

コンピュータ・シミュレーションを用いたコンサートホールの音響特性に関する研究

—その4 室形状の違いによる残響時間の比較検討—

日大生産工 塩川 博義
日大生産工（院） ○五十畑 武

1 緒言

既報¹⁾では、コンサートホールのコンピュータ・シミュレーション（Odeon ver.5.02）の精度について比較検討した。

本研究は音響シミュレーションを用いて、コンサートホールの音響設計を行う上でより良いホール形態明らかにしていくことを目的とする。

本報では、コンピュータ・シミュレーションを用いて、室形状の違いによる残響時間について、比較検討を行ったのでそれらを報告する。

2 対象コンサートホール

対象のコンサートホールは、ワインヤード型およびアリーナ型コンサートホールで行う。前者はベルリン・フィルハーモニー（以下、ベルリン・フィル）、サントリーホール、札幌コンサートホール Kitara（以下、札幌 Kitara）、後者はシドニー・オペラハウス、クライストチャーチ・タウンホール（以下、クライストチャーチ）、大阪・ザ・シンフォニーホール（以下、

大阪シンフォニー）である。対象コンサートホールのモデルを図1および図2に、室形データを表1に示す。

なお、本シミュレーションにおける残響時間の算出方法は、既報¹⁾に準ずる。

3 比較検討方法

コンサートホールは、それぞれ平均吸音率が異なるため、各コンサートホールの天井、床および壁面の吸音率をサントリーホールのそれらに統一してシミュレーションを行い、室形状の違いによる残響時間を比較検討する。平均吸音率は、Sabine の残響式(式1)より求める²⁾。

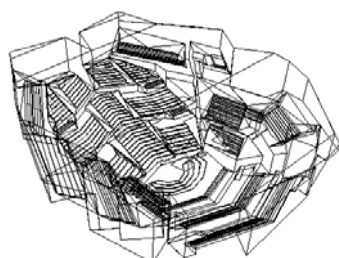
$$T = \frac{0.161V}{S\bar{\alpha}} \quad (\text{式1})$$

T : 残響時間[s]

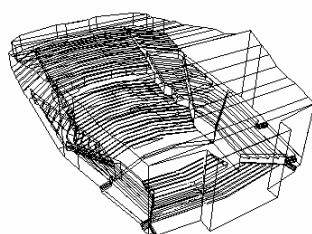
V : 室容積[m³]

S : 室内総表面積[m²]

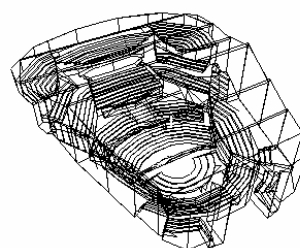
$\bar{\alpha}$: 平均吸音率



ベルリン・フィル

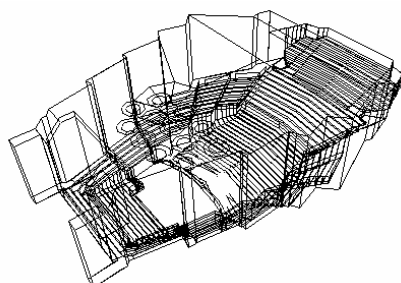


サントリーホール

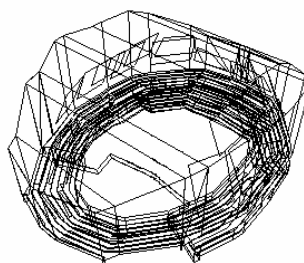


札幌 Kitara

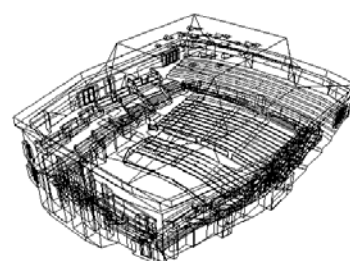
図1 ワインヤード型コンサートホール



シドニー・オペラハウス



クライストチャーチ



大阪シンフォニー

図2 アリーナ型コンサートホール

A Study on Sound Characteristics for Concert Halls by Computer Simulations

- Part 4 Comparison of Reverberation Time on Hall Shapes -

Takeshi IKAHATA and Hiroyoshi SHIOKAWA

4 結果および考察

4.1 残響時間の比較

各コンサートホールの平均吸音率および残響時間

を図3および図4に、また材料の吸音率を統一した後のそれらを図5および図6に示す。材料の吸音率を統一する前の平均吸音率は、全体的にばらつきが大きい

表1 ホール室形データ

	体積 V [m^3]	表面積 S [m^2]	客席数 N [席]	V/S	V/N [m^3]
ベルリン・フィル	20624	6443	2215	3.2	9.3
サントリーホール	19241	6114	2006	3.1	9.6
札幌Kitara	28140	8645	2008	3.3	14.0
シドニー・オペラハウス	25614	7147	2679	3.6	9.6
クライストチャーチ	19330	6358	2662	3.0	7.3
大阪シンフォニー	17622	6732	1702	2.6	10.4

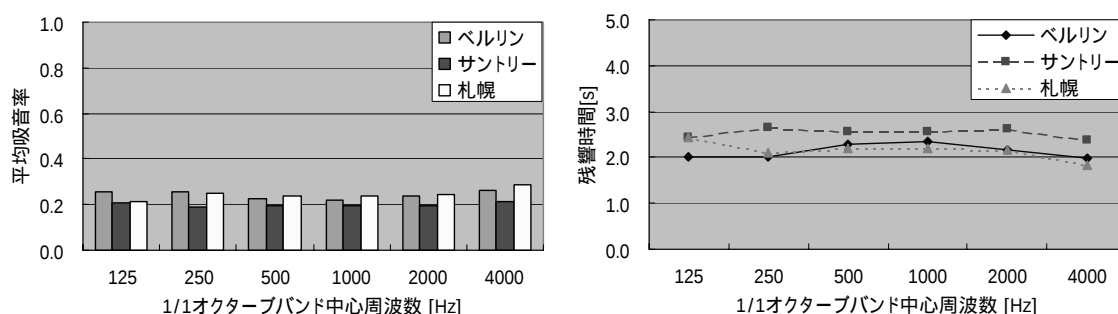


図3 ワインヤード型ホールの平均吸音率および残響時間

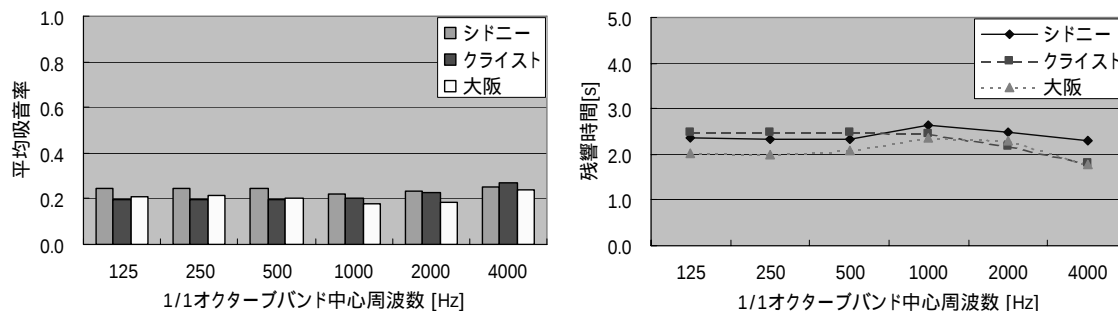


図4 アリーナ型ホールの平均吸音率および残響時間

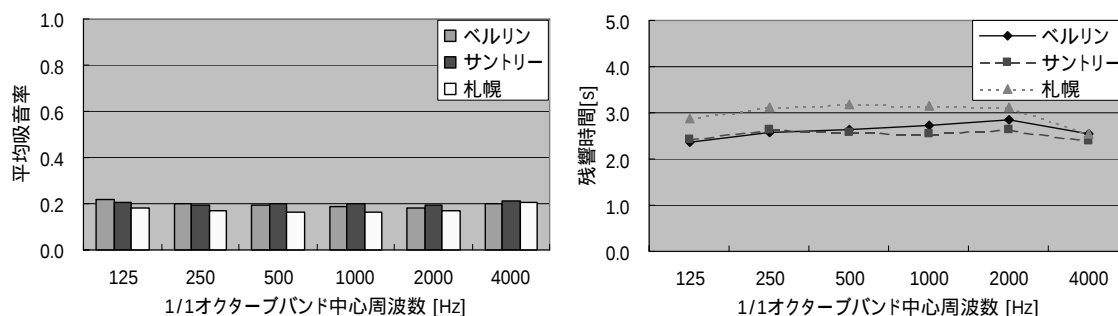


図5 ワインヤード型ホールの平均吸音率および残響時間 (材料統一後)

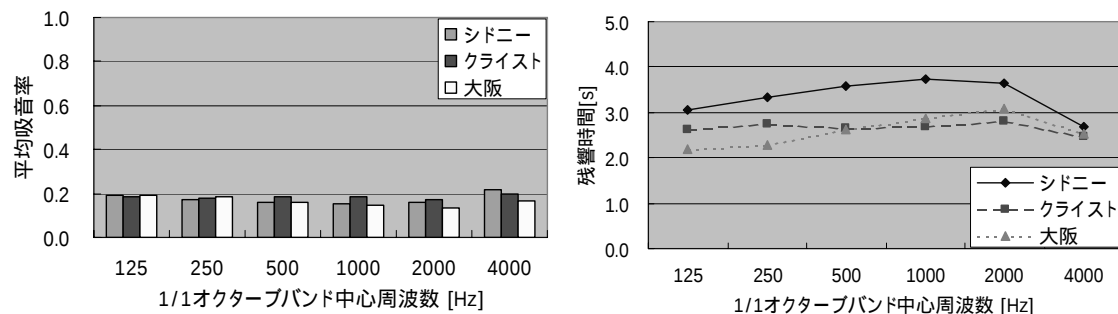


図6 アリーナ型ホールの平均吸音率および残響時間 (材料統一後)

が、材料の吸音率を統一することによりそれらのばらつきは小さくなる。

材料の吸音率を統一する前の残響時間は全てのホールにおいて 2.0～2.5 [s]であるが、材料の吸音率を統一した後の残響時間は、シドニー・オペラハウスを除く 5 つのホールでは 2.5～3.0[s]前後となる。シドニー・オペラハウスの残響時間は他の 5 つのホールと比して大きい。室容積や 1 席当たりの室容積 (V/N) は札幌 Kitara が最も大きい、表面積/室容積 (V/S) はシドニー・オペラハウスが最も大きいため、材料を統一すると残響時間が一番大きくなる。このことから、実際のシドニー・オペラハウスでは、残響時間を抑えるために吸音率の大きい材料を使用していることがわかる。 V/S が 2 番目に大きい札幌 Kitara は、残響時間も 2 番目に大きく、3.0[s]前後を示す。

V/S の大きさが 3.1 前後のベルリン・フィル、サントリーホール、クライストチャーチの残響時間は、いずれも 2.7[s]前後の値を示す。

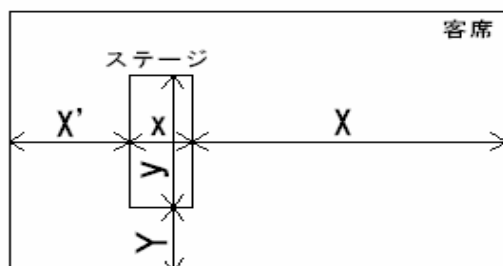


図7 客席およびステージ

4.2 室内平面形状による比較

各コンサートホールの平面形状において、ステージ正面側の客席の長さを X 、ステージ後側の客席の長さを X' 、ステージ横側の客席の長さを Y 、ステージの奥行きを x 、幅を y 、とした時 (図7)のそれらの長さおよび比率を表2および表3に示す。また、客席およびステージの長さの比率をグラフにしたものを図8および図9に示す。シドニー・オペラハウスを除くホールでは、 X'/Y が 1.0 程度であり、ステージ後方の客席と横側の客席の長さはほぼ等しい。

室平面の形状が、長方形に近いサントリーホールおよび大阪シンフォニーの X/Y は 5.0 前後であり、台形や楕円形に近い札幌 Kitara およびクライストチャーチの X/Y は 3.7 前後である。

またベルリン・フィルの X/Y は 2.5 と一番小さい。

シドニー・オペラハウスの X/Y は 8.0 と一番大きく、 x/y 、 x/X 、 x/X' はいずれも一番小さい。

4.3 札幌 Kitara とシドニー・オペラハウスの比較

札幌 Kitara およびシドニー・オペラハウスはともに、室容積が 25000 [m³] を超える大規模なホールだが、前者の音響は評判が良く、後者のそれは悪い。

表2 客席の長さおよび比率

	X [m]	X' [m]	Y [m]	X/Y	X'/Y	X'/X
ベルリン・フィル	27	12	11	2.5	1.1	0.4
サントリーホール	34	7	7	4.9	1.0	0.2
札幌Kitara	34	11	9	3.8	1.2	0.3
シドニー・オペラハウス	40	10	5	8.0	2.0	0.3
クライストチャーチ	25	8	7	3.6	1.1	0.3
大阪シンフォニー	26	6	5	5.2	1.2	0.2

表3 ステージの長さおよび比率

	x [m]	y [m]	x/y	x/X	x/X'	y/Y
ベルリン・フィル	13	16	0.8	0.5	1.1	1.5
サントリーホール	12	18	0.7	0.4	1.7	2.6
札幌Kitara	18	20	0.9	0.5	1.6	2.2
シドニー・オペラハウス	10	17	0.6	0.3	1.0	3.4
クライストチャーチ	13	16	0.8	0.5	1.6	2.3
大阪シンフォニー	12	20	0.6	0.5	2.0	4.0

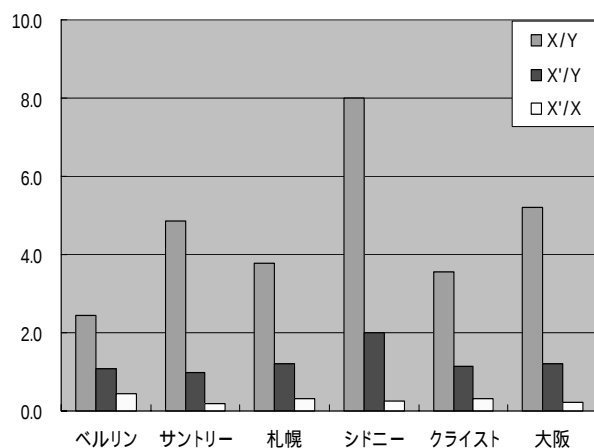


図8 客席の長さにおける比率

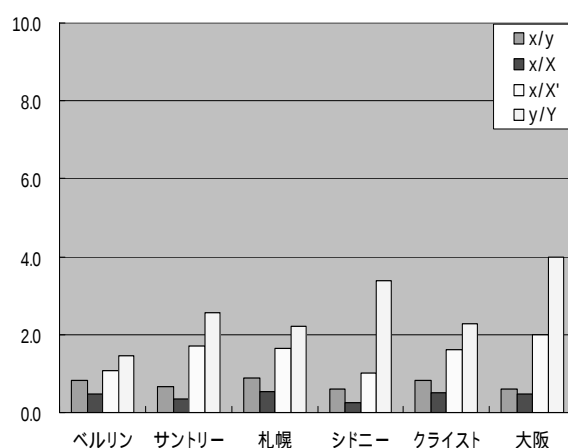


図9 ステージの長さにおける比率

シドニー・オペラハウスの音響の悪い原因としては、その長細い室形状が挙げられる。室容積に対し Y が小さいため、 X/Y が 8.0 と他のホールを大きく上まわる。また、前述したように、 V/S が大きいために吸音率の大きい材料で残響時間を調整している。これも音の響きを悪くしている原因と考えられる。

一方、札幌 Kitara は、シドニー・オペラハウスより室容積が大きく、 V/N も 14.0 と 6 つのコサートホールの中で一番大きい。が、 V/S が 3.3 と後者に比して小さいため、材料の吸音率を大きくする必要がない。このことから、 V/N を大きくした大規模な空間は、吸音率を大きくして調整するのではなく、 V/S をできるだけ小さくして調整すれば、良質で豊かな残響が得られることがわかる。

5 結論

今回の解析結果から得られた 2000 席前後のワインヤード型およびアリーナ型コンサートホールにおいて良質な残響時間を得るための条件を以下に示す。

- 1) V/S は 3.0 前後が望ましい。
- 2) V/N の大規模な空間の場合は、平面形を楕円や正方形に近い形状とし、 V/S が大きくなりすぎないように調整する。
- 3) ステージ正面、後方および側方の客席長さの比率はステージの位置により異なるが、2.5:1:1 から 5:1:1 の間が望ましい。

以上の点を踏まえてコンサートホールを設計すれば、内部の形状がある程度自由な設計であっても、比較的豊かな残響時間が得られると考える。ワインヤード型およびアリーナ型コンサートホールにおいて、良質な残響時間を得るための条件をコンピュータ・シミュレーションの解析により求めた。ホールを設計する際は、残響時間だけでなく、明瞭度や相対音圧レベルなど様々な音響パラメーターが必要である。今後は残響時間だけでなく、明瞭度や相対音圧レベルなども含めて比較検討していきたい。

< 参考文献 >

- 1) 塩川博義、ほか、コンピュータ・シミュレーションを用いたコンサートホールの音響特性に関する研究 その 1 - 3, 日本大学生産工学部 学術講演会 建築部会 講演概要,(2000-2005)
- 2) 日本建築学会, 建築の音環境設計<新訂版> (2003)
- 3) Leo Beranek, Concert And Opera Halls, How They Sound, Acoustical Society of America through the American Institute of Physics, (1996)