

論文 緑化機能を有するポーラスコンクリートパネルの騒音低減性状

三浦 功^{*1}・中澤 隆雄^{*2}・今井 富士夫^{*2}・張 日紅^{*3}

要旨: 肥効成分として杉の樹皮を焼却した EP 灰を混入した POC パネルに植生基材を吹きつけた実物大防音壁の騒音低減効果について実験的に検討した。吸音面積率に相当する騒音低減面積率を提案し、騒音低減効果の評価を行った。その結果、緑化型 POC は通常型 POC と比較して高い騒音低減性があり、特に 1000~2000Hz の高周波数領域の騒音低減に効果が認められた。また、NRC を参考に提案した騒音レベル低減係数および騒音低減面積率より、音源を緑化面側に設置した場合、POC 面側に設置した場合よりも高い騒音低減効果があることが明らかとなった。

キーワード: 緑化型 POC パネル, 等価騒音レベル, 騒音低減面積率, 騒音レベル低減係数

1. はじめに

ポーラスコンクリート（以下、POC）は、多孔性ゆえに優れた機能を有しており、種々の研究がなされている。その機能の 1 つである吸音機能に関する研究も数多く行われている^{1)~5)}。著者らもこれまでに、道路交通騒音の低減が可能な POC の開発を目的として、インピーダンス管による垂直入射吸音率に及ぼす各種要因の影響や POC パネルの等価騒音レベルの低減効果に関する実験的な研究などを行ってきた^{6)~10)}。

近年では、環境と調和し、美観的にも好ましい緑化促進機能を有する POC が望まれている。本論では、肥効成分としてのカリウム成分を含有する杉の樹皮焼却 EP 灰を混入した実物大の緑化型 POC パネルを作製し、騒音低減効果を検討した。

2. 実験概要

2.1 POC からの肥効成分の溶出状況の検討

騒音低減効果の確認実験に先立ち、杉の樹皮焼却 EP 灰を混入した POC からの肥効成分としてのカリウムの溶出状況を検討した。なお、カリウムの溶出濃度は、工場排水試験方法(JIS K 0102)¹¹⁾ に準じ、フレーム原子吸光度計（偏光ゼーマン原子吸光度計）を用いて測定した。

表 1 に示す配合にて 0.1m×0.1m×0.4m の供試体を作製した。なお、表 1 中の PM とは強度増進作用を有する混和材である。水セメント比は 22%で、空隙率は約 30%である。打設後 24 時間で脱型し、材齢 7 日より供試体を水槽に浸漬し、毎分 20mL の水道水を流入させ、水槽からの流出水を採取してカリウム成分の濃度測定を行い、溶出状況を分析した。

2.2 POC パネルの作製

緑化型 POC パネルの作製にあたり、骨材として、碎石

表 1 溶出成分確認用 POC の配合

単位量(kg/m ³)				
セメント C	水 W	石灰石 G	珪砂 S	PM
227	50	1404	210	10

表 2 POC の配合（上段：緑化型、下段：通常型）

骨材 種類	粒径 (mm)	空隙率(%)		W/C	単位量(Kg/m ³)						
		目標	実績		C	W	G	S	SP	EP灰	
石灰石	5~15	18	18.7	25	300	75	1506	190	3	12	
石灰石	5~13	20	15.5	23	297	68	1460	255	6	—	

1505,早強ポルトランドセメント（密度 3.14 g/cm³）、高性能減水剤ならびに緑化用肥効成分を有する杉の樹皮焼却 EP 灰に加えて、骨材表面に付着するセメントペーストの粘性を高め垂れを抑えるために粒径 0.3 mm以下の珪砂（絶乾密度 2.62 g/cm³）を用いた。なお、EP 灰の粒径は 0.5mm 以下、密度は 0.21g/cm³、強熱減量は 27%であり、主要化学成分は、CaO が 39%、K₂O が 19%、SiO₂ が%である。また、EP 灰はセメント重量の 4%とし、POC の練混ぜ時に混入した。POC パネルの寸法は、縦 1m、横 2m、厚さ 0.1m で、これを長さ方向に 4 枚、高さ方向に 3 枚組み合わせ、長さ 8m、高さ 3m の防音壁とした。なお、この緑化型 POC パネルの騒音低減性状との比較検討を行うことを意図して、6 号碎石を用い、同一形状寸法の通常の POC パネルを作成した。表 2 に POC パネルの配合を示す。通常型配合でも、骨材表面に付着するセメントペーストの粘性を高め垂れを抑えるため、細骨材として粒径 0.15mm 以下の珪砂（絶乾密度：2.70 g/cm³）を用い、混和剤としては高性能減水剤(SP)を用いている。なお、混和材（PM）は使用していない。各 POC パネルの作製時期は異なっており、同一材料が使用できなかったために、各配合には骨材粒径、水セメント比、空隙率等に幾分の差異はあるものの、ほぼ同一の配合とみなすことができると考えられる。

*1 宮崎大学大学院工学研究科 博士後期課程（正会員）

*2 宮崎大学工学部 土木環境工学科 教授 工博（正会員）

*3 和光コンクリート工業（株） 製品開発部 博士（工博）（正会員）

POC パネルの概観を写真－１に示す。パネルの一面は緑化面（写真右），反対面は POC 面（写真左）とした。緑化基材としてはバークを用い，基材中にはトールフェスク（216g/m³），クリーピングレッドフェスク（94g/m³），バミューダグラス（20g/m³），バヒアグラス（188g/m³）およびセンチピートグラス（86g/m³）の 5 種類の種子を混合している。また，植物の根の伸長領域をできる限り大きくするためと保水性を確保するために，基材の最小吹付厚さは 40mm，最大吹付厚さは 100mm とした凹凸形状になるように基材を吹き付けている。この場合，吹付基材は POC の表面にのみ付着した状態であり，POC 内部の空隙を充填しているものではない。なお，写真－１に示す緑化面における植生は，パネルを設置した時期が晩秋であったため，良好な生育状況とはなっていない。

2.3 騒音の測定方法

騒音の音源として発振器を用い，固定音源（点音源）とした。パネル長手方向（8m）の中央に設置したスピーカを通じて発振器より 100Hz～2000Hz の 1/3 オクターブバンド周波数の騒音を発生させ，パネル面に入射させた。騒音の測定にあたっては，普通騒音計を用いた。音源から最も近い受音点 No. 1 での入射音はほぼ 90dB となるよう調整した。

図－１に，音源・受音点および POC パネルの位置関係を示す。音源を設置する位置は，緑化面側および POC 面側とし，騒音低減効果の差異について検討した。また，音源および受音点の設置高さの違いによる回折行路差の影響について検討するため，音源および受音点を地上から 0.5m，1.0m の位置に設置した。

3. 実験結果および考察

3.1 肥効成分の溶出実験

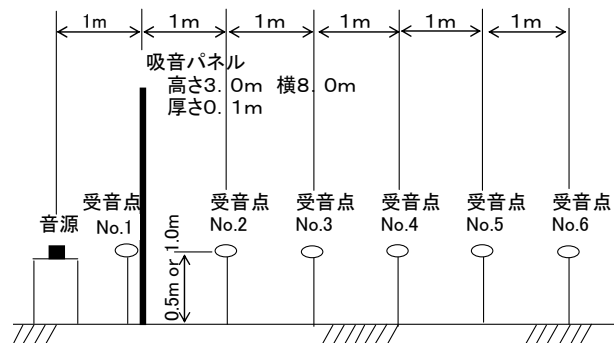
図－２に杉の樹皮焼却 EP 灰を混入した POC からの肥効成分であるカリウムの溶出状況を示す。カリウムの溶出は初期段階で 13mg/L 程度であったが，経過日数 7 日以降 21 日まで 2mg/L の値ではほぼ一定の溶出量となっていることがわかる。この濃度は一般的な液体肥料より幾分低い濃度であるが，肥料効果はあるものと考えられる。なお，EP 灰には他のアルカリ成分として MgO が 1 %程度含まれているため，MgO も溶出するものと考えられるが，今回は溶出試験を行っていない。

3.2 等価騒音レベルの低減状況

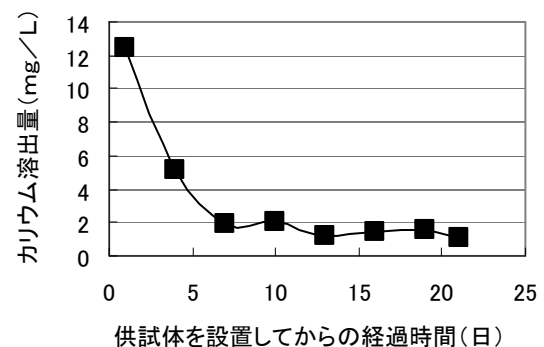
図－３に，音源を POC パネル面から 1m の距離に設置し，250Hz，400Hz，1000Hz および 2000Hz の音を発生させた場合における音源からの距離と等価騒音レベル Leq との関係を示す。同図中，H は音源および受音点の高さを表す。また，図－４に，音源を緑化面側から 1m の距離に設置した場合における音源からの距離と等価騒音



写真－１ POC パネルの概観（左：POC 面、右：緑化面）



図－１ 音源・受音点および POC パネルの位置



図－２ 杉の樹皮焼却 EP 灰を混入した POC からの肥効成分(カリウム)の溶出量

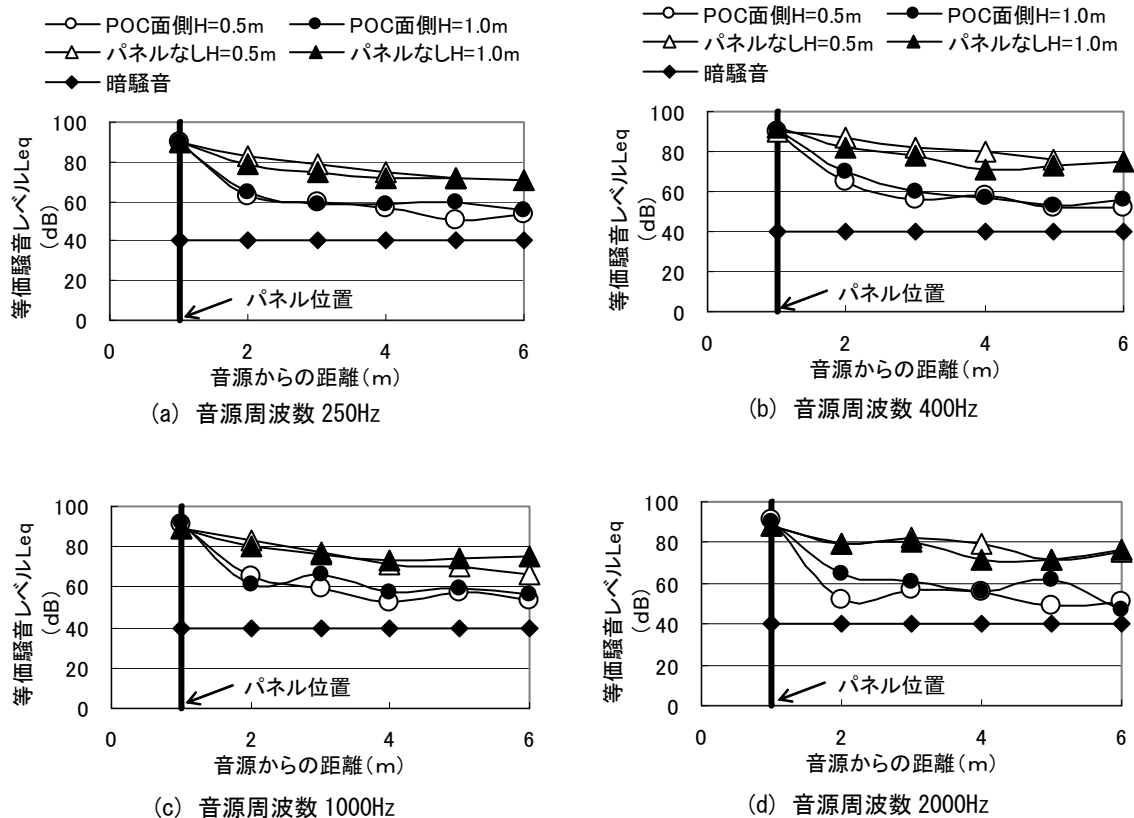
レベル Leq との関係を示す。なお音源を緑化面側に設置した場合，パネル設置場所の地形的制約から音源から 4 m までにしか受音点を設置できなかった。今回の全ての実験ケースについて，POC パネルの設置による騒音低減効果が明瞭に表れている。各受音点での等価騒音レベルは，いずれも暗騒音より 10dB 以上であり，暗騒音の影響は無視できる。

図－５に，緑化型について音源および受音点の設置高さ H を 0.5m とした場合で，音源位置を POC パネル面側および緑化面側に設置した場合の図－１に示した受音点 No. 2 での有効等価騒音レベル低減量(以下有効 ΔL_{eq})の周波数特性曲線を示す。同図中にはあわせて通常型で音源および受音点が地表面 (H=0m) の場合のデータについても示す。ここで有効 ΔL_{eq} は，式(1)で定義される。

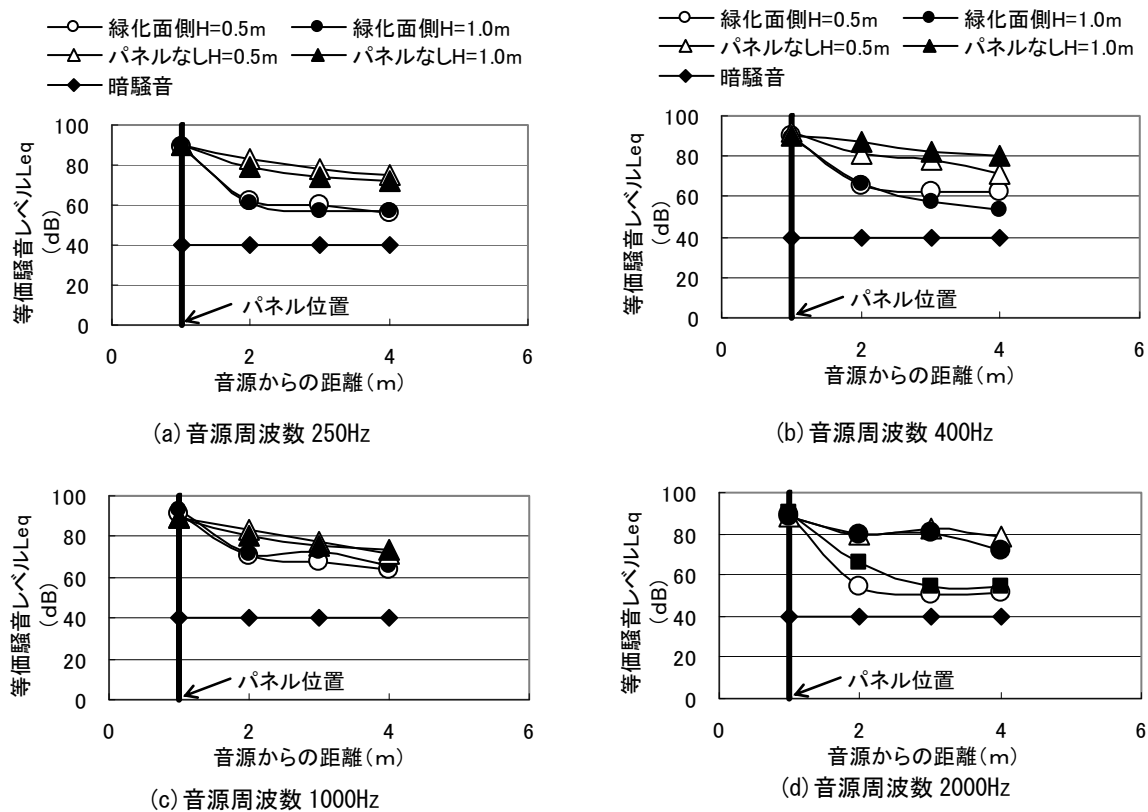
$$\text{有効 } \Delta L_{eq} = (L_1 - L_n) - (L'_1 - L'_n) \quad (1)$$

ここに， L_1 ：パネルありの場合の受音点 No. 1 での Leq

L_n ：パネルありの場合の各受音点での Leq



図－3 音源からの距離と等価騒音レベル L_{eq} との関係（音源：POC 面側）



図－4 音源からの距離と等価騒音レベル L_{eq} の関係（音源：緑化面側）

L'_{1} : パネルなしの場合の受音点 No. 1 での Leq
 L'_{n} : パネルなしの場合の各受音点での Leq

図-5より、緑化型で音源高さ $H=0.5m$ の場合には、630Hz、1250Hz および 2000Hz の各周波数において、音源の設置 (POC 面側または緑化面側) によらず有効 ΔLeq のピークが生じていることが読み取れる。一方、音源の設置位置で比較すると、通常型では音源および受音点は地表面に設置しており、緑化型とは高さが異なるものの、そのような傾向は見受けられず、緑化型に比べて有効 ΔLeq は小さな値になっている。これは、緑化型では植生基材があることによってパネルを透過する音量が通常型に比較して少ないためと考えられる。また、図-6には同じく音源の設置高さ H を $1.0m$ とした場合の有効 ΔLeq の周波数特性曲線を示す。緑化型の場合、周波数が1600Hzにおいてのみ有効 ΔLeq のピークが音源の設置位置によらず共通して生じているが、音源が緑化面側にある場合は、明瞭なピークが生じていない。一方、通常型では音源および受音点の高さは同一ではあるものの、周波数特性曲線の傾向は緑化型と全く異なるものになっており、有効 ΔLeq の値が緑化型に比べて全体的に小さくなっているのは、 $H=0.5m$ の場合と同様に、植生基材がないことによる影響であると考えられる。

3.3 騒音低減性状の評価

旧日本道路公団は、道路用吸音パネルの性能として、400Hzで0.7、1000Hzで0.8以上の残響室法吸音率を有することと定めている。本研究でPOCパネルの騒音低減効果を検討するにあたり、その性能を参照し、吸音率の周波数特性曲線における周波数400~1000Hzの範囲での吸音面積率³⁾に相当する、騒音低減面積率(吸音率の周波数特性曲線を有効 ΔLeq の周波数特性曲線に置き換えた場合に対応)を考えた。図-7に騒音低減面積率の説明図を示す。ここにいう騒音低減面積率は、有効 ΔLeq の周波数特性曲線の、ある想定した周波数の範囲 ($F_1 \sim F_2$) での積分値 (abef 部分の面積) を、音源騒音と暗騒音との差の周波数曲線の同じ周波数の範囲 ($F_1 \sim F_2$) での積分値 (acdf 部分の面積) で除した値で定義される。

その際、低周波数域、中周波数域、高周波数域、全周波数域での騒音低減特性を検討するため、周波数の範囲 ($F_1 \sim F_2$) を 100~400Hz とした騒音低減面積率 A、400~1000Hz とした騒音低減面積率 B、1000~2000Hz とした騒音低減面積率 C、100~2000Hz とした騒音低減面積率 D の値を求めた。さらに、アメリカ合衆国では吸音性能の指標として NRC (Noise Reduction Coefficient: 周波数 250, 500, 1000, 2000Hz における吸音率の平均値で表示) が用いられている¹³⁾ことから、この NRC に相当する騒音レベル低減係数(周波数 250, 500, 1000, 2000Hz における有効 ΔLeq の平均値を受音点 No. 1 と暗騒音との差で除し

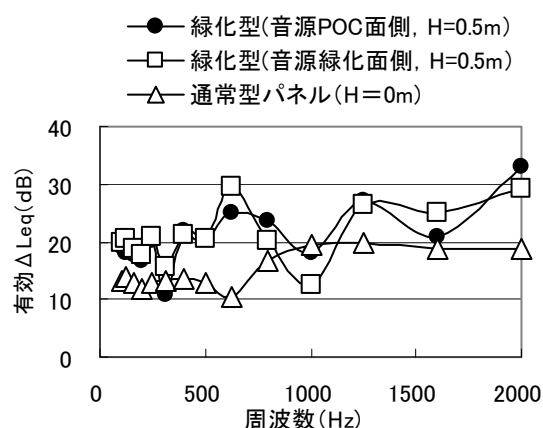


図-5 有効 ΔLeq の周波数特性曲線 (受音点 No. 2)

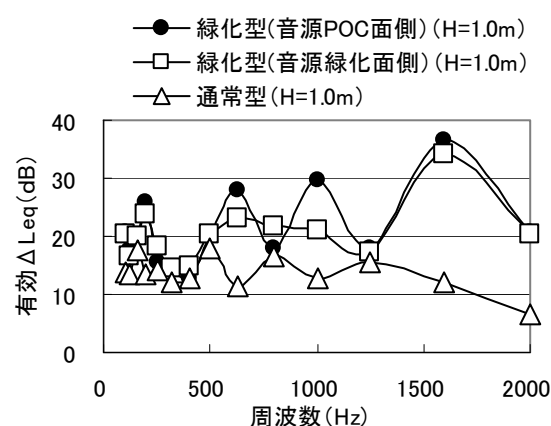


図-6 有効 ΔLeq の周波数特性曲線 (受音点 No. 2)

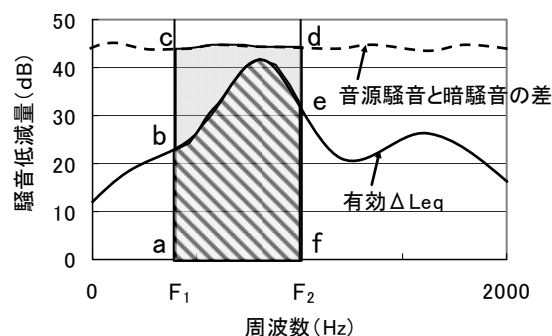


図-7 騒音低減面積率の説明図

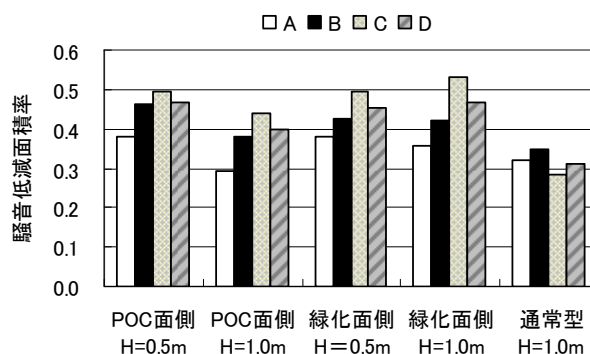


図-8 騒音低減面積率 (受音点 No. 2)

たもの)についても検討した。

図-8に、受音点 No. 2 における騒音低減面積率 A~D について緑化型パネル（POC 面側および緑化面側）と通常型パネルを比較して示す。この図から、緑化型パネルの場合には 1000~2000Hz の高周波数域での騒音低減面積率 C が音源の設置位置および設置高さにかかわらずもっとも大きくなっており、100~400Hz の低周波数域での騒音低減面積率 A が最も小さくなっていることがわかる。また、音源・受音点高さ H=0.5m の場合には、音源の設置位置による騒音低減面積率の差異は見られないが、H=1.0m の場合には、音源が緑化面側にあるときに騒音低減面積率が大きくなっており、より高い騒音低減効果が認められる。これに対して通常型パネルの場合には全ての騒音低減面積率が緑化型パネルに比較して小さな値になっており、植生基材を吹き付けたことによる騒音低減効果が高いことが理解できる。しかし、受音点が No. 2 に比べて遠い No. 5 (図-9) においては、緑化型で音源が POC 面側で設置高さが 0.5m の場合を除いて騒音低減面積率 C が大きくなる傾向は認められず、また音源高さが H=1.0m の場合には緑化型と通常型との差異はほとん

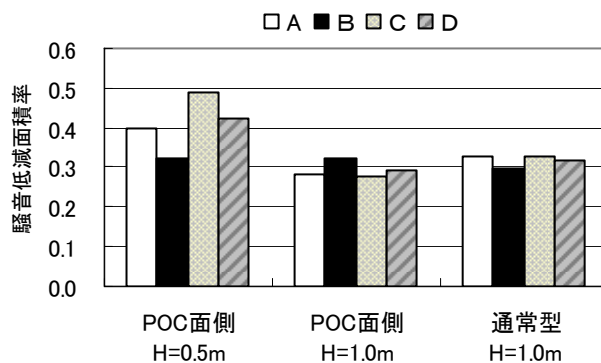


図-9 騒音低減面積率（受音点 No. 5）

ど生じていないことが見てとれる。

図-10 に受音点 No. 2 での騒音レベル低減係数について緑化型パネルと通常型パネルを比較して示す。緑化型の場合、音源高さの違いにかかわらず、音源が緑化面側にあるときに騒音レベル低減係数が大きくなっている。これに対して通常型の場合には、騒音低減面積率と同様に緑化型に比べて小さくなっている。図-11 には受音点 No. 5 における騒音レベル低減係数について緑化型と通

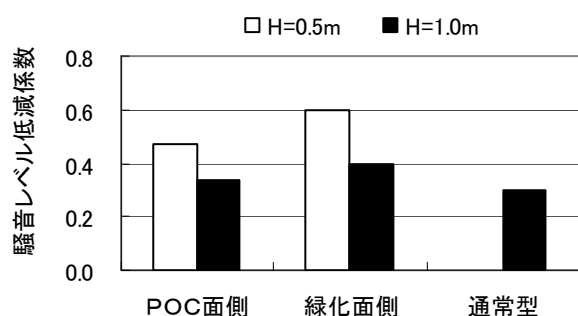


図-10 騒音レベル低減係数（受音点 No. 2）

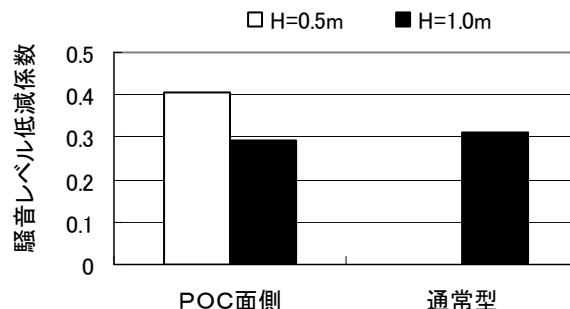


図-11 騒音レベル低減係数（受音点 No. 5）

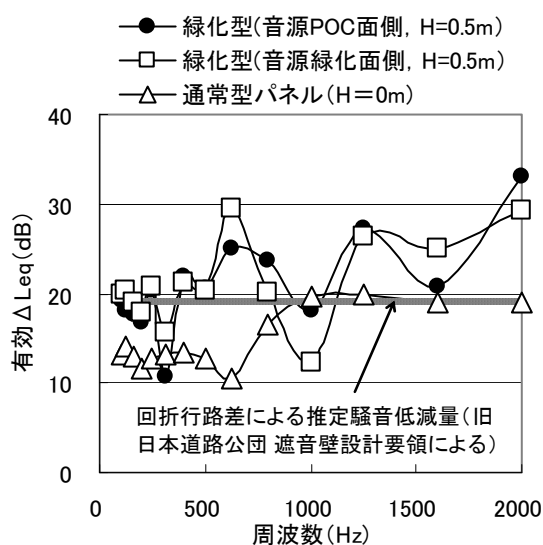


図-12 有効 ΔL_{eq} と回折行路差による推定騒音低減量との比較（受音点 No. 2, 音源・受音点高さ H=0.5m）

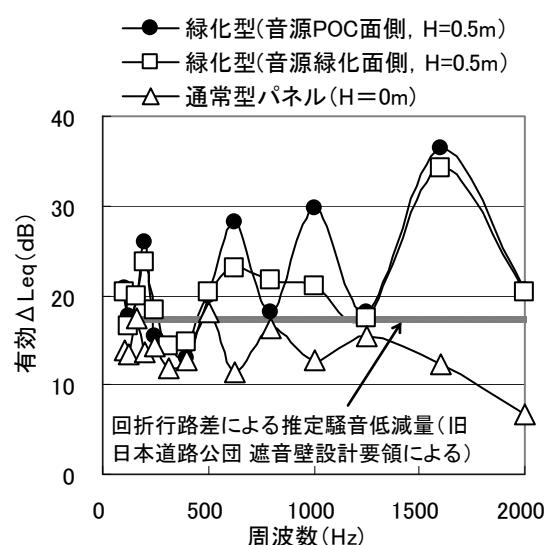


図-13 有効 ΔL_{eq} と回折行路差による推定騒音低減量との比較（受音点 No. 2, 音源・受音点高さ H=1.0m）

常型を比較して示す。この場合も、音源高さが $H=1.0\text{m}$ の場合、緑化型と通常型とはほとんど差異がないのは騒音低減面積率と同様である。

発生騒音は、設置パネルを乗り越えて、すなわち回折して各受音点に伝播していくため、回折音が到達すると考えられる。しかしパネルがある場合には、ない場合に比べて騒音の伝播距離が長くなるため、その距離に応じて減衰効果が生じる。そこで旧日本道路公団の遮音壁設計要領¹²⁾に基づき、回折行路差による騒音低減について検討した。図-12 および図-13 には、受音点 No.2 における音源高さ $H=0.5\text{m}$ および $H=1.0\text{m}$ の場合の有効 ΔL_{eq} を回折行路差による推定騒音低減量と比較して示す。緑化型パネルの場合にはいずれの音源・受音点高さにおいても、低周波数域では推定騒音低減量と有効 ΔL_{eq} との差はさほどないが、高周波数域では推定騒音低減量よりも有効 ΔL_{eq} の方が大きくなる傾向が認められる。これに対して、通常型の場合には、ほぼ全周波数において推定騒音低減量よりも有効 ΔL_{eq} の方が小さくなっていることから、緑化型パネルの騒音低減効果が高いことが理解できる。

4. まとめ

本研究は、緑化型ポーラスコンクリートパネルの騒音低減効果について実験的に検討したものであり、得られた結果を要約すると以下のとおりである。

- (1) POC パネルの騒音低減効果を評価する指標として、吸音面積率に相当する騒音低減面積率を提案した。騒音低減面積率の算定結果より、緑化型 POC パネルは通常型 POC パネルと比較し、高い騒音低減効果を有していることが明らかとなった。
- (2) 騒音低減面積率の算定結果より、緑化型 POC パネルは、100～400Hz の低周波数域よりも 400～2000Hz の中～高周波数の騒音を低減でき、特に 1000～2000Hz の高周波数領域の騒音低減効果が高いことがわかった。
- (3) 騒音低減面積率および NRC を参考に提案した指標である騒音レベル低減係数の算定結果より、音源を POC パネルの緑化面側に設置すれば、POC 面側に設置した場合よりも高い騒音低減効果があることがわかった。
- (4) 騒音周波数が 500Hz 以上の範囲で、緑化型 POC パネルの有効 ΔL_{eq} を旧日本道路公団の遮音壁設計要領に定められている回折行路差による推定騒音低減量と比較した場合、緑化型 POC パネルの有効 ΔL_{eq} の方が高い値となっており、緑化型 POC パネルの騒音低減効果は回折行路差のみによるものではなく、吹き付けた植生基材による遮音効果もあるものと

思われ、緑化型 POC の優れた騒音低減特性が明らかとなった。

参考文献

- 1) 堂園昭人, 岡本享久, 藤原浩巳, 上野雅之: 管内法による POC の吸音特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告, pp. 679-684 Vol. 19, No. 1, 1997. 6
- 2) 玉井元治, 田中光徳: 軽石をまぶしたコンクリートの吸音特性, セメント・コンクリート論文集, No. 46, pp. 892-897, 1992
- 3) 玉井元治, 田中光徳: シラス軽石を用いた多孔質コンクリートの吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 16, No. 1, pp. 711-716, 1994
- 4) 玉井元治, 計良善也, 橋本圭司: NOx を吸着する吸音性コンクリート, セメント・コンクリート論文集, No. 51, pp. 870-875, 1997
- 5) 松尾伸二, 丸山久一, 清水敬二, 江本佑橘: 透水コンクリートの透水・透湿・吸音特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 525-530, 1993
- 6) 張雪梅, 中澤隆雄, 新西成男, 濱山征也: ポーラスコンクリートの骨材粒径および空隙率が吸音特性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 1, pp. 163-168, 2001
- 7) 張雪梅, 中澤隆雄, 今井富士夫: ポーラスコンクリートの吸音特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No. 1, pp. 1161-1166, 2002
- 8) 中澤隆雄, 張日紅, 三浦功, 今井富士夫: ポーラスコンクリート製吸音壁の吸音性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, pp. 1205-1210, 2003
- 9) 三浦功, 中澤隆雄, 今井富士夫, 張日紅: POC 壁の騒音低減効果に及ぼす使用材料の種類およびパネル厚さの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 27, No. 1, pp. 1291-1296, 2005
- 10) 三浦功, 中澤隆雄, 今井富士夫: ポーラスコンクリートパネルの騒音低減効果に及ぼす使用材料の種類およびパネル厚さの影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 2, pp. 325-330, 2007
- 11) 日本工業標準調査会: 工場排水試験方法 JIS K 0102:1998, 日本規格協会(東京), 1998.
- 12) 日本道路公団「設計要領」第5集, 第12-10編「遮音壁設計要領」3-3, 遮音壁の音響性能および試験方法, 平成元年4月
- 13) 新環境管理設備事典編集委員会: 騒音・振動防止機器活用事典, p. 47, 産調出版, 1995