

アリーナ型コンサートホールに関する幾何音響シミュレーションを用いた基礎的検討

03-180463 石田 肇

1. 序論

アリーナ型コンサートホールは中央のステージを客席が取り囲む形状で、演奏者と観客の距離が近い・客席を多く配置できるといった長所がある。一方で、側壁や天井から初期反射音を得ることが難しく、音響性能に問題が生じやすい。実際のアリーナ型ホールにおいては、客席をいくつかのブロックに区切り、高低差をつけることで側壁を立ち上げ、初期反射音を確保している。客席ブロックの形状・配置はホールの設計に応じてケースバイケースであり、この対策が一般的にどの程度音響性能を改善するか、定量的な検討は十分にされていない。本研究では、モデル化した直方体室のアリーナ型ホールにおいて、客席をブロック化し高低差をつけ、数値解析によってその効果を定量的に検討することを目的とする。

2. 検討内容

2.1 解析手法

幾何音響シミュレーションソフト CATT を用いて解析を行う。幾何音響解析は音線法的一种であり、音のエネルギーが進む軌跡、音線を用いて音の伝搬を模擬する。音源から射出した音線が受音点を通る時刻とその時のエネルギー量を計算し、音源-受音点間のインパルス応答を算出する。

2.2 検討モデル

40m×40m×15m の直方体室に 20m×10m×1m のステージがあり、取り囲むように階段状の客席ブロックを配置する。客席ブロックは Front・Side・Upstage の 3 つに分類する (図 1 左上)。

ステージの位置 3 種類・客席ブロックの高さ 3 種類をパラメータとし、計 9 ケースについて検討を行う (図 1)。客席ブロックの高さ A では、各客席ブロックが高さ 0m でステージと接する。B は Side・Upstage を 2.5m 底上げした場合、C は Side をさらに 1.0m 底上げした場合である。これらの寸法は実際のアリーナ型ホールを参考に決定した^[1]。

各ケースで室容積が異なる点に注意が必要である (表 1)。理論残響時間はケース間で最大約 0.4 秒異なる (表 2)。

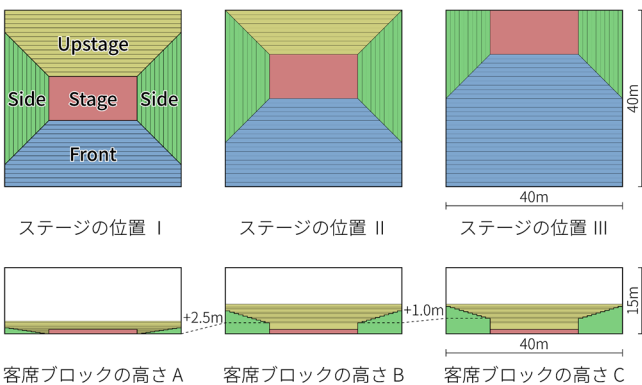


図 1 検討モデルのパラメータ

表 1 各ケースの室容積 [m³]

		客席ブロックの高さ		
		A	B	C
ステージの位置	I	22,017	17,956	17,518
	II	21,769	18,581	18,157
	III	19,699	18,692	18,296

表 2 各ケースの理論残響時間 [s]

		客席ブロックの高さ		
		A	B	C
ステージの位置	I	2.05	1.64	1.60
	II	2.08	1.73	1.69
	III	1.94	1.82	1.78

2.3 諸条件

- 音源 位置はステージの中央、床面から 1.5m とする。指向性なしで、音線数は 50,000 本、追跡時間は 3 秒とする。
- 吸音率 Front の後壁、客席ブロックの床面・壁を吸音面とし、吸音率を 0.70 とする。その他の面は 0.05 とする。
- 乱反射率 一律 0.20 とする。
- 空気吸収 500Hz, 気温 20°C, 相対湿度 50%, 密度 1.2kg/m³ における空気吸収を考慮する。

2.4 室内音響指標

受音点は、客席ブロックの床面から高さ 1.2m の位置に 2m グリッドで配置し、各点でのインパルス応答から表 3 の各種室内音響指標を算出する。

表 3 音の心理的属性と対応する物理指標^[2]

心理的属性	物理指標	記号	弁別閾	一般的な範囲
音量感	ストレングス	G [dB]	1 dB	-2 ~ +10 dB
残響感	初期減衰時間	EDT [s]	Rel. 5 %	1.0 ~ 3.0 s
明瞭性	クラリティ	C ₉₀ [dB]	1 dB	-5 ~ +5 dB
広がり感 (みかけの音源の幅)	初期側方エネルギー率	J _{LF}	0.05	0.05 ~ 0.35

3. 結果と考察

各指標は概ね表 3 の一般的な範囲に含まれる結果となり、検討モデルが現実のホールをある程度再現できていることを確認できた。

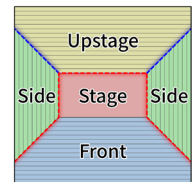


図 2 客席ブロックによって生じる壁

3.1 客席ブロックの高さによる変化

A→B では図 2 の赤線が壁となり、主に Front で初期反射音の増加が期待できる。B→C では赤線の壁が高くなるとともに青線がさらに壁となり、主に Front・Upstage で初期反射音の増加が期待できる。

各指標の変化の例を図3-5に示す。

図3において、GはFrontで最大1dB上昇(A→B)している。一方で、Side・Upstageでは一部低下している領域も見られる。

図4において、 J_{LF} はFrontで最大15% (A→B)、Upstageで最大10%上昇(B→C)している。

図5において、 C_{80} はFrontで最大2dB上昇(A→B)している。一方で、Frontのステージから遠い領域では、指標は改善していない。

以上より、側壁に挟まれた領域で各指標が弁別閾以上改善しており、期待通り初期反射音が増加していることを確認できた。また、客席ブロックが高くなると奥まで直接音が届きにくくなること、側壁によって指標が改善するのは付近10m程度であることが分かった。

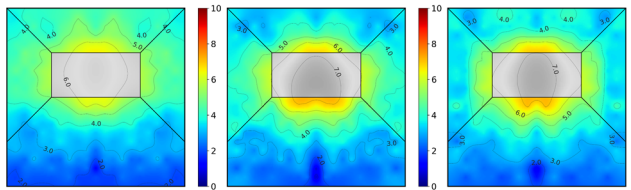


図3 ステージの位置II・G [dB]の分布図

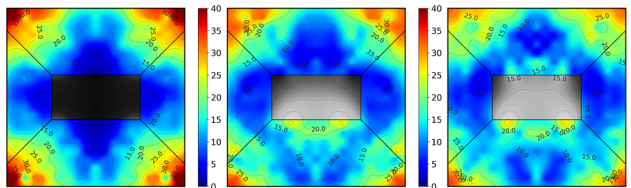


図4 ステージの位置I・ J_{LF} [%]の分布図

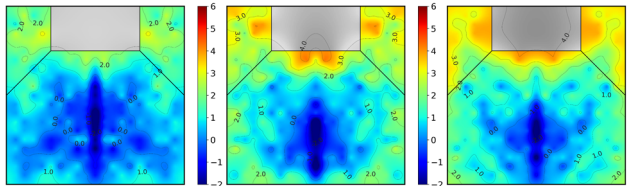


図5 ステージの位置III・ C_{80} [dB]の分布図

客席ブロックごとの各指標の平均値を図6-8に示す。Frontでは、A→Bの変化に対しB→Cの変化は非常に小さく、側壁の高さが1m増加(2.5m→3.5m)した影響は見られない。一方Upstageでは、 J_{LF} の標準偏差(図7)・ C_{80} の平均値(図8)がB→Cで変化しており、高さ1mであっても側壁の有無が重要であることが分かる。

EDTの結果について、室容積の影響(表1,2)が大きく各パラメータの影響が読み取れなかったため、省略する。

3.2 ステージの位置による変化

FrontはI→IIIで奥行きが伸び、客席ブロックの高さを変えても指標が改善しない領域が増えた。IではGの平均値が上昇(図6)し、 J_{LF} の標準偏差が低下(=極端に低い値を解消)(図7)し、 C_{80} の平均値が上昇(図8)しているが、IIIではそれらの傾向は弱い。

UpstageはI→IIで奥行きが縮むため、IIではGが高く(図6)、 J_{LF} の標準偏差が低下(図7)している。

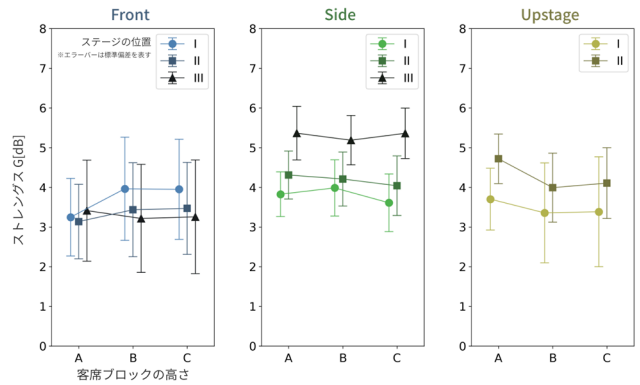


図6 G [dB]・客席ブロック別平均値のグラフ

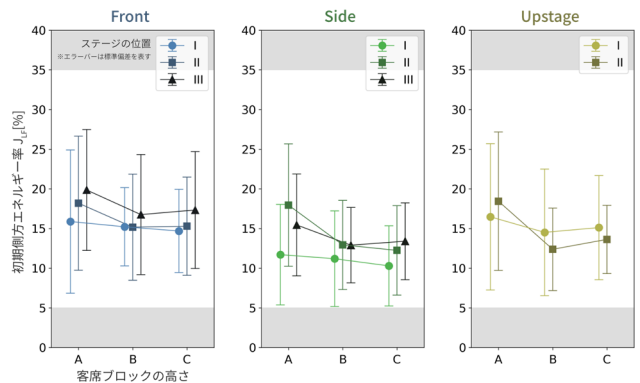


図7 J_{LF} [%]・客席ブロック別平均値のグラフ

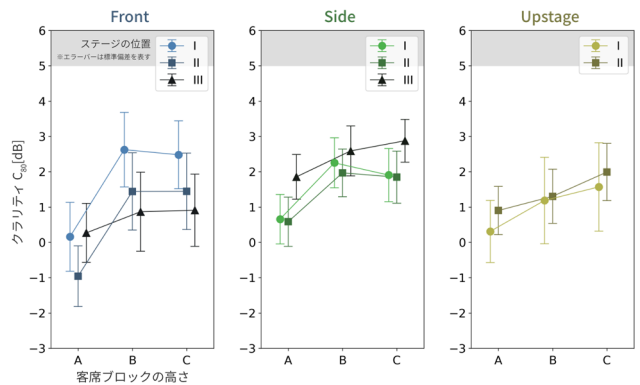


図8 C_{80} [dB]・客席ブロック別平均値のグラフ

※図7,8の灰色の領域は、表3の一般的な範囲に含まれないことを表す。

SideはI→IIIでホール壁(反射面)に近づくため、IIIは初期反射音が増加し、G・ C_{80} が高くなった(図6,8)。

4. 総括

アリーナ型コンサートホールにおける客席のブロック化は、音量感・明瞭性・音の広がり感に対応する指標を改善することを確認できた。

本検討の改善点として、天井高を調整しケース間でホールの室容積を統一することが考えられる。各パラメータの影響が明確になり、より有意義な結果が得られる可能性がある。

5. 参考文献

- [1] Y. Toyota et al., Concert Halls by Nagata Acoustics, (2021)
- [2] ISO 3382-1: 2009. Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces.