

愛知県芸術劇場の音響 Acoustics of Aichi Prefectural Art Theater

新井 昭義 (Akiyoshi Arai)

A&T 建築研究所 (A&T Associates)

子安 勝 (Masaru Koyasu)

音響工学研究所 (Acoustical Engineering Laboratory)

愛知芸術文化センターは、名古屋の中心部のテレビ塔近くの栄にあり、南北に延びる久屋大通りと、東西に走る錦通りの交差する大都市名古屋の中心に位置する。

これまで30数年にわたり、この栄交差点角に位置した愛知県分化会館（分化講堂、美術館、図書館）が、新しくホール、美術館、さらに文化情報施設を加えた愛知県新文化会館（仮称）として、東隣の栄公園に建設することが計画された（図書館は名城地区に建設されている）。

昭和61年にわが国で最大級の2段階公開コンペが実施され、昭和62年に最優秀作品に決定した進藤繁（現A&T建築研究所所長）案が実施に移され、愛知芸術文化センターとして実現したものである。

ここに、愛知県芸術文化センターのホール部門である愛知県芸術劇場の中核をなす大ホール、コンサートホールの音響設計と音響特性について紹介する。

1. 施設の概要

この施設は、図1に示すように大ホール、コンサートホールを中心とした芸術劇場、美術館、文化情報センターの三つの大きな施設からなる大規模複合施設である。これらの施設相互を有機的に結びつける空間として、



写真1 建物概観

メインの入口である2階部分から12階まで吹抜けた巨大なアトリウム空間であるフォーラム1と、その2階部分で結合された地下2階からのフォーラム2という二つフォーラムが設けられている。

地下5階から地下3階までが駐車場、地下2階にリハーサル室（2室）、アートプラザ、地下1階に小ホール、楽屋、アートライブラリー、2階から6階までが大ホール、4階から7階までがコンサートホール、8階から11階までが美術館、12階に文化情報センター施設が平面的、立体的に入れ子状に配置されている。

大ホールは、大迫りを持つ主舞台のほかに、スライディング機構を持つ主舞台と同面積の後舞台、側舞台の3面舞台で、オペラのレパ・トリシステムにも対応可能な舞台規模、数・荷重の大きさを誇る吊りバトン、これらが全てコンピュータ制御されるなど、多彩な舞台機構設備を備えていることに大きな特徴がある。客席は、演じる者と観る者の一体感を求め、オペラ鑑賞にも適する囲み堅の多段バルコニーが採用された。

一方のコンサートホールも、観客と演奏者との一体感

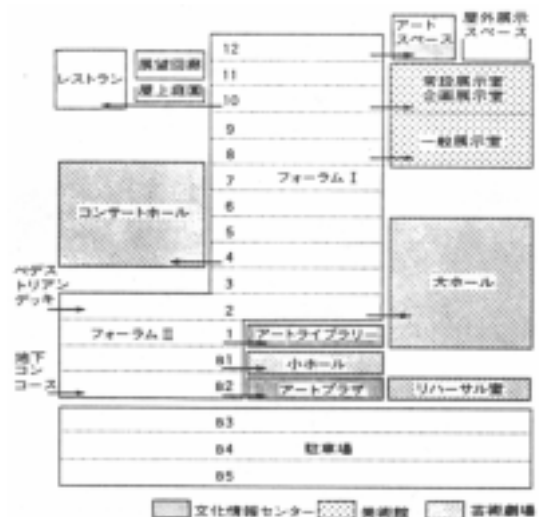


図1 断面構成図

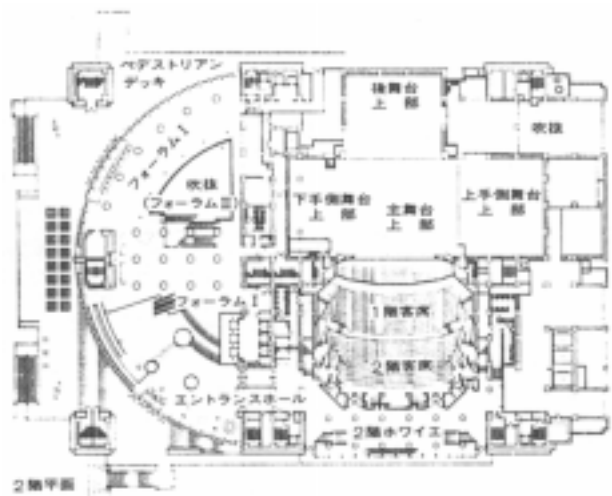
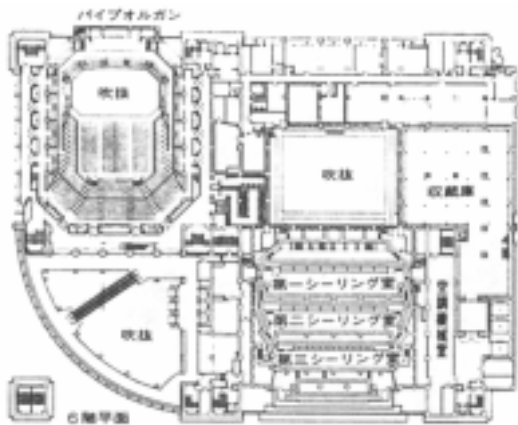
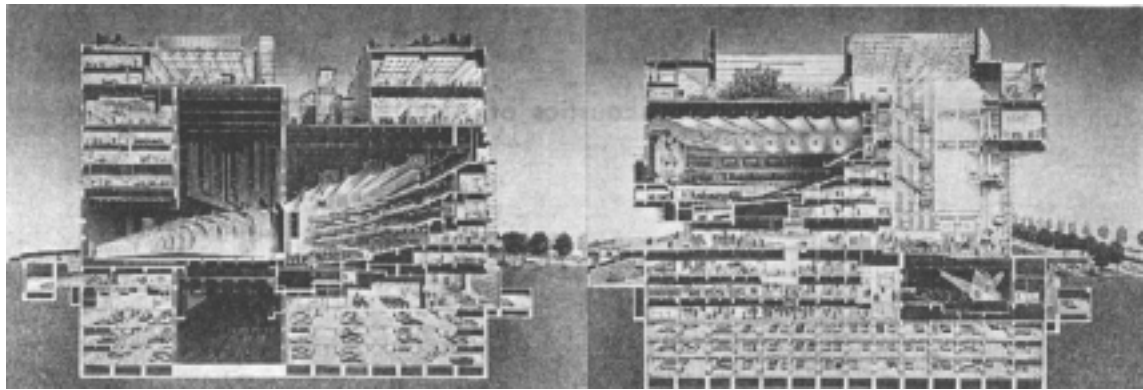


表1 建物の概要

所在地	愛知県名古屋市中区東桜1-13-2
敷地面積	24,911m ²
建築面積	12,113m ²
延べ面積	109,062m ²
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造、一部鉄骨造
規模	地下5階、地上12階、塔屋1階
施設概要	(芸術劇場施設) 大ホール、コンサートホール、小ホール、リハーサル室(2)、楽屋他 (美術館施設) 一般展示室、常設展示室、企画展示室、屋外展示スペース、収蔵庫他 (文化情報センター施設) アートライブラリ、アートスペース、スタジオ (駐車施設) 都市計画駐車場、駐車場
設計	A&T建築研究所
監理	愛知県建築部管轄課、A&T建築研究所
音響設計	A&T建築研究所、子安 勝(音響工学研究所)
施工	
建築	大成、大林、鹿島、清水、鴻池、戸田、矢作、小原、大井 建設共同企業体
電気	東海、川北、中央工事、中電工、川瀬 建設共同企業体
空調	新日空、菱和、高砂、大東、村川 建設共同体
舞台機構	三菱重工業、三精輸送機 建設共同企業体
舞台照明	東芝ライテック
舞台音響	松下電器産業
工期	平成元年3月20日～平成4年6月30日

図2 建物主要階の平面図(2,6階)

を重視した結果としアリーナ型を基本とした室形状とし、音響特性を高めるために舞台近くから配置したホール長手軸に平行な壁面の列、布のドレープを思わせる天井形状、正面に設置された国内最大級のオルガンが特徴となっている。

建物の概要を表1に、主要階の平面図を図2に示す。

2. 音響設計

2.1 室内音響設計

(1) 大ホール

大ホールとは、設計コンセプトである“親しみのある空間”を実現していくなかで、鑑賞距離の確保しやすい馬蹄型を踏襲した室形状が採用された。

音響的には、馬蹄形は円形に近く、必ずしも好ましい形ではないが、平土間席に島状に設けた客席部分と側壁部

表2 ホール諸元

	大ホール		コンサートホール
	大規模タイプ	中規模タイプ	
客席数(席)	2,500	1,700 (オペピット使用時)	1,806
床面積(m ²)	約 680 (主舞台)		約 228
舞台客席室容積(m ³)	約 1,606		約 2,032
室容積(m ³)	約 18,800 (客席部のみ)		約 19,400
全表面積(m ²)	約 7,350		約 6,800
V/S	2.56		2.85
プロセニウム開口(m ²)	14.7 ~ 18.2 ^W × 12.0 ^H		

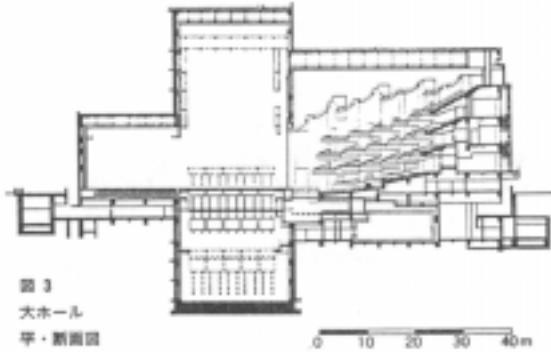
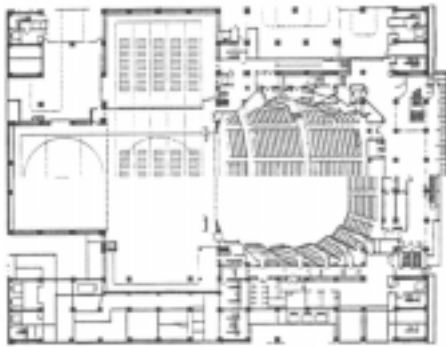


図3
大ホール
平・断面図



写真3 大ホール内観

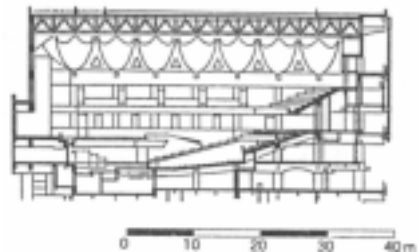
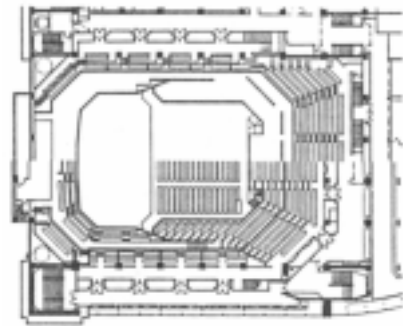


図4 コンサートホール平・断面図



写真4 コンサートホール内観

に3層にわたって設けたバルコニー部分を、反射および拡散のために有効に利用することで音響計画を行った。また、4・5階後部のバルコニー席の奥まで音を届かせるために、天井面からの反射を期待することとした。

これらは、1/10縮尺の音響模型型実験を繰り返しながら、反射面位置・形状、有害反射音の除去のための吸音面の検討を行い、舞台との距離が近いことを活かした明瞭度の高いホールを目指した。

(2) コンサートホール

コンサートホールは、舞台、客席を一体化したアリーナ形を基本の室形とすることで設計コンセプトの“親し

みのある空間”を、実現するよう計画された。平面的には、室幅を出来るだけ狭めつつ、正面客席部での舞台との距離を近く保てるよう、客席側部にサイドバルコニーを2層に設けることとし、平土間席とこのサイドバルコニー部分の間に、舞台と直角な平行壁面を用意し、初期反射音の補強を狙うとともに、サイドバルコニー部分の反射および拡散効果を期待した。

また、断面形状は、室容積を確保することと合わせ、舞台上部から客席後部までの高い天井を計画し、シューボックスのイメージを踏襲する形になった。さらに、その天井形状は、舞台、客席への有効な反射面とするともに、出来るだけ拡散も確保できるよう留意して計画した。

このような設計意図を実際の効果として確認するため、設計の早い時期から1/10縮尺の音響模型実験を行い、舞台廻り、平土間席側壁部などの反射面位置・形状、吊り下げ反射板の効果、有害反射音の除去と内装仕様の検討を行い、余韻のある音、豊かで十分な音量、均一な音場の実現を目指した。また、しっかりした低音を実現するために、内装材料の面密度、取り付け方法にも配慮した。

2.2 騒音・固体音防止設計

ホールを含む複数の施設を一つの建物に組み込む複合型施設の場合、音響上野要求の厳しいホール部門が他の施設と隣接せざるを得ない計画となるのは必然とも言える。本施設の場合も、コンサートホール・大ホールなどを藻津芸術劇場場に対して、騒音防止を考慮して各施設の配置計画を試みても、基本的にh美術館、文化情報センターの各施設を平面的、立体的に隣あった配置計画となり、問題はいかに影響の少ない施設を組み合わせるかということが焦点になってくる。

さらに、今回敷地南側の前面道路（錦通り）下には、

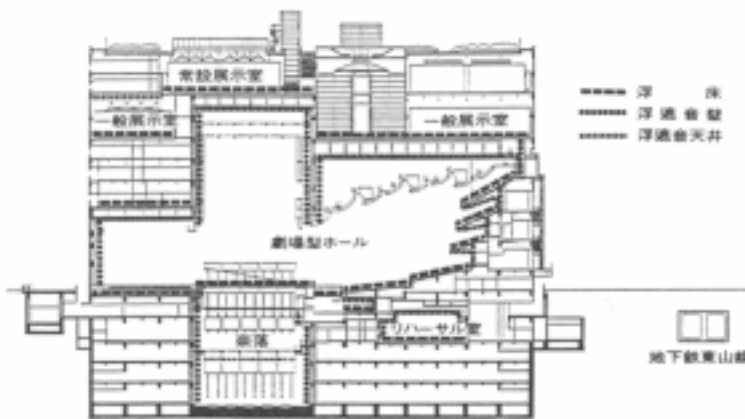


図5 防音・防振対策説明図

市営地下鉄東山線が走っており、この地下鉄の走行時の振動伝搬による固体音の影響が予想された。

したがって、これら施設相互間の騒音・固体音防止と地下鉄から固体音を防止することが、計画当初より各施設配置計画や構造計画に大きな影響を与えた。

地下鉄固体音の防止対策については、建物躯体と地下鉄構造との間で処理する案（空壕、防振連壁など）も考慮されたが、地下部分が深く・長いため施工範囲が大きくなりコストがかさむ、耐震設計上の問題がある、この対策だけで解決しない施設があるなどの理由から、各ホールについては、床・壁・天井を浮構造とすることとし、地下鉄との位置関係により浮構造のグレートを決定的にいった。

次に、ホール施設相互および各ホールに隣接する他施設で、騒音、振動発生が考えられる部分に対して、遮音の確保・固体音防止のために、躯体厚の調整、遮音壁の付加、浮床の設置などの対策を採用した。

ホールを中心とした騒音、固体音防止対策を図5に示している。また、各施設別に配置される各種設備機械室についても同様な処理を行っている。

一方、室内騒音のほとんどを閉める空調騒音は、各室について許容値を定め、その許容値を実現するためにダクト系に必要な消音装置を用意した。特に、コンサートホールでNC - 20以下、大ホールでNC - 25以下の許容値を採用したホール部分については、ダクト系の管内風速を通過場所ごとに規定して配管サイズを決定し、気流による発生騒音を防ぐことで計画した。

2.3 舞台音響設備

(1) 大ホール

本格的オペラの上演も可能な演劇ホールとして、多彩な舞台演出に対応できる電気音響設備として、つぎのような意図で計画した。

明瞭度が高く、十分な音量の確保できる高品位な拡声の実現

自然な拡声の実現

演出の多用性、可能性に対応できる十分な入出力回路数とシステム

舞台の仕込・進行連絡などの運営、連絡用設備の充実

これらを実現する方法として、メインスピーカの充実、効果系調整卓の導入、効果用スピーカの充実を計るとともに、音像定位システム、音場支援システム、シーン制御システム、系統の専用インターカム設備な



図6 大ホール舞台音響設備システムブロック

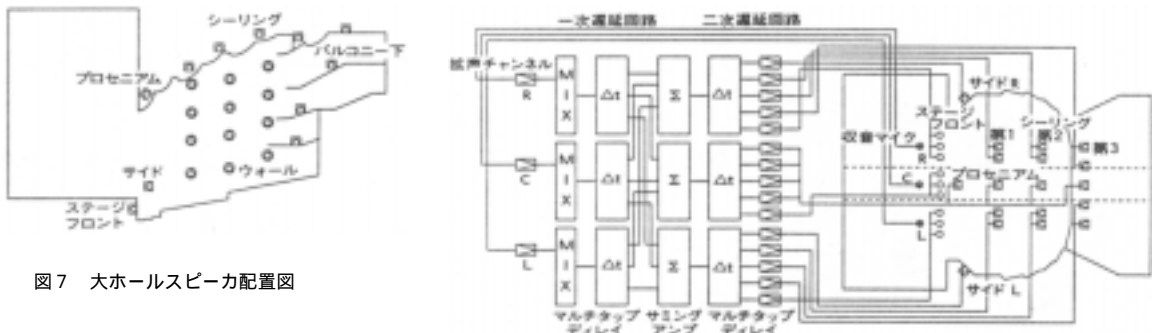


図7 大ホールスピーカ配置図

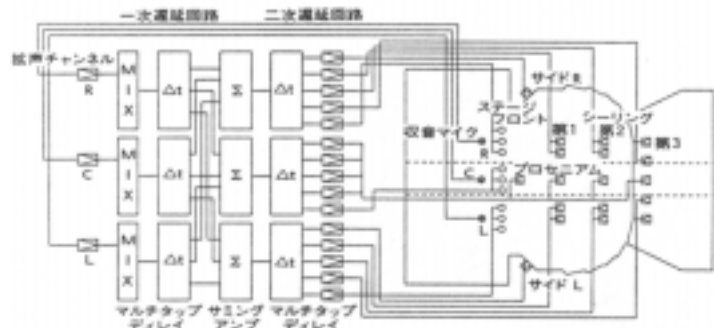


図8 大ホール音像定位システム概念図

どを採用した。

図6に全体のシステムブロックの概要を示している。音像定位システムは、聴者が拡声装置使用時に、実音源方向に音像を認知できるようにするためのシステムである。図8に示すように、ステージをL、C、Rの3ブロックに分けて集音し、これをサイドL、RとプロセニアムCの各スピーカを代理音源とし、音源位置に対応した遅延、ミキシング処理を行って各ブロックから拡声するとともに、客席天井位置に設けたL、C、Rの各ブロックに対応した音圧確保用スピーカに対して距離方向の

遅延処理も同時に行い拡声するものである。

また、音場支援システムは、客席位置での反射音構造を補強することにより、生音に対する臨場感、あるいは舞台演出での特殊効果音を創り出すものである。図9に示すように、ステージ上部のマイクあるいは演出用効果音入力に対して、付加反射音、残響音を生成して畳み込み処理（音場支援ユニット）を行うことにより作成された支援信号を、メイン、シーリング、ウォールの各スピーカより拡声するものである。

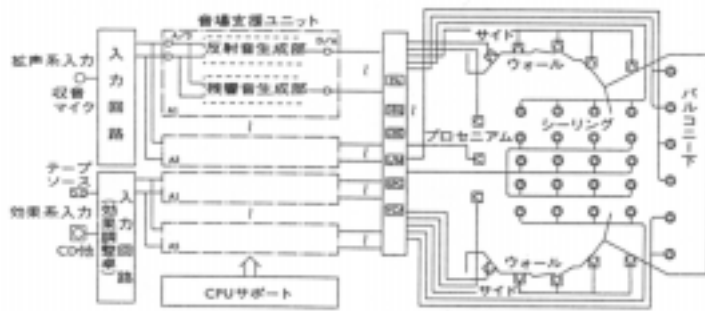


図9 大ホール音場支援システム概念図

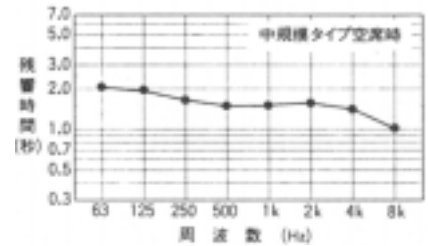


図10 大ホール残響時間周波数特性

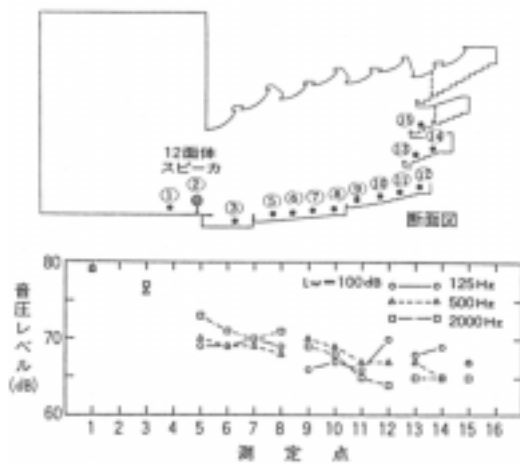


図11 大ホール定常音圧分布(センター軸上)

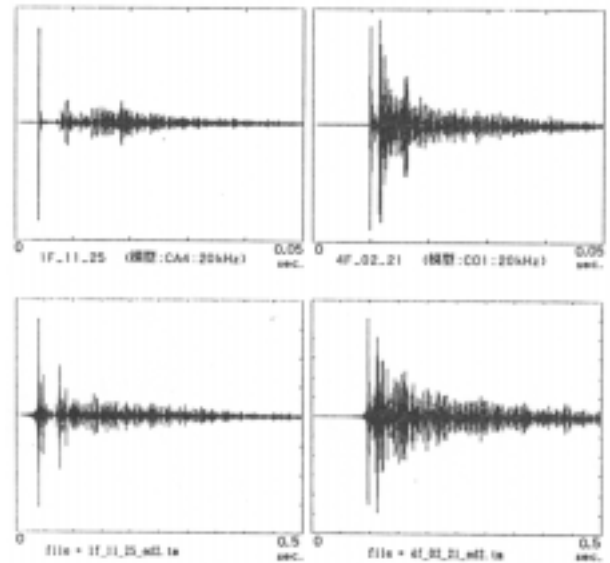


図13 大ホールエコータイムパターン(模型と実物との比較)

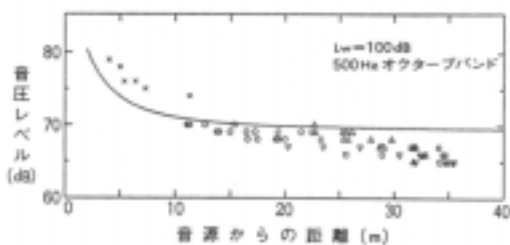


図12 大ホール定状態音圧分布(全測定点)

シーン制御(効果調整卓)は、テープソース等の効果音を、シーンに応じてあらかじめ設定、登録した入出力セッティング状態で、自動的に、あるいはキュー信号により任意の設定スピーカ群より再生するものである。

(2) コンサートホール

コンサートホールの電気音響設備は、シャンデリア照明の中に組み込んだスピーカを使った場内アナウンスを主とする一般拡声と、ステージスピーカを使った弱音楽器の拡声程度が出来る設備および録音設備を用意し、生音を聞くクラシック演奏専用ホールとしての位置付けを守った。

3. 音響特性

3.1 室内音響

(1) 大ホール

残響時間は、図10に示すように1,700人収容の中規模使用時の袖幕等の幕セットの空席状態で約1.5秒(500Hz)で、これから満席時の残響時間を推定すると1.4秒程度と、目標値1.6秒より少し短くなるものと思われる。

これは、椅子および舞台の吸音が設計時の見積りより大きいことによるもので、特に今回のように客席に比べ舞台の方がはるかに大きい場合での舞台の吸音については、従来の資料は参考にならないことが分かった。またこのように舞台空間の容積が非常に大きい場合には、ホールの室内音響特性は、大道具など舞台の状態によって大きな影響を受ける可能性があることを示している。

音響パワーレベル100dBの全指向性音源(12面体スピーカ)を舞台上に置いたときのホールセンター軸の音圧分布は、図11に示すように、コンサートホールと比べる

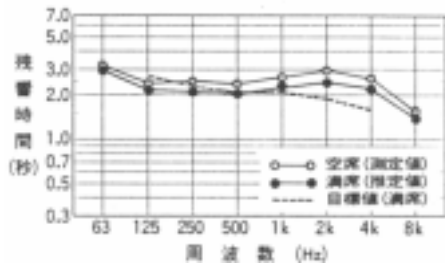


図14 コンサートホール残響時間周波数特性

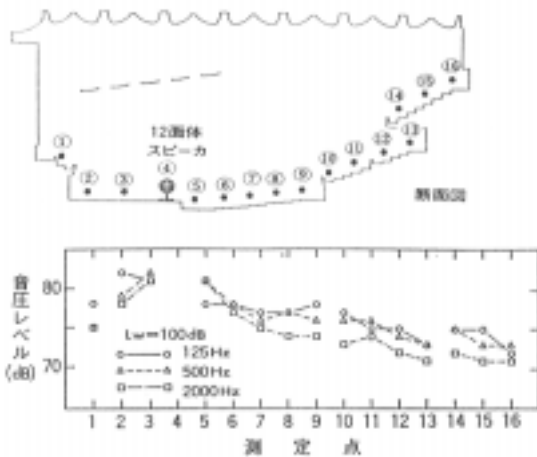


図15 コンサートホール定常音圧分布(センター軸上)

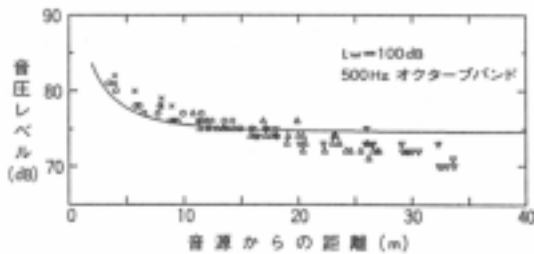


図16 コンサートホール定常音圧分布(全測定点)

と音量の絶対値は小さくなるが、場所間の差は少ない好ましいものである。

エコータイムパターンは、全般的に模型実験での傾向と一致したもので、後部反射音の減衰が大きい、減衰初期のエネルギー密度が高い形状を示し、これはD値、C80などの室内音響の物理指標の数値からも裏付けられている。図13に客席でのエコータイムパターンを模型、実物との比較で示す。

このようにオペラを始めとする演劇専用ホールとして、明瞭度の高い、かつ音量も確保された性能が実現されたものといえる。

(2) コンサートホール

残響時間は、図14に示すように空席時で約2.4秒(500

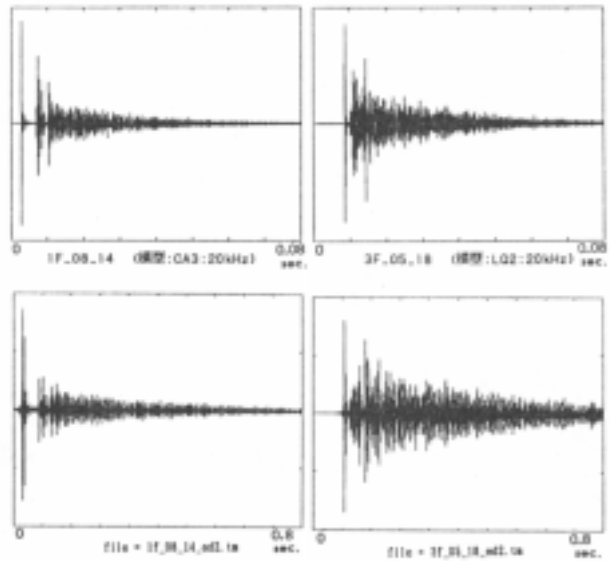


図17 コンサートホールエコータイムパターン(模型と実物との比較)

Hzで、これから満席時の残響時間を推定すると2.0～2.1秒となり、ほぼ設計目標値を満たしているが、高音域の残響時間が設計値より長くなり、従来高音域での残響時間が短くなる傾向のホールとはひと味違った特性が得られた。

音響パワーレベル100dBの全指向性音源(12面体スピーカ)を舞台上に置いたときのホールセンター軸の音圧分布は、図15に示すように各点の差が小さく、絶対レベルも大きいといえる。また、500Hzでの距離と音圧レベルの関係を図17に示すが、計算値との対応が良い。

エコータイムパターンは、図17に一例を示すように全般的に模型実験での傾向と一致しており、予想通り反射音の豊かなもので、これは、D値、C80などの物理指標からも残響成分の多いことが裏付けられている。

このように、専用のコンサートホールとして、基本的な音響性能は十分なものを備えていると判断している。

3.2 室内騒音、遮音性能

一番の問題であった地下鉄騒音は、大ホールで以下、コンサートホールで以下であった。16～31.5Hzで卓越したピークを示す特性で、聴感上ほとんど検知できない状況であり、防振構造を採用した効果が十分得られたことが確認できた。

空調騒音は、大ホールでNC - 20以下、コンサートホールでNC - 15以下の十分静かな空間が実現された。

遮音性能は、他施設とホール間でD - 70～80、大ホールとりハーサル室間でD - 85以上の実用上十分な性能が得られた。

また、ホールの上階に位置する他施設からの固体音に

については、床衝撃音遮断でL - 30以下と、十分な性能を有している。

3.3 舞台音響設備

(1) 大ホール

基本的な幕状態の条件で測定した舞台音響設備の性能を紹介すると、音圧分布偏差は、500, 2000Hzで5dB以内と良好であり、最大再生音圧レベルは、客席代表点で103dBと大きな音圧レベルが確保されており、安全拡声利得は、センターマイクおよび下手司会者位置で-9.5 ~ -3.5dBと、安全性が高い拡声が可能である。また、明瞭度指数(RASTI)は、0.46 ~ 0.73で“Fair ~ Good”の評価となり、半数以上の測定点で“Good”の評価となる良好な明瞭度である。

音像定位システムについては、舞台鼻に設けた数本のツラマイクを使つての音像の定位効果を確認し、また、音場支援システムについても、設定した支援パターンでの効果を確認している。

(2) コンサートホール

コンサートホールの舞台音響設備の性能は、アナウンス拡声に対応したもつて十分な特性を持つものであった。音圧分布偏差は、500, 2000Hzで5dB以内と良好で、最大再生音圧レベルは、客席代表点で96dBの音圧レベルが確保され、安全拡声利得は、アナウンス拡声時の設定状態において、センターマイクおよび下手司会者位置で-12.0 ~ -5.0dBと、反射音成分の多いコンサートホールとしては安定性が高いものであった。また、明瞭度指数(RASTI)0.39 ~ 0.55で“Poor ~ Fair”の評価となり、残響の長いコンサートホールとしては半数以上の測定点“Fair”の評価となる良好な明瞭度が得られている。

おわりに

このように、両ホールとも基本的な音響性能は十分なものが実現された判断している。

昨秋10月末のオープンから日も浅いが、開館記念事業をはじめとする各種催しが開催された。

大ホールは、サヴァリッシュ式のバイエルン国立歌劇場の引越し公演が、猿之助演出による「影のない女」の初演と、「フィガロの結婚」(モーツァルト)の2つのオペラで幕を開けた。しかも、本ホールならではの舞台設備を生かした日替わり公園(レパトリスシステム)を実現した。明瞭度がよく、声がよく届くとのことで、サヴァリッシュはもとより歌手たちの反応も良く、本拠地のバイエルンよりも良いとの意見もあると聞いている。

コンサートホールは、中京地区で初のアリーナ形式であり、この種のホールでの演奏の経験が少ないことにもよられるが、やはり音のアンサンブルの問題を指摘することと、高音域の残響が長めのためか、管などの高音域が強いという声があるようである。しかし、全体的には、オープン公演の指揮者サー・ネヴィル・マリナー(セント・マーチン・アカデミー管弦楽団)を始めとし、演奏者、聴衆の評判は良く、音量の大きい、明瞭度の高い音響性能が得られていると認識している。オケの規模、演目等に応じて、このホールに指摘した演奏形式を掴むことで、より一層好ましい状況になるものと思われる。

今後、これらのホールを生かすのは、ひとえに運営側の熱意であり、現在行われている関係者による熱心な努力が今後とも引き続いて行われ、ホールの特徴を捉えた意欲的な公演が行われることを期待する。最後に、愛知芸術文化センターの愛知県芸術劇場における各ホールの音響設計、監理にあたり多大なるご理解とご協力を頂いた愛知県建築部営繕課、同総務部文化振興曲、同文芸振興事業団を始めとする愛知県の各担当者、各工事関係者各位に感謝の意を表します。