

エッジ効果抑制型防音壁の実用化の検討

EXAMINATION OF EDGE-EFFECT SUPPRESSION BARRIERS FOR PRACTICAL USE

小林正明*, 松岡明彦**, 鈴木信也**, 河井康人***

Masaaki KOBAYASHI, Akihiko MATSUOKA, Shinya SUZUKI and Yasuhito KAWAI

From the viewpoint of the securing of the view, the bright with sunshine, safety and the amount of time and labor that setting requires, there is a tendency to hesitate to use high noise barriers while it is demanded that the insertion loss is increased. Kawai demonstrated that the diffracted sound is greatly attenuated by suppressing the particle velocity in the region where edge-effects occur using thin absorbing materials such as cloth having a gradational distribution in impedance by numerical analysis. According to this theory, it is possible that the attenuation increases only by slight improvement of the noise barrier. In this paper, it is investigated the effect of the edge-effect suppression barriers by full scale experiments and examined the method to apply the theory to reduction of the construction noise.

Keywords : Noise reduction, Noise barrier, Edge-effect, Flow resistance, Construction noise
騒音低減, 防音壁, エッジ効果, 流れ抵抗, 建設工事騒音

1. はじめに

自動車, 鉄道, 工場, 設備機器および建設工事等で発生する様々な騒音の低減に利用されている防音壁には, より大きな騒音低減効果が求められる一方で, 景観, 日照, 安全性, 設置にかかる労力とコスト等の観点から, 高さを抑えることが望まれる。

河井^{1,2)}は境界積分方程式による理論解析によって, エッジ近傍で粒子速度が非常に大きくなる領域が存在すること(エッジ効果)を示すと同時に, 当該領域における粒子速度を抑制することで回折音場に対し, 大きな騒音低減効果が得られることを明らかにした。この理論に基づけば, 従来の防音壁の先端部に僅かな改良を加えるだけで騒音低減効果を増大させることが可能となる。

本報告では, 上述の理論の有効性を実大実験にて確認するとともに建設現場から発生する工事騒音の低減に適用する方法について検証した。

2. 実験 1—エッジ効果の抑制による騒音低減効果の確認

防音壁の嵩上げによって得られる騒音低減効果とエッジ効果の抑制で得られる騒音低減効果を実大実験において比較した。

2.1 実験概要

周囲に反射物の少ない平坦なアスファルト面上に音源, および, 幅 2m×奥行 2m×高さ 3m の仮囲い(防音型, 厚さ 2.2mm)を設置し, 音源高さと仮囲い先端部の状況を変化させて仮囲い内外の音圧レベルを

測定した。写真-1 に実験状況を示す。なお, エッジ効果の抑制によって得られる騒音低減効果を正確に測定するため, 仮囲いの内側と床面にはグラスウールマット(厚さ 50mm)を敷設し, 仮囲い内での反射音の発生を抑えた。

2.2 音源と測定点

音源と測定点の配置を図-1 に示す。音源には 12 面体スピーカを使用し, 仮囲いの中央に設置した。音源の高さは地盤面から 1.4m, または, 2.0m とした。試験音にはピンクノイズを用い, 測定状況によらず騒音の大きさを一定とした。

2.3 試験体

仮囲い先端部に付加する試験体(エッジ効果の抑制材)は図-2 に示す 2 種類とした。試験体 A は 1 層の厚みが約 0.8mm, 流れ抵抗が約 200Ns/m³ の多孔質材を空気層は設けずに 4 層重ねたものである。試験体 B は試験体 A と同一, かつ, 同量の多孔質材を用い, 面密度や流れ抵抗を上端に向かって傾斜させたものである(最上部は 1 層, 最下部は 7 層)。試験体 A, B の高さはいずれも 0.6m とした。なお, 測定方法は異なるが, 仮囲いと多孔質材の音響透過損失を実測し, 試験体 A, B の音響透過損失が仮囲いよりも小さいことを確認している(図-3)。

2.4 実験条件

測定は表-1 に示す 4 条件で実施した。条件 2 は音源位置を 0.6m 下げることにより, 条件 1 の仮囲いの高さを 0.6m 嵩上げた場合と同等の騒音低減効果を得ることを意図したものである。

* 戸田建設株式会社 博士(工学)

** 戸田建設株式会社

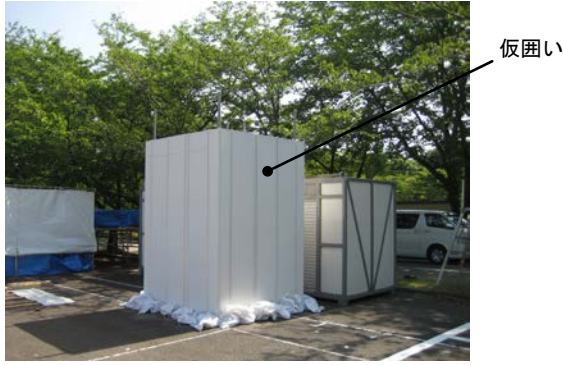
*** 関西大学環境都市工学部 教授・工学博士

Technical Research Institute, TODA CORPORATION, Ph.D.

Technical Research Institute, TODA CORPORATION

Professor, Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University, Dr. Eng.

(A) 試験体 未設置



(B) 試験体 設置



写真-1 実験1の測定状況

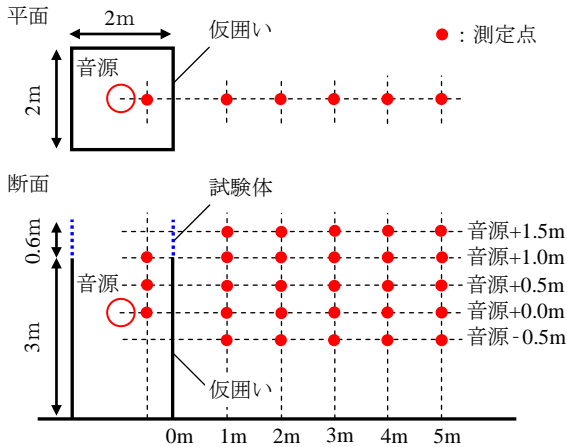


図-1 音源と測定点の位置

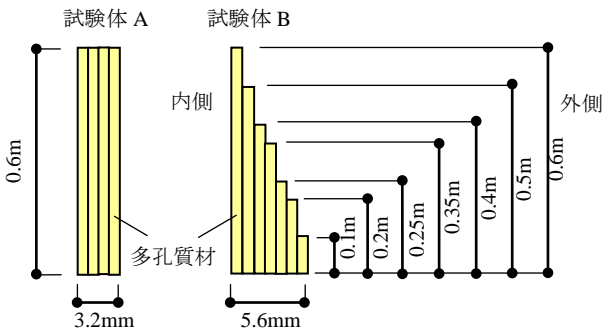


図-2 仮囲い先端に付加した試験体の断面

表-1 実験1の測定条件

条件	音源高さ	仮囲い先端の状況
1	地盤面+2.0m	付加なし
2	地盤面+1.4m	付加なし
3	地盤面+2.0m	試験体 A を付加
4	地盤面+2.0m	試験体 B を付加

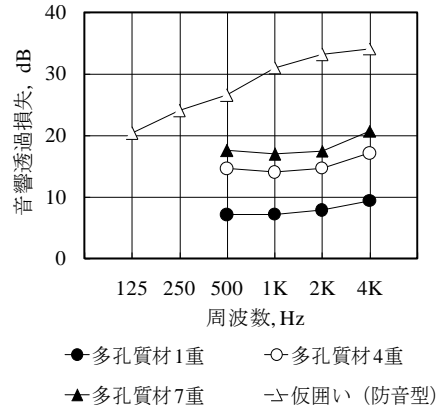


図-3 仮囲いと多孔質材の透過損失

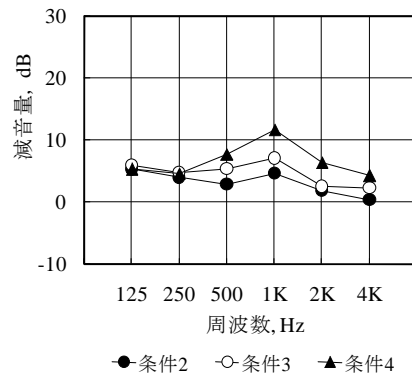


図-4 減音量の周波数特性例
(仮囲いから 4m, 音源-0.5m の測定点)

2.5 実験結果

仮囲いからの距離、および、音源からの高さが等しい測定点毎に条件1と条件2~4における音圧レベル差を算出した。得られた結果は条件1で得られる騒音低減効果に対し、仮囲いの嵩上げ、または、仮囲い先端部に試験体 A, B を付加することで得られた減音量としてあらわす(減音量が大きいほど騒音低減効果が増大したことを意味する)。

図-4 に仮囲いから 4m 離れた位置、かつ、音源 -0.5m の高さで得られた減音量を示す。図-4 より、125Hz と 250Hz では条件2~4の減音量にほとんど違いは見られない。一方、500Hz 以上の帯域では条件による減音量の違いが明らかであり、条件4が最も大きく、続いて条件3が大きかった。125Hz と 250Hz については一部の測定点で条件3と条件4の減音量が条件2を上回ったが、いずれの場合も 500Hz より高い周波数帯域で見られるほどの違いはなかった。

図-4 において条件による違いが顕著であった 1kHz 帯域について、減音量の分布結果を表-2 に示す。ここでは背景の濃淡が減音量の程度を表し、濃いほど減音量が大きいことを意味する。表-2 によれば、いずれの測定点においても、条件 4, 3, 2 の順で明らかに減音量が大きくなっており、エッジ効果の抑制が仮囲いの嵩上げよりも騒音低減効果に有効であること、および、仮囲い先端部に付加する試験体に傾斜を設けることでより高い効果を得ることが確認された。なお、本実験の測定範囲内ではあるが、条件 4 の減音量は 500Hz 以上の帯域で 6.0dB を上回る程度であり、1kHz では多くの測定点で 10.0dB を上回った。

2.6 まとめ

エッジ効果を適切に抑制することで防音壁の騒音低減効果が防音壁の嵩上げよりも増大するという河井の理論^{1, 2)}の有効性を実大実験において示した。本実験の結果は高さを抑えた高性能防音壁の実現が可能であることを示唆するものである。

表-2 各条件の減音量 (1kHz)

(A) 条件 2 の減音量					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
音源+1.5m	8.7	6.9	4.9	4.5	4.5
音源+1.0m	6.2	4.8	4.8	4.4	5.0
音源+0.5m	6.2	4.7	4.2	3.2	2.9
音源+0.0m	4.0	4.2	3.0	4.2	2.0
音源-0.5m	3.1	2.0	3.0	4.7	1.9

(B) 条件 3 の減音量					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
音源+1.5m	8.1	7.1	6.5	6.3	6.7
音源+1.0m	10.2	8.4	7.2	7.2	7.0
音源+0.5m	8.1	6.4	6.3	6.6	5.9
音源+0.0m	8.5	6.9	5.8	5.5	4.6
音源-0.5m	8.3	8.4	4.9	7.1	5.4

(C) 条件 4 の減音量					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
音源+1.5m	10.2	7.8	7.3	6.3	6.8
音源+1.0m	16.7	11.0	9.1	8.2	8.6
音源+0.5m	15.0	13.0	11.2	10.1	9.4
音源+0.0m	12.0	12.0	10.4	9.9	10.0
音源-0.5m	12.1	12.1	10.1	11.7	9.6

 …10.0 dB 以上	 …8.0~9.9 dB
 …6.0~7.9 dB	 …4.0~5.9 dB
 …2.0~3.9 dB	 …0.0~1.9 dB

3. 実験 2—支持鋼管の影響

実験 1 では、実大実験によってエッジ効果を適切に抑制することで、防音壁の騒音低減効果が増大することを確認した。

実験 2 では、当理論を建設工事現場周辺に設置される仮囲いに適用するため、固定用下地（以下、支持鋼管）が騒音低減効果に及ぼす影響を確認した。

3.1 実験概要

実験は屋外で実施し、実験 1 と同様の仮囲い（実験 1 と同仕様）を設置した。仮囲いの先端部にはエッジ効果の抑制材を取り付け、仮囲いの内側と床面にはグラスウールマット（厚さ 50mm）を敷設した。エッジ効果抑制材を仮囲い先端部に設置する際は、構造耐力上、支持鋼管による補強が必要となるが、支持鋼管の設置による騒音低減効果の低下が懸念される。そこで、支持鋼管の設置高ささと径を変化させて仮囲い内外の音圧レベルを測定した。

3.2 音源と測定点

音源と測定点の配置は実験 1 と同様である。音源には 12 面体スピーカを使用し、仮囲いの中央に設置した。音源の高さは地盤面から 2.0m とした。試験音にはピンクノイズを用い、測定状況によらず騒音の大きさを一定とした。

3.3 実験条件

仮囲い先端部に取り付けたエッジ効果抑制材と支持鋼管の設置位置を図-5 に示す。エッジ効果抑制材には実験 1 の試験体 B を用いた。支持鋼管はエッジ効果抑制材の音源側に横架し、設置高ささと径の組み合わせを表-3 に示す 5 条件とした。

3.4 実験結果

測定結果より、条件 1 を基準レベルとした相対音圧レベルを算出した（相対音圧レベルが大きいほど騒音低減効果が低下したことを意味する）。

図-6 に仮囲いから 4m 離れた位置、かつ、地盤面 +1.5m の高さにおける相対音圧レベルを示す。図-6 より、125Hz~1kHz の相対音圧レベルはいずれの条件においてもほぼ 0dB となり、支持鋼管の設置による騒音低減効果の低下はみられなかった。これに対し、2kHz 以上の帯域では、条件 3 と条件 5 の相対レベルがほぼ 0dB である一方、条件 2 と条件 4 の相対

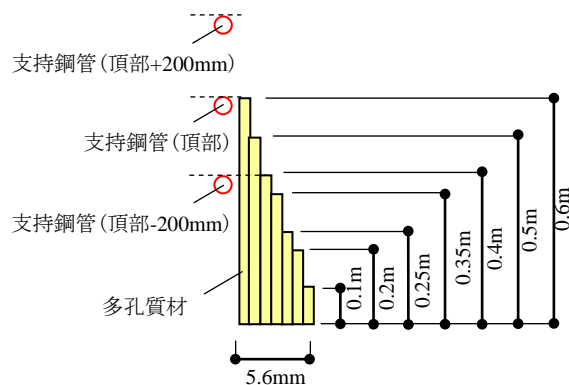


図-5 仮囲い先端に設置したエッジ効果抑制材と支持鋼管の位置

表-3 実験2の測定条件

条件	支持鋼管		
	有無	設置高さ	径
1	なし	-	-
2	有	頂部	48.6 mm
3	有	頂部-200 mm	48.6 mm
4	有	頂部+200 mm	48.6 mm
5	有	頂部	20.0 mm

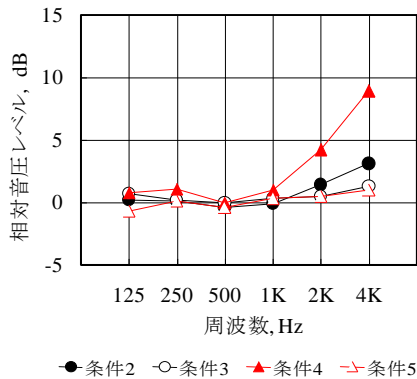


図-6 条件1との相対音圧レベル
(仮囲いから4m, 地盤面+1.5mの測定点)

音圧レベルに明らかな上昇, すなわち, 騒音低減効果の低下がみられた。

図-6において条件毎の差異が大きかった4kHz帯域の相対音圧レベルの分布結果を表-4に示す。これによれば, 条件2と条件4は殆どの測定点において相対レベルが増大しており, 特に相対レベルが大きかった地盤面+1.5mでは, 条件2が3.0dB程度, 条件4が8.0~9.0dB程度であった。一方, 条件3と条件5では, 相対レベルが2.0dBを上回る測定点は殆どみられなかった。

以上のように, 直径48.6mmの支持鋼管をエッジ効果抑制材頂部, または, 頂部より高い位置に設置した場合は2~4kHzの騒音低減効果に明らかな低下がみられた。これは支持鋼管による反射音のエッジ効果抑制材の上部, すなわち, 透過損失が小さい多孔質材の1~2層部を透過することが原因と考えられる。一方, 支持鋼管をエッジ効果抑制材頂部より低い位置に設置した場合, または, 支持鋼管の径を小さくした場合にはこれらの周波数帯域においても騒音低減効果の明らかな低下はみられなかった。

3.5 まとめ

支持鋼管の設置位置や径に工夫を加え, 支持鋼管で生じる反射音を軽減することによってエッジ効果抑制の理論を仮囲いに適用することが可能であると考えられる。

4. 実験3-防音ユニット上部枠の影響

実験3では, 当理論を解体工事現場周辺に設置される仮設防音パネルへ適用することを目指し, エッ

表-4 条件1との相対音圧レベル(4kHz)

(A) 条件2

測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	0.2	0.5	1.3	-0.1	0.1
地盤面+3.0m	3.3	2.7	2.1	0.4	1.7
地盤面+2.5m	6.5	3.4	2.4	2.2	2.7
地盤面+2.0m	4.7	4.4	4.0	2.5	3.4
地盤面+1.5m	3.2	5.3	2.8	3.1	3.3

(B) 条件3

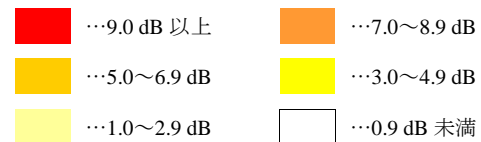
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	0.1	0.1	1.0	-1.5	-0.1
地盤面+3.0m	1.3	1.6	-0.4	-1.4	0.8
地盤面+2.5m	3.0	2.0	-0.6	-0.1	0.4
地盤面+2.0m	1.5	1.4	0.7	0.4	0.7
地盤面+1.5m	0.8	1.5	1.7	1.3	0.9

(C) 条件4

測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	3.9	4.3	4.0	2.4	3.3
地盤面+3.0m	9.2	7.6	6.4	4.8	5.7
地盤面+2.5m	10.2	9.8	7.7	6.8	6.6
地盤面+2.0m	8.6	8.8	8.2	7.4	7.7
地盤面+1.5m	7.9	9.3	7.8	8.9	7.7

(D) 条件5

測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	0.2	0.5	0.8	1.4	1.1
地盤面+3.0m	2.0	1.0	1.3	0.9	0.8
地盤面+2.5m	3.2	0.4	1.5	0.4	0.5
地盤面+2.0m	2.3	2.2	1.3	1.2	0.4
地盤面+1.5m	3.5	2.6	0.3	1.0	0.3



ジ効果抑制材と枠で構成される防音ユニットの騒音低減効果について検証した。

4.1 実験概要

実験2で用いた仮囲いの先端部にエッジ効果抑制材と枠で構成される防音ユニットを取り付け, 防音ユニット上部枠の状況を変化させて仮囲い内外の音圧レベルを測定した。

4.2 音源と測定点

音源と測定点の配置は実験2と同様である。

4.3 防音ユニット

仮囲い先端部に取り付けたエッジ効果抑制材は実験 1 の試験体 B であり、その枠には小口長さや高さ等を変化させた図-7 の 5 種類を用いた。なお、本実験で用いた枠はいずれも木製である。

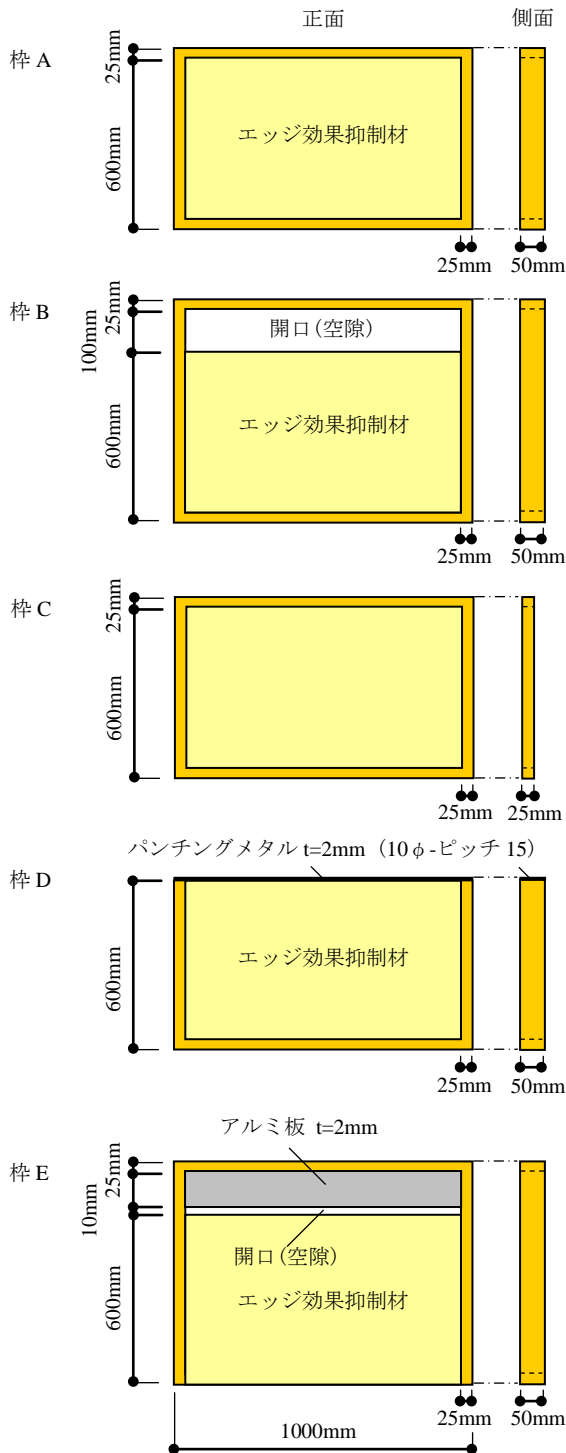


図-7 実験 3 に用いた枠

4.4 実験結果

測定結果より、枠を設けない場合（エッジ効果抑制材のみ設置した場合）を基準レベルとした相対音圧レベルを算出した。図-8 に仮囲いから 4m 離れた位置、かつ、地盤面+1.5m の高さにおける各条件の相対音圧レベルを示す（相対音圧レベルが大きいほど騒音低減効果が低下したことを意味する）。

図-8 より、125Hz~500Hz では、いずれの条件においても相対レベルがほぼ 0dB となり、枠による騒音低減効果の低下はみられなかった。1kHz では、枠 B と枠 E の相対音圧レベルに明らかな上昇、すなわち、騒音低減効果の低下がみられた。2~4kHz の相対音圧レベルは枠の違いによる差が明らかであり、枠 D が 2dB 未満であるのに対し、枠 A と枠 C が 3.0~5.0dB 程度、枠 B と枠 E が 5.0dB 以上となった。

図-8 において条件毎の差異が最も大きかった 4kHz 帯域の相対音圧レベルの分布結果を表-5 に示す。小口を短くすれば（枠 A→枠 C）、相対音圧レベルは全体的に小さくなることが確認されたが、小口を 25mm とした場合（枠 C）でも、殆どの測定点で 2.0dB を上回る結果となった。また、エッジ効果抑制材と上部枠に空隙を設けた場合（枠 B、枠 E）はアルミ板の有無によらず殆どの測定点で 5.0dB を上回り、一部の点では 10.0dB を上回った。一方、上部枠をパンチングメタルとした場合（枠 D）は相対レベルが 2.0dB を上回る測定点は殆ど見られなかった。

以上のように、エッジ効果抑制材の頂部、または、頂部より高い位置に上部枠を設けた場合は高周波数帯域、特に 2~4kHz の騒音低減効果に明らかな低下がみられた。これは上部枠で生じた反射音がエッジ効果抑制材の上部、すなわち、透過損失が小さい多孔質材の 1~2 層部を透過することが原因と考えられる。一方、上部枠をパンチングメタルとした場合にはこれらの周波数帯域においても騒音低減効果の明らかな低下はみられなかった。

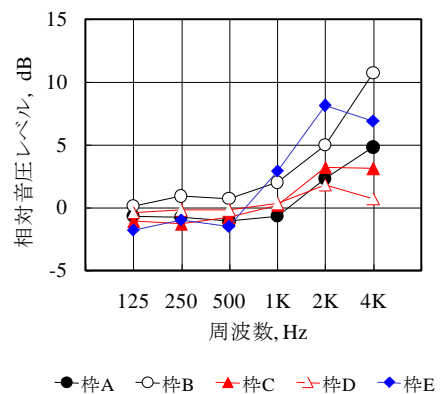


図-8 枠を設けない場合を基準レベルとした相対音圧レベル(仮囲いから 4m、地盤面+1.5m の点)

表-5 枠を設けない場合を基準レベルとした相対音圧レベル(4kHz)

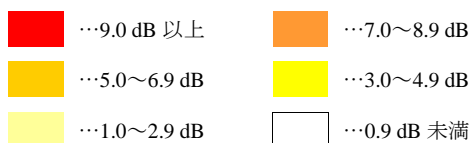
(A) 枠 A					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	2.3	4.3	3.8	2.0	3.9
地盤面+3.0m	4.1	5.0	4.6	3.6	4.2
地盤面+2.5m	7.9	5.6	3.9	4.6	4.1
地盤面+2.0m	8.8	6.2	5.4	3.7	4.7
地盤面+1.5m	9.9	7.6	6.0	4.8	4.2

(B) 枠 B					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	2.8	2.9	2.6	1.8	3.5
地盤面+3.0m	10.6	8.5	6.1	4.7	6.1
地盤面+2.5m	13.2	10.7	8.0	7.9	7.9
地盤面+2.0m	12.3	12.1	10.1	9.2	8.8
地盤面+1.5m	12.8	12.9	10.6	10.7	9.3

(C) 枠 C					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	2.1	2.9	3.2	3.0	4.1
地盤面+3.0m	2.7	2.7	3.1	3.4	1.5
地盤面+2.5m	5.5	2.2	3.5	4.0	2.8
地盤面+2.0m	6.8	3.8	2.2	3.4	2.0
地盤面+1.5m	7.2	4.7	3.2	3.1	1.7

(D) 枠 D					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	0.3	0.6	1.0	0.2	1.2
地盤面+3.0m	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.5
地盤面+2.5m	2.1	0.1	0.3	0.8	0.7
地盤面+2.0m	1.5	0.7	0.4	1.0	-0.3
地盤面+1.5m	2.8	0.7	-0.1	0.7	0.1

(E) 枠 E					
測定点高さ	仮囲いからの距離, m				
	1	2	3	4	5
地盤面+3.5m	1.4	2.1	2.6	2.7	2.0
地盤面+3.0m	8.3	7.8	5.8	4.0	2.8
地盤面+2.5m	8.5	7.1	7.6	6.8	5.7
地盤面+2.0m	9.8	7.1	6.9	7.2	5.9
地盤面+1.5m	11.4	7.5	6.1	6.9	5.9



4.5 まとめ

上部枠にパンチングメタルを用い、上部枠で生じる反射音を軽減することでエッジ効果抑制の理論を解体工事等で使用される仮設防音パネルに適用することが可能と考えられる。

5. 結論

本報告では、エッジ効果の抑制による防音壁の騒音低減効果増大に関する理論の有効性を実大実験で確認するとともに、当理論を建設現場から発生する工事騒音の低減に適用する方法について検証した。その結果、以下を明らかにした。

- 1) 支持鋼管の設置位置や径に工夫を加え、支持鋼管で生じる反射音を軽減することによって当理論を建設工事現場周辺に設置される仮囲いに適用することが可能である。
- 2) 上部枠にパンチングメタルを使用する等の工夫を加え、上部枠で生じる反射音を軽減することで当理論を解体工事等で使用される仮設防音パネルに適用することが可能である。

参考文献

- 1) 河井康人, エッジ効果を抑制した先端改良型遮音壁について, 建築学会梗概集 D-1, 299-300, 2011.8
- 2) 河井康人, 豊田政弘, エッジ効果抑制型遮音壁の性能向上について, 音響学会講論集, 1115-1118, 2012.3