

日生劇場の音響について

石井聖光・平野興彦

昨年 10 月 20 日、ベルリンオペラでフタを開けた日生劇場は芸術院会員村野藤吾氏の設計になるもので、われわれはその設計施工に当たり、音響の立場から参加し、1/10 の模型を製作して、その形状を検討し、設計者の芸術的なデザインをそこなうことなく、音響効果を上げるべく努力を重ねた。本報告は、その経過の概要である。

は し が き

日生劇場は村野・森建築事務所の設計監理、大林組の施工により昭和 38 年 9 月 16 日に落成した日本生命日比谷ビルの 2~5 階にあり、音楽・オペラ・演劇など多目的に利用されるオーディトリウムで客席数は 1340 である。

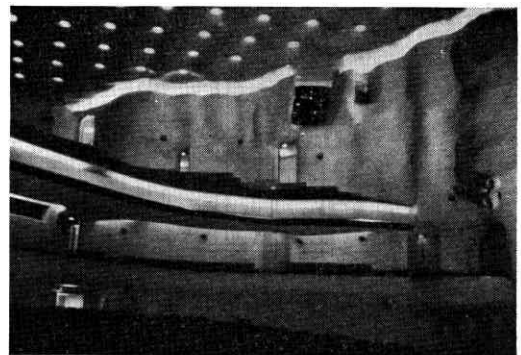
われわれはこの劇場の設計施工に当たり、研究委託を受けて模型実験によってその形状を検討し、その内部設計について各種の助言を行なったので、その概要を報告する。

1. 日生劇場の形状

設計案としてわれわれに示されたこのホールの形状は平面図を見ると、1 階席、2 階席とも側壁と後壁とが連続した凹曲面でつながっていて境目がなく、3 階席では 1、2 階席よりは側壁、後壁の境目があるが一般の劇場のような判然としたものではなかった。また全体として平面、断面ともに曲面を多く用いた形状で、この傾向は設計者である村野藤吾氏の作品には就壳ホールを始め、多くのホールで見られるもので、この日生劇場は氏の一連の作品の中でも、もっとも精魂を傾けられたもののように察せられた。

しかしこのような形状は音響の立場からはあまり好ましいものではない。すなわち第 1 にこのホールの壁面に用いられている凹曲面壁は一般の平面壁にくらべて、そこに当たった音が反射してどこかに集中する傾向をもっている。第 2 に音響設計の常道にしたがって後壁を吸音性にすることを計画しても、1、2 階席のように側壁と後壁が凹曲面で連続していて境目がないために反射性の側壁から吸音性の後壁へどのようにしてもってゆくかという点に、意匠的なデザインと施工技術の両面から問題にぶつかってくる。造形的な面からは側壁から後壁へなめらかな曲面でつないでゆくことを希望し、音響の立場から要求する反射材から吸音材へという異質の材料をいかにデザインの希望を満たすように使いこなすかという点に問題が残された。

これらの問題はいずれもこのホールの造形的なデザインの根本的な考え方に原因しているもので、設計者の過去の作品の傾向などから判断しても、この考え方を変えることは無理と思われた。また時間的にみても今さら大きな設計変更を行なう余裕はなく、さらに建築主である日本生命の幹部が村野藤吾氏を設計者に指名したことは氏の造形的な手腕を高く評価した結果であり、現設計案のような形にこそ氏の本領が発揮されるものと考えた。



(a)



(b)

第 1 図 内部の状況

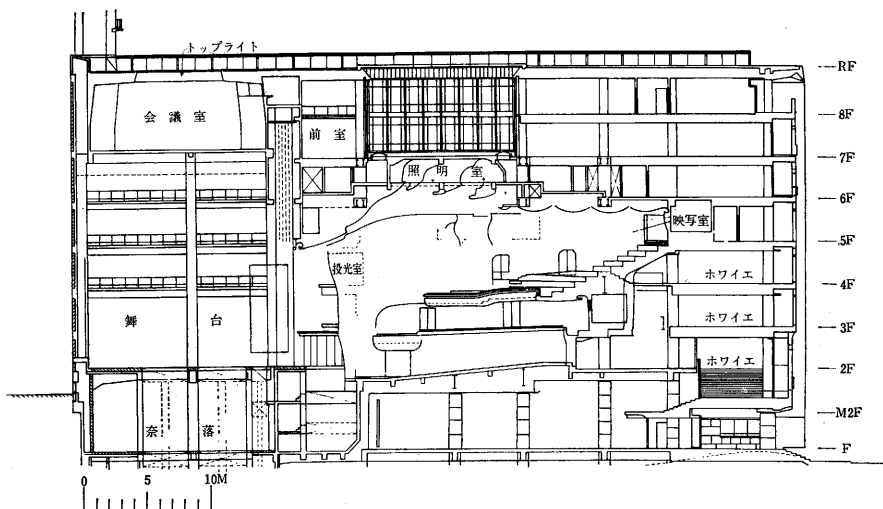
そこでこのホールに対して設計者が持っているイメージをくずすことなく、音響的なトラブルを起こさないようなものにするために全面的な協力をすることにした。

第1の壁面の形状は基本的な線はそのままにして、これに曲面の凹凸を加えて当たった音を散らす方法をとった。すなわち凹曲面の壁面に波形の凹凸を付け、また上下方向にも傾斜を持たせて、これらの面に当たった音が特定の方向に反射することを防ぎ、1階席ではさらに後壁を前に傾けて舞台からの音がこの面に反射すると後壁に近い客席に落ちるように計画した。これは後壁からの反射音が前方の客席にまでもどってエコーとなることを防ぐためである。

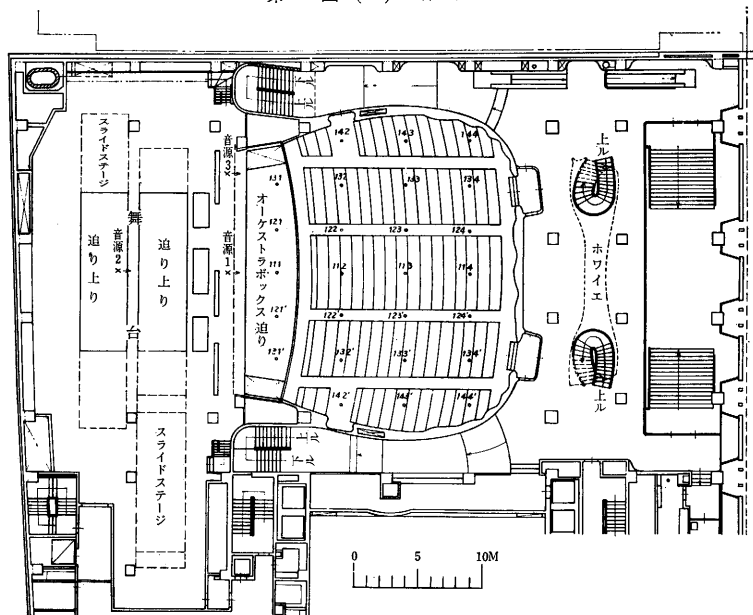
第2の側壁と後壁の材料的な取扱いは、これらの面が3次元的な曲面でしかも複雑な形であるために、この

ような形を造りうる材料という点で大きな制限をうけ、しかも反射から吸音への境目を見た人に意識させないようなものという造形的な要求を満たすことは至難なことであった。さらに高層建築物内にあるオーディリアムとして防火上の見地から可燃材料の使用は認められず、後壁の材料の選定にはほとんど困惑した。

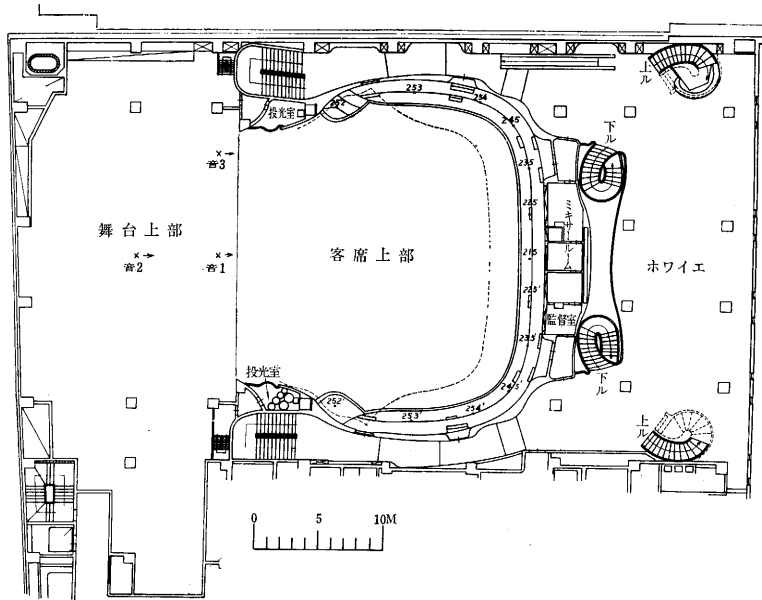
このような時期に設計者から壁面仕上げ材料としてガラスモザイクを全面的に使用したいことが提案された。これは浴室などに用いられるモザイクタイルと同様にガラスの小片をモルタルで壁に張ってゆくものである。このような手法を用いた場合には吸音といってもガラスには吸音性がほとんど無いので、ガラスとガラスの間の目地の部分にたよる以外に、施工方法についての検討を行なったが、ガラスモザイク壁による吸音は



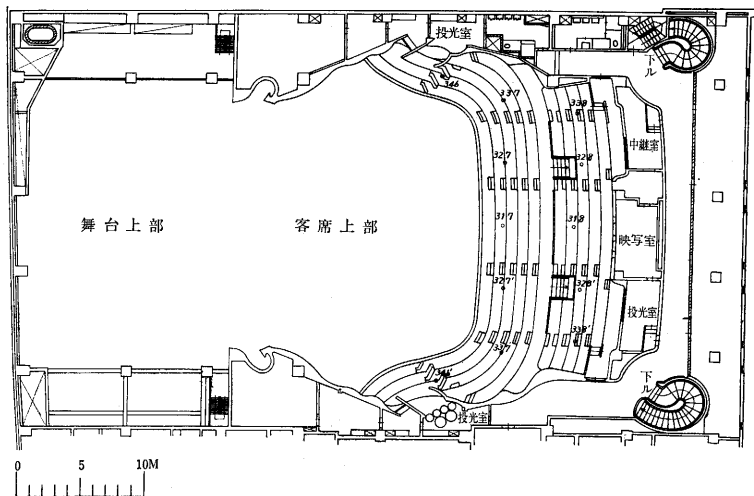
第2図(a) 断面図



第2図(b) 1階席平面図



第 2 図 (c) 2 階席平面図



第 2 図 (d) 3 階席平面図

ほとんど期待できないことがわかった。そこで他の材料を研究したが適当なもの無く、設計者はガラスモザイクがたいへん美しいという理由で壁面は全面的にこれを用い、音響的な問題は壁面の形によって処理することを希望した。

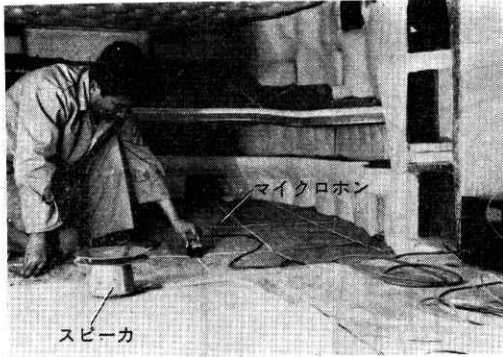
このような段階に及んで、われわれとしては図面上の検討のみにたよることに不安を感じ、特に 1, 2 階席の曲面壁を吸音なしで処理したときに生ずるかも知れないこれらの壁からの反射音によるエコーその他の音響障害を検討するために、模型による音響実験を実施することにきめた。

またこのホールの断面形については、われわれが要求した舞台近くの天井を反射板として利用し舞台からの音を客席各部へ反射するような形にすること、中央から後

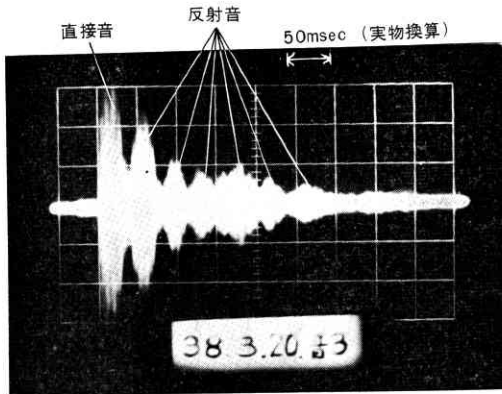
の天井には凹凸をつけて室内の音の拡散をよくすることなどがうまく造形的にも満足できる形で採用される見込であったので、この点での心配は少なかったが、模型実験によってこれらの点も合わせて検討することとした。

2. 模型による音響実験

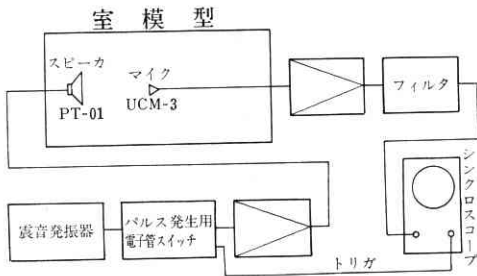
前述のような目的で 1/10 の模型を製作して壁面形を検討することにしたが、それに先立って、すでに造形的な検討のために造られていた 1/50 の模型にアルミ箔を貼って光の反射を利用した光学的な反射の状況から音の反射を推定して、明らかに欠陥のある壁面について修正を行なった。もちろん光と音とでは波長が非常に違うので光による実験結果をうのみにすることはできないが、大きな欠点は発見が可能である。



第3図 日生劇場 1/10 模型の内部



第4図 シンクロスコープによる観測結果の一例



第5図 模型実験のブロックダイアグラム

こうしてえられたものの 1/10 模型を製作したわけであるが、模型も 1/10 ともなるとたいへん大きく、中に 2, 3 名の人をはいることもできる。そのためこれを造るには広い場所が必要であり、また設計者との連絡に便利な所が望ましいなどの点を考慮して、現場（完成後はロビーになる所）に製作し、これに近接して約 30m² の測定室をつくった。

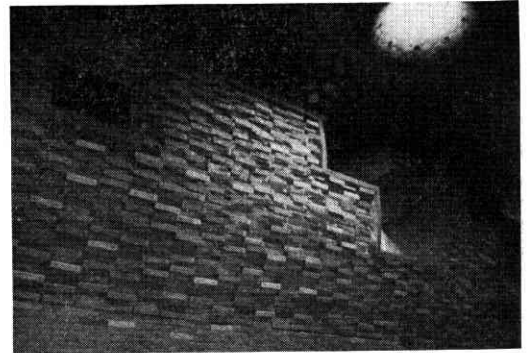
この模型は木材で骨組を作り、これに油土をつけて部屋の形を作り、その表面を石膏でかめめて音の反射性をよくした。

(1) 模型実験の方法

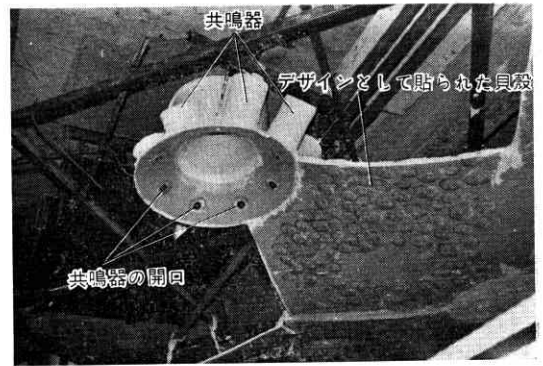
この実験の目的が壁・天井などからの反射音を調べることに主眼をおいているので、これ以外の客席・舞台の後壁・袖などからの反射音はできるだけ少なくなるよう

に、これらの部分は音をよく吸収するガラスウールで覆った。

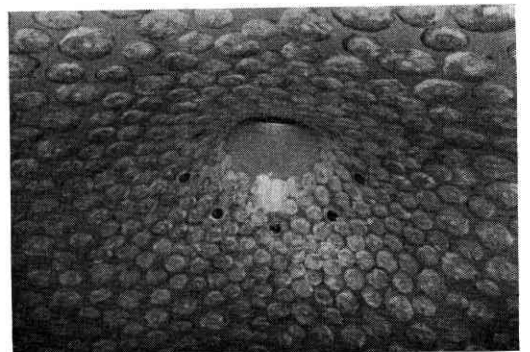
さて模型実験をする際の相似則の問題は、波長と建物の寸法との関係を相似させるために模型の縮尺だけ反対に実験に用いる音の周波数を高くしなければならない。したがって 1/10 模型では 10 倍の周波数の音を用いばよい。今回の実験では早急に結論を出すことが要求されていたので、実物で 1000 c/s に相当する音（模型内では 10 kc）の継続時間 25 msec（模型内で 2.5 msec）の AC パルスをおもに用い、実験の最終段階では 4000 c/s（模型内では 40 kc）についても測定した。これは今日までの経験から 1000 c/s の音に対してエコーが認められなけ



第7図 3階席後壁、ボルト止めのガラスモザイクの隙間から音が入って吸収される

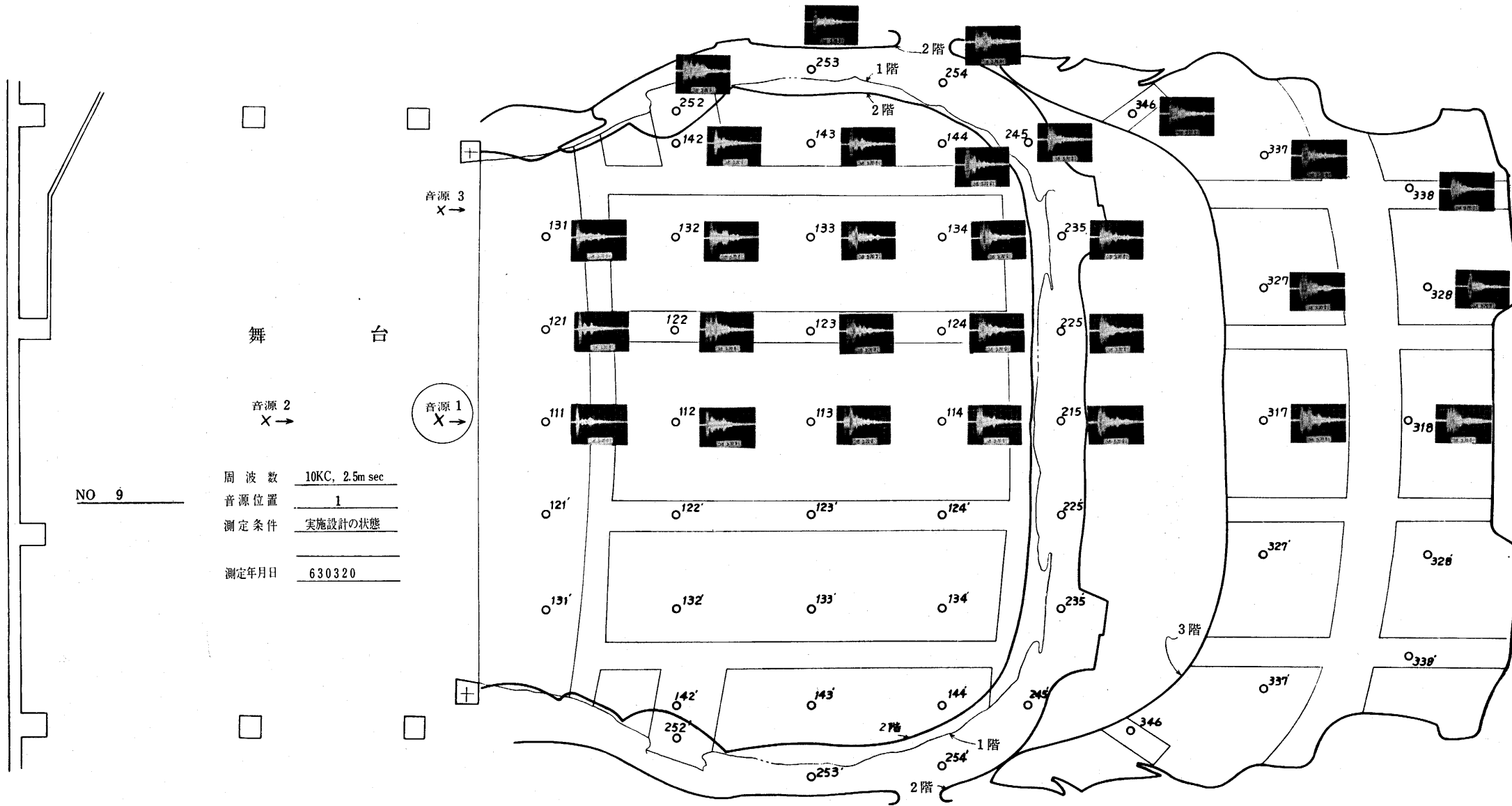


(a) 天井に仕込まれた低音吸収のための共鳴吸音器

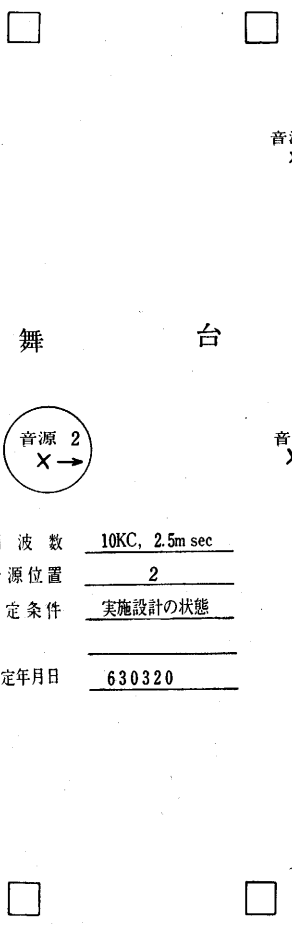
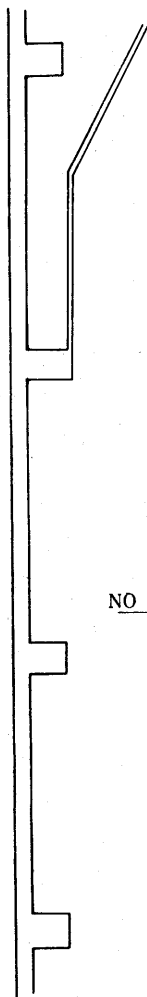


(b) 完成した天井

第8図

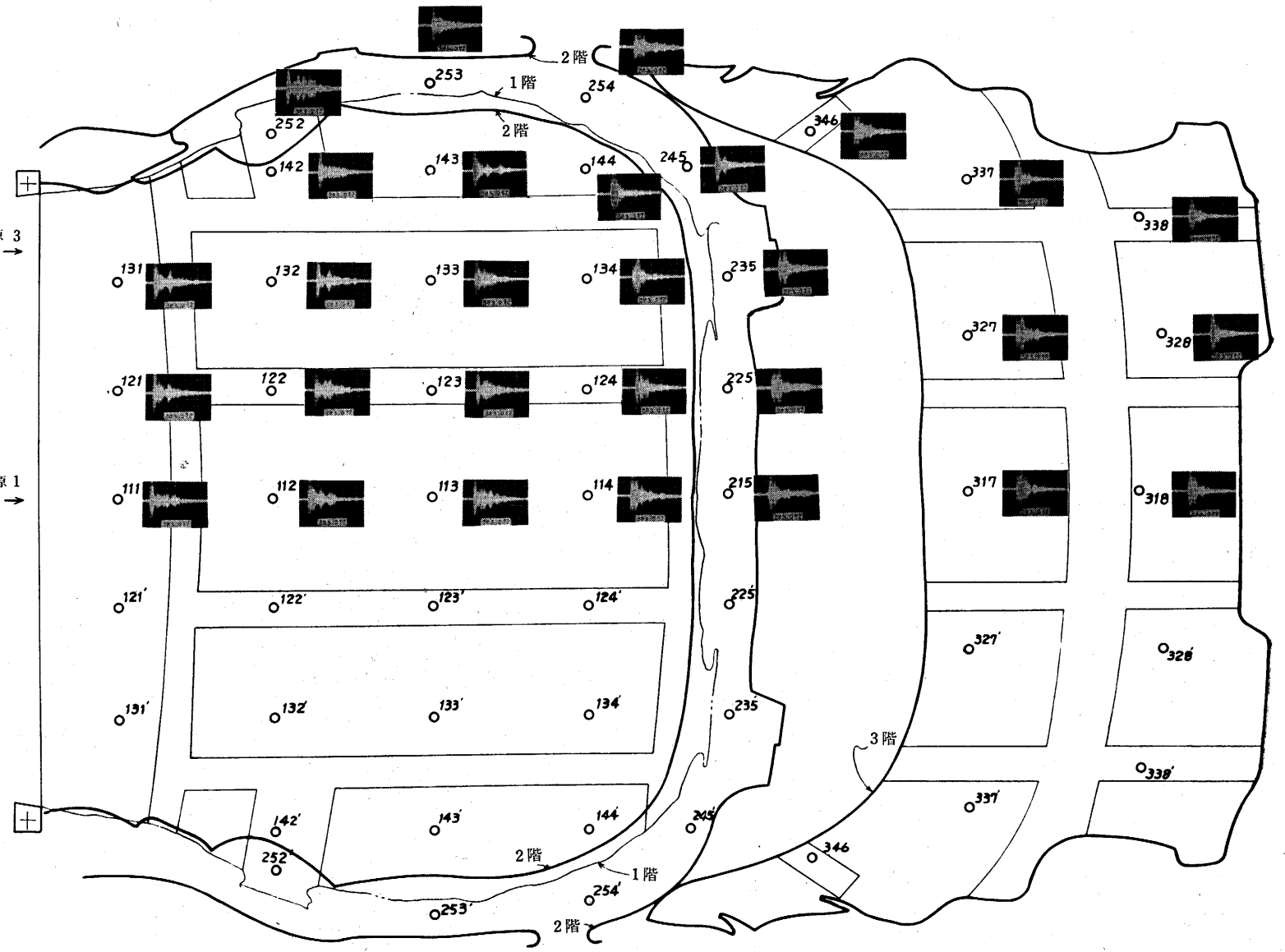


第 6 図 (a)

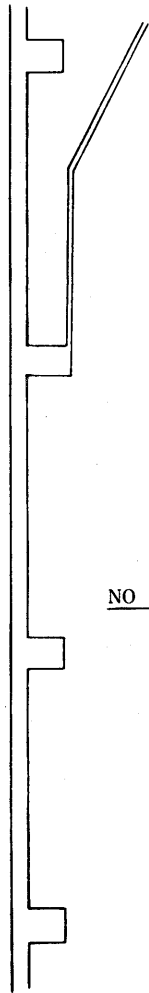


周波数	10KC, 2.5m sec
音源位置	2
測定条件	実施設計の状態
測定年月日	630320

NO 10



第 6 図 (b)



舞 台

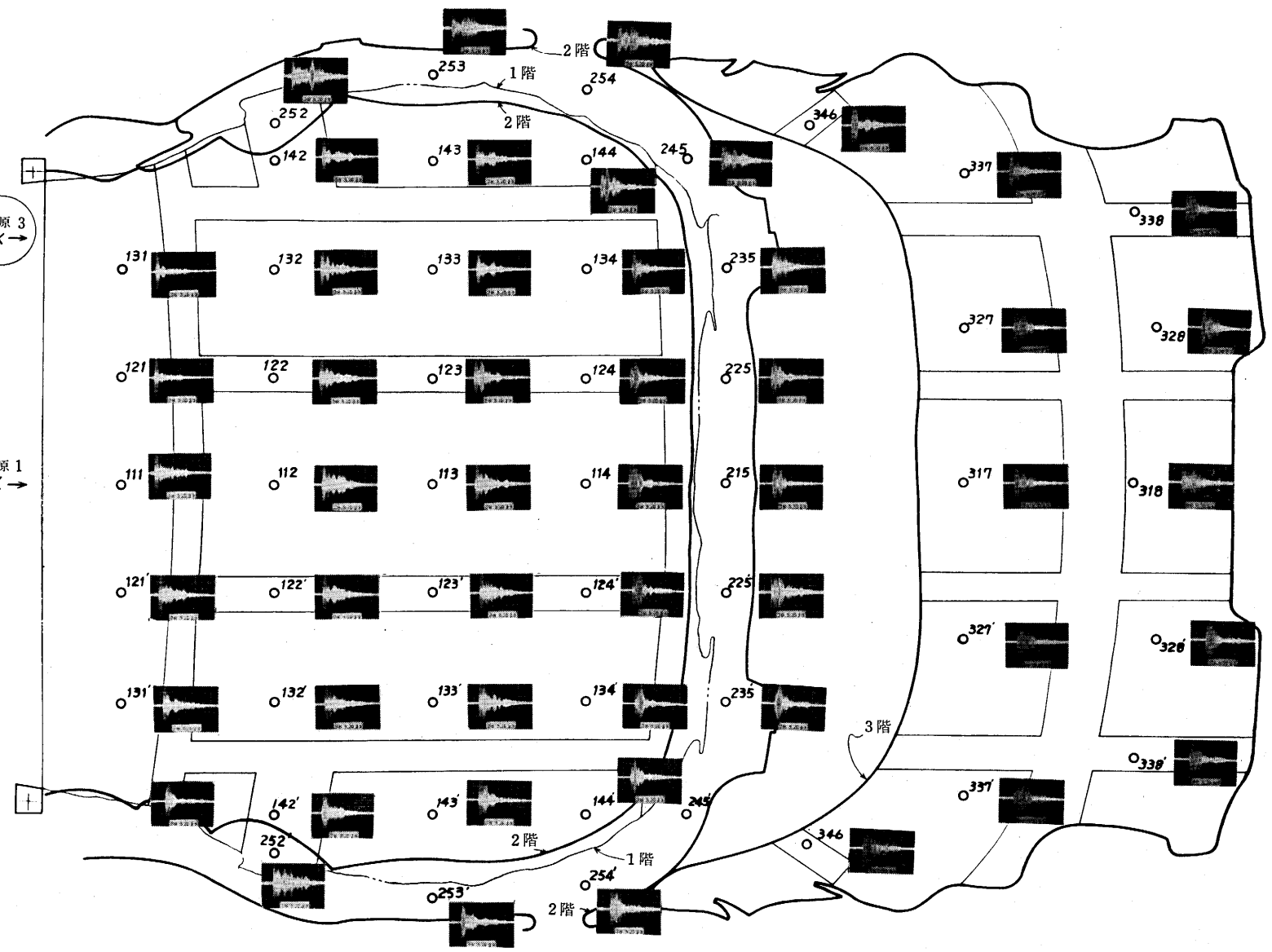
音源 2
X →

音源 1
X →

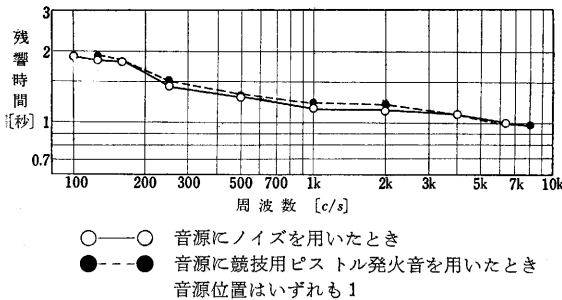
音源 3
X →

NO 11

周波数	10KC, 2.5m sec
音源位置	3
測定条件	実施設計の状態
測定年月日	630320



第 6 図 (c)



第 9 図 完成後空席の室内平均残響時間

れば、他の周波数で認められても劇場として致命的な欠陥にはならないことがわかっていたため、パルス幅はわれわれの聴覚では一般に 50 msec 以上はなれた二つの音は別々に聞こえてエコーになることが知られているので、50 msec のずれが発見できるように 25 msec のものとし、周波数変調をした震音を用いた。

音源のスピーカには無指向性ホーン型 (パイオニア PT-01 型) を用い、舞台中央前と奥、および上手前の 3 カ所を音源位置とし、受音用マイクロホンにはわれわれの研究室で開発した振動膜の直径が 6 mm のコンデンサマイクロホン UCM-3 型を用い、1, 2, 3 階の客席を移動して、音源からのパルスがマイクロホンに到達する状態をシンクロスコープによって観察し写真にとった。第 4 図はその 1 例であり、測定のプロックダイアグラムは第 5 図のとおりである。

(2) 模型実験の経過

このような方法で実験を行なって検討した結果、原案のままでは 1, 2 階席の相当広い範囲に聴覚でわかると思われるエコーまたはそれに近い現象が認められた。そこで音響の立場から壁面の形を修正して実験を行ない、一応これならばという形にして設計者に見せた。設計者は造形的な立場から再び修正し、再度音響実験を行なうとまた欠点が発見され、さらに修正して設計者に見せた。このようなやりとりが約 2 カ月半続いてやっと両者が一応の満足をするまでに到った。第 6 図 (a), (b), (c) は最終案による測定結果である。

こうしてえられた模型をもとにして実施設計図が作られたが、3次元の凹凸から成り立っているため、模型からの図面化はたいへんな仕事のようにであった。

3. 室内各部の仕上げ材料について

以上のような経過で形状がきまり、各部の仕上げ材料はつぎのようになった。

- 壁面：リプラスモルタルにガラスモザイク貼付け
- 3階席後壁のみ石綿吹付下地モルトプレーン張りの上

- に空間をおいてガラスモザイクボルト止め
- 天井：石膏でつくり表面塗装貝殻貼付け仕上げ
- 床：全面ジュータン敷

4. 低音吸収のための共鳴吸音器

前述のような仕上げ材料からこのホールの残響時間を検討した結果、低音吸収の材料が少ないために低音の残響時間が中音、高音にくらべてあまり長くなりすぎる危険性が認められた。低音の残響は中音にくらべて多少長いことが一般に好まれるのであるが、それにも限度があって、中音の 500 c/s に対して低音の 100 c/s で 50% 増以上にはならないほうがよいとされている。

そこで天井の照明部分の周囲にヘルムホルツの共鳴器を利用した共鳴吸音器を 471 個取り付けることとした。共鳴周波数は 63c/s から 200c/s におよぶ 6 種類である。

完成後空席の際の残響時間の測定結果は第 9 図のようであり、低音部の残響が中音部にくらべて、あまりに長くならしすぎるのを抑えることができた。

5. 完成後の音響効果

完成後空席の場合について残響時間、音圧分布、エコーの検討、など各種の測定を行なったが、目下その集計の途上であり最終的な結論はえられていないが、現在までわかった範囲では模型実験の結果との対応が予想した以上によく、模型実験から予想していたようなホールができたように思われる。

細部については目下検討中であり、聴衆が満員になった時の測定も計画している。

おわりに

以上が日生劇場に関する音響の大要であり、今後このホールに対する批判と完成後の測定結果との対応について研究を進めたいと考えている。

また 3 次元模型による音響実験は世界的に見ても研究の途上にあり、われわれとしては神奈川県立青少年ホールについて第 2 回目であり、今回の結果から十分実用になる自信をえたと同時に、測定機器について今後改良すべき多くの点を知りえたことは幸いであった。

最後にこれら実際の建築施工に直結した仕事を研究的な立場から実施することに協力された村野・森建築事務所村野藤吾所長中田竜雄氏・原田順氏・佐藤信夫氏、日生劇場技術部吉井澄雄氏・木村実氏、大林組山口功氏、ニチオン K K 田中課長・上村洋治氏他の方々へ深く感謝する。

(1963 年 12 月 12 日受理)