

縮尺模型実験による工場騒音低減方法の効果検証

その1 騒音源の四方を囲う防音壁

藤橋 克己 ・ 塩田 寿美子 ・ 山田 哲也

Performance Verification of Industrial Noise Control Methods Using Scale Model Experiment

Part 1 Barriers Enclosing the Source on Four Sides

Katsumi FUJIIHASHI, Sumiko SHIOTA, Tetsuya YAMADA

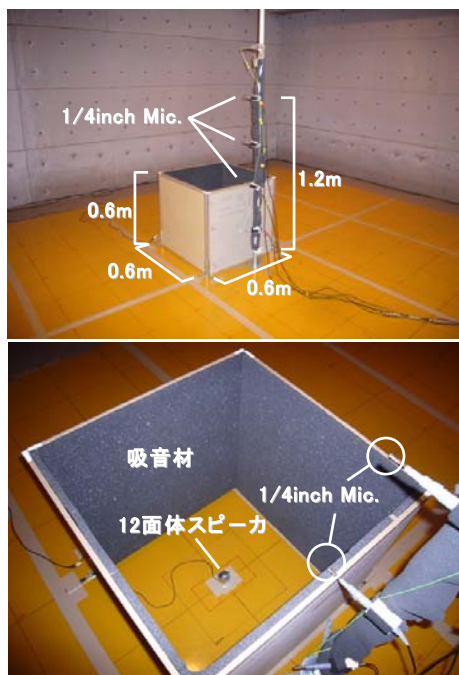


図-1 防音壁の1/10模型実験
(実物寸法=幅6m×奥行6m×高さ6m)

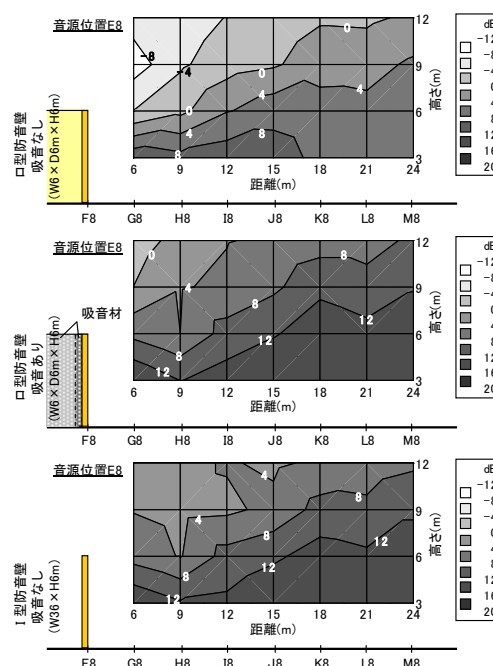


図-2 防音壁の減音量(250Hz帯域)
(0dB=防音壁なし)

研究の目的

生産工場では周辺環境改善のために継続的に騒音対策に取り組んでいるが、対策工事で期待した効果が満足に得られないケースが多い。その原因として、対策効果を予測するときの計算モデルが実際の騒音伝搬性状を精度良く表現できていないことが考えられる。

本報では、単純な計算モデルでは扱いにくい騒音対策として、屋外に設けた騒音源の四方を防音壁で囲う場合を取り上げ、防音壁の寸法や防音壁の内側に貼る吸音材が騒音伝搬性状に及ぼす影響を把握するために、縮尺模型実験によるパラメータスタディを行った。

技術の説明

工場騒音対策に防音壁を用いる場合、その効果を予測するための計算モデルとして、前川チャートがよく用いられる。ところが、前川チャートは直線状に並べられた防音壁を対象とした単純な計算モデルであり、防音壁が騒音源を囲うような場合は適用範囲外となる。したがって、縮尺模型実験による効果検証が有効となる。

主な結論

- 防音壁の内側に吸音材を貼った仕様であれば、少なくとも 125Hz 帯域以上の騒音伝搬性状を求める場合には、前川チャートのような単純な計算モデルを適用しても実用上問題ないと考えられる。
- 防音壁の内側に吸音材を貼ることで、防音壁の減音量は概ね 10dB 以内で改善され、その効果は防音壁の平面寸法が小さいほど大きくなる傾向がみられた。

縮尺模型実験による工場騒音低減方法の効果検証

その1 騒音源の四方を囲う防音壁

藤 橋 克 己

塩 田 寿 美 子

山 田 哲 也

要 旨

生産工場では周辺環境改善のために継続的に騒音対策に取り組んでいるが、対策工事で期待した効果が満足に得られないケースが多い。その原因として、対策効果を予測するときの計算モデルが実際の騒音伝搬性状を精度良く表現できていないことが考えられる。

本報では、単純な計算モデルでは扱いにくい騒音対策として、屋外に設けた騒音源の四方を防音壁で囲う場合を取り上げ、防音壁の寸法や防音壁の内側に貼る吸音材が騒音伝搬性状に及ぼす影響を把握するために、縮尺模型実験によるパラメータスタディを行った。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 防音壁の内側に吸音材を貼った仕様であれば、少なくとも125Hz帯域以上の騒音伝搬性状を求める場合には、前川チャートのような単純な計算モデルを適用しても実用上問題ないと考えられる。
- 2) 防音壁の内側に吸音材を貼ることで、防音壁の減音量は概ね10dB以内で改善され、その効果は防音壁の平面寸法が小さいほど大きくなる傾向がみられた。

キーワード 防音壁／多重反射／消音チャンバー／前川チャート／縮尺模型実験

目 次

- | | |
|----------------|---------------|
| 1. はじめに | 3. 防音壁の縮尺模型実験 |
| 2. 縮尺模型材料の選定実験 | 4. まとめ |

PERFORMANCE VERIFICATION OF INDUSTRIAL NOISE CONTROL METHODS USING SCALE MODEL EXPERIMENT PART 1 BARRIERS ENCLOSING THE SOURCE ON FOUR SIDES

Katsumi FUJHASHI Sumiko SHIOTA
Tetsuya YAMADA

Synopsis:

Many production facilities have been worked on reducing noise to improve regional environment. However, it seems that they have gotten little effect, because the performance prediction methods are invalid.

In this paper, we predict the noise reduction effects of various size barriers enclosing the source on all sides using scale model experiment. The results are summarized as follows:

- 1) If the barriers enclosing the source on all sides are lined with sound absorbing materials, the performance prediction methods of the simple barrier, such as Maekawa's Chart, is valid in the frequency band higher than 125Hz from a practical viewpoint.
- 2) Sound absorbing linings inside the barriers is effective within approximately 10dB in the frequency band higher than 125Hz, and the smaller the base dimension of the barrier is, the better the performance is.

1. はじめに

生産工場では周辺環境改善のために継続的に騒音対策に取り組んでいるが、対策工事で期待した効果が満足に得られないケースが多い。その原因として、対策効果を予測するときの計算モデルが実際の騒音伝搬性状を精度良く表現できていないことが考えられる。

工場騒音対策に防音壁を用いる場合、その効果を予測するための計算モデルとして、前川チャート¹⁾がよく用いられる。ところが、前川チャートは直線状に並べられた防音壁を対象とした単純な計算モデルであり、防音壁が騒音源を囲うような場合は適用範囲外となる。

本報では、前川チャートのような単純な計算モデルでは扱いにくい騒音対策として、屋外に設けた騒音源の四方を防音壁で囲う場合（以下、ロ型防音壁）を取り上げ、防音壁の寸法や防音壁の内側に貼る吸音材が騒音伝搬性状に及ぼす影響を把握するために、縮尺模型実験によるパラメータスタディを行った。

実験結果と得られた知見について、以下に報告する。

2. 縮尺模型材料の選定実験

縮尺模型を製作するには、相似則を満足する材料を用いる必要がある。今回は模型の縮尺を音響模型実験でよく用いられる 1/10 とし、実用的に用いられる以下の相似則²⁾を満足するような材料を選定した。ただし、媒質には空気を用いており、媒質吸収の影響は模型残響室内の温湿度測定値を用いて計算で補正した。

- 長さ $L_m = L_r/10$
- 周波数 $f_m = 10f_r$
- 音響透過損失 $TL_m(f_m) = TL_r(f_r)$
- 吸音率 $\alpha_m(f_m) = \alpha_r(f_r)$
- 媒質吸収 $m_m(f_m) = 10m_r(f_r)$

実験に必要な模型残響室は、実在する残響室³⁾を 1/10 にしたものを厚さ 15mm のアクリル板で製作した。

2.1 音響透過損失の実験

実際の防音壁の躯体は様々な材料で施工されるが、今回は比較的安価な ALC 板（厚さ 100mm）を対象として、その音響透過損失を模擬できるような材料を選定した。模型実験の測定系統図を図-1 に、実験状況を写真-1 にそれぞれ示す。

実験方法は JIS A 1416 に準拠し、音源室と受音室の平均音圧レベルは固定マイクロホン法で、残響時間はノイズ断続法でそれぞれ測定した。

実験は数種類の材料について行ったが、そのなかで目地をシーリングした ALC(100)の音響透過損失⁴⁾を概ね模擬できた結果について、模型の周波数を実物換算（1/10）して図-2 に示す。

アクリル板(5)はコインシデンス効果による落ち込み（500～630Hz 帯域）まで含めて ALC(100)の音響透過損失を概ね模擬できていた。一方、せっこうボード(9.5)はコインシデンス効果による落ち込み（315～400Hz 帯域）が ALC(100)よりも低い周波数で生じており、同帯域での乖離が顕著であったが、他の周波数帯域では ALC(100)の音響透過損失を概ね模擬できていた。今回は防音壁の音響透過損失が 30dB 程度あれば、壁を透過する騒音の影響は小さくなると考えて、加工性の良いせっこうボード(9.5)を防音壁模型の躯体材料とした。

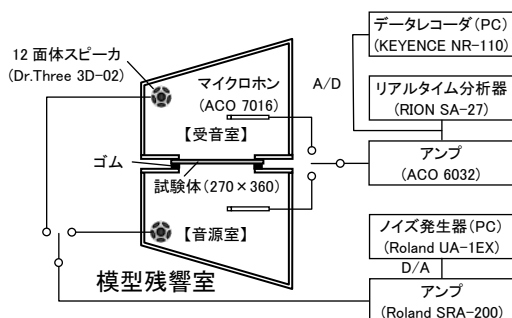


図-1 音響透過損失・吸音率の測定系統図



写真-1 音響透過損失の実験状況

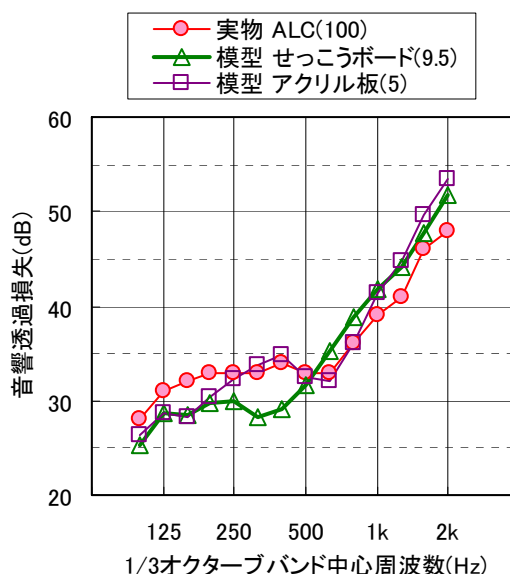


図-2 音響透過損失の測定結果

2.2 吸音率の実験

実際の防音壁の内側に貼られる吸音材は様々だが、今回は高速道路の防音壁として普及している「統一型遮音壁」などで用いられている吸音用グラスウール（密度 32K、厚さ 50mm）を対象として、その吸音率を模擬できるような材料を選定した。実験状況を写真-2 に示す。

実験方法は JIS A 1409 に準拠し、図-1 の受音室に拡散板を吊り下げ、吸音材を入れた状態と入れない状態の残響時間を測定した。

実験は数種類の発泡ウレタンについて行ったが、そのなかで厚手のガラスクロスで覆われたグラスウール 32K(50)の残響室法吸音率⁵⁾を概ね模擬できた結果について、モデルの周波数を実物換算（1/10）して図-3 に示す。

実験で用いた発泡ウレタンの吸音率は厚さや密度を変化させても 0.8 程度までしか得られなかったが、グラスウール 32K(50)の 250Hz 帯域以下の吸音率は発泡ウレタン 25K(15)で概ね模擬できた。315Hz 帯域以上での乖離は顕著だが、防音壁を施工した後の工場騒音は 250Hz 帯域以下で問題になる場合が多く、315Hz 帯域以上の実験結果も安全側となると考えて、発泡ウレタン 25K(15)を防音壁モデルの吸音材料とした。



写真-2 吸音率の実験状況

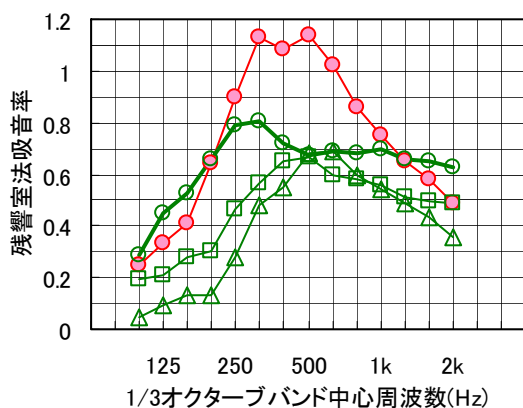
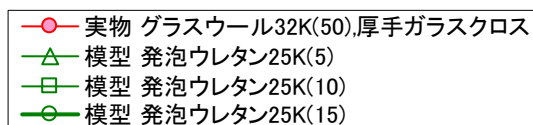


図-3 残響室法吸音率の測定結果

3. 防音壁の縮尺模型実験

3.1 実験概要

防音壁の縮尺模型実験を行った簡易無響室の仕様を図-4 に示す。床面には合板(12)を敷いて反射性の地盤面と見なし、その範囲内で実験を行った。具体的には、合板上にロ型防音壁の試験体を、その内側に騒音源を設置して、合板上に設けた測定点で 1/3 オクターブバンドごとの音圧レベルを測定した。測定系統図を図-5 に示す。

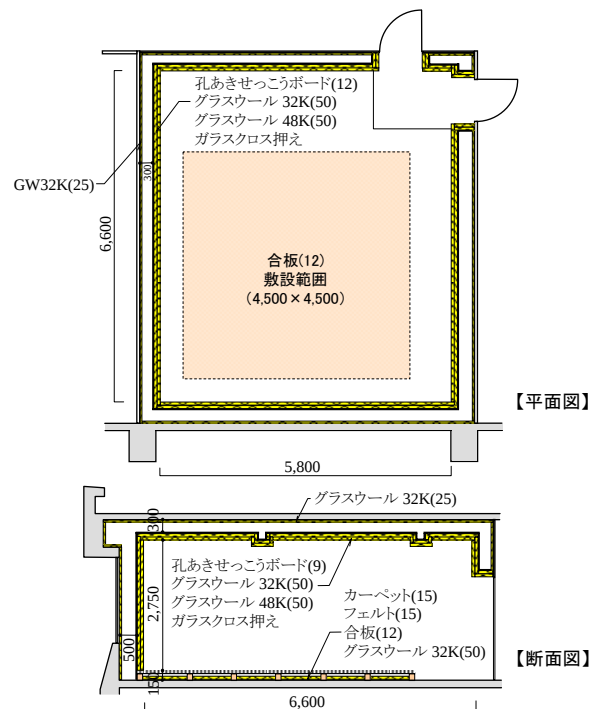


図-4 簡易無響室の仕様

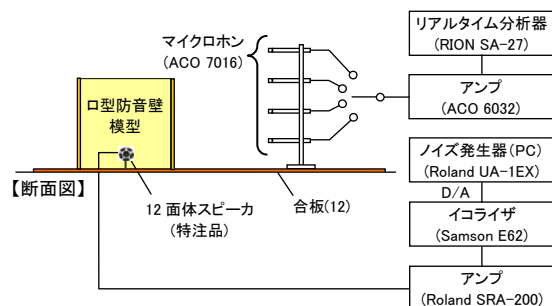


図-5 防音壁実験の測定系統図

無指向性点音源として製作した 12 面体スピーカ（写真-3、スター精密 SCG-16A×12）の鉛直断面の指向性について、周波数を実物換算（1/10）して図-6 に示すが、800Hz 帯域以下では無指向性と見なせる結果（±2dB 以内のばらつき）であった。図は省略するが、水平断面の指向性についても同様の傾向が得られていた。以上の結果を考慮して、本スピーカを用いた実験では、800Hz 帯域以下の実験結果を採用することにした。

なお、本スピーカを用いて簡易無響室の距離減衰性状を測定したところ、床面での反射の影響が少ない鉛直方向については概ね逆二乗則を満足していた。

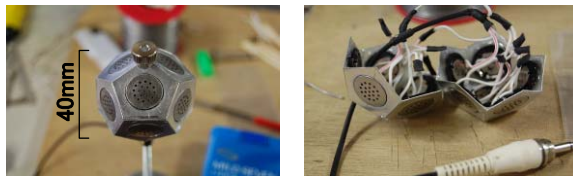


写真-3 製作した 12 面体スピーカ

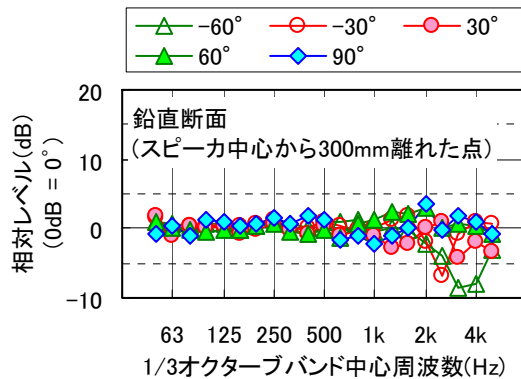


図-6 製作したスピーカの指向性

防音壁模型の寸法を実物換算（10 倍）して表-1 に示す。実験は吸音材を防音壁の内側に貼った状態と貼らない状態で行った。また、防音壁の寸法による減音量の違いを把握するために、前川チャートのような単純な計算モデルで扱える直線状に並べられた防音壁（以下、I 型防音壁）の実験も行った。測定点位置は防音壁の外側に水平・鉛直方向とも 300mm 間隔（横方向 1～15、縦方向 A～N 測線の交点）で設けた。測定点位置の例を図-7 に、実験状況を写真-4 にそれぞれ示す。

表-1 防音壁模型の寸法

形状	項目	寸法(実物換算)
口型	高さ H	3,6,9m
	幅 W	3,6,12,18m
	奥行 D	3,6,12,18m
I 型	高さ H	3,6,9m
	長さ L	36m

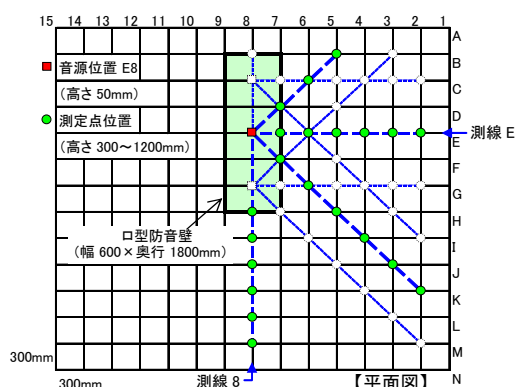


図-7 防音壁実験の測定点位置の例

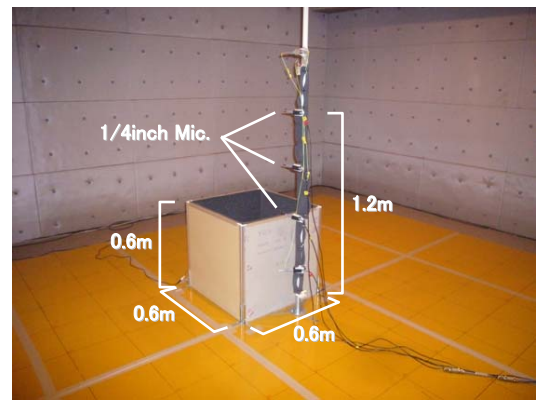


写真-4 防音壁実験の状況

3.2 実験結果

実験結果の代表例として、E8（測線 E と測線 8 の交点、図-7 参照）に設置した 12 面体スピーカから放射された定常ノイズの音圧レベルを測線 8 で測定して得られた防音壁や吸音材の減音量とそこから得られた知見を以下に示す（防音壁の寸法や周波数はすべて実物換算）。

ここでいう減音量とは、防音壁や吸音材がない状態での音圧レベルからそれらがある状態での音圧レベルを差し引いた値で、1/3 オクターブバンドごとの減音量を合成して 1/1 オクターブバンドごとの減音量を算出した。

(1) 口型防音壁と I 型防音壁の減音量比較

口型防音壁の寸法が大きい場合（W18m×D18m）と小さい場合（W6m×D6m）の減音量の鉛直面コンターを図-8～図-11（63～500Hz 帯域）に、同図の測定範囲における減音量の最大、最小、平均を表-2～表-5 にそれぞれ示す。

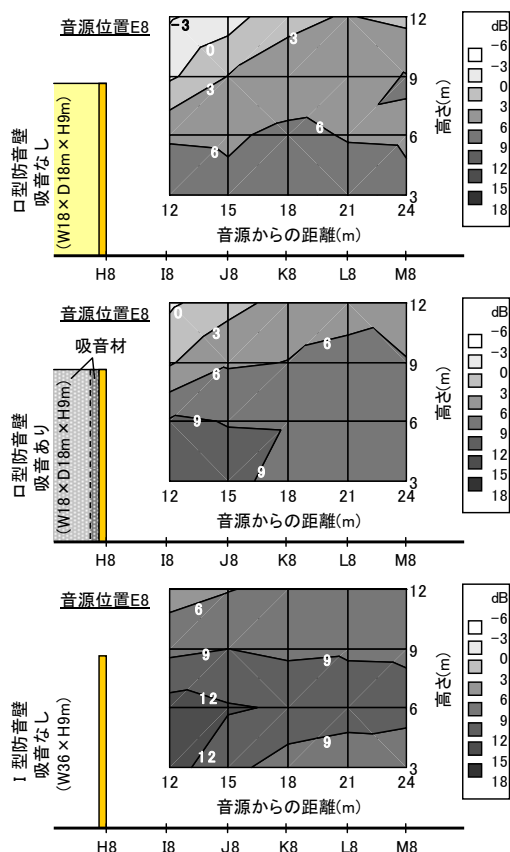
口型防音壁で内側に吸音材を貼らない場合、周波数によらず、I 型防音壁に比べて小さい減音量しか得られなかった。この傾向は口型防音壁の内側に吸音材を貼ることで軽減され、125Hz 帯域以上では I 型防音壁と同等以上の減音量が得られた。したがって、口型防音壁でも内側に吸音材を貼った仕様であれば、少なくとも 125Hz 帯域以上の騒音伝搬性状を求める場合には前川チャートのような単純な計算モデルを適用しても実用上問題ないと考えられる。

なお、63Hz 帯域で I 型防音壁と同等の減音量が得られなかったのは、125Hz 帯域以上に比べて吸音率が小さいためと考えられる。

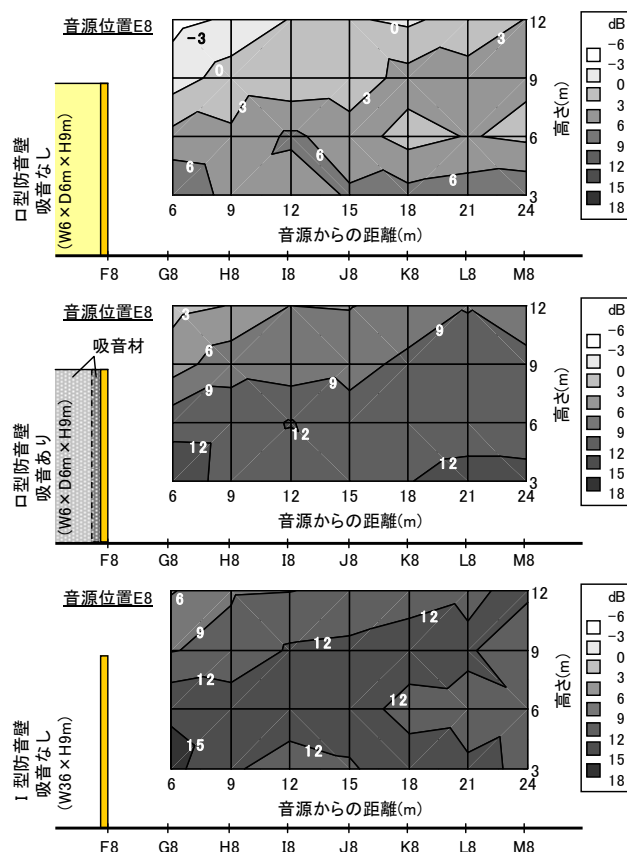
(2) 口型防音壁の寸法と吸音材の減音量との関係

口型防音壁の様々な平面寸法における吸音材の減音量の周波数特性について、図-12～図-14（測定点高さ 3m, 6m, 9m）に示す。

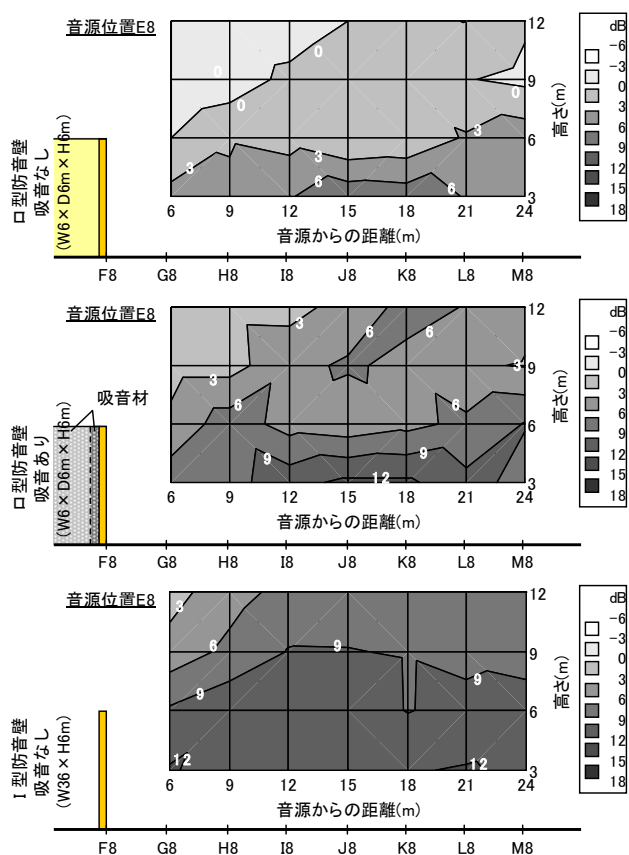
口型防音壁は内側に吸音材を貼ることで減音量が概ね 10dB 以内で改善され、その効果は防音壁の平面寸法が小さいほど大きくなる傾向がみられた。



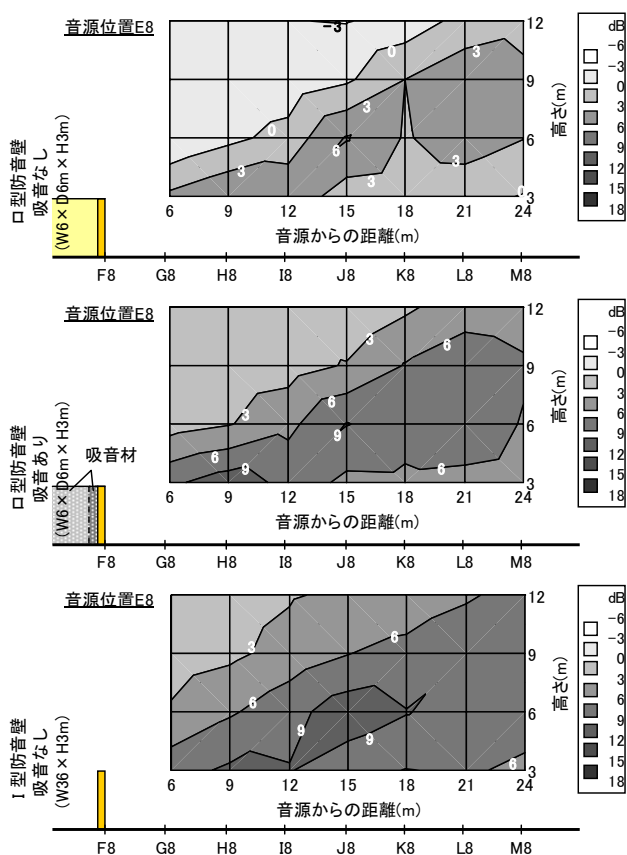
(a) 口型防音壁：幅 18m×奥行 18m×高さ 9m



(b) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 9m

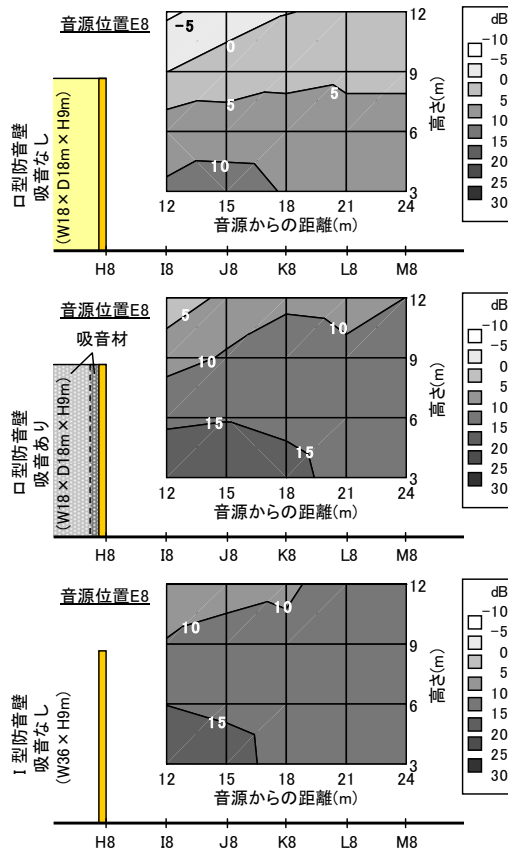


(c) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 6m

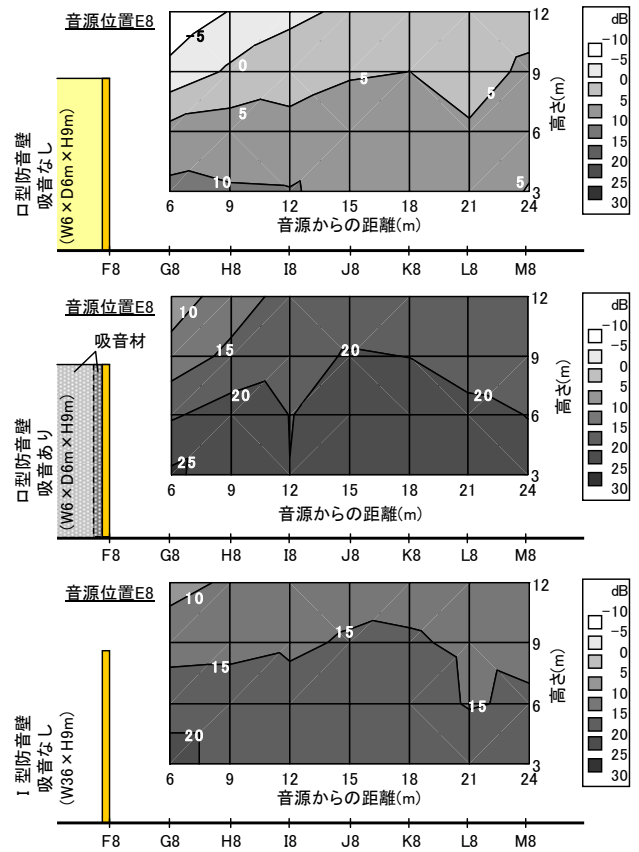


(d) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 3m

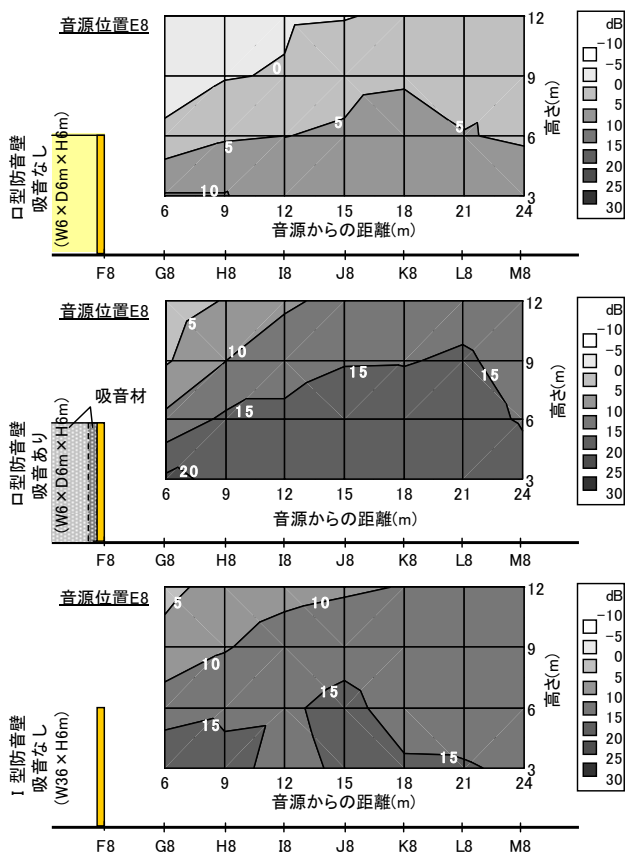
図-8 防音壁の減音量（測線 8, 63Hz 帯域）



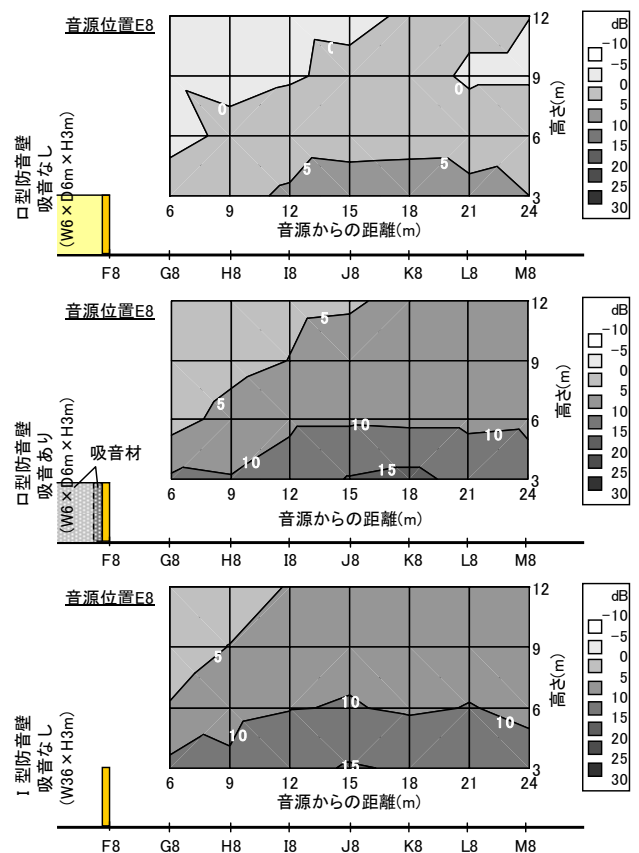
(a) 口型防音壁：幅 18m×奥行 18m×高さ 9m



(b) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 9m

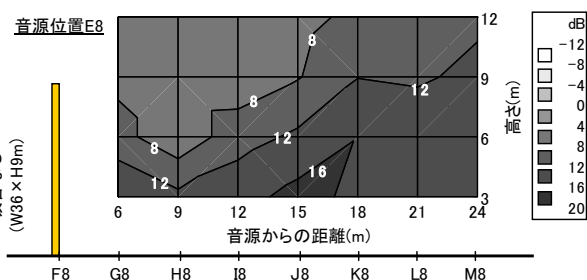
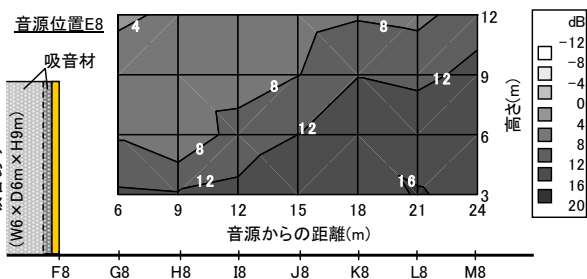
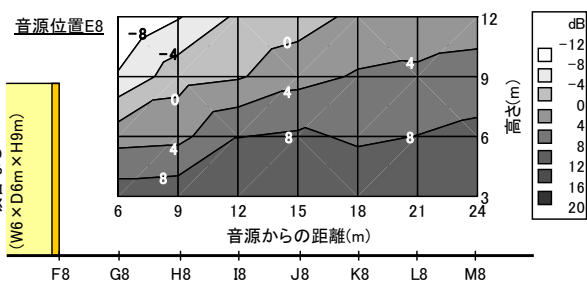
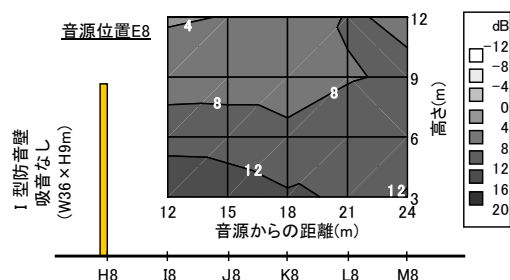
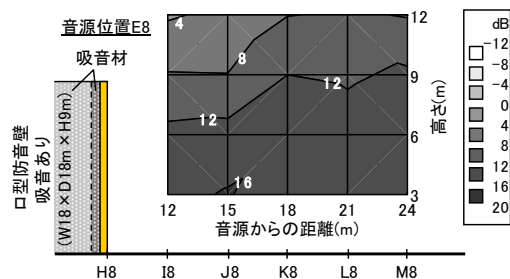
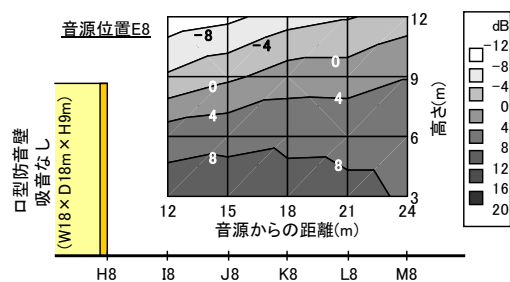


(c) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 6m



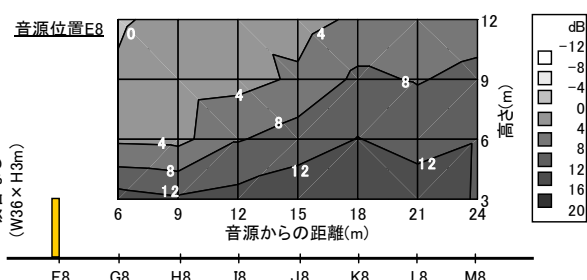
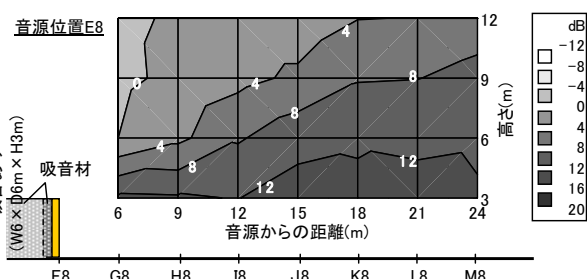
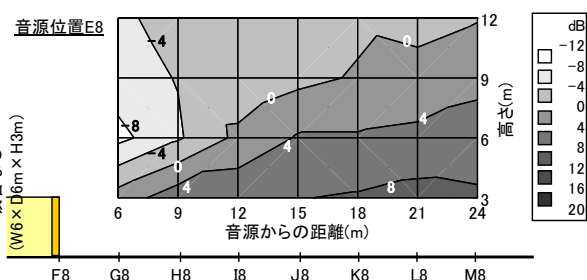
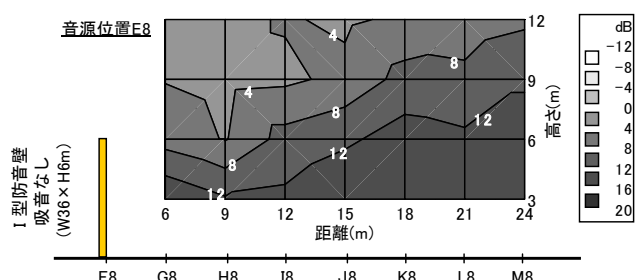
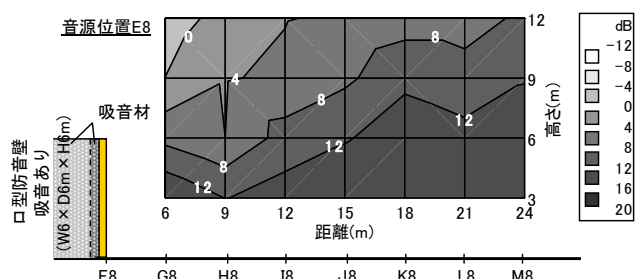
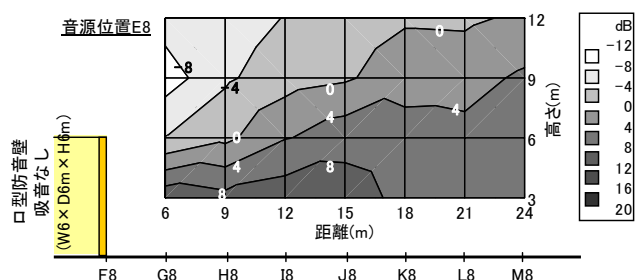
(d) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 3m

図-9 防音壁の減音量（測線 8, 125Hz 帯域）



(a) 口型防音壁：幅 18m×奥行 18m×高さ 9m

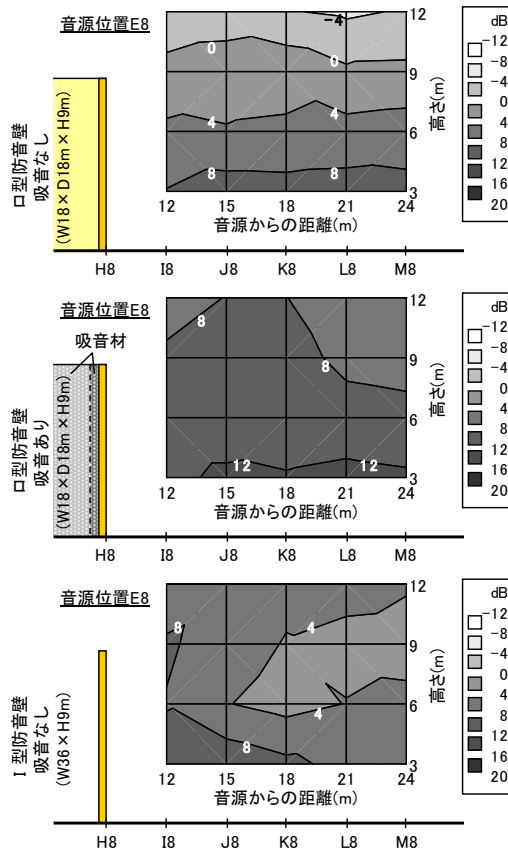
(b) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 9m



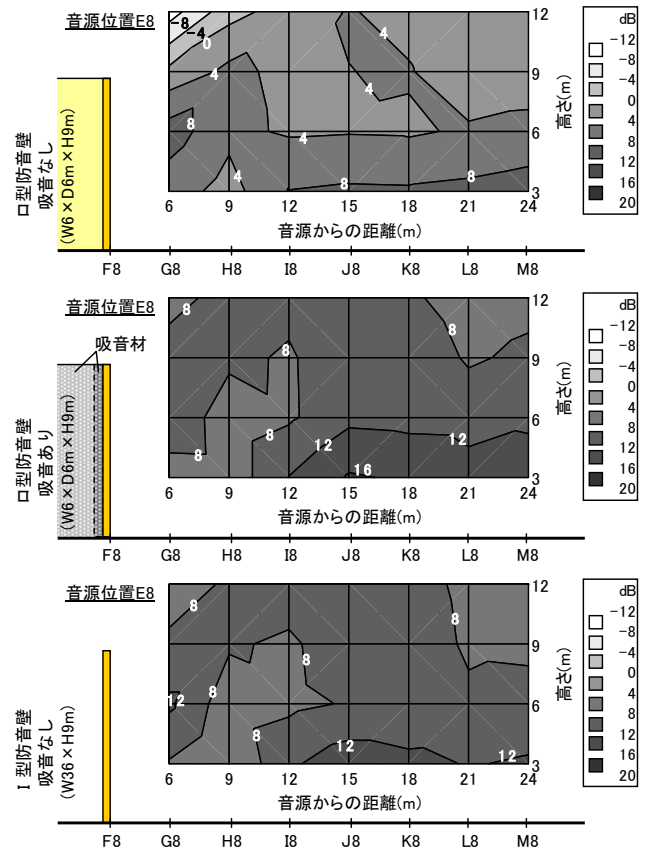
(c) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 6m

(d) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 3m

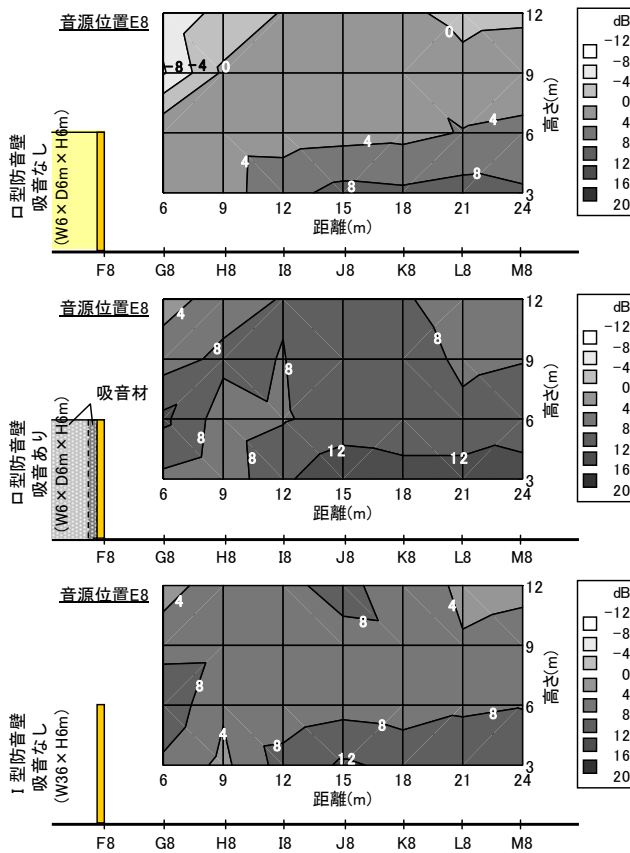
図-10 防音壁の減音量（測線 8, 250Hz 帯域）



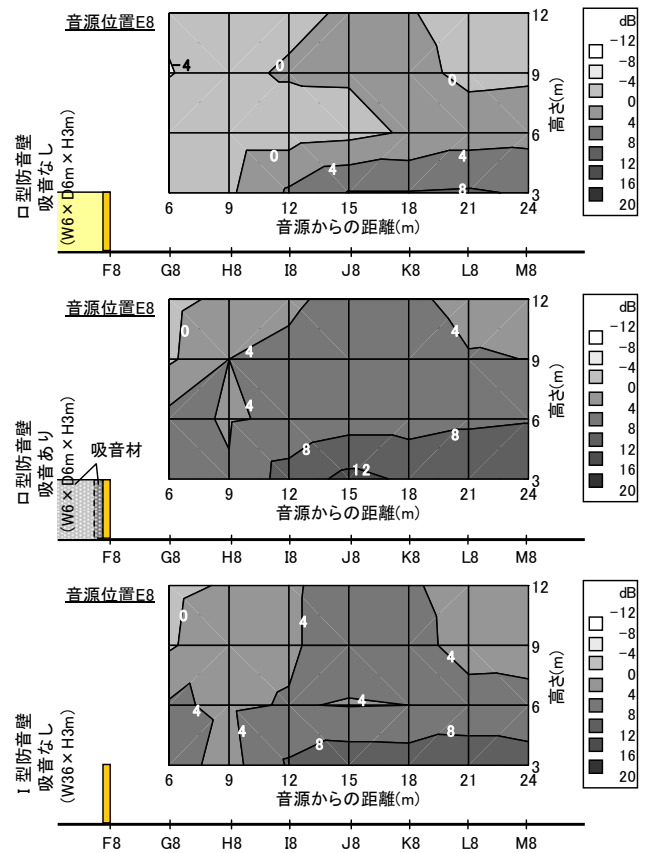
(a) 口型防音壁：幅 18m×奥行 18m×高さ 9m



(b) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 9m



(c) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 6m



(d) 口型防音壁：幅 6m×奥行 6m×高さ 3m

図-11 防音壁の減音量（測線 8, 500Hz 帯域）

表-2 防音壁の減音量（測線 8, 63Hz 帯域）

形状	寸法(実物換算)			吸音材	測定数	減音量		
	幅	奥行	高さ			最大	最小	平均
□型	18m	18m	9m	なし	20	8	-3	4
				あり	20	10	-1	7
I 型	36m	-		なし	20	13	5	9
□型	6m	6m	9m	なし	28	9	-4	3
				あり	28	15	2	9
I 型	36m	-		なし	28	16	6	12
□型	6m	6m	6m	なし	28	8	-3	2
				あり	28	13	2	6
I 型	36m	-		なし	28	12	2	9
□型	6m	6m	3m	なし	28	6	-3	1
				あり	28	11	0	5
I 型	36m	-		なし	28	11	0	6

表-4 防音壁の減音量（測線 8, 250Hz 帯域）

形状	寸法(実物換算)			吸音材	測定数	減音量		
	幅	奥行	高さ			最大	最小	平均
□型	18m	18m	9m	なし	20	10	-10	3
				あり	20	16	4	11
I 型	36m	-		なし	20	16	4	9
□型	6m	6m	9m	なし	28	11	-14	4
				あり	28	16	3	10
I 型	36m	-		なし	28	17	5	11
□型	6m	6m	6m	なし	28	11	-10	2
				あり	28	16	-2	9
I 型	36m	-		なし	28	15	2	9
□型	6m	6m	3m	なし	28	9	-9	1
				あり	28	15	-1	7
I 型	36m	-		なし	28	15	0	7

表-3 防音壁の減音量（測線 8, 125Hz 帯域）

形状	寸法(実物換算)			吸音材	測定数	減音量		
	幅	奥行	高さ			最大	最小	平均
□型	18m	18m	9m	なし	20	12	-6	5
				あり	20	17	2	12
I 型	36m	-		なし	20	18	5	12
□型	6m	6m	9m	なし	28	11	-9	4
				あり	28	26	7	19
I 型	36m	-		なし	28	22	8	15
□型	6m	6m	6m	なし	28	10	-4	4
				あり	28	21	2	14
I 型	36m	-		なし	28	19	4	12
□型	6m	6m	3m	なし	28	10	-3	2
				あり	28	16	0	8
I 型	36m	-		なし	28	15	1	8

表-5 防音壁の減音量（測線 8, 500Hz 帯域）

形状	寸法(実物換算)			吸音材	測定数	減音量		
	幅	奥行	高さ			最大	最小	平均
□型	18m	18m	9m	なし	20	10	-5	3
				あり	20	13	5	9
I 型	36m	-		なし	20	11	2	6
□型	6m	6m	9m	なし	28	10	-10	4
				あり	28	16	5	10
I 型	36m	-		なし	28	14	4	9
□型	6m	6m	6m	なし	28	9	-8	2
				あり	28	15	2	9
I 型	36m	-		なし	28	13	2	7
□型	6m	6m	3m	なし	28	8	-4	1
				あり	28	13	-1	6
I 型	36m	-		なし	28	10	-1	5

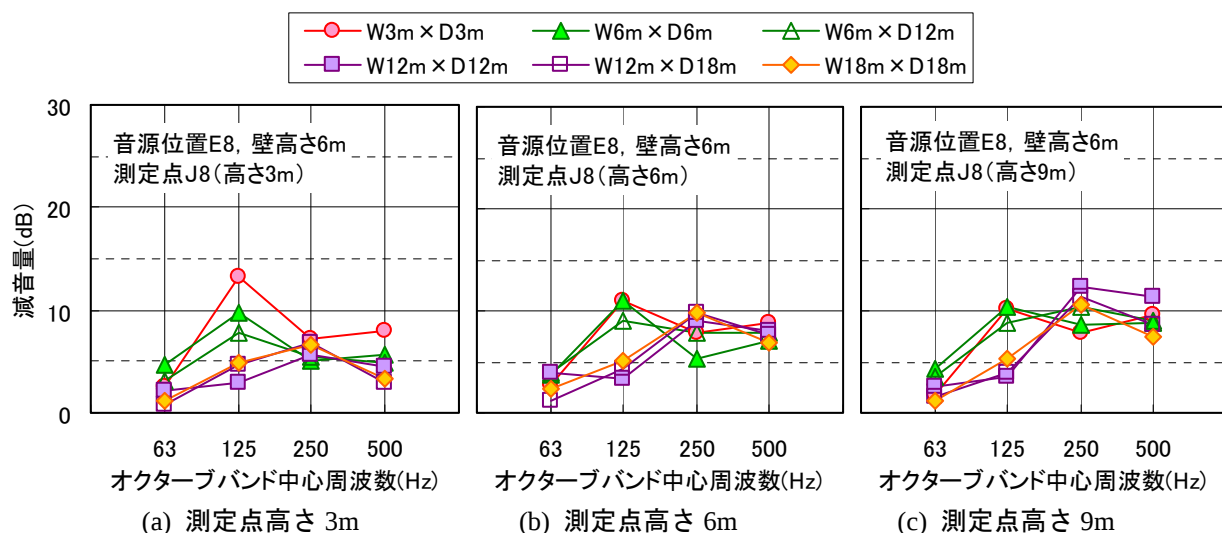


図-12 吸音材の減音量(防音壁高さ6m, 測定点 J8)

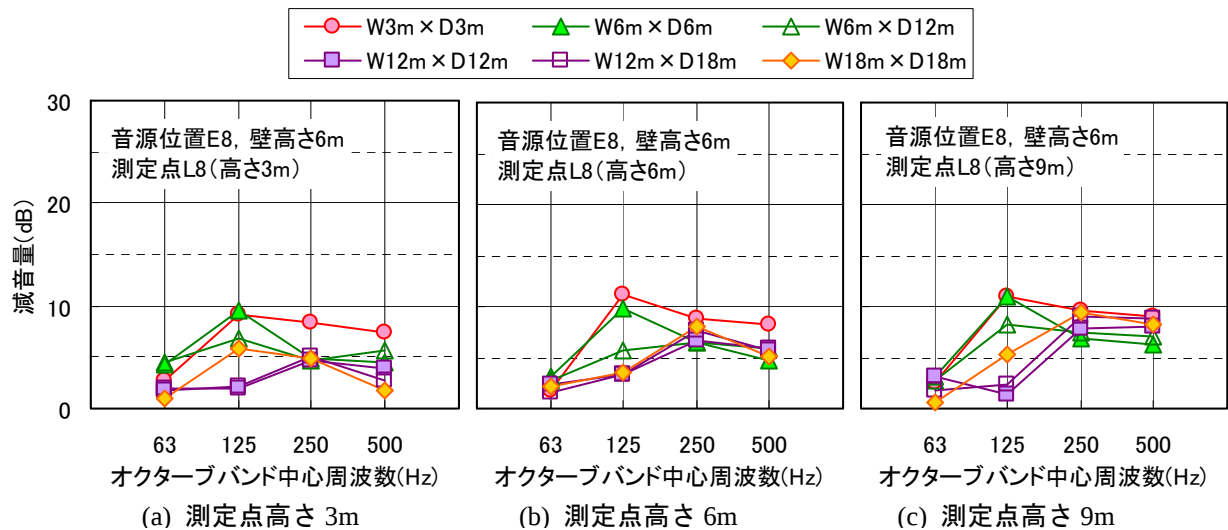


図-13 吸音材の減音量(防音壁高さ 6m, 測定点 L8)

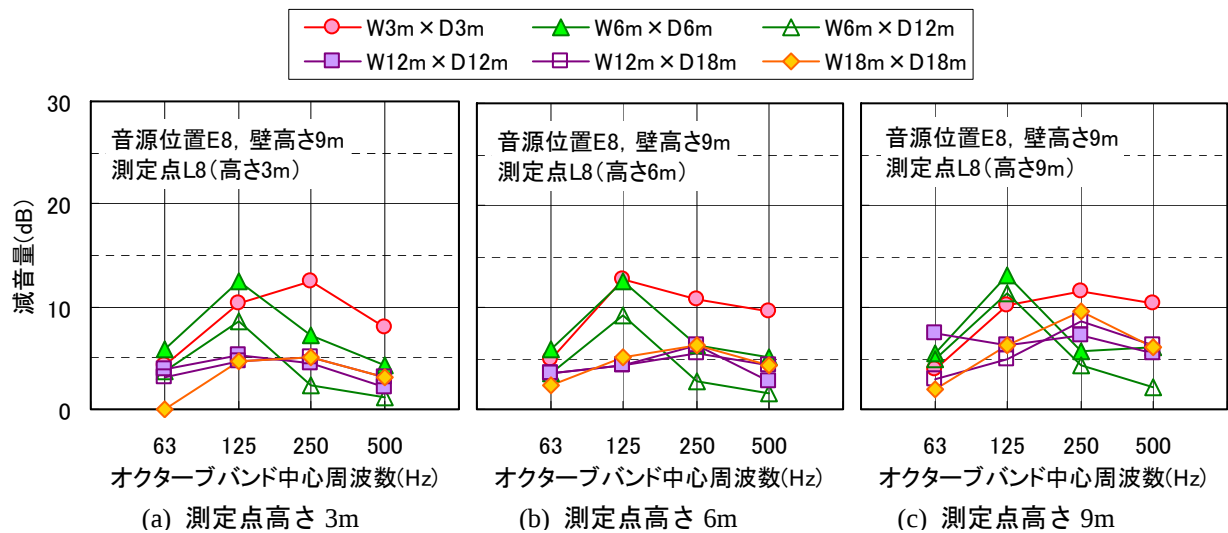


図-14 吸音材の減音量(防音壁高さ 9m, 測定点 L8)

4. まとめ

前川チャートのような単純な計算モデルでは扱いにくい騒音対策として、屋外に設けた騒音源の四方を防音壁で囲う場合を取り上げ、防音壁の寸法や防音壁の内側に貼る吸音材が騒音伝搬性状に及ぼす影響を把握するために、縮尺模型実験によるパラメータスタディを行った。

得られた知見を以下に示す。

- 1) ロ型防音壁でも内側に吸音材を貼った仕様であれば、少なくとも 125Hz 帯域以上の騒音伝搬性状を求める場合には前川チャートのような単純な計算モデルを適用しても実用上問題ないと考えられる。
- 2) ロ型防音壁は内側に吸音材を貼ることで減音量が概ね 10dB 以内で改善され、その効果は防音壁の平面寸法が小さいほど大きくなる傾向がみられた。

今後は、63Hz 帯域以下でも I 型防音壁と同等の減音量が得られるロ型防音壁の仕様や I 型、ロ型以外の形状の防音壁の減音量について検討していく予定である。

参考文献

- 1) 前川純一：障壁（塀）の遮音設計に関する実験的研究，日本音響学会誌第 18 巻第 4 号，pp.187-196，1962
- 2) 橘秀樹，日高新人，今西由利，石井聖光：建築音響における模型実験法に関する研究，東京大学生産技術研究所報告，第 35 巻第 4 号，1990
- 3) 佐藤孝二，子安勝：新残響室の製作とその基本的性質 残響室法による吸音率測定に関する実験的研究 II，日本音響学会誌第 13 巻第 3 号，pp.242-248，1957
- 4) クリオンテクニカル・ハンドブック，クリオン株式会社，p.304，2002
- 5) 建築内装・設備産業カタログ，旭ファイバーグラス株式会社，p.55，2009