

# 道路交通騒音伝搬における遮音壁先端部の減衰効果の数値予測

Numerical prediction of the additional attenuation values  
due to the tops of edge modified barriers in propagation of road traffic noise

学籍番号 36725  
氏名 高村 紀行 (Takanura, Noriyuki)  
指導教官 佐久間 哲哉 助教授

## 1. はじめに

1.1. 研究の背景 道路交通騒音の伝搬対策としては一般的に遮音壁が用いられる。近年では、先端形状や音響特性を工夫することでより大きな減衰効果を得る、いわゆる先端改良型遮音壁の研究が進められ、これらの一部は実用化されている。一方、実務的な騒音伝搬予測において一般に用いられる日本音響学会による予測モデル(以下、ASJ RTN-Model 2003)で先端改良型遮音壁を取り扱う場合、先端部装置による付加的減衰効果(以下、減衰補正量)を求める必要がある<sup>[1]</sup>。現状では、減衰補正量の予測は縮尺模型実験で行なわれているが<sup>[2]</sup>、モデルが必然的に巨大となりコストがかかる上、設定変更への対応も容易ではない。一方、数値解析に関しては、計算機資源の制限から3次元音場を想定した解析はほとんど行なわれていない。しかし、任意形状に対応可能であり設定変更も容易なこと、移動音源に対する伝搬性状が解析可能なことなどから、3次元数値解析は遮音壁の研究開発及び実務的な騒音伝搬予測の両側面において大変有用であると思われる。

1.2. 研究の目的 以上の背景を踏まえ、本研究の目的を以下のように設定する。なお、数値解析手法は大規模音場予測に向け開発された高速多重極境界要素法(以下、FMBEM)<sup>[3]</sup>を用いる。

- 1) 遮音壁解析におけるFMBEMの計算効率の向上を図り、適用範囲を拡大すること
- 2) FMBEMによる遮音壁解析の妥当性を検証すること
- 3) ケーススタディにより3次元音場におけ

る減衰補正量の挙動を把握し、減衰補正量の予測手法構築のための知見を得ること

## 2. 道路交通騒音の予測手法の概要

2.1. ASJ RTN-Model 2003の予測計算法の原理  $L_{Aeq}$  を評価量とするエネルギーベースの予測計算であり、対象とする道路上を無指向性点音源と見なせる1台の自動車が行ったときの騒音の時間変化(ユニットパターン)及びその時間積分値を求めることが基本となる。その結果に交通条件(交通量及び車種構成)を考慮して、予測点における騒音のエネルギー的な時間平均値を求める。

2.2. 回折減衰量と減衰補正量 予測計算の基本となるユニットパターンを求める際、音源点と予測点の間に遮音壁等の音響障害物がある場合は、回折に伴う減衰効果を補正量として考慮する必要がある。本研究ではこの補正量のことを回折減衰量と呼ぶことにする。なお、ASJ RTN-Model 2003においては、先端改良型遮音壁の回折減衰量は仮想直壁の回折減衰量に減衰補正量を単純加算する方法が提案されている (eq.1)。

$$\Delta L_{dif,emb} = \Delta L_{dif,eb} + \Delta L_{c,dir} \quad (1)$$

但し、 $\Delta L_{dif,emb}$ :先端改良型または張り出し型遮音壁の回折減衰量[dB]、 $\Delta L_{dif,eb}$ :先端改良型または張り出し型遮音壁と同一の高さを持つ仮想直壁の回折減衰量[dB]、 $\Delta L_{c,dir}$ :減衰補正量[dB]。

3. 遮音壁の解析における効率化手法の構築 直線道路を想定した遮音壁の解析においては、対称面を2面有することから1/4自由空

間を対象とした効率的計算が可能となる。そこで、FMBEMの対称形音場における効率化手法 ④ を拡張し、2つの対称面を考慮する手法をコンピュータに実装した。本節では、通常のFMBEM解析結果との比較により、その有効性を検証する。

3.1. 解析方法 完全反射性の地表面上に置かれた長さ20[m]、高さ1[m]、厚み0.1[m]の遮音壁を解析対象とする。なお、解析は125Hzと1kHzで行なった。

3.2. 結果と考察 計算時間及び記憶容量を計算条件と合わせてTable 1に示す。通常のFMBEM(conv)と比較すると、本効率化手法(sym2)では、計算時間はおよそ2/5以下、記憶容量は125Hzでおよそ1/2以下、1kHzでおよそ7/10以下まで低減されていることがわかる。これより、以降の検討では本効率化手法を適用したFMBEMを用いることとする。

#### 4. FMBEMによる遮音壁解析の妥当性の検証

FMBEMによる解析精度については、理論解との厳密な比較による検証が行なわれているが、遮音壁解析のような実問題への適用の際には、実測値との比較・検討が必要と思われる。本節では、既往の縮尺模型実験による実測値 ⑤ との比較を通してFMBEMによる数値解析結果の妥当性を検証する。

4.1. 解析方法 解析対象をFig.1に示す。ここで、 $r_s''=10$  [m]、 $h=5$  [m]、 $r_r''=15$  [m]、 $R=80$  [m]とする。音源点、受音点は完全反射性の地表面上に設置し、受音点は1[m]毎設置している。解析対象は直壁(Type 1)、張り出し型(Type 2)、カーブ型(Type 3)としFig.2に示す。境界条件はType1とType2は全面剛、Type3は受音点側の円弧部分が吸音境界、それ以外は剛境界である。また、吸音境界条件には縮尺模型実験で用いられたフェルト(2 [mm])の吸音率に相当する比音響インピーダンスを帯域ごとに与える。

4.2. 結果と考察 Type 毎の回折減衰量をFig.3に示す(1/3 オクターブ帯域値)。Type1では、63Hz・125Hzで実測値と精度よく対応

Table 1 Computational efficiency for analyzing sound fields with a rigid barrier (N : degree of freedom).

Frequency	Types	N	Time [sec]	Memory [MB]
125Hz	conv	16840	58	72.7
125Hz	sym2	4210	20	34.9
1kHz	conv	67360	2707	2071.3
1kHz	sym2	16840	1046	1397.1

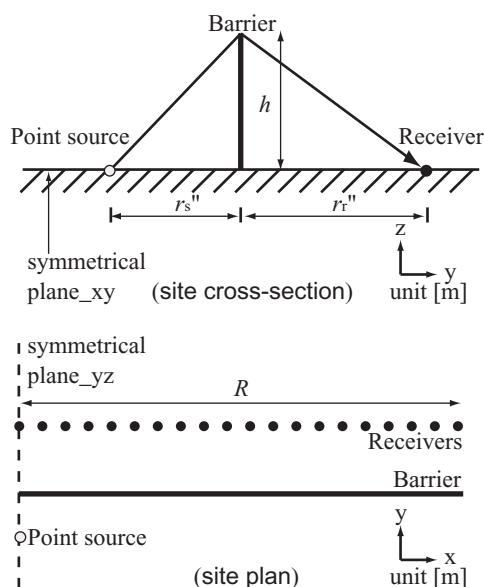


Fig. 1 Geometry of the numerical model with a barrier (site cross-section and plan).

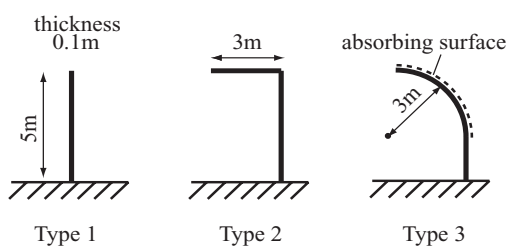


Fig. 2 Three types of barrier shapes (Type 1, 2 and 3).

しているが、高周波数域になるほど受音点位置によっては差が生じることがわかる。これは、壁の厚みに起因して生じる揺らぎが高周波数域の結果ほど顕著になるためと考えられる(詳細は第5章参照)。Type 2及びType 3でも同様に、63Hz・125Hzで実測値と精度よく対応しているが、高周波数域の結果では受音点位置により実測値と差が生じることがわかる。しかし、どの周波数帯域も受音点全体

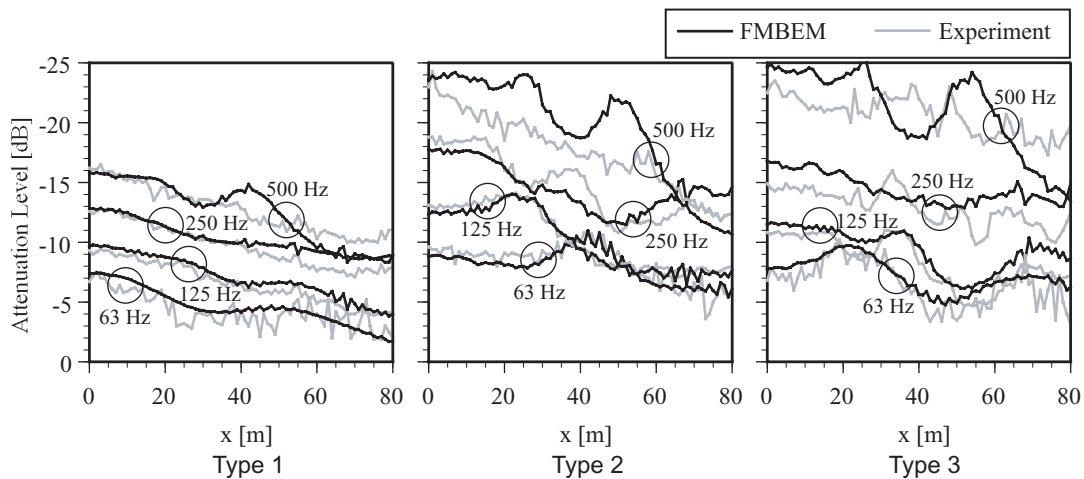


Fig. 3 Comparison between experimental results and numerical results with FMBEM.

の回折減衰量の挙動は概ね対応していると言える。以上より、FMBEMによる遮音壁解析結果と実測値は低周波数域ではTypeによらず精度よく対応すること、高周波数域では受音点位置により実測値との差が見られる場合もあるが、全体としては概ね同じような挙動を示すことが確認された。

### 5. 減衰補正量の数値予測のための基礎的検討

2次元音場を想定した場合、減衰補正量は壁頂部から音源点及び受音点の方向のみに依存する指向特性によって表現できることが数値解析により確認されている。3次元音場においても同様の知見が得られれば減衰補正量の精緻な予測が可能となると考えられる。そこで本節では3次元音場における減衰補正量の挙動を把握し、その指向特性について検討を行なう。

5.1. 解析対象をFig.1に示す。遮音壁高さを $h$ 、遮音壁から音源点及び受音点までの距離をそれぞれ $r_s$ 、 $r_r$ 、受音点列の長さを $R$ で表す。壁高 $h$ を2水準設定し、壁頂部から音源点・受音点の双方の方向を固定した状態で $h$ に対応して $r_s$ 、 $r_r$ 、 $R$ を設定する。 $h=4$  [m]のとき $r_s$ 及び $r_r$ は2.5[m]かつ $R$ を100[m]、 $h=2$  [m]のとき $r_s$ 及び $r_r$ は1.25[m]かつ $R$ を50[m]に設定した。解析対象の遮音壁形状

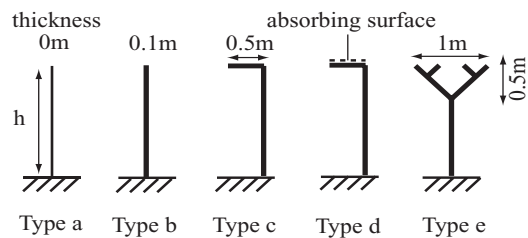


Fig. 4 Five types of barrier shapes.

をFig.4に示す。境界条件はType dの頂部(完全吸音)を除き、全て剛境界としている。解析は $1/9$  オクターブ帯域中心周波数で行った。

### 5.2. 解析結果と考察

#### 5.2.1. 回折減衰量の挙動の把握 $h=4$ [m] の

125Hz 及び 500Hz における回折減衰量を Fig. 5(a) に示す ( $1/3$  オクターブ帯域値)。125Hz では、どの Type も概ね挙動が同様であるのに対し、500Hz では Type により大きな揺らぎが生じることがわかる。Type a と Type b を比較すると、Type a では揺らぎがほとんど見られないことから、この揺らぎは遮音壁の厚みに起因して生じると考えられる。なお、 $h=2$  [m] においても同様の傾向が見られた。

#### 5.2.2. 減衰補正量の挙動の把握 $h=4$ [m] の

125Hz 及び 500Hz における減衰補正量を Fig. 5(b) に示す。減衰補正量は Type b を基準として求めている。125Hz では、受音点位置に依らず値は概ね一定であるが、500Hz では、受音点位置により値が変動し、壁中央から離れ

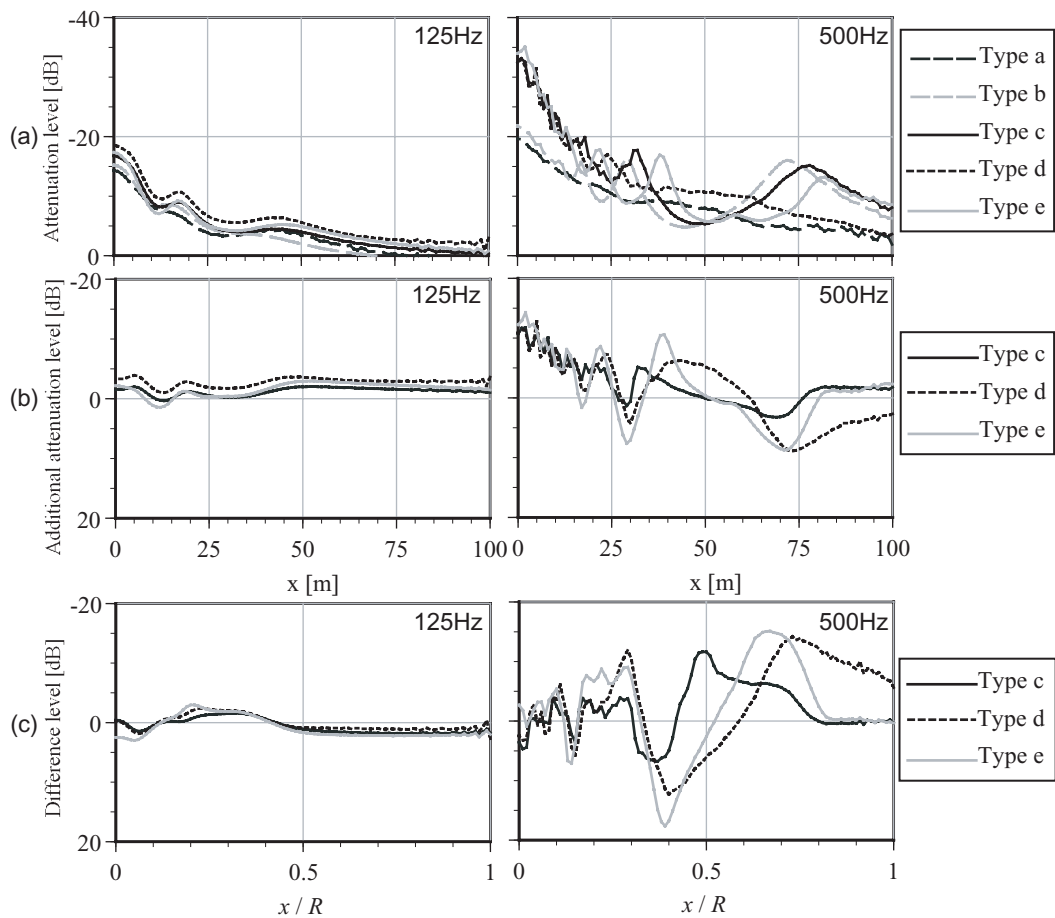


Fig. 5 (a) Diffraction attenuation levels of five Types of barrier, averaged in the 1/3 octave band of 125Hz and 500Hz. (b) Additional attenuation levels calculated for Type c, d and e, averaged in the 1/3 octave band of 125Hz and 500Hz. (c) Difference between the levels for the barrier of two different heights (2m - 4m) with the same top.

た受音点では Type により値が異なることがわかる。

### 5.2.3. 減衰補正量の指向性に関する検討

$h$  が 2[m] と 4[m] の条件でのそれぞれの減衰補正量の差を Fig.5(c) に示す。125Hz では Type に依らず差はおよそ 2dB 以内に納まっている。一方, 500Hz では壁中央付近では比較的差が小さく, これは 2次元音場を想定した既往研究の知見と一致する。しかし, 壁中央から離れた受音点では差が大きくなることわかる。

## 6. まとめ

FMBEMの解析アルゴリズムを遮音壁解析に適するよう拡張した効率化手法を提案・実装し, その有効性を検証した。また, 縮尺模型実験による実測値との比較により, その解

析結果の妥当性を検証した。その上で, 減衰補正量の挙動把握のために数値的検討を行った。その結果, 回折減衰量には壁の厚みに起因する揺らぎが高周波数域で生じることが分かった。また, 減衰補正量の指向性に関しては壁中央付近の受音点では周波数に依らず差が小さいことがわかった。

新たなパラメータの導入やエネルギー的な評価等, 予測手法構築に向けた方向性の模索が今後の課題と言える。

参考文献 [1]ASJ道路交通騒音調査研究委員会, 音響学会誌, 60, 192-241, (2004), [2] 武藤他, ASJ講演論文集, 747-745, (2004.3), [3] T.Sakuma et al., Acustica/acta acustica, 88, 513-525 (2002), [4] 安田他, AIJ大会学術講演論文集, D-1, 179-180, (2003), [5] S.Sakamoto et al., inter-noise, 772-778, (2004), [6] 大久保他, ASJ講演論文集, 821-822, (2003.9)。