

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760621

研究課題名(和文) 粉体層の音響特性を用いた粉体混合状態の評価

研究課題名(英文) Evaluation of particle mixture-state using sonic properties

研究代表者

吉田 幹生 (Yoshida, Mikio)

岡山大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：60444650

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、粉体の混合状態が透過超音波の特性に及ぼす影響を検討しやすくするため、粉体複合材料の各部分をモデル化した「モデル試料」を用いて、体積割合、界面数、配列状態を変化させて検討を行った。その結果、モデル試料に対する透過波は異種界面において透過と回折によって減衰することが明らかとなり、実際の複合材料に対しては回折の減衰が支配的であることが示唆された。よって、この減衰量に着目することで、複合材料に対しても3次元の評価が可能であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In order to clearly understand effects of particle mixture-state on transmitting properties of ultrasonic wave for composite materials, we used "model samples" which simplify various parts of the composite materials and could vary freely some parameters, such as volume ratio, the number of interface, array order. As a result, the transmitting wave of the sample attenuated by both transmission and diffraction at the interfaces. Furthermore, the result implied that diffraction attenuation would be dominant than that of transmission when we measured it for an actual composite materials. Hence, it might be possible to evaluate 3 dimensional mixture-state of the composite material using the diffraction attenuation.

研究分野：粉体工学，化学工学

キーワード：混合状態評価 超音波透過特性 3次元混合情報 複合材料

1. 研究開始当初の背景

一般に物質は気体、液体、固体の3態を有するが、常温常圧下では無機物質の約75%、有機物質の約60%が固体である。製品が作られる工業プロセスでは化学物質の反応、混合、輸送を連続的に行うことが不可欠であるが、通常、固体は流動性を有しない。しかし、仮に固体を粒子状にした「粉体」状態にすると、流動性が発現するためほとんどの工業プロセスで用いられている。その中でも、特に粉体の混合プロセスは極めて重要である。これは、製品には単一材料で構成されているものは非常に少なく、多成分系の複合材料がほとんどのためである。特に、複合材料の分野では粉体粒子径の微小化に伴い、成分の界面量が飛躍的に増加するため、弾性率、熱変形温度等の諸物性が大幅に向上する例が報告されている。しかし、混合状態が悪いとその界面量の増加が抑えられるため、それらの特性が十分に発揮されない。したがって、粉体を均質に混合することが必要であるが、粉体は液体とは異なり、非常に「混ざりにくい」性質を有している。よって、その混合状態を正確かつ3次的に評価する方法の確立が必要である。

2. 研究の目的

これまでの混合状態評価法には画像解析法や電気抵抗値測定法がある。しかし、これらは3次元評価が困難であることや、異種界面での電流の直線進行性の低さから混合状態の解析が困難な場合がある。そこで、我々は透過超音波の利用に着目した。なぜなら、超音波は非破壊で利用できるため3次元評価が可能だけでなく、異種界面での直線進行性が高いためである。また、超音波は異種界面で減衰しやすいことが知られているため、異種界面が多い、すなわち、混合状態が良いほど透過超音波の減衰量が大きくなると予想される。これまで超音波は反射波を用いた胎児の診断、材料内部の探傷等の評価法が既に確立されているが、透過波を利用して混合状態等を評価した例はほとんどない。そこで、本研究では、混合状態が透過超音波の特性に及ぼす影響を検討しやすくするため、複合材料の各部分をモデル化した「モデル試料」を用いて、体積割合、界面数、配列状態を変化させて検討を行った。

3. 研究の方法

図1に示すように、複合材料の各部分をモデル化した3つのモデル試料を様々な形状のブロックを組み上げることで作製した。実際に用いた各モデル試料の詳細は後ほど示す。組上げ後のモデル試料のサイズは、100×100×100mmであり、材質にはPVC(ポリ塩化ビニル)とSUS304(ステンレス)の2種を用いた。

図2に実験方法の概略図を示す。上記で述べたモデル試料に直径13mmの超音波発信子

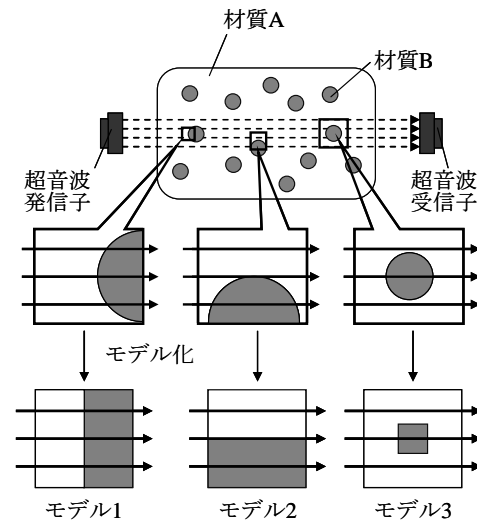


図1 複合材料における超音波伝達ルート
のモデル化概略図

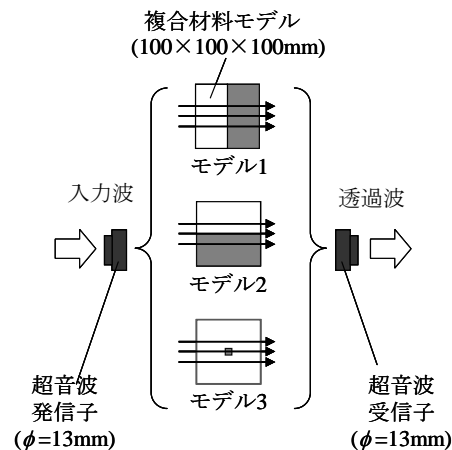


図2 実験方法概略図
(複合材料モデル: 白色=PVC, 灰色=SUS304)

および受信子を取り付けた。入力波には、パルス波(周波数:1MHz, 振幅 5.4V)を用い、モデル試料を透過した出力波を記録した。出力波のファーストシグナルよりモデル試料の透過時間と、超音波透過量の指標となる振幅値を算出した。なお、各測定は3回ずつ行った。

各モデル試料と実験条件の詳細を下記に示す。

(1)モデル1:

20×20×100mmの3個のPVCと2個のSUS304を音波進行方向に対して、異種界面が垂直かつ界面数が1-4になるように配列した。例えば、異種界面数が3の場合は、入出力側の方向も考慮すると4種類の組み合わせがあるが、そのすべての組み合わせで検討を行った。

(2)モデル2:

50×100×100mmのPVCとSUS304でモデル試料を組み上げ、異種界面が音波方向に対して平行になるように配列した。このとき、超音波発信子と受信子の設置位置を変化させるこ

とによって、入出力波の位置を PVC のみの領域、PVC と SUS304 の中間領域、SUS304 のみの領域の 3 条件で検討を行った。

(3)モデル 3:

モデル 1 とモデル 2 の複合の効果を検討するため、100×100×100mm の PVC 内に 3.54×3.54×100mm の SUS304 角柱を 1-4 本、超音波入力位置から音波進行方向に対して 20mm 間隔で埋め込んだ試料に対して角柱本数の影響を検討した。

4. 研究成果

(1) モデル 1 (音波進行方向に対して異種界面が垂直の場合)

図 3 にモデル 1 の試料を用いた場合の異種界面数に対する透過振幅値と透過時間を示す。まず、透過振幅値においては、界面数の増加に伴い、振幅値が減少することがわかる。これは、音波は音速差が大きい界面を透過する際に減衰しやすいという特徴を有することから、PVC と SUS304 の場合(音速差≒3400m/s)でも音波減衰が生じたためだと考えられる。一方、透過時間は界面数によらずほぼ一定であることがわかる。これは、モデル試料の材質とその割合によって透過時間が決まっており、界面の種類(同種あるいは異種)は透過時間に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

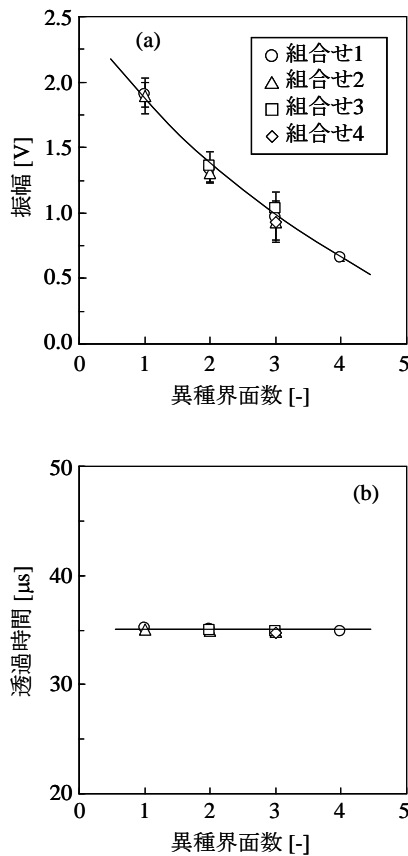


図3 異種界面数に対する透過波の振幅と透過時間(試料:モデル1)
((a):振幅,(b):透過時間)

(2)モデル 2(音波進行方向に対して異種界面が並行の場合)

図 4 にモデル 2 の試料を用いた場合の透過波のシグナルを示す。(a)-(c)は入出力波の位置であり、(a)は PVC のみの領域、(b)は PVC と SUS04 の中間領域、(c)は SUS304 のみの領域を示す。透過波のファーストシグナルの発生時間は、(a)、(b)、(c)それぞれ、45.4、18.2、18.7μs であり、中間領域と SUS304 のみの領域の透過時間の違いはほぼ無いことが明らかとなった。また、(b)においては、(a)のファーストシグナル発生時間で振幅がやや大きくなっていることが確認できる。したがって、中間領域では、SUS304 側と PVC 側を透過した音波が重なり、その合成波が観測されたと考えられる。

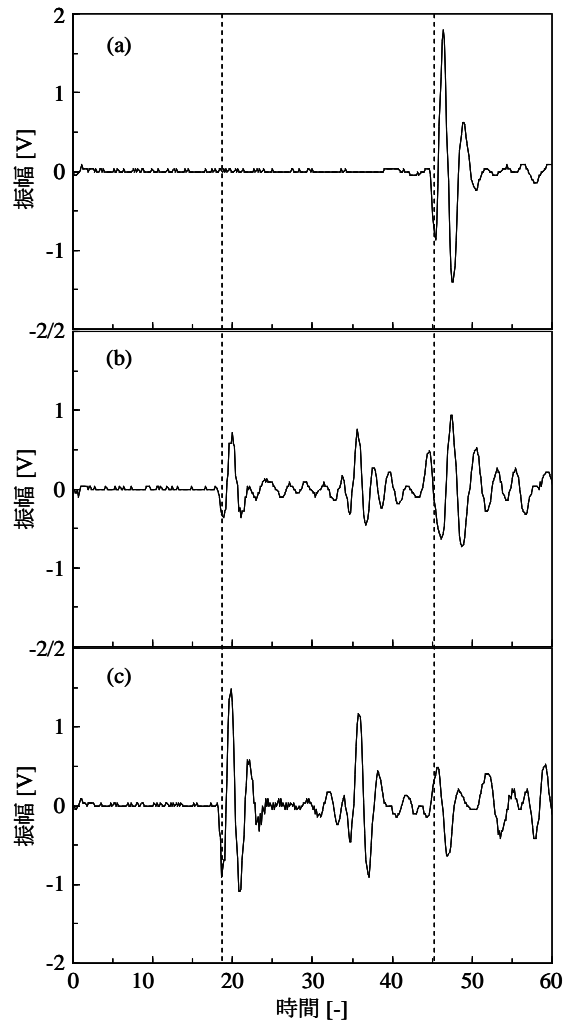


図4 様々な入出力領域での透過波形(試料:モデル2)
((a):PVCのみの領域,(b):中間領域,
(c):SUS304のみの領域)

(3)モデル 3(モデル 1 とモデル 2 が複合した場合)

図 5 にモデル 3 の試料を用いた場合の角柱本数に対する透過振幅値と透過時間を示す。まず、透過振幅値においては、角柱本数の増加に伴い、振幅値が減少することがわかる。一方、透過時間に関しては、モデル 2 の実験から角柱 1 本あたり約 1μs 低下すると予想さ

れたが、予想に反して、角柱本数によらずほぼ一定の値を示した。これは、角柱の部分を超音波が透過しておらず、その周辺の PVC のみを透過した超音波がファーストシグナルとして観測されているためだと考えられる。しかし、角柱本数の増加に伴い、振幅値は減少していることからモデル1の異種材料間の透過による減衰とは異なる機構の超音波減衰が生じていると考えられる。

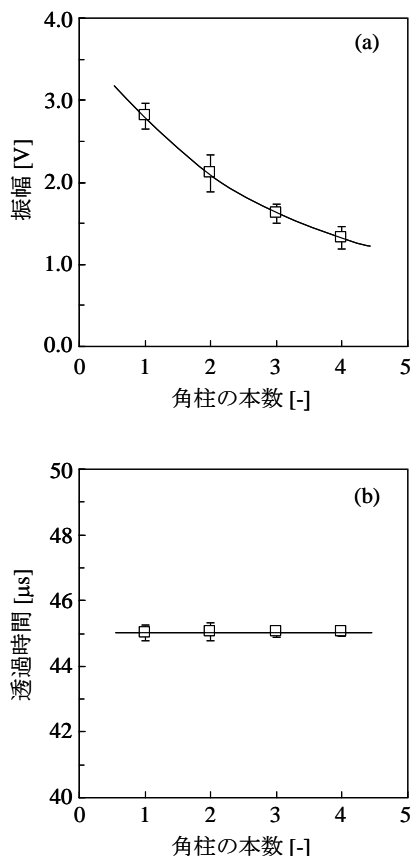


図5 角柱の本数に対する透過波の振幅と透過時間(試料:モデル3)
(a):振幅, (b):透過時間

これを説明できる現象として、図6に示すような音波の回折に伴うエネルギー分散が考えられる。発信子の直径が角柱の一辺よりも大きいため、角柱の両側を透過してきた音波 a は、角柱の背後に回折によって回りこむ音波 b とそのまま直進する音波 c に分けられると考えられる。よって、透過波のファーストシグナルとして観測される音波 c は音波 b の分だけ振幅が減少したと考えられる。また、角柱の増加に伴い、振幅値が減少したのは(図中:音波 c>音波 b)、各角柱で回折が生じたためだと考えられる。一方、回折では最短の透過時間が変化しないため、角柱の本数によらず透過時間はほぼ一定であったと考えられる。また、本モデル試料において異種界面で透過より回折が優先的に生じたのは、回折の方がエネルギーロスが小さいためだと考えられる。よって、実際の複合材料に対しても、回折による超音波の減衰量に着目するこ

とで、3次元の混合状態評価が可能であると示唆される。

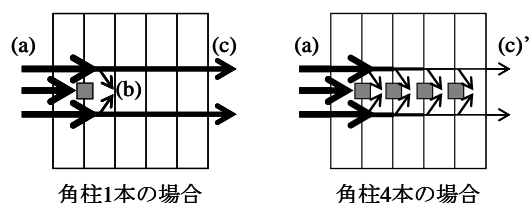


図6 音波の回折が生じた際のエネルギー分散の概略図

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計6件)

(1) 川原崎祐太, 押谷潤, 後藤邦彰, 吉田幹生, 音波伝達特性を用いた粒子系複合材料の混合状態評価へ向けた基礎的検討, 2014年度粉体工学会 秋期研究発表会, 2014年11月25-26日, 東京(東京ビッグサイト)

(2) 川原崎祐太, 押谷潤, 後藤邦彰, 吉田幹生, 音波伝達特性を用いた複合材料モデルの体積割合および混合状態評価, 第8回中四国若手CE合宿, 2014年8月4-5日, 倉敷(倉敷シーサイドホテル)

(3) 川原崎祐太, 押谷潤, 後藤邦彰, 吉田幹生, 複合材料の混合状態評価へ向けた異種界面の音波減衰特性, 第7回中四国若手CE合宿, 2013年9月26-27日, 山口(ホテル常盤)

(4) 川原崎祐太, 押谷潤, 後藤邦彰, 吉田幹生, 音波伝達特性を用いた粒子系複合材料モデルの混合状態評価, 化学工学会 第45回秋季大会, 2013年9月16-18日, 岡山(岡山大学)

(5) 川原崎祐太, 粒子系複合材料モデルの混合状態が音波伝達特性に及ぼす影響, 2013年度第2回粉体工学会 粉体操作に伴う諸現象に関する勉強会, 2013年8月2-3日, 赤穂(赤穂ハイツ)

(6) 吉田幹生, 川原崎祐太, 押谷潤, 後藤邦彰, 粉体混合状態評価へ向けた音波特性の基礎的検討, 第6回中四国若手CE合宿, 2012年12月7-8日, 高松(栗林山荘)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 幹生 (YOSHIDA MIKIO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号: 60444650