

CS 49 動弾性問題における材料の内部構造が遠方散乱場に及ぼす効果について

福井大学大学院 学生員 ○奥井裕三

福井大学工学部 正 員 福井卓雄

1. はじめに

近年, 材料あるいは構造物を壊すことなく, 内部や表面に存在する微小欠陥を定量的に評価すること, すなわち非破壊評価が重要になってきている. 特に, 土木工学の分野で扱われる主要な材料, すなわち, コンクリートや岩石など, 欠陥や微小な空隙を多く含むような内部構造を持った材料を対象とする場合, 欠陥だけでなく, その不均一性を評価してやることや, その不均一性が材料のマクロな性質にどのように影響するかを知ることが要求される. 非破壊評価には, しばしば超音波法や, AE法など波動理論に則った方法が用いられる.⁽¹⁾ 超音波を個体中に送信したとき, 個体中および表面で超音波は弾性波として伝播する. この弾性波が欠陥との相互作用を経て再び受信され, この受信波形が欠陥の諸条件を反映していることから, 受信波形を吟味することにより欠陥特性を推定しようとするのが, 超音波法である. ここで重要な段階は, 弾性波と欠陥の相互作用の解明である. そこで, 本研究では欠陥によって散乱した弾性波が材料内部の不均一さによってどんな影響を受けるかを明らかにすることを目的とする.

弾性波の散乱問題について考察する. まず, あらかじめ欠陥と不均一さを仮定しておいて, その場合の遠方散乱場が均一な場合とどのように違うのか, また, 不均一さの度合いによってどう変化するかを比較する. モデルとして材料の微小構造の代表長や不均一さの度合いに相当するパラメータが内部構造として含まれるマイクロポーラー弾性体⁽²⁾を取り上げる. マイクロポーラー弾性体中を伝播する平面波には, 古典弾性論でよく知られている縦波と横波に加えて分散性のある微視回転波(マイクロローテーション波)が存在する. この波はカットオフ周波数を持っていて, それをこえる前後では波として異なる性質を持つ. また, これは, 横波と練成していて, どちらかが単独で存在することはない. その練成の強さは, 材料の微視構造の大きさ(代表長)が異なるとそれにもなって変化する. したがって代表長が弾性波の伝播の仕方に影響すると考えられる. 解析には, 線形マイクロポーラー弾性体を2次元動弾性問題(平面ひずみ問題)として境界要素法を用いる.

欠陥(空洞)と微小構造の代表長を任意に仮定して, 空洞による散乱問題を考えた. そして, その散乱波が遠方でどのようなか材料の微視的構造の代表長を変えて比較した. 遠方散乱場を取り扱ったのは, 内部に欠陥が存在したとき, 現実的に実験などで得られる量は, その欠陥に比べ十分遠方で量であると仮定できるからである.

2. 遠方散乱場の比較

半径 a の円形空洞に縦波または, せん断波が入射したときの遠方散乱場を材料の代表長を l として, a/l を 5, 2, 1 と変化させて解析した. 解析の詳細は, 参考文献(3)(4)を参照されたい. ここでは解析の結果について考察する. 図1a, 図2a は縦波波数 $k_1 a = 0.1826$ の弾性波が, 図1b, 図2b は $k_1 a = 1.278$ の弾性波が入射したときの遠方散乱場を示す. 比較のために, 古典弾性論での解も示してある. 横波波数 $k_3 a$ は, $k_1 a = 0.1826$ のとき, a/l が 5, 2, 1 でそれぞれ, 0.3162, 0.3159, 0.3151 で横回転波の波数 $k_3 a$ は, それぞれ, 4.995i, 1.989i, 0.9769i である. また, $k_1 a = 1.278$ のとき, $k_4 a$ はそれぞれ, 2.199, 2.149, 2.079 で $k_3 a$ は, それぞれ, 4.768i, 1.231i, 1.335 である. 遠方散乱場は $r/a = 1000$ のところの変位を局座標 (r, θ) に変換しその複素絶対値 $|u_r|$, $|u_\theta|$ で評価した. 図1 は縦波が入射したとき, 図2 はせん断波が入射したときを示してある. a/l が大きいと古典弾性論の解に近づくが, a/l が小さくなるにつれ, つまり, 空洞に対して材料の微小構造の代表長が大きくなるにつれ, マイクロポーラー性が強くなり, 古典弾性論の解に比べ変位が全体に小さくなっている. 入射波の波数が小さいとき, すなわち, 波長が大きいときは, マイクロポーラー弾性体の静弾性力学的な性質と同様な減衰を示していると思われる. さらに, 波数が大きくなってもその性質を持ったまま, あらたに動弾性特有の性質が現れてくる. それはカットオフ周波数の前後の変化である. 図1, 図2 両方とも, θ 方向の変位が a/l の減少により顕著な変化がみられる. しかし, カットオフ周波数をこえたとき, つまり, $k_3 a > 0$ のときは, 図1b の実線1 に示されているようにカットオフ周波数をこえないときは変位の減衰の仕方が違う. これは, カットオフ周波数をこえるまでは伝播しない極在波(localized standing wave)だった微視回転波がカットオフ周波数をこえると伝播しだしたことによる影響であろう. 図2b において, a/l が 5, 2 のときはカッ

トオフ周波数を越えていないので、散乱パターンに同じような傾向があるが、 $a/l=1$ のときは、空洞の後ろの方のパターンに違いがみられる。

以上より、微小構造の代表長の大きさが遠方散乱場に及ぼす影響は変位を減少させるといった性質を持っている。散乱波の持つエネルギーは計算していないのははっきりしたことは言いえないが、カットオフ周波数より小さい周波数では変位が卓越して微視回転がほとんど起きなかったのがカットオフ周波数をこえたと散乱エネルギーが微視回転にも分担され変位だけをみると小さくなったようにみえるのかもしれない。また、そのときの散乱パターンはカットオフ周波数をこえないときと比べるとパターンのずれがはっきり確認できる。

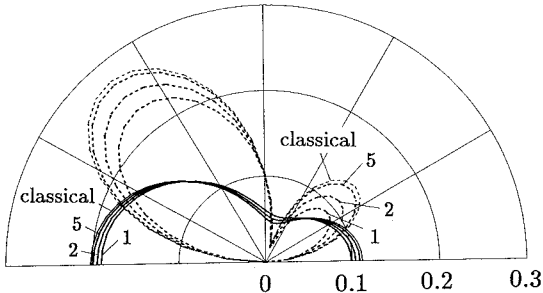


図1a 遠方散乱場 $k_1a=0.1826$, P波入射

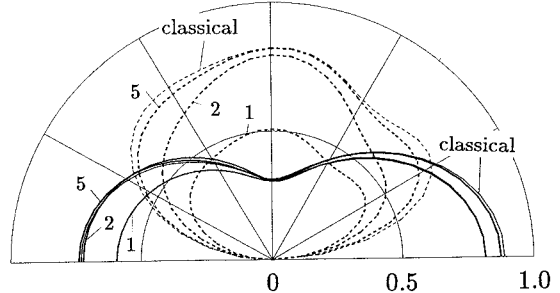


図1b 遠方散乱場 $k_1a=1.278$, P波入射

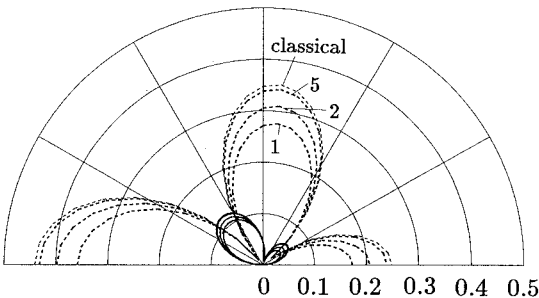


図2a 遠方散乱場 $k_1a=0.1826$, SV波入射

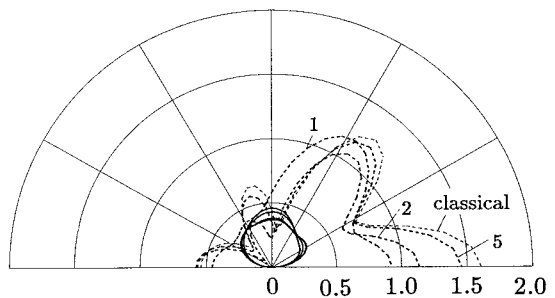


図2b 遠方散乱場 $k_1a=1.278$, SV波入射

3. おわりに

マイクロポーラー弾性体の2次元散乱問題(平面ひずみ問題)を境界要素法により解析した。微小構造の代表長の大きさをえて遠方散乱場がどのように変化するかを比較検討した。材料の代表長の違いによる遠方散乱場の散乱パターンの変化がカットオフ周波数をこえた周波数で現れるといった性質がわかった。しかし、今の段階での評価の仕方では、散乱場の変位の方向性やその大きさでの変化といったものしか読み取れない。今後の課題としては、遠方での散乱エネルギーを評価するために散乱断面積などで比較することが必要である。

参考文献

- (1) 構造工学委員会非破壊評価小委員会, 土木構造・材料の定量的非破壊評価へのアプローチ, 土木学会論文集, No.428/I-15, 1991.4
- (2) Eringen, A.C., Theory of Micropolar Elasticity, in *Fracture*, ed. H.Liebowitz, Vol.2, ch.7, Academic Press, (1968)
- (3) 福井卓雄, 奥井裕三, マイクロポーラー弾性体の2次元動弾性問題の境界要素法による解析, 境界要素法論文集第9巻, 35-40 (1992)
- (4) Fukui, T. and Okui, Y., Boundary element analysis of scattering problem in two dimensional micropolar elasticity, Proceedings of the 5th Japan-China Symposium on Boundary Element Methods, (1993) ed. M. Tanaka, Q. Du and T. Honma, Elsevier.