クラックによる散乱減衰量の計測と解析

東北大学　学生員　高橋拓馬
東北大学　学生員　岸部大蔵
東北大学　正　員　北原道弘

1. はじめに

不均質体中の波動場の特徴である散乱減衰が周波数に依存することから[1),2)]，分布欠陥による散乱減衰を計測するために超音波計測実験を行った．実際に，欠陥を含む供試体を作成し，計測結果と数値解析結果とを比較することで計測精度の確認と散乱減衰の周波数特性について調べた．

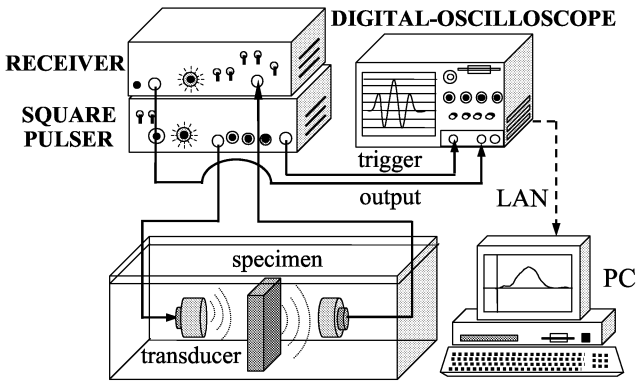
2. 散乱減衰

本研究において次の三つのことを前提とする．１．弾性母材内に円形で大きさの等しいクラックがランダムに分布．２．クラック面の法線方向は同一方向（x_3軸方向）．３．各クラック間の距離は多重散乱の影響が無視できる程度に離れている．これらが成り立つ場合，散乱減衰係数$\alpha(\omega)$は次のように書くことができる．

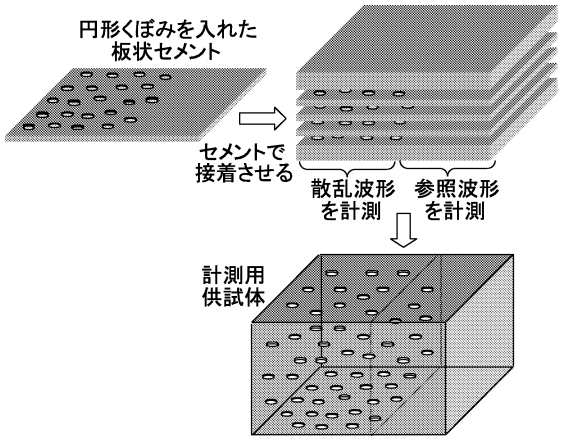
$$\alpha(\omega) = \frac{1}{2} N P(\omega) \tag{1}$$

ここで，Nは単位体積中の円形クラックの平均個数, $P(\omega)$は一個の円形クラックによる散乱断面積である．式(１)より散乱断面積$P(\omega)$を解析により求め，平均個数Nを与えることにより散乱減衰係数$\alpha(\omega)$を決めることができる．逆に, 散乱減衰係数$\alpha(\omega)$を計測等により決定できれば, 平均個数Nを推定できる可能性がある．

3. 散乱減衰計測



図–1 計測装置



図–2 供試体の作成過程

(1) 散乱減衰係数の導出

本研究では，図－１に示すような装置構成のもとで水浸法により計測を行った．受信波形は様々な未知特性を含むが，ここではクラックによる散乱減衰のみを取り出したい．そのために探触子や水中などの伝播経路の影響を取り除く必要がある．そこで図－２に示したように同供試体の板状のセメント表面に円形のくぼみを与えない部分を作り，この部分での透過波を$\boldsymbol{u}_0$，くぼみを含む部分での透過波を$\boldsymbol{u}_1$とすると母材の波動場は次のように表される．

$$\boldsymbol{u}_0(\boldsymbol{x}) = \bar{\boldsymbol{u}}(x_1, x_2) e^{-\alpha_0(\omega) x_3} e^{i[(\omega / c_{L0}(\omega)) x_3 - \omega t]} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{u}_1(\boldsymbol{x}) = \bar{\boldsymbol{u}}(x_1, x_2) e^{-\alpha_1(\omega) x_3} e^{i[(\omega / c_{L1}(\omega)) x_3 - \omega t]} \tag{3}$$

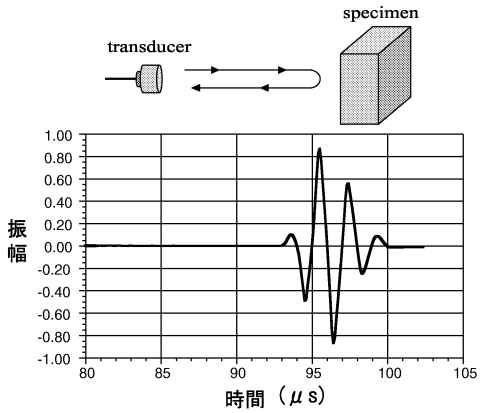
Key Words: 散乱減衰，超音波計測，周波数特性
〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06　TEL 022-217-7126 FAX 022-217-7127

式(２),(３)の絶対値の比を取り，伝播距離x_3に供試体の厚さdを用い，さらに円形クラックの半径aで無次元化すると式(４)のようになる．ここで$\alpha_1(\omega)$にはクラックによる散乱減衰のほかに探触子によるものや水中のもの等が含まれるが，$\alpha_0(\omega)$にはクラックによる散乱減衰は含まれないもののそれ以外は$\alpha_1(\omega)$と同様なので，これらの差をとることにより伝播経路の影響を除いた円形クラックのみによる散乱減衰係数が求められる．

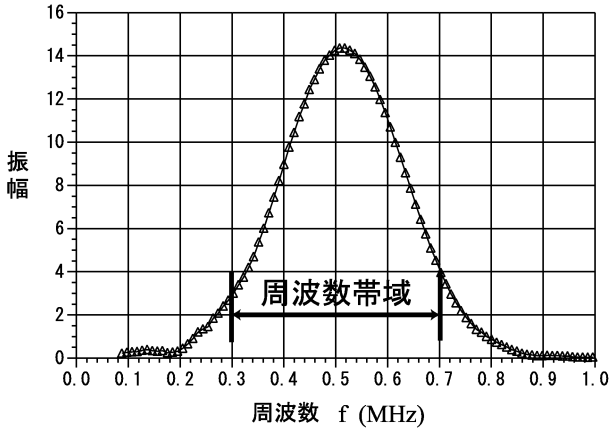
$$\alpha(\omega)a \equiv \{\alpha_1(\omega) - \alpha_0(\omega)\}a = \frac{a}{d} ln \frac{|\boldsymbol{u}_0(\omega)|}{|\boldsymbol{u}_1(\omega)|} \tag{4}$$

(2)　トランスデューサーの周波数特性

計測に用いた公称中心周波数0.5MHzの探触子を用いて計測した時のデジタルオシロスコープにより表示された時間域での波形を図－３に，その波形データをパソコンでフーリエ変換した後の周波数域の波形を図－４に示す．この周波数特性は一つの探触子を用いて供試体表面からの反射波を計測したものである．



図–3　時間域波形

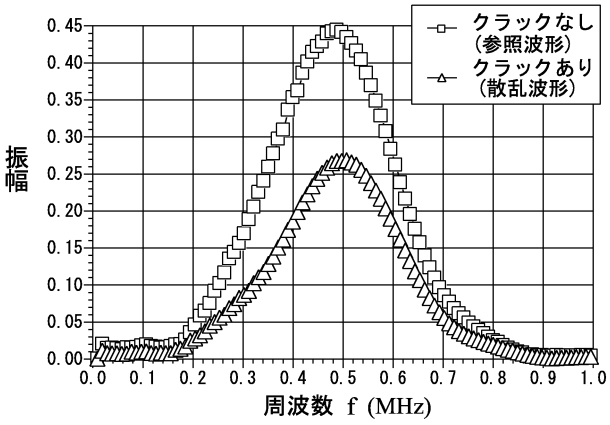


図–4　周波数域波形

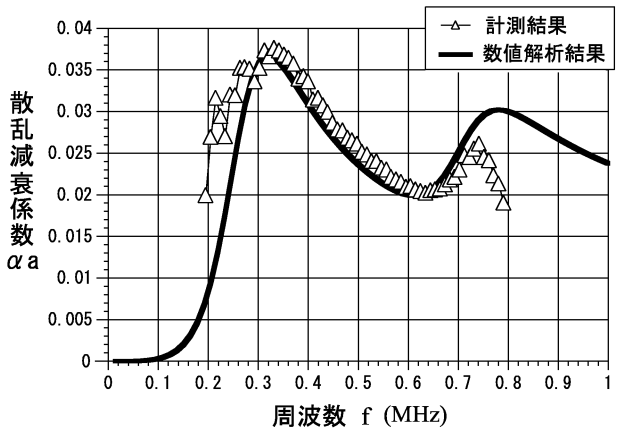
(3)　数値解析結果と計測結果との比較

計測された周波数域の参照波形と散乱波形を図－５に示す．次に式(４)により得られた計測結果及び式(１)により得られる数値解析結果を図－６に示す．本供試体において，クラック半径 a で無次元化した単位体積中のクラックの平均個数は，$\epsilon \equiv Na^3 = 0.0078$である．

数値解析結果と計測結果を比較すると，水浸探触子の周波数帯域内では絶対値も含めて周波数依存性の傾向がよく一致していることがわかる．



図–5　透過振幅の計測結果



図–6　散乱減衰係数

参考文献

1) Beltzer, A.I.: The effective dynamic response of random composites and polycrystals - a survey of the causal approach, Wave Motion, Vol.11, pp.211-229, 1989
2) 岸部大蔵，北原道弘：分布クラックによる波動場の散乱減衰特性，土木学会第54回年講概要集，pp98-99，1999