

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月18日現在

機関番号：13101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010～2011

課題番号：22656122

研究課題名（和文）多孔質材料中の音波の屈折現象の検証と軽量2重壁への多孔質材挿入効果の解明

研究課題名（英文）Study on Verification of sound refraction in porous material and investigation of insertion effect of porous material into light double leaf wall

研究代表者

岩瀬 昭雄（IWASE TERUO）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30114391

研究成果の概要（和文）：代表的音響材料である多孔質材料中での音波の速度は空気中よりも低く、多孔質材料に音波が斜め入射する場合に屈折現象が生じると推測されるが確認されていない。この検証を本研究の課題として屈折現象を実験実証した。また、軽量2重壁への多孔質材料の挿入による遮音性能の向上効果に関し、効果の定量的把握方法の確立を2つ目の課題として屈折透過する音波の伝搬経路の距離に応じた透過減衰値が効果に対応することを確認した。

研究成果の概要（英文）：In the case of oblique sound incidence into porous media from the air, phenomenon of sound refraction has been guessed because sound velocity is lower in the porous media than that in the air. Main subject of this study was sound refraction, then the phenomenon was verified by acoustical experiment on the oblique sound incidence into glass wool of typical porous material from the air. Moreover, establishment of quantitative grasping method of insertion effect of glass wool on the sound insulation of lightweight double leaf wall. It was confirmed that the insertion effects corresponded to the sound attenuation according to propagation length along the sound refracted path in porous material in double leaf wall.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,300,000	0	2,300,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	210,000	3,210,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築環境・設備

キーワード：(1)多孔質材料 (2)吸音率 (3)粒子速度 (4)音響計測 (5)軽量2重壁  
(6)音響屈折 (7)遮音 (8)音響伝搬定数

1. 研究開始当初の背景

(1)多孔質材料の研究はされ尽くされたよう

に思われるが、実際は未解明な点も少なくないと考えられる。光線と同じく音波の多孔質

中の屈折もその一つであろう。音波の基本現象と想定されるが、実態は確認されていない。研究代表者はその解明自体が価値の高いものと考えた。研究代表者が蓄積してきた音響計測技術を活かす好対象の課題であり、実務にも役立つ知見も得られるものと判断した。(2)現在の建築に欠かせない軽量 2 重壁の遮音性能は多孔質材料の挿入で向上することが知られて実用に供されている。しかし、性能向上は多孔質材料の減衰定数からの推定値と合致しない。先達も遮音性能の予測式を示すが、多くは言い訳もどきの補正法であり、この謎を屈折現象で解き明かせると考えた。

## 2. 研究の目的

(1) 空気中からグラスウールやロックウールで代表される多孔質材料中に音波が入射した場合の多孔質材料内での屈折現象の有無を小型熱線型粒子速度センサの一軸感度指向特性を利用した進行方向探索で検証する。(2) 軽量 2 重壁の遮音性能を多孔質材料の挿入で高める効果は、遮音欠損を生じさせてしまうコインシデンス効果を屈折現象で抑制して得られるのではないかとする研究代表者の仮説の検証を行う。(3) 屈折現象が実証された場合は、実験と理論的検討を重ね、学術的成果として多孔質材料の密度と周波数依存性、波長の長短を考慮した基本的屈折現象の生起モデルと軽量 2 重壁への多孔質材料の遮音性能に対する挿入効果を算定可能とする実務的遮音モデルの構築を目指す。

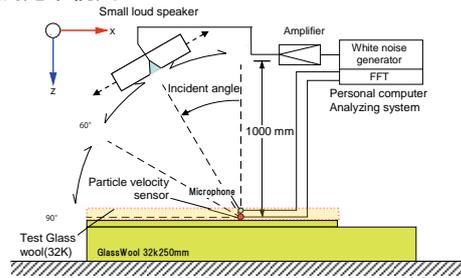
## 3. 研究の方法

(1) 音波が空気中から多孔質材料へ斜め入射した時の屈折現象の有無や生起の程度を本格的に観測する。その場合、熱線型粒子速度センサの 1 軸感度指向性と小型なことを活かす。グラスウール積層内で直交配置した出力強度をベクトル分析して伝搬方向を推定し、グラスウールの密度や厚さ、音波の入射方向の条件毎の屈折現象の生起を評価し、実際に観測される屈折現象の法則性を見出す。(2) 軽量 2 重壁の遮音を想定し、挿入グラスウール層を透過した音波の伝搬方向を観測し、2 層目の板材料への入射方向を同定する。(3) 以上で得られる結果を反映する軽量 2 重壁の遮音モデル、すなわち音波の入射角度、音源側板材料のコインシデンス効果も含む遮音特性、多孔質材料の挿入の有無による屈折と減衰を含む伝搬特性、想定される透過側 2 枚目板材料への入射条件での遮音特性を総合した遮音性能予測計算法を提案する。

## 4. 研究成果

(1) 多孔質材料内の音響伝搬には減衰と位相遅れが存在し、空気中から音波が斜め入射す

(A)測定系統図



(B)屈折角度の定義

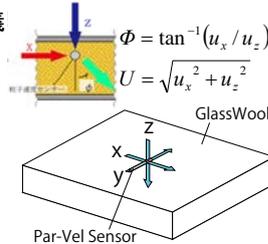


Fig.1 グラスウール内部での音響屈折の測定系統図 (上) と屈折角度の定義 (下)

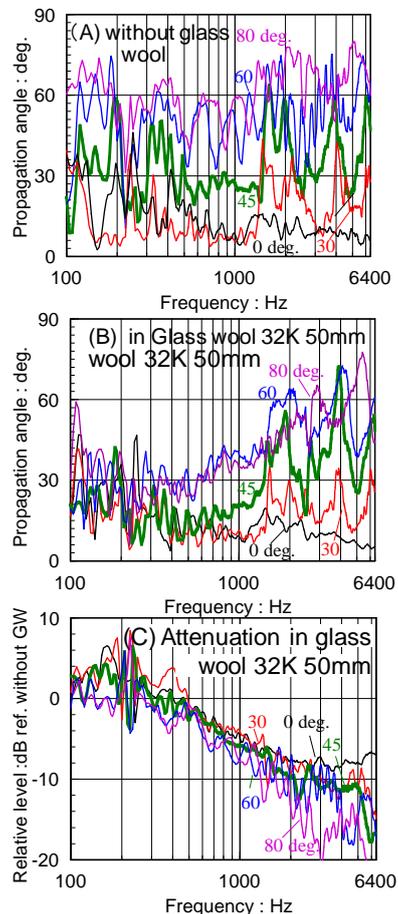


Fig.2 屈折現象の実験結果 (A)グラスウール無し (B)グラスウール内部の伝搬方向 (C)グラスウール内部の伝搬減衰

る場合には、光との類似性から屈折と減衰現象が想定される。粒子速度センサの小型一軸感度指向性を応用してグラスウール中の音波屈折現象を検証した。

Fig. 1のように、グラスウールを床からの音響反射を防ぐ目的で厚く積層して、グラスウール上層の表面から 25 mm, 50 mm, 75 mm の透過厚さごとの内部観測点位置に粒子速度センサを配置して、鉛直と水平方向に感度指向性を向けて 2 方向ごとに粒子速度を観測した。その方向別強度の比から音波の伝搬主方向、すなわち屈折角 $\phi$ や伝搬減衰値を分析した。Fig. 2 (A),(B)に示したグラスウール表面(屈折が無いと想定)、グラスウール内部における観測結果 2 例を比較して見ると、グラスウール内部点では入射角が水平に近くても垂直方向に近づく伝搬方向角度を示すことが明瞭にわかり、屈折現象が生じていると考えるのが合理的と判断される伝搬方向変化が観測された。また、グラスウールの厚さ別の表面から内部点まで方向を変えて伝搬する場合の減衰値も観測し、グラスウール内部を屈折伝搬する場合の透過減衰量に関する重要な資料の蓄積がはかられた。

(2)二つ目の研究課題である軽量二重壁中空部へのグラスウール(多孔質抵抗材料)挿入による遮音性能向上効果について理論的に解き明かす有効な知見を得ることを目的に、屈折後に水平方向から 2 枚目の板材料への音波の入射角度が屈折各方向に垂直方向へと近づくことを想定したコンシデンス効果への影響の有無を把握する実験を行った。

最終的な検討結果から、板材料として石膏ボードのコンシデンス効果よりもガラス板の方がより明確に板面上の励振による応答ピークが観測されることが判明したため、ガラス面の上部にグラスウールの有無別に励振振動応答のピークを比較観測した。すなわち、Fig.1 の最上層部に板材料試料を配置して、試料に向けて音響放射を行い、板材料の表面に励起される振動をレーザー振動計で観測する系統とした。実際に板材料としてガラス板を対象とした実験は板材料を小型無響箱上に配置して垂直と水平方向からの音波の入射条件で行った。

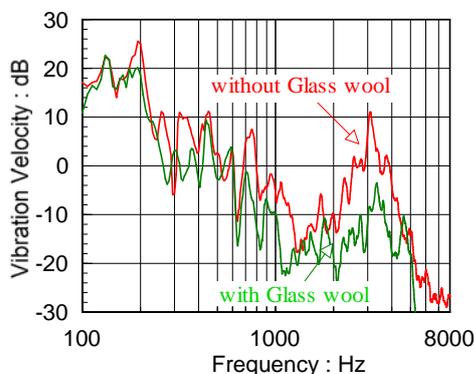


Fig.3 水平音波入射条件での 4 mm ガラス表面に生じる励振振動の観測結果 (グラスウールの有無の比較)

4mm ガラスに音波を水平入射した場合のガラス表面の励振振動状態をレーザー振動計で観測した結果を Fig. 3 に示す。コンシデンス限界周波数よりやや高い 3100Hz で強いピークが観測され、コンシデンス限界周波数で強く励振されやすいことが判るが、表面上部をグラスウールで覆って再度観測した結果では 3500Hz 付近へと高域側へ移動することが判った。励振状態の周波数分析の例で言えば、およそ 1/3 オクターブバンドで 1 ステップの高い側への変化と言える。この理論的考察のため、グラスウールの音響伝搬定数の実測値に近似式を与えて屈折角や伝搬減衰値を推定計算し、さらに水平配置の板材料への波面の投影から板面に入射される音波の見掛けの速度と板上の曲げ波の速度等を算出し、その一致する周波数をグラスウール透過後のコンシデンス周波数と推定した。その結果を Fig. 4 に示す。

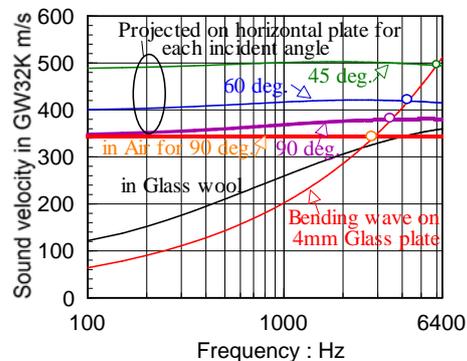


Fig. 4 グラスウール内部の伝搬速度の推定、小円で各入射角度ごとのコンシデンス周波数が推定される。

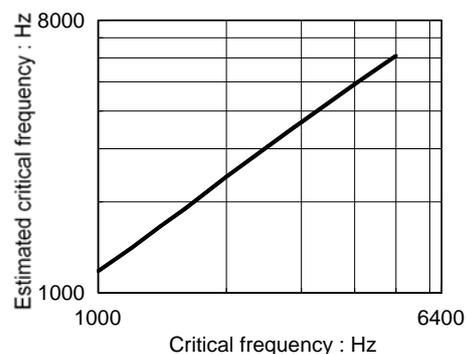


Fig. 5 グラスウール内の屈折を考慮した場合のコンシデンス周波数の高域側への移行推定

この推定結果と上述の実験結果とは概ね妥当な対応が認められる。Fig. 4 に示した結果からグラスウールの挿入効果に関して考察すると、Fig. 5 に示す通り、コンシデンス周波数の高域側への移行は 1/3 オクターブ程度に留まり、減衰効果は屈折伝搬する経路に沿った減衰値、すなわち Fig. 2(C)から挿入厚さを考慮した値(掛け算)に相当するであろうとする遮音向上モデルが提案できる。

(3)さらに、軽量二重壁の遮音性能に関わる重要な課題として、低音域共鳴透過により遮音性能が低周波数域で低下してしまう問題にも着手した。この課題については低い周波数に共鳴周波数を設定できる特性を持つヘルムホルツ共鳴器など共鳴機構を中空層の埋め込むという考えを提案した。孔あき板構造の挿入で低音域共鳴透過の周波数付近の音響特性を制御して遮音性能の低下を回復できることが確認された。

#### 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7件)

- ①堀口佑太, 岩瀬昭雄, "複層ガラスにおけるガラス面上の振動応答の観測について"日本音響学会 騒音・振動研究会資料, N-2012-11, 8p(2012.02.23)
- ②杉江聡, 吉村純一, 岩瀬昭雄, "低い周波数領域における二重壁の遮音性能の向上-レゾネータの適用構法の検討-",日本音響学会 建築音響研究会資料 AA2011-5, p.7(2011.12.21)
- ③杉江聡, 吉村純一, "共鳴機構を有するスタッドを用いた乾式二重壁の遮音性能",日本音響学会 秋季研究発表会講演論文集, p1159-1160 (2011.9.21)
- ④岩瀬昭雄, "ガラスウール中の音響伝搬の離散音源による観測と軽量二重壁への挿入効果の検討", 日本音響学会 秋季研究発表会, p1169-1112(2011.9.21)
- ⑤岩瀬昭雄, "ガラスウール中の音響伝搬現象について 離散複数音源による実験と伝搬定数による論理的考察"日本建築学会学術講演梗概集, D-1, p325-326(2011.8.25)
- ⑥岩瀬昭雄, "粒子速度に着目した音響計測法とその応用までの取り組み", 「招待講演」(環境音響研究賞受賞)、日本音響学会建築音響研究委員会資料, AA2010-48, 8p(2010.11.22)
- ⑦ SUGIE Satoshi, YOSHIMURA Junichi and IWASE Teruo, Invited Paper, "Optimization of structural factors for Helmholtz resonator to improve sound insulation of lightweight double leaf partition", Proceedings CD-ROM of inter-noise 2010, p.10(2010.6.14)

[その他]

ホームページ等

[http://iwase\\_lab.eng.niigata-u.ac.jp/index.html](http://iwase_lab.eng.niigata-u.ac.jp/index.html)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

岩瀬 昭雄 (IWASE TERUO)  
新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30114391

##### (2) 研究分担者 ( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

吉村 純一 (YOSHIMURA JUNNICHI)  
(財)小林理学研究所・建築音響研究室・室長  
研究者番号：00142050  
杉江 聡 (SUGIE SATOSHI)  
(財)小林理学研究所・建築音響研究室・室員  
研究者番号：00280644