

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の一つであり、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過す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)。

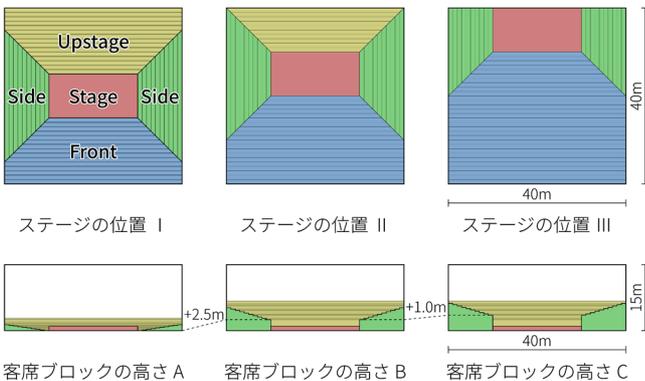


図 1 検討モデルのパラメータ

表 1 各ケースの室容積 [m³]

	ステージの位置	客席ブロックの高さ		
		A	B	C
I	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]

	ステージの位置	客席ブロックの高さ		
		A	B	C
I	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。

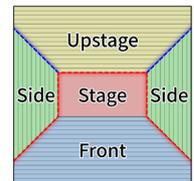


図 2 客席ブロックによって生じる壁

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。

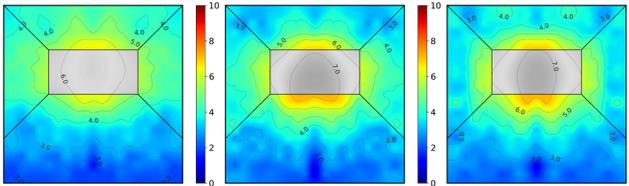
各指標の変化の例を図3-5に示す。

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。

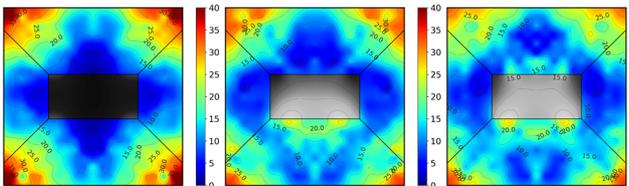
図4において、 J_{LF} はFrontで最大15% (A→B)、Upstageで最大10%上昇(B→C)している。

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。

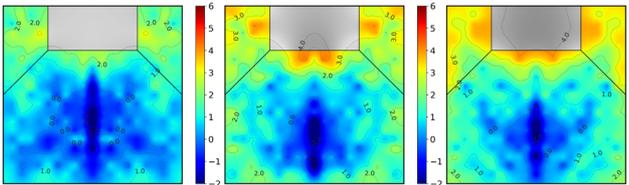
以上より、側壁に挟まれた領域で各指標が弁別閾以上改善しており、期待通り初期反射音が増加していることを確認できた。また、客席ブロックが高くなると奥まで直接音が届きにくくなること、側壁によって指標が改善するのは付近10m程度であることが分かった。



客席ブロックの高さA 客席ブロックの高さB 客席ブロックの高さC
図3 ステージの位置II・G [dB]の分布図



客席ブロックの高さA 客席ブロックの高さB 客席ブロックの高さC
図4 ステージの位置I・ J_{LF} [%]の分布図



客席ブロックの高さA 客席ブロックの高さB 客席ブロックの高さC
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。

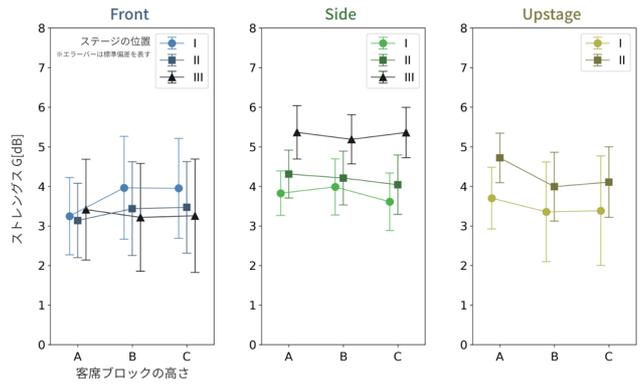


図6 G [dB]・客席ブロック別平均値のグラフ

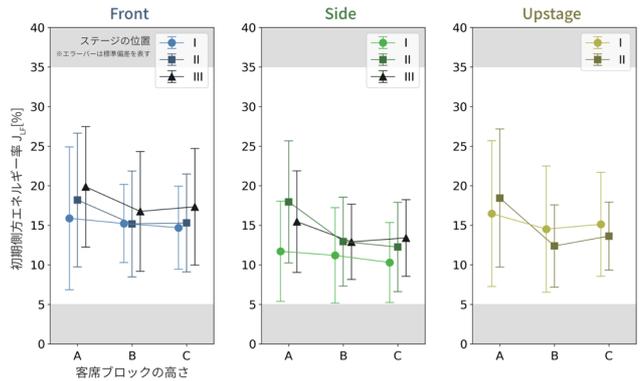


図7 J_{LF} [%]・客席ブロック別平均値のグラフ

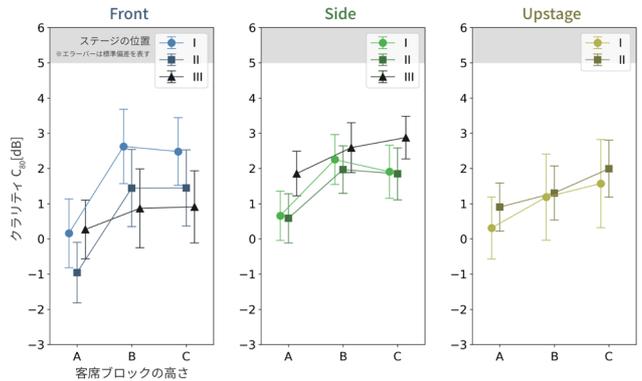


図8 C_{80} [dB]・客席ブロック別平均値のグラフ

※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.