

平面スピーカの放射特性を考慮した吸音構造



小林 正明*

土屋 裕造*

概 要

平面スピーカから放射された平面音波は、指向性が鋭く、距離による減衰が小さいという特性を有する。この特性を利用し、聴衆の方向に有効な音を放射し、残響音となる天井や側壁方向への放射を低減することで音声の明瞭性を確保するという事例が数多くみられる。ただし、室内空間において平面スピーカを使用する際は、スピーカの対向面に高い吸音性能が必要とされる。しかし、過去の研究において、平面音波の特性を考慮した吸音仕様についての検討はなされておらず、現状では、平面スピーカの対向面に適切な吸音仕様がなされているかは疑問である。

本研究では、平面波の反射特性を考慮した、吸音と拡散を同時に行う吸音構造を構築するとともに、その有効性を確認した。

Examination of Absorptive Constructions for Plane Wave

Masaaki KOBAYASHI*

Yuzo TSUCHIYA*

Flat panel loudspeakers have sharp directivity and there is no distance attenuation from the sources. Therefore, effective radiation to the audience area is obtained without harmful sound radiation to the ceiling which would increase the reverberant sound. Consequently, high intelligibility may be obtained. For that reason, the flat panel loudspeakers are used in public spaces. When flat panel loudspeakers are used in the room, it needs to be absorbed at the front wall of the speakers. However, there is no study about absorptive construction for plane wave and normal absorptive constructions are conventionally used in those cases.

In this study, absorptive construction for plane wave is proposed and the validity of the construction is examined.

* 戸田建設(株) 技術研究所

* Technical Research Institute, Toda Corp.

平面スピーカの放射特性を考慮した吸音構造

小林 正明*
土屋 裕造*

1. はじめに

近年、多目的ホールの使用は多岐にわたり、音楽に最適な残響時間を得る一方で、音声の明瞭性を高める工夫が必要とされる。その解決の一例として、指向性が鋭い平面スピーカの利用が挙げられる。すなわち、建築空間の音響特性については音楽を目標とし、それによって損なわれると考えられる講演時等の音声の明瞭性を、平面スピーカによる拡声システムで回復するというものである。

2. 本研究の問題点

既報¹⁾では、平面スピーカの指向性の鋭さと減衰特性を示すとともに、線状に配列した平面スピーカの幅と放射特性の関係について明らかにした。これらの結果をもとに、平面スピーカ使用時に必要となる後壁の吸音配置を検討するにあたり、平面スピーカから放射された音波の対向面での反射特性を把握することは非常に重要である。平面スピーカから放射された音波は距離減衰が小さいため、コーンスピーカを使用した場合と比較して、後壁に入射するエネルギーが非常に大きいことや、反射後の距離減衰が期待できないことから、通常の吸音仕様では、エコーのような音響障害が生じることも考えられるためである。以上から、本報では、平面スピーカから放射された音波の対向面での反射特性を把握するとともに、平面スピーカの後壁仕様として適した吸音構造について検討する。

3. 実験 1

平面スピーカとコーンスピーカから放射される音波の対向面での反射特性を、さまざまな後壁吸音仕様について比較・検討する。

3.1 実験方法

図-1に実験配置を示す。試験体正面にマイクとスピーカを設置し、インパルス応答を測定した。スピー

カは WASEDA E.E. W-3232 平面スピーカ (300 × 300mm) とコーンスピーカ (FOSTEX 38D) を用いた。図-2に試験体の仕様を示す。なお、実験は当社技術研究所簡易無響室で行った。

3.2 実験結果

図-3にインパルス応答解析結果 (2 kHz オクターブバンド) を示す。縦軸は振幅の最大値、すなわち、直接音を基準レベルとする相対レベル、横軸は時間を示す。

試験体 (1-A) において、試験体での 1 次反射音 (25msec 付近) はコーンスピーカおよび平面スピーカとも、直接音より 20dB 程度の低減となっている。しかし、スピーカでの再反射による 2 次反射音 (35msec 付近) では、コーンスピーカが 40dB 程度の低減であるのに対し、平面スピーカは 30dB 程度の低減である。このように、平面スピーカの反射低減量がコーンスピーカと比較して、1 次反射ではほぼ等しい値となるものの、2 次反射では 10dB 以上小さくなるという傾向がすべての試

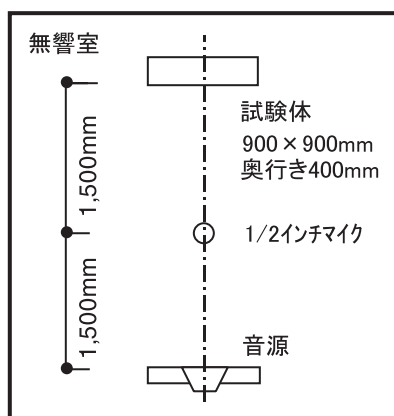


図-1 実験配置 (実験 1)

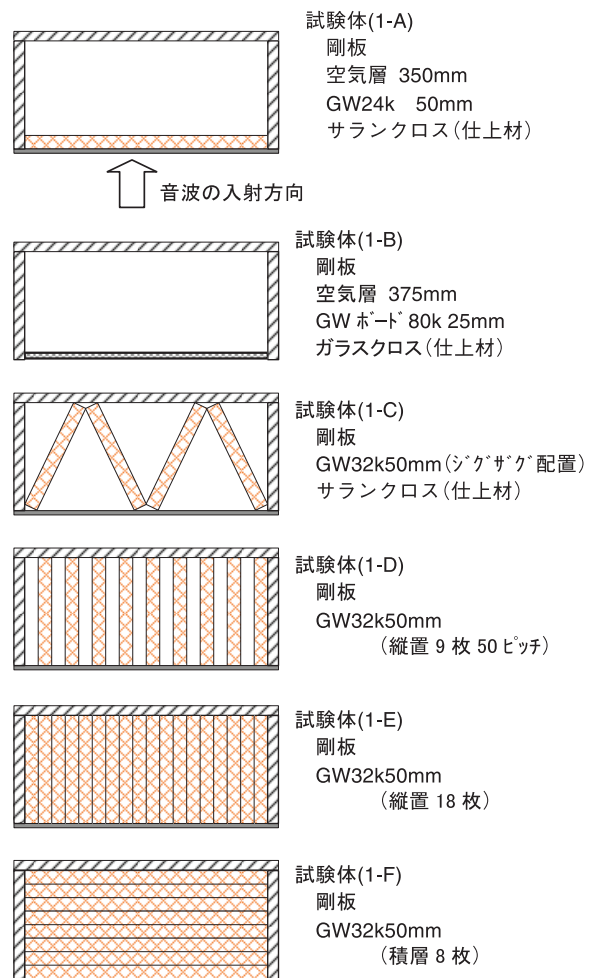


図-2 試験体の吸音仕様 (実験 1)

* 戸田建設(株) 技術研究所

験体においてみられた。これは、平面スピーカから放射された音波が、後壁での反射後も平面波の特性を有し、距離による減衰が小さいためと考えられる。

また、試験体(1-A)において、特に、平面スピーカの1次反射波に2つのピークがあらわれていることは、仕上材表面での反射と、吸音材を透過した音波の剛板での反射による時間差と考えられる。したがって、平面波の吸音については、仕上材表面での反射と剛板、すなわち、吸音材の下地での反射を考慮しなければならない。

3.3 考察

以上より、平面スピーカから放射された音波は、後壁が平行面である場合、後壁での反射後も平面波の特性を有するため、距離による減衰が小さいこと、また、吸音の仕様によっては、仕上材表面と下地による反射が生じることが示された。したがって、平面スピーカの対向面には高い吸音性だけでなく、反射音を拡散するための工夫が必要であると考えられる。

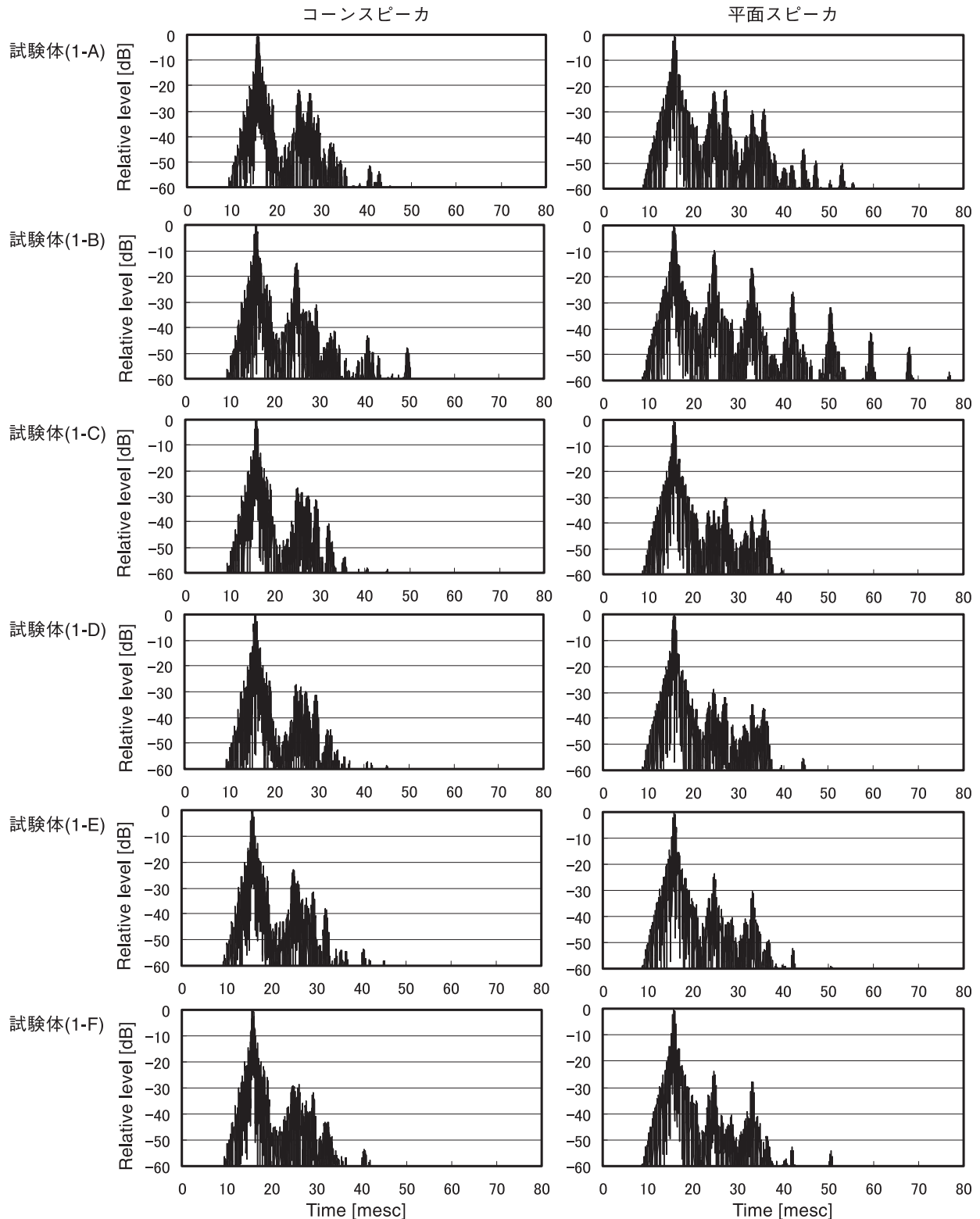


図-3 インパルス応答解析結果(2kHzオクターブバンド)

4. 実験 2

実験 1 より、平面スピーカを使用する場合、前後壁間でのフラッターエコーやロングバスエコーを防ぐために、吸音性の対向面を表面、下地とも拡散形状とすることが望ましいとの知見を得た。実験 2 では、平面スピーカの対向面を拡散性とした場合の有効性について検討する。

4.1 実験方法

平面スピーカを音源としてインパルス応答を測定し、周波数帯域別に分析した。図-4 に実験配置を示す。スピーカは実験 1 と同様の平面スピーカを用い、線状(1列)に 3 枚設置した。測定点(受音点)は平面スピーカ正面の受音点①の他、音圧レベル分布算出のため、平面スピーカの正面方向(長辺方向)に 300mm 間隔、平面スピーカの中心から側方(短辺方向)に 100mm 間隔の各点とした。対向面の反射特性を明らかにするため、床および天井は設けておらず、反射性の側壁は取り外し可能とした。

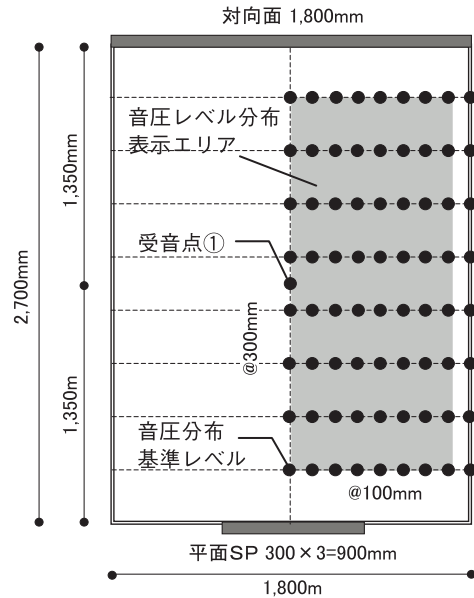


図-4 実験配置(実験 2)

次に、実験 2 に用いた試験体の仕様を表-1 に、試験体の概略を図-5 にそれぞれ示す。拡散体に用いた半円筒は塩化ビニル管で、その直径は 1/4 スケール換算時に 250Hz 帯域以上で拡散効果が得られるように 200mm とした。

図-6 はウレタンを剛壁に密着させた場合の垂直入射吸音率測定結果である。ウレタン 20mm の吸音率が 1/4 スケール換算時に、グラスウール(32K) 50mm と対応することを確認した。

なお、実験は当社技術研究所簡易無響室で行った。

表-1 試験体の吸音仕様(実験 2)

試験体	吸音仕様
2-A	剛板+ウレタン t=20mm
2-B	拡散体+ウレタン t=20mm
2-C	拡散体+空気層 20mm+ウレタン t=20mm
2-D	拡散体+ウレタン t=40mm
2-E	剛板+ウレタン t=40mm

4.2 実験結果

4.2.1 側壁がない場合

まず、拡散体の効果について検討するため、側壁がない状態について実験を行った。図-7 に、受音点①における試験体(2-A)~(2-D)のインパルス応答解析結果(2kHz オクターブバンド)を示す。縦軸は振幅の最大値、すなわち、直接音を基準レベルとする相対レベル、横軸は時間を示す。

いずれも厚さ 20mm のウレタンを用いた試験体(2-A)と(2-B)の比較において、1次反射音(25msec 付近)は、剛板とウレタンを組み合わせた試験体(2-A)が 10dB 程度の低減であるのに対し、拡散体を用いた試験体(2-B)では 18dB 程度の低減となっている。したがって、後壁の仕様に拡散体を用いることで、正面への反射波を低減できるといえる。

また、いずれも拡散体を用いた試験体(2-B)、(2-C)および(2-D)の 1 次反射音の低減量がそれぞれ約 18dB、20dB、22dB となっていることから、吸音材の厚さを増すことで低減効果は上昇し、また、吸音層の厚さが等しい場合は、空気層を設けずに吸音材を充填するほうが反射音の低減効果が大きいことが示された。

次に、拡散体を用いた場合の反射音の分布について検討する。図-8 に試験体(2-D)と(2-E)のそれぞれについて、側壁がない状態での 2kHz オクターブバンド

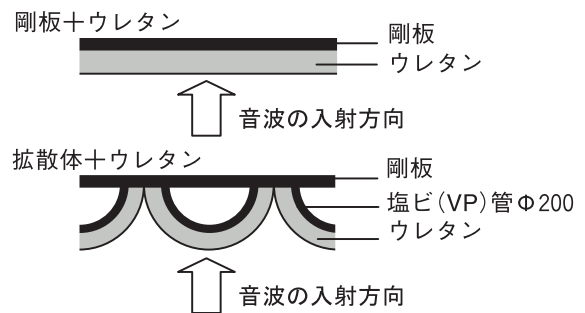


図-5 試験体概略図(実験 2)

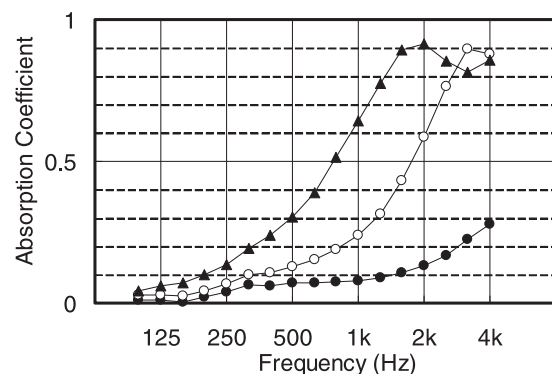


図-6 垂直入射吸音率

- : ウレタン t=10mm 剛壁密着
- : ウレタン t=20mm 剛壁密着
- ▲ : ウレタン t=40mm 剛壁密着

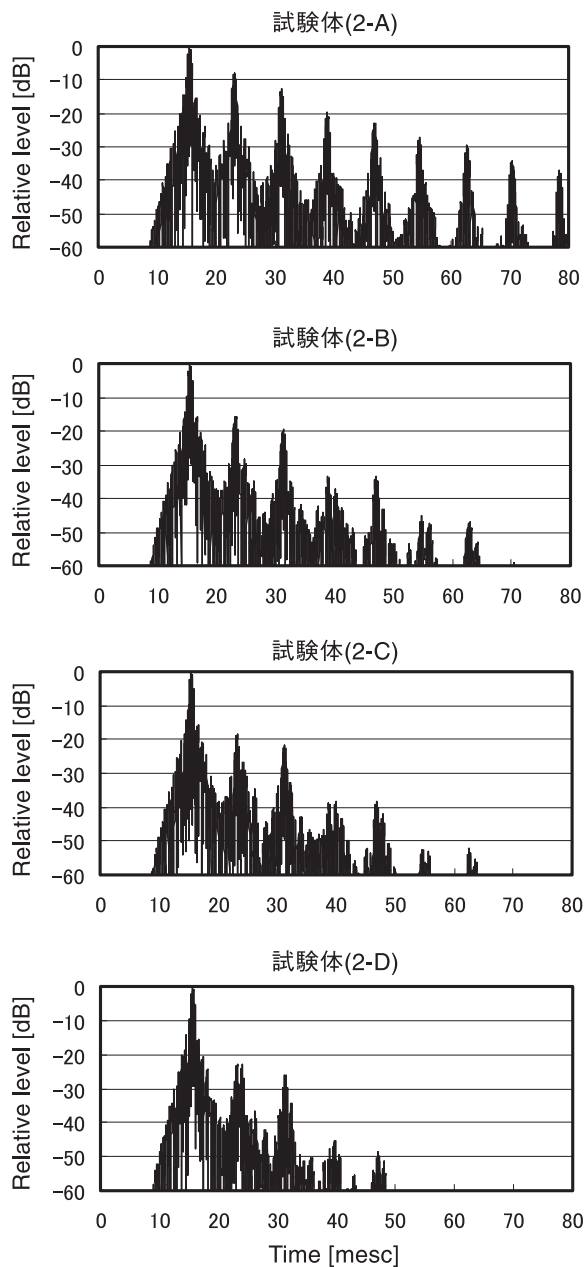


図-7 受音点①におけるインパルス応答解析結果
：側壁なし（2kHz オクターブバンド）

における音圧レベル分布を示す。分布は、図-4で示した実験配置における平面スピーカ正面の受音点を基準レベルとし、対向面での反射前は直接音のピーク値、対向面での反射後は第1反射音のピーク値である。

いずれの試験体においても、反射前の分布曲線が平面波の進行方向（長辺方向）にほぼ平行であることから、指向性が鋭く、距離減衰が小さいという平面波の特性が明らかである。しかし、試験体での反射後の音圧レベル分布において、拡散体を用いた試験体（2-D）では、長辺方向に平行な分布曲線がみられないが、平行面を用いた試験体（2-E）では、反射前と同様の分布傾向を示す。以上から、平面スピーカの対向面が平行面であれば、平面スピーカから放射された音波は、対向面で反射した後も、平面波と同様の特性を有し、距離による減衰はほとんど期待できないこと、および、拡散体を用いることで、反射波から平面波の特性を失わせることが出来ることを

示した。

4.2.2 側壁がある場合

これまでの実験結果から、平面スピーカの対向面を吸音性を有する拡散形状とすることで、反射波の低減が可能であることを示した。しかし、実際には側壁の影響で、拡散された音波が反射音を増幅させることも考えられる。そこで、実験2で用いたモデルの側壁がある場合について同様の実験を行った。

図-9に試験体（2-D）と（2-E）のそれぞれについて、側壁がある状態での2kHzオクターブバンドにおける音圧レベル分布を示す。これより、音圧レベル分布においては、側壁がない場合と同様の傾向がみられた。すなわち、いずれの試験体においても、反射前の分布曲線には、指向性が鋭く、距離減衰が小さいという平面波の特性が明らかであり、反射後は、拡散体を用いた試験体（2-D）では、長辺方向に平行な分布曲線がみられない一方、平行面を用いた試験体（2-E）では、反射前と同様の分布傾向を示すというものである。

ここで、側壁の影響を明らかにするために、これまでと同様、試験体（2-D）および（2-E）のインパルス応答解析を行った。図-10に、側壁がある場合での、受音点①におけるインパルス応答解析結果（2kHzオクターブバンド）を示す。これより、試験体（2-E）では、1次反射のピークが明らかであり、さらに、平面スピーカでの再反射音（2次反射）のピークも明らかである。これに対し、拡散体を用いた試験体（2-D）では、1次反射のピークが試験体（2-E）より6dB程度小さく、さらに、1次反射音到来後に続く反射波によって目立ちにくくなっている。また、試験体（2-E）にはみられた2次反射のピークは、連続して到来する反射波のためみられない。以上から、拡散・吸音を意図した試験体（2-D）によって、対向面での反射音が平面波の特性を失うだけでなく、拡散による側壁入射音が各受音点に次々と到来することで、対向面での反射音（1次反射）のピークが目立ちにくくなることが示された。したがって、エコーの検知という点では、対向面に試験体（2-D）を用いた場合、試験体（2-E）と比較して、音圧レベル分布結果から得られた音圧レベル差以上の低減が期待できる。

5. まとめ

平面スピーカの対向面が平面である場合、非常に高い吸音性能であっても、反射波が平面波の特性を有するため、エコーが明確にあらわれる。したがって、平面波のエコーを防ぐためには、スピーカの対向面には高い吸音性だけでなく、平面波の特性を失わせる工夫が必要となる。本稿では、平面スピーカから放射された音波の対向面での反射を低減するために、吸音と拡散を同時に行う吸音構造を構築するとともに、その有効性を確認した。

【参考文献】

- 1) 小林正明, 土屋裕造:線状に配列した平面スピーカの放射特性, 戸田建設技術研究報告第31号(2005)

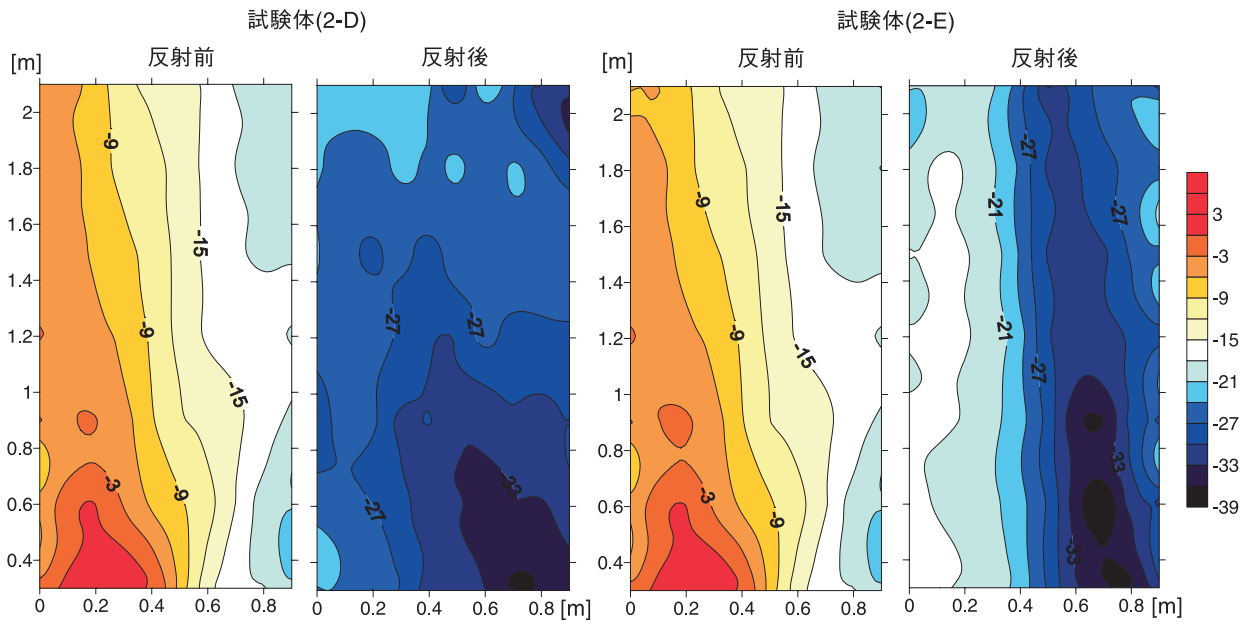


図-8 音圧レベル分布：側壁なし（2kHz オクターブバンド）

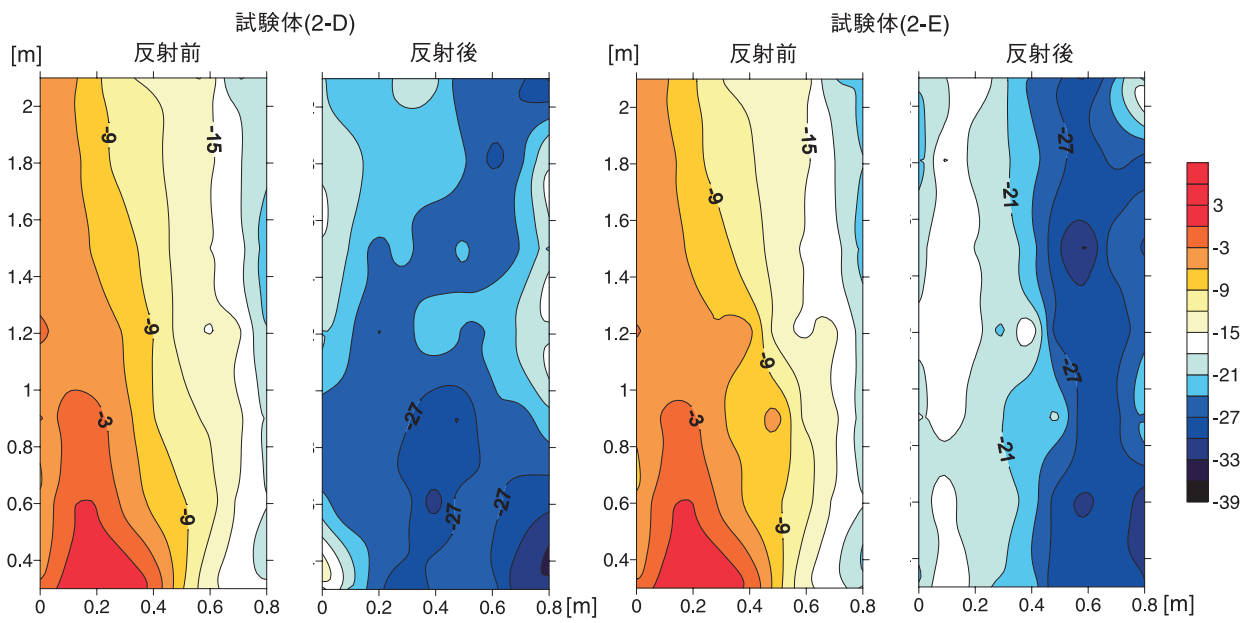


図-9 音圧レベル分布：側壁あり（2kHz オクターブバンド）

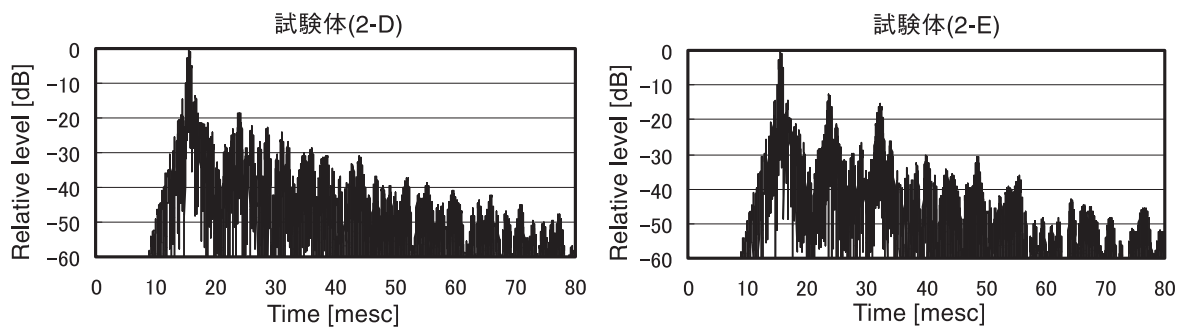


図-10 受音点①におけるインパルス応答解析結果：側壁あり（2kHz オクターブバンド）