

減衰のあるランダム媒質中の音波伝搬の数値計算

Numerical Simulation of Sound Propagation in Random Medium with Attenuation

○鶴秀生, 日東紡音響, 〒130-0021, 墨田区緑 1-21-10, E-mail: tsuru@noe.co.jp

石塚崇, 清水建設, 〒135-8530, 江東区越中島 3-4-17, E-mail: ishiduka@shimz.co.jp

大槻東巳, 上智大学, 〒102-8554, 千代田区紀尾井町 7-1, E-Mail: ohtsuki@sophia.ac.jp

Hideo Tsuru, Nittobo Acoustic Eng., 1-21-10 Midori Sumida-ku, Tokyo, 130-0021

Takashi Ishiduka, Shimizu Corp., 3-4-17 Echujima Koto-ku, Tokyo, 135-8530

Tomi Ohtsuki, Sophia University, 7-1 Kioicho, Chiyoda-ku Tokyo, 102-8554

A random structure plays an important role in wave propagations. The Anderson localization is well known in electron transport theories. In acoustic propagations, localization of sound may be brought about or the information of source position may be lost by the localization. These properties of acoustic wave in the random field are investigated through a Boundary Element Method (BEM) and a Finite Difference in Time Domain (FDTD). The localization of acoustic wave was observed in 2-dimensional random medium by a numerical calculation. Influences of absorptions in medium or at surfaces of random obstacles on wave propagations are also investigated.

1. はじめに

電子輸送現象において Anderson 局在といわれる電子の波動関数がランダムネスの影響で局在し、電気抵抗が発散する現象が知られている。(1,2,3) 古典的な波動現象である電磁波などもフラクタル構造内でのトラップなどが、実験的にも近年調べられている。(4,5) そこで音波伝搬に対する障害物配置のランダムネスの影響を数値的検討を試みた。

減衰の無い媒質中にランダムな散乱体が存在する空間での波動伝搬を、境界要素法と時間領域差分法を用いて調べた。音波の局在や、音源方向情報の喪失等の結果や音波の拡散等の性質を得ることができた。媒質に吸収性がある場合の検討し、そういった場合もランダムネスが波動伝搬の空間的性質に影響を与えることがわかった。

2. 減衰のないランダム系での音波伝搬

音波伝搬について、周波数領域の解析には主に境界要素法を、時間領域の検討には差分法を用いた。

Fig.1 に 500Hz での境界要素法によって得られた音響エネルギー密度を示した。左側が周期的な散乱体配置の場合で右側が

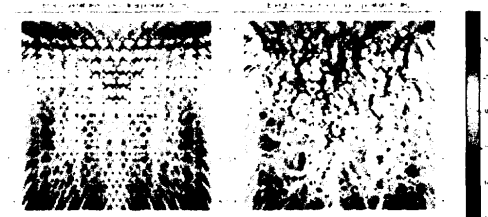


Fig. 1 Sound Energy Distribution 500Hz

ランダムな配置の場合を示している。

次に時間領域の解析をスタガード格子上のコンパクト差分を用いて検討した。(6) 中央に無指向性の Gaussian 波束を音源として与え時間発展を計算することで音の拡散状態を評価した。

音圧 2 乗分布の分散 σ_x^2 と σ_y^2

$$\sigma_x^2 = \langle (x - x_0)^2 \rangle, \quad \sigma_y^2 = \langle (y - y_0)^2 \rangle \quad (1)$$

を定義する。ここで $x_0 = \langle x \rangle$, $y_0 = \langle y \rangle$ である。それらは拡散

係数 D と

$$\langle (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 \rangle = 4Dt, \quad (2)$$

で関係付けられる。分散の時間発展を Fig.2 に示した。ランダム

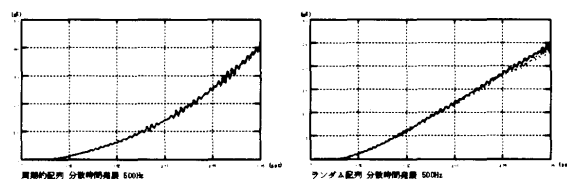


Fig. 2 分散の時間発展。左、周期配列。右、ランダム配列

配列では分散が時刻に比例している。そういった空間において音波は拡散的に伝わるのが数値的に示された。

3. 減衰のあるランダム系での音波伝搬

次に媒質に吸収がある場合の解析を行った。差分法で用いられる粒子速度 v の運動方程式において

$$\rho_0 \frac{\partial v}{\partial t} = -\nabla p - \alpha v \quad (3)$$

という減衰係数 α を導入することで、減衰のある系に対する数値シミュレーションを行った。音源、障害物等の配置は前節で説明を行ったものと同じものを用いた。全空間の音響エネルギーの積分値の時間変化を調べた。減衰がない場合、最大値については若干違いがあるが、散乱体の配置自体が積分値の時間変化はほぼ等しいことがわかった。同様に媒質に減衰がある場合でも、散乱体の配置自体は音響エネルギーの全空間積分値の時間変化に大きな影響を与えないことがわかった。減衰とランダムネスは空間分布に影響を与えることが数値計算上観測された。

参考文献

- (1) Anderson, P.W., Phys. Rev, 109 (1958), 1492.
- (2) Beenakker, C.W.J., Rev. Mod. Phys, 69 (1997), 731.
- (3) Yoshioka, D. et al., J. Phys. Soc. Jpn., 50 (1981) 3419
- (4) Sakoda, K., Phys. Rev. B, 72 (2005) 184201
- (5) Takeda, M.W. et al., Phys. Rev. Letters, 92 (2004) 093092
- (6) Iwatsu et al., Proc. 13th ICSV, (2006) 769
- (7) 石塚崇、鶴秀生、大槻東巳、音響学会 2006 年秋講演集 (2006) 731