

Noise shielding efficiency of barriers with special edge shapes

石塚, 崇

<https://doi.org/10.15017/458564>

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2003, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第5章 特殊エッジ形状を持つ防音壁遮音性能の簡易予測

5.1 概要

本論文で研究対象としている特殊なエッジ形状を持つ防音壁については、その形状の複雑さから解析的な計算式は求めることは難しく、その遮音性能の予測には、境界要素法等の数値解析手法が用いられることが多い。本論文においてもここまで、境界要素法による数値解析をくり返し、その遮音性能について検討してきた。しかし、現場において特殊エッジ形状を持つ防音壁の設置前後におけるその効果を予測したい場合、時間と計算機資源を必要とする数値解析ではなく、簡単な数式、図表等により予測が行える方が望ましい。単純な直壁に関しては、厳密な解析式 [37] も存在し、また前川の図表 [38] に代表される遮音効果の簡易な予測手法が提案されている。道路交通騒音予測モデル ASJ Model 1998 [29] においては、直壁によるオーバーオールでの騒音低減効果を音源、受音点および防音壁の幾何的關係で決定される伝搬経路差から算出する予測式が提案されている。しかし、エッジ形状が単純でない防音壁の騒音低減効果の簡易予測に関しては、いくつかの試み [39-42] がなされているものの、標準となるべき予測手法は未だ確立されていないのが現状である。

本章においては、境界要素法による数値解析結果から、特殊エッジ形状を持つ防音壁遮音性能の簡易な予測式を導出することを試みる。このとき、ASJ Model における直壁に対する効果の予測式を基本とし、これに修正を加えることで予測式を導出することを考える。また、導出した式による予測と数値解析結果を比較し、予測式の妥当性について検討する。ここでは、特殊エッジとして第4章第4節で遮音性能の評価を行った実用型特殊エッジ Noise-reducer および Softop を対象し、これらを上端に取り付けた防音壁が剛な地面上に建てられた場合について考える。次節以降では、これらの防音壁をそれぞれ Noise-reducer 型、Softop 型と呼ぶ。

以下に ASJ Model 1998 による直壁の騒音低減効果の算出方法をまとめる。

騒音の伝搬経路に防音壁等の障害物が存在する場合、その障害物による回折効果による補正量 ΔL_d は次式より算出する。

$$\Delta L_d = \begin{cases} -20 - 10 \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ -5 \pm \frac{-15}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1} (|\delta|^{0.414}) & -0.0537 \leq \delta < 1 \\ 0 & \delta < -0.0537 \end{cases} \quad (5.1)$$

ただし、 δ は音源、回折点、予測地点の幾何学的関係から求まる伝搬経路差であり、影の領域では正、音源を見通せる領域では負の値をとる。また、符号 \pm は δ の符号に対応する。式 (5.1) 中 \sinh^{-1} に関しては以下の関係を用いても計算できる。

$$\sinh^{-1}(x) = \log \left(x + (x^2 + 1)^{1/2} \right) \quad (5.2)$$

式 (5.1) に従い、Fig. 5.1 に示す回折補正量を求める図表が作成される。

ここで示したように、ASJ Model では防音壁による騒音低減効果は回折補正量として負の値で定義されている。本論文ではこれまで防音壁の効果を挿入損失として正の値で表してきたが、本章においては ASJ Model に従い、この符号を反転させて回折補正量とする。

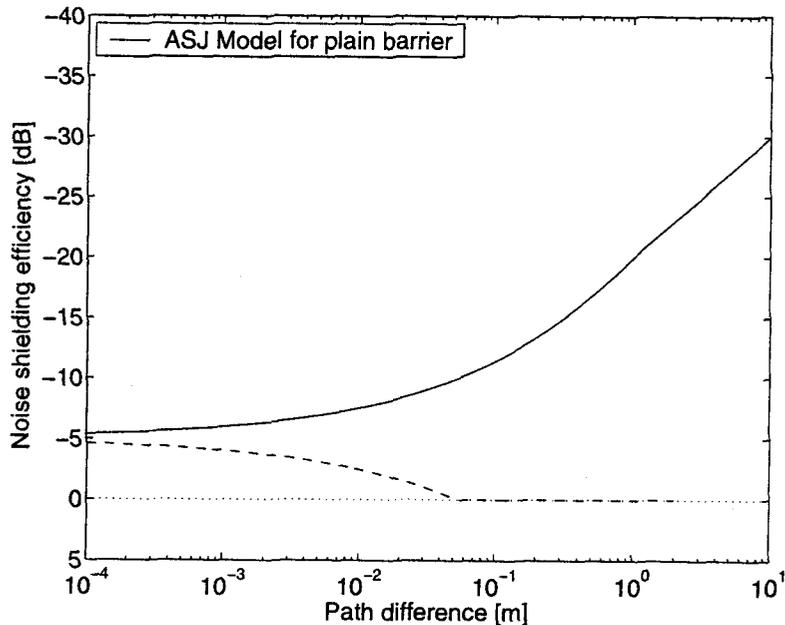


Fig. 5.1: A prediction chart for noise shielding efficiency of a simple barrier. Solid line is for $\delta > 0$ and dashed line is for $\delta < 0$

5.2 解析音場

数値解析により防音壁の回折補正量を求める際に想定する音場を Fig. 5.2 に示す。防音壁は平坦で剛な地面上に設置されており、その防音壁の上端に Fig. 4.10 に示した構造を持つ Noise-reducer もしくは Softop が取り付けられているものとする。特殊エッジを含めた防音壁全体の高さを 3m もしくは 5m とする。音源は防音壁中央から 5m, 12.5m, 20m 離れた 3 点のいずれかに設定する。この音源-防音壁間の距離は、中央分離帯を挟んで片側 2 車線の道路の路肩を 3.25m, 車線幅 3.5m, 中央分離帯の幅 4.5m とした場合の、最も防音壁に近い車線の中央, 中央分離帯の中央, 最も防音壁から遠い車線の中央に相当する。また、音源の高さは地面上 0.3m とする。自動車騒音の発生源としては、主にタイヤ-路面騒音, エンジン騒音, 車体の風切り音などが考えられる。これらの位置は車体の大きさなどによって変わり、明確には決められない。一般的には地面上 0m から 1.0m の間が取られることが多い。ここではエンジンおよびタイヤ-路面騒音を主な騒音源と考え、音源の高さを 0.3m とした。防音壁背後 5m から 30m で地面上 0.5m から 7.5m の領域を受音領域と定め、この領域内に 1.0m 間隔に計 208 点の受音点を設定し、道路交通騒音を想定した A 特性オーバーオール値での回折補正量を計算する。ここでは、音源の周波数特性として Table 4.2 に示した ASJ Model の騒音スペクトルを用いる。

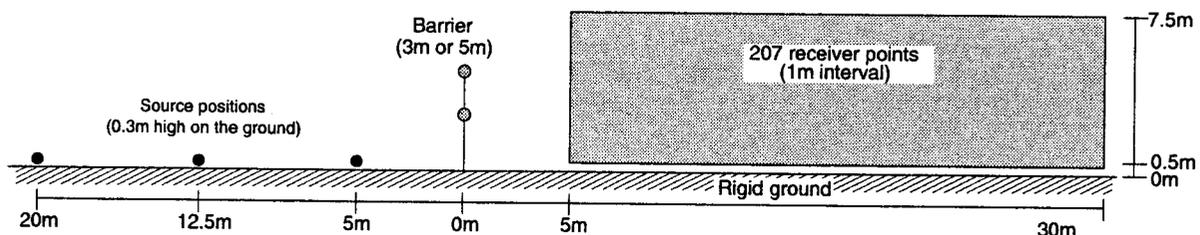


Fig. 5.2: Configuratio of sound field for BEM calculations.

5.3 簡易予測式の導出

5.3.1 パラメータの定義

直壁に対する予測式(5.1)でパラメータとなる伝搬経路差 δ は一般的にはFig. 5.3に示すように定義される。防音壁上端を回折点と定め、音源から回折点を経由して受信点に到達する経路と音源から直接受信点へ到達する経路の距離の差を伝搬経路差として求める。受信点から音源が直接見通せる領域については、経路差を負の値として定義し音源の見通せる領域の経路差と区別する。図中には回折角 θ の定義も併せて示した。

今回対象とする防音壁はある程度のエッジ幅を持っている。このような場合、Fig. 5.5に示すように音源、受信点から防音壁上端部への接線を引きその交点を回折点として扱うことが多い。しかし、Noise-reducer や Softop のようにエッジ形状が単純でない場合には、数多くの音源、予測点の位置それぞれについてこのように回折点を定めるのは複雑な作業を必要とする。実際に予測式を用いる際には簡便さが求められる。エッジ幅が0.5m程度と比較的小さいことから、ここでは直壁と同じようにエッジの頭頂部を近似的に回折点であるとみなすことにする。

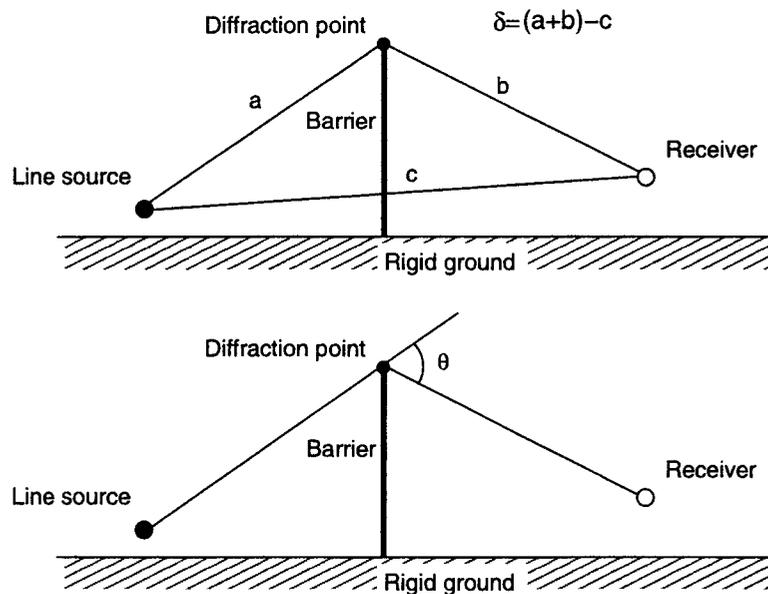


Fig. 5.3: Definition of path difference δ and diffraction angle θ .

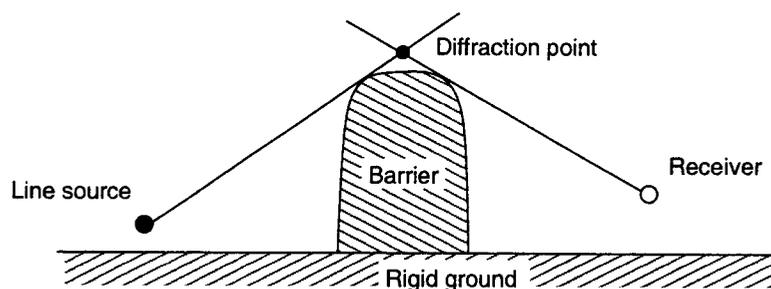


Fig. 5.4: A diffraction point for a wide barrier.

5.3.2 数値解析結果および予測式の導出

Noise-reducer 型防音壁についての境界要素法による解析結果を、各音源位置、防音壁の高さ毎に Fig. 5.5 に示す。グラフは各受音点における回折補正量と伝搬経路差の関係をプロットしたものである。また、全ての解析条件における結果をまとめたものを Fig. 5.6 に示す。

結果は大きく2つの傾向に分かれて分布している。一つは経路差が大きくなるに従って補正量が大きくなるような分布であり、これらは防音壁による影の領域にある受音点における結果である。逆に音源が直接見通せる領域にある受音点における補正量は、経路差が大きくなるに従い小さくなり、ある経路差以上ではほぼ0となるように分布している。式(5.1)に示したように、ASJ Model では音源を見通せる領域と見通せない領域、更に補正量が0になる領域に予測式を分けている。Noise-reducer 型防音壁の予測式に関してもこれと同様の考え方ができることが分かる。

それぞれの解析条件における結果について経路差に対する補正量の対応をみると、経路差が小さい場合には非常に良い対応を示すが、ある程度経路差が大きくなると補正量がばらついてくることが分かる。これは、防音壁が剛な地面上に建てられており、地面からの反射波の影響が含まれているためと考えられる。全体の結果では、経路差が0.1m 以下または負の場合、補正量のばらつきは1dB から1.5dB の範囲に収まっている。それ以上の経路差ではばらつきがやや大きくなり、全体の分布から特に飛び出して分布している一部の点を除けば、2dB から3dB 程度である。また、伝搬経路差とは別に音源、受音点、防音壁の幾何的關係を表すパラメータとして、回折角と回折補正量の関係としてまとめたものを Fig. 5.7 に示す。その対応をみると、回折角10度程度まではばらつきは2dB 程度であるが、それ以上の回折角ではばらつきが

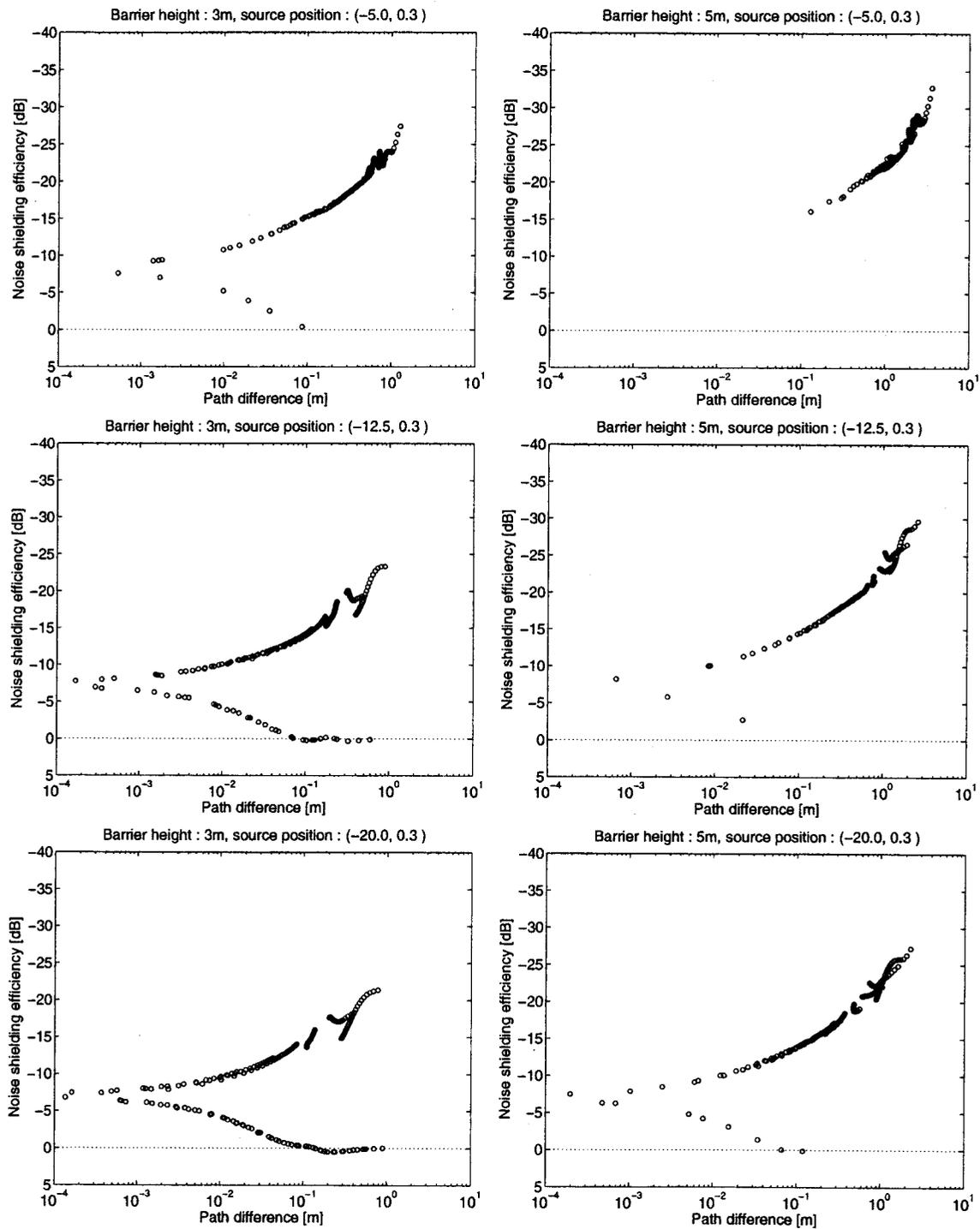


Fig. 5.5: BEM results of noise shielding efficiency of a barrier with Noise-reducer as a function of path difference, for each case.

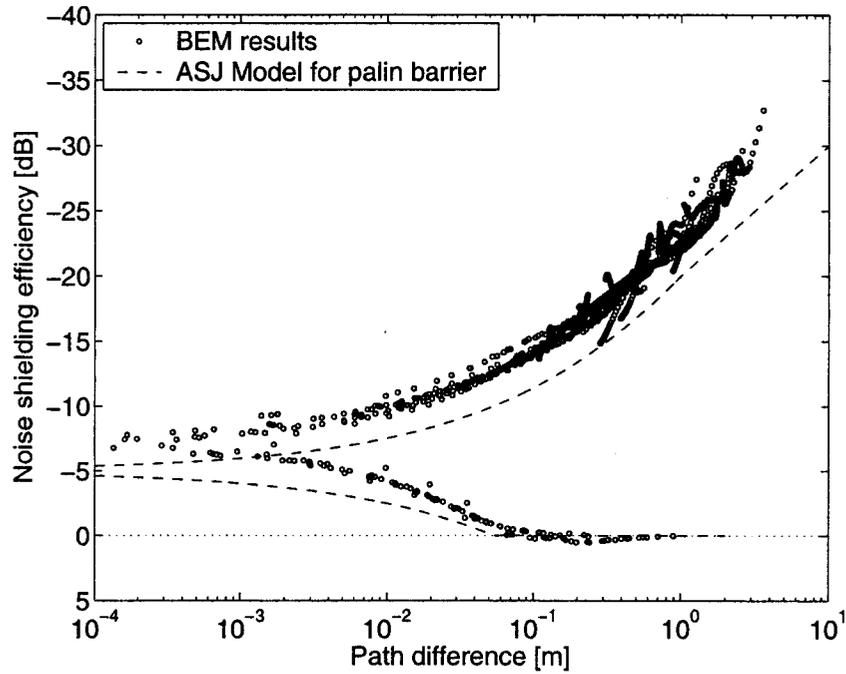


Fig. 5.6: BEM results of noise shielding efficiency of a barrier with Noise-reducer as a function of path difference, for all cases.

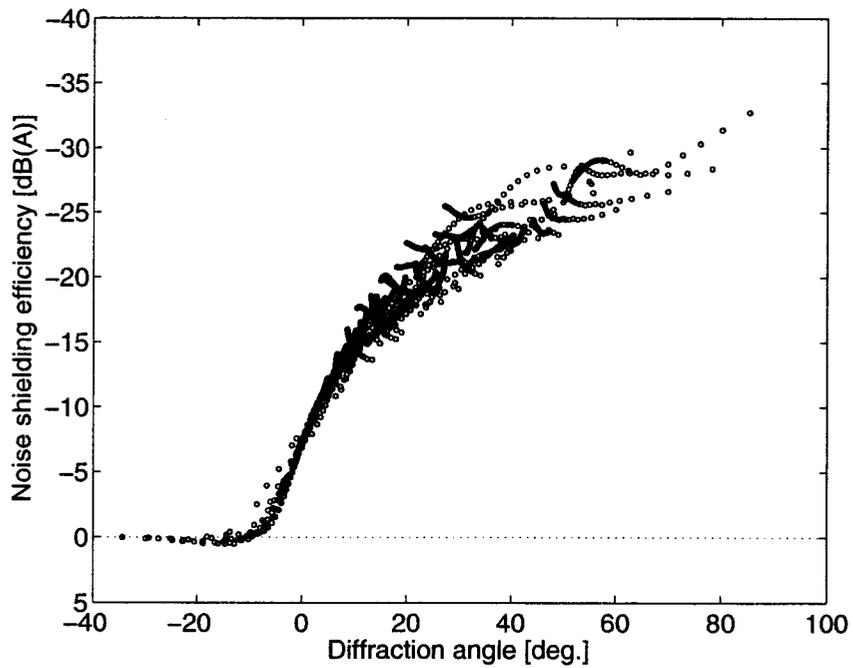


Fig. 5.7: BEM results of noise shielding efficiency of a barrier with Noise-reducer as a function of diffraction angle, for all cases.

大きくなる。20度以上では5dB以上のばらつきがみられ、回折角をパラメータとした場合は精度の良い予測が難しいことを示している。したがって、予測式のパラメータとしてはやはり伝搬経路差を考えることとする。ただし、上述のように補正量のばらつきが大きくなる範囲では、防音壁の効果の過大評価を避けるため安全側の予測式を導くことを基本に考える。

Fig. 5.6には、式(5.1)のASJ Modelによる予測曲線も併せて示している。伝搬経路差が正、すなわち防音壁による影の領域における回折補正量の分布をみると、分布の下端がASJ Modelの曲線と平行に近いことが分かる。そこで、まずASJ Modelを単純に平行移動させることを考える。経路差が小さい範囲の分布をみると、補正量は約-7dBに収束している。このことから、式(5.1)を2dB上方へシフトさせた以下の式をNoise-reducer型防音壁の効果の暫定的な予測式とする。

$$\Delta L_d = \begin{cases} -22 - 10 \log_{10} \delta & \delta \geq 1 \\ -7 \pm \frac{-15}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1} (|\delta|^{0.414}) & -0.1251 \leq \delta < 1 \\ 0 & \delta < -0.1251 \end{cases} \quad (5.3)$$

式(5.1)同様に、式中の符号±は伝搬経路差 δ の符号に一致する。上式に基づく予測曲線をFig. 5.8に示す。0 < δ < 2の範囲では解析結果の分布を良く捉え、かつ安全側の予測曲線となっていることが分かる。経路差が正となる範囲では、予測曲線より下側へ外れている点は1127点中8.9%の100点であった。つまり式(5.3)は防音壁による影の領域では91.1%で安全側の予測をしていることになる。

このようにASJ Modelの予測式を単純に平行移動させるだけでもある程度の予測が可能であることは分かったが、経路差2m以上の範囲では解析結果の分布が予測曲線から上方へ離れる傾向にある。また、経路差が負、すなわち受音点から音源が見通せる領域では、予測曲線が解析結果の分布を完全に捉えているとは言いがたい。そこでこれらの点について改善するため、式(5.3)に修正を加える。ここで、経路差0.3m以上で予測曲線から大きく下方へ飛び出した解析結果が存在するが、これらは周囲分布からも逸脱しており地面からの反射波の影響により防音壁の効果が極端に低下した点であると考えられるため、ここでは予測式修正の際の目標とはしない。式(5.3)に以下の修正を加える。まず、経路差2m以上の範囲についてはそれ以前の傾向が続いているとみることができると、 $\delta > 1$ で経路差の対数に比例する式を別に設

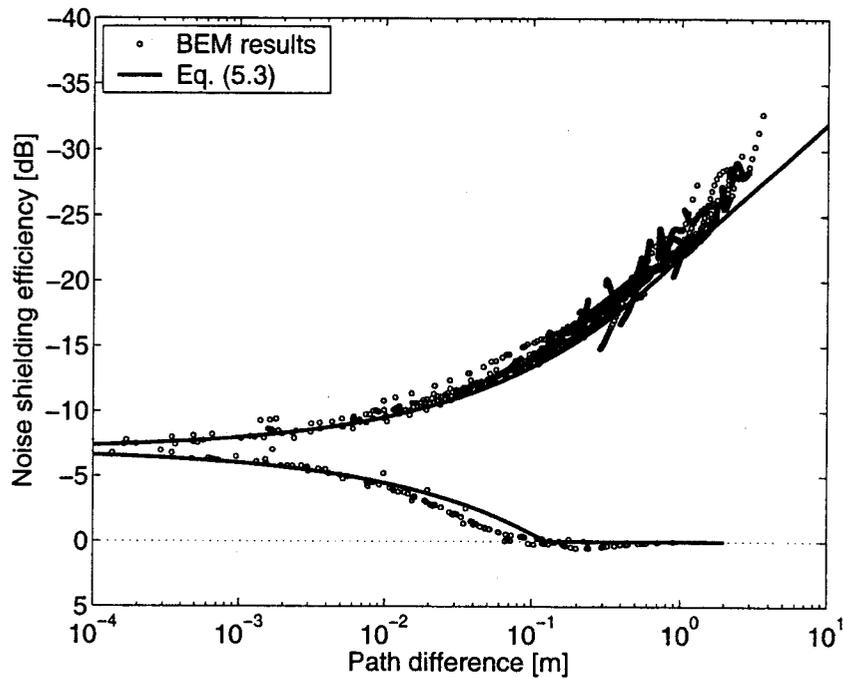


Fig. 5.8: Noise shielding efficiency of a barrier with Noise-reducer as a function of path difference, BEM results and predicted line by equation (5.3).

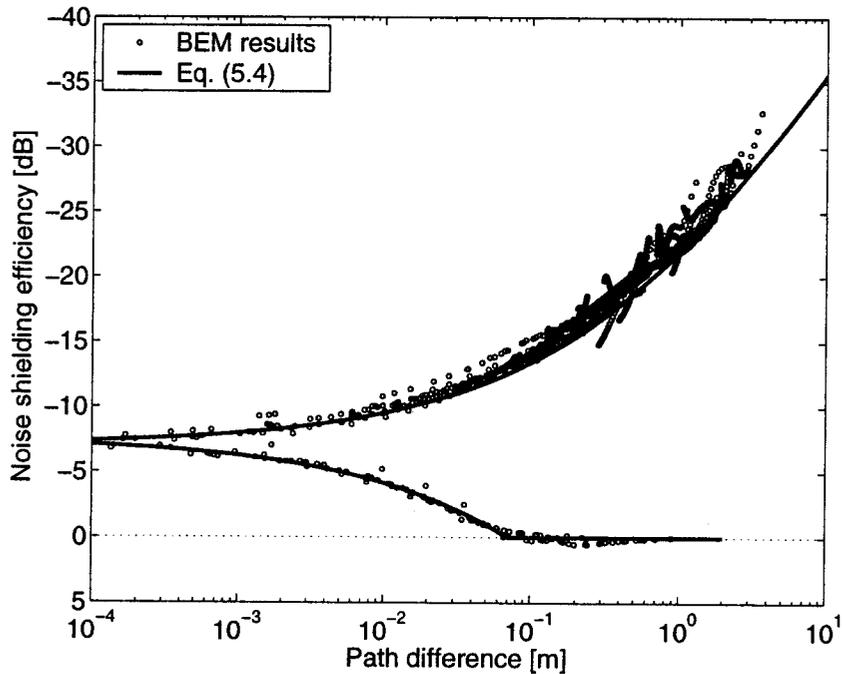


Fig. 5.9: Noise shielding efficiency of a barrier with Noise-reducer as a function of path difference, BEM results and predicted line by equation (5.4).

けることをやめる。次に、 $\delta < 0$ では経路差に対する解析結果のばらつきがほとんど無いことから、式中の定数項と $\sin^{-1}(|\delta|^{0.414})$ の係数を変数として、最小二乗法により回帰式を求める。このように導出した Noise-reducer 型防音壁の回折補正量の予測式を以下に示す。

$$\Delta L_{d,(5.4)} = \begin{cases} -7 + \frac{-15}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1}(|\delta|^{0.414}) & 0 \leq \delta \\ -7.6 - \frac{-20.5}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1}(|\delta|^{0.414}) & -0.0700 \leq \delta < 0 \\ 0 & \delta < -0.0700 \end{cases} \quad (5.4)$$

上式より算出される補正量は式番号を添字につけ、 $\Delta L_{d,(5.4)}$ とする。式 (5.4) による予測曲線を Fig. 5.9 に示す。経路差が負の範囲では予測式と解析結果との差は最大で約 1dB、ほとんどの点では 0.5dB 以下である。また、経路差が正の範囲では、この予測曲線から下側へ外れた点は 1127 点中 11.5% の 130 点である。このように、式 (5.4) は音源が見通せる領域ではほぼ正確な予測ができ、防音壁による影の領域では 88.5% で安全側の予測のできる予測式となっている。

次に Softop 型防音壁の回折補正量の予測式を導出する。境界要素による解析結果を、各解析条件毎に Fig. 5.10 に、全ての結果をまとめたものを 5.11 に示す。Fig. 5.11 には Fig. 5.6 同様に ASJ Model による予測曲線も併せて示す。Fig. 5.5, 5.6 と比較すると、全体的に値がやや大きいが分布の様子は Noise-reducer 型防音壁に対する結果と良く似ていることが分かる。そこで、式 (5.4) の導出と同様の手順により、予測式を導出する。まず、経路差の小さい範囲の結果から式 (5.1) を 2.8dB 上方に平行移動する。これに経路差が負の範囲の結果から求めた回帰式を組み込んだものを以下に示す。

$$\Delta L_{d,(5.5)} = \begin{cases} -7.8 + \frac{-15}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1}(|\delta|^{0.414}) & 0 \leq \delta \\ -8.0 - \frac{-21.7}{\log(1 + \sqrt{2})} \cdot \sinh^{-1}(|\delta|^{0.414}) & -0.0691 \leq \delta < 0 \\ 0 & \delta < -0.0691 \end{cases} \quad (5.5)$$

上式より算出される補正量は、 $\Delta L_{d,(5.5)}$ とする。式 (5.5) による予測曲線を Fig. 5.12 に示す。経路差が正の範囲で解析結果が予測曲線を下回るのは 1127 点中 11.1% の 125 点であり、

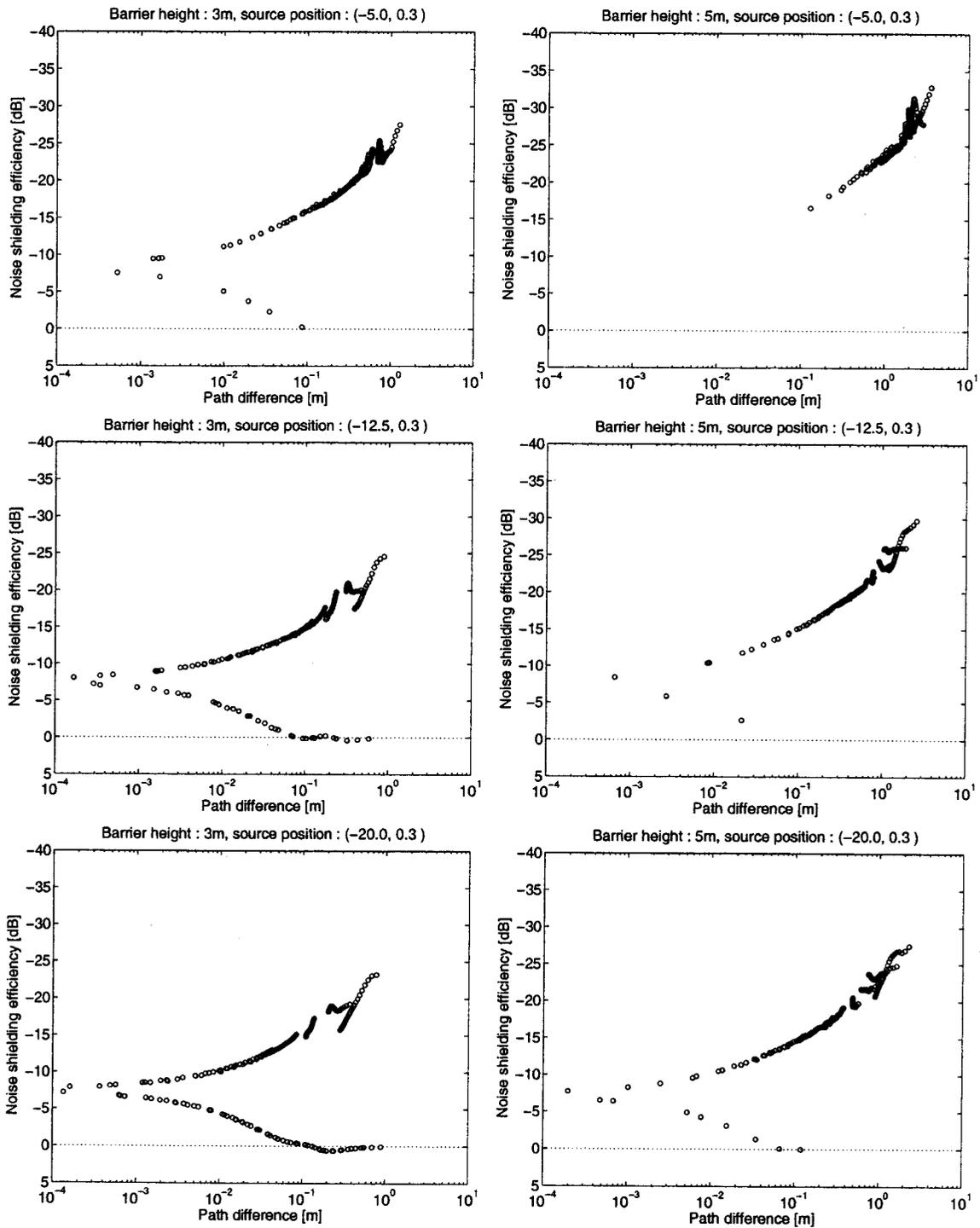


Fig. 5.10: BEM results of noise shielding efficiency of a barrier with Softop as a function of path difference, for each case.

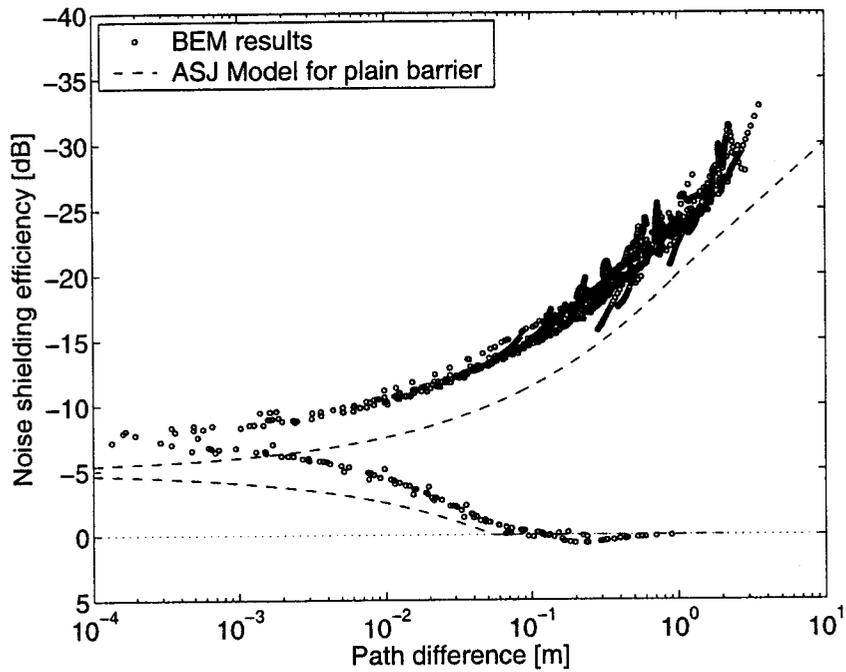


Fig. 5.11: BEM results of noise shielding efficiency of a barrier with Softop as a function of path difference, for all cases.

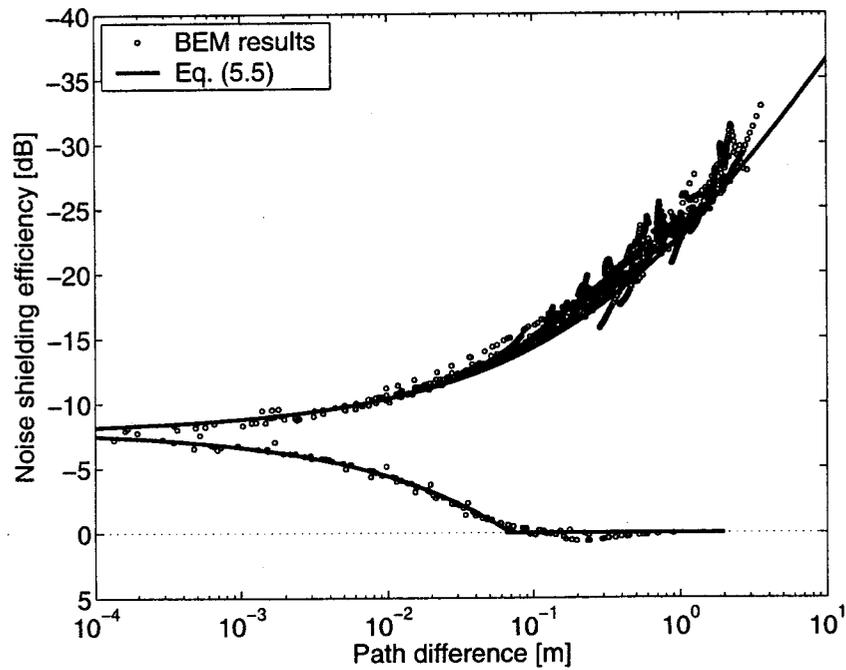


Fig. 5.12: Noise shielding efficiency of a barrier with Softop as a function of path difference, BEM results and predicted line by equation (5.5).

この範囲では 88.9%の安全側の予測式となっている。

以上のように、Noise-reducer 型防音壁, Softop 型防音壁に対してその回折補正量の簡易予測式を導出した。ASJ Model の直壁に対する予測式を基本としてそれに若干の修正を加えた式により、音源の見通せる領域では精度の高い、防音壁による影の領域では安全側の予測が行えることが分かった。

5.4 簡易予測式の妥当性に関する検討

前節で導出した、Noise-reducer 型防音壁、Softop 型防音壁の回折補正量簡易予測式の妥当性について検討する。

まず、各解析条件における全ての受音点について、伝搬経路差を式 (5.4) および式 (5.5) に代入して回折補正量の予測値 $\Delta L_{d,(5.4)}$, $\Delta L_{d,(5.5)}$ を算出する。Noise-reducer 型防音壁、Softop 型防音壁について算出した予測値と境界要素法による解析値の関係をそれぞれ Fig. 5.13, 5.14 に示す。ここでは、予測値と解析値の差分を予測値の誤差と考える。図中の実線は誤差は 0dB の直線を表し、この実線より上にプロットされれば予測値は解析値より防音壁の効果を小さく見積もっていること、実線より下にプロットされればその逆であることを意味する。点線はそれぞれ誤差 $\pm 1\text{dB}$ の幅を表す。

補正値が -10dB までは予測値と解析値の誤差が 1dB 未満であることが分かる。また、補正値が大きくなるとデータがばらつき誤差が 1dB を上回る点も増えてくるが、ほとんどの点は実線より上側にプロットされている。Table 5.1 に、誤差の絶対値が 0.5dB, 1.0dB, 1.5dB 以下である点の数と総点数 1248 の対する割合をそれぞれ示す。誤差が 0.5dB 以下であるのは全体の 1/3 強、誤差 1.0dB, 1.5dB 以下であるのはそれぞれ全体の約 60%, 75% である。実際に現場で予測を行う場合に誤差 1dB までを許容範囲と考えると 60%, 誤差を 1.5dB まで許容するならば 75% の予測精度となる。予測式を導出する際にデータの中央値をとることを考えれば誤差を小さくし予測精度を良くすることはできるが、この場合には防音壁の効果を過大評価する可能性が大きくなる。上述したように図中で実線より 1dB 以上下側にプロットされた点が僅かである。安全側の予測を考えた場合には今回導出した予測式は妥当なものであると言える。

Table 5.1: The number of points satisfying each accuracy, shown in Fig. 5.13 and Fig. 5.14

Accuracy	Noise-reducer : Fig. 5.13		Softop : Fig. 5.14	
$ (Pred.) - (BEM) < 0.5$	426 points	34.1%	491 points	39.3%
$ (Pred.) - (BEM) < 1.0$	738 points	59.6%	758 points	60.7%
$ (Pred.) - (BEM) < 1.5$	932 points	74.7%	928 points	74.4%

The total number of points is 1248.

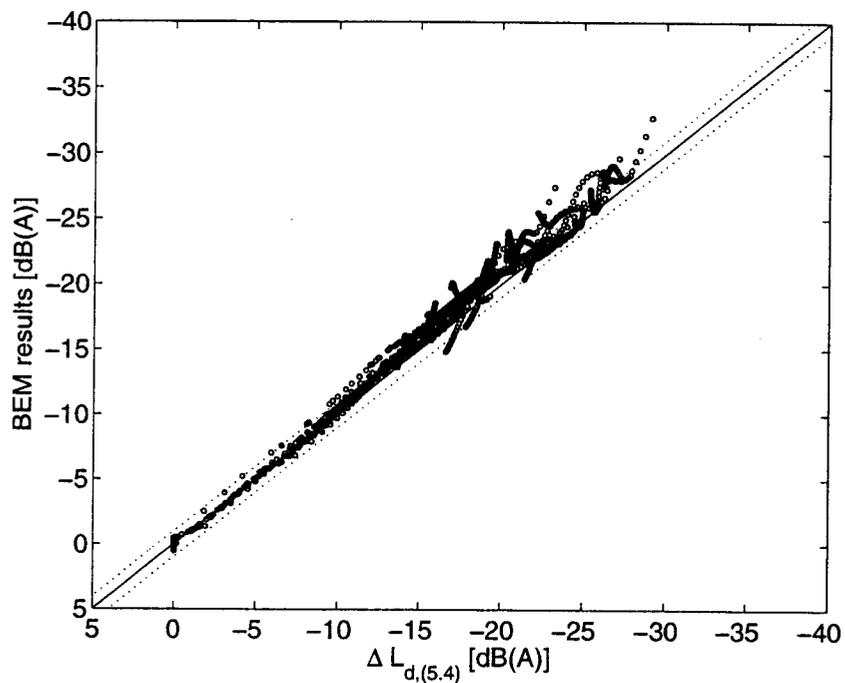


Fig. 5.13: ΔL_d predicted by equation (5.4) and calculated using BEM for a barrier with Noise-reducer.

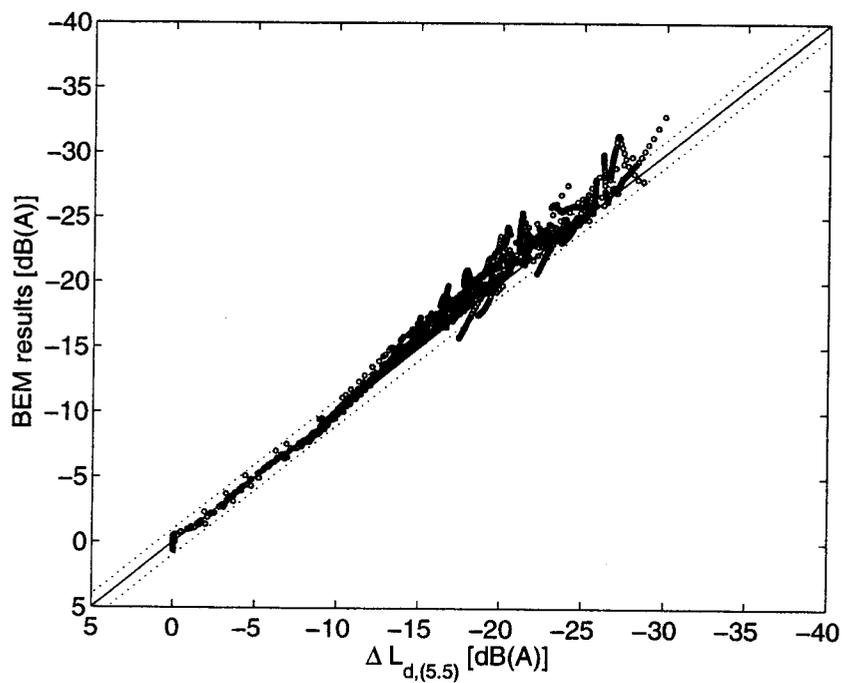


Fig. 5.14: ΔL_d predicted by equation (5.5) and calculated using BEM for a barrier with Softop.