

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4章 特殊エッジ形状を持つ防音壁の遮音性能比較

4.1 概要

序論で述べたように、遮音性能を向上させるために様々なエッジ形状、境界条件を持つ防音壁が現在まで研究、開発されてきた。本章では、これら多様な防音壁の遮音性能を統一した条件下において定量化し、その比較を行う。

遮音性能の定量化は、防音壁背後領域におけるそれぞれの防音壁の道路交通騒音に対する騒音低減量を算出し、同じ高さの直壁に対する騒音低減量の増加分を評価値として行う。詳しくは次節で述べる。

まず、高さと幅を固定した様々な形状、境界条件を持つ防音壁の遮音性能を定量化し、比較する。境界条件の違いによる差を明確にするため理想的な条件を与え、形状および境界条件の遮音性能に与える影響を調べる。このときそれぞれの防音壁の遮音性能評価値に従った遮音性能比較の図表を作成する。

次に、既に実用化されている特殊エッジを持つ防音壁の遮音性能について同様の定量化を行い、比較する。

4.2 防音壁遮音性能の評価

本章においては、解析音場を Fig. 4.1 に示すように定める。特殊エッジを含めて 3m の高さを持つ防音壁が剛な地面上に設置されているものとする。音源は防音壁中心から 8m 離れた地面上に設定する。防音壁遮音性能を評価するための受音点は、防音壁中心から 20m, 50m, 100m 離れた、地面上 1.5m, 3.0m の高さにある計 6 点 (r1-r6) に設定する。また、遮音性能の周波数特性を調べるために防音壁から 50m の地面上に設定した受音点 r0 を設定した。統一された条件下で防音壁遮音性能の評価を行うため、以降防音壁高さ、音源および受音点の配置は固定する。

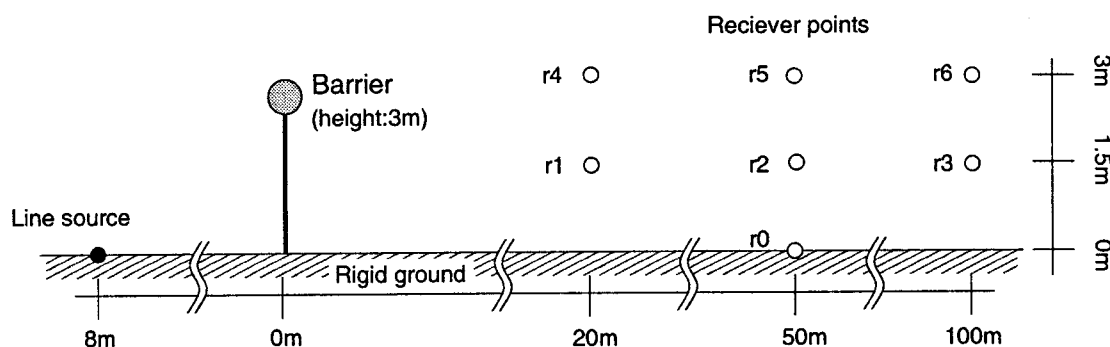


Fig. 4.1: Configuration of sound field for evaluation of barrier performance.

特殊エッジを持つ防音壁の遮音性能を定量化する手順を以下に示す。

1. Fig. 4.1 の音場について、音源に道路交通騒音を想定し、受音点 r1-r6 における広帯域挿入損失を数値解析より求める。
2. 受音点 6 点における広帯域挿入損失を算術平均する。この値を平均挿入損失と定義する。
3. 高さ 3m の直壁を基準とした平均挿入損失の増加を評価値 ΔIL として遮音性能を定量化する。

以上に示した、音源および受音点の配置、遮音性能定量化の方法はいくつかの先行研究 [10,31] においても採用されているものであり、本章ではこれらに従った。このように求めた評価値 ΔIL は、防音壁背後領域における遮音性能を総合的に表す指標の一つであるとされている。

4.2.1 道路交通騒音の周波数特性

各受音点における広帯域挿入損失を求める際に必要となる、道路交通騒音の1/3 オクターブバンド周波数特性には以下の3つの騒音スペクトルモデルを用いた。

- ヨーロッパにおいて標準的に用いられる道路交通騒音スペクトルモデル。ヨーロッパ標準規格 European-Standard EN 1793-3 [32] で定義。以下 European-Standard Model。
- 日本において標準的に用いられる道路交通騒音スペクトルモデル。日本音響学会が提案する ASJ-Model 1998 で定義。以下 ASJ Model。
- ASJ Model に排水性舗装路面 (Porous Asphalt Pavement) の騒音低減効果を重みづけしたスペクトルモデル。排水性舗装路面の効果は文献 [33] に従う。以下 ASJ(PAP) Model。

これら3つの騒音スペクトルを Fig. 4.2 に示す。

European-Standard EN 1793-3 には Table 4.1 に示す 1/3 オクターブバンド中心周波数毎の A 特性相対レベルが定義されている。値はオーバーオール値が 0dB になるように基準化されている。中心周波数 80Hz 以下については定義されていないため、広帯域挿入損失は中心周波数 100Hz から 3.15kHz の解析結果に基づいて算出する。ASJ-Model の算出方法は 3.3.2 節に示した通りである。European-Standard Model に合わせ、オーバーオール値が 0dB になるように基準化した値を Table 4.2 に示す。これらの2つのモデルは、ヨーロッパと日本において道路交通騒音の予測に標準的に用いられているものである。どちらも実測値を基にして定められたものであり、低音域においては値が若干異なるがスペクトル形状は良く似ている。

路面の雨水を排水する目的で敷設される排水性舗装は、その表面の多孔性から排水と同時にタイヤ-路面騒音の発生を抑制し、更に吸音効果もあることが知られており、低騒音舗装としても注目されている。この排水性舗装の騒音低減効果は通常騒音と比較して、Table 4.3 に示す特性を持つことが報告されている。その効果は高音域で著しく、500Hz 以下では目立った効果はない。ここでは、この値にしたがって ASJ Model を補正することで、排水性舗装敷設時の道路交通騒音の周波数特性とみなす。

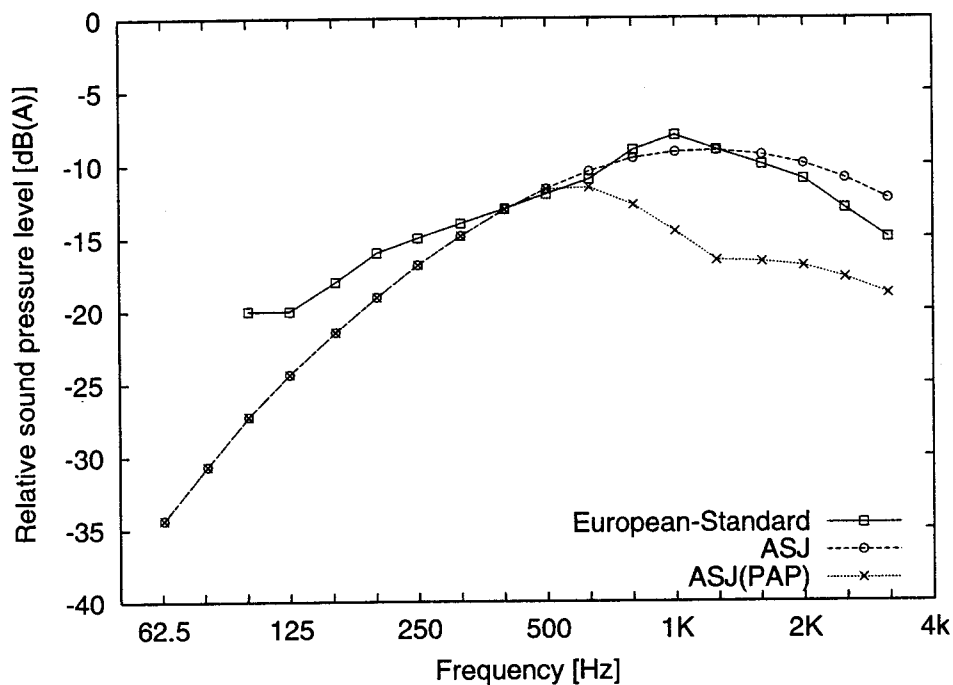


Fig. 4.2: 1/3 octave band spectra of road traffic noise models.

Table 4.1: A-weighted relative spectrum of road traffic noise for European-Standard model described in European-Standard EN 1793-3.

Frequency [Hz]	Relative level [dB(A)]	Frequency [Hz]	Relative level [dB(A)]
100	-20	630	-11
125	-20	800	-9
160	-18	1000	-8
200	-16	1250	-9
250	-15	1600	-10
315	-14	2000	-11
400	-13	2500	-13
500	-12	3150	-15

Table 4.2: A-weighted relative spectrum of road traffic noise for ASJ model.

<i>Frequency</i> [Hz]	<i>Relative level</i> [dB]	<i>Frequency</i> [Hz]	<i>Relative level</i> [dB]
63	-34.4	500	-11.7
80	-30.7	630	-10.5
100	-27.3	800	-9.6
125	-24.4	1000	-9.2
160	-21.5	1250	-9.1
200	-19.1	1600	-9.4
250	-16.9	2000	-10.0
315	-14.9	2500	-11.0
400	-13.1	3150	-12.4

Table 4.3: Effect of porous asphalt pavement on 1/3 octave band level.

<i>Frequency</i> [Hz]	<i>Effect</i> [dB]	<i>Frequency</i> [Hz]	<i>Effect</i> [dB]
63	0.0	500	0.0
80	0.0	630	1.1
100	0.0	800	3.2
125	0.0	1000	5.4
160	0.0	1250	7.5
200	0.0	1600	7.3
250	0.0	2000	7.0
315	0.0	2500	6.8
400	0.0	3150	6.5

4.3 理想的な境界条件を持つ防音壁の遮音性能比較

4.3.1 比較対象とする防音壁

遮音性能の比較を行う防音壁の一覧を Fig. 4.3 に示す。図中の文字‘r’、‘a’、‘s’は境界条件を表す。図では有限長の長さで示されているが、実際には長さ方向に断面の一定な無限長防音壁を考えている。それぞれの防音壁はその形状から6つのグループの分類される。以下にその特徴をまとめる。

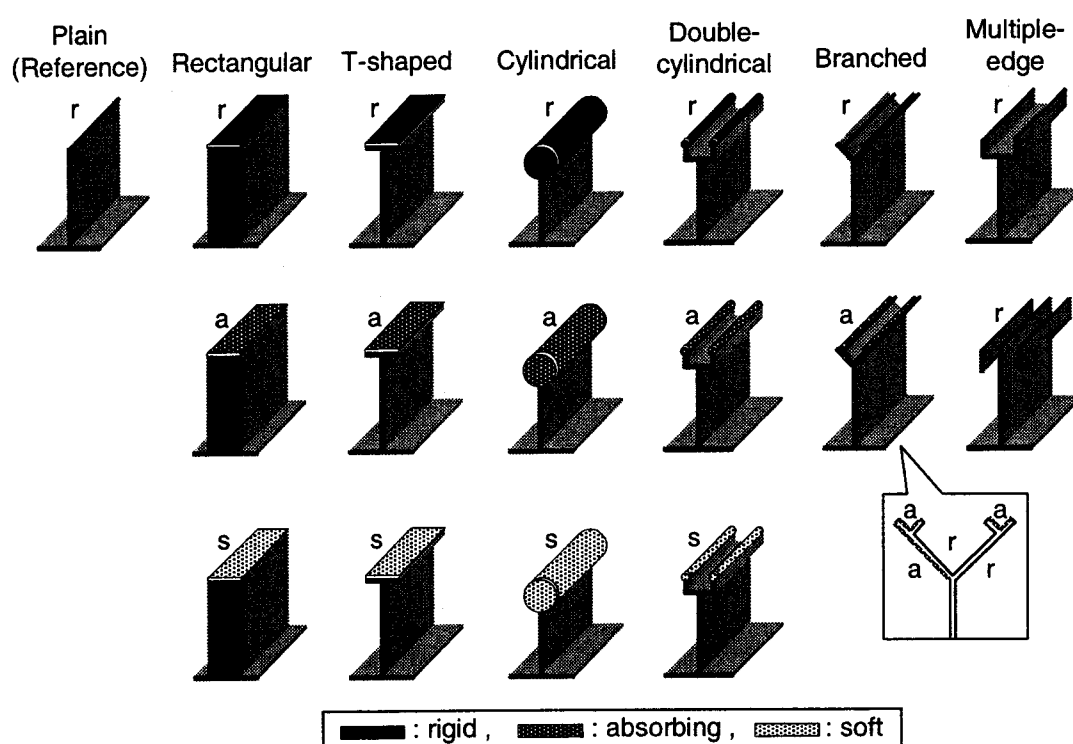


Fig. 4.3: Illustrations of noise barrier with various shaped edges and surface conditions installed on the rigid ground. The barriers have infinite length and the cross section of each barriers is uniform along the length.

Rectangular : ある程度の厚さを持つ防音壁。防音壁上端面の境界条件を変えて比較を行う。以下‘長方形型’とする。

Cylindrical : 防音壁上端に円筒を一つ取り付けた防音壁。円筒表面の境界条件を変化させる。以下‘円筒型’とする。

T-shaped : 防音壁上端に横板を取り付けた T 字型の防音壁。防音壁上端面の境界条件を変

化させる。以下‘T型’とする。

Doubele-Cylindrical : 防音壁上端に二つの円筒を取り付けた防音壁。円筒表面の境界条件を変化させる。以下‘二重円筒型’とする。

Branch : 防音壁上端を分岐させた防音壁 [34]。図示したように、一部の表面の境界条件を変化させる。以下‘分岐型’とする。

Multiple-Edge : 複数のエッジを持つ防音壁。防音壁上端を二つに分岐させた二重エッジを持つ防音壁と、防音壁側方にサイドパネルを配置した三重エッジを持つ防音壁を対象とする。以下、二重エッジを持つものを‘二重エッジ型’、三重エッジを持つものを‘サイドパネル型’とする。

4.1 節で述べたように統一した条件下で遮音性能の比較を行うため、特殊エッジ部分を含めた防音壁の高さを 3m に統一している。またここでは、防音壁の幅も 1m に固定する。すなわち、長方形型は厚さを 1m、円筒型は円筒の直径を 1m、T 型は横板の幅を 1m とした。

また、それ以外の形状についてはエッジ部分の垂直方向の大きさも統一して 0.5m とした。Fig. 4.4 にこれらの防音壁のエッジ部分の構造を示す。二重円筒型は円筒の直径を 0.25m とし、2 つの円筒の中心の間を 0.75m とすることで幅 1m とした。分岐型は上端から 0.5m の点で分岐させ、更にそれぞれ分岐の上端で分岐させた幅 1m の二重分岐構造をもつ。それぞれの分岐点では直角に分岐している。二重エッジ型は上端から 0.5m で幅 1m に分かれた構造を持つ。また、サイドパネル型は防音壁の両側 0.5m ずつに高さ 0.5m のパネルを持つ。

境界条件の違いが遮音性能に及ぼす影響を調べるため、同じ形状の防音壁に対して Fig. 4.2 に示したように異なる境界条件を与える。以下に境界条件をまとめる。

- r: 剛な境界。境界表面において粒子速度は 0 となり、Neumann 条件と呼ばれる境界条件である。解析においては基準化ノーマルアドミタンスを 0 とする。
- a: 完全吸音性境界。境界面上での音圧は入射波の音圧に等しい。解析においては平面波に対する完全吸音条件を与え、基準化ノーマルアドミタンスを 1 とする。
- s: 音響的にソフトな境界。Dirichlet 条件とも呼ばれ、境界面上において音圧が 0 となる。計算にはアドミタンスとして無限大が与えられるべきであるが、実際の計算では近似的

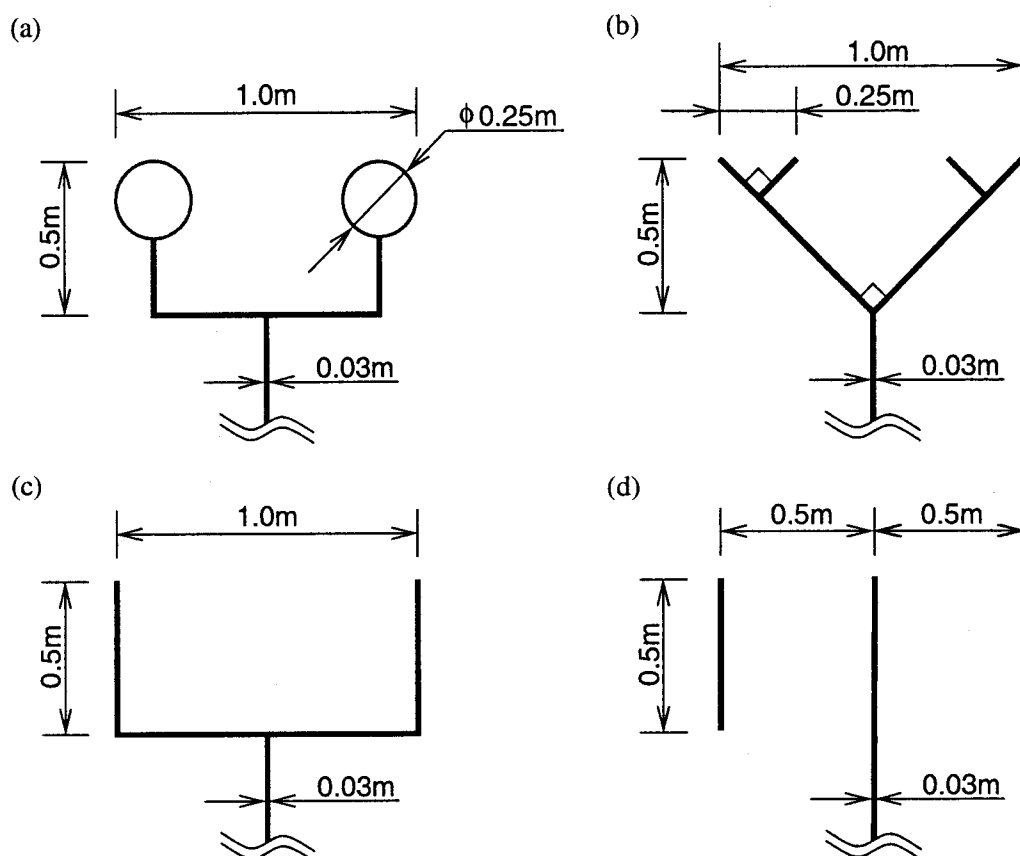


Fig. 4.4: Constructions of a double-cylindrical barrier (a), a branched barrier (b), a double-dege barrier (c), and a barrier with side-panels (d).

に基準化ノーマルアドミタンス 1.0×10^6 を与える。

これらの境界条件は周波数に依存せず満たされるという理想的なものであり非現実的なものである。しかし、境界条件の違いによる影響を明確に確かめるため、ここではこのような理想的な境界条件を与える。

以上のような防音壁のタイプとして6種類、境界条件を含めると16種類の防音壁についてその遮音性能の評価値を求め比較する。またこれらに加え、厚さ0.03mで高さを3mから10mまで1m毎とした直壁についても解析を行う。このうち、高さ3mのものは評価値を求めるための基準となる防音壁である。

4.3.2 評価値 ΔIL の比較

それぞれの防音壁毎に各受音点における広帯域挿入損失、平均挿入損失および評価値 ΔIL を算出した結果を Table 4.4 に示す。広帯域挿入損失の算出の際には European-Standard Model の騒音スペクトルを用いた。ここで算出した ΔIL に基づいて、各防音壁の遮音性能を Fig. 4.5 で比較する。遮音性能が直感的に把握できるように、Fig. 4.3 に示した各防音壁のイラストを ΔIL に従って配置する。図中で上方に位置する防音壁程高い遮音性能を持つことを示す。また、横方向には防音壁のタイプ毎に分類した。3m から 10m の高さを持つ直壁はそれぞれの高さを一番左の列に配置した。この列を参照することで、特殊エッジを持つ防音壁がどの程度の高さの直壁と同等の遮音性能を持つかを見積もることが出来る。この高さのことをここでは、その防音壁の「等価高さ」と定義する。以下では、この図表を基に考察を進める。

まず目立つのは、防音壁上端部分の境界条件が遮音性能に大きく影響していることである。全体的にみて、エッジ形状が異なることによる影響よりも境界条件が異なることによる差の方が大きい。同じ形状を持つ防音壁についてみると、剛な境界を持つものに比べ、吸音性の境界を持つものは 2 から 4dB 程度 ΔIL の値が大きい。等価高さでは、吸音性の境界を持つ高さ 3m の防音壁の遮音性能はほぼ 6m の高さの直壁と同等であることが分かる。また、ソフトな境界を持つ防音壁では、同じ形状で剛な境界を持つものに対しての ΔIL の増加分は 6 から 8dB 程度であり、等価高さではその遮音性能は高さ 9 から 10m の直壁に匹敵する。

境界条件毎に形状による影響をみると、吸音性もしくはソフトな場合は T 型が最も効果が高く、円筒型が最も効果が低い。エッジ形状による ΔIL の差はそれほど大きくはなく、吸音性の場合には最大で 1.3dB、ソフトな場合は最大で 0.8dB である。これは、防音壁上端の境界条件によって遮音性能が大きく向上している場合は、防音壁の高さと幅を固定したまま形状を変えてもその遮音性能はあまり変わらないことを示している。

これに対して剛な場合は、エッジ形状による ΔIL の差が最大 4.6dB と比較的大きい。このうち、二重円筒型、分岐型、二重エッジ型は他に比べて遮音性能が大きく、複数のエッジを持つ構造が効果が高いことを示す。これは、複数のエッジを持つことで多重回折の効果をj得ているためと考えられる。これらのエッジを持つ高さ 3m の防音壁の等価高さは 4m を超える。これらの構造のうちでは、4つのエッジを持つ分岐型が最も効果が大きい。この結果から、3つのエッジを持つサイドパネル型も大きな効果を持つと予測されたが、実際には ΔIL で 0.2dB と

Table 4.4: Broad band insertion loss for tested barriers shown in Fig. 4.3 . The noise spectrum for the European-Standard Model is used.

<i>Barrier type</i>		<i>Broad band insertion loss [dB(A)]</i> <i>for each receiver positions</i>						<i>IL_{Mean}</i>	<i>ΔIL</i>
		1	2	3	4	5	6		
Plain	3m	16.2	15.1	13.6	15.8	15.4	14.9	15.2	0.0
	4m	18.4	17.1	15.9	17.9	17.6	16.9	17.3	2.1
	5m	19.9	18.6	17.7	19.2	19.3	18.4	18.9	3.7
	6m	21.1	19.8	19.1	20.4	20.4	19.6	20.1	4.9
	7m	22.0	21.0	20.2	21.4	21.5	20.8	21.1	5.9
	8m	22.9	22.0	21.1	22.1	22.2	21.8	22.0	6.8
	9m	23.6	22.9	21.8	22.9	22.9	22.6	22.8	7.6
	10m	24.1	23.6	22.4	23.5	23.5	23.3	23.4	8.2
Rectangular	Rigid	17.7	16.0	14.4	16.9	16.4	15.8	16.2	1.0
	Absorbing	21.7	19.1	17.5	21.0	20.0	18.7	19.7	4.5
	Soft	25.7	22.6	20.8	24.3	23.4	21.9	23.1	7.9
Cylindrical	Rigid	15.8	14.7	13.1	15.2	14.8	14.4	14.7	-0.5
	Absorbing	21.2	18.8	17.2	20.3	19.5	18.4	19.2	4.0
	Soft	25.2	22.5	20.5	23.7	22.9	21.8	22.8	7.6
T-Shaped	Rigid	18.8	17.2	15.5	17.1	17.3	16.8	17.1	1.9
	Absorbing	22.9	20.1	18.3	21.3	21.0	19.6	20.5	5.3
	Soft	26.3	23.1	21.2	24.6	23.9	22.4	23.6	8.4
Double-cylindrical	Rigid	19.4	17.9	16.1	18.5	17.9	17.5	17.9	2.7
	Absorbing	22.5	20.0	18.2	21.3	20.6	19.5	20.4	5.2
	Soft	26.1	22.9	21.0	24.3	23.5	22.2	23.3	8.1
Branch	Rigid	20.3	17.9	16.4	19.0	18.9	17.5	18.3	3.1
	Absorbing	22.5	19.9	18.3	21.5	20.6	19.4	20.4	5.2
Multiple-edge	Double	19.0	17.3	15.7	18.8	17.6	17.0	17.6	2.4
	Side panel	16.5	14.8	14.0	16.7	15.9	14.8	15.4	0.2

IL_{Mean} is the arithmetic average of the broad band insertion loss at six receiver points.

ΔIL is change in mean insertion loss related to a 3m high plain barrier.

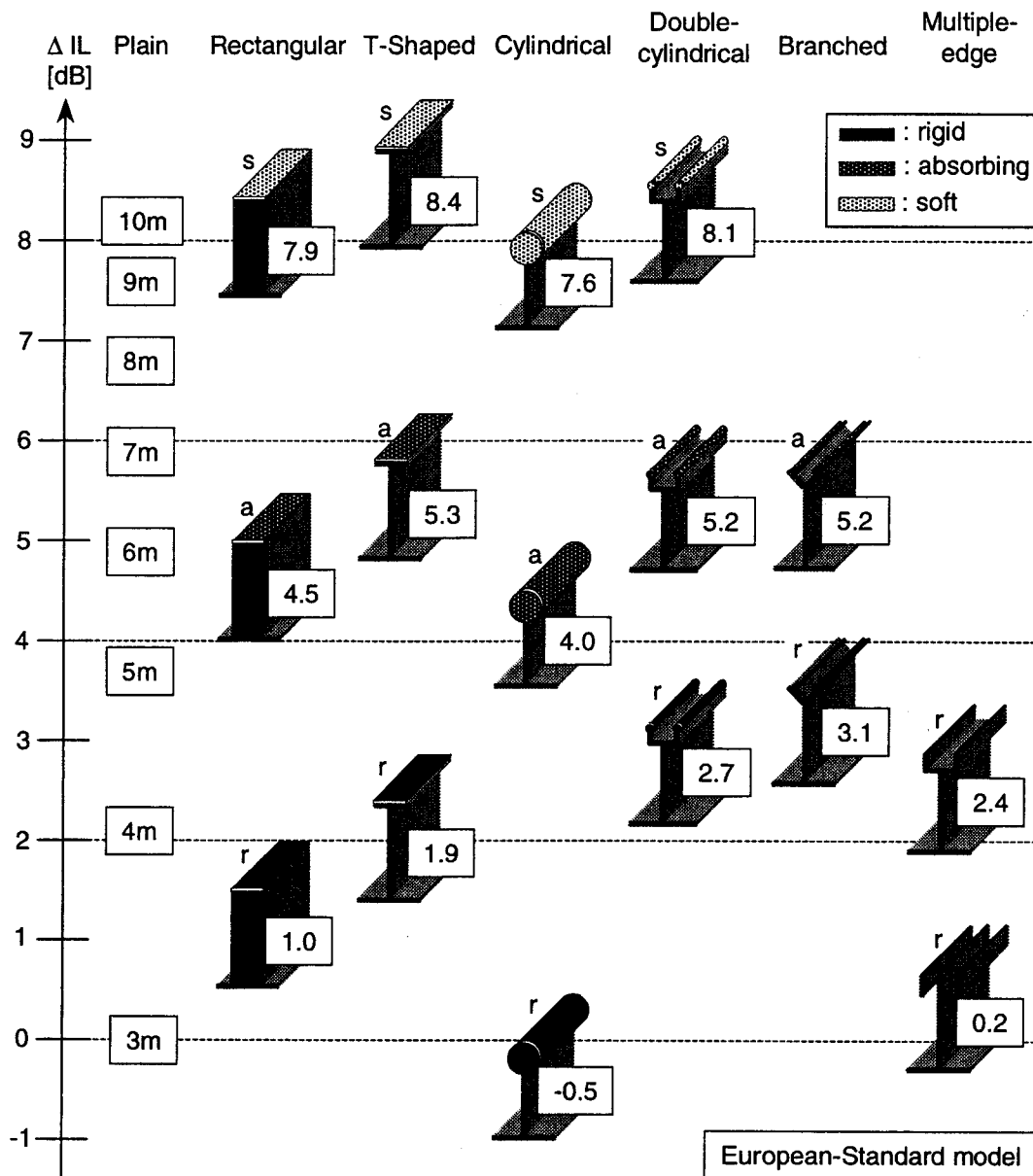


Fig. 4.5: Comparison of performance of barriers with various shapes and acoustical conditions for the European-Standard noise source model. Barriers are presented with ΔIL , change in the mean insertion loss relative to a 3 m high plain barrier. Plain barriers of various height plotted in left-end column represent the equivalent height.

直壁に対して僅かな効果しか示さなかった。Crombie [4] は数値解析による複数エッジを持つ防音壁に関する検討の中で、サイドパネルを防音壁から 0.5m 離して設置する場合、高さ 0.5m のパネルでは殆んど騒音低減効果を得られないことを示している。パネル下端から回折してくる音波を減衰させるには、高さ 0.5m では不十分なのではないかと Crombie は推測している。このように考えると、サイドパネルと防音壁の間を通過するエネルギーが無視できないものになり、その結果本来の多重回折による効果が得られず防音壁の遮音性能が低下したのではないかと考えられる。

また、剛な場合においても円筒型が最も効果が低い形状である。 ΔIL として負の値を示しており、防音壁の遮音性能が直壁に比べて低下してしまうことが分かる。ただし、同じく円筒形状のエッジを持つ二重円筒型の遮音性能は、単純な二重エッジ型に比べて劣るものではない。完全吸音、ソフトの結果をみても二重円筒型は T 型に次ぐ性能を示している。半径 0.5m の円筒を 1 つ持つ円筒型と半径 0.125m の円筒を 2 つ持つ二重円筒型では、円筒部分の表面積の比は 2 : 1 である。大きな円筒を 1 つ持つより小さな円筒を 2 つ持つ方が効果が高いことが分かる。

音源のスペクトルとして ASJ Model, ASJ(PAP) Model を用いた場合の、各受音点における広帯域挿入損失、平均挿入損失、 ΔIL を Table 4.4, 4.5 に示す。また、これらの結果に基づいて Fig. 4.5 と同様に各防音壁の遮音性能を比較した図表を作成し、Fig. 4.6, Fig. 4.7 に示す。

Fig. 4.2 に示した各モデルの騒音スペクトルをみると European-Standard Model と ASJ Model はほぼ同じスペクトル形状をしているが、ASJ(PAP) Model は排水性舗装の効果が高音域を中心に現れることから、他の 2 つとはかなり違うスペクトル形状を持つ。スペクトルのピークとなる周波数も他の 2 つより低域側にシフトしている。

このように音源となる騒音スペクトルが異なるものの、同じ防音壁に対する評価値 ΔIL の想定する騒音モデルによる差は僅かである。完全吸音性あるいはソフトな境界が防音壁の遮音性能を大きく向上させること、その場合防音壁の形状はそれほど影響しないといった傾向はどのモデルにおいても変わらない。また、剛な防音壁のうちでは多重エッジを持つ防音壁が高い効果を持つということも変わらない。遮音性能の相対的關係は 3 つのモデルを通して保たれていることが分かる。

ASJ Model と ASJ(PAP) Model における評価値の違いは、路面舗装の違いが防音壁遮音性

Table 4.5: Broad band insertion loss for tested barriers shown in Fig. 4.3 . The noise spectrum for the ASJ Model is used.

Barrier type		Broad band insertion loss [dB(A)]						IL_{Mean}	ΔIL
		for each receiver positions							
		1	2	3	4	5	6		
Plain	3m	17.2	16.4	14.8	16.2	16.7	16.2	16.3	0.0
	4m	19.1	18.6	17.2	18.4	18.6	18.4	18.4	2.1
	5m	20.5	20.2	19.1	20.0	20.0	19.9	19.9	3.6
	6m	21.6	21.4	20.6	21.2	21.1	21.1	21.2	4.9
	7m	22.6	22.3	21.7	22.3	22.0	22.0	22.2	5.9
	8m	23.5	23.1	22.7	23.1	22.7	22.8	23.0	6.7
	9m	24.2	23.8	23.5	23.9	23.4	23.4	23.7	7.4
	10m	24.9	24.3	24.1	24.6	24.0	24.0	24.3	8.0
Rectangular	Rigid	18.8	17.4	15.7	17.4	17.7	17.0	17.3	1.0
	Absorbing	23.4	21.1	19.1	21.7	21.9	20.6	21.3	5.0
	Soft	27.3	24.5	22.4	25.1	25.2	23.8	24.7	8.4
Cylindrical	Rigid	16.7	15.8	14.2	15.5	16.0	15.5	15.6	-0.7
	Absorbing	22.6	20.6	18.7	21.0	21.3	20.2	20.7	4.4
	Soft	26.6	24.2	21.9	24.4	24.6	23.5	24.2	7.9
T-Shaped	Rigid	19.5	18.2	16.4	17.5	18.3	17.8	18.0	1.7
	Absorbing	24.2	21.8	19.7	21.9	22.5	21.2	21.9	5.6
	Soft	27.8	24.9	22.7	25.3	25.6	24.2	25.1	8.8
Double-cylindrical	Rigid	20.1	19.1	17.2	18.8	18.9	18.6	18.8	2.5
	Absorbing	23.7	21.6	19.6	21.9	22.1	21.1	21.7	5.4
	Soft	27.5	24.6	22.5	25.0	25.2	23.8	24.8	8.5
Branch	Rigid	21.5	19.4	17.7	19.6	20.4	19.0	19.6	3.3
	Absorbing	24.1	21.8	19.8	22.2	22.4	21.2	21.9	5.6
Multiple-edge	Double	20.2	19.0	17.1	19.3	19.2	18.6	18.9	2.6
	Side panel	18.4	16.8	15.9	17.3	18.0	16.8	17.2	0.9

IL_{Mean} is the arithmetic average of the broad band insertion loss at six receiver points.

ΔIL is change in mean insertion loss related to a 3m high plain barrier.

Table 4.6: Broad band insertion loss for tested barriers shown in Fig. 4.3 . The noise spectrum for the ASJ(PAP) Model is used.

<i>Barrier type</i>		<i>Broad band insertion loss [dB(A)]</i> <i>for each receiver positions</i>						<i>IL_{Mean}</i>	<i>ΔIL</i>
		1	2	3	4	5	6		
Plain	3m	15.9	14.0	12.2	14.5	15.6	13.8	14.3	0.0
	4m	17.3	16.8	14.5	16.6	17.1	16.6	16.5	2.2
	5m	18.7	18.8	16.4	18.1	18.2	18.6	18.1	3.8
	6m	19.8	20.1	18.0	19.3	19.2	19.8	19.4	5.1
	7m	20.8	20.9	19.5	20.3	20.2	20.7	20.4	6.1
	8m	21.6	21.6	20.7	21.2	21.0	21.3	21.2	6.9
	9m	22.3	22.1	21.8	22.0	21.6	21.8	21.9	7.6
	10m	23.0	22.5	22.6	22.6	22.2	22.2	22.5	8.2
Rectangular	Rigid	17.2	14.9	13.0	15.6	16.5	14.6	15.3	1.0
	Absorbing	21.0	18.0	16.1	19.3	19.8	17.6	18.7	4.4
	Soft	25.0	21.5	19.4	22.8	23.2	20.9	22.1	7.8
Cylindrical	Rigid	15.4	13.5	11.6	14.0	15.1	13.3	13.8	-0.5
	Absorbing	20.6	17.8	15.8	18.9	19.5	17.3	18.3	4.0
	Soft	24.7	21.4	19.1	22.3	23.0	20.7	21.9	7.6
T-Shaped	Rigid	18.2	16.0	13.9	15.8	17.5	15.6	16.2	1.9
	Absorbing	22.0	18.8	16.7	19.5	20.7	18.3	19.4	5.1
	Soft	25.5	21.9	19.7	22.9	23.6	21.2	22.5	8.2
Double-cylindrical	Rigid	18.8	16.7	14.6	17.3	18.0	16.3	17.0	2.7
	Absorbing	21.7	18.8	16.7	19.8	20.5	18.3	19.3	5.0
	Soft	25.4	21.7	19.6	22.8	23.4	21.0	22.3	8.0
Branch	Rigid	19.6	16.7	14.8	17.4	18.7	16.3	17.2	2.9
	Absorbing	22.0	18.9	17.0	20.0	20.6	18.4	19.5	5.2
Multiple edge	Double	18.3	16.2	14.3	17.6	17.6	15.9	16.7	2.4
	Side panel	16.4	14.2	13.0	14.9	16.1	14.2	14.8	0.5

IL_{Mean} is the arithmetic average of the broad band insertion loss at six receiver points.

ΔIL is change in mean insertion loss related to a 3m high plain barrier.

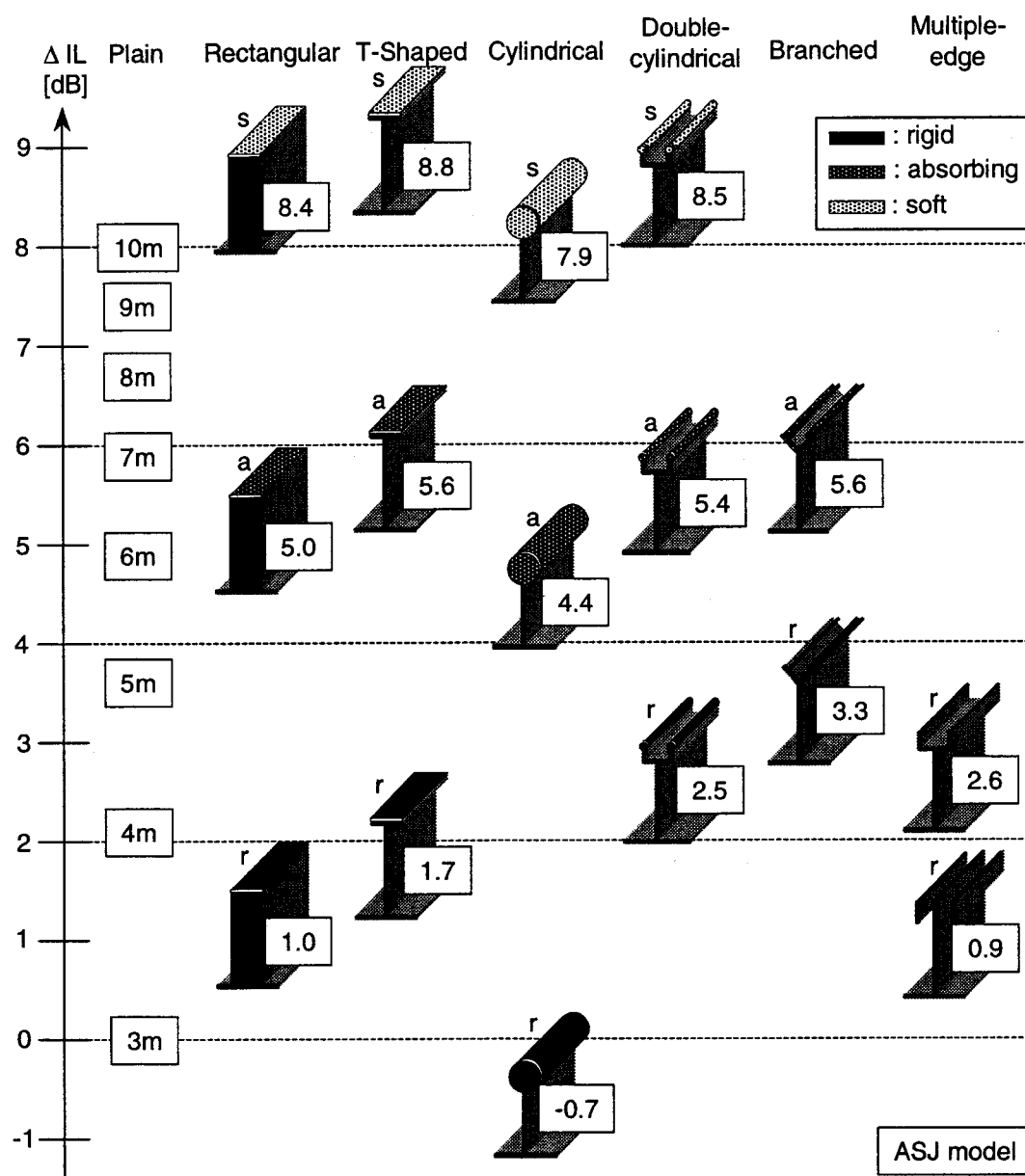


Fig. 4.6: Comparison of performance of barriers with various shapes and acoustical conditions for the ASJ noise source model. Barriers are presented with ΔIL , change in the mean insertion loss relative to a 3 m high plain barrier. Plain barriers of various height plotted in left-end column represent the equivalent height.

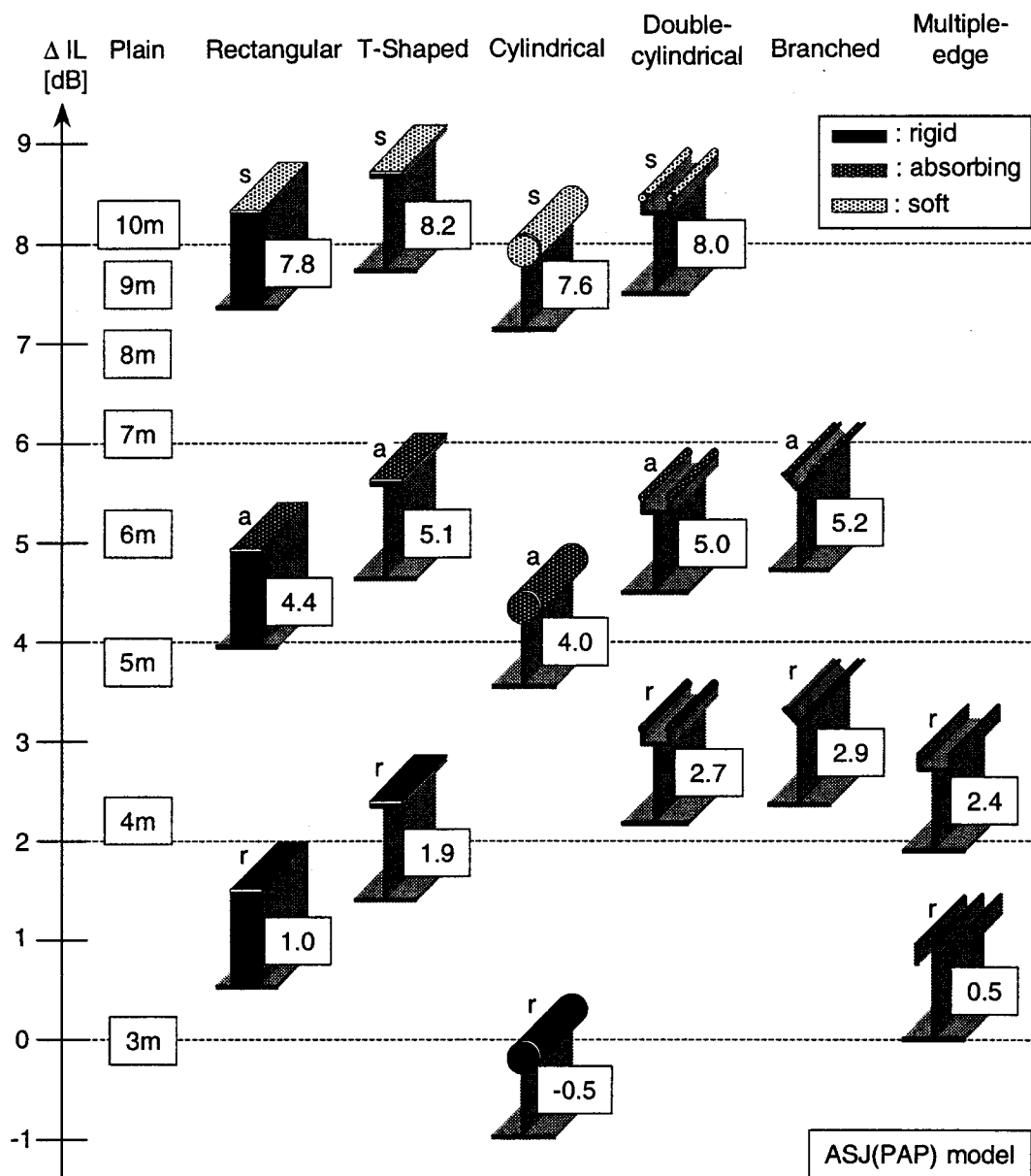


Fig. 4.7: Comparison of performance of barriers with various shapes and acoustical conditions for the ASJ(PAP) noise source model. Barriers are presented with ΔIL , change in the mean insertion loss relative to a 3 m high plain barrier. Plain barriers of various height plotted in left-end column represent the equivalent height.

能に与える影響とみなすことも出来る。Fig. 4.6 と Fig. 4.7 を比較すると、完全吸音性またはソフトな境界を持つ防音壁は排水性舗装道路に設置された場合、通常舗装の場合に比べ僅かではあるが騒音低減効果が小さいことが分かる。 ΔIL の値としては 0.4 から 0.5dB 程低下する。等価高さでみるとその差は、完全吸音性の場合で 0.5m 程度、ソフトの場合で 1m 程度の等価高さの減少に相当する。また、剛な防音壁に関しては路面舗装の違いによる影響は 0.2dB 程度であり無視できる程度であると考えられる。ただし、分岐型、サイドパネル型に関しては路面が排水性舗装であることで、0.4dB ほど性能が低下する。

4.3.3 効果の周波数特性の比較

受音点 r_0 における各防音壁の効果の周波数特性を比較する。高さ 3m の直壁を基準としたときの、 r_0 における 1/3 オクターブバンドでの挿入損失の変化を効果として Fig. 4.8 に示す。

長方形型、円筒型、T 型、二重円筒型の効果の特性をみると、境界が完全吸音性の場合とソフトな場合の特性が、良く似た周波数特性を持つことが分かる。いずれにおいても周波数が高くなると共に効果が大きくなる右肩上りの傾向を示す。これに対して境界が剛な場合はほぼ横這いの傾向を持つ。この差から、境界を剛から完全吸音性もしくはソフトにした場合の効果は周波数が高い程大きく現れることが分かる。完全吸音性境界とソフトな境界の差は全周波数にわたって概ね 3dB 程度である。分岐型については、境界が完全吸音性の場合と同様に右肩上りの特性を示すが、剛な場合も同様の傾向にある。この為完全吸音性境界の効果としては、このエッジ形状においては周波数に依らずほぼ一定である。剛な場合においても周波数と共に効果が大きくなるのは二重エッジ型にもみられる傾向であり、多重回折の効果と考えられる。また、サイドパネル型はピークとディップの差が大きい特性を示しており、周波数によっては効果が大きく落ち込む。これは、サイドパネルの上端を回折する音波と下端を回折する音波の干渉が原因と考えられる。このように効果の特性に大きなディップが存在することにより、オーバーオールでの効果を基にした ΔIL では低い評価値となったものと考えられる。

Fig. 3.9 に長方形型、円筒型、T 型の境界が剛およびソフトな場合の結果を抜き出して比較した。図中では線種は境界条件を表し、マークは形状を表す。このように比較すると、効果のスペクトルが境界が剛な場合とソフトな場合とにまとめられ、防音壁遮音性能に及ぼす影響はエッジ形状によるものよりも境界条件によるものの方が大きいことが周波数特性においても

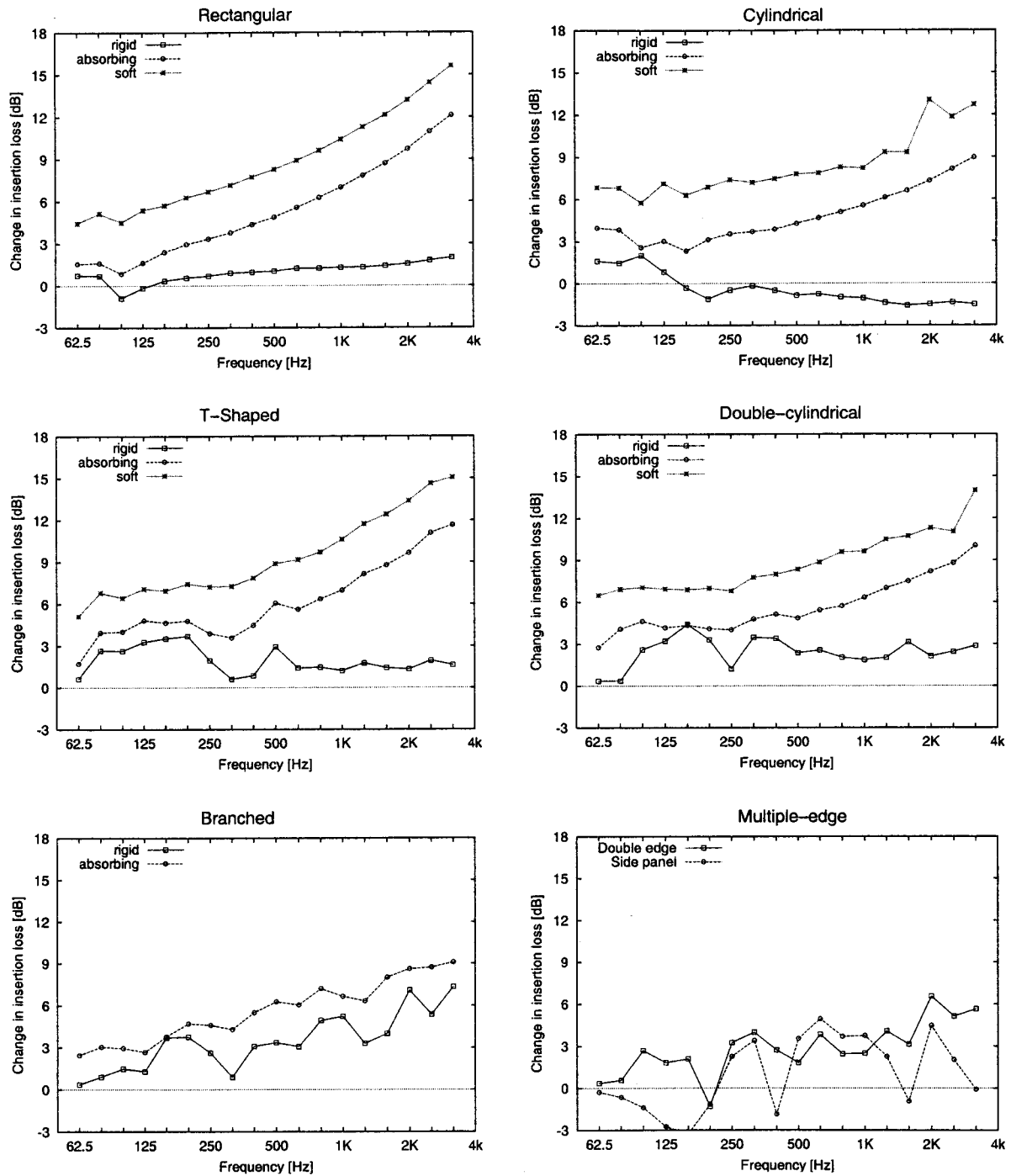


Fig. 4.8: Spectral efficiency for barriers with each edge shapes and boundary conditions shown in Fig. 4.3 . Results are presented in terms of the change insertion loss relative to the 3m high plain barrier.

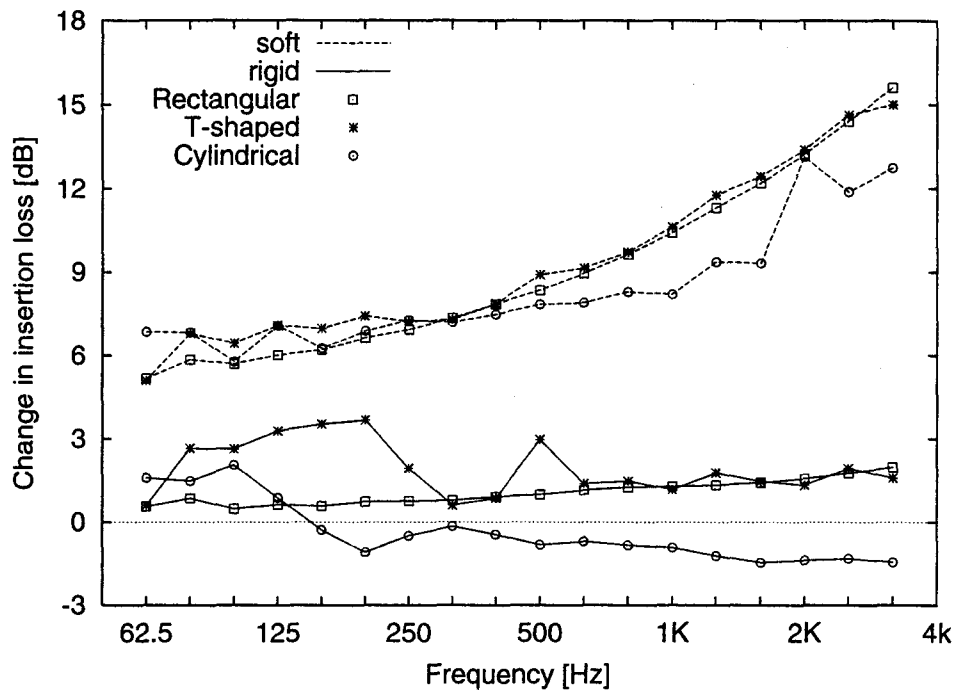


Fig. 4.9: Comparison of spectral efficiency for rectangular, T-shaped, and cylindrical design with a rigid and a soft surface.

確認される。また、剛な場合は特に中低音域においてエッジ形状による差が大きい。これに対してソフトな場合はその差が圧縮され、境界条件によって効果が大きく向上している場合はエッジ形状による差は小さいことが分かる。

4.4 実用型特殊エッジを持つ防音壁の遮音性能比較

前節では防音壁の理想的な境界条件を与えた。しかし、完全吸音性やソフトな境界を全周波数にわたって実現する音響材料は存在しない。本節では、既に実用化されているものを含めた実用型特殊エッジを持つ防音壁について、これまで同様に遮音性能の定量化、比較を行う。

4.4.1 比較対象とする防音壁

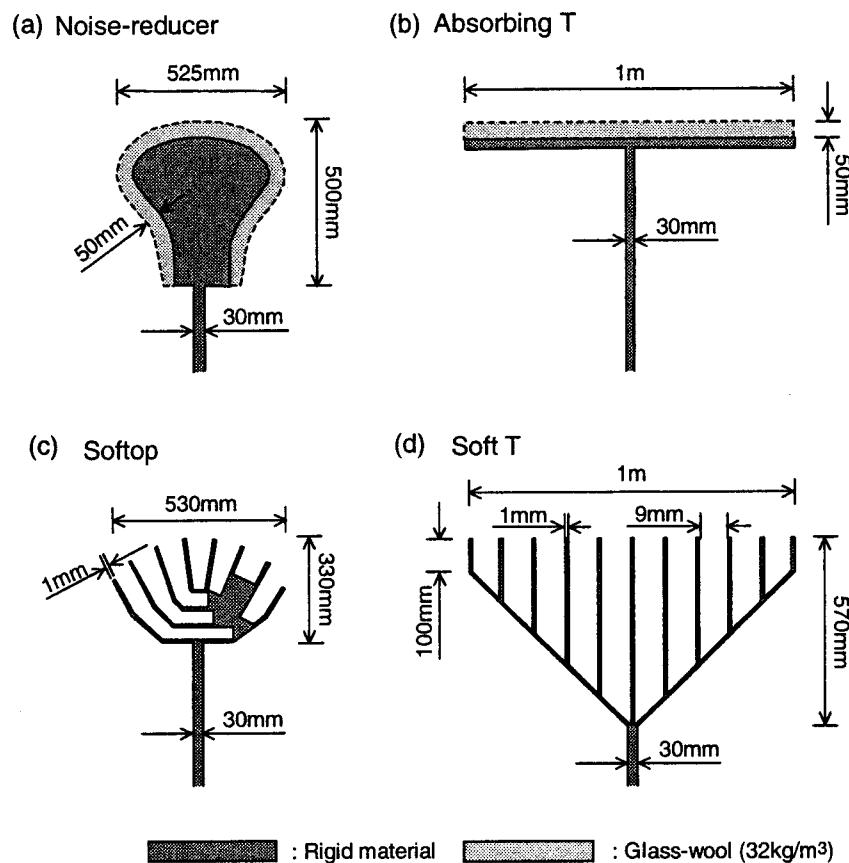


Fig. 4.10: Constructions of devices installed on a barrier edge, Noise-reducer (a), Absorbing T (b), Softop (c), and Soft T (d).

比較対象とする特殊エッジの構造を Fig. 4.10 に示す。実用化されている吸音性エッジは、マッシュルーム型の吸音体（株式会社日東紡製：製品名 Noise-reducer）をモデルとした。吸音性表面は厚さ 50mm のグラスウール（密度 32kg/m^3 ）で構成される。また、ソフトな境界を持つエッジは円筒状ソフトエッジ（株式会社東京製鋼製：製品名 Softop）をモデルとする。

音響的にソフトな境界は Table 4.7 に示した 5 種類の長さを持つ 7 本の音響管を組み合わせで実現されている。これらの音響管の長さは 500Hz 以上で大きな騒音低減効果を得られるように設計されている [35]。

Table 4.7: Length of tubes of Softop.

Length of tube [mm]	90	160	260	340	430
---------------------	----	-----	-----	-----	-----

これらに加えて、同様にグラスウールと音響管の配列で構成される幅 1m の吸音性 T 型、ソフトな T 型を比較対象とする。吸音性 T 型エッジは薄い剛な横板のうえに厚さ 50mm のグラスウールを載せたものである。またソフトが T 型は図のように長さ 10mm から 570mm の音響管を持つ [36]。音響管の幅は 9mm で管壁は厚さ 1mm である。このサイズの音響管を幅 1m に 10 本配列する。

これらのエッジをトータルの高さ 3m の防音壁について数値解析を行い、遮音性能の評価値 ΔIL を算出する。ただし、吸音性エッジについては境界要素法の結合解法を用い、グラスウール内部の音場を含めた解析を行う。

4.4.2 遮音性能の比較

各受音点における広帯域挿入損失、平均挿入損失および ΔIL を Table 4.7 に示す。ここでは騒音スペクトルモデルとして ASJ Model を用いた。また、前節同様に評価値 ΔIL を基にして遮音性能比較の図表を作成し、Fig. 4.11 に示す。

Noise-reducer の評価値は 1.1dB、等価高さでは約 3.5m の直壁と同等の遮音性能を持つ。これに対して形状、大きさがほぼ同じの Softop は ΔIL : 2.4dB、等価高さ：約 4.5m であり、音響管によりソフトな境界を実現することで吸音性に比べ高い効果を持つことがここでも確認される。これらのエッジを取り付けることによる直壁に対する騒音効果は、一般に Noise-reducer で約 2dB、Softop で約 4dB とされる。ここで得られた評価値はこれらよりも小さな値であるが、これは防音壁背後 20m から 100m と広い領域における平均的な評価をしている為であり、これまでの評価を疑う性質のものではない。ここでは、このまま ΔIL に基づく評価を続ける。

吸音性 T 型エッジの効果は 2.4dB で Softop と同等の効果を持つ。ただし、円筒状の 2 つと

Table 4.8: Broad band insertion loss for tested barriers shown in Fig. 4.10 . The noise spectrum for the ASJ Model is used.

Barrier type	Broad band insertion loss [dB(A)] for each receiver positions						IL_{Mean}	ΔIL
	1	2	3	4	5	6		
Noise-reducer	18.8	17.4	15.3	17.2	18.2	17.1	17.3	1.1
Absorbing T	20.9	18.4	16.4	18.4	19.9	18.1	18.7	2.4
Softop	20.7	18.2	16.6	18.9	19.7	17.9	18.7	2.4
Soft T	23.3	20.6	18.9	21.2	21.7	20.2	21.0	4.7

IL_{Mean} is the arithmetic average of the broad band insertion loss at six receiver points.

ΔIL is change in mean insertion loss related to a 3m high plain barrier.

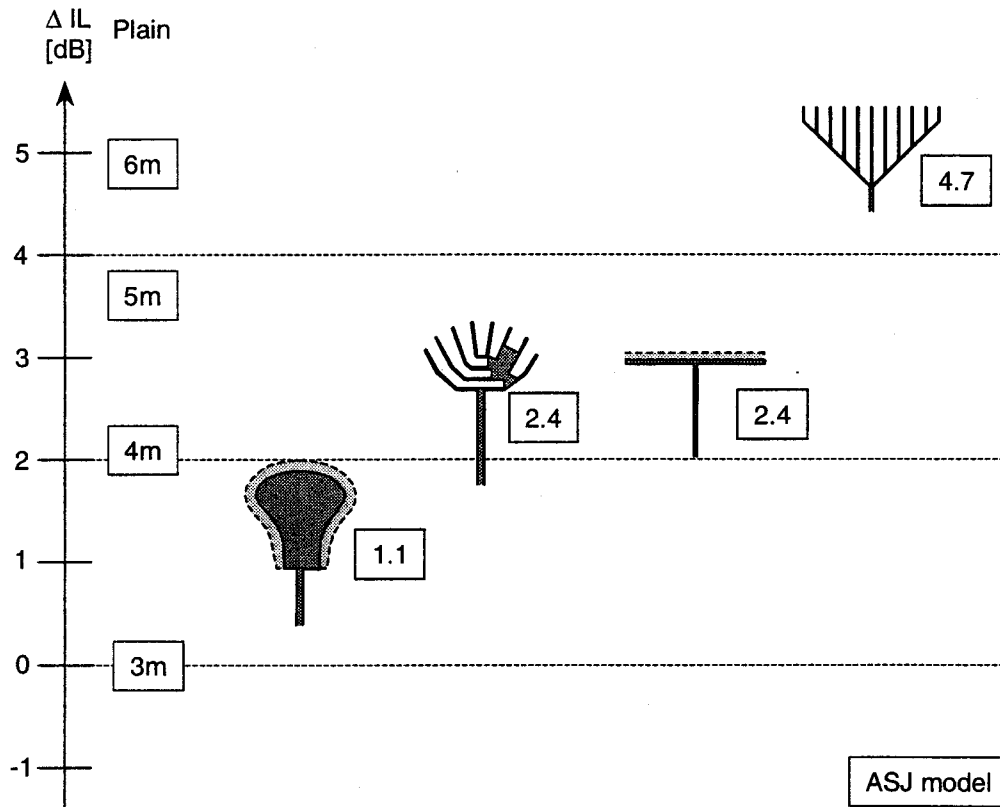


Fig. 4.11: Comparison of performance of barriers with devices shown in Fig. 4.10 for the ASJ noise source model. Barriers are presented with ΔIL , change in the mean insertion loss relative to a 3 m high plain barrier. Plain barriers of various height plotted in left-end column represent the equivalent height.

T型の2つではエッジの幅が異なるため、その評価値の差には形状の変化に加え、幅が増すことの影響が加わっている。この結果は、音響管を用いたソフトなエッジがほぼ2倍の幅を持つ吸音性エッジと同等の効果を持つと解釈することもできる。

ソフトなT型エッジは ΔIL で4.7dBと今回比較した中では最も効果が高い。等価高さでは約6mの直壁と同等の効果を持つ。

ここで、路面が排水性舗装時の効果をみるため、騒音スペクトルにASJ(PAP) Modelを用いた場合の評価値をTable 4.9に示す。これまでと同様に比較の図表を作成しFig. 4.12に示す。また、高さ3mの直壁に対する効果の1/3オクターブバンド周波数特性をFig. 4.13に示す。

先のASJ Modelに対する結果と比較すると、路面が排水性舗装の場合は特殊エッジの効果小さくなるのが分かる。評価値では0.5から0.8dB程低下している。ここで、Fig. 4.13をみるといずれの特殊エッジもその効果は500Hz以上の帯域で顕著に得られる。吸音性エッジには厚さ50mmのグラスウールを想定しており、Fig. 3.9に示したようにその吸音効果は500Hz付近から徐々に大きくなる。この為、Noise-reducer、吸音性T型の効果は低音域ではFig. 4.8に示した境界が剛である場合と似た傾向を示し、500Hz近傍を境として、吸音性エッジの特徴である周波数と共に大きくなる傾向を示す。また、Softopは元来500Hz近傍より徐々に効果が大きくなるように設計されている。Fig. 4.2で示したように排水性舗装路面による騒音低減効果が大きい帯域と特殊エッジの効果の大きい帯域は一致する。この為、この帯域では路面の効果により元々の騒音エネルギー成分が小さくなっている。このような帯域に大きな効果を持つ特殊エッジを用いても、騒音全体に対する効果はそれほど得られないことが分かる。広帯域騒音の制御ではスペクトルのピークを抑えることが重要であることはこれまでも述べてきた通りであり、騒音スペクトルにあった特殊エッジを設計することがこの結果によっても示されている。

ただし、それぞれのエッジの効果の相対的な関係はほとんど変わらない。この傾向は前節で理想的な境界条件を持つ特殊エッジに対してみられたものと同じである。

Table 4.9: Broad band insertion loss for tested barriers shown in Fig. 4.10 . The noise spectrum for the ASJ(PAP) Model is used.

Barrier type	Broad band insertion loss [dB(A)] for each receiver positions						IL_{Mean}	ΔIL
	1	2	3	4	5	6		
Noise-reducer	17.0	14.5	12.5	15.0	16.7	14.3	15.0	0.6
Absorbing T	18.7	15.3	13.4	15.7	17.9	15.0	16.0	1.6
Softop	18.6	15.2	13.6	16.5	17.7	15.0	16.1	1.7
Soft T	21.1	17.7	15.9	18.8	19.8	17.3	18.4	4.1

IL_{Mean} is the arithmetic average of the broad band insertion loss at six receiver points.

ΔIL is change in mean insertion loss related to a 3m high plain barrier.

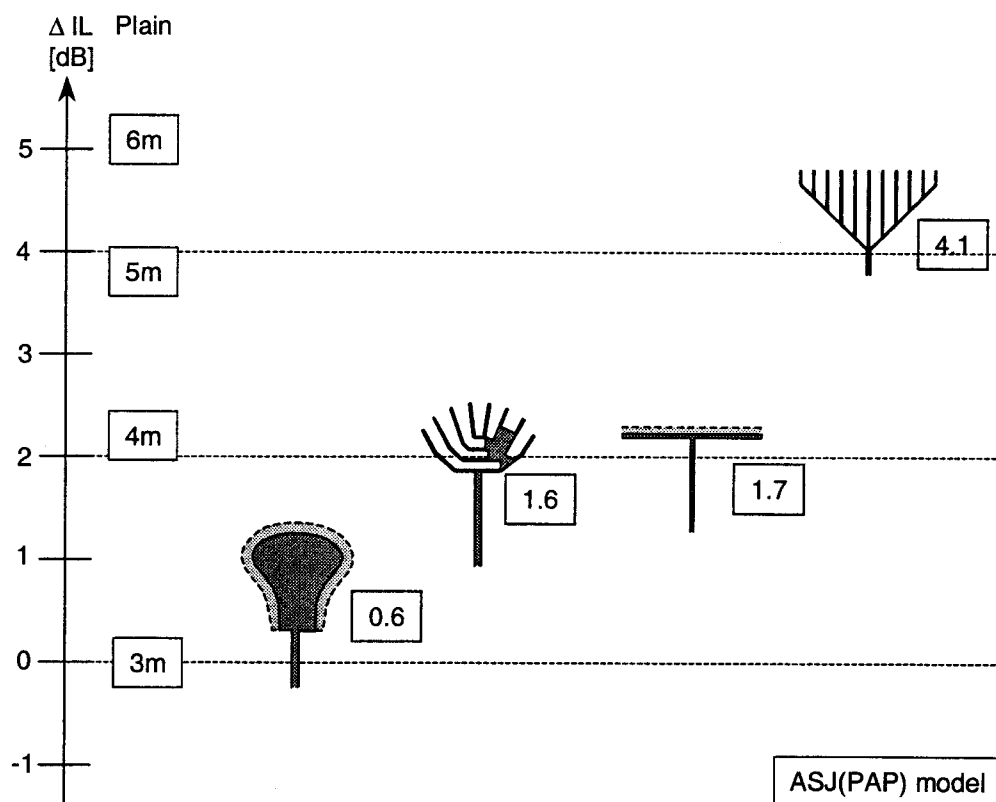


Fig. 4.12: Comparison of performance of barriers with devices shown in Fig. 4.10 for the ASJ(PAP) noise source model. Barriers are presented with ΔIL , change in the mean insertion loss relative to a 3 m high plain barrier. Plain barriers of various height plotted in left-end column represent the equivalent height.

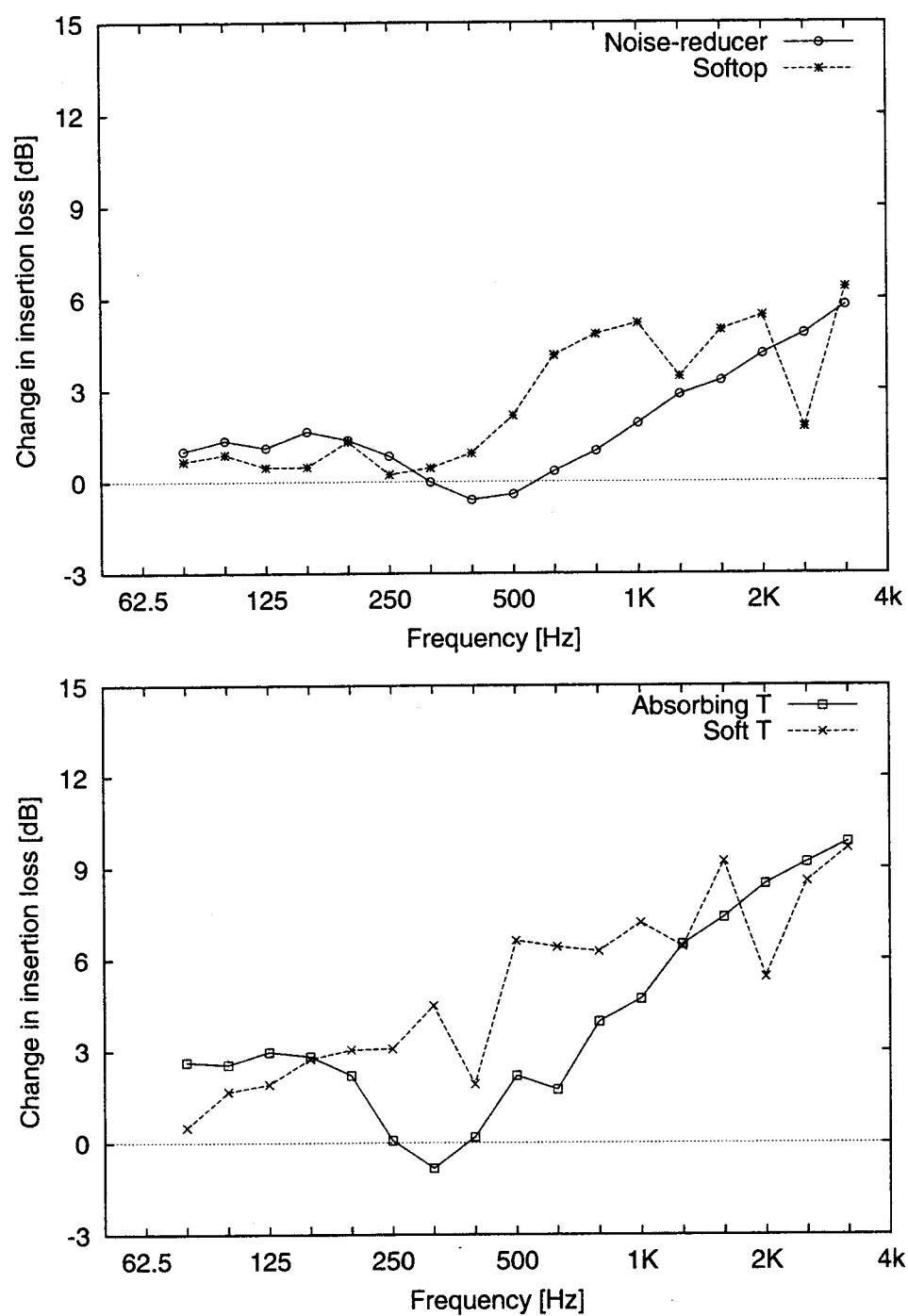


Fig. 4.13: Spectral efficiency for barriers with each edges shown in Fig. 4.10 . Results are presented in terms of the change insertion loss relative to the 3m high plain barrier.