

天井用調湿木炭による床衝撃音低減効果に関する検討*

◎中森俊介, 吉村純一(小林理研), △浅沼友光(出雲土建), 井上勝夫(日大理工)

1 はじめに

断熱や遮音の要求により、住宅の気密性が高まっている。一方、屋内にはコンクリートやフローリングなど、調湿能力の少ない建築材料が使われるが多く、室内で発生した水蒸気が仕上げ材や什器等へ吸収、または室外へ放散されにくくなってしまいカビ、ダニの発生および結露の原因となっている。

この対策として、従来より調湿能力をもつ木炭を利用する事が考案^[1,2]されており、床下や吊り天井の空気層内にこれを敷設した場合の床衝撃音遮断性能の向上が期待されている。ここでは天井空気層内への調湿木炭敷設による床衝撃音の低減効果およびそのメカニズムについて検討を行った。

2 調湿木炭と天井構造について

使用した調湿木炭(以下、木炭)は、チップ化した木材(スギ、マツ、ヒノキなどの針葉樹)を炭化炉にて約800℃に加熱し、炭化させたものである。天井内に敷設する際、粉が飛散しないよう45cm角の透湿性の袋に約15gずつ詰めて使用される。製品の物性値をTable 1に示す。

天井の下地構造は軽鉄および木軸で構成され、スラブから吊りボルトで支持した。軽鉄、木軸とも野縁(板野縁)を227mmピッチで架け、その上に木炭の袋を隙間なく敷き詰めた。天井のボードは調湿効率を考慮して有孔ボード($\phi=6, 8, 10\text{ mm}$)の3種類の孔、裏面張

り紙)を使用した。木軸の場合は下地を壁に固定した。天井の断面図をFig. 1に示す。

Table 1 調湿木炭(天井用)の物性値

粒度分布 (直径)	2.36 mm 以下…34.5% 2.36~4.75 mm…46.5% 4.75~9.5 mm…19%
炭素率	93 %以上
細孔分布	0.05~0.25 μm
比表面積	240 m ² /mg
熱伝導率	0.077 W/(m·K)
嵩密度	0.15 kg/ℓ
敷設時の1 m ² あたりの重量	11~13 kg
敷設時の厚さ	8 cm

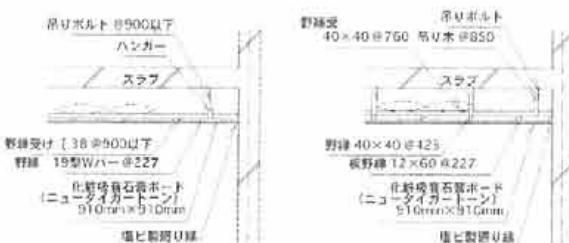


Fig. 1 天井下地断面詳細図(軽鉄および木軸)

3 現場調査の床衝撃音遮断性能低減量

木炭による床衝撃音の低減効果(木炭有無の比較)を測定した建物は3棟で各2室を対象とした。Table 2に現場の条件を示す。A-1、A-2およびB-1、B-2は同一プランであるが、A-1は木炭の有無にかかわらず対象室以外にも天井内に木炭が敷設されている。A-2については対象室の天井のみ、木炭を敷設した。B-1とB-2では下地構造が異なっている。

Table 2 対象室の測定条件一覧

室名	スラブ厚 mm	面積 m ²	梁拘束 (辺)	天井 下地	天井仕上げ高(ボード厚) mm	音源室床仕上げ
A-1	180	9	2	軽鉄	200 (9.5)	二重床
A-2	180	9	2	軽鉄	200 (9.5)	二重床
B-1	210	9	2	軽鉄	380 (9.5)	ビニル床シート
B-2	210	9	2	木軸	380 (9.5)	ビニル床シート
C-1	275 ポイド	12	2	軽鉄	300 (9.5)	なし
C-2	300 ポイド	14	2	軽鉄	300 (9.5)	なし

* Study on improvement of floor impact sound from ceilings using charcoal chips for the purpose of indoor humidity control, by NAKAMORI, Shunsuke, YOSHIMURA, Junichi (Kobayashi Institute of Physical Research), ASANUMA, Tomomitsu (Izumo Doken Corp.) and INOUE, Katsuo (College of Science and Technology, Nihon Univ.).

測定はJIS A 1418-1および-2に準じて行った。1例としてA-2の床衝撃音レベルの測定結果をFig. 2に示す。各測定周波数のほかJIS A 1419-2の附属書1に規定される等級曲線より求めた評価値(L数^[3])も表示した。重量(タイヤ)、軽量とも63 Hz、125 Hzを中心とした低減効果があらわれていることが確認できる。しかし、高い周波数領域では低減効果が小さくなり、天井より壁からの放射音の寄与が大きくなつたためと考えられる。

対象室について木炭敷設による床衝撃音の低減量を求め、重量の場合をFig. 3に軽量の場合をFig. 4に示す。ここで低減量とは木炭なしの結果より木炭ありの結果を差し引いたものである。これより63 Hz、125 Hzに低減量のピークがあり、その結果、重量床衝撃音の評価値で約3 dBの改善がみられた。軽量床衝撃音については決定周波数帯域での改善が小さく、約1 dBの改善であった。

4 実験室における要因調査

前項で得られた低減作用のメカニズムを解明するため、木炭敷設に伴つて影響を受ける要因をあげ、項目ごとに実験室等で検討を行つた。

4.1 木炭の吸音特性

天井空気層内で木炭による吸音作用を考慮し、JIS A 1405-2の附属書Bに従い、音響管(内径100 mm)を用いた垂直入射吸音率(剛壁密着)を測定した。嵩密度(粒子サイズ)、積層厚、透湿性の袋の影響について測定結果

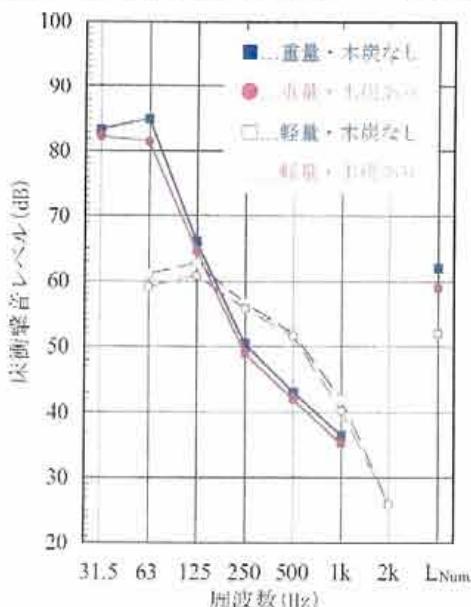


Fig. 2 床衝撃音レベル測定結果 (A-2)

をFig. 5に示す。試験装置の測定周波数範囲から2 kHz以上のデータは参考値とした。

この結果より、細かさの限度はあるが粒子が小さく、嵩密度が大きいほど吸音率は大きくなり、積層厚が大きいほど吸音率のピークが低い周波数にシフトする。透湿性の袋に入れることでさらにピークが低周波数域にシフ

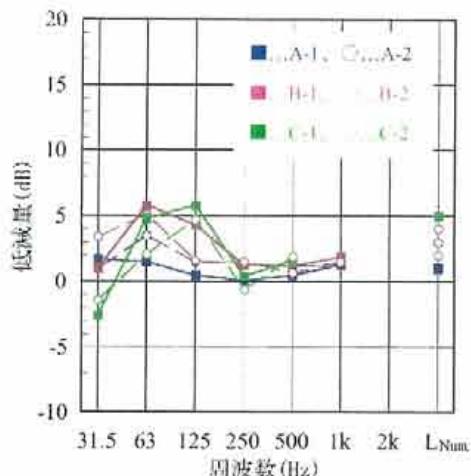


Fig. 3 床衝撃音レベル低減量 (重量)

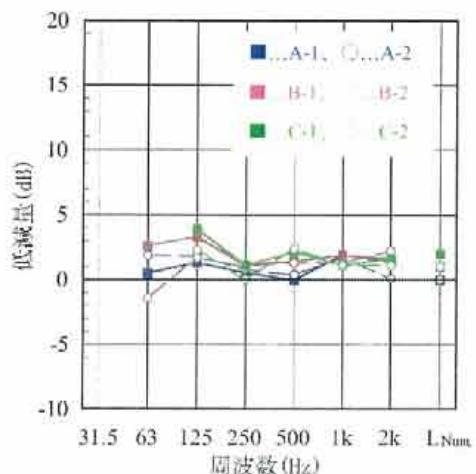


Fig. 4 床衝撃音レベル低減量 (軽量)

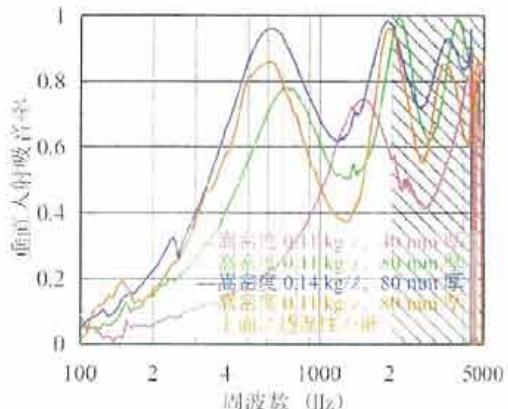


Fig. 5 垂直入射吸音率の測定結果

トしている。しかし、低周波数域での吸音特性から推察すると、今回の使用条件では重量衝撃音に有効な 100 Hz 以下の吸音性能はさほど大きくなかったことがわかった。

4.2 質量の付加

木炭が敷設されることで、1 m²あたり約 11 kg の質量付加となる。これは天井ボードの厚さが 3 倍になったときの重量にほぼ等しい。そこでボード厚が 30 mm となるようにせつこうボードを増張りし、木炭ありの場合と比較した。

測定は Fig. 6 に示す JIS A 1440-1 附属書 C および 2 附属書 JC に規定される実験室（スラブ厚 150 および 200 mm）で行った。受音室内に実建物と同様に吊り天井（仕上げ高 200 および 300 mm）を 20 m² 施工した。上階のスラブ素面を衝撃し、衝撃位置は 2 辺拘束となる 10m² 部分を対象とした。ここでは実建物において低減効果のあった重量（タイヤ）衝撃時（スラブ厚 150 mm、増張り前の仕上げ高 200 mm）のデータについて紹介する。

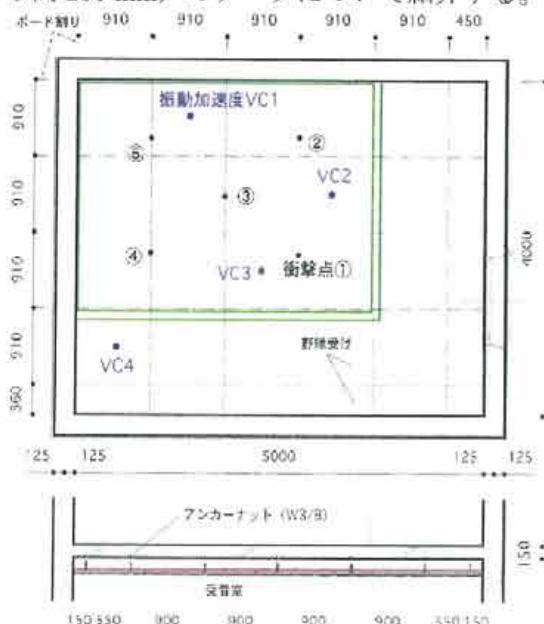


Fig. 6 実験室の測定概要 (150 mm スラブ)

床衝撃音レベル低減量（木炭なしの床衝撃音からのレベル差）の結果を Fig. 7 に示す。木炭ありの場合は 63 Hz から低減効果がみられるのに対し、ボード厚 30 mm の場合は 250 Hz 以降で低減効果となっており、木炭ありの場合の値をいずれの帯域でも下回っている。したがって低減の要因は質量付加の効果だけとは言いたい。

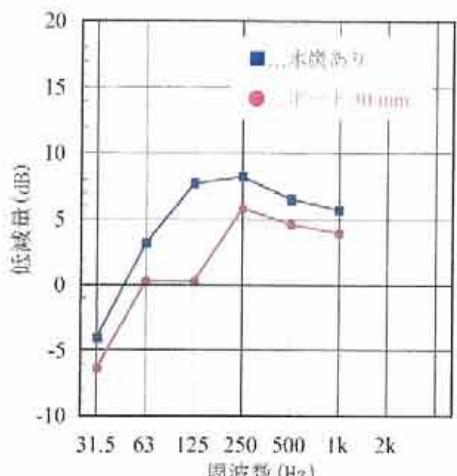


Fig. 7 床衝撃音レベル低減量 (重量)

4.3 ボードの制振作用

木炭の敷設前後において主たる放射面である天井ボードの振動加速度および損失係数について比較した。

振動加速度レベルの測定は、実験室および実建物において行った。実験室については 200 mm 厚のスラブに施工した仕上げ高 200 mm (LAB1) および 300 mm (LAB2) とし、Fig. 6 に示す VC1～VC4 のエネルギー平均値、実建物については B-1 および B-2 の天井を 400 mm ピッチで区切った計 54 点のエネルギー平均値とした。衝撃源は JIS A 1418-2 の附属書に規定される衝撃力特性 2 をもつゴムボールを用い上階スラブを衝撃した。木炭の有無による効果を比較するため、低減量（木炭なし時の振動加速度からのレベル差）を算出し Fig. 8 に示す。

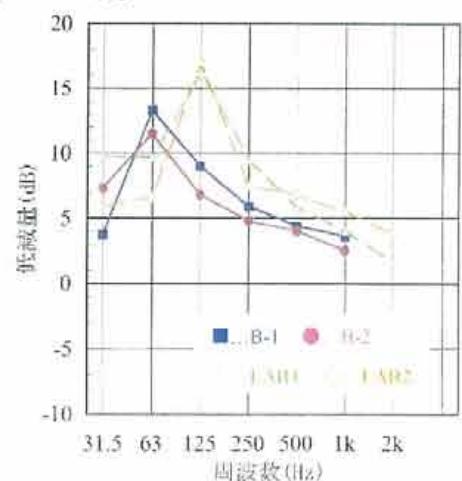


Fig. 8 振動加速度レベルの低減量

天井の空気層等が異なるため、低減量のピークがあらわれる周波数帯域は異なるが実験室と実建物のいずれの場合も 63 および 125

Hz 帯域にピークを生じ、低減量が大きい。周波数が高くなるにつれ、低減量は小さくなっている。この傾向は重量床衝撃音の低減に有効に作用する可能性を示している。

B-1 および B-2 において、プラスチックハンマーで天井ボード面を加振した際の任意の測定点（8箇所）における振動加速度の減衰波形を 1/3 オクターブバンドごとに記録した。それぞれの波形からインパルス応答積分法により、残響時間 $T(s)$ を求め、次式を用いて損失係数 η を算出した。

$$\eta = \frac{2.2}{T \cdot f} \quad (\text{ただし, } f: \text{中心周波数(Hz)})$$

測定周波数範囲は、1/3 オクターブバンドの 25~315 Hz 帯域とし、各天井条件において加振点および測定点位置は共通とした。測定点 8 箇所における損失係数の算術平均値および標準偏差（エラーバー： $\pm \sigma$ ）を求め Fig. 9 に示す。この結果より、木炭なしの場合は、下地や周辺処理の影響により標準偏差が大きく、木軸下地である B-2 の損失係数が大きい。木炭ありの場合は下地によらず概ね $\eta=0.1$ 程度である。特に 63~200 Hz で軽鉄下地 (B-1) では損失係数が約 4 倍、木軸下地 (B-2) では約 2 倍となっており、木炭による内部減衰効果が増加していることがわかる。

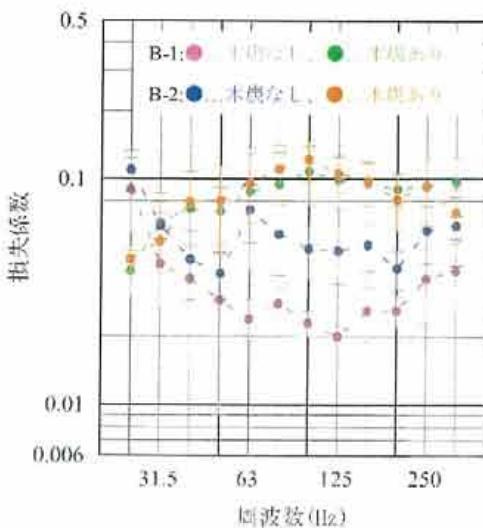


Fig. 9 天井ボードの損失係数

4.4 天井の空気音遮断性能

スラブ下面から放射された衝撃音に対し、天井の空気音遮断性能も作用していると考えられる。上下残響室間の 2 m 角の開口に天井構造（下地およびボード）を 4 m^3 施工し、音

響透過損失の測定を行った。天井構造のみと木炭を敷設した場合の測定結果を Fig. 10 に示す。下地を除く面密度より求めた質量則による値も示した。

ボードと開口部との取合い部および目地の隙間はガムテープで処理しているが、ボードには孔があいており、炭を敷設することにより隙間が少なくなるため、高周波数域ほど遮音性能のありなしの差が大きくなっている。125~250 Hz ではほぼ質量則どおりの音響透過損失の差(5~6 dB)が生じている。ただし、実際の衝撃では下地からの固体音の影響もあるため、空気音の影響のみを分離して考えることは難しい。

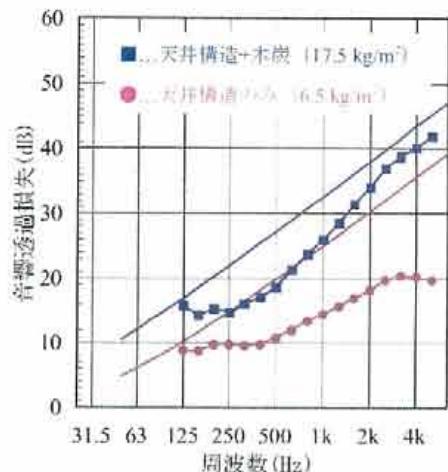


Fig. 10 音響透過損失の測定結果

5 まとめ

調湿木炭を吊り天井の空気層内に敷設することにより、特に重量床衝撃音遮断性能を低減できることが確認された。低減メカニズムについてはさらに詳細な検討を進める必要があるが、木炭により天井ボードの振動に対する内部減衰が有効に作用しているものと考えられる。この作用はボードの共振領域で効力が発揮されるため、天井の仕様が大きく影響する。スラブの固有周波数との関係など現場条件との関係についても詳細に検討する必要がある。

参考文献

- [1] 中井, 大谷, 石飛, 松岡, 「山陰地域における東石工法ならびに布基礎工法の住宅床下の木炭敷設による環境変化の実測」, 日建学大会講演 D-2, 393-394, 2006.
- [2] 石飛, 「建築廃木材による床下調湿木炭開発の現状」, 第 56 回日本木材学会研究発表会要集, 140-144, 2006.
- [3] 日本建築学会編, 「建築物の遮音性能基準と設計指針」, 技報堂出版, 1999.