

膜屋根を有する大空間施設の室内音響特性

買手正浩・富高 隆

Keywords: large spaces, membrane roof, acoustic characteristics

大空間施設、膜屋根、室内音響特性

1. はじめに

ドームに代表される大空間施設は、スポーツイベントだけでなく展示会やロックコンサート、さらにはオペラなどのクラシックコンサートまで幅広い用途で使用されており、音響計画・設計の重要性が高まっている。

しかしながら、ドームなどの大空間施設は、コンサートホールや劇場と異なりボリュームが膨大で室形状もその多くが凹曲面で構成されている。さらに、内装材料にも様々な制約があるため、残響過多やロングパスエコーなどの音響障害が生じ易く、聴き取り易さや明瞭度を損なうことになる。特に、屋根や床など同一部材が大面積を占めていること、部材の音響性能が十分に把握できていないことなど、解明すべき点が多い。

大空間施設の屋根の大スパン架構を実現する方法として、テフロン製膜などを用いた膜屋根が多く採用されている。金属屋根に比較し形態の自由度が高く、日中の採光も得られること、軽量化により建設コスト・工期についても経済的であることなど、今後、ますます全天候対応型大空間への需要があると考えられる。

ここでは、膜屋根を有する既存の大空間施設を対象に残響時間やインパルス応答などの音響測定を実施し、膜屋根の室内音場への影響について検討を行った。

2. 既存大空間施設の残響時間特性

既存の大空間施設の残響時間特性を金属屋根、膜屋根に分類して図-1, 2 に示した。これによると、膜屋根大空間の方が全体的に残響時間が長く、特に 500Hz ~ 1000Hz の中音域が卓越していることがわかる。

一方、響きに対する聴感的な印象は、室容積と関連があるとされており、室容積の異なる音場を残響時間で直接比較評価するのは適当でない。そこで、残響時間を室



写真-1 開閉式膜屋根ドーム

Dome with movable membrane roof



写真-2 二重膜屋根ドーム

Dome with double membrane roof

内の平均自由行路 $p=4V/S$ (V : 室容積, S : 室表面積) で基準化 (RT/p) することで異なる規模の室内音場の比較評価を試みた。その結果を図-3, 4 に示す。

これによると、金属屋根でも特に吸音対策をしていない場合は、吸音対策ありの場合と明らかに異なる傾向となっていることがわかる。

また、膜屋根の場合で 500Hz～1000Hz の RT/p が大きくなっているものは単層膜もしくは二重膜（内膜：通気性なし）かつ吸音対策なしの場合であり、膜屋根であっても二重膜（内膜：通気性あり）に加え側壁などに吸音対策を行った場合には金属屋根と変わらない結果が得られている。

3. 膜の音響特性

ここで、膜屋根に採用されている膜素材の音響特性について改めて検証する。図-5 は、通気性のある膜（内膜）の残響室における吸音率測定結果を試料の設置条件毎に比較して示している。

これによると背後の空気層を剛壁密着（air 0）から徐々に大きくすることで 吸音率のピークが低音域に移行し、空気層 600mm（air 600）では、吸音率 0.7 前後で周波数による変動が小さくなる傾向がわかる。

一般に、通気性のある膜（内膜）は通気性のない膜（外膜）とペアで使用され、しかも背後は自由空間（外部）である。実験室における測定では、この条件を如何に再現するかが重要となり、例えば、試料背後に厚 300mm のグラスウールを敷き込んだり（air830+GW300）、音響透過損失測定用残響室の受音室の壁、床、天井を厚 100mm のグラスウールで吸音処理することで外部の自由空間を再現する（残響室+GW100）方法が取られているが、その検証は今後の課題となっている。

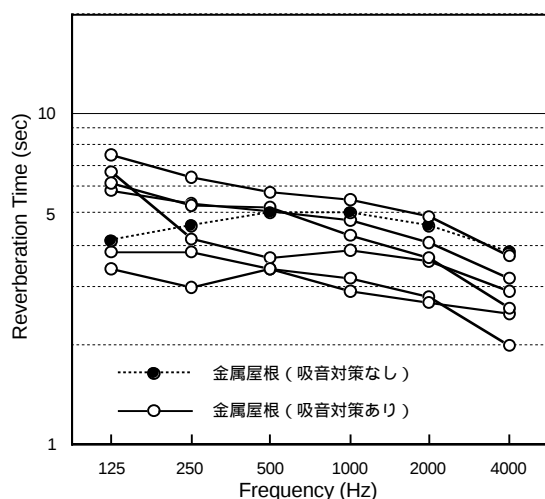


図-1 大空間施設（金属屋根）の残響時間特性
Reverberation time in large spaces with steel roof

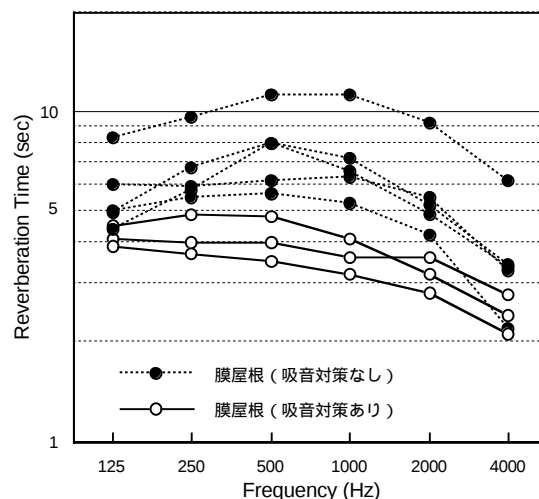


図-2 大空間施設（膜屋根）の残響時間特性
Reverberation time in large spaces with membrane roof

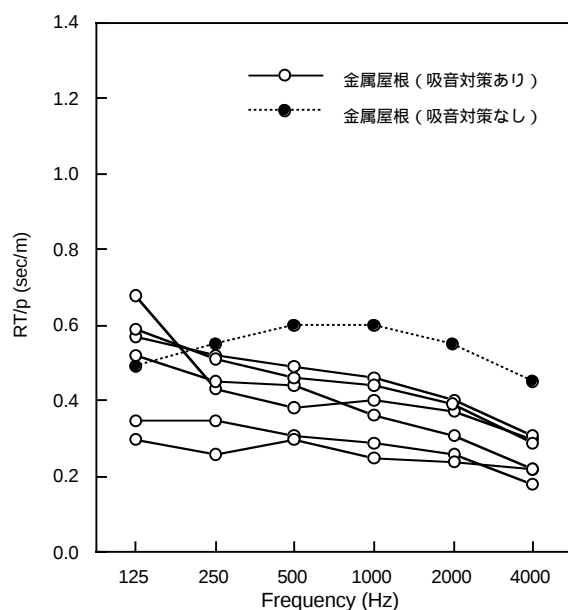


図-3 大空間施設（金属屋根）の基準化残響時間 RT/p
RT/p in large spaces with steel roof

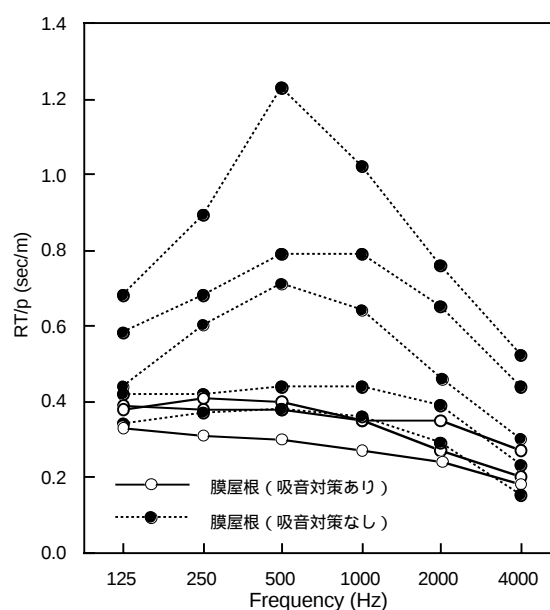


図-4 大空間施設（膜屋根）の基準化残響時間 RT/p
RT/p in large spaces with membrane roof

一方、外膜の吸音率測定結果を図-6 に示すが、空気層 600mm (air600) で 0.1 前後に対し、背後が自由空間の場合には、低音域の吸音率が大きくなる傾向がみられる。

また、二重膜（外膜＋内膜）の吸音率測定結果は、図-7 に示したように、二重膜の仕様や測定条件は同一ではないものの周波数特性はほぼ平坦であることがわかる。なお、実測結果から推定した吸音率は、実験室における

測定結果より大きな値を示す傾向が見られる。

4. 膜の室内音場に及ぼす影響

次に、屋外スタジアムに膜屋根を架構することにより室内音場がどのように変化するかを把握するため、可動式開閉膜屋根を有するスタジアムにおいて、膜屋根の展開中の音響測定を行った。

膜屋根の仕様は、外膜、内膜ともに通気性のない膜材であり、空気層厚は最大で 4m である。図-8 に可動膜屋根の可動状況図を示した。

4.1 測定方法

測定はスイープパルス法¹⁾を適用し、継続時間の長いスイープ信号 ($N=2^{23}$) を音源とし、膜屋根展開中におけるインパルス応答を約 5 分毎に計測した。なお、可動膜屋根は、全開から全閉まで約 170m を約 3m/分の速度で移動する。

音源位置はフィールド内（サッカー PK 点）、受音点はフィールド内およびスタンド席内の数点とした。

4.2 測定結果

スタジアム内の平均残響時間特性を膜屋根全開（1/4 閉）、2/4 閉、3/4 閉、全閉の各条件で比較して図-9 に示す。これによると、膜屋根の占める面積が増加に対応して、残響時間が全体的に長くなる傾向が見られる。

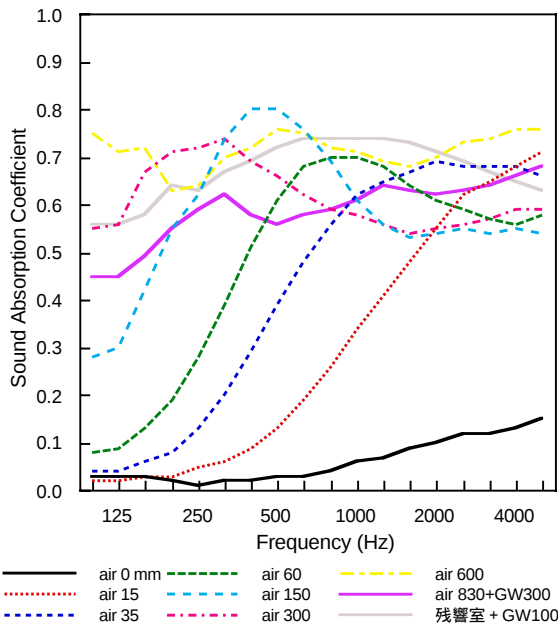


図-5 内膜の吸音率

Sound absorption coefficient of inner membrane

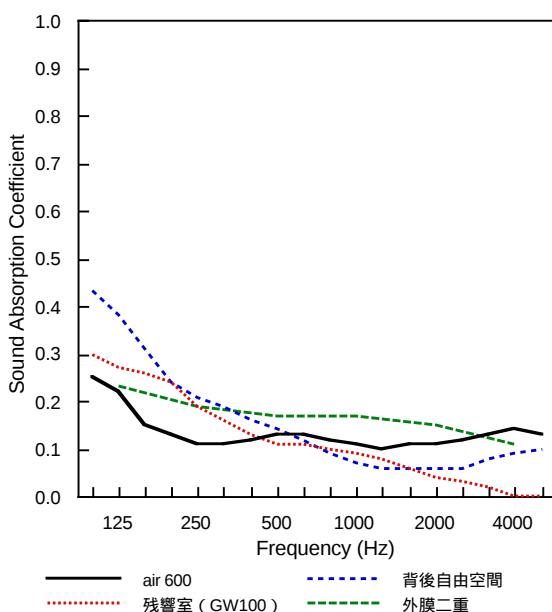


図-6 外膜の吸音率

Sound absorption coefficient of outer membrane

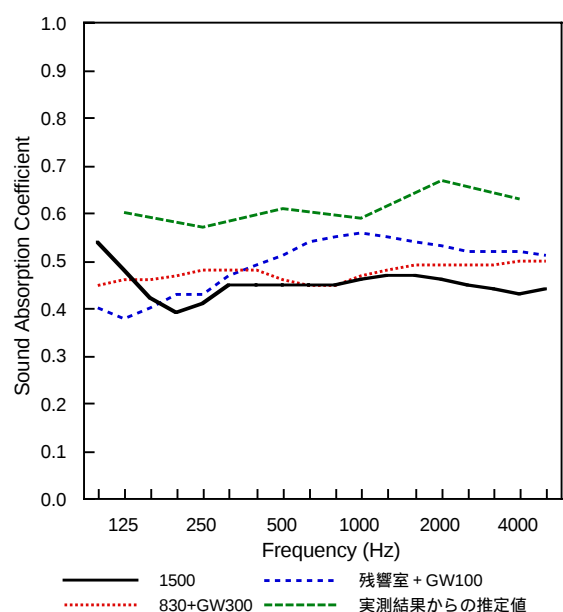


図-7 二重膜（外膜＋内膜）の吸音率

Sound absorption coefficient of double membrane

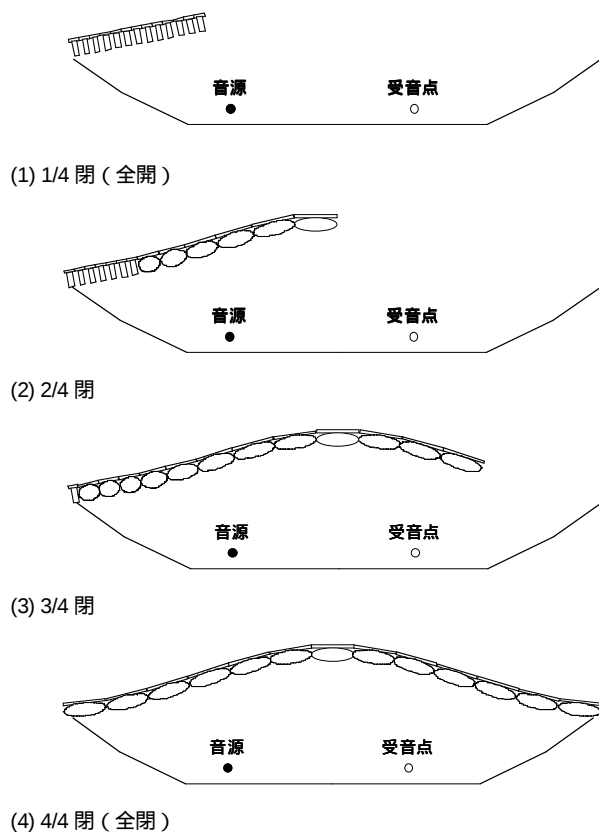


図-8 膜屋根の可動状況

Conditions of membrane roof

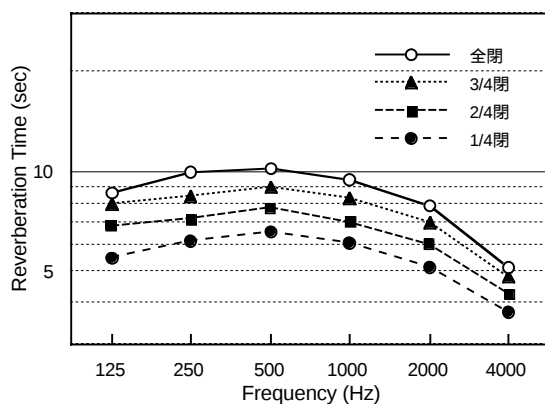


図-9 膜屋根面積と残響時間

Reverberation time by membrane roof condition

また、この時のフィールド内の受信点におけるエコータイムパターン (500Hz/oct) の変化を図-10 に示す。

音源 - 受信点間の反射音経路上に膜屋根が展開されるに従い、反射音が増加していることが明確にわかる。

5. まとめ

膜屋根を有する大空間施設に着目し、その室内音響特性について実測結果を中心に検証した。その結果、膜屋根を採用する場合には適切な吸音対策が必要であり、特

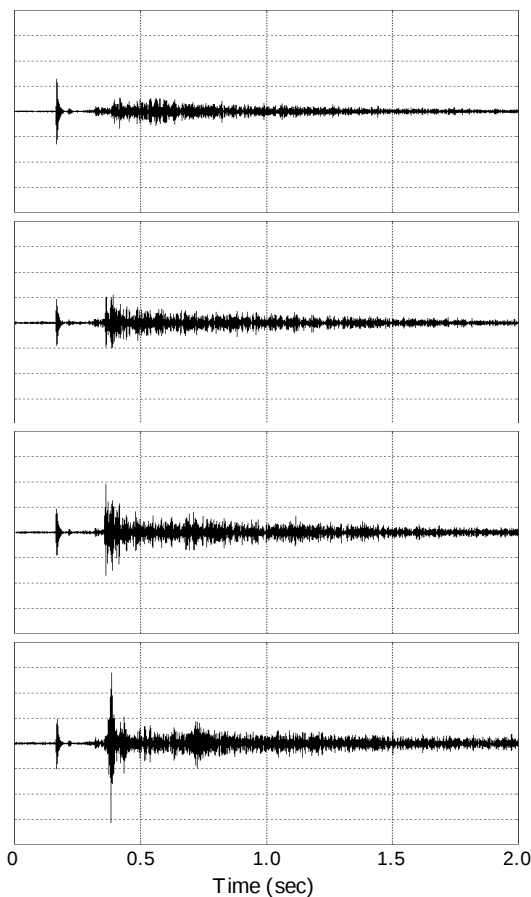


図-10 膜屋根面積とエコータイムパターン (500Hz)

上から 1/4 閉 (全開), 2/4 閉, 3/4 閉, 全閉

Echo time pattern in 500 Hz/oct.band by membrane roof condition

に外膜 (通気性なし) 素材を屋根材として用いる場合には室内音場への影響が顕著に現れるため注意を要することが確認された。

今後は、物理的検証に加え大空間施設における聴感印象について、これまでに得られた音響測定データを用いた聴感実験を実施し、聴感印象に基づく大空間施設のリミット設計・最適設計を目標とした音響設計・計画技術の構築を目指す。

参考文献

- 1) 買手正浩, 日高新人, 矢野博夫, 橋秀樹: スイープ・パルス法によるホールのインパルス応答の計測, 日本音響学会講演論文集, pp.609-610, 1989.3.
- 2) 買手正浩: 公共空間の音環境設計と騒音制御: ドーム, 日本騒音制御工学会, Vol.23, No.4, pp.243-247, 1998.8.
- 3) 買手正浩, 佐藤史明, 橋秀樹: 大空間の室内音響特性に関する一考察, 日本音響学会講演論文集, pp.857-858, 2001.3.