

論文 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

三浦功*¹・中澤隆雄*²・今井富士夫*²・張日紅*³

要旨：ポーラスコンクリート壁の騒音低減効果に及ぼす使用骨材と空隙率の影響を、等価騒音レベルによって検討した。また、壁から抜き取ったコアについて垂直入射吸音率を求め、騒音低減量との関連についても検討した。その結果、フェロニッケルスラグを用いたポーラスコンクリート壁の騒音低減効果が最も高く、1000Hz以上の周波数に対しては、回折行路差の影響以上の効果が得られた。ぼらおよび石灰石では、低減効果がそれほど大きくなかったのは、壁の内部空隙を音が透過する影響によるものと考えられる。

また、空隙率が小さい方が等価騒音レベルの低減量は幾分大きくなる傾向が認められた。

キーワード：ポーラスコンクリート、等価騒音レベル、垂直入射吸音率、骨材種類、空隙率

1. はじめに

ポーラスコンクリートは、その特徴である多孔性によって種々の優れた特性を有している。吸音機能もその1つであり、近年では吸音機能に関する研究も次第に活発に行われてきている^{1)~5)}。著者らも、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、インピーダンス管による垂直入射吸音率のデータの収集や吸音壁の等価騒音レベル低減効果に関して、実験的な研究を行っている^{6)~8)}。

本論は、この研究の一環として、ポーラスコンクリート壁を作製するにあたって用いた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と記述）の3種類の骨材ならびに2種類の目標空隙率20%と30%が騒音低減効果に及ぼす影響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を用いている。また、壁供試体から抜き取った直径約100mmのコアに対して、インピーダン

ス管による垂直入射吸音率も測定し、吸音壁から得られた等価騒音レベルとの関連についても検討を加えている。

2. ポーラスコンクリート壁の騒音低減

2.1 実験供試体および概要

実験で使用するポーラスコンクリート壁の作製にあたり、セメントには早強ポルトランドセメント(密度:3.13g/cm³,比表面積4560cm²/g)を、骨材には南九州に産するぼら(粒径5~10mm,表乾密度:1.33g/cm³,吸水率113%),石灰石(6号砕石,粒径5~13mm,表乾密度:2.58g/cm³,吸水率2.01%)ならびにFNS(粒径2.5~5mm,表乾密度:2.80g/cm³,吸水率0.81%)を用いた。ぼらは6号の石灰砕石とほぼ同一の粒径になるように、またFNSについては、JISで最大粒径規格のFNS5を2.5mm以上の粒径となるようにふるいわけて用いた。なお、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、細骨材として粒径0.15mm以下の珪砂(密度:2.70g/cm³)を、混和剤としては高性能減水剤(SP)を用いた。ポーラスコンク

*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式会社 製品開発部 博士(工学)(正会員)

リートの配合は表-1に示すとおりである。水セメント比は23%ですべて同一とし、目標連続空隙率を20%および30%とした。空隙率の測定は文献9)の「ポーラスコンクリートの空隙率試験方法(案)」の容積法によっている。

表-1 ポーラスコンクリートの配合

骨材種類	粒径(mm)	空隙率(%)		W/C (%)	単位量 (Kg/m ³)				
		目標	実測		C	W	G	S	SP
ぼら	5~10	30	31.5	23	150	34	800	129	5
		20	24.5		292	67	780	251	6
石灰石	5~13	30	28.7		168	39	1470	144	5
		20	15.5		297	68	1460	255	6
FNS	2.5~5	30	18.0		187	43	1650	161	5
		20	13.6		320	73	1630	275	5

作製した壁供試体の形状寸法はすべて2000mm×1000mm×100mmであり、これらを組み立てて設置した壁高3m、壁長8m、壁厚0.1mの吸音壁の騒音低減効果について検討することとした。なお、作製した壁供試体から採取した直径100mmのコアを用いて連続空隙率を測定したところ、骨材としてぼらを用いた場合には目標値20%および30%に対してそれぞれ24.5%および31.5%、石灰石を用いた場合にはそれぞれ15.5%および28.7%であり、FNSを用いた場合にはそれぞれ13.6%および18.0%と、特にFNSでの差異が大きなものとなった。これは、他の骨材の場合よりも振動締固めが効きすぎて目標空隙率よりも小さくなったものと思われる。

2.2 騒音低減量の測定

設置した吸音壁供試体を写真-1に示す。発振器によって発生させた100~2000Hzの範囲の各1/3オクターブバンドの周波数をアンプで増幅し、スピーカから発生させて騒音源とした。騒音低減効果を検討するにあたり、図-1に示す位置に音源および普通騒音計を設置し、等価



写真-1 ポーラスコンクリート製吸音壁

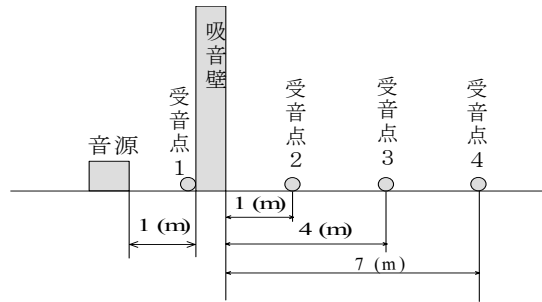


図-1 吸音壁、音源および受音点位置

騒音レベルを測定した。音源は吸音壁の背後1mに、普通騒音計は吸音壁のすぐ背面(受音点1)ならびに前面から1m(受音点2)、4m(受音点3)および7m(受音点4)の位置に設置している。なお、音源および普通騒音計のいずれも設置位置は地表面である。

3. 吸音壁の騒音低減効果

3.1 使用骨材の影響

図-2には、音源のスピーカから周波数1000Hzでほぼ90dBの音を発生させた場合の、各受音点で測定した等価騒音レベルを使用骨材別に示している。用いた吸音壁の連続空隙率は目標値30%のものである。なお、音源からの距離1mの位置で示した縦の太い実線は、吸音壁を示したものである。図中の○印は吸音壁を設置していない場合の測定結果である。この図から、どの骨材を用いても等価騒音レベルはかなり低くなっていることがわかる。中でもFNSの騒音低減効果が最も高くなっており、受音点2~4のいずれの位置でも、壁が設置されていない

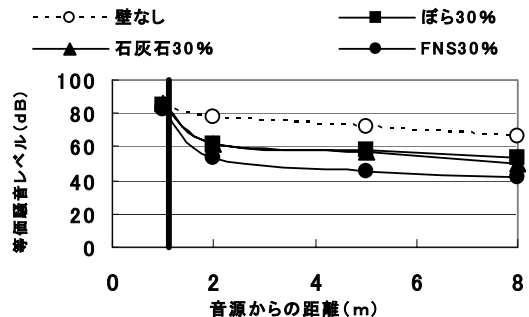


図-2 吸音壁の騒音低減効果に及ぼす骨材種類の影響(1000Hz)

い場合に比べて 25dB 程度も低くなっている。ぼらと石灰石との間にはほとんど差異はなく、FNS ほどの騒音低減効果は見受けられないものの、いずれの受音点位置でも壁が設置されていない場合に比べて 15dB 程度低くなっている。FNS の騒音低減効果が高いのは、実測空隙率がぼらおよび石灰石の場合より小さく、骨材粒径に応じて空隙径も小さくなっていることが影響しており、空隙径が同程度であれば、骨材の種類の違いの影響は小さいものと考えられる。

図-3には、目標空隙率が20%である各骨材を用いた吸音壁の、100~2000Hzの各周波数に対する受音点1と受音点2の間での等価騒音レベルの低減量を示している。なお、いずれの周波数においても、音源位置での騒音はほぼ90dBで一定としている。吸音壁がない場合には距離減衰による6~9dBの低減であるのに対して、各骨材を用いた吸音壁を設置すると、周波数によって異なるが、15~38dBもの高い騒音低減が生じていることがわかる。この場合でも2000Hzを除き、他の周波数域ではFNSを用いた場合に低減効果が最も高くなっており、ぼらと石灰石を用いた両者にはさほどの相違は生じていない。なお、周波数でみれば500Hz付近までの比較的low周波数域よりも1600Hz近傍の高周波数域での低減効果が大きいことがわかる。

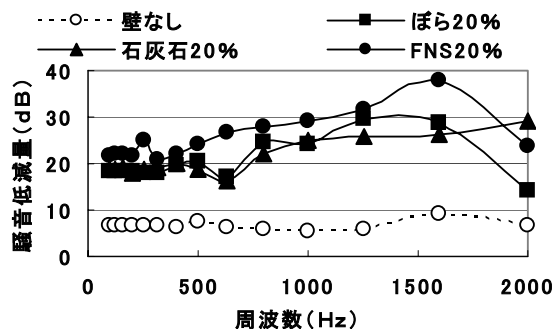


図-3 各周波数の騒音低減に及ぼす使用骨材の影響 (目標空隙率 20%)

3.2 空隙率の影響

図-4には、周波数1000Hzでほぼ90dBの音を発生させた場合に対して、ぼらを用いた吸音

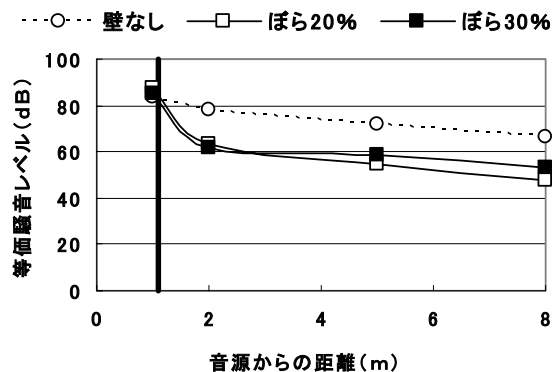


図-4 騒音低減に及ぼす空隙率の影響 (ぼら, 1000Hz)

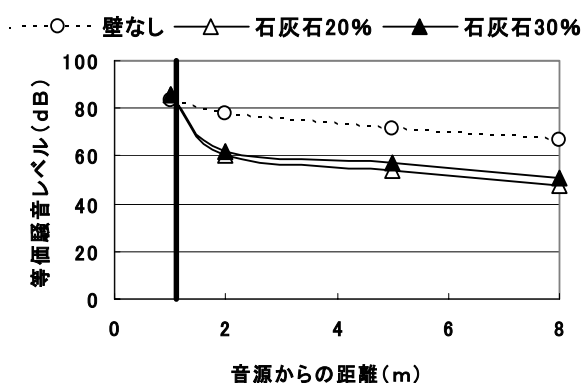


図-5 騒音低減に及ぼす空隙率の影響 (石灰石, 1000Hz)

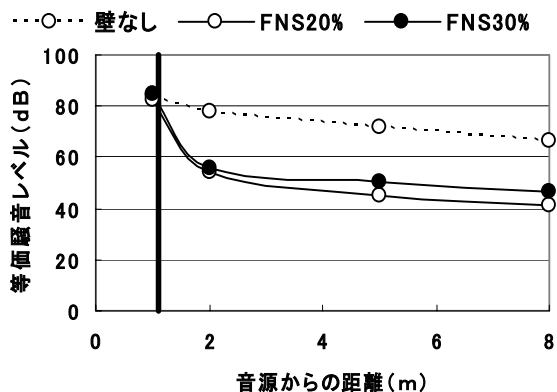


図-6 騒音低減に及ぼす空隙率の影響 (FNS, 1000Hz)

壁を設置したときの各受音点での等価騒音レベルを、目標空隙率別に壁がない場合と比較して示している。同じく図-5および図-6には、それぞれ石灰石およびFNSを用いた場合に対応する測定結果を示している。目標空隙率は20%、30%と差異を10%としたが、実際にはぼらの場合

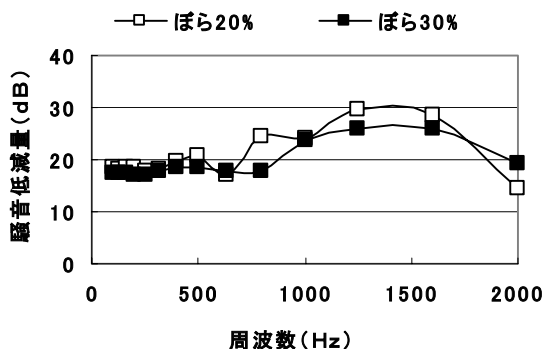


図-7 空隙率が各周波数での騒音低減に及ぼす影響 (ぼら)

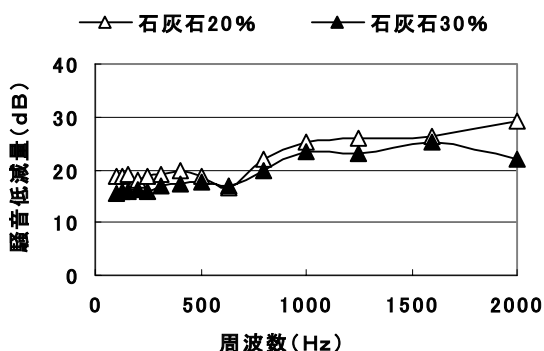


図-8 空隙率が各周波数での騒音低減に及ぼす影響 (石灰石)

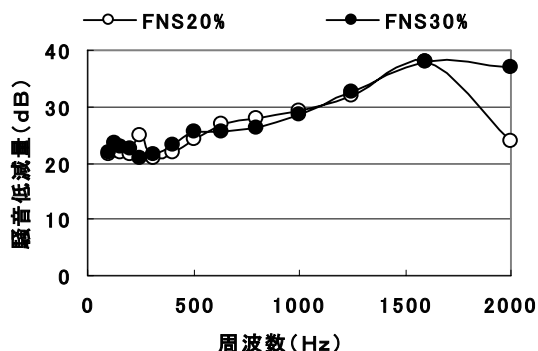


図-9 空隙率が各周波数での騒音低減に及ぼす影響 (FNS)

で約 7%, 石灰石の場合で約 13%, FNS の場合で約 4%の空隙率の差異となっており, ぼらつきが生じている。しかし, これらの図からいずれの骨材を用いた場合でも, 空隙率が小さい方が各受音点での等価騒音レベルが小さくなっていることがわかる。

図-7, 図-8 および図-9 は, 各骨材を用

いた吸音壁について, ほぼ 90dB で発生させた 100~2000Hz の各周波数の音に対して, 受音点 1 と受音点 2 の間での等価騒音レベルの低減量を, 各目標空隙率で比較して示したものである。周波数によっては騒音低減量に差異はあるものの, 空隙率が小さい場合にやや騒音低減量が大きくなる傾向が見受けられる。なお周波数で見れば, 2000Hz 近傍を除けば, 周波数が増大するに伴って等価騒音レベルの低減量も大きくなる傾向にあることがわかる。

3.3 回折行路差の影響

発生騒音は, 吸音壁の高さを乗り越えて, すなわち回折して伝播していくため, 受音点 2~4 には回折音が到達すると考えられる。しかし壁がある場合には, ない場合に比べて音の伝播距離が長くなるため, その分だけ距離減衰効果が生じることとなる。そこで, 日本道路公団の遮音壁設計要領¹⁰⁾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-10 に, 受音点 2 における回折行路差による推定騒音低減量と, 同じく各骨材を用いた目標空隙率が 30%の吸音壁を設置して得られた, 受音点 2 での各周波数の音の騒音低減量とを比較して示す。上記要領による推定騒音低減量はほぼ 20dB であるのに対して, ぼらおよび石灰石を用いた場合の実測低減量は, 特に 630Hz 以下の比較的低い周波数域において 10dB 以下と小さくなっている。これは, 日本道路公団の要領で想定しているのは,

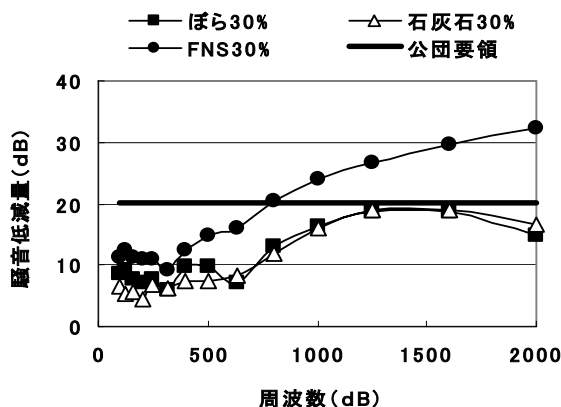


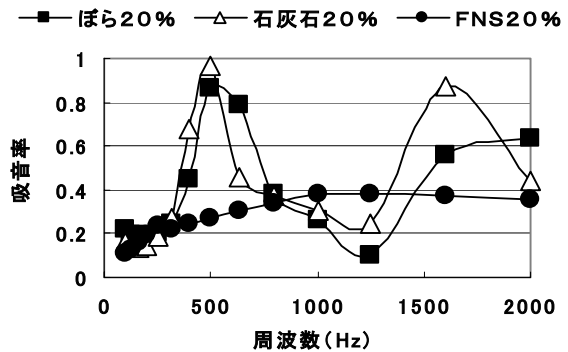
図-10 受音点 2 での騒音低減量と回折行路差による推定騒音低減量との比較

壁の内部が密実な遮音壁であるのに対して、実験で用いた壁は内部に多くの空隙を有するポーラスコンクリート壁であるため、入射音は回折音としてだけでなく、内部の空隙を透過する音としても伝播することによるものと考えられる。しかし、1000Hz以上の周波数になると等価騒音レベルの低減量が増大し、特に1250Hzや1600Hzの音は推定低減量とほぼ等しくなっていることから、これらの周波数の音に対しては吸音効果がもたらされていると判断できる。

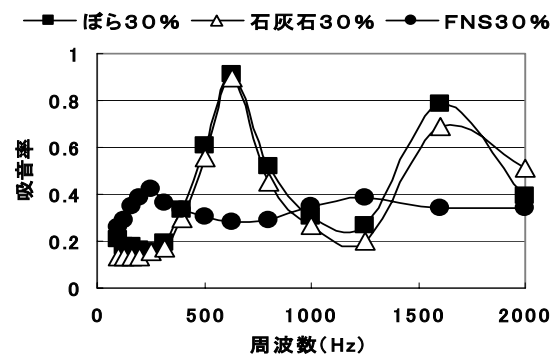
これに対してFNSを用いた場合には、630Hz以下の周波数の音に対しては推定騒音低減量を下回っているものの、周波数の増大に伴って騒音低減量も大きくなっている。特に1000Hz以上の周波数になると推定値を大きく上回っており、回折行路長の増大に伴う距離減衰効果に加えて、ぼらおよび石灰石を用いた場合よりも大きな吸音効果が生じているのではないかとと思われる結果となっている。

3.4 垂直入射吸音率と騒音低減量

吸音壁の騒音低減効果を検討したところ、周波数によって異なる傾向があることが実験から明らかとなった。そこで、壁供試体から約100mmの直径のコアを抜き取り、インピーダンス管による垂直入射吸音率試験¹¹⁾を行って、100~2000Hzの1/3オクターブバンドの周波数に対する吸音率を求めた。得られた結果を、目標空隙率別に各使用骨材の場合を比較して、**図—11**および**図—12**に示す。これらの図から、ぼらおよび石灰石を用いた場合には、2つの吸音ピークがあり、第1の吸音ピークは目標空隙率が20%の場合には500Hz、30%の場合には630Hzと空隙率が高いほど吸音ピーク周波数が大きくなっているが、第2の吸音ピーク周波数はいずれの場合でも1600Hzで同じとなっていることがわかる。これに対して、FNSを用いた場合には明瞭なピーク周波数は認められず、しかも吸音率も0.4程度以下の小さな値となっている。これは、ぼらおよび石灰石の粒径より



図—11 各骨材を用いたポーラスコンクリートの垂直入射吸音率（目標空隙率20%）



図—12 各骨材を用いたポーラスコンクリートの垂直入射吸音率（目標空隙率30%）

もFNSの粒径が小さいことによる空隙径の大きさの違いや、ぼらおよび石灰石を用いた場合の空隙率との相違が影響して、FNSの場合には異なった吸音性状となったものと思われる。

これらの垂直入射吸音性状を、吸音壁の各周波数に対する等価騒音レベルの低減量と比較してみれば、ぼらおよび石灰石を用いた場合、垂直入射吸音率の第1のピーク周波数である500Hzや630Hzにおいては、**図—7**~**図—9**からわかるように、それほど大きな等価騒音レベルの低下はみられない。これは、吸音率は空隙で実際に吸収される音のエネルギーに加えて、空隙を透過していく音のエネルギーも含めて表示されているため、これらの周波数の音は、吸音壁の空隙内部を透過して各受音点に到達することに起因するものと考えられる。これに対して、垂直入射吸音率の第2のピーク周波数である1600Hzにおいては、比較的大きな等価騒音レベルの低下量となっていることから、こ

の周波数の音は、ポーラスコンクリートの空隙を透過する比率は小さく、空隙内部で実際に吸収されているものと判断できる。

4. あとがき

本研究は、ポーラスコンクリート壁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) 使用骨材別にみると、FNS を用いた壁の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、実際の空隙率も他の骨材の場合より低めになった影響と思われる。
- (2) FNS を用いた場合、特に 1000HZ 以上の周波数に対して、回折行路差の影響を上回る騒音低減が生じていることから、FNS の吸音効果が高いといえる。
- (3) ぼらおよび石灰石を用いた壁の騒音低減効果が FNS ほど大きくないのは、これらの壁の内部空隙を音が透過する影響によるものと考えられる。
- (4) ぼらおよび石灰石を用いた場合の垂直入射吸音率は、500Hz 近傍で第 1 の吸音ピークが生じているが、この周波数域での壁の等価騒音レベルの低減量がそれほど大きくないことから、壁内部の空隙を音が透過する影響があると考えられる。
- (5) 同一骨材を使用した壁の空隙率の影響をみると、空隙率が小さい方が等価騒音レベルの減量は幾分大きくなる傾向が認められた。

謝辞

本研究の一部は文部科学省科学研究費（平成 14 年度～16 年度基盤研究(C)(2)）（課題番号：14550466）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報告集, 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報告集, 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報告集, Vol. 25, No. 1, pp. 1205-1210, 2003
- 9) 日本コンクリート工学協会：ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会報告書, pp. 179-180, 2003. 5
- 10) 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
- 11) 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)