高槻城公園芸術文化劇場の音響設計

Acoustical design of Takatsuki Arts Theatre

中川　浩一*1

1. はじめに

高槻城公園芸術文化劇場は高槻市立市民会館の建替プロジェクトとして計画され、2023年3月にオープンした。敷地は高槻城跡の一角にあり、城跡公園の再整備と文化施設の整備を一体的に行うことで、歴史・文化ゾーンである地域の都市空間との調和を図り、賑わいの創出が期待されている。建物は1508席の大ホール、205席の小ホール、大・中・小の計11室のスタジオ（練習室）等から成る。地場産の杉材を内外装全体に使用し、ホール・スタジオは音の散乱を意図した木内装としている。

本稿はホール、スタジオの遮音計画、室内音響計画について紹介する。

表-1　建築概要

所在地	大阪府高槻市野見町6-8
建築主	高槻市
設計監理	日建設計 （設計時音響設計協力：永田音響設計）
施工	建築　大林組 電気設備　きんでんクリハラント共同企業体 空調・衛生設備　新菱菱和大成設備共同企業体 舞台機構設備　三精テクノロジーズ 舞台照明設備　松村電機製作所 舞台音響設備　ヤマハサウンドシステム
面積	19,075.80㎡/5438.86㎡/17,273.65㎡ （敷地/建築/延床）
構造規模	S造、SRC造、RC造 地下2階、地上3階、塔屋3階
工期	2019年11月～2022年8月

写真-1　施設外観

*1　NAKAGAWA Koichi：株式会社日建設計　エンジニアリング部門　設備設計グループ　環境デザインスタジオ
アソシエイト、博士（工学）

2. 遮音計画

室内騒音目標値は、各室の用途から、大・小ホールがNC-20、大スタジオ、中スタジオ1・3がNC-30、その他のスタジオは室内に露出型の空調機を設置することからNC-40～45とした。ホール・スタジオ合わせた13室全てが音源室でもあり受音室でもあることから、各室間の必要遮音性能を13室×13室のマトリックス状に相互に設定した上で、室配置と遮音仕様が適切であることを確認しながら設計を進めた。ホール・スタジオ各室は直接隣接せずに独立した平面配置とし、スタジオ群は大屋根の下で間に通路や諸室が設けられており、これらが遮音的なバッファーゾーンとなることを意図している（**図-3**、**図-4**）。小ホールと、スタジオの内、大音量発生が想定される室には防振遮音構造を採用した（**図-3**）。

小ホールの浮床は、防振ゴム上の大引にデッキプレートを置いてコンクリートを打設する一般的な工法の他に、舞台と客席後方の一部については、防振ゴムにフィルムをかぶせて直接コンクリートを打設した後に浮上させるジャッキアップ型浮床を採用している。（**図-1**、**図-2**）

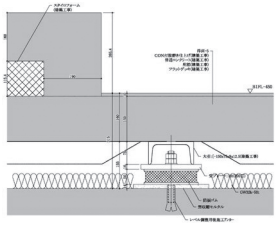


図-1　浮床断面図（小ホール客席）

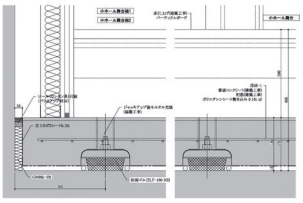


図-2　ジャッキアップ型浮床断面図（小ホール舞台）

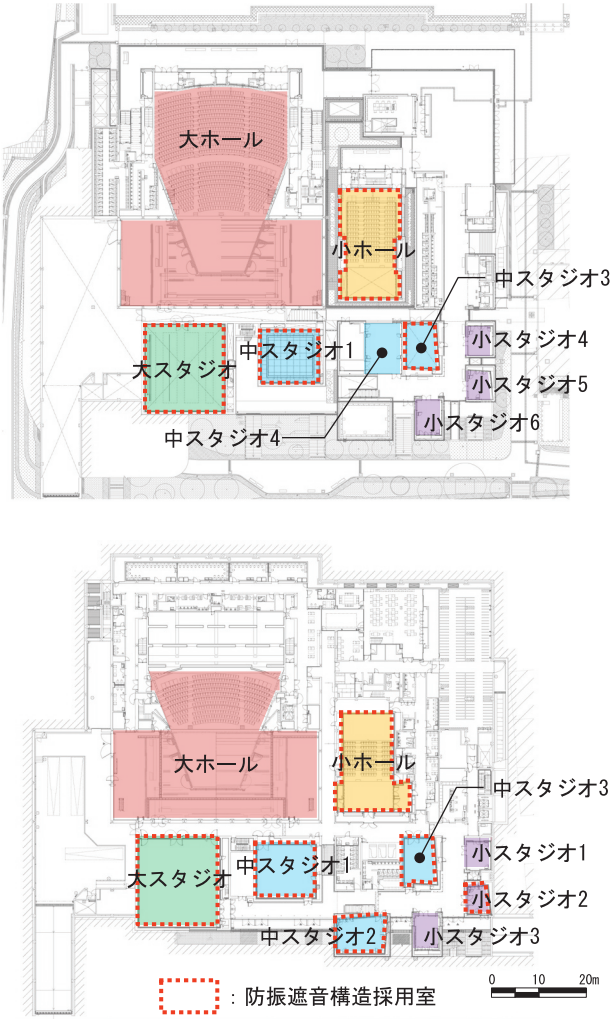


図-3　1階平面図（上）、地下1階平面図（下）

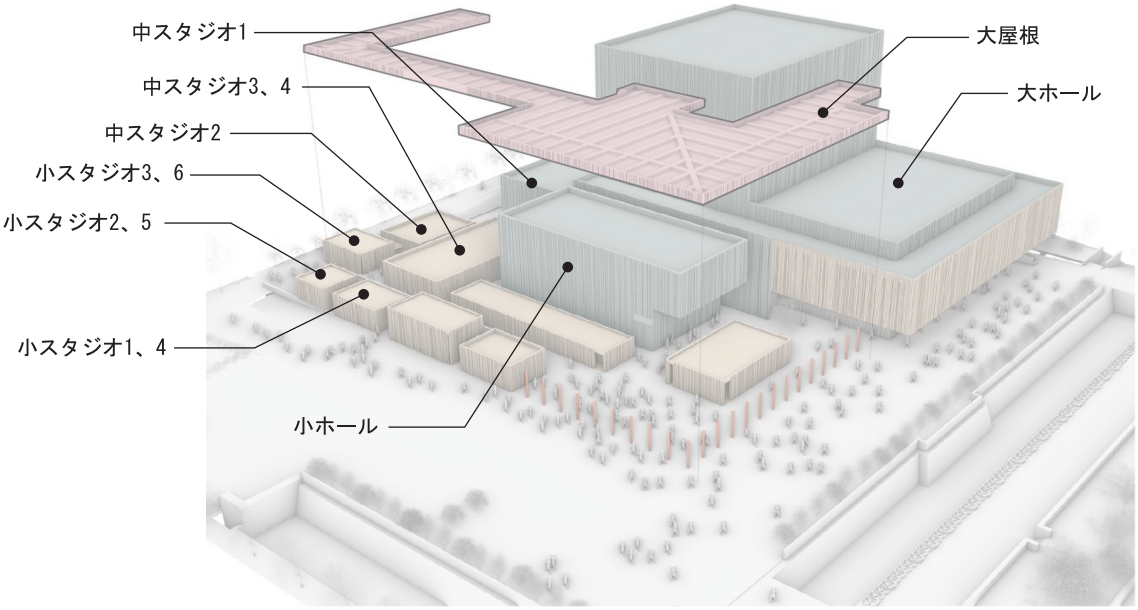


図-4　ホール・スタジオの分散・独立配置

3. 室内音響計画

3.1 大ホール

音楽公演を主用途とし、演劇等多彩な用途に対する機能も備え、市民利用・プロ公演の両方に対応する高機能ホールである。初期反射音の十分な確保のため、音響反射板設置時の舞台と客席が連続して一体空間となるように天井・壁を連続させ、天井高と客席幅のプロポーションに配慮した平断面形状とした。舞台と客席が近い臨場感のあるコンパクトな空間を指向したことから室容積が小さめになる傾向にあったため、床・壁はコンクリート仕上げで剛性を高めて目標残響時間を確保する方針とした。また、天井と壁に多数の木キューブを設置すると共に、舞台に近い壁面は基盤のコンクリート面も折れ壁状とし、拡散性を高めた。音響反射板には客席空間との一体化を図るための木キューブを配置した他に、正面・側面の反射板には鋼板で庇状の反射面（音響庇）を設置し、舞台や客席への反射音付与に寄与することを意図した。客席後壁は後述の木キューブの吸音率測定結果を元に目標残響時間となるように、1・2階とも反射性の仕上げとした。プロセニアム周囲のスピーカや、フロントサイド投光部は露出型とし、背後の面も反射面として利用している。

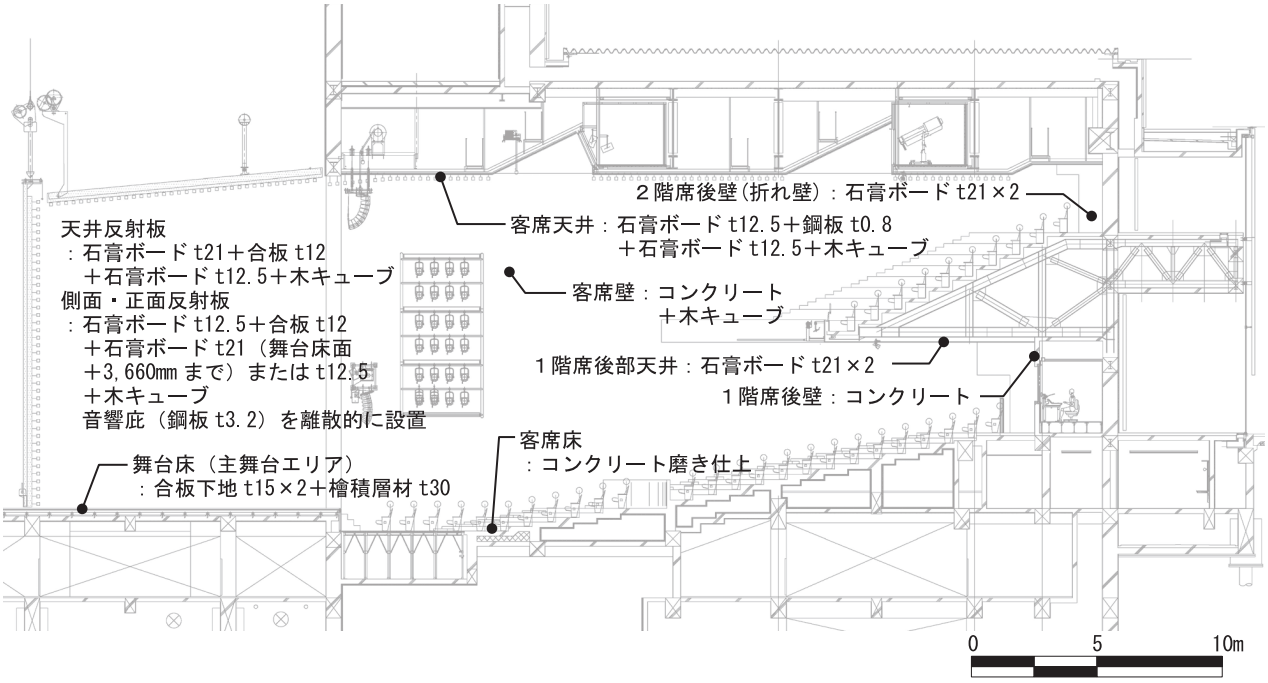


図-5　大ホール断面図

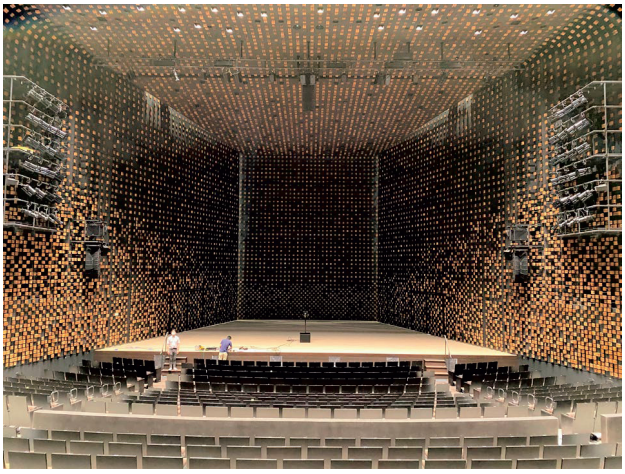


写真-2　大ホール（客席から舞台を見る）

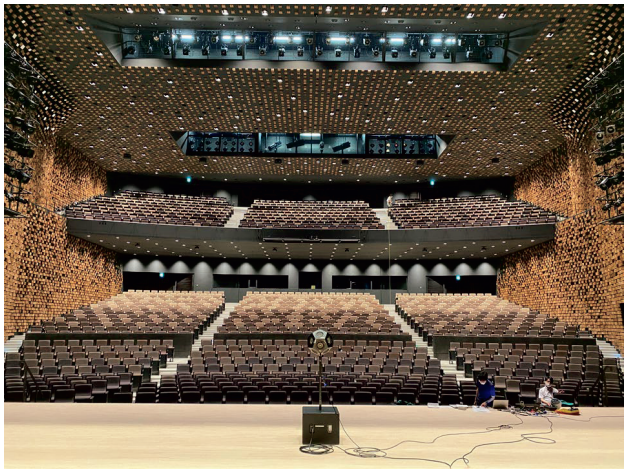


写真-3　大ホール（舞台から客席を見る）

3. 2　小ホール

市民の文化芸術活動の創造・発表の場として、小規模の音楽公演や舞台公演、上映会、集会等に利用されるホールである。生音の音楽公演利用に配慮してシューボックス型の基本形状とした。壁仕上げは幅120mmの木ルーバーを150mmピッチで設置し、天井は壁のルーバーと同様の形状のGRCパネルを設置して拡散性を高めた。拡散性向上のため、壁の木ルーバーは表面の傾斜の向きの違い、および、奥行方向の3種類の出寸法を使い分けてルーバーをランダムに配置し、天井のGRCパネルは、2つの基本パターンとその反転パターン、計4種をランダムに配置している。客席後壁上部は木ルーバーを間引いて設置し、その背後にグラスウールを設置して吸音仕上げとした。メインスピーカ、サイドスピーカは大ホールと同様に露出型とすることで、背後の面を反射面として利用している。

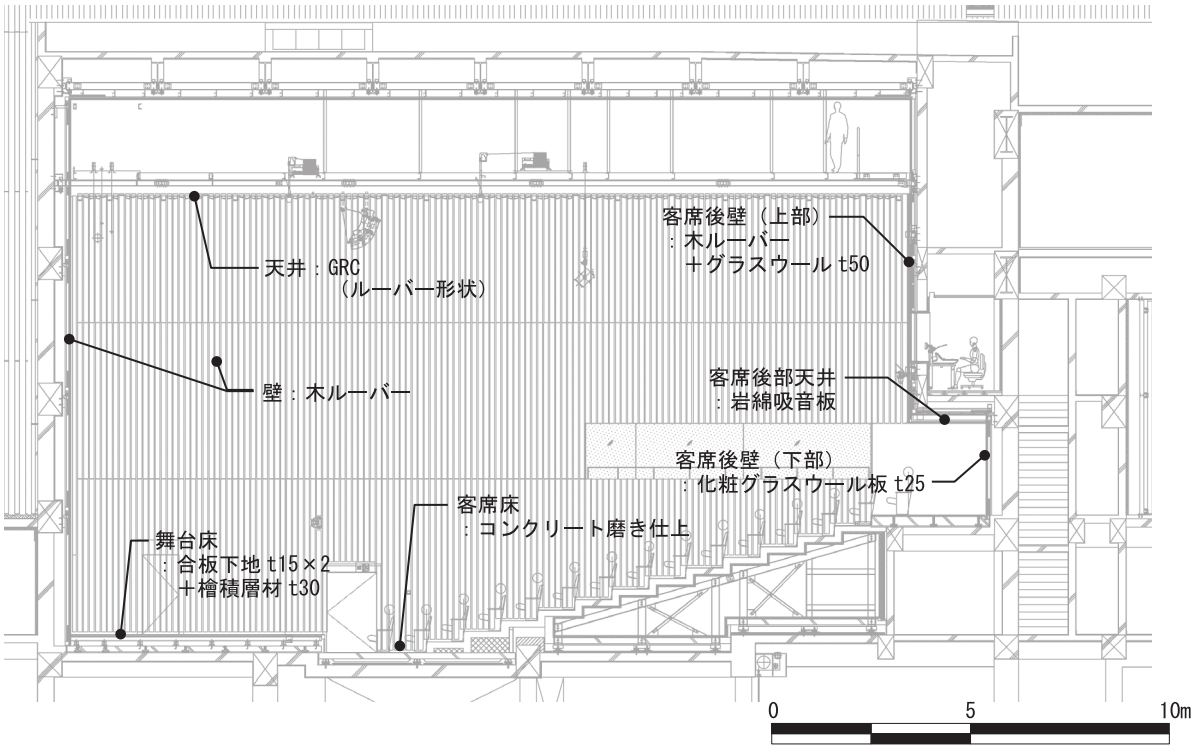


図-6　小ホール断面図

写真-4　小ホール

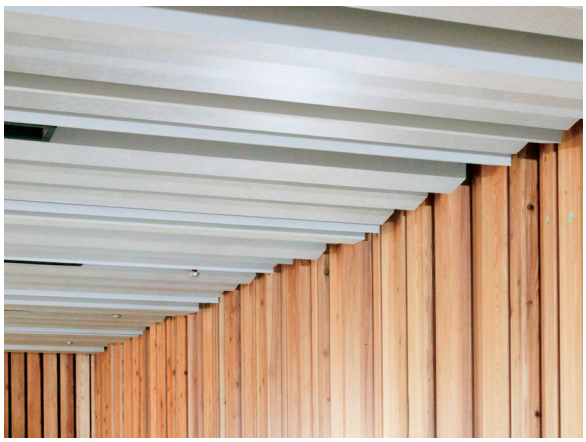


写真-5　小ホール壁・天井のリブ形状

3.3　スタジオ

各スタジオは大・中・小の規模の違いとともに、音楽、演劇・ダンス、ワークショップといった主用途毎に形状・内装を分けている。大スタジオは演劇・ダンス利用を主用途とし、第3のホールとして位置づけられており、壁全面をグラスクロス巻きグラスウールで吸音処理している。中・小スタジオは壁面の木ルーバーと背後のグラスウールにより拡散・吸音処理を行っており、グラスウールの背後には空気層を設けて、できるだけ広帯域な吸音性能が得られるように配慮した。各スタジオとも天井面にグラスウールパネルを貼り、床～天井間のフラッターエコー防止対策としている。中・小スタジオの中で音楽や演劇・ダンスを主用途とする室は平面形状を不整形としてエコー障害や定在波の防止対策とした。また、いずれのスタジオも壁面の一部がガラス面となっており、採光や眺望の確保と共に、建物内通路あるいは屋外からスタジオ内部の様子を伺うことができ、市民の多彩な文化活動を身近に感じることが可能となっている。

写真-6　大スタジオ

写真-7　中スタジオ3

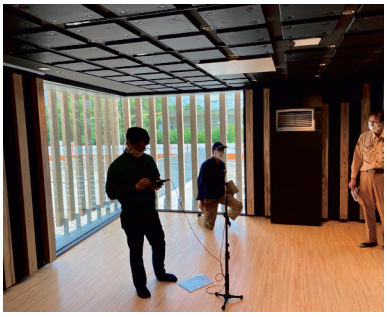


写真-8　小スタジオ5

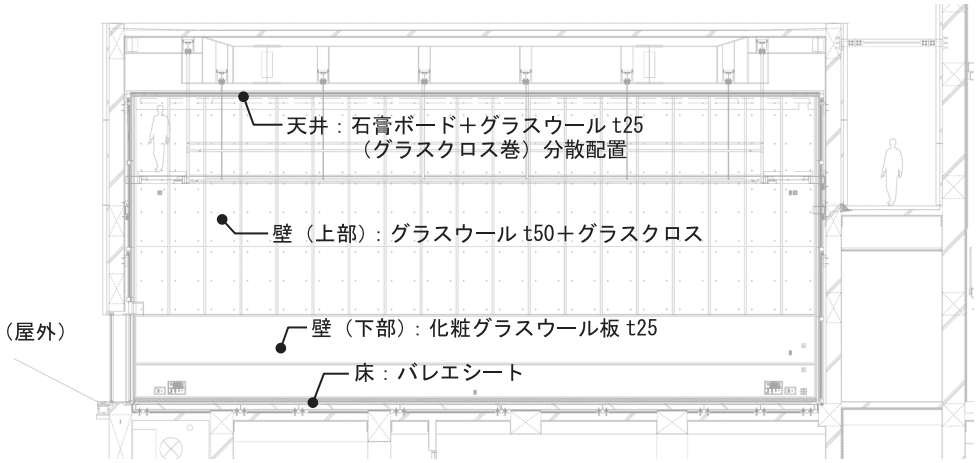


図-7　スタジオ断面図（大スタジオ）

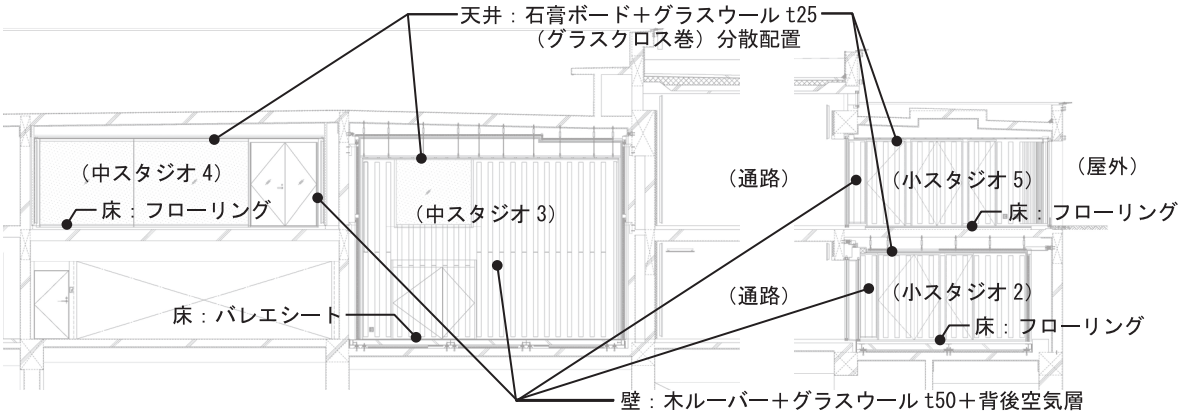


図-8　スタジオ断面図（中スタジオ、小スタジオ）

4. 木キューブ

音の散乱を意図して大ホールの天井・壁面に設置した木キューブは、見付寸法が120mm角で共通、奥行寸法は3種類（24、48、72mm）あり、これらをランダム配置している。配置の検討にあたり、木キューブの密集具合と取付方法による音響性能への影響を考え、密集の程度（密／疎の2通り）と基盤面への設置状態（密着／浮かしの2通り）の条件を組み合わせた4種類の木キューブの試験体（**写真-9**）を施工段階で作成し、日本建築総合試験所において残響室法吸音率測定を行い、吸音性能を確認した。測定はキューブのないトレイ状のベースパネルと、ベースパネル上に木キューブ付きパネル（**写真-10**）を設置した試験体の両方で行い、吸音率はそれらの差をとって、基盤面に付加される単位面積あたりの値として求めた。各試験体の吸音率は1000Hz以上の高音域で若干のばらつきを示している（**図-9**）。実際の配置方針としては4000Hzの吸音率がやや大きめであった密・密着型以外のタイプが相対的に多く配置されるよう調整した。

客席側壁は木キューブがシームレスに空間を覆う視覚的効果の実現のため、基盤面のコンクリートから木キューブまでの離れ距離が最大約30cmの箇所も生じている。このような箇所では壁から片持ちで支持した細長い取付金物の先端に木キューブを設置するため、周波数によっては木キューブが共振し、室内音響への影響が考えられた。そこで、様々なタイプの下地金物に木キューブを取り付けた試験体を現場に設置し、近傍で仮設スピーカから1Hz刻みで大音量の純音を発生させ、木キューブ上の振動加速度レベル測定を行った（**写真-11**）。共振による振動の減衰時間がホールの残響時間予測値と同程度以下であれば室内音響への影響は小さいと考え、その条件を満たす支持金物を採用した。

写真-11　木キューブの共振確認の様子

写真-9　木キューブ試験体（左上から時計まわりに、密・浮かし、疎・浮かし、疎・密着、密・密着）

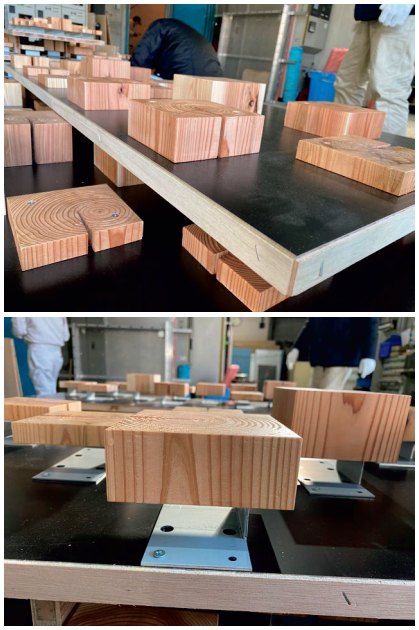


写真-10　木キューブ付きパネル（上：密着、下：浮かし）

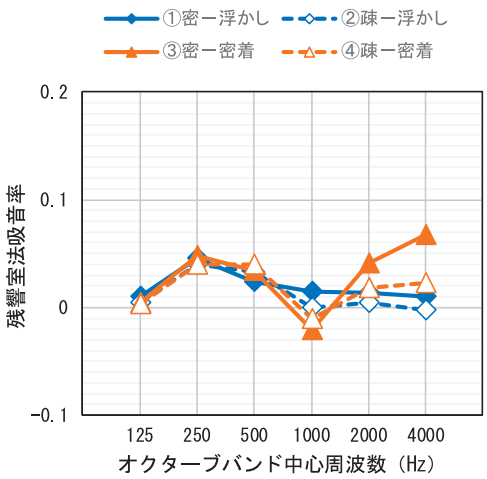


図-9　木キューブの吸音率測定結果

多数の木キューブが壁・天井を覆う、これまでに経験のない仕上げのため、ビリツキ防止にも配慮し、施工中に繰り返し現場を巡回して、拳による打診でビリツキの有無を確認した他、足場解体後の手直しが困難な天井面や壁上部の木キューブについて、足場解体前に近傍で仮設スピーカからスイープノイズを発生させてビリツキの有無を確認した（**写真-12**）。ビリついたものについては手直し（ビス増し打ち）を実施した。竣工時のビリツキ試験では内装のビリツキは感知できず、入念な確認と施工が功を奏したものと考えている。

写真-12　ビリツキ確認の様子

5. 音響特性

5. 1　室内騒音

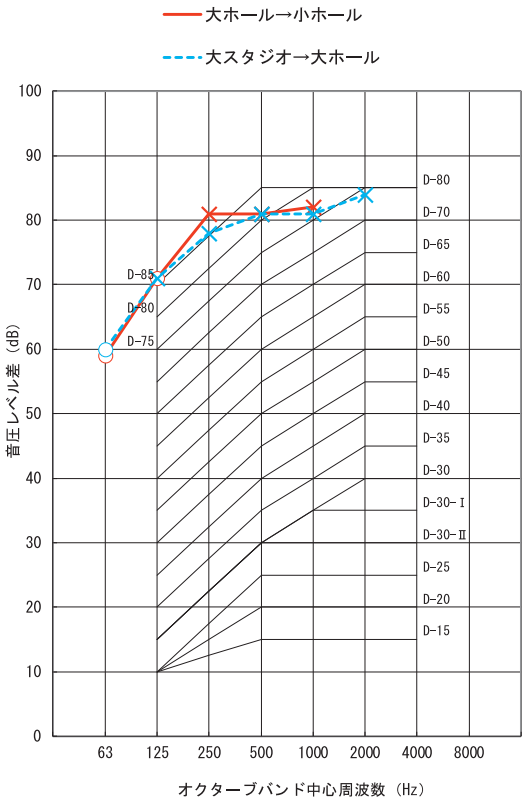
空調騒音は大ホール、小ホールともNC-20以下、大スタジオはNC-30以下、その他のスタジオも所定の性能を満たしている。いずれのホール・スタジオとも、周辺のWCやシャワー室の流水音は感知できない。

5. 2　遮音性能

500Hzの音圧レベル差が大～小ホール間81dB以上、大ホール～大スタジオ間81dB以上、大ホール～近傍の中小スタジオ間87dB以上、小ホール～近傍の中小スタジオ間88dB以上、上下に接する小スタジオ間（下のスタジオが防振遮音構造）80dBであった。（**図-10**、**図-11**、**図-12**、**図-13**）

5. 3　残響時間

大・小ホール、大スタジオの測定結果を**図-14**に示す。大ホールは音響反射板設置時と舞台幕設置時の差が約0.8秒（500Hz、空席時）であった。



※×印は暗騒音との差。実際の遮音性能はこの値以上であることを示す。以下同様。

図-10　遮音性能測定結果（大～小ホール間、大スタジオ～大ホール間）

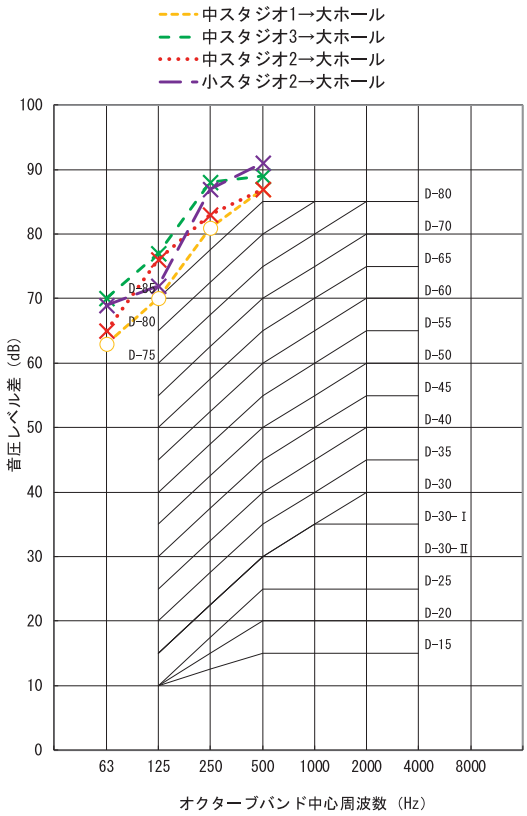


図-11　遮音性能測定結果（中・小スタジオ～大ホール間）

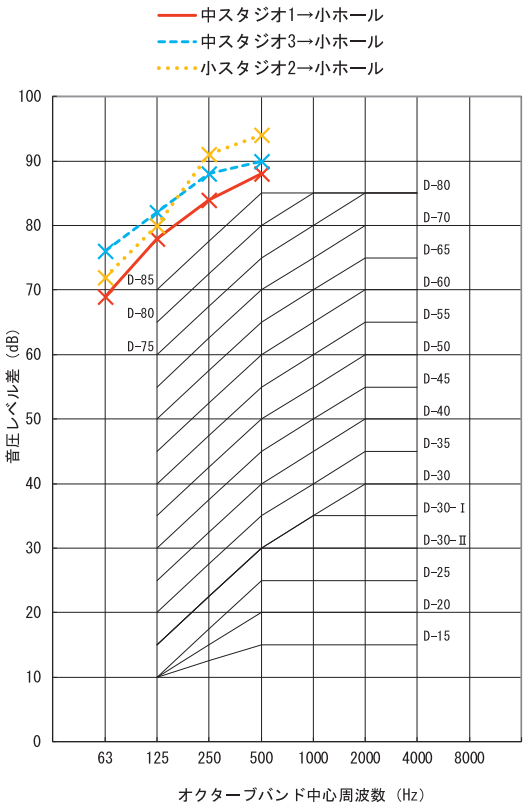


図-12　遮音性能測定結果（中・小スタジオ～小ホール間）

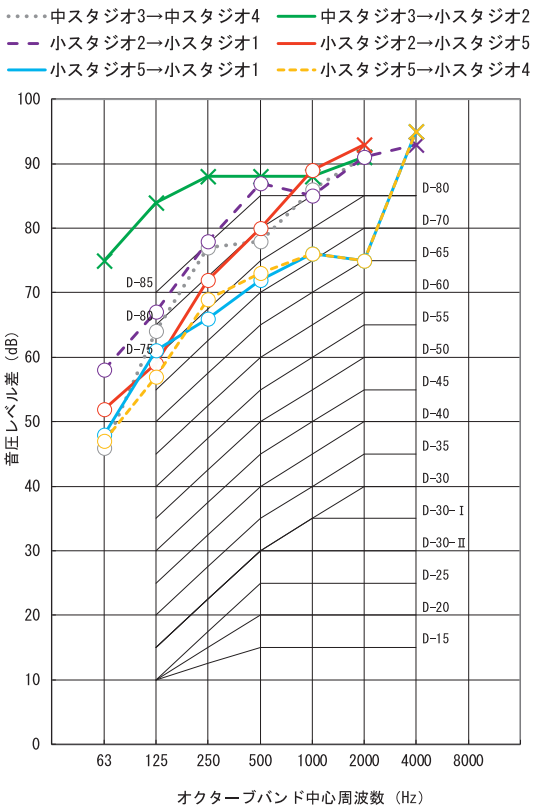


図-13　遮音性能測定結果（中・小スタジオ間）

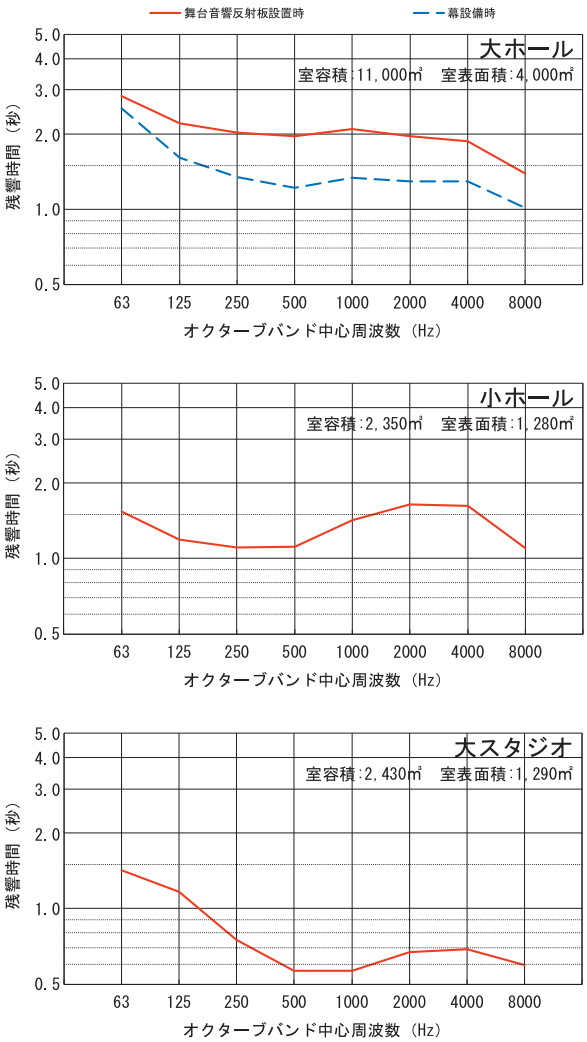


図-14　残響時間測定結果（空席時、空室時（大スタジオ））

6. おわりに

高槻市各位、施工者各位にこの場をお借りして感謝を申しあげる。大ホールのこけら落としのオーケストラ公演は大変な熱演で、指揮者からはアンコールの前に観客に対して、ホールの音響が素晴らしくとても嬉しいとのコメントをいただいた。今後も市民に愛される建物として利用されていくことを心より願っている。

【執筆者】

*1　中川 浩一
（NAKAGAWA Koichi）