特集2・環境に配慮した道路づくり

道路交通騒音の対策技術

近藤 升・木村 健治・上坂 克巳*

1. はじめに

わが国は、幹線道路の周囲に住居が密集しているため、道路交通騒音対策は緊急の課題となっている。道路交通騒音対策を大別すると、主に発生源対策、騒音伝搬時の対策および受音側対策の3種類があるが、その中で道路管理者または道路事業者として直接的に実施できるのは、発生源対策と騒音伝搬時の対策である。

道路側が実施できる発生源対策としては、低騒音舗装がある。また、騒音伝搬時の対策としては遮音壁などがある。発生源対策である低騒音舗装はタイヤと路面の接触によって発生する騒音、いわゆるタイヤ／路面音を抑制する。一方、遮音壁は主に伝搬する騒音を遮蔽することにより騒音を低減する。ここでは、現在新しい騒音対策技術として注目されている低騒音舗装と新型遮音壁について最近の技術を紹介する。

2. 低騒音舗装

低騒音舗装という言葉の定義は今のところ確立していないが、本稿でいう低騒音舗装とは、最も一般的な舗装である密粒舗装に対して騒音低減効果があるものとする。

道路交通騒音の発生要因¹⁾は、主にエンジン音や吸排気系騒音からなる駆動機関音と、エアポンピング音やタイヤ加振音からなるタイヤ／路面音である。中でも低騒音舗装は主にタイヤ／路面音に対して騒音低減効果大きい。

排水性舗装のように舗装体内に空隙を有する低騒音舗装は、“タイヤと路面の間に挟まれる空気の圧縮、膨張により生じるエアポンピング音”を舗装体内の空隙の中に空気が抜けることによって低減でき

る。さらに、空隙はタイヤ／路面音と駆動機関音が路面と車体下面の間で多重反射する時や、受音点までの伝搬時に騒音を吸音する効果もある。一方、多孔質弾性舗装のように空隙と弾性を有する低騒音舗装は、空隙による効果に加えて弾性により“路面からの衝撃によるタイヤ加振音”を低減できる。また、舗装表面の平滑性を高めることも、タイヤ加振音を低減することを可能とする。

したがって、低騒音舗装の騒音低減効果は、自動車騒音に占めるタイヤ／路面音の寄与が大きいほど大きくなるため、走行速度の大きい方が効果は大きく、また大型車に比べタイヤ／路面音の寄与の大きい乗用車はより効果が大きくなる。

現在、さまざまな低騒音舗装が開発されているが、ここでは現在急速に普及している排水性舗装、次世代の低騒音舗装として期待されている試験施工段階の二層式排水性舗装、開発中の多孔質弾性舗装について記述する。

2.1 排水性舗装

排水性舗装は当初、雨天時の安全性を高める舗装として開発されたものだが、排水のための空隙が騒音を低減する機能もあることが知られ、現在では騒音対策を目的に敷設される例が増えている。施工直後から1年以内程度の初期の騒音低減効果は、日本音響学会のASJ Model 1998²⁾で示されている(図-1参照)。なお、この騒音低減効果は路側で測定した密粒舗装と排水性舗装の差をパワーレベルでの騒音低減効果としているため、排水性舗装が持つ発生源での効果と観測点近傍での騒音伝搬時の効果の両者を騒音発生源での効果として取り扱っている。

排水性舗装の最大の課題は、その騒音低減効果が経年とともに低下していくことである。図-2³⁾は、

*建設省土木研究所交通環境研究室 Noboru KONDO, Kenji KIMURA, Katsumi KAMISAKA

図-1 排水性舗装の騒音低減効果

図-2 排水性舗装のパワーレベルの経年変化

全国の排水性舗装敷設箇所と同じ試験車を用いてパワーレベルを調査し、その結果を大型車累積交通量(万台/車線)を指標として整理したものである。この結果から、パワーレベルの上昇の程度は施工直後に大きく、その後は徐々に緩やかになっていくと思われる。なお、経過月数でも累積交通量でも図-2同様に対数的な変化であった。

排水性舗装の今後の課題としては、騒音低減効果の低下の主要因が空隙の閉塞によるものなのか、または路面テクスチャーの変化によるものなのかを把握することである。主要因がわかれば、機能回復手法も確立できると思われる。

また、特殊タイヤを装着した騒音測定車(RAC車)のタイヤ近接音(特殊タイヤ音)で排水性舗装の性能を評価する性能規定発注が最近行われている。特殊タイヤとは、排水性舗装が密粒舗装に比べ

最も低減できる1 kHz当たりの周波数域を増幅する特殊なトレッドパターンのタイヤである。平成11年度に実施された例では、特殊タイヤ音で施工完了時に89 dB、1年後に90 dBの値を規定し、これらを越えた場合、施工者は排水性舗装の騒音低減機能の回復措置をとらなければならないとされている。現在、この特殊タイヤ音から道路交通騒音まで予測する方法が検討されている。

2.2 二層式排水性舗装

二層式排水性舗装とは、通常4～5 cm厚の表層を仕様の違う排水性舗装で上層、下層に分けたものである(写真1参照)。その目的は、従来の排水性舗装より初期の騒音低減効果を向上させることと、それにより効果の持続性を高めることである。

通常の排水性舗装は6号砕石(5～13 mm)を用いたものが一般的だが、より小さい粒径の骨材を使用すれば舗装表面の平滑性を高め、タイヤ加振音を低減し騒音低減効果を向上できる^{3,4)}。しかし、骨材粒径が小さくなると流動しやすくなり耐久性が低下するため表層を二層とし、上層に小さい粒径の骨材を、下層に

大きい粒径の骨材を使用することで騒音低減効果の向上と対流動性の確保を可能とした排水性舗装である。

前年度施工された例では、同時に施工された通常の排水性舗装より2～3 dB騒音低減効果が大きいことが確認された⁵⁾。このように初期の騒音低減効果が大きいため、その持続性についても期待できる。また、騒音低減効果の低下の程度についても上層の空隙が細いため、閉塞物は詰まりにくいことと、骨材の飛散が起きない限り平滑性は通常の排水性舗装よりよいため効果の低下の程度は小さいと思われる。

二層式排水性舗装の今後の課題は、上層、下層それぞれの厚さ、空隙率、骨材粒径と多様な構造が考えられるため、騒音低減効果と耐久性の面から最も適切な構造を検討する必要がある。また、騒音低減

写真1 二層式排水性舗装のコア

写真2 多孔質弾性舗装の成型品とゴム粒子

効果の持続性と耐久性についても調査する必要がある。

2.3 多孔質弾性舗装

多孔質弾性舗装は、廃タイヤを細断し繊維状または粒状にしたゴム粒子をウレタン樹脂で固めたもの（写真2参照）で、空隙と弾性を有する舗装である⁶⁾。大きくは工場で版状に成型し、半たわみ性の基層に張り付けるプレキャスト型と、現場でゴム粒子とウレタン樹脂を練り混ぜたものを基層に敷き均す現場施工型の2種類がある。

多孔質弾性舗装の騒音低減効果は、土木研究所の試験走路に敷設した連続空隙率35%、厚さ3cmで繊維状のゴム粒子で作られたプレキャスト型の場合、日本音響学会 ASJ Model 1998で示された密粒舗装のパワーレベル式の計算結果に対して乗用車で約12dB、大型車で約8dBの騒音低減効果が認められた（図-3参照）。

耐久性についても、スパイクラベリング試験と舗装走行実験場の荷重車走行実験では摩耗はほとんどみられなかった。一方、基層との接着力と湿潤時すべり摩擦係数が走行安全性の面から課題となっていた。現在では、基層との接着力については、接着剤を変更することで十分な接着力を確保している。また、湿潤時すべり摩擦係数については、砂等の添加物の使用等により通常舗装と同程度まで改善された。

今後は、実用化のために走行安全性・耐久性・騒音低減効果の持続性の確認、舗装としての評価方法・評価基準の作成、養生を含めた施工時間の短縮、経済性の向上を検討していく必要がある。

図-3 多孔質弾性舗装の騒音低減効果

3. 新型遮音壁

道路交通騒音の対策技術として代表的なものに遮音壁がある。わが国では、道路交通騒音対策用の遮音壁は、昭和38年に名神高速道路において初めて設置された。このとき設置された遮音壁はコンクリート製であり「遮音機能」のみを持ち合わせたものであった。その後、遮音壁による反射音の影響を軽減するために、グラスウール等の吸音材を内包した遮音壁が開発された。ここに遮音壁は遮音機能に加え「吸音機能」も備えることになる。日本道路公団では昭和51年に吸音性遮音壁を規格化し、以降20年以上にわたり吸音性遮音壁は騒音対策の主役を務めてきた。

しかし騒音問題の深刻化とともに、より騒音低減効果の高い遮音壁や、沿道利用のさかんな都市部にも設置できる遮音壁へのニーズが高まってきた。このようなニーズを満たす新しいタイプの遮音壁を新

図-4 音響管式遮音壁⁷⁾

型遮音壁と呼んでいるが、近年、この分野の研究・開発がさかんになっている。

ここでは新型遮音壁のうち、①先端改良型遮音壁、②アクティブソフトエッジ（ASE）遮音壁、③低層遮音壁について紹介する。

3.1 先端改良型遮音壁

先端改良型遮音壁は、遮音壁の先端部分を工夫することにより、従来型遮音壁と同じ高さで、より大きな減音効果を得るものである。これは、遮音壁の上を回り込んで伝搬（回折）する音エネルギーの多くはその先端付近を通過するというに着目し、この回折音を減らす工夫を施したものである。

この遮音壁では、高さを低くできるため日照障害、電波障害の緩和や風荷重の軽減を図ることができる。特に、高架道路にすでに遮音壁が設置されている場合など、道路構造上、遮音壁の高上げが困難な場合には特に有効である。

なお先端改良型遮音壁は、次の2つのタイプに大きく分類することができる。

①先端に吸音体を取り付けた遮音壁

吸音体を用いて先端付近の音圧を下げることで、回折音の減衰量を高めた遮音壁である。近年、自動車専用道路を中心に広く普及している。

②先端に突起を取り付けた遮音壁

先端に突起を取り付けることで、回折音の減衰量を高めた遮音壁である。

この2つを比べると、一般的に②のタイプの遮音壁の騒音低減効果が大きい。ここでは②のタイプの遮音壁の中で、特に研究が進んでいる音響管式遮音壁とトナカイ分岐型遮音壁について紹介する。

3.1.1 音響管式遮音壁

この遮音壁は、音の干渉の効果により先端付近の音圧を0にすることで道路交通騒音を低減させると考えられている（図-4参照）。

図-5に示す配置で行った音響管式遮音壁の試験

図-5 減音効果測定時の位置関係⁷⁾

注) 遮音壁の高さは3mであるが、土台のH鋼の高さが0.25mあるため3.25mとなっている

図-6 トナカイ分岐型遮音壁⁸⁾

結果⁷⁾によると、同じ高さ（3m）の従来型遮音壁（日本道路公団仕様金属製遮音板）に比べ、遮音壁からの距離が5mおよび10m、地上高さが0mおよび1.2mの受音点において、平均で3.6dB程度道路交通騒音を低減させる効果があることが確認されている。

3.1.2 トナカイ分岐型遮音壁

トナカイ分岐型遮音壁は、その断面形状がトナカイの角に似ていることから、このような名前が付けられている。この遮音壁は、多重回折と音波の干渉の効果で道路交通騒音を低減すると考えられている（図-6参照）。

図-5に示す配置で行ったトナカイ分岐型遮音壁の試験結果⁸⁾（ただし、左の列には従来型遮音壁を設置）によると、同じ高さ（3m）の従来型遮音壁に比べ、遮音壁からの距離が5mおよび10m、地上高さが0mおよび1.2mの受音点において、平均で6dB以上の騒音低減効果があることが確認されている。

なお図-5と図-6の減音効果の測定方法は、厳密には同一ではないため、その減音効果は単純には比較できない。また今後、実際の道路において、その効果を確認していく必要がある。

図-7 ASE遮音壁の構成⁹⁾

3.2 アクティブソフトエッジ (ASE) 遮音壁

アクティブソフトエッジ (ASE) 遮音壁は先端改良型遮音壁の一種で、自ら音を発生し道路交通騒音を低減する機能を持つ。

低騒音舗装や通常の遮音壁は、630Hz以上の高い周波数域の音に対して騒音低減効果を発揮するが、630Hz以下の低い周波数域の音に対してはあまり効果を発揮しない。しかしASE遮音壁は、このような対策の難しい低い音に対しても有効である。このため、低騒音舗装などと組み合わせることで、幅広い周波数域の音を低減することができる。

この遮音壁には、図-7のようにASEセルが複数設置されている。このASEセルでは、feedback制御付きのアクティブノイズコントロール (ANC) 技術により、音響的にソフト (音圧0を意味する) な境界を作り出している⁹⁾。

建設省土木研究所の試験走路において行われた試験結果によると、固定音源および移動音源の双方について従来型遮音壁を2～6dB上回る減音効果 (50Hz～8Hzのオーバーオール値) が確認されている。

3.3 低層遮音壁

低層遮音壁とは、都市内の一般道路に設置される高さ1～1.5m程度の低い遮音壁のことで、パネルタイプと植栽柵を兼ねた奥行きを有するタイプに大別できる (写真3参照)。この遮音壁は、開口部から沿道への出入りが可能で、景観にも配慮した設計を行うことができる。

低層遮音壁の開口部の背後およびその近辺では、騒音レベルが複雑に変化する。このため、各地点における等価騒音レベルだけで減音効果を予測・評価することは困難である。そこで評価指標として、区間平均等価騒音レベルおよび区間平均挿入損失が提案されている¹⁰⁾。

ここで区間平均等価騒音レベルは、低層遮音壁の設置区間全体における平均的な騒音レベルをいう。また区間平均挿入損失は、低層遮音壁設置前後の区間平均等価騒音レベルの差を示す。

低層遮音壁の区間平均挿入損失は、高さ1m、設置延長が100m、開口率が30%、また音源位置が地面上で低層遮音壁の車道側壁面から4m、受音点が壁面の後方5m、高さ1.4mにそれぞれ設置されている条件では約3dB程度となる。

設計に当たっては、騒音の防止とともに良好な都市空間、歩行空間の形成が重視される¹¹⁾。景観設計においては、低層遮音壁は通常の遮音壁ほど高い挿入損失が要求されないため、幅広い材料またはデザインの選択が可能となる。例えば低層遮音壁の材料として木材を使ったり、低層遮音壁の形状を徐々に変化させたりすることで遮音壁という無機質なイメージをなくし、親しみやすい道路環境を演出することができる。

また、沿道の地域特性に応じた街並みを演出するような低層遮音壁の形状、材質、表面処理、植栽を検討することも重要である。図-8に沿道の地域特性に応じた街並みの設計例を示す。

4. おわりに

本稿では、道路交通騒音を低減させるための技術として、特に低騒音舗装と新型遮音壁に関するものを紹介した。これらの技術を活用することで、今まで以上に有効な騒音対策を行うことが可能となる。

しかし、これらの技術を用いても対策が難しい箇所も存在する。例えば交差点部では、タイヤ/路面音よりも駆動機関音の方が卓越するため、低層音舗装による対策が難しい。また、低層遮音壁を設置し

写真3 低層遮音壁

図-8 住居系地域における低層遮音壁の整備例¹¹⁾

でも開口部が大きくなるため、必要な減音効果を得るのが難しい。このような箇所では、道路事業者の負担により建物の防音工事を行うことも考えられる。

低層音舗装や騒音伝搬時は騒音対策として有効であるが、おのずと限界がある。このため、騒音の発生源対策、騒音伝搬時の対策および受音側対策をうまく組み合わせて、効果的な騒音対策を行う必要がある。

参考文献

- 1) 低騒音舗装研究会：低騒音舗装の概説，(財)建設物価調査会，(1996)
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，Vol.55, No.4, p.303, (1999)
- 3) 明嵐，仲柴，長谷部：“排水性舗装の騒音低減効果の改善に関する研究，交通工学第30巻5号，pp.23-32, (1995)
- 4) Sandberg, U : Low noise road surfaces-A state-of-the-art review, J. Acoust. Soc. Jpn. (E) 20, 1, (1999)
- 5) 近藤，大西，服部，石川，中埜：二層式排水性舗装の騒音低減効果について，日本音響学会講演論文集，pp.607-608, (2000)
- 6) 小林，近藤，佐々木，池原，安藤，久保：多孔質弾性舗装の開発，土木技術資料Vol.41, No.5, pp.38-43, (1999)
- 7) 藤原，尾本，鳥原，大久保，金：ソフトな円筒状エッジを持つ実物大防音壁の遮音性能 帯域雑音測定とインパルス応答測定による結果の比較，日本音響学会 騒音・振動研究会資料，N-99-48, (1999)
- 8) 騒音低減効果の高い遮音壁 トナカイ分岐型遮音壁 橋梁部・土工部タイプ，民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規定に基づく土木系材料技術・技術審査証明報告書(技審証 第1106号)，土木研究センター(2000)
- 9) 上坂，大西博文，鉢嶺，大西慶三，西村：アクティブソフトエッジ遮音壁の開発ー固定音源及び移動音源に対する屋外実験結果ー，騒音制御学会講演論文集(1999年9月)，pp.113-116
- 10) 上坂，大西，鉢嶺，千葉，高木：低層遮音壁による減音効果の予測評価に関する研究，土木学会環境工学研究論文集，第34巻，(1997)，pp.307～317
- 11) 上坂，大西，木村，鉢嶺：低層遮音壁の設計方法に関する研究，土木研究所資料第3705号(2000，3)

行事案内

エコプロダクツ2000

私達の「豊かな社会」を支えてきた大量生産・大量消費・大量廃棄の経済社会システムは環境に深刻な影響を与えてきた。地球環境への負荷を最小化することが21世紀にむけた日本の大きな課題であり、政府もリサイクル関連6法をいっしょに成立させ、制度や法的枠組みを急速に整備している。

本展示会は環境に対する負荷を低減した製品・サービス＝「エコプロダクツ」を、企業や自治体など大口の需要家から一般生活者までに広く紹介し、その普及と市場拡大をはかることを目的に、昨年に引き続き開催するものである。

会 期：2000年12月14日(木)～16日(土)

会 場：東京国際展示場(東京ビッグサイト)

入場料：無料

主 催：(社)産業環境管理協会，日本経済新聞社

後 援：通産省，新エネルギー・産業技術総合開発機構，厚生省，農林水産省，運輸省，他

出展規模：250社/団体

内 容：エコプロダクツ展示，シンポジウム(申込制)，ブックフェア，体験コーナー，NGO紹介等

問い合わせ先：「エコプロダクツ2000」広報事務局
〒104-8158 東京都中央区銀座7-2-22 同和ビル7F
共同PR(株)内(担当：安田，津津木)
TEL 03-3571-5171 FAX 03-3574-9364