

TODA BUILDING の音響性能

ホールの室内音響性能, ギャラリーの遮音性能について

ACOUSTIC PERFORMANCE IN TODA BUILDING

Indoor acoustic performance in halls and sound insulation performance in galleries

佐脇 真平^{*1}, 土屋 裕造^{*1}, 木村 太紀^{*1}
SAWAKI Shimpei, TSUCHIYA Yuzo and KIMURA Taiki

This paper presents the acoustic design of halls and galleries in the TODA BUILDING, which was completed in October 2024, as well as the acoustic measurements taken upon completion. To achieve good indoor acoustics in the halls, acoustic panels with a Penrose tile pattern were installed on the walls to mitigate acoustic problems, including flutter echoes. The finished halls provide good acoustic environments with flat frequency responses in reverberation time and no particular acoustic anomalies. Various measures were implemented in the galleries to reduce noise transmission from the machine rooms on the upper floor and the halls on the lower floor. The machine room floors are floating floors to block airborne sound, while each piece of equipment is supported by vibration isolators to block solid-borne sound. Furthermore, each of the halls employs a floating structure, which helps reduce airborne sound generated when sound is produced inside. Measurements taken upon completion confirmed that the intended sound insulation performance was achieved.

Keywords: Room Acoustics, Sound diffusion, Scattering Coefficient, Penrose Tile, Sound Insulation, Vibration Isolation, Floating Floor

室内音響, 音響拡散, 散乱係数, ペンローズタイル, 遮音, 防振, 浮き床

1. はじめに

2024年10月に竣工した TODA BUILDING は様々な用途の空間を有するオフィスビルであり筆者らは室内音響, 室間遮音, 室内騒音, 敷地境界騒音, 外壁ルーバーの風切り音など多岐にわたる検討を行ってきた。中でも4階に設けられた2つのホールは音楽演奏, 会議, 展示会など多目的に使用されることを想定した空間であり, 矩形のホールでありながら高い音響性能を実現することを目指した。また用途の異なる室が隣接することになる本建物においては, 遮音に関してもきめ細かな検討が必要であり, 特に6階のギャラリーは7階の機械室と4階のホールに囲まれた, 設計難度の高いエリアであった。本報では4階ホールの音響設計と, 6階ギャラリーの遮音設計に着目し, 設計における工夫を紹介するとともに, 竣工時の測定結果を報告する。

2. 4階ホールの音響設計

2.1 ホールの概要

TODA BUILDING の4階にはホールAとホールBの二つのホールがある。ホールAの内観を写真1に, ホールAとホールBの平面図を図1に, 展開図の一部を図2に示す。これらのホールはいずれも矩形の平面を有しており, 平行な壁面間でフラッターエコーなどの音響障害が発生することが懸念されたため, 音響計画においては壁面に音響拡散性能を有する音響パネル^{1,2)}を採用した。

2.2 音響パネル

壁面に用いた音響パネルは, 音響拡散効果の最大化を意図したものであり, ペンローズタイル模様の, 非周期構造でありながら対称性のあるデザインを有している。音響パネルの概要を図3に示す。



写真1 ホールA 内観

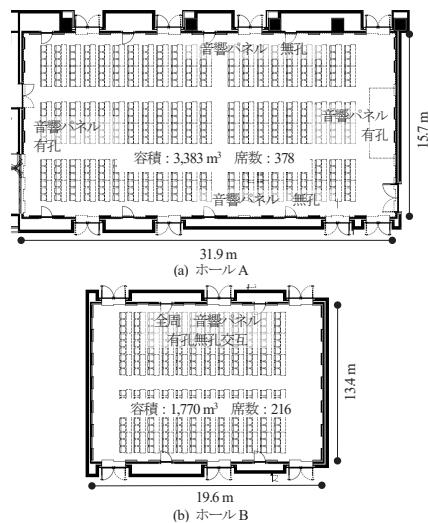


図1 ホール平面図

* 1 戸田建設(株)技術研究所 修士 (工学)

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

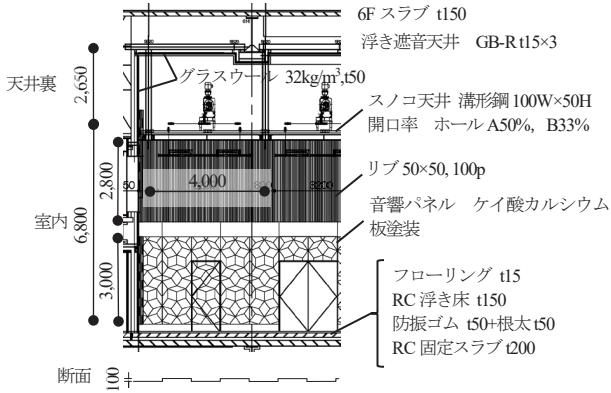


図2 ホールA 展開図（一部）

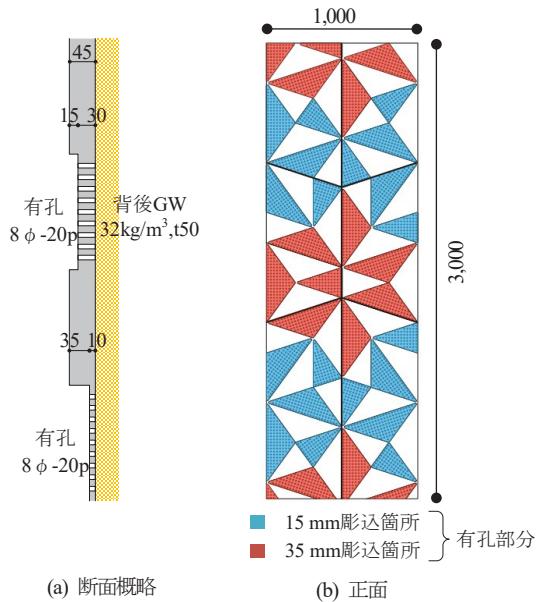


図3 音響パネル（有孔）

パネルは厚さ45 mmのケイ酸カルシウム板を加工して制作された。彫込深さの制約により低い周波数帯域において音響拡散効果が発揮されにくいことが模型実験によりわかつっていたため、パネルの一部を穴あき板とし、パネル同士を段差を設けて設置することで、低音域にも吸音と音響拡散効果を与えた。ホールAとホールBは同一の内装デザインを採用しており、共通の形状の音響パネルが用いられている。採用された音響パネルの1/4縮尺模型を用いて測定された吸音率および散乱係数を図4に示す。なお、この吸音率測定におけるパネル背面にはウレタンが使用されており、実際のパネル背後に配置されるグラスウールとは異なる。また、空気層の厚さも実際の設置条件(厚50 mm, 150 mm)とは異なるため、図4(a)に示す吸音率はあくまで参考値である。

両ホールは、音響パネル背後の納まりの関係で有孔と無孔の配置に違いを設けている。ホールAでは音響パネルの短辺側に有孔、長辺側に無孔を配置した。一方、ホールBでは有孔と無孔をパネル毎に交互に配置している。

2.3 測定結果

図5に残響時間周波数特性を示す。いずれのホールも周波数特性は比較的平坦であり、空室においても音声の明瞭性に問題のない良好な残響時間を示している。ホールAとホールBの残響時間に差が見られ、特にホールB

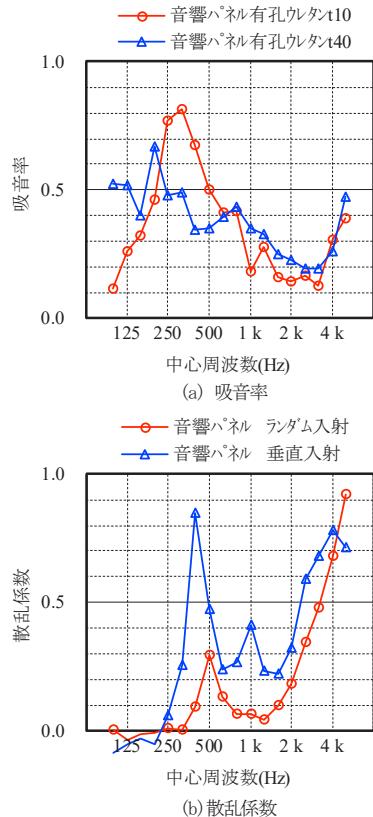


図4 縮尺模型による音響パネルの吸音率（上段）と散乱係数（下段）

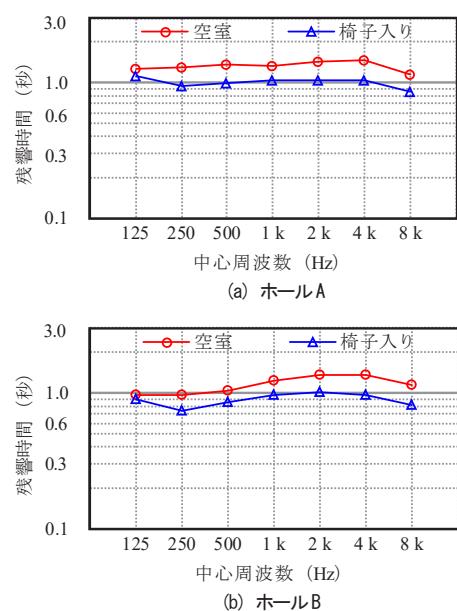
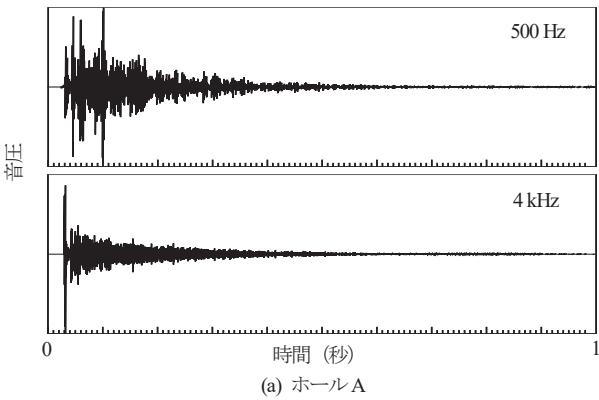
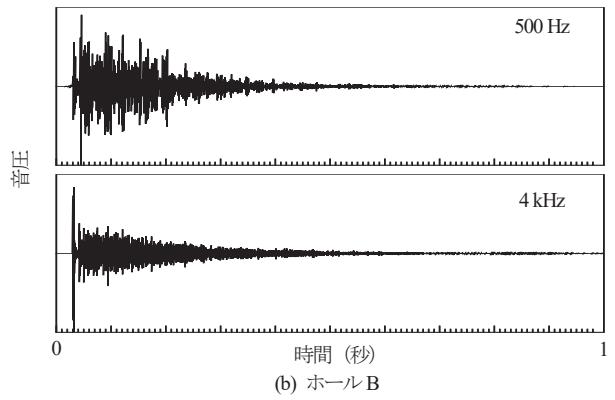


図5 ホールの残響時間



(a) ホールA



(b) ホールB

図6 ホールのエコータイムパターン（オクターブバンド）

では、500 Hz以下の周波数帯域で残響時間がホールAよりも短くなっている。この差はホールAが長手方向に全て無孔パネルを使用しているのに対し、ホールBが全周にわたって有孔パネルを使用していることに起因すると考えられる。図6にエコータイムパターンを示す。両ホールとも良好な減衰波形を示している。特に4kHz帯域においては音響パネルが図4の散乱係数で示されるような高い音響拡散効果を発揮しており、樅の木型の理想的な減衰特性を示している。

3. 6階ギャラリーの遮音設計

3.1 検討条件

(1) 目標性能

6階ギャラリーは様々な分野の展覧会を行うことを想定した空間であり、一定の静謐性能が要求された。騒音源としてはギャラリー内で発生する空調騒音の他に、7

階の機械室や4階ホールからの伝搬音が考えられた。機械室からの伝搬音に関してはA特性音圧レベル30 dB程度とすることを、ホールからの伝搬音に関してはホール内で90 dBの音が発生した場合にギャラリー内の騒音を30 dB程度とすることを設計段階の目標とした。ホール内発生音の周波数特性は他物件における測定事例から推定した。

(2) 室配置および内装

ギャラリーとその上下階の断面図を図7に示す。ギャラリーは4階のホールと7階の機械室に挟まれており、上階、下階両方からの騒音の伝搬が懸念された。7階では複数の機械室に空調機や送風機、変圧器、ポンプなどが設置されている。

ギャラリー内は直天井であり、床と壁は反射性の内装となっている。上下階からの透過音を検討するにあたり低周波数帯域の騒音が問題になることが予想されたため、低音域の透過音をギャラリー内で吸音する目的で、ギャラリ一天井（7階スラブ下）には厚さ100 mmのグラスウール（密度32 kg/m³）を貼ることとした。

3.2 機械室からの伝搬音対策

(1) 空気伝搬音

機械室の壁は密度32 kg/m³、厚さ50 mmのグラスウール貼りを基本とし、室によっては天井にもグラスウールを貼るなど、発生音の大きさに応じて吸音面積を調整した。

当初の設計では機械室の床は厚さ200 mmのコンクリートスラブとして計画されていたが、事前の検討で空気伝搬音の遮断性能が不足することが判明した。特に低周波数帯域における大幅な騒音低減が必要であり、機械室内の吸音やスラブ厚の変更では効果が不十分であることが予想されたため、空気伝搬音対策として浮き床を採用した。防振材には施工性と経年による沈み込みの少なさを考慮して防振ゴムを用いた。機械室の床の断面を図8に示す。浮き床の固有振動数付近では空気伝搬音遮断性能が低下することが予想されることから、固有振動数が20 Hz程度になるよう防振ゴムを選定した。

以上の対策により空気伝搬音の予測値はA特性音圧レベルで24 dBとなり、目標の30 dBに対して十分小さな値

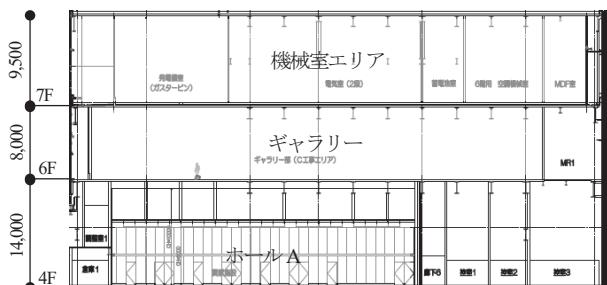


図7 4～7階断面図

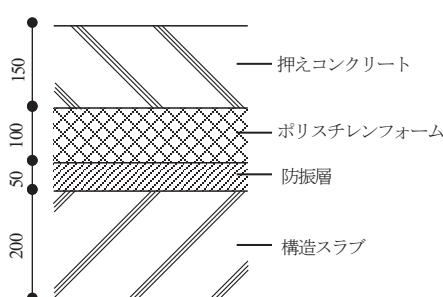


図8 浮き床断面図

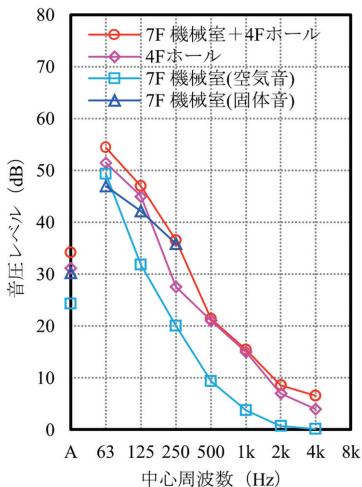


図9 ギャラリー内音圧レベル予測値

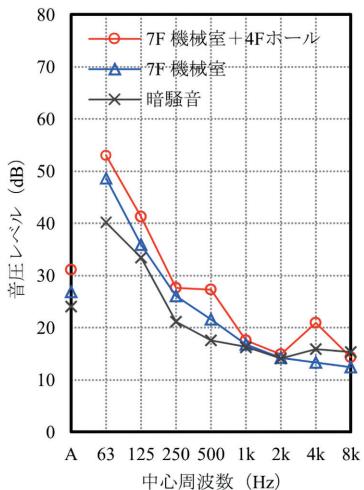


図10 ギャラリー内音圧レベル測定値

となった。なお、室内の騒音伝搬の予測では発生音、透過音を直接音成分と拡散成分に分けたうえで直接音成分の距離減衰を考慮した。

(2) 固体伝搬音

設備機器の固体伝搬音に対しては、浮き床では固有振動数を十分に下げられない恐れがあったことから、構造スラブと一緒に成了った機械基礎の上に防振架台を設けて防振を行うこととした。防振材は個々の機器の加重および加振力に応じて選定した。

機器の加振力から予測されるギャラリー内の固体伝搬音の予測値は30 dBであり、個々の機器を防振することで必要な性能が得られると予想された。

3.3 ホールからの伝搬音対策

4階ホールからの伝搬音は、ホール内部においてA特性音圧レベルで90 dBの発生音が一様に発生するものとして対策を講じた。ホールの壁、床、天井は防振ゴムによって支持されており、ホール全体が浮き構造となっている。6階ギャラリーとホールの間の断面は図2を参照されたい。防振吊りされたホールの天井にはグラスウー

ル（密度 32 kg/m^3 、50 mm厚）が敷かれており、6階のスラブとともに遮音層としての機能を持たせている。

予測検討におけるホールからギャラリーに伝搬する音は31 dBとなった。以上、3種類の経路によるギャラリー内の音圧レベルの予測結果を図9に示す。

3.4 測定結果

6階ギャラリーにおける、7階機械室の機器をすべて稼働した場合と、ホール内で90 dBの広帯域ノイズを発生させた場合の音圧レベル測定結果を図10に示す。各条件でのA特性音圧レベルは暗騒音24 dBに対して機械室の設備機器が稼働した場合の測定値が27 dBとなった。機械室の設備機器を稼働した状態で、ホール内でノイズを発生させた際の音圧レベルは、500 Hz帯域、4 kHz帯域に測定時の外乱の影響がみられるが、A特性音圧レベルでは31 dBとなった。いずれの結果も予測値と近いか、予測を下回る結果となっており、今回検討した経路において必要な遮音性能を有していることが明らかになった。

4. おわりに

TODA BUILDING の4階ホールの室内音響と6階ギャラリーの遮音について、設計における工夫と測定結果を示した。ホールでは壁面に音響パネルを用いることで音響拡散を考慮した設計を行い、フラッターエコーなどが生じない良好な音響空間を実現した。ギャラリーでは7階機械室からの空気伝搬音と固体伝搬音を遮断するために浮き床と機器の防振を別個に行なった。またホールからの伝搬音に対してはホール全体を浮き構造とすることで必要な遮音性能を確保した。

参考文献

- 1) Lee, Yuzo Tsuchiya and Tetsuya Sakuma, Acoustic scattering characteristics of Penrose-tiling-type diffusers, Applied Acoustics, 130, 168–176, 2018. 1
- 2) 土屋祐造、佐久間哲哉「ペンローズタイル型拡散体を設置した小会議室の室内音響特性」、音響学会2020年秋季研究発表会講演論文集, p. 529–530, 2020. 9