# D1-5

音響エネルギーと減衰除去インパルス応答に基づく室内音場における固有振動数の抽出 Detection of Natural Frequency in a Room Sound Field Based on Sound Energy and a Decay-Cancelled Impulse Response

> ○鈴木諒一<sup>1</sup>, 星和磨<sup>2</sup>, 羽入敏樹<sup>2</sup> \*Ryoichi Suzuki<sup>1</sup>, Kazuma Hoshi<sup>2</sup>, Toshiki Hanyu<sup>2</sup>

1 はじめに

固有振動を評価するため室内インパルス応答 (IR) を周波数分析することが一般的に行われている.

しかし,音圧のみの解析では,音圧分布の節に当 たる測定点で固有振動が現れにくいという問題があ る.これを解決するため,音圧に加え粒子速度も考 慮した音響エネルギーによる解析手法を提案してい る [1].

また, IR のように減衰を示す波形は,スペクトルの半値幅が広がることで固有振動数が不明確になる恐れがある.そこで,固有振動数を明確に抽出するため,減衰除去インパルス応答 (DC-IR)を周波数分析する手法を提案している [2].

本報では、これら2つの手法を用いて、固有振動 数等の音場の情報をより明確にできるかシミュレー ションの結果を用いて検討を行った.

2 手法の概要

2.1 手法1:音響エネルギーによる解析

音圧 p(t) と粒子速度  $\mathbf{u}(t)$  から得られるそれぞれ のパワースペクトル  $|P(f)|^2$  と  $|\mathbf{U}(f)|^2$  から,ポテ ンシャルエネルギー  $E_p(f)$ ,運動エネルギー  $E_k(f)$ 及び,その両者を足し合わせた音響エネルギー E(f)は以下のように表せる.

$$E(f) = \frac{1}{2} (E_p(f) + E_k(f)) = \frac{1}{2} \left( \frac{|P(f)|^2}{\rho c^2} + \rho |\mathbf{U}(f)|^2 \right)$$
(1)

定在波では音圧と粒子速度の位相が異なっており, 両者の波形の節が異なる場所にあるのが普通である. そのため,両者を足し合わせた音響エネルギー *E*(*f*) を用いることで,測定点が節に当たること無く,安 定した固有振動の抽出が期待できる.

## 2.2 手法 2: DC-IR を用いた解析

減衰を示す IR の解析では,固有振動の周波数スペクトルにおける半値幅が広がる.そのため,特に固有振動の密度が高まる高域において,スペクトル同士が干渉し合い,固有振動数を十分に抽出できない恐れがある.そこで,IR から減衰を除去した DC-IR

1:日大理工・院(前)・建築2:日大短大・教員・建築

を周波数分析することで、半値幅が狭まり、より明 確に固有振動数を抽出できると考えられる. DC-IR g(t) は以下の式で求められる.ただし、p(t) は IR、  $E_s(t)$  はその減衰曲線である.

$$g(t) = \frac{p(t)}{\sqrt{E_s(t)}} = \frac{p(t)}{\int_t^\infty p^2(\tau) d\tau}$$
(2)

### 3 検討方法

図1に示す 5×4m の2次元矩形音場を対象と して,C型CIP法 [3]による音響シミュレーション を行った.時間離散化幅は 25 $\mu$ s,空間離散化幅は 25mmとした.音源Sに振幅1,分散4 $e^{-4}$ のガウ シアンパルスを時間分布として与え,測定点R1~R3 における音圧と粒子速度のIRを計算した.垂直入射 吸音率  $\alpha = 0$ と $\alpha = 0.1$ を壁面に一様に与える2パ ターンのシミュレーションを行った.

検討1では,得られた IR から音圧,粒子速度,音響エネルギーによる周波数分析を行い比較する.

検討2では,音圧と粒子速度からそれぞれのDC-IR を算出して検討1と同様の解析を行いIRの結果 と比較する.DC-IRの算出にあたっては,減衰曲線 の瞬時減衰率による正規化[4]を行った.



#### 4 検討結果

# 4.1 検討1の結果

図 2 に  $\alpha = 0$  での測定点 R1, R2 における IR の周 波数分析結果を示す. 図中の破線は室の寸法比から 算出した固有振動数である. 測定点 R1 の結果を見 ると,  $E_p(f)$  の 68Hz, 80Hz に明確なピークが見ら れない. また R2 の結果を見ると,  $E_p(f)$  の 54Hz と  $E_k(f)$ の 85Hz に明確なピークが見られない. この ように, 音圧や粒子速度のみによる解析では, 固有振 動を見落とす恐れがある.しかし、 $E_p(f) \ge E_k(f)$ を足し合わせた音響エネルギー E(f) を見ると, どち らの測定点でも全ての固有振動数を抽出できている. また、紙面の都合で割愛した他の測定点においても 同様の結果が得られた.以上の結果から, 音圧と粒 子速度の両方を加味した音響エネルギーを用いるこ とで、測定点に依らずに安定して固有振動数を抽出 できることが分かった.



図2 測定点 R1 と R2 における IR の周波数解析結果

4.2 検討2の結果

図 3, 図 4 に測定点 R3 における  $\alpha = 0$  の IR,  $\alpha = 0.1$ の IR と DC-IR より求めた音響エネルギー *E*(*f*) を示す. 破線は室の固有振動数の一部である.

まず、図3に示す低域の結果を見ると、 $\alpha = 0$ の IR では室の寸法比に対応した固有振動が顕著に表れ ている.しかし  $\alpha = 0.1$ の IR を見ると、 $\alpha = 0$ の IRと比較して、スペクトルの半値幅が広がっている. 一方,  $\alpha = 0.1$ の DC-IR の結果を見ると, 減衰除去 の効果により半値幅が狭まっていることが分かる.

また、図4に示す高域の結果を見ると、 $\alpha = 0.1$ の IR は半値幅が広がったことにより隣り合う固有振動 同士が干渉し合い、破線で示す固有振動数にピーク が生じていない. 一方,  $\alpha = 0.1$  の DC-IR を見ると, IR でピークとして現れていなかった固有振動数を抽 出できている.

5 まとめ

IR の音圧だけでなく粒子速度も加味して,音響エ ネルギーの周波数特性を解析することにより、測定 点に依存しない固有振動の解析が可能であることを 示した.また,DC-IR を周波数分析することにより, 固有振動数をより明確に抽出できた.

## 参考文献

[1] 鈴木他, 音講論(秋), 1041-1042, 2015.

[2] 鈴木他, AIJ 梗概集 D-1, 231-232, 2015.

[3] 矢部, "CIP 法", 森北出版, 2003.

[4] 羽入他, 音講論(春), 1167-1168, 2014.



図 4 測定点 R1 と R2 における IR の周波数解析結果 (高域 - 250Hz - 1/1 オクターブ帯域)