

論文 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骨材の種類およびパネル厚さの影響

三浦 功^{*1}・中澤 隆雄^{*2}・今井 富士夫^{*2}

要旨: ポーラスコンクリートパネルの騒音低減効果におよぼす骨材種類およびパネル厚さの影響を、新たに定義した騒音低減面積率や騒音レベル低減係数を用いて検討した。その結果、これらの評価指標は、想定する周波数域での騒音低減効果をよく表現できることが明らかになった。また使用骨材の中では、粒径が小さく空隙率が最も小さかったフェロニッケルスラグの場合に騒音低減効果が最も大きかった。パネル厚さが騒音低減に及ぼす効果は、考える周波数域にもよるが、一般に厚い方が高くなることを定量的に把握することができた。

キーワード: ポーラスコンクリート, 等価騒音レベル, 騒音面積低減率, 骨材種類, 厚さ

1. はじめに

ポーラスコンクリートは従来のコンクリートにはない様々な優れた機能を有している。近年、その優れた機能の1つである吸音機能に関する研究も活発に行われてきている^{1)~5)}。著者らもポーラスコンクリートの吸音機能に着目し、これまで道路交通騒音の低減が可能なポーラスコンクリートの開発を目的として、等価騒音レベルの低減効果に関する実験的な研究を行ってきている^{6)~9)}。

本論は、この研究の一環として、火山性軽量骨材のぼら、石灰石およびフェロニッケルスラグ(以下、FNSと略記)の3種類の骨材を用いて作製した2種類の厚さのポーラスコンクリートパネルの騒音低減効果を検討したものである。騒音低減効果の検討にあたっては、普通騒音計を用いて得られた100~2000Hzの範囲の各1/3オクターブバンドの周波数の等価騒音レベル(以下 L_{eq} と略記)を用いた。また、同時に作製した円柱供試体に対して、インピーダンス管による垂直入射吸音率¹⁰⁾も測定し、回折の影響をできる限りなくすよう、音源をポーラスコンクリートパネルで囲ったときの L_{eq} との

関連についても検討した。

2. 実験供試体

ポーラスコンクリートパネルの作製にあたり、セメントには普通ポルトランドセメント(密度: 3.15g/cm^3)を、骨材には南九州に産するぼら(粒径5~10mm, 表乾密度: 1.33g/cm^3 , 吸水率113%), 石灰石(6号砕石, 粒径5~13mm, 表乾密度: 2.71g/cm^3 , 吸水率0.15%)ならびにFNS(粒径2.5~5mm, 表乾密度: 2.80g/cm^3 , 吸水率0.81%)の3種類を用いた。ポーラスコンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 ポーラスコンクリートの配合

骨材	粒径(mm)	単位量(kg/m^3)		
		水	セメント	骨材
ぼら	5~10	41	127	848
石灰石	5~13	49	123	1658
FNS	2.5~5	43	187	1650

この配合を用いて、垂直入射吸音率(以下吸音率と略記)の測定用に厚さ50mmおよび100mmで直径がいずれも92mmの円柱供試体を、また等価騒音レベルの測定用として、壁材

*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)

は幅 500mm, 高さ 500mm, 厚さ 50mm および 100mm, 蓋材ならびに底面材は幅 500mm, 高さ 600mm, 厚さ 50mm および 100mm となるようにパネルを作製した。ポーラスコンクリートの全空隙率は、吸音率供試体とパネル供試体間および厚さの相違による差異はさほどなく、ぼらで 41.3~46.5%, 石灰石で 30.6~36.9%, FNS で 28.1~30.3% となり, 骨材間でかなり異なった結果となった。特にぼらの場合の全空隙率が大きくなったのは, 突き棒による締め固めの際に, 強めに締め固めればぼら自体が部分的につぶれてしまうおそれがあるため, 軽めに締め固めたことによるものである。

3. 実験概要

3.1 垂直入射吸音率の測定

吸音率の測定は自動垂直入射吸音率測定器を用いて JIS A 1405 「音響—インピーダンス管による吸音率およびインピーダンスの測定—定在波比法」¹⁰⁾ に準拠して行った。本測定法において, 音響管の一端に軸方向に垂直に固定された供試体に, スピーカから 100Hz を規準とした 125~2000Hz までの 1/3 オクターブ間隔の周波数の正弦平面波を送ると, 入射波と供試体による反射波とに干渉が生じる。入射波の音圧振幅を I , 反射波の音圧振幅を R とすれば, 音圧振幅が極大値 $|I+R|$ と極小値 $|I-R|$ になるところが 1/4 波長ごとに交互に生じる。その音圧振幅比を定在波比 n とすると, 音のエネルギーは音圧振幅の 2 乗に比例するため, 吸音率 α_0 は結局, $\alpha_0 = 4 / (n + 1/n + 2)$ として求められる。すなわち, n を測定すれば α_0 が得られることとなる。

3.2 等価騒音レベル Leq の測定

Leq を測定するにあたり, 図-1 に示すように, ポーラスコンクリートパネルで音源を囲み, 回折音の影響を極力なくすようにした。騒音として, 吸音率の測定に用いた周波数域と同じ 100~2000Hz の範囲の 1/3 オクターブの周波数音を発振機によって発生させ, アンプで増幅し

た上でほぼ 100dB となるようスピーカから出力させるとともに, 普通騒音計を, 音源およびパネル前面からの距離 1m~5m で 1m おきの位置に設置し, 各測点で Leq を測定した。また, 音源をパネルで囲わない場合についても, 各測点で Leq を測定するとともに暗騒音も求め, パネルを設置した効果を検討した。

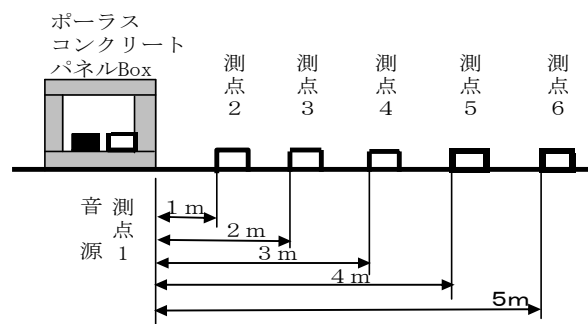


図-1 音源および測点位置

4. 実験結果および考察

4.1 吸音率および Leq の周波数特性

まず, 実験から得られた Leq の測定値を基にして, Leq 低減量 (音源部の Leq と各測点の Leq との差) を計算し, 同一測点における音源をパネルで囲った場合の Leq 低減量と囲わない場合の Leq 低減量との差を「有効 Leq 低減量」(以下有効 ΔLeq と略記) として求めた。

図-2~図-7 に, 各使用骨材のパネル厚さごとに, 測点 2 での有効 ΔLeq の周波数特性を吸音率と比較して示す。いずれの場合においても, 有効 ΔLeq がピークになる周波数と α_0 がピークになる周波数は一致していないことがわかる。このことは, α_0 はその定義から, ポーラスコンクリートを透過する音のエネルギーも含んだ入射音エネルギーに対する比率であるため, 透過音が各測点に達し, Leq をそれほど低減させることにはならないことや, 供試体の厚さの影響によって α_0 がピークとなる周波数が 2 つ存在してくるようになることなどの影響によるものと考えられる。

4.2 吸音効果の検討

ポーラスコンクリートの吸音効果を検討する

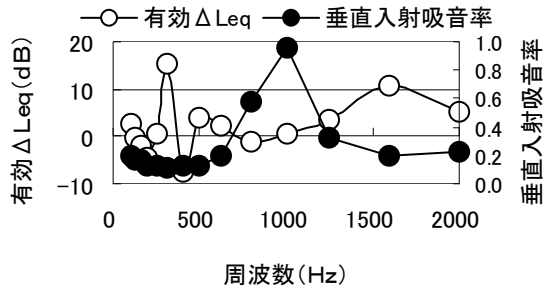


図-2 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(ぼら, 厚さ 50mm)

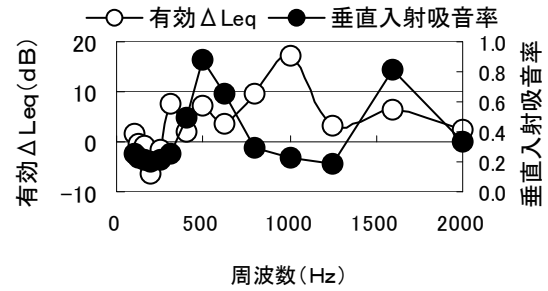


図-3 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(ぼら, 厚さ 100mm)

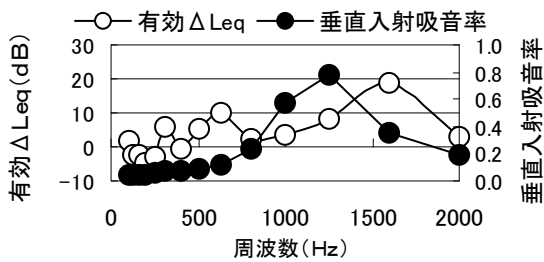


図-4 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(石灰石, 厚さ 50mm)

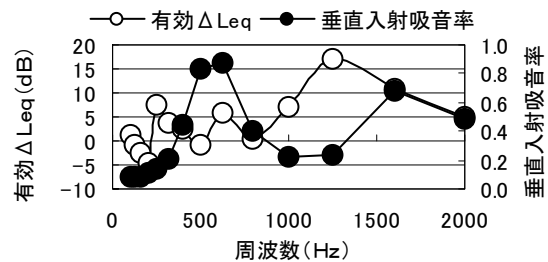


図-5 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(石灰石, 厚さ 100mm)

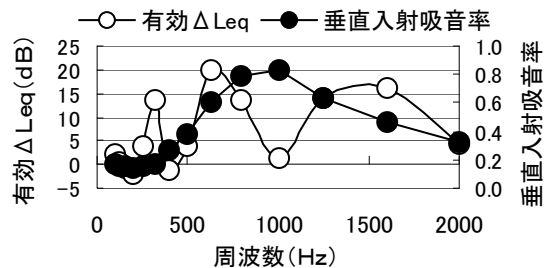


図-6 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(FNS, 厚さ 50mm)

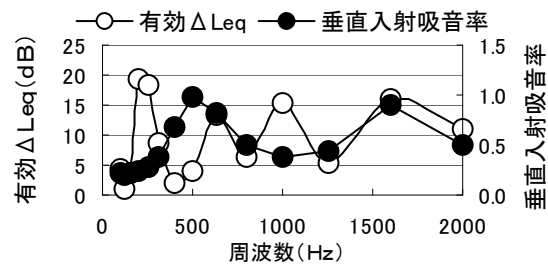


図-7 有効 ΔLeq と吸音率の周波数特性
(FNS, 厚さ 100mm)

にあたり、旧日本道路公団が定めた道路用吸音パネルの性能である、400Hzで0.7、1000Hzで0.8以上の残響室法吸音率を有することを参照し、ここでは図-8に示すような周波数400~1000Hzの範囲での吸音面積率 $A^{(3)}$ (図示した面積 $abef$ の面積 $acdf$ に対する比率)を考えた。また、高周波数域および全周波数域での吸音特性を検討するため、周波数が1000~2000Hzの範囲の吸音面積率 B および100~2000Hzの全域での吸音面積率 C の値も求めてみた。さらに、アメリカ合衆国ではNRC⁽¹¹⁾(Noise Reduction Coefficient: 周波数250, 500, 1000, 2000Hzに

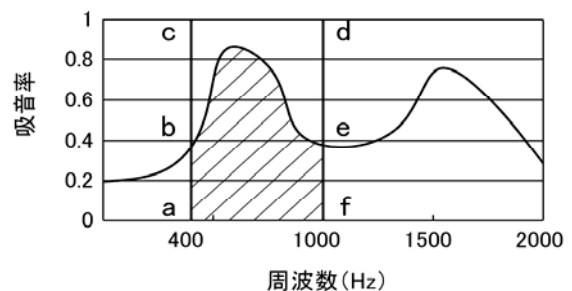


図-8 吸音面積率

おける吸音率の平均値で表示)が用いられていることから、このNRCについても検討した。各使用骨材に対応する吸音率-周波数関係から得られた各吸音面積率およびNRCを図-9

および図-10に示す。なお、図-9中のぼら1、ぼら2等の数字1および2は厚さ50mmおよび100mmに対応している。厚さ50mmの場合、吸音面積率Aは石灰石が最も小さく、次いでぼら、FNSの順に大きくなっている。吸音面積率Bはぼら、石灰石、FNSの順に大きくなっており、吸音面積率Cはぼらと石灰石がほぼ同一で、FNSが最大となっている。厚さの違いによる影響をみれば、石灰石の面積吸音率B以外は、いずれの場合も厚さが厚い方が吸音面積率は大きくなっている。

NRCについては、骨材の違いの影響をみれば厚さ50mmの場合、石灰石、ぼら、FNSの順に大きくなっている。厚さ100mmの場合には、石灰石とぼらがほぼ同一の値を示し、FNSが最大となっている。

上述した吸音面積率およびNRCを総合的に考えれば、FNSが最も小さい粒径、すなわち小さな空隙径でしかも最小の空隙率であったことから、遮音に近い特性を示していると思われる。またぼら供試体と石灰石供試体とを比較すれば、供試体厚さが吸音面積率AやNRCに及ぼす効果は逆になっており、供試体厚さの影響が大きいと判断できる。

4.3 騒音レベル低減効果の検討

図-2～図-7に示した測点2における各骨材を用いたパネル厚さごとの有効 ΔLeq の周波数特性を、全く同様にして各測点で求め、それらの結果を基にして、先の図-8に示した吸音面積率に対応する「騒音低減面積率」（周波数の範囲に応じたA、BおよびCの3種類）およびNRCに対応する指標の騒音レベル低減係数

（以下 $LeqRC$ （ Leq Reduction Coefficient）と略記）を導入し、騒音レベル低減効果を検討することとした。ここにいう騒音低減面積率は、有効 ΔLeq の周波数特性曲線が想定した周波数の範囲で作る面積を、音源騒音と暗騒音との差が、同じく想定した周波数の範囲で作る面積で除した値で求めている。また $LeqRC$ は、NRCと同様に周波数250、500、1000、2000Hzにお

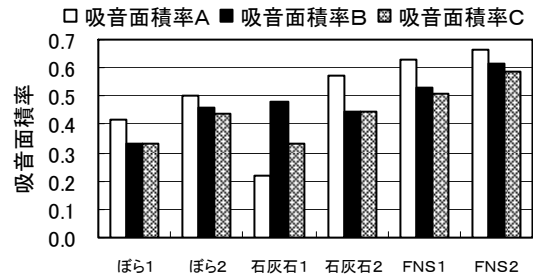


図-9 各供試体の吸音面積率

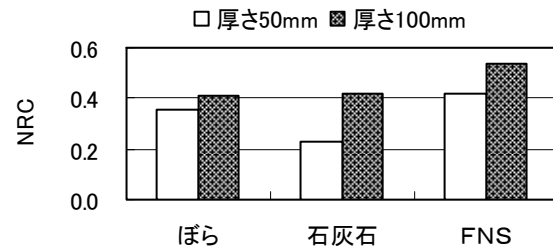


図-10 各供試体のNRC

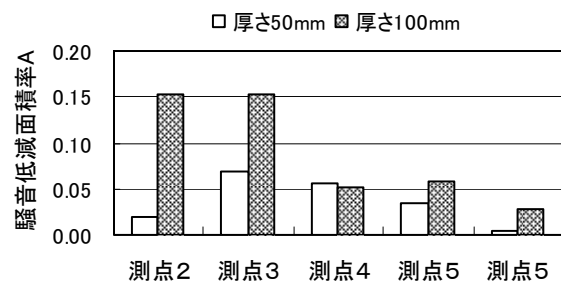


図-11 各測点の騒音低減面積率A（ぼら）

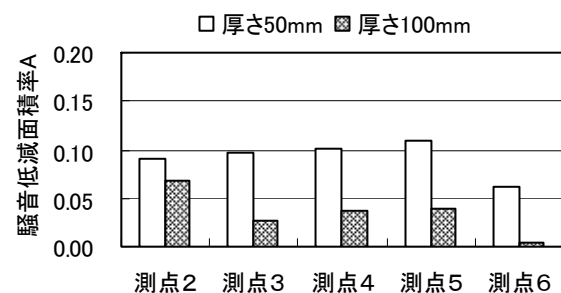


図-12 各測点の騒音低減面積率A（石灰石）

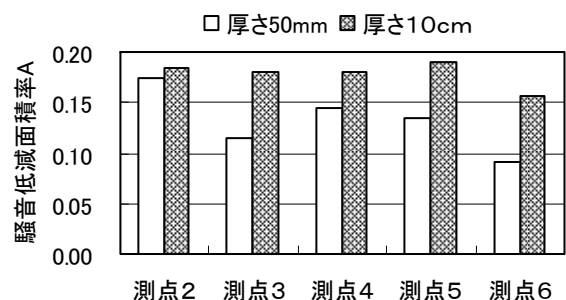


図-13 各測点の騒音低減面積率A（FNS）

ける有効 ΔLeq の値を音源騒音と暗騒音との差で除した各値の平均値で求めている。

図-11～図-13には、使用骨材ごとに各測点の騒音面積低減率 A (周波数 400～1000Hz の範囲を考慮) をパネル厚さで比較して示す。これらの図から、ぼらと石灰石には明らかな差異が生じていることがわかる。すなわち、ぼらは厚さ 100mm の方が厚さ 50mm よりも大きな値の騒音低減面積率を示しているが、石灰石の場合はすべての測点で逆の結果となっている。また、測点 2 でのぼらについては厚さ 50mm の騒音低減面積率は 0.02 程度とかなり小さな値となっているものの、厚さ 100mm の場合には 0.15 程度の値となり、厚さによって騒音低減面積率に大きな違いが認められる。これに対して FNS の場合には厚さ 50mm の場合には各測点での騒音低減面積率の値は 0.09～0.17 程度の範囲でやや変動しているものの、厚さ 100mm の場合には測点の位置にかかわらず、0.16～0.19 とほぼ同じ騒音低減面積率の値を示し、ぼらおよび石灰石に比べて大きな騒音低減面積率となっている。このように騒音低減面積率 A は、骨材の種類や厚さおよび測点位置によって大きく変動することがわかった。また騒音低減面積率は、想定した周波数域によって変わると考えられることから、測点 2 について上記 400～1000Hz の周波数域に加えて、高周波数域としての 1000～2000Hz の範囲、さらには全周波数域としての 100～2000Hz に対応する騒音低減面積率 B および騒音低減面積率 C について検討した。その結果は図-14 に示すとおりである。なお、図中のぼら 1、ぼら 2 等の数字 1 および 2 は厚さ 50mm および 100mm に対応している。この図から、想定する周波数域によって騒音低減面積率が大きく変動することがわかる。すなわち、ぼらは厚さ 100mm で 400～1000Hz の周波数域を低減させている。これに対して石灰石は厚さ 50mm および 100mm の両方とも 1000～2000Hz の高周波数域を最もよく低減させ、その騒音低減面積率 B の値はほぼ同一となっている。FNS

も同様に、厚さ 50mm および 100mm の両方とも 1000～2000Hz の高周波数域を最もよく低減させてはいるが、他の 2 つの周波数域での騒音低減面積率 A および C もほぼ同程度の値を示しており、各条件の中で、厚さ 100mm のぼらの場合を除けば最も高い騒音低減面積率の値を示しているのは高周波数域の騒音低減面積率 B であることがわかる。また、骨材の種類の違いについて全般的にみれば、ぼら、石灰石、FNS の順に騒音低減面積率の値が大きくなっている。

図-15 には測点 2 における各骨材の $LeqRC$ の値を厚さ別に示している。この場合、FNS がぼらおよび石灰石よりも各厚さとも大きな値を示しているのは騒音低減面積率の場合と同様であるが、各厚さとも石灰石が最も小さな値を示しており、ぼらの方が幾分大きな値を示している。また、騒音低減面積率の傾向と同様に厚さが 100mm の方が 50mm の場合よりも大きな値を示している。

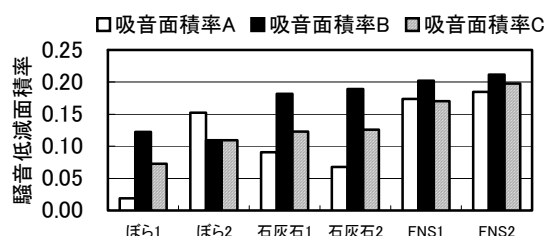


図-14 各供試体の各騒音低減面積率 (測点 2)

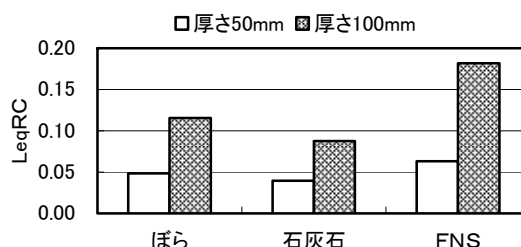


図-15 各供試体の $LeqRC$

5. あとがき

本研究は、ポーラスコンクリートパネルの騒音低減効果を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) 垂直入射吸音率の測定結果に基づく、吸音性能評価指標としての吸音面積率や NRC と同様な考え方によって導入した騒音低減面積率や LeqRC は、騒音低減効果を評価できる指標となると思われる。
- (2) 周波数域別に騒音面積低減率を評価したところ、1000~2000Hz の範囲の高周波数域での低減率が最も大きかった。
- (3) 吸音率および有効 ΔLeq の周波数特性曲線において、それぞれのピーク周波数は一致せず、吸音特性と騒音低減特性は異なったものとなる。すなわち、吸音率がピークとなる周波数の音のエネルギーは一部パネルの空隙を通過することになり、かならずしも騒音レベルが低減することにはならない。ぼらおよび石灰石を用いた場合、騒音低減効果が FNS ほど大きくないのは、これらのパネルの空隙を音が透過した影響によるものと考えられる。
- (4) 使用骨材別にみると、FNS を用いた場合に騒音低減効果が最も高くなった。これは粒径が他の骨材よりも小さいために空隙径が小さくなり、空隙率も他の骨材の場合より小さいためと考えられる。
- (5) パネル厚さが騒音低減に及ぼす効果を騒音低減面積率や LeqRC で評価したところ、考える周波数域にもよるが、一般に厚い方が高くなった。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費（平成17年度～19年度基盤研究(C)（課題番号：17560410））によったものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 堂園昭人, 岡本享久, 藤原浩巳, 上野雅之: 管内法によるポーラスコンクリートの吸音特性に関する基礎的研究, コンクリート工学年

次論文報告集, 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, 江本佑橋: 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: ポーラスコンクリート壁の騒音低減効果に及ぼす使用材料および空隙率の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1291-1296, 2005
- 10) 日本工業規格: 音響インピーダンス管による吸音率およびインピーダンスの測定—一定在波比法, JIS A 1045, 1988, (ISO 10534-1, 1996)
- 11) 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