

音楽ホールの座席吸音率に関する検証

その1 残響室法吸音率とホール残響時間からの類推

上田泰孝^{*1}

反射性材料で構築される音楽ホールにおいて座席は大きな吸音体となり、室内の拡散といった音響特性にも大きく寄与する材料である。今回は座席吸音率に着目した結果について報告する。まず座席吸音率について残響室法吸音率測定から得られた結果と座席設置前後のホール残響時間の差から求めた座席吸音率について比較した。その結果周波数によって違っており、中音域においてホール設置状態での座席吸音率は、残響室法で得られた結果の8割程度であった。その差について検証することを目的として幾つかの解析を行った結果についても報告する。

キーワード：残響時間、客席、吸音率、残響室法吸音率、コンサートホール

1. はじめに

音楽ホールの音響特性としていろいろなパラメーターがあるが、基本音響特性として「残響時間」が挙げられ設計段階に予測することが求められることが多い。その際、ホール内の仕上げ材料で最も吸音力がある座席の捉え方が重要となってくる。「座席の捉え方」と表現したのは、座席の構成材料による吸音性能だけでなくその形状から室内の拡散性にも関係しており、座席は平面的のみならず空間的（層状）に配置されるため、ホールの音響性状に大きな影響を与えている。そのためこれまで座席吸音率の評価のみならずその間隔、寸法および勾配といった観点から座席列の影響についていろいろな検討がされている^{1)~6)}。

前回報告⁷⁾した音楽ホールの建設において残響時間の微調整を目的に座席設置前後の残響時間を測定した。座席設置前後の残響時間についての報告事例はほとんど無いため、今回ホールを残響室として求めた座席吸音率と残響室法吸音率を単純に比較した内容について報告する。また客席設置前後のインパルス応答測定結果（無指向性単一マイクおよび6chマイク）について解析した内容についても報告する。

2. 比較結果

1) 残響室法吸音試験による座席吸音率

図-1に残響室法吸音試験結果⁸⁾、図-2に座席寸法を示す。写真-1に示すように座席周囲に囲い(WELL)を設置して評価することになっている。

座席はコトブキシーティング(株)製、成績番号No.11024、

試験体 TSG-712638L である。背および座にはウレタンフォーム入りで布張りである。

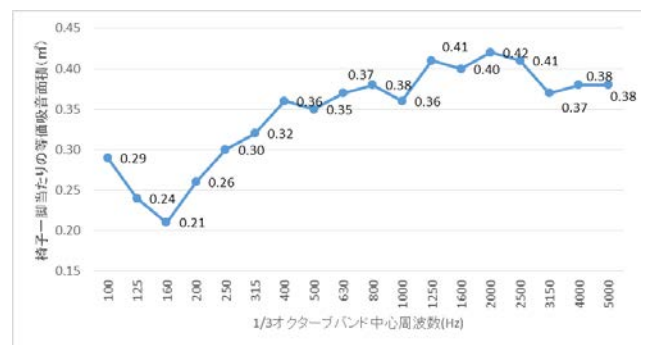


図-1 残響室法吸音試験結果

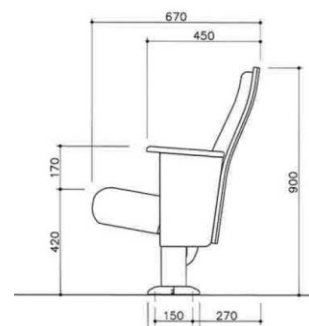
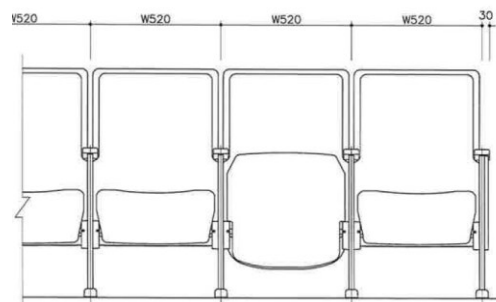


図-2 座席寸法

*1 建築研究第二部



写真-1 測定状況写真

2) 残響時間測定から求めた座席吸音率

表-1に座席設置前後のホールの残響時間より求めた座席吸音率を示す。表-2にホールの諸元を示す。図-3にホールの残響時間測定位置、写真2に測定状況写真を示す。

ホールの残響時間は、ステージ上の4か所に12面体スピーカーを設置し、ステージ上4か所および客席内(7か所)で測定した。今回客席内のみの残響時間測定結果を算術平均した値を用いた。座席設置前の吸音力から座席下部に相当する面積部分の吸音力を減じた値と座席設置後の吸音力の差から1席あたりの座席の吸音力を求めている。なお座席下部の面積は過去の検討結果¹⁾より、座席周囲の0.5m外側までを対象とした。

$$RT = 0.161V / -S \ln(1 - \bar{\alpha}) \quad (1)$$

ここでRT: 残響時間 (秒), V:容積 (m³), S:表面積 (m²), α : 平均吸音率

表-1 座席設置前後のホール残響時間から求めた座席吸音率

Hz	125	250	500	1000	2000	4000
①座席なし RT(sec)	3.22	2.86	2.88	3.25	3.44	2.98
②吸音力 (m ²)	517.5	578.3	575.1	513	486.5	555.6
③座席下部 の吸音率	0.14	0.09	0.06	0.05	0.05	0.06
④座席下部 の吸音力	71.5	45.9	30.6	25.5	25.5	30.6
⑤吸音力 座席なし	446.0	532.4	544.5	487.5	461.0	525.0
⑥座席あり RT(sec)	2.41	2.11	2.04	2.14	2.03	1.67
⑦吸音力 (m ²)	676.4	762.6	787.4	753.1	790.8	938.6
⑧座席全体 吸音力 (m ²)	230.4	230.2	242.9	265.6	329.8	413.6
⑨一脚吸音 力 (m ²)	0.26	0.26	0.27	0.30	0.37	0.46

表-2 ホールの諸元

容 積 :	11,000 m ³
表 面 積 :	4,090 m ²
座 席 数 :	900 席
座席下部面積※:	1F 席 302.4 m ² 合唱席 74.5 m ² バルコニー席 18.7 m ² 2F 席 114.9 m ²

※座席設置位置周囲の0.5mまでを対象

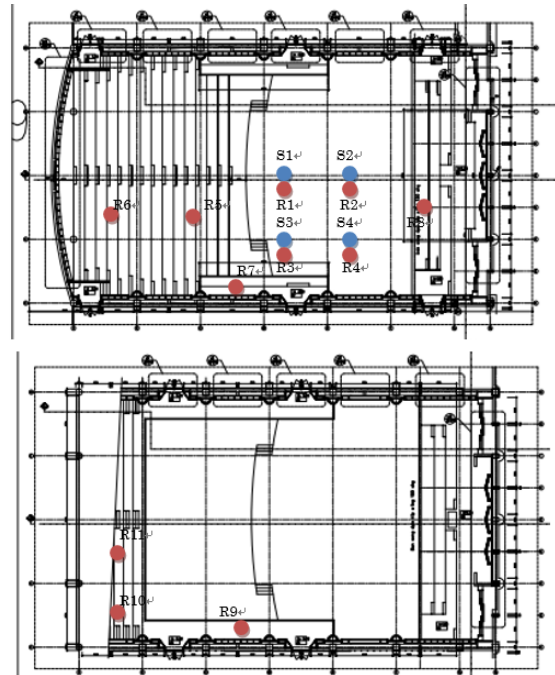


図-3 残響時間測定位置

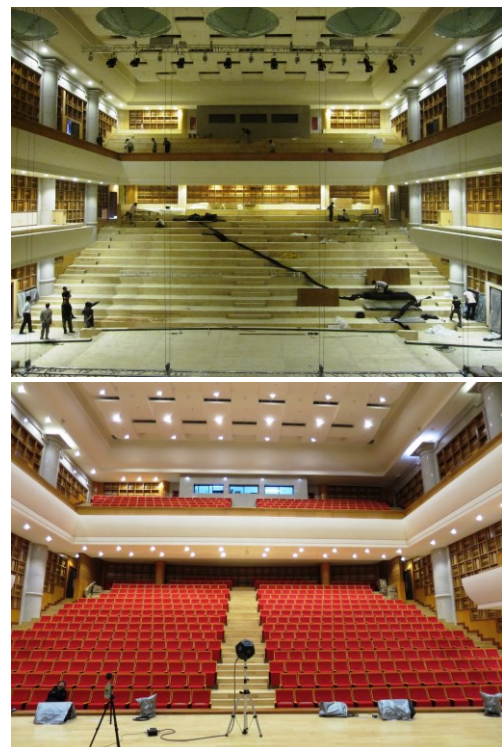


写真-2 測定状況写真 (上 座席設置前, 下 設置後)

3) 吸音率の比較

図-4に残響室法とホールの残響時間測定から求めた座席吸音率の比較を示す。

低音では同程度, 中音域では残響室法吸音率結果の8割程度となり高音域ではホールから求めた吸音率の方が大きくなっていった。

低音では座席列上を伝搬する時に指摘されるシートディップによる影響が考えられる。また高音でホールでの吸音率が大きくなっているのは、温度・湿度の空気吸収の影響も考えられる。残念ながらホール内で測定時の温度・湿度を記録していない。写真-2に示すようにホール座席の傾斜角度が急であるため、座席の見かけの表面積が大きくなっていることが影響している可能性もある。

一方中音域ではほぼ相対的に推移しており、座席面積の捉え方のみならず表面積および容積の算出など追加検証する必要がある。ただ今回の計測では、大きな空間となっているステージ上の残響時間と客席内の残響時間は相対的に違っていたことから、ホール内は残響室のような完全拡散音場となっている訳ではないことを考えると妥当な結果のように思われる。

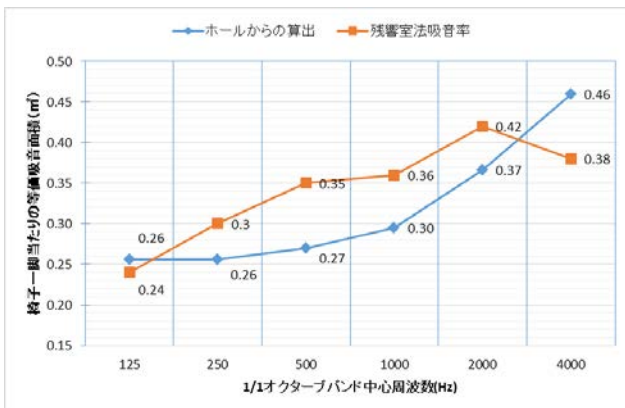


図-4 座席吸音率の比較

3. 基礎的な検証

1) インパルス応答の周波数特性

図-5に座席設置前後の無指向性単一マイクによるインパルス応答を図-6にその周波数特性を示す。

測定点R5, 6, 9, 11においては、6chマイク⁹⁾によるインパルス応答の計測を行った(写真-3)。6chマイクは、単一指向性マイクが6方向(前(front), 後(back), 上(up), 下(down), 左(left)および右(right))に配置され、方向別の同時計測が可能である。参考に測定点R5における方向別インパルス応答を示す(図-7)。R5では前方向と左方向から強い反射音が到来しており、左前方から反射音が到来していることが推測されるように反射

音のインテンシティを求めることができる。客席位置により方向別の反射音構造は大きく異なり、その検討はいろいろな角度から成されている。今回の報告主旨とは異なるため、ここでは、直接音が到来している前方向のインパルス応答についてのみ着目することにした。

図-8~11に測定位置別に得られたインパルス応答の周波数特性を示す。1階席にあるR5および6では座席設置後に100Hz前後でディップが見られる。バルコニー席であるR9では高音域での周波数特性が落ち込んでいる。2階席のR11では、インパルス応答から残響時間は座席設置により短くなっているが、その周波数特性に極端な変化は見られない。

これらより、1階席では従来から言われるように座席列による影響(シートディップ)が低音域で生じている可能性がある。バルコニー席は直接音が到来し難い位置であるため、音が到来する過程で傾斜角度が大きい客席に音が入射し結果的に吸音されていると考えるのが自然である。2階席ではフラットな周波数特性が座席設置前後で見られた。本ホールは、壁面に拡散パネルが取り付けられており、音源から離れた地点では拡散性が高くなり座席設置による効果が解り難くなっている可能性がある。

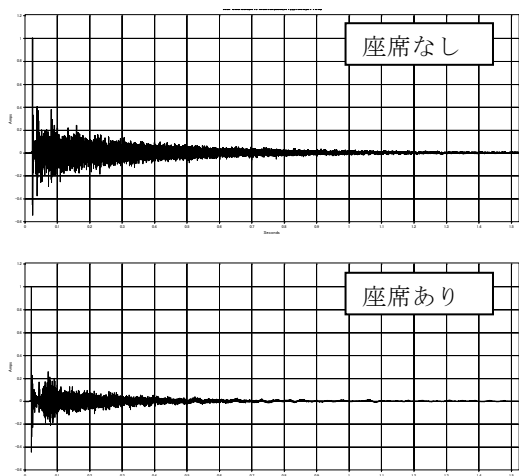


図-5 座席有無のインパルス応答(測定位置R5)

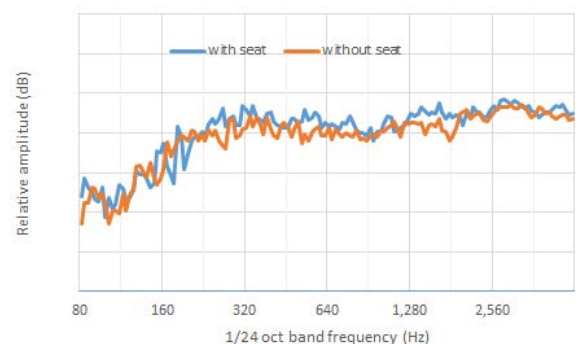


図-6 インパルス応答の周波数特性

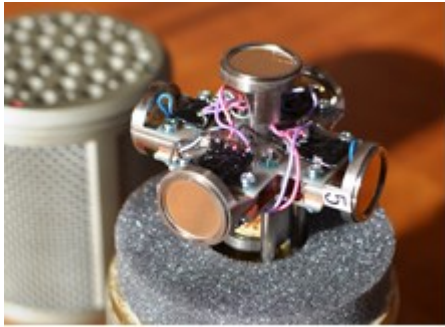


写真-3 6chマイク

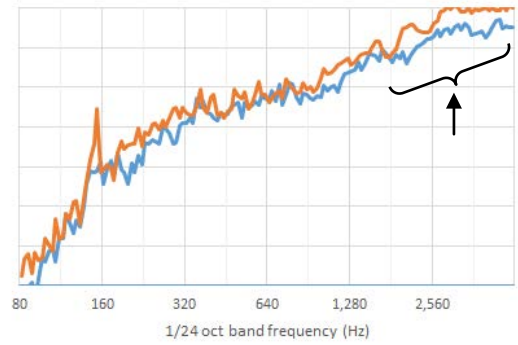


図-10 インパルス応答の周波数特性 (測定点 R9, 前方向)

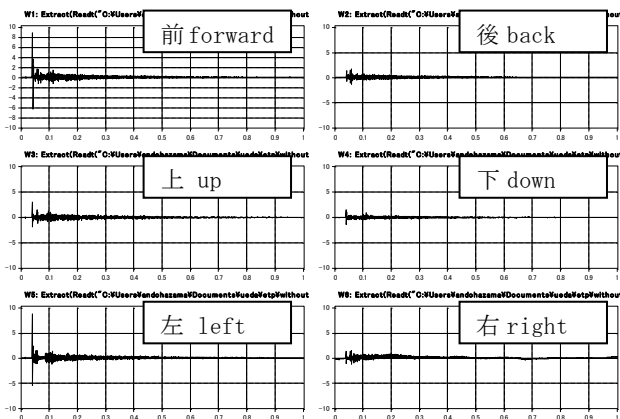


図-7 R5における各方向別のインパルス応答

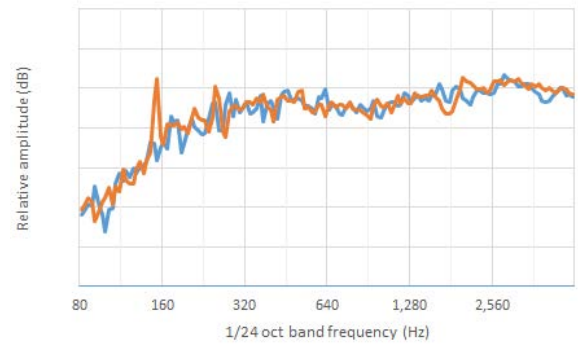


図-11 インパルス応答の周波数特性 (測定点 R11, 前方向)

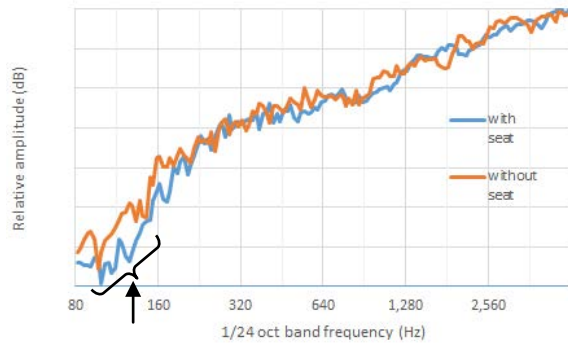


図-8 インパルス応答の周波数特性 (測定点 R5, 前方向)

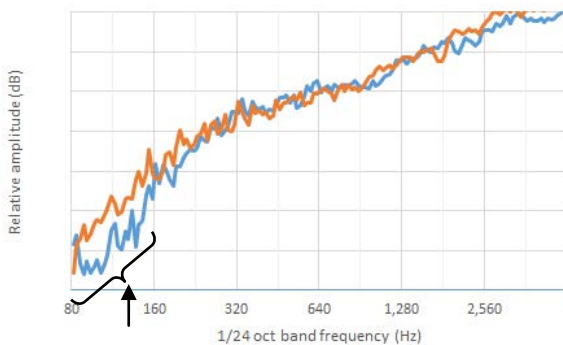


図-9 インパルス応答の周波数特性 (測定点 R6, 前方向)

4. まとめ

残響室法とホールの残響時間から求めた座席吸音率を比較した結果、低音域において実際のホールでの座席吸音率が大きく、中音域では相対的に残響室法吸音率が大きく、高音域ではホールから得られた吸音率が大きくなった。

その原因について以下のような仮定を立て基本的な解析を行った。低域では座席列によるシートディップ効果がホール内にあり吸音率が大きくなっている。中音域では座席面積だけでなく表面積もしくは容積の算出が影響しもしくは完全拡散音場（残響室）と非拡散音場（ホール）の違い。高音域では座席床の勾配が大きいためにWELLで囲まれた残響室より座席の見かけ面積が大きくなっている。無指向性単一マイクから得られたインパルス応答の周波数特性では判明しなかったが、各座席位置での6chマイクの結果から、低音と高音における差について糸口が得られたと考える。

またこれらの基礎的な検討により、このようなホール内の音響特性（客席の傾斜角度や拡散性の評価¹⁰⁾など)について6chマイクによる評価の可能性を感じた。本結果は一つの測定事例でしかないが引き続きインテンシティの時間変化などの追加検討を行う予定である。

参 考 文 献

- 1) 日高他, “コンサートホールおよびオペラハウスにおける椅子・ヒトの吸音と残響時間の予測計算”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA2003-14, 2003.
- 2) 飯田, 安藤, 前川, “座席列上の音響伝播特性とその室内音場シミュレーションへの適用”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA86-04, 1986.
- 3) 堀之内, 小川, “Seat-Dip-Effect に関する基礎的考察”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA99-17 1999.
- 4) 桜井, “オーディトリウム座席面の反射係数について”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA80-32 1980.
- 5) 河井, 寺井, “積分方程式による座席列上の音響伝播特性の解析”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA86-03 1986.
- 6) 堀之内, 豊田, “座席列周辺における音圧・インテンシティ分布の可視化”, 建築音響研究会資料, 資料番号 AA2001-26 2001.
- 7) 上田, 小川, “Acoustic Examinations of the Hanoi Concert Hall”, 安藤ハザマ研究年報, Vol2, 2014.
- 8) 残響室法吸音率試験成績書, コトブキシーティング株, 成績書番号 No. 11024, 2011.
- 9) YANO Hiroo, OHTA Tatsuya, YOKOYAMA Sakae, TACHIBANA Hideki, “Sound source localization by 3-D sound intensity measurement using a 6-channel microphone system”, *internoise 08*, 2008.
- 10) 佐久間, “壁面の拡散性の解析及び評価法”, 日本音響学会誌 61 巻 1 号, pp39-44, 2005.

Examination of Absorption Coefficient of Audience Sheet

Yasutaka UEDA

This time, the reverberation time difference between with and without an audience sheet was measured. And the absorption coefficients of the audience sheet, which were derived from the reverberation room and concert hall reverberation, were compared. Differences in the absorption coefficient were observed at low middle and high frequency ranges. The impulse responses of six directions (forward, back, up, down, left and right) were also measured. From the results of exchanging the frequency character of the forward direction impulse response, the cues of these differences in the frequency character were obtained. The six directional impulse responses will be examined in more detail in the future.