

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：34416

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656340

研究課題名(和文) エッジ効果を利用した遮音壁の開発

研究課題名(英文) Development of edge-effect suppression barriers

研究代表者

河井 康人 (Kawai, Yasuhito)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号：70121796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：近年、道路交通や鉄道等の騒音防止のため、遮音壁が広く用いられている。交通量の激しい道路沿いでは、所望の騒音低減量確保のため、高い遮音壁が設置されることが多いが、景観や設置コスト等の面から望ましいものではない。このため、高さを抑えた多くの先端改良型遮音壁が提案されてきた。本研究では、従来の先端改良型とは異なり、エッジ効果を抑制するという新しい考え方をベースにした遮音壁を提案し、その遮音効果を理論的、実験的に確かめた。数値解析では、エッジ効果をインピーダンスが次第に減少する薄い吸音層によって抑制することで、回折音を大きく低減できることが示された。この研究成果は既に製品化され、広く使用されている。

研究成果の概要(英文)：In recent years, noise barriers have been widely used to reduce the impact of the noise caused by road and railway traffic. Alongside heavily-trafficked highways, in order to ensure the desired amount of noise attenuation, these noise barriers are often very high. High noise barriers, however, are not desirable due to their effect on the landscape and the cost of their installation. For this reason, many types of edge-modified noise barriers have been proposed to reduce the necessary height. In this research, an alternative noise barrier based on the "edge-effect" suppression technique is proposed, and the sound insulation performance is investigated both theoretically and experimentally. Numerical examples indicate that the diffracted sound is greatly attenuated by suppressing edge-effect using a thin absorbing material with a gradational distribution in impedance. This research result have already been widely commercialized.

研究分野：建築音響学

キーワード：遮音壁 エッジ効果 流れ抵抗 粒子速度 鏡像法 境界積分方程式

1. 研究開始当初の背景

道路交通騒音, 鉄道騒音, 工場騒音, 建設騒音等の低減のために用いられる遮音壁の設計において, 点音源と見なせる場合には前川の実験から作成された半無限障壁の挿入損失を求める図表¹⁾が幅広く用いられ, また, 線状音源と見なせる場合には子安及び山下の図表²⁾がよく用いられている。遮音壁は施工が容易なことや比較的 low コストで設置できることから, 騒音防止対策として広く用いられているが, 交通量の多い幹線道路沿いなどでは, 環境基準達成のために非常に高い遮音壁が設置されることも多く, 景観, 日照障害, 耐風圧などの構造的な面から設置コストの上昇などの問題も抱えている。

このような状況を緩和するために, 先端改良型と呼ばれる遮音壁³⁾が数多く提案されており, 吸音型のものや干渉型あるいはそれらの組み合わせのものが多く見受けられる。これらの先端改良型遮音壁の理論的な拠り所は明確ではないが, Kirchhoff の境界条件近似⁴⁾を出発点とした Kirchhoff の回折理論における積分公式を Maggi-Rubinowicz 変換⁵⁾を行うことによって, 回折場が遮音壁上端エッジに沿った線積分で記述されることから, エッジ部分に吸音処理を施したり位相差による干渉などで, 被積分関数の値を減少させ回折場のレベルを低下させようとする考えに基づくものである。しかしながら, 障壁上端エッジ付近の音場を詳しく調べると, このような考え方は少し的外れで適切とは言えない。また, 遮音性能の面からもその効果は不満が残るものであった。

<引用文献>

- Z. Maekawa, "Noise reduction by screens," *Applied Acoustics*, 1, 1968, 157-173
- M. Koyasu and M. Yamashita, "Scale model experiments on noise reduction by acoustic barrier of a straight line source," *Applied Acoustics*, 6, 1973, 233—242
- 藤原恭司, 大久保朝直, 先端改良型遮音壁による道路交通騒音の低減, 騒音制御, 34, 2010, 347-352
- M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics* (5th Ed.), Pergamon Press, Oxford, 1975, p.378, p.449
- K. Miyamoto and E. Wolf, "Generalization of Maggi-Rubinowicz theory of the boundary diffraction wave I, II," *Journal of the Optical Society of America*, 52, 1962, 615-637

2. 研究の目的

上述のような研究背景のもと, 研究代表者は大学院生時代に行っていた音場解析の研究から見出した薄板のエッジ近傍に生じる

非常に大きな粒子速度(後にエッジ効果と命名)が, 騒音制御に有効に利用できないか考えていた。本研究の目的は, このエッジ効果を適切な物理特性を持つ薄い多孔質吸音材で抑制することで, 障壁の遮音性能をどの程度向上させることが可能か, また, 効果的な騒音低減手法は何かを見出すことである。

3. 研究の方法

エッジ効果抑制型の遮音壁が, なぜ高性能な遮音効果を発揮するかを理解するには, 剛な半無限障壁の回折場は障壁から上方に延長した仮想的な半無限平面上の法線方向粒子速度分布によって決定されることが一つのポイントである。これは, 考慮している領域内の音場を境界上に分布する音圧及び粒子速度からの寄与によって記述する積分公式において, 受音点の鏡像を考慮した基本解を用い, 音圧に関する積分項を打ち消すことによって得られる。

二番目のポイントは, 障壁から上方に延長した仮想的な半無限平面上の粒子速度分布は, 音源からの直接音に加え, 遮音壁の先端に沿って生じるエッジ効果により非常に大きな粒子速度が付加されるから, 回折領域における受音点では障壁エッジがより上部の領域と比較して距離的に近いことも相まって, 回折場は障壁エッジ近傍領域からの寄与が支配的となることである。それ故, エッジに沿って現れる粒子速度が非常に大きくなる帯状の領域に, 適切な物理特性(流れ抵抗及び面密度)を持った薄い多孔質吸音材を設置して, 空気の粒子の激しい振動を抑制もしくは吸収すれば, 回折音を大幅に低減することが可能となる。

ところで, 物理特性が一様な分布を持つ布を障壁エッジに沿って設置した場合, エッジ効果を極力抑制するためにインピーダンスの大きな材料を用いると, 吸音材先端付近にもエッジ効果が生じるから, あまり大きなインピーダンスの材料を用いても, ある一定以上の性能向上は見込めない。吸音材下端付近のエッジ効果を十分抑制し, 先端近傍でのエッジ効果の発生を抑えるために, 吸音層のインピーダンスが下端部では大きな値を持ち, 上部に向かってはそれが次第に減少し, 先端では0となるような吸音材を用いれば, 先端近くの布両面の音圧差はほとんどなくなるから, エッジ効果は大幅に低減し, 粒子速度が特に大きな領域はほぼなくなる。インピーダンスがこのようなグラデーション特性を持つ吸音材を用いることにより, 回折音を大幅に低減できることが三番目のポイントである。

上記のような知見のもと, 鏡像法を考慮した境界積分方程式を用いて理論解析を行い, 実験的検証を行いながら, エッジ効果抑制型遮音壁の有効性を検討する。更に, 吸音材保護と強度の点から必要とされるパンチングメタル等による覆いが遮音性能に与える影

響や、遮音壁の上部が傾斜や湾曲した場合の遮音性能について、法線微分型積分方程式を併用して数値的な検討を行う。

4. 研究成果

図-1には、通常の半無限障壁とエッジ効果抑制型遮音壁の先端付近の音響インテンシティの時間平均流を積分方程式により計算した結果の一例を示した。(a)は通常の半無限障壁に対するもの、(b)はグラデーションを付けた薄い吸音材の場合の結果である。矢印の長さが相対的なインテンシティの大きさを表すが、グラデーション特性を持つ吸音材の場合、回折側のインテンシティが大きく減少していることがわかる。

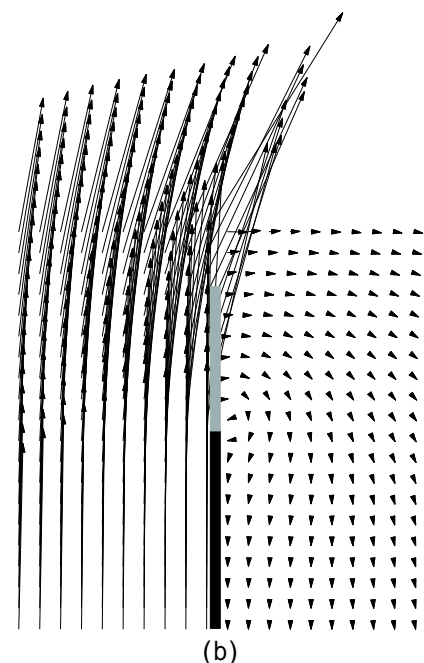
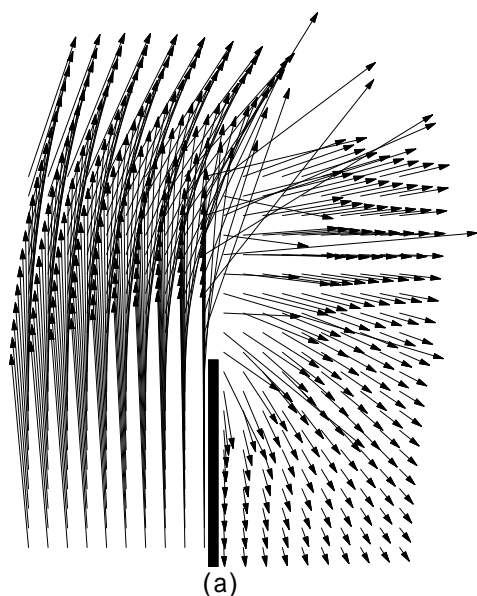
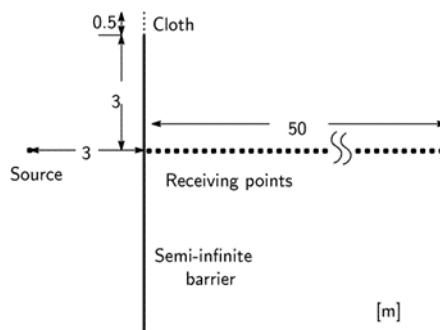
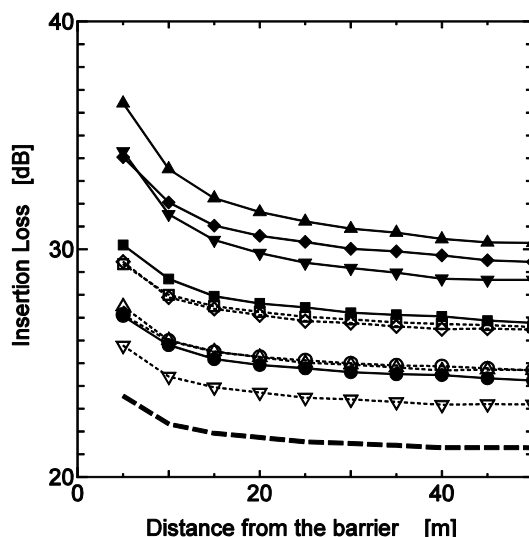


図-1：遮音壁の先端付近の音響インテンシティの時間平均流：(a) 半無限障壁、(b) エッジ効果抑制型遮音壁(表-1のNo.4のグラデーション特性を持つ吸音材)、125 Hz



(a)

- Rigid barrier
- Grad (12k)
- Grad (24k)
- ◆ Grad (48k)
- ▲ Grad (96k)
- ▼ Grad (192k)
- Uni (12k)
- Uni (24k)
- ◇ Uni (48k)
- △ Uni (96k)
- ▽ Uni (192k)



(b)

図-2：道路交通騒音に対するエッジ効果抑制型遮音壁の騒音(A特性)減衰量(挿入損失)、(a)計算条件、(b)A特性音圧レベルにおける挿入損失；例えば、Grad(12k)やUni(12k)の表示は、表-1の試験体でGradはグラデーション特性、Uniは一樣な特性の薄い吸音材で、()の中の数値は面密度を示している。破線は先端が同じ高さの半無限障壁の結果を示す

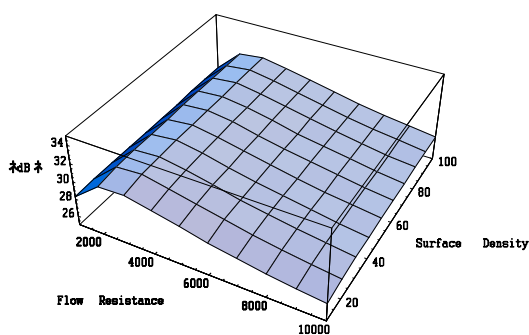
表-1：計算に用いた試験体の物理特性

試験体 No.	1	2	3	4	5
面密度 kg/m ²	12	24	48	96	192
流れ抵抗 Ns/m ³	400	800	1600	3200	6400

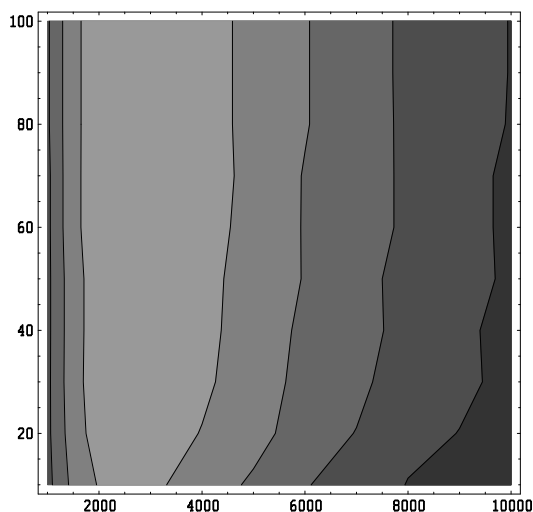
図-2は、日本音響学会の道路交通騒音予測モデル(ASJ RTN-Model 2008)による道路騒音スペクトルを用いてA特性における遮音壁の挿入損失の計算を試みた結果である。図中、Uniの表記は一樣な特性の薄い吸音材を使用した場合、Gradの表記は布の流れ抵抗と面密度がグラデーションを持ち、上方へ次第に0となる吸音材を用いた場合の結果で

ある。表 - 1 には、試験体番号とその流れ抵抗、面密度の組み合わせが示されている。薄い吸音材がグラデーションを持つ場合は大きな遮音効果が得られていることがわかる。同じ高さの遮音壁でも、上部を吸音材で置き換えたほうが遮音効果がかなり大きくなるという非常に興味深い結果が得られ、実験値とも良い精度で一致することが確かめられた(論文 , 学会発表 参照)。

また、道路交通騒音に対する遮音性能が最大となる吸音材の物理特性を検証するために、図 - 2 (a) に示すような音源位置と、受音点 (25m 位置) において、道路交通騒音のスペクトルを入力した時の A 特性音圧レベルを計算し、挿入損失の最大となる吸音層の物理特性即ち流れ抵抗及び面密度を種々変化させて遮音性能(挿入損失)を検証した結果を図 - 3 に示す。なお、先端設置の薄い吸音層は 0.5 m の高さでグラデーション特性を持たせたもので、それぞれの物理特性は吸音材下端の値である(学会発表 参照)。



(a)



(b)

図 - 3 : 道路交通騒音に対するエッジ効果抑制型遮音壁の A 特性挿入損失: (a) 鳥瞰図表示, (b) コンター表示, 25 m 位置, (横軸の数値は流れ抵抗 [Ns/m³], 縦軸は面密度 [kg/m²])

本遮音壁先端部に設置される多孔質吸音材は、構造上また耐候性の面からも音響的には透過性のパンチングメタル等による保護のため覆いが必要とされる場合が多い。これらの覆いが遮音性能に与える影響を理論解析により検討を行ったが、特に高域において性能低下がみられることがわかった。これらの覆いの設計には最新の注意が必要である。また、個々の吸音材ユニットに枠材を用いる場合の影響についても実験的に検討し、これら枠材の形状についても注意すべき点が見明らかになった(学会発表 参照)。

- ・本研究成果に対し、関西大学科学技術振興会より平成 25 年度「学の実化賞」を受賞
- ・本研究成果の実用化に対し、日本騒音制御工学会より平成 26 年度「環境デザイン賞」を戸田建設㈱と共同で受賞
- ・本研究成果を公表した論文 に対し、日本音響学会より第 55 回佐藤論文賞を受賞

謝辞: 本研究に対し日本学術振興会より、学術研究助成基金の助成を頂きました。厚くお礼を申し上げます。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2 件)

Yasuhiro Kawai and Masahiro Toyoda, Development of edge-effect suppression barriers, Acoustical Science and Technology, 査読あり, Vol. 35, No.1, 2014, pp. 28-34

Yasuhiro Kawai, Noise shielding efficiency of edge-effect suppression barriers, Acoustical Science and Technology, 査読あり, Vol. 33, No.3, 2012, pp. 204-207

[学会発表](計 6 件)

河井康人, エッジ効果抑制と回折音場, 日本騒音制御工学会, 2014 年 9 月 17 日, (国内:「明治大学(東京都中野区)」)
小林正明, 松岡明彦, 鈴木信也, 河井康人, 豊田政弘, エッジ効果抑制型防音壁の実用化の検討, 日本騒音制御工学会, 2014 年 9 月 17 日, (国内:「明治大学(東京都中野区)」)

星野康, 木山雅和, 八並心平, 木本省吾, 河井康人, 荒木邦彦, エッジ効果抑制を用いた減音装置の開発, 日本騒音制御工学会, 2014 年 9 月 17 日, (国内:「明治大学(東京都中野区)」)

小林正明, 松岡明彦, 小泉穂高, 河井康人, エッジ効果抑制型防音壁の開発 その 2 防音ユニット上部枠の影響, 日本音響学会, 2014 年 9 月 3 日, (国内:「北海道学園大学(北海道・札幌)」)

河井康人, エッジ効果抑制と回折音場,

日本音響学会建築音響研究会, 2014年7月16日, (国内:「キャンパスプラザ京都(京都)」)

Yasuhito Kawai and Masahiro Toyoda, Sound insulation performance of edge-effect suppression barriers, Inter-Noise, 2012年8月21日, (国外:「New York(U.S.A.)」)

〔図書〕(計2件)

河井康人, エッジ効果抑制による新型の遮音壁, 騒音制御, 39巻, 2015, pp. 4-7
河井康人, エッジ効果抑制型遮音壁, 日本音響学会誌, 70巻, 2014, pp. 79-84

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

・テレビ放映

TBS「夢の扉+ : 騒音のない世の中を作りたい」2014.3.16 放映

・ホームページ等

http://www.kansai-u.ac.jp/global/guide/research/fc_env/index.html

<http://www.tbs.co.jp/yumetobi-plus/collabo/>

<https://youtu.be/az5EHNI08wY>

http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=SK-150002&TabType=2&nt=nt

<http://hotozero.com/interview/> 騒音を防ぐ新理論 01/

<http://hotozero.com/interview/> 騒音を防ぐ新理論 02/

・新聞記事(企業と共同開発)

1. 2014年1月17日掲載, 日刊工業新聞(15面), 「騒音を熱に変換」

2. 2014年1月16日掲載, 電気新聞(5面), 「防音壁の効果向上」

3. 2014年1月16日掲載, 日刊建設産業新聞(2面)「エッジサイレンサー開発」

4. 2014年1月16日掲載, 建設通信新聞(3面), 「10デシベル以上の騒音低減」

5. 2014年1月16日掲載, 日刊建設工業新聞(3面), 「低い防音壁で高性能」

6. 2013年4月発刊, JST news(p12~13), 「エッジ効果抑制型遮音壁の開発」

7. 2013年3月14日掲載, 日経産業新聞(11面), 「壁先端に部材 効率遮音」

8. 2013年2月26日掲載, 建通新聞, 「関西大学の「エッジ効果抑制型遮音壁」, JST 推奨ニーズ新技術説明会で紹介」

9. 2012年12月発刊, 新製品・新工法情報, 「エッジ効果抑制により遮音壁の遮音性能を向上」

10. 2012年11月8日掲載, 建通新聞, 「新型遮音壁用減音装置を開発」

11. 2012年10月30日掲載, 朝日新聞, 「効果高い高速道の防音壁」

12. 2012年9月26日掲載, 日刊工業新聞(13面), 「小壁増設で熱エネ吸収」

13. 2012年9月26日掲載, 日経産業新聞(15面), 「防音壁 大幅に低く」

14. 2012年9月25日掲載, 建設通信新聞(3面), 「高性能防音壁を開発」

15. 2012年9月25日掲載, 日刊建設産業新聞(4面), 「エッジ効果抑制型防音壁」

16. 2012年9月25日掲載, 日刊建設工業新聞(3面), 「低い防音壁で大きく遮音」

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河井 康人 (KAWAI, Yasuhito)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号: 70121796

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者