

遮音壁先端プレートが遮音性能に及ぼす影響

Effect of a top plate of a noise barrier on sound shielding efficiency

比江島慎二*, 井保大志**

Shinji Hiejima, Taishi Iho

*工博, 岡山大学助教授, 環境理工学部環境デザイン工学科 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

**岡山大学大学院, 自然科学研究科環境システム学専攻 (〒700-8530 岡山市津島中 3-1-1)

Numerical simulations of the sound field around a noise barrier with a top plate are carried out in order to investigate the effect of the top plate on the sound shielding efficiency. It is found that the top plate can improve the sound shielding efficiency due to multiple diffraction effect. However, in some cases of top plate angles, the reflection and scattering on the upper surface of the top plate reduce the sound shielding efficiency for high frequency sound.

Key Words: noise barrier, top plate, boundary element method

キーワード: 遮音壁, 先端プレート, 境界要素法

1. はじめに

道路交通量の増加に伴って深刻化する騒音対策として遮音壁が広く用いられている。しかし、ますます増大しつづける道路交通量と大型車の増加により沿道の騒音はさらに上昇する傾向を見せており、より高い遮音性能を有する遮音壁が必要とされるようになってきた。遮音壁の遮音性能を高める最も簡単な方法は壁の高さを高くすることであるが、壁が高くなるほど道路構造自身に求められる強度、安全性、維持・管理などの面でコストが高くなる。また、日照障害、景観障害、電波障害などの2次の環境問題を引き起こすことも予想される。

そこで近年、遮音壁先端部の形状や材質を変化させることにより、壁の高さを変えずに高い遮音性能を発揮する遮音壁が注目されている。遮音壁先端部は回折音の“仮想的な音源”になることが知られており¹⁾、遮音壁先端部の改良によりこのような仮想的な音源を弱め、遮音壁背後に伝搬する回折音を低減するのがねらいである。こうした遮音壁は先端改良型遮音壁と呼ばれ、すでに様々なコンセプトにもとづくものが考案されており、その中には実用化され大きな効果を収めているものもある。

ところで、耐風工学の観点からすれば、遮音壁先端部は風の流れが剥離する部分であり、その断面形状は耐風安定性を考える上で重要である。しかしながら、先の先端改良型遮音壁の中には、耐風構造上好ましくない剥離渦の形成を促すような形状のものが多く見受けられ、遮音壁が設置された高架橋や遮音壁そのものの耐風安定性を著しく低下させる恐れがある。一方、耐風工学の分野では、遮音壁が設置された高架橋の耐風安定性を高める

方法の1つとして、遮音壁先端部に図-1のようなフェアリングプレートを設置するケースなどが検討されている²³⁾。しかしながら、遮音壁先端部に対するこのような耐風安定化対策が逆に本来の目的である遮音性を低下させてしまう可能性も考えられる。

われわれは遮音性・耐風安定性を考える上で重要な要素となる遮音壁先端部に着目し、遮音性・耐風安定性のいずれにも優れた先端改良型遮音壁の実現を目標として研究を進めている。その第一段階として、以前、図-1のようなフェアリングプレート付き遮音壁の遮音性能について解析⁴⁾、プレート両端での2回折を伴うケースにおける極めて高い遮音効果、プレート上面への吸音材設置による遮音性能の改善効果などを明らかにした。また、耐風安定性にとってフェアリングプレートの取り付け角度は特に重要であるが、遮音性に対してもプレート取り付け角度の影響は大きく、遮音性に効果のあるプレート取り付け角度は耐風安定性に効果のあるそれ²³⁾とは必ずしも一致しないことも明らかとなっている。プレート取り付け角度ごとに遮音メカニズムも異なっていると考えられるが、その詳細についてあまり明らかになっていない。

以前の解析⁴⁾では、図-1のフェアリングプレートの左右の張り出し部がそれぞれ複雑に遮音機構に関わっている可能性が示唆された。そこで本研究では、先端部にプレート構造を有する遮音壁の基本的な遮音性能や遮音機構をより明確にし、遮音性能の面においてより合理的なフェアリングプレート型遮音壁を開発するための基本的知見を得ることを目的として、構造的により単純な図-2

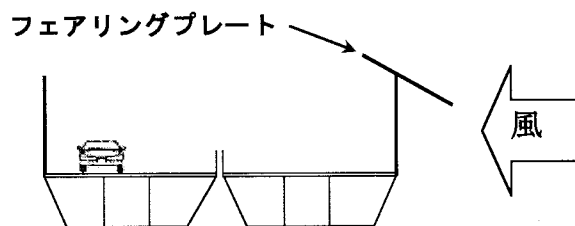


図-1 耐風安定化のためのフェアリングプレート²³⁾

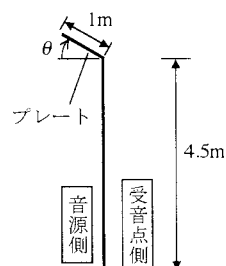


図-2 先端プレート付き遮音壁

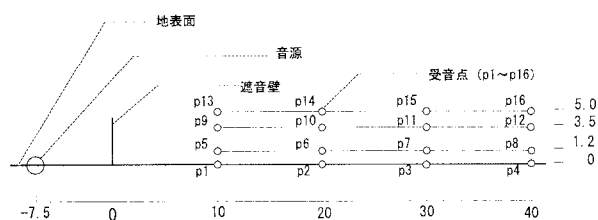


図-3 解析モデル

のような片側プレートだけのモデルを用いて検討した。

2. 音響伝搬解析の方法

遮音壁周辺の音響伝搬解析方法の詳細について以下に示す。なお、遮音効果の評価方法については、日本音響学会騒音・振動研究会が各種の先端改良型遮音壁の遮音効果の相互比較のために統一した解析条件のもとでコンペ²⁴⁾を行っており、本解析の解析条件等についてもこれを参考に設定している。

2.1 先端プレート付き遮音壁

以前の解析で対象としたフェアリングプレートは左右に1.0mと2.0mの張り出しを有していたが、今回解析対象とする片側プレートでは、このうち1.0mの方の張り出し部分だけを取り付けた形式とし、プレートが音源側に水平となる状態からの角度を θ とする（図-2）。なお、遮音壁の直壁部およびプレートの厚さは3cmに統一する。

2.2 解析モデル

音響解析ソフト SYSNOISE を用いた2次元境界要素

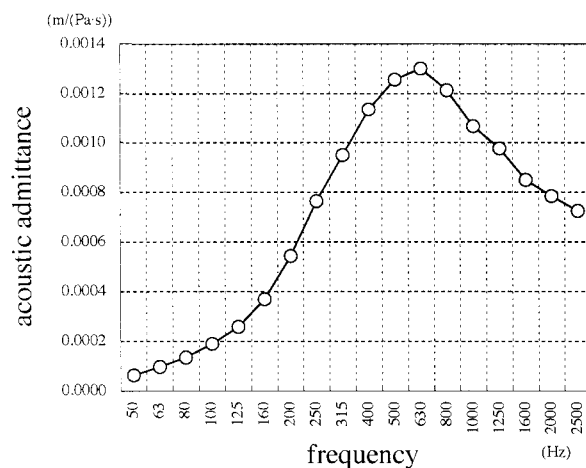


図-4 吸音材のアドミッタンス

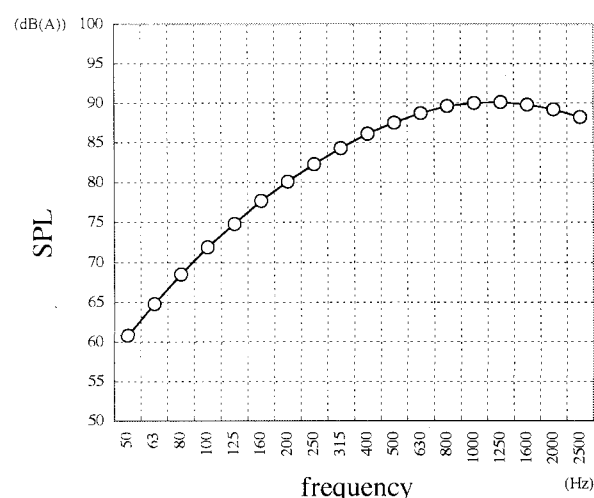


図-5 音源モデル

法により音源から遮音壁背後への音響伝搬解析を行った。地面上にプレート付き遮音壁を設置し、プレート取り付け角度 θ を様々に変化させながら、各角度での遮音性能に関する基本特性や遮音メカニズムについて検討する。その解析モデルを図-3に示す。水平方向（ x 方向）の原点を遮音壁断面の中心軸の位置、鉛直方向（ y 方向）の原点を地表面としたとき、 $x = -7.5\text{m}$ 、 $y = 0.0\text{m}$ に音源を置いている²⁵⁾。音源は線音源（2次元平面内で点音源）である。図中の受音点は音源から伝搬する音の大きさを評価する点でありP1からP16の16点とした²⁵⁾。

遮音壁表面の境界要素（線要素）分割において、要素長は解析対象とする音の一波長6分割以下が望ましいことから、本解析の最大解析周波数2500Hzの波長0.136mの20分割程度に設定した。

2.3 境界条件

解析では地表面を対称面とした上下対称条件を与えることにより、半自由空間で無限の剛な地表面（完全反射）を仮想的に表現した²⁵⁾。遮音壁表面も完全反射とする。

また、遮音壁表面の一部に吸音材を適用する解析では、

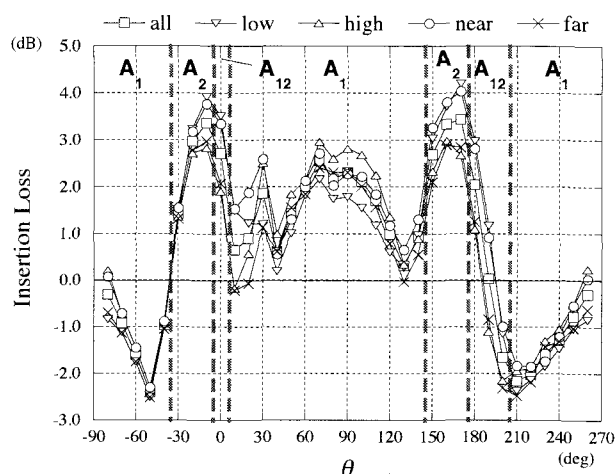


図-6 様々なプレート取り付け角度に対する挿入損失

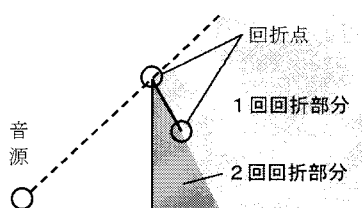


図-7 音源から受音点への経路上での回折回数为例

該当する表面部分に法線方向アドミタンスとして吸音条件を与える。アドミタンスはグラスウールまたはロックウール（厚さ 25～50mm）等の多孔質材料を使用し表面保護構造を有した実際の屋外用吸音構造の吸音率⁶⁾を参考にして実数値で与える。解析に用いた吸音材のアドミタンスの周波数特性を図-4に示す。

2.4 音源の周波数特性

日本音響学会道路騒音委員会の ASJ Model/1993 の代表スペクトルをベースとした音源⁹⁾を用いて、50Hz から 2500Hz (1/3 オクターブバンド中心周波数) の 18 バンドで解析する。自由空間で音源から 1.0m の地点におけるバンド音圧レベルが図-5に一致するような周波数特性 (A 特性補正バンド音圧レベル) を有する音源を設定した。

3. 解析結果と考察

3.1 様々なプレート角度での遮音効果

図-6はプレートの取り付け角度 θ を -80° から 260° まで 10° きざみに変化させ、挿入損失を解析した結果である。ここで挿入損失は、単純壁設置時に対する先端プレート取り付け時のオーバーオール音圧レベルの変化量として定義する。すなわち、先端部へのプレート取り付けによって単純壁のみの場合よりもどの程度遮音効果が増加したかを表す指標となる。図中には全受音点の平均値を all, $y=0.0, 1.2\text{m}$ の受音点だけの平均値を low, 同様に $y=3.5, 5.0\text{m}$ を high, $x=10, 20\text{m}$ を near, $x=30, 40\text{m}$ を far とし

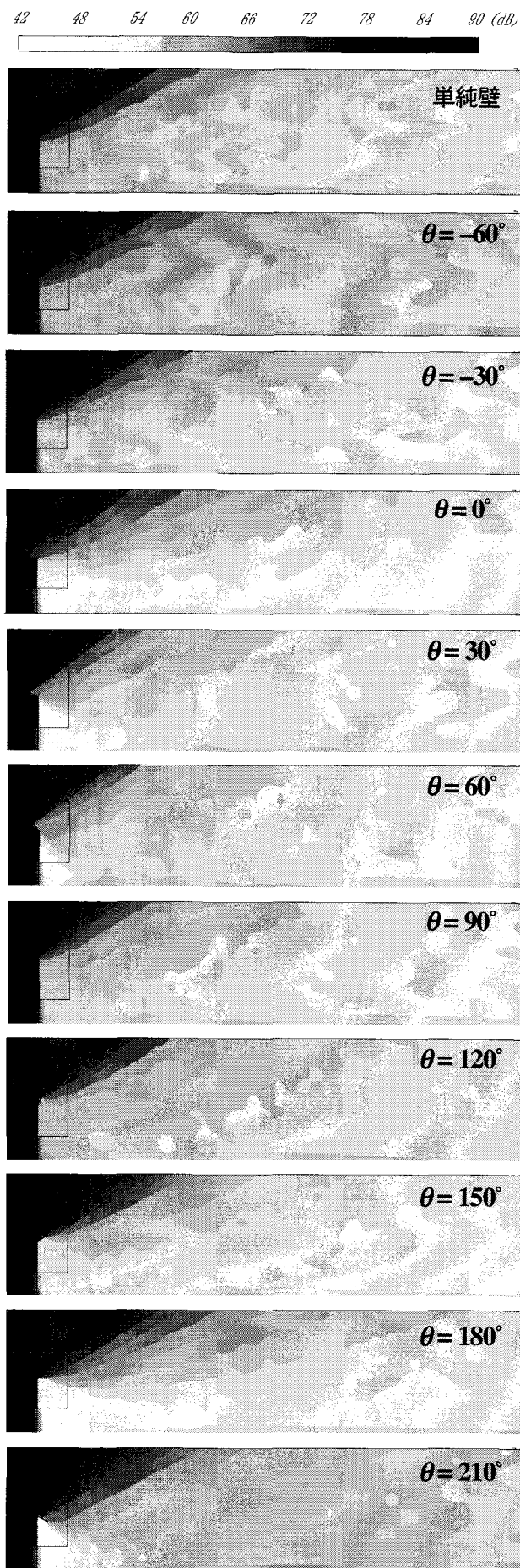
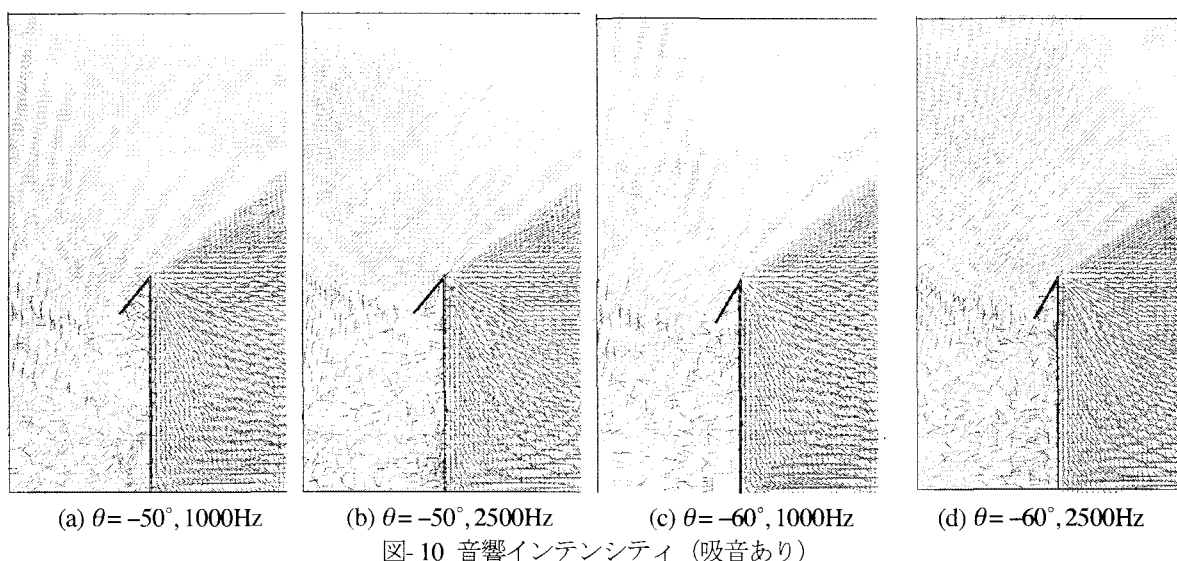
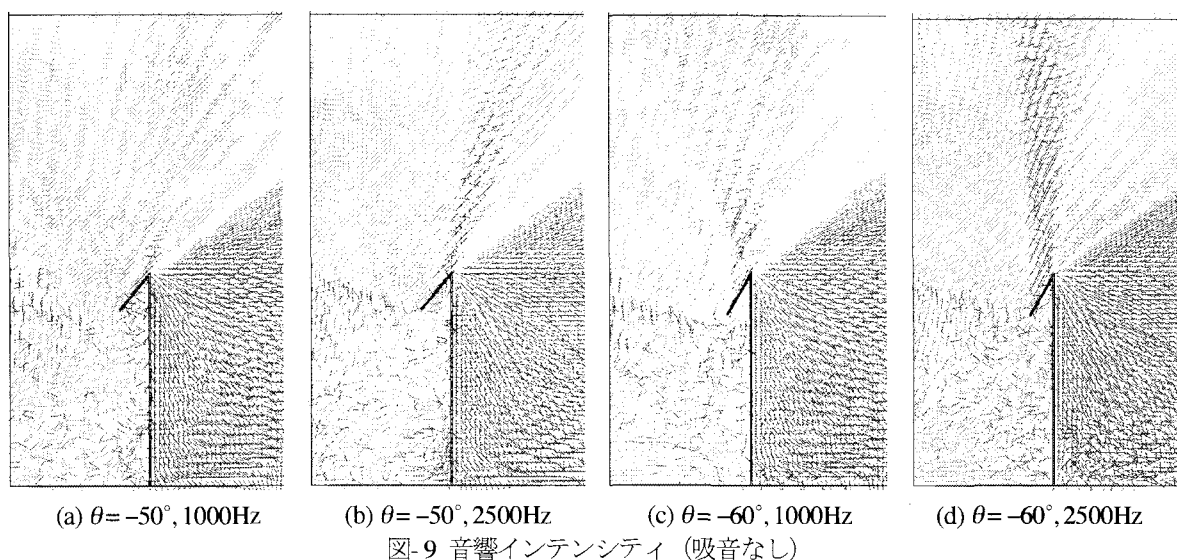


図-8 音圧レベル分布 (dB)



てそれぞれの挿入損失の平均値を示している。図中の A_1 , A_2 , A_{12} は音源から受音点に音が伝わる際の先端プレート部での音の回折回数 (例えば図-7) による区分を示しており, A_1 ($\theta = -80^\circ \sim -40^\circ, 10^\circ \sim 140^\circ, 210^\circ \sim 260^\circ$) に属する θ ではすべての受音点に対して1回の回折, A_2 ($\theta = -30^\circ \sim -10^\circ, 150^\circ \sim 170^\circ$) ではすべての受音点に対して2回の回折, A_{12} ($\theta = 0^\circ, 180^\circ \sim 200^\circ$) では受音点によって1回と2回の回折が混在する。また、図-8にはいくつかの θ における音圧レベル分布図 (オーバーオール値) を示している。

以前のフェアリングプレート付き遮音壁⁴⁾と同様、すべての受音点に対して2回回折となる A_2 の挿入損失が高くなっており、多重回折効果が遮音性能の向上に寄与しているのが分かる。同じ理由で、1回回折と2回回折の受音点が混在する A_{12} では2回回折となる受音点の数が多い θ ほど遮音効果が高くなる傾向が見られる。また、 A_1 の $\theta = 90^\circ$ 近傍で $\theta = 90^\circ$ に近づくほど遮音効果が高くなるのは、 $\theta = 90^\circ$ に近づくほどプレートを含めた遮音壁の全高が高くなるためである。

一方、 A_1 の $\theta = 210^\circ \sim 260^\circ$ および $-80^\circ \sim -40^\circ$ 付近では挿入損失が負となっており、単純壁の場合よりも遮音性能が低下している。このうち前者に属する $\theta = 210^\circ$ の音圧レベル分布を図-8で見ると、プレート直下領域の音圧レベルが低い分、受音点領域の音圧レベルが高くなっている様子がうかがえる。このことは、先端プレートがプレート直下領域への音の伝搬をさえぎるとともに、プレート上面で音を反射・散乱させることによって受音点領域に強い音響エネルギーを送り込んでいることを示唆する。 $\theta = 210^\circ \sim 260^\circ$ での遮音効果の低下はこのような先端プレートによる反射・散乱効果が原因と考えられる。また、後者の $\theta = -80^\circ \sim -40^\circ$ での遮音性能の低下については、図-8の $\theta = -60^\circ$ の音圧レベル分布を見る限りでは原因は明らかではない。

3.2 音響インテンシティ

$\theta = -80^\circ \sim -40^\circ$ での遮音性能の低下の原因を探るため、遮音壁周辺の音響インテンシティを解析した。図-9には $\theta = -50^\circ, -60^\circ$ のときの 1000Hz と 2500Hz の周波数成

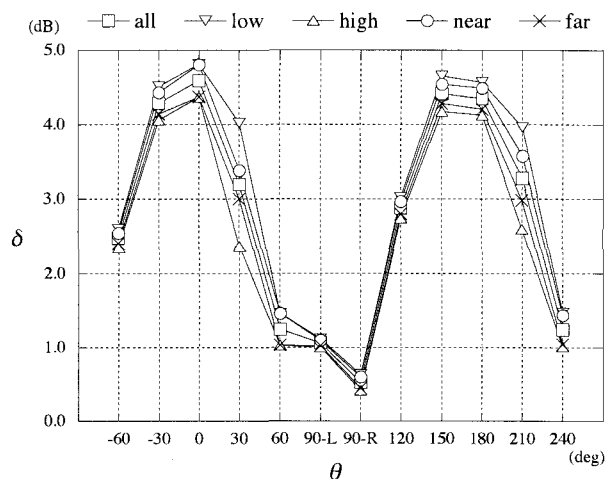


図-11 吸音材適用による挿入損失上昇値

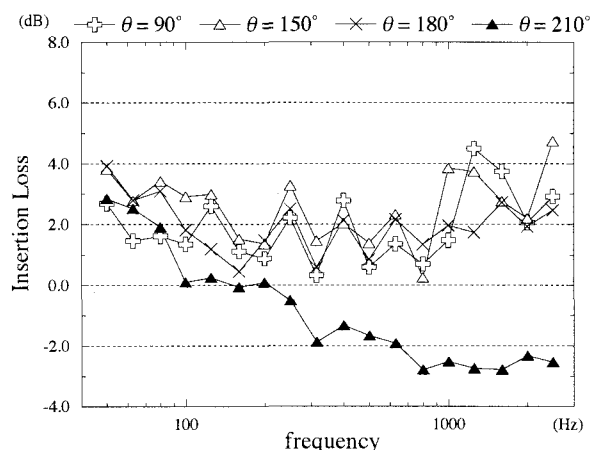
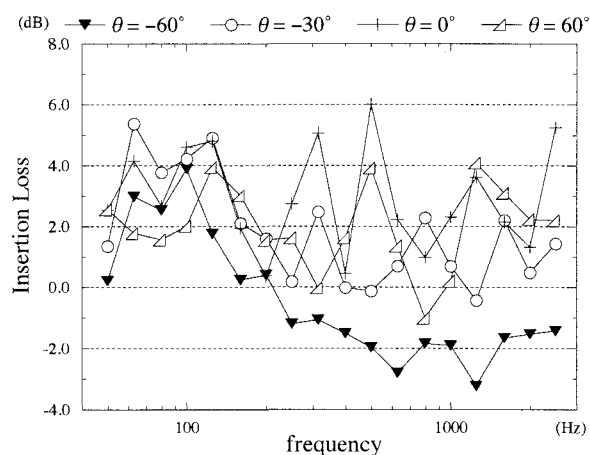


図-12 挿入損失の周波数特性

分の音響インテンシティを示している。いずれもプレート上方に音響インテンシティの強い縞状の領域が見られる。これは、縞の間隔が各周波数成分の波長にオーダー的に近いことなどから、プレート上面での反射音と音源からの直接音の干渉によるものと思われる。すなわち、干渉によって生じたこのような強い音響エネルギー（特にプレート上面右端付近の強い音響エネルギー）が受音点領域に強い影響を与え、遮音性能を低下させたと考えられる。なお、他の音響周波数成分やプレート取り付け

角度についても解析したが、このような強い干渉は630Hz以上の周波数域および音源からの直接音がプレート上面で反射する角度に相当する $\theta = -80^\circ \sim -40^\circ$ 付近でのみ発生する。なお、図-9において、遮音壁より右側（受音点側）の色の濃い領域は音響インテンシティが強いことを示すわけではなく、プレート上方の干渉による縞状領域が認識しやすいように色の濃淡を調整したため、本来は音響インテンシティが弱いはずの右側領域が濃い色になってしまったのが原因である（図-10も同様）。

次に、プレート上面全体に吸音材を適用したときの音響インテンシティを図-10に示す。吸音材適用によりプレート上方の強い音響インテンシティの領域が消滅しており、吸音材によりプレート上面での反射が抑制され、直接音との強い干渉が抑えられていることが分かる。吸音材適用前に対する吸音材適用後の挿入損失（オーバーオール値）の上昇値 δ を図-11で見ると、 $\theta = -60^\circ$ では $\delta = 2.5\text{dB}$ 程度となっており、吸音材がない状態ではプレート上面での反射による干渉が受音点側へ悪影響を与えていることを裏づける。また、前述の $\theta = 210^\circ$ 付近も挿入損失の上昇がみられ、やはりプレート上面での反射・散乱が遮音性能低下の原因となっていることを裏付ける。図-11にはその他の角度において吸音材を適用した結果も示してあるが、プレートが水平（ $\theta = 0^\circ, 180^\circ$ ）に近いほど δ が大きく、プレートが鉛直（ $\theta = 90^\circ, L$ と R はそれぞれ吸音材をプレート左面（音源側）、右面（受音点側）に適用したことを示す）に近いほど δ が小さくなる傾向が見られることから、プレートが水平に近いほど吸音材の効果が現れやすいと言える。

3.3 挿入損失の周波数特性

音響周波数ごとに挿入損失を解析し、全受音点で平均した結果を図-12に示す。いずれの取り付け角度 θ の場合も100～200 Hz付近以下の低い周波数域の音に対して高い遮音性能を有している。一方、 $\theta = -60^\circ$ と 210° 以外はそれ以上の高周波数域でも高い効果を維持できるものの、 $\theta = -60^\circ$ と 210° の場合は200Hz以上で挿入損失が負となり、高周波数ほど挿入損失が低下する傾向が見られる。200Hz付近の音の波長は先端プレート長さの2倍程度に相当しており、それよりも高い周波数域の音はプレート上面で反射・散乱されやすいと考えられ、図-6の $\theta = 210^\circ \sim 260^\circ, -80^\circ \sim -40^\circ$ 付近で見られた反射・散乱に起因する遮音性能の低下はいずれもこのような高周波数成分が原因であると考えられる。

4. まとめ

遮音壁先端部に取り付けたプレートが遮音性能や遮音機構に与える影響、特にプレート取り付け角度の影響について音響伝搬解析を行った。その結果、以下の知見が得られた。

(1) プレート取り付け角度により遮音性能は大きく変

化し、特にプレート部で2回回折を伴う取り付け角度での遮音性能が高い(多重回折効果)。また、プレート部分を含めた遮音壁の全高が高くなるほど、遮音性能も高くなる傾向が見られた。

(2) プレート下方への音の伝搬がプレート自身により遮られ、プレート上面が受音点方向に向いた取り付け角度では、プレート上面で反射・散乱された音が受音点領域に強く伝搬するため、受音点領域での遮音効果が低下する。

(3) 音源からの直接音がプレート上面で反射するようなプレート取り付け角度では、プレート上面での反射音と音源からの直接音の干渉により、プレート上端付近で強い音響インテンシティの領域が発生する。これらの強い音響エネルギーが受音点領域に伝搬し、遮音効果を低下させる原因となっている。

(4) 上記のようにプレート上面での反射・散乱に起因して遮音性能が低下する場合、プレート寸法に比べて波長が小さく反射・散乱されやすい高周波数成分が遮音性能低下の原因となっている。一方、100～200Hz程度以下の低周波数成分に対しては、いずれの取り付け角度でも遮音効果が向上した。

(5) プレート取り付け角度が水平に近いほど、プレート上面へ設置した吸音材の効果が現れやすい。

謝辞

本研究の一部は、平成14年度文部省科学研究費補助金(若手研究(B) No.14750404)および(財)ウエスコ学術振興財団学術研究費助成により行われたことを付記し、ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 大久保朝直, 藤原恭司: ソフトな円筒エッジを持つ防音壁の遮音性能, 日本音響学会誌, 52巻12号, pp.957-966, 1996.
- 2) 島賢治, 久保喜延, 木村吉郎, 加藤九州男, 古賀淳典, 中村康輝: 単径間弾性模型を用いた防音壁付並列箱桁橋の空力的制振対策の検討, 土木学会第56回年次学術講演会概要集, pp.678-679, 2001.
- 3) 木村吉郎, 中村康輝, 島賢治, 久保喜延, 古賀淳典: 全橋模型を用いた防音壁付並列箱桁高架橋の制振対策の検討, 土木学会第56回年次学術講演会概要集, pp.680-681, 2001.
- 4) 比江島慎二, 平川陽介: フェアリングプレート付き遮音壁の遮音性能の検討, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, pp. -, 2003
- 5) 山本貢平: 新型遮音壁の現状とコンベの方法について, 日本音響学会騒音・振動研究会資料 N-97-31, pp.1-18, 1997.
- 6) (社)日本音響材料協会編: 騒音・振動対策ハンドブック, 第2編第4章, 1998.

(2003年9月12日受付)