

論文 ゴムチップを混合したコンクリートの騒音低減用吸音板の開発

高山 俊一*1・坪井 宏彰*2・桑原 厚二*3

要旨: コンクリート中にひじき状のゴムチップを混合し、車両による騒音を低減するためのコンクリート製吸音板の開発を行った。騒音の低減用吸音板としての効果を調べるため、コンクリート製箱型試験体を作製した。周波数の異なる 5 種類の音を騒音とみなし、コンクリート製箱型試験体中を伝搬させて音の強さを測定した。箱型試験体を利用することで、一般の実験室においても音の強さの試験が可能であることを明らかにした。さらに、ゴムチップ 30%混合したコンクリートは、吸音性に優れていることを示した。

キーワード: ゴムチップ, リサイクル, 騒音, 空隙率, ポーラスコンクリート

1. はじめに

年々増加する廃タイヤを有効利用するため、廃タイヤから切削したひじき状のゴムチップをコンクリートに混合し、道路交通騒音の低減用として吸音板の開発を行った。交通騒音の低減・防止に車両の廃タイヤを利用する点が本研究の特徴である。普通コンクリートにゴムチップを混合することにより、コンクリートが多孔質なポーラスコンクリートとなり、その点で吸音性が期待できるものと考えた。そこで、騒音の吸音性および遮音性を測定するために箱型コンクリート板を 7 種類（普通コンクリート、ポーラスコンクリート、ゴムチップ混合コンクリート 20%・30% (1m³ 中での容積量), 2 層ポーラスコンクリート, 2 層ゴムチップ混合コンクリート 20%・30%) を製作し、騒音の低減効果に及ぼすゴムチップの効果を調べた。

2. 実験概要

2.1 実験方法

表-1 に実験概要を示す。表-2 にコンクリートの配合を示す。試験に使用した箱型コンクリート板 (外側: 430×340×1000mm, 内側: 250×250×910mm, 厚さ 90mm) を表-2 のコン

表-1 実験概要

| 項目 | 内容 |
|---------------|--|
| コンクリートの種類 | ゴムチップ混合 20%、30% ポーラスコンクリート 普通コンクリートの 4 種類 |
| 試験体 | 箱形コンクリート板 外側: 430×340×1000mm 内側: 250×250×910mm 厚さ 90mm、薄い普通コンクリート厚さ 40mm ゴムチップ混合およびポーラスコンクリート厚さ 50mm |
| 音 | 雑音発生器 (SF-06) を使用 500Hz、1kHz、2kHz、4kHz および A p (混合周波数) 板の打撃音、大型バスの音 1.4kHz |
| 音の測定 | 騒音計 (NL-05、NL-15) |
| 測定場所 | 室内 (15×10m、高さ 7m) 屋外 (グラウンド) の 2 種類 |
| コンクリートの吸音率の測定 | 垂直入射吸音率測定 (JIS A1045) φ100×100mm の鋼管中にコンクリートを詰めて測定 7 種類 |

クリートで製作した。粗骨材(大)および粗骨材(小)は、最大寸法がそれぞれ 20mm, 13mm である。普通コンクリートで厚さ 90mm および 40mm のコンクリート箱を作製した。ゴムチップ混合およびポーラス各コンクリート箱は厚さ 50mm とした。ゴムチップ混合コンクリート箱およびポーラスコンクリート箱は内側に置き、その外側に厚さ 40mm の普通コンクリート板で覆う方法を 2 層板とした。表-3 にコンクリートの性質を示す。ポーラスコンクリートおよびゴムチップ混合コンクリートの空隙率は 20~25%

* 1 九州共立大学 工学部都市システム工学科教授 工博(正会員)

* 2 九州共立大学 工学部土木工学科

* 3 (株)USS 東洋 群馬工場長

表-2 コンクリートの配合

| コンクリートの種類 | 水セメント比 (%) | 空気空隙率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | |
|-----------|------------|-----------|--------------------------|-----|---------|---------|-------|--------|-------|
| | | | W | C | 粗骨材 (大) | 粗骨材 (小) | ゴムチップ | 石灰石 砕砂 | AE減水剤 |
| 普通 | 55 | 4% | 148 | 269 | 1064 | - | - | 866 | 0.807 |
| ポーラス | 30 | 20% | 90 | 300 | - | 1586 | - | - | 0.900 |
| ゴム20% | | | 383 | - | 987 | 220 | - | 1.150 | |
| ゴム30% | | | 115 | 383 | - | 715 | 330 | - | 1.150 |

表-3 コンクリートの性質

| コンクリートの種類 | 単位質量 (g/cm ³) | 圧縮強度 (N/mm ²) | 弾性係数 (10 ⁴ N/mm ²) | 空隙率 (%) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---|---------|
| 普通 | 2.33 | 29.4 | 3.18 | - |
| ポーラス | 2.02 | 20.8 | 2.18 | 20.9 |
| ゴム20% | 1.78 | 5.1 | 0.50 | 24.3 |
| ゴム30% | 1.54 | 1.8 | 0.29 | 25.0 |

表-4 ひじき状ゴムチップの性質

| 長さ (mm) | 幅 (mm) | 密度 (g/cm ³) |
|---------|---------|-------------------------|
| 16~27 | 2.7~5.5 | 1.1 |

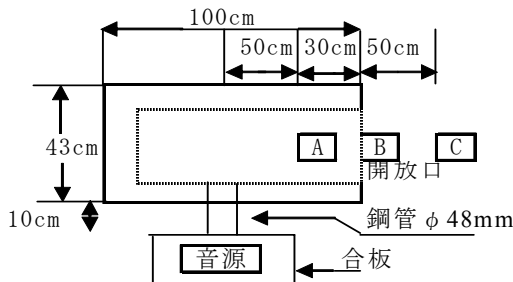


図-1 音源および受音点の位置

である。圧縮強度はゴムチップを混合することによって減少した。弾性係数はゴムチップの混合量が多いほど小さくなった。さらに、φ100×100mmの鋼管に表-2のコンクリートを詰めて7種類の試験体を造り、垂直入射吸音率測定(JIS A 1045)を行なった。表-4にひじき状ゴムチップの性質を示す。ゴムチップはひじきのように黒く、細長い形状をしている。

2.2 音源(騒音)の発生

雑音発生器(SF-06)によって500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHzおよびAp(前記の4種類の音の混合周波数)で発生した音を、カセットレコーダー(SD-FX200)のDVDで録音し、音源として使用した。測定は5回行い、平均値を測定値とした。この場合、音源は全て103.0dBとなるように調整した。ちなみに約103dBは幹線道路で大型トラックやバスが発する音である。図

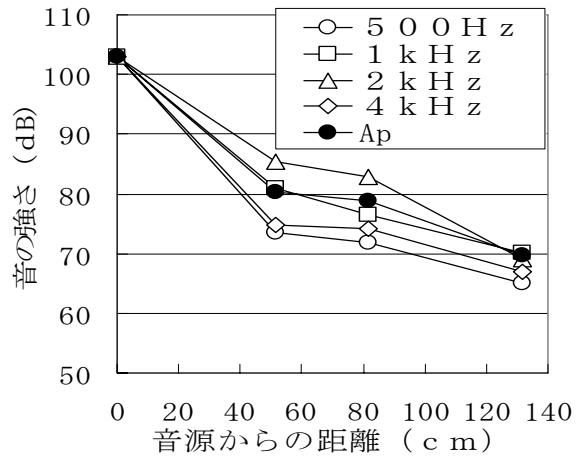


図-2 ポーラスコンクリート板での音の減少 (室内, 気温: 25°C)

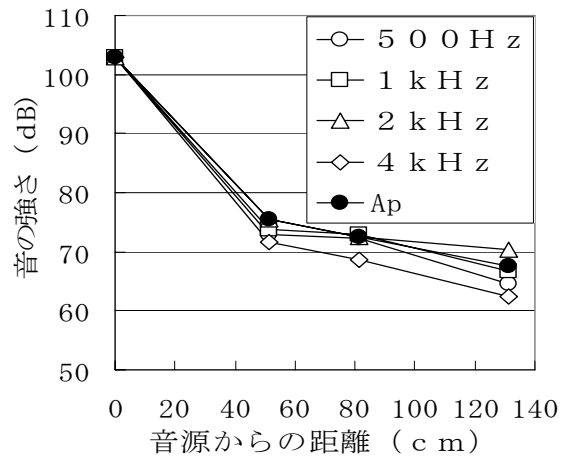


図-3 ポーラスコンクリート板での音の減少 (屋外, 気温: 26°C, 微風)

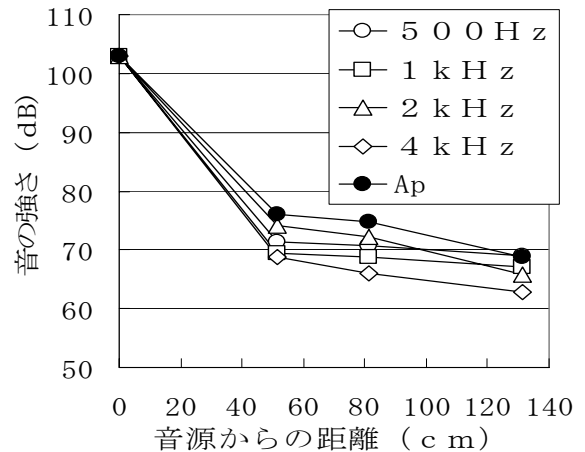


図-4 ポーラスコンクリート2層板での音の減少 (室内, 気温: 25°C)

-1に示す位置を音源および受音点(A, BおよびC, 騒音計NL-05・NL-15)とし、音源が鋼管(φ48mm, 長さ100mm)を通じてコン

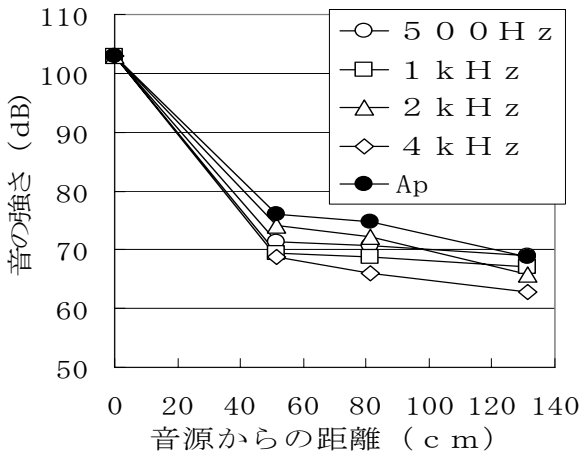


図-5 ポーラスコンクリート2層板での音の減少（屋外，気温：26°C，微風）

クリート箱に伝播するようし，騒音計は高さ100mmの木製の台の上に置いて測定した。測定場所は室内および屋外(周囲になにも無い広いグラウンド)の2箇所で行った。室内とは(横15m×奥行10m×高さ7m)の実験室であり，シャッター(幅4m×高さ5m)を開けて実験を行った。試験体の開放口は，開けられたシャッターの方向に向いている。これまでの平板を利用した実験で，室内で音の変化を調べた場合，一部に周囲の壁，シャッターおよび窓からの反響音が混合した音を測定したと推察されるものがみられた。そこで，本研究で使用している箱型試験体は，周囲の反響音の影響を受けることなく，無響音室での実験と同様な測定が可能であるか検討してみた。今回は大型の無響音室での実験室に代わり，屋外で周囲に反響する物体が無い広いグラウンドでの実験を行った。グラウンドでの実験では，コンクリートから拡散した音が反響して音を乱すことがないものとする。

3. 結果および考察

3.1 室内および屋外での音の強さの違い

図-2(室内)および図-3(屋外)はポーラスコンクリート箱のみによる音の強さの減少を示す。図-3の屋外の場合，ポーラスコンクリートの空隙から通過した音は四方に拡散し，騒

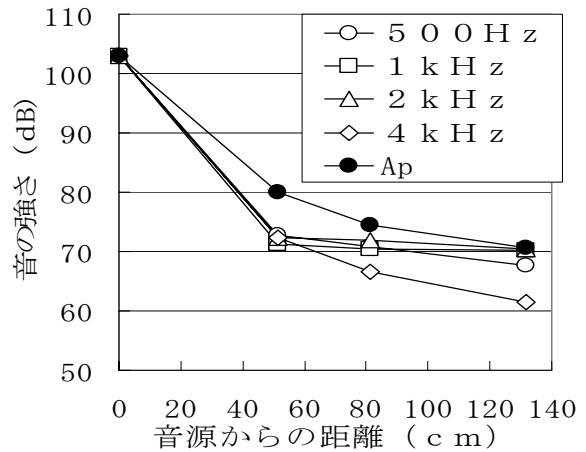


図-6 ゴムチップ20%混合コンクリート2層板での音の減少（室内，気温：25°C）

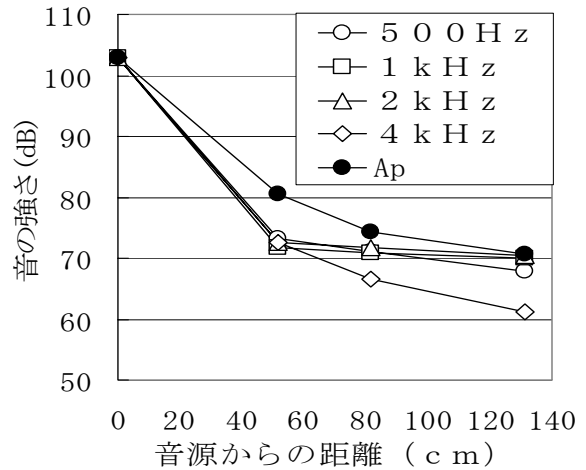


図-7 ゴムチップ20%混合コンクリート2層板での音の減少（屋外，気温：26°C，微風）

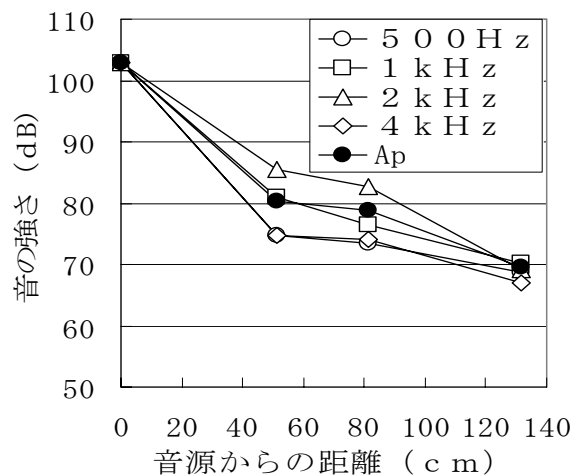


図-8 普通コンクリート板(厚さ4cm)による音の減少（室内，気温：25°C）

音計で測定された音は，箱の中を伝播した音のみであるとする。室内であれば，ポーラスコ

ンクリートの空隙を通った音は、周囲の壁に反射し、内部を伝わった音と重なったことが考えられる。図-2の室内での受音点50cmおよび80cmの場合、周波数1kHz、2kHzおよびAp(混合音)の室内での音は屋外(図-3)でのそれに比べて約5~10dB大きくなっている。この大きくなった音は、周囲からの反響音に因るものと考ええる。

図-4および図-5は、ポーラスコンクリート箱に普通コンクリート箱を重ねた2層板で測定した結果である。両図は極めて類似した結果を示している。このことから、水密性に優れている普通コンクリート板を重ねることにより、ポーラスコンクリートを通過した音も、普通コンクリートで遮断されたものと考ええる。

図-6および図-7にゴムチップ20%コンクリート2層板の場合の室内および屋外での音の強さの変化を示す。両図の結果は、全く同じと言ってもよいほど類似している。このことは、2層板とすることで、空隙の多いポーラスコンクリート板およびゴムチップ混合コンクリート板でも、音は普通コンクリート板に遮断され、箱内に伝搬した音のみが測定されることになるためだと考えられる。ゴムチップコンクリートおよびポーラスコンクリート2層板箱を使用した音の測定は、グラウンドのように広い場所でない狭い室内の実験でも周囲の壁の影響を受けることなく十分可能であることが実証できたものと考ええる。以上のことから、本研究のように箱型試験体を用いることで、音の減少の測定が室内で十分可能であるものと考ええる。

図-8および図-9は普通コンクリート板の厚さが異なる場合の音の強さの変化を示す。両図を比較すると、コンクリートの厚さの大きい板(厚さ9cm)が、音の減少が小さい傾向を示している。特に、音源から50cmでの受音点では2kHz(△印)、Ap(●印)、500Hzおよび4kHzの場合に、厚さ9cmのコンクリート板での音の強さが90dB、85dBおよび80dBであり、厚さ4cmのコンクリート板のそれに比べ、音の減少

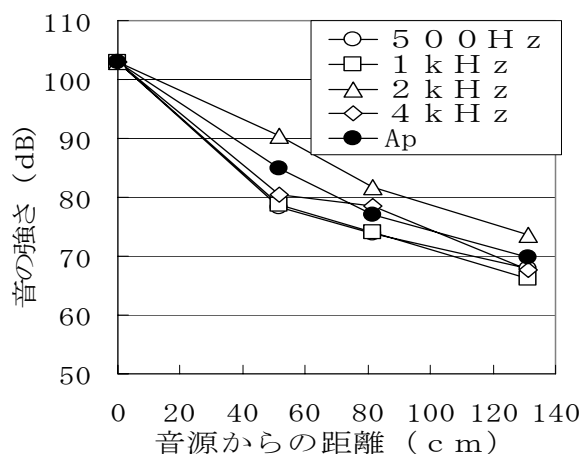


図-9 普通コンクリート板(厚さ9cm)での音の減少(室内、気温:25℃)

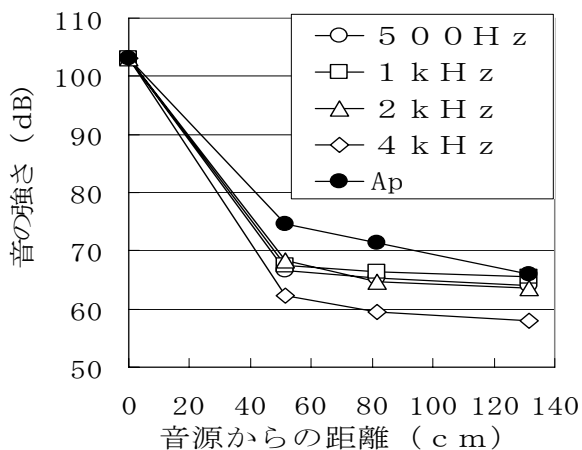


図-10 ゴムチップ30%混合コンクリート2層板での音の減少(室内、気温:25℃)

量が約5dBほどに過ぎない。受音点80cmの場合でも、厚さの大きなコンクリート(図-9)の場合、図-8に比べて2~3dBほど音が大きいものと考ええる。この音の強さの差は、コンクリート自体の厚さの違いに因るものと考ええる。すなわち、これまで言われたように、水密性に優れた普通コンクリートでは厚さが大きいほど音を拡散しないことが実証されたものと考ええる。

2層コンクリート板の図-4(ポーラスコンクリート)、図-6(ゴムチップ20%)および図-10(ゴムチップ30%)で音の強さを比較する。ゴムチップ30%混合コンクリート2層板の音の減少が最大となっている。ゴムチップ20%混合コンクリート2層板とポーラスコンクリート2層板を比べると、受音点50cmではポーラ

スコンクリート2層板が若干音の強さの減少が大きいようである。受音点80cmでは、両者はほぼ同程度の音の強さを示している。音の種類ではいずれのコンクリートでもAp(混合音)の音の減少が最も小さい。逆に、周波数4kHzの音は受音点50cmで約62dB、受音点80cmで約60dBとなり、他の2種類のコンクリートの場合に比べ、受音点50cmで6~10dB、受音点80cmで5~6dB小さくなっている。ゴムチップ混合コンクリート2層板では500Hz、1kHzおよび2kHzはほぼ同程度の音の減少傾向を示している。以上のように、ゴムチップ30%混合コンクリート製試験体の場合に、音の強さの減少が大きくなった理由としては、ゴムチップが30%もの多量の混合に因るものと考えられる。

音の反響および吸音性に関する主な要因は、コンクリートの弾性係数、空隙率、表面の性状および単位質量などが挙げられる。ゴムチップ30%混合コンクリートは弾性係数が小さく、空隙率が最大の25%を示しているため、他の2種類のコンクリートに比べ、吸音性に優れた結果を示したものと考えられる。ゴムチップ20%混合コンクリート2層板ではAp(混合音)を除き、受音点50cmまでほぼ全ての周波数の音が約72dBの同一の音を示した。ポーラスコンクリート2層板では室内(図-4)および屋外(図-5)の両者で、周波数毎に異なった音の減少傾向を示した。ゴムチップ20%混合コンクリートとポーラスコンクリートの違いは、弾性係数および表面の性状である。ゴムチップ混合コンクリートではゴムチップ自体の影響により、ポーラスコンクリートの表面に比べて軟らかくなっているものと考えられる。この弾性係数および表面性状の差異が、音の周波数の反響に影響したものと推察する。以上のことから、ゴムチップ混合コンクリートは周波数4kHzのように高い音に対し、著しい吸音性を示すものと考えられる。また、ゴムチップの混合量が30%と多くなると、音の性質にかかわらず音の減少量が大きくなるものと考えられる。

3.2 騒音の低減量と吸音率

図-2~図-10までの測定結果と各種コンクリートの吸音率(垂直入射吸音率の測定結果¹⁾)の関係を調べるため、図-11~図-14に音の低減量および吸音率と音の周波数の関係を示す。一般に、普通コンクリートは水密性に優れているために音を遮断し、防音壁としての効果がある。図-11に示されているように、普通コンクリート板での吸音率(図中の●印)は著しく小さく約30%以下である。他方、図-12~図-14によるとゴムチップ混合コンクリート2層板およびポーラスコンクリート2層板での吸音率が、最大で80%および98%にも達している。すなわち、普通コンクリート板は音を吸収する性能は極めて小さいものと考えられる。そのため、図-11によると受音点50cmおよび80cmでの音の低減量(図中の○印、□印)は、500Hzおよび1kHzの場合に約24dBおよび約29dBと小さいものと考えられる。高い音の2kHzでは、さらに吸音率が小さく、音の低減量は約13dBおよび約22dBと極めて小さい。これから、普通コンクリート板箱内では、入力した音はコンクリート壁で吸収されることなく箱の開放口へと伝搬するものと考えられる。図-12および図-13でのゴムチップ混合コンクリート2層板での吸音率は、周波数750~800Hzで最大値98%(ゴムチップ30%)および80%(ゴムチップ20%)を示した。約1kHzまで60~70%の大きい吸音率であった。普通コンクリート(図-11)に比べ、極めて大きい吸音率を示しているものと考えられる。図-14のポーラスコンクリート2層板での吸音率は、最大値が1250Hzで約80%であり、1~1.6kHzで約60%である。ポーラスコンクリート2層板ではゴムチップ混合コンクリート2層板と比べ、吸音率の最大値の音の周波数が約600Hz移動している。受音点50cmおよび80cmでの音の低減量は、ゴムチップ30%混合コンクリート2層板が35~36dBおよび37~38dBであり、ゴムチップ20%混合コンクリート2層板およびポーラスコンクリート板が30~33dBおよび31~34dBであ

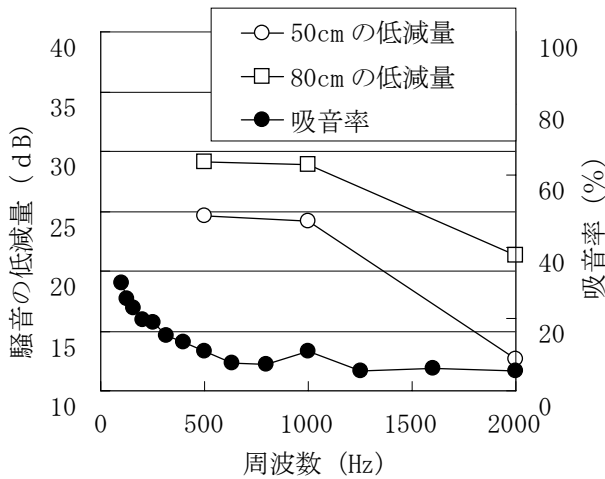


図-11 普通コンクリート板による低減量と吸音率

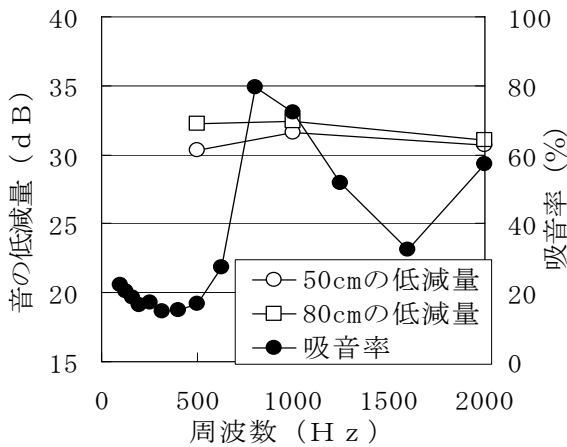


図-12 ゴムチップ20%混合コンクリート2層板による低減量と吸音率

り、ゴムチップ30%混合コンクリート2層板の場合が最も大きくなっている。ゴムチップ30%混合コンクリート2層板の吸音率が800Hzで約98%であるので、箱型試験体による音の低減量は、吸音率との関係が存在するものと考え。今後細かい周波数毎で音の低減量を測定すれば、さらに明白な傾向が明らかになるものと考え。

4. まとめ

本研究によって得られた事をまとめて記す。

- (1)著者らが提案した2層コンクリートの箱型試験体は箱の中を伝搬した音が室内と屋外で極めて類似した結果が得られた。したがって、この箱型試験体使用すれば、一般の室内で騒音の測定が可能であるものと考え。

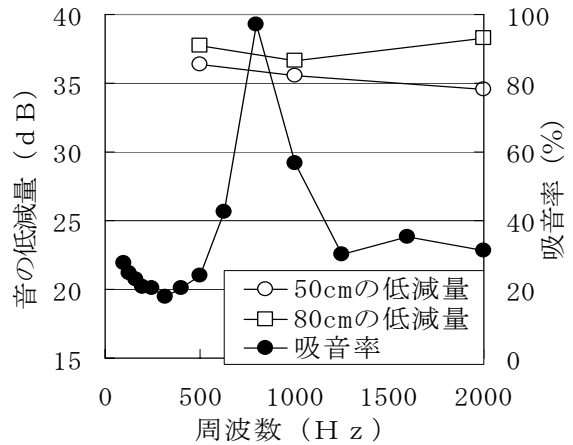


図-13 ゴムチップ30%混合コンクリート2層板による低減量と吸音率

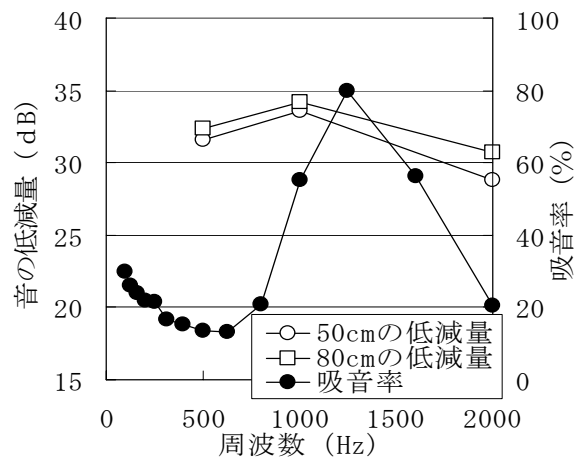


図-14 ポーラスコンクリート2層板による低減量と吸音率

- (2)ゴムチップ30%混合した2層コンクリート板は、ポーラスコンクリート2層板に比べても吸音性に優れていることが明らかになった。
- (3)箱型試験体での測定結果と垂直入射吸音率測定によって得られた結果との関係は強いものとは言えない。今後、細かい周波数毎で音の低減率を測定すれば、本研究結果と吸音率の関係が明らかになるものと考え。

参考文献

- 1) 高山俊一他 2名：ゴムチップをコンクリートに混合した板の低減効果，土木学会第61回年次学術講演会講演集V-456, pp.907~908, 2006.9