

D1-14

室内音場におけるフラッターエコーの解析

その1 無指向性マイクロホンによる測定

Analysis of flutter echo in Room Sound-field

Part-1 Measurement by an omni-directional microphone

○鳴田健志¹, 安田匡利¹, 鈴木諒一², 星和磨³, 羽入敏樹³

* Takeshi Naruta, Masayori Yasuda, Suzuki Ryoichi, Kazuma Hoshi, Toshiki Hanyu

1. 目的

室内音響設計においては、まずフラッターエコー等の音響障害を防止するのが肝要である。そのためにフラッターエコーが生じているか否かや、生じている場合のフラッターエコーの程度を定量的に評価する必要がある。しかし、従来フラッターエコーの評価については、インパルス応答の波形などを目視することにより行われていたが、フラッターエコーの程度を評価する手法は確立されていなかった。また、従来の無指向性マイクロホンを用いた測定ではフラッターエコーを生じさせている壁を特定するのは困難であった。

筆者らは、無指向性マイクロホンを用いたフラッターエコーの解析に加え、C-C 法[1]を用いフラッターエコーを方向別に解析することを目的に測定を実施した。まず、本報では無指向性マイクロホンを用いた検討を行なったのでその結果について報告する。また、別報[2]ではC-C 法(6ch マイクロホン)を用いたフラッターエコーの方向別解析の検討を行う。

図中の S1, S2 は音源位置, r0~r11 は受音点位置を表している。音源には 12 面体スピーカを用い、音源と受音点の高さは共に 2.0m に設定した。今回は各受音点ごとに無指向性マイクロホンと C-C 法の 2 つの方法で測定をした。

測定系を図 2 に示す。部屋の開口部及びカーテンをすべて閉め切った状態で音源から TSP 信号を発生させ、各受音点で受音した信号に対し、時間的に反転させた信号をたたみ込んでインパルス応答を求めた。この時、デジタル録音はサンプリング周波数 48kHz, 量子化 24bit に設定した。

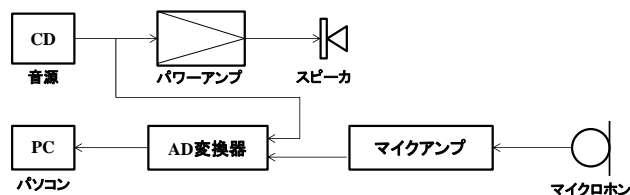


図 2. インパルス応答測定ブロックダイアグラム

2. 実験方法

測定対象は図 1 に示した日本大学理工学部船橋校舎スポーツホールの 3 階通路である。

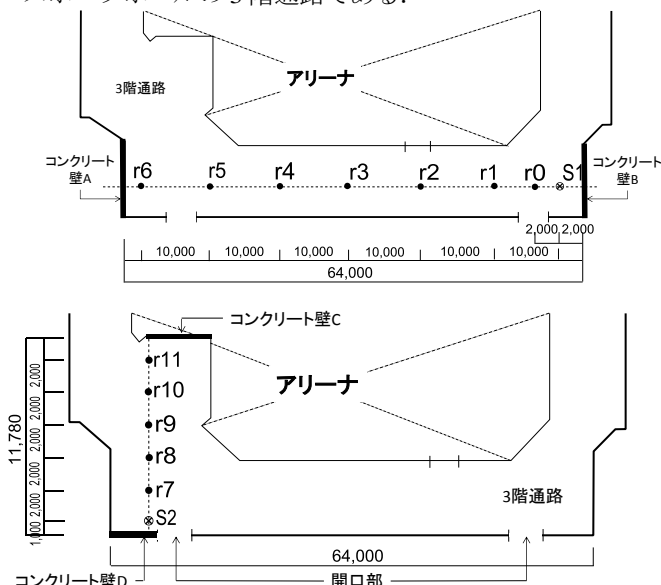


図 1. 測定音場及び測定点 (平面)

3. 解析方法

周波数帯域ごとのフラッターエコーの発生やその程度を評価するために以下の処理を行った。

- 1) 実験で得られたインパルス応答をオクターブバンドフィルタに通し、250Hz~8kHz のオクターブ帯域ごとの応答波形 $p(t)$ を求める。
- 2) オクターブ帯域ごとの 2 乗応答 $p^2(t)$ を求め、その最大値 p^2_{max} を求める。
- 3) 式(1)によって 2 乗応答を正規化し、対数をとってレベル減衰波形を算出する。

$$L(t) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{p^2(t)}{p^2_{max}} \right\} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

- 4) 3)で求めたレベル減衰波形をグラフ化しフラッターエコーの発生や程度を目視で評価する。

4. 結果と考察

解析例として、受音点 r4 の 250Hz~8kHz 帯域のレベル減衰波形を図 3 に、各受音点の 4kHz 帯域のレベル減衰波形を図 4 に示す。

図 3 を見ると、500Hz 以上の帯域において、ピークの繰り返しが見られており、フラッターエコーが生じているのが分かる。また、室全体の残響音（黒い部分）の減衰よりフラッターエコー（ピーク波形）の減衰のほうが緩やかになっているのが分かる。これは室全体の残響は壁や床、カーテンなど様々な場所に反射して吸音されるのに対し、フラッターエコーは特定の平行な 2 つの反射性壁面（コンクリート壁 A, B）のみで反射を繰り返しているため室全体の残響音よりも減衰が緩やかになったと考えられる。

図 4 の、r0~r6 のフラッターエコーの繰り返し間隔を見ると、コンクリート壁 A, B の中間位置に近い r3 ではほぼ等間隔であるのに対して、壁に近い r0, r6 の方に寄るほど間隔が変化していることが分かる。このことから、フラッターエコーが壁からの反射により起こっており、同じフラッターエコーでも受音点位置により聞こえる音が変わることが推察出来る。

図 4 を詳しく見ると、r2~r6 の各受音点では 1.5 秒前後でフラッターエコーが増幅しているのが分かる。本来であればエネルギー保存の法則により音が増幅することはありえないため、何らかの原因があることが考えられる。筆者らは何が影響を及ぼしたのか 1 つの仮説を立てた。音の速度は一定であるため同じ距離を伝わる音が追いつくことはないことから、図 5 に示したように音源からの直接音と床からの反射音との間に生じる行路差（行路 B - 行路 A）が関わっているのでは

ないかと考えた。スピーカとマイクの距離が長くなるほど行路差は小さくなる。反射音（フラッターエコー）は対面する 2 面のコンクリート壁 A, B によるスピーカの鏡像からの音と考えることが出来る。反射を繰り返す度に鏡像は遠くに生じるため、この鏡像とマイク間の距離は大きくなって、次第に図 5 に示した行路差が小さくなり、ついには行路 A の音と行路 B の音が重なって干渉するためレベルが増幅したものと考えられる。

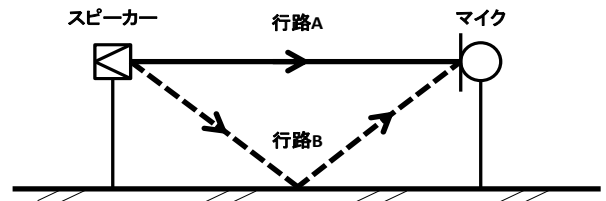


図 5. 行路差の概念図

5. まとめ

本報では、無指向性マイクロホンを用いてフラッターエコーの解析を行なった。その結果、フラッターエコーが生じていることはレベル減衰波形を目視することである程度判断出来ることが分かった。しかし、フラッターエコーの原因となっている壁を波形だけから判断するのは困難と考えられる。これについては別報 [2] で報告する。

6. 参考文献

- [1] 羽入敏樹 他：4ch カーディオイドマイクによる音場の方向情報計測，音講論，P1123(2008.3)
- [2] 飯田のぞみ 他：C-C 法の方向別波形によるフラッターエコーの解析 その 2 C-C 法による測定

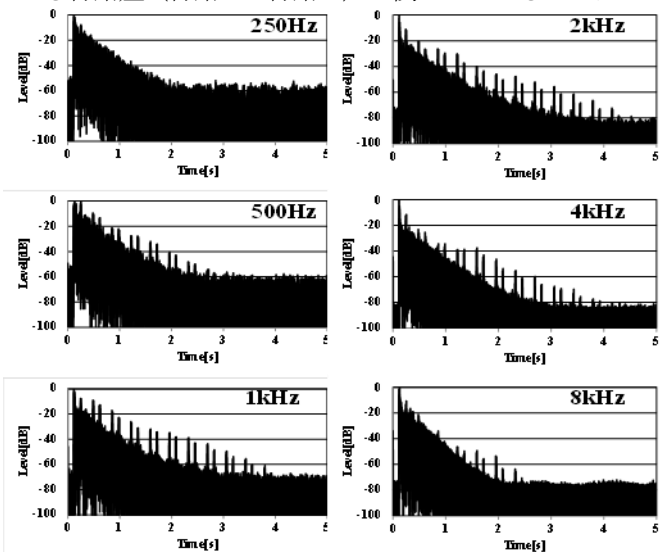


図 3. 受音点 r4 における各オクターブ帯域ごとのレベル減衰波形

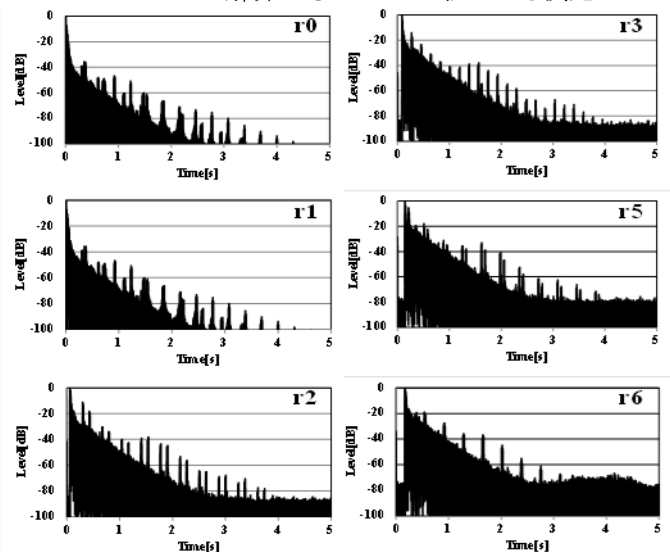


図 4. 4kHz オクターブ帯域における受音点ごとのレベル減衰波形