

野口遵記念館の音響設計

—音楽ホールにおける拡散形状の組み合わせによる反射音の最適化—*

○日根野翔太, 宮崎秀生 (ヤマハ), 豊田政弘 (関西大学), 岸永伸二

1 はじめに

延岡市の文化振興を担い、長年市民に親しまれていた野口記念館の再整備事業として計画された本施設は、675席の音楽ホール（多機能型）、フリースペースや練習室、施設名称を冠している野口遵翁に関するギャラリーを備える公共文化施設である。筆者らは設計チームの一員として、音楽ホールを中心とした遮音・騒音制御、室内音響に関して検討を行った。施設外観を図1に、施設概要を表1に示す。



図1 施設外観

2 音楽ホールの音響設計

2.1 音響設計コンセプト

音楽ホールの内装については、地域文化をモチーフにしたデザインが各所に散りばめられており、延岡の文化を強く感じられる意匠を有している。音響設計においては、この特徴的なホール内装の拡散性に着目し、意匠性と音響性能が両立した生音主体のホールをコンセプトに設計を進めた。なお、本敷地は景観条例による高さ制限が設けられていたため、フライ高さが確保できない課題があった。そのため、舞台機構の構成や納まりについては詳細検討を行い、反射板形式から幕設備形式まで幅広い演目に対応可能な多目的ホールを目指した。図2に音楽ホールの室内音響設計コンセプト、図3に音楽ホールの平面図・断面図を示す。

2.2 反射板形式：音楽演奏に適した音場実現 音楽演奏に適した響きの創出

高さ制限は舞台だけでなく客席空間にも影響するため、響きを創出するうえで重要な気積が確保しにくい条件となっていた。気積を確保するためには、内装天井を貼らず天井裏まで一体とする手法もあるが、天井面からの初期反射音が乏しくなることで、明瞭性の低い音場となる恐れがある。そのため、内装天井は設置しつつ、舞台空間の高さを確保し、客席空間の幅を可能な限り広くすることで気積を確保する方針とした。舞台空間については、気積の確保に加えて、舞台と客席の一体化（ワンルーム化）を図るため、後述す

表1 施設概要

名称	野口遵記念館
所在地	宮崎県延岡市東本小路 119-1
事業主	延岡市
設計・監理	香山・小嶋・菊池・松下・コトブキ・オーツ JV
音響設計	ヤマハ (株) 空間音響グループ
施工 (建築)	フジタ・司・大喜 JV
構造	RC造、S造
階数	地上3階
工期	2021年2月15日～2022年12月31日

るスペースを最大限活用した反射板機構により、可能な限り高さを確保した。客席空間の幅については、広くすることで気積を確保できるが、客席中央では壁面からの距離が遠くなるため、側方反射音のレベルが低下し、音楽用途において重要となる拡がり感が得られにくくなる恐れがある。そのため、基本形状をシューボックスとし、音響底と後述する側壁拡散によって側方反射音を補強することで、室幅を同規模ホールと比べて広く設定しつつも、音楽演奏に適した拡がり感が得られる構成とした。また、主階席の範囲から外れる側壁近傍の天井面については、折り曲げ天井とすることで可能な限り気積を確保した。最終的には、 $10.1\text{m}^3/\text{席}$ と十分な気積を確保できている。

残響時間と平均吸音率の測定結果を図4に示す。残響時間（中域：250～2kHz 平均値）は1.7～1.6秒（空席実測値～着席推定値）、平均吸音率は0.18～0.19（空席実測値～着席推定値）であり、音楽演奏に適した残響感が得られる音場が実現できている。

反射音の最適化

① 拡散体配置検討による反射音最適化

前述の理由から、客席天井の高さは低め（最

* Acoustic Design of the NOGUCHI Shitagau Memorial Hall – Optimization of reflected sound by combining diffusion shapes in concert hall -, by HINENO Shota, MIYAZAKI Hideo(YAMAHA Corp.), TOYODA Masahiro(Kansai Univ.), KISHINAGA Shinji

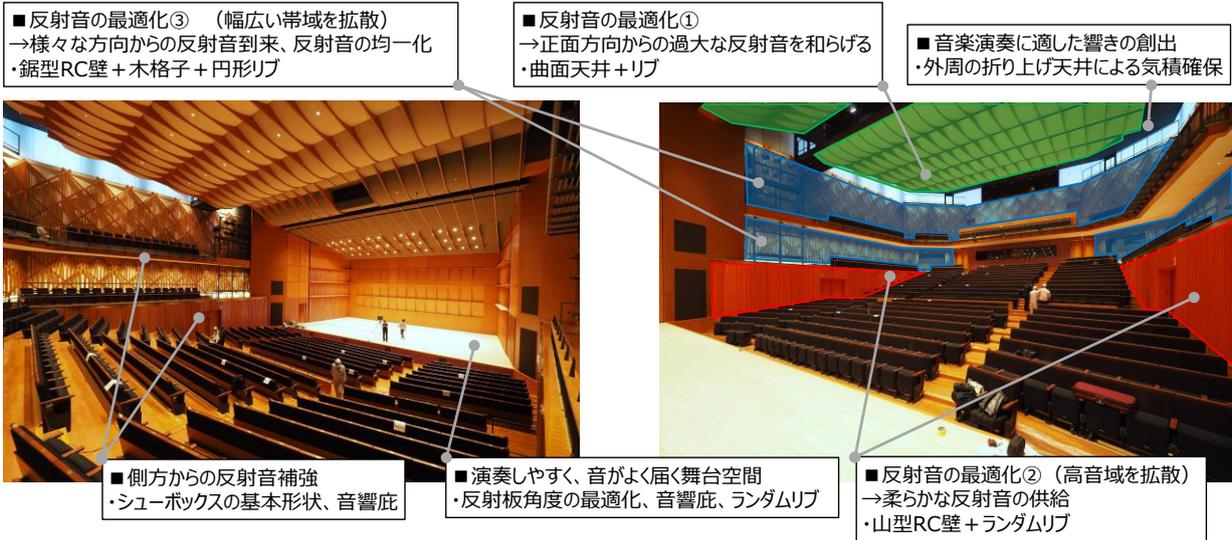


図2 室内音響設計コンセプト

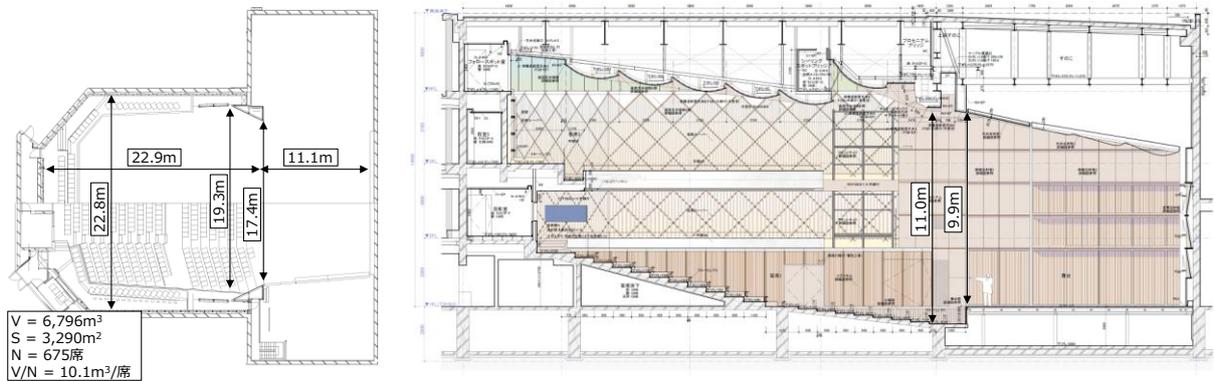


図3 平面図・断面図

大11m)に設定されている。客席天井は初期反射音を供給する重要な反射面であるが、客席と天井の距離が近い場合には、正面からの反射音が主体的となり、側方や後方からの反射音が相対的に低下することが懸念される。これによる「拡がり感」や「包まれ感」の低下を避け、反射音到来方向のバランスの最適化を目的として、天井・壁の拡散性について着目し、設計を行った(図2参照)。

天井については、流れるような曲面とリブにより構成され(図2緑枠部分)、水源豊かな延岡の川の流れをイメージした意匠性と、正面からの反射音を和らげる音響性能を有する拡散天井とした。

側壁については、主階席エリア(図2赤枠部分)と主階席以外のエリア(図2青枠部分)で分け、それぞれ異なる拡散効果を持たせた。主階席エリアについては、側方からの反射音を積極的に返しつつ、高音域の反射音を拡散することによって、ぎらつきのない柔らかな反射音を供給することを目的とし、山型のRC壁とランダムリブの構成とした。主階席以外のエリアについては、様々な方向から反射音が到来することや到来する反射音の均一化を目的として、幅広い帯域に効果的な拡散体を

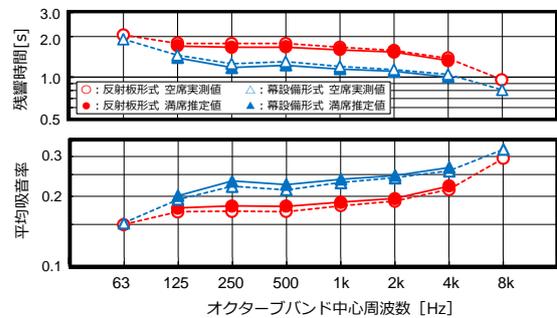


図4 残響時間・平均吸音率測定結果

検討した。その過程で、意匠面から木格子や木リブを用いて延岡名物である「鮎築」をモチーフとしたデザインを取り入れたいという要望があった。そこで、意匠性と前述の音響性能が両立した拡散体として、木格子と円形木リブで中高音域を拡散し、低音域については背後に設けた鋸型のRC壁で拡散する構成とした。加えて、木リブの断面寸法を場所によって変えることで、場所ごとの拡散性能を変化させ、ホール内の反射音構造がより複雑となるよう意図した。断面寸法は、30~90φ(15φ刻み)の5種類とした。また、等間隔配置したリブによる過剰な吸音を避けるため、リブ断面寸法によらず開口率を50%前後に設定し、適度な音響透過性を持たせた。

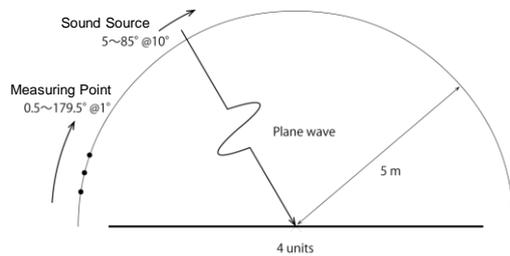


図5 解析条件概要

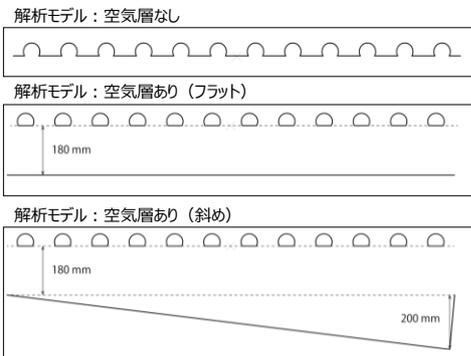
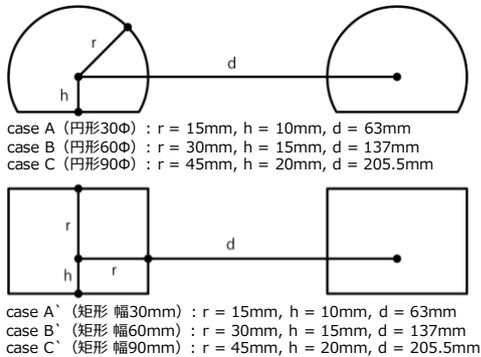


図6 解析リブモデル

② 施工段階における側壁音響特性の検討

施工段階においては、数値解析と残響室法吸音率測定を行い、主階席以外の拡散体の効果や影響を確認した。

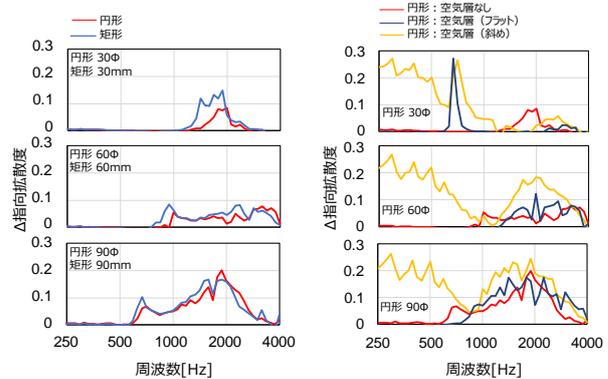
②-1 数値解析による確認

数値解析（境界要素法：解析周波数 250～4kHz, 1/3 オクターブバンド）による拡散効果の確認に用いた指標は次式 (1) で表される指向拡散度^[1]を使用した。

$$d_{\theta} = \frac{(\sum_{i=1}^n E_i)^2 - \sum_{i=1}^n E_i^2}{(n-1)\sum_{i=1}^n E_i^2} \quad (1)$$

ここで、 E_i は各方向の散乱エネルギー、 n は方向分割数であり、完全鏡面反射の場合は $d_{\theta}=0$ 、完全拡散反射の場合は $d_{\theta}=1$ となる。解析条件の概略図を図5に示す。評価においては、音源角度毎に得られる d_{θ} を算術平均した値を算出し、リブがないフラットな壁面の計算結果との差分により比較した。解析リブモデルを図6に示す。

まずは設定している円形リブの音響特性を確認するため、矩形リブとの比較を実施した。両形状ともに壁に直付けの条件（空気層なし）を想定した。解析結果を図7(a)に示す。矩形リブはピークディップが生じやすい傾向があることから、円形のほうがリブの断面形状



(a) 断面形状による違い (b) 空気層による違い
 図7 解析結果

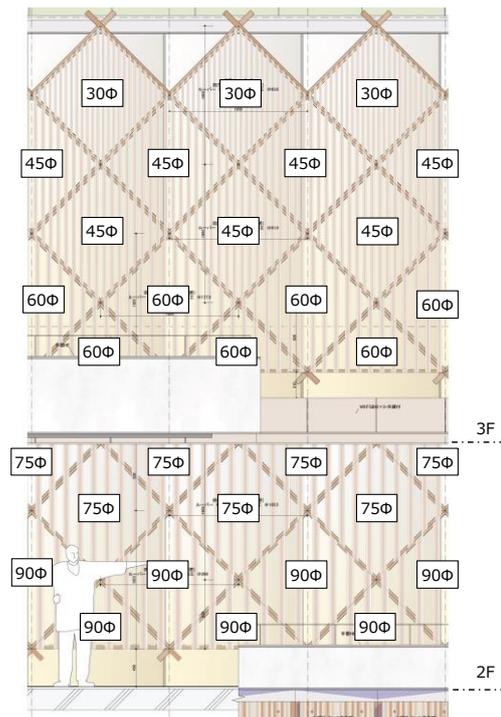


図8 リブ最終配置

としては望ましいと考えられる。

続いてリブ背後空気層による影響を確認した。解析結果を図7(b)に示す。フラットな空気層を設けたものでは、空気層がないもの比べて明確な指向拡散度の向上はみられない。一方で空気層を斜め壁としたものでは、全帯域にわたって指向拡散度の向上がみられることから、意図した効果が得られていると考えられる。なお、30φの667Hz付近に生じているピークは解の一意性の問題による計算誤差であると考えられる。これらの結果からリブ配置については、全帯域にわたって最も指向拡散度が高かった90φを主階席に近い下部に配置し、上方に行くにしたがって細くなるように配置した。最終配置を図8に示す。

②-2 残響室法吸音率測定による確認

拡散体の吸音特性を確認するため、モックアップを作成し残響室法吸音率測定を実施した(図9)。測定結果は、吸音率0.1前後のフラットな特性であり、過剰な吸音がないことを確認した。

③ 音響測定結果による拡散効果の評価

音響インテンシティにより反射音の到来方向と強度を可視化した測定結果を図 10 に示す（解析周波数 500～2kHz, 解析区間 0ms～200ms）。反射音が広範囲に分布しており、懸念されていた天井面からの過剰な反射音到来を回避できている。また、LE 値の測定結果（図 11）では、平均値が 21.1%であり、拡がり感を十分に得られる音場となっている。一般的に側壁近傍は反射面との距離が近いため、LE 値が過剰に上昇することが多いが、最大で 28%程度に抑えられている。また、客席中央においても 20%に近い値が得られていることから、拡散体によって反射音がバランスよく供給されていると推察される。

G 値の測定結果（図 11）については、標準偏差が 1.0dB と客席毎のばらつきが小さい結果が得られていることから、拡散体による反射音の均一化が実現できていると考えられる。

演奏しやすく音がよく届く舞台空間

反射板は、収納方法を工夫する（天井反射板：二分割の電動前後吊り方式、側方反射板：手動回転式）ことで舞台空間を大きく確保している。その上で、可能な限り隙間をなくするとともに、庇やランダムリブの配置、角度の最適化を行い、舞台空間の音場向上に配慮した。ST 値の測定結果は、ST1 が-11dB、ST2 が-9dB と十分な値が得られている。

2.3 幕設備形式：明瞭な拡声の実現

講演会や演劇などにおける明瞭性を確保するため、舞台袖やフライ壁を吸音処理し、幕設備形式時における後期反射音の低減を図った。残響時間（中域：250～2kHz 平均値）は 1.23～1.17 秒（空席実測値～着席推定値）、平均吸音率は 0.23～0.24（空席実測値～着席推定値）と、反射板形式から 0.5 秒程度の残響可変が実現できている（図 4 参照）。音響設備を使用した際の STI 測定結果は、0.63 (Good) であり、十分な明瞭性が確保されている。

3 遮音・騒音制御

図 12 に遮音性能と NC 値を示す。音楽ホールと近接するフリースペースについては、多用途における使用が想定されるため、浮き構造を採用し、Dr-70 の遮音性を確保した。空調設備稼働時における音楽ホールの NC 値は反射板・幕設備形式ともに NC-20 以下であり、あらゆる催事において問題のない静けさが確保されている。

4 おわりに

本稿では、ホール内装の拡散性に着目した音響設計について紹介をした。設計・施工段階において密に検討を重ねた結果、所望の音



図 9 残響室法吸音率測定風景

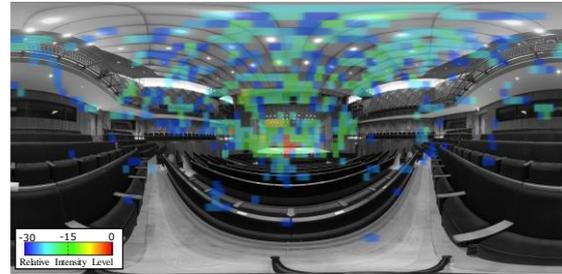


図 10 音響インテンシティ測定結果

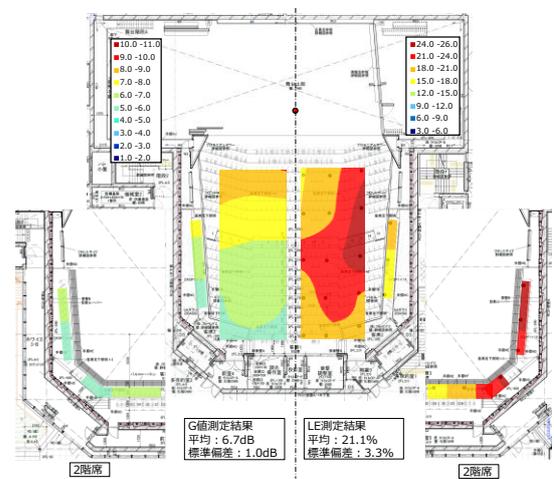


図 11 G 値・LE 値測定結果

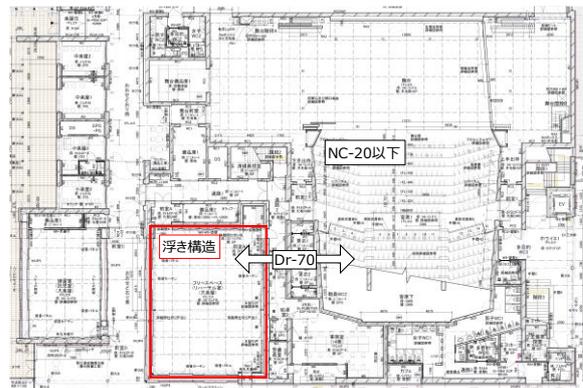


図 12 遮音・騒音測定結果

響性能が実現されており、聴感上も多方向から到来する適度な反射音を感じられ、拡がり感や包まれ感が高い音場である印象を受けた。今後は、延岡市の芸術文化を支える施設として活用されることを期待したい。

最後に本プロジェクトの設計、施工に携わられた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] AES-4id-2001: Characterization and measurement of surface scattering uniformity.