波から式(2)あるいは式(4)を用いて欠陥形状を再構成するためには、入出力、接触媒質、探触子の影響を取り除き、固体内における散乱波のみを取り出さなければならない。計測系の線形性を仮定すると、図{4}の左図に示した受信散乱波形 O^{SC} は周波数域において次のように表現できる。

$$O^{SC}(f) = I(f)T(f)C_1(f)E^{SC}(f)C_2(f)R(f) \quad (5)$$

ここで、 I は入力電圧、 T は(送信)探触子、 C_1 と C_2 は接触媒質、 E^{SC} は固体内の空洞からの散乱、 R は(受信)探触子の周波数域における伝達特性を表している。いま、図{4}の右図に示したように同じ材質、外半径の円柱供試体を用いて、参照波形 O^{ref} を計測する。この供試体には、中心に平面境界をもつ空洞を開けてある。参照波形 $O^{ref}(f)$ は周波数域において以下のように表現できる。

$$O^{ref}(f) = I(f)T(f)C_1(f)E^{ref}C_2(f)R(f) \quad (6)$$

ここで E^{ref} は固体内の平面境界を持つ空洞に平面弾性波が入射した場合の反射係数に相当し、周波数に無関係な定数として決めることができる。



図{ 4 散乱波形 $O^{SC}(f)$ と参照波形 $O^{ref}(f)$

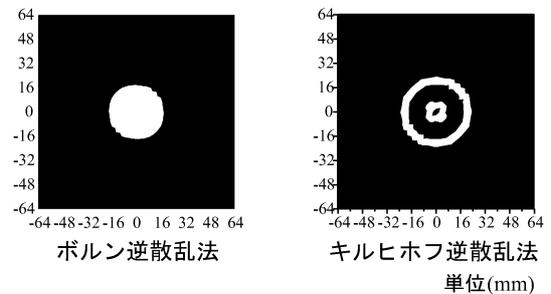
式(5)を式(6)で除すと、次のようになる。

$$E^{SC}(f) = E^{ref} \frac{O^{SC}(f)}{O^{ref}(f)} \quad (7)$$

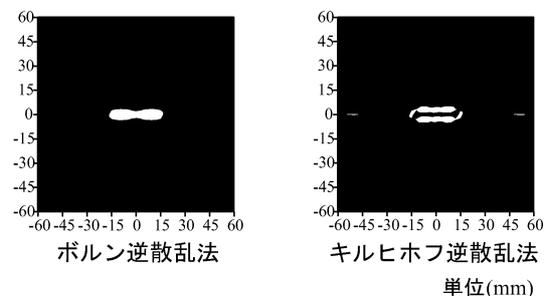
$E^{SC}(f)$ は弾性体中の空洞に縦波が入射されたときの散乱振幅に相当し、形状再構成式(2)または式(4)中の $\hat{y}_m A_m(k_L; \hat{y})$ として用いることができる。

4 再構成結果

計測波形を用いた再構成結果をを以下に示す。図{5}に円形欠陥、図{6}にノッチ型欠陥の再構成結果を示した。左図がボルン逆散乱結果、右図がキルヒホフ逆散乱結果である。どちらの欠陥についても、形状が再構成できていることがわかる。



図{ 5 円形空洞の再構成結果



図{ 6 ノッチ型空洞の再構成結果

参考文献

[1] 中畑和之, 北原道弘, 計測波形による欠陥形状の再生と使用周波数帯域に関する考察, 応用力学論文集, Vol.3, pp.91-98, 2000年8月