

実大改良ボイドスラブの床衝撃音および空気音遮断性能実験

The experiment on the sound insulation of the improved rectangular void slabs in the real collective housing

藪下 満——*1 川窪七教——*2 堀内秀樹——*3
小山正豪——*4 鍵谷 勝——*5

Mitsuru YABUSHITA *1 Shichinori KAWAKUBO*2
Hideki HORIUCHI*3 Masahide OYAMA*4
Masaru KAGIYA*5

キーワード：
ハーフプレキャストコンクリート、ボイドスラブ、大型スラブ、改良ボイドスラブ、床衝撃音遮断性能、空気音遮断性能

We have been trying to improve the floor impact sound insulation of heavy-weight impact source of half PCa rectangular void slabs by making voids in the slabs to lighten the weight of slabs in spite of increasing the thickness of the slabs. However due to the resonance phenomenon of the thin concrete plates of the upper and lower parts of the voids, the rise of sound pressure at 1000Hz was recognized especially in light impact sound level, and in order to control the rise, we have made many experiments using small models of void slabs. This time we produced four types' slabs of life size models including standard rectangular voids and made experiments to confirm the effect, installing the voids to the existing floor of the collective housing. The best result was recognized in the case that the improved voids were shocked on the bare concrete and vinyl sheet finishing by the light impact source, but we could not get clear differences in the case of sound proof floorings or dry processed double floor finishing.

Keywords:
Half Pre-cast Concrete, Void Slab, Large-span slab without beam
Improved rectangular void slabs, Floor impact sound insulation
Airborne sound insulation

1. はじめに

ハーフプレキャストコンクリート矩形中空スラブは、EPS (Expanded-Polystyrene) ボイド型枠を内蔵し軽量化したスラブ(以下ボイドスラブ)で、均質スラブよりも厚みをもたせることができ、スラブの高剛性化と大型化が実現できた。そのため重量床衝撃音遮断性能も向上させたスラブとして集合住宅で小梁のない大型スラブとしてよく用いられている。しかしこのボイドスラブは均質スラブに比べ、スラブ素面を軽量衝撃源で打撃した場合に、1kHz 帯域において5~10dB 音圧レベルが大きくなる。これはスラブに内蔵された矩形中空部上下の薄肉コンクリート部が、1kHz 帯域で共振を起こすためである^{既報5)}。我々は、この共振現象を改善するための一連の研究・実験を行ってきた^{既報1)~7)}。今回はこれまでの結果を踏まえて、実物の集合住宅において、改良したボイドスラブを施工し、軽量・重量床衝撃音と空気音遮断性能の実験を行ったので、これを報告する。

2. 実験目的

改良ボイドスラブの改善効果が、床衝撃音遮断性能ならびに空気音遮断性能において適切に得られているか、実物の集合住宅において確認を行うことが本実験の目的である。

3. 実験項目

試験したスラブは、内蔵されるボイド型枠形状が各々異なる厚さ280mmのボイドスラブで、標準ボイドおよび改良ボイドスラブ3種類(以下改良ボイド、)の計4種類である。図-1にボイド型枠1ユニット分の形状を示す。実験を行った住戸(図-2)は、3階および4階の床で、同一プラン同一条件で上下階が同種のスラブになるように、住戸毎に各種ボイドを内蔵したスラブが施工されている。

測定項目は、床衝撃音遮断性能と空気音遮断性能の2項目で、工事時の測定は、図-3に示す個室1で行ったが、竣工時には本設の天

井折り返し断熱のある北側の個室2でも空気音遮断性能を測定した。天井は工事中はコンクリート素面、竣工時はクロス直張りである。

床衝撃音遮断性能実験は、まず工事中に、スラブ素面とカタログ値 L_{L-50} (スラブ厚150mm残響室から求められた推定値)の直張遮音フローリング(接着張り)及び厚さ2.3mmの長尺塩ビシート直置き³⁾の3タイプで測定を行った。竣工時は、二重床(パーティクルボード25mm、フローリング12mm、端部は木製際根太)に加え、ユニットバスの洗い場にタッピングマシンを設置し階下の個室1で受音する実験も行った(水回り部は170mm厚ハーフプレキャストコンクリートスラブ、天井面はフラット、図-3参照)。この実験では、下階個室1の天井面のスラブが、放射音にもたらず違いを検討した。

空気音遮断性能実験は、工事中に個室1にて、天井折り返し断熱材(押出法ポリスチレンフォーム保温板裏打ちパネル直張り工法:一般名S1工法)の面積を変化させ(図-4参照)測定した。竣工後、この断熱材のある個室2と無い個室1で、二重床での測定を行った。

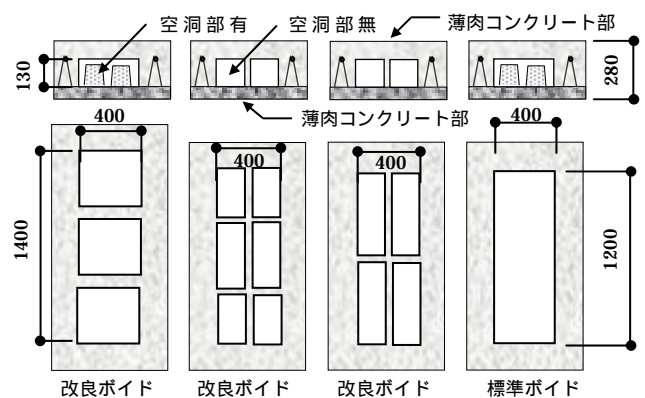


図-1 ボイド型枠の形状

*1 YAB 建築・音響設計 取締役社長
(〒231-0015 神奈川県横浜市中央区尾上町 3-43-401)
*2 都市再生機構
*3 日本カイザー 技術部 副課長
*4 積水化成品工業 建設資材事業部 参事
*5 油化三昌建材 開発部長

*1 President, YAB Corporation,
*2 Urban Renaissance Agency
*3 Chief Engineer, Nihon Kaiser Corporation
*4 Assistant General Manager Sekisui-Plastics Corporation
*5 General Manager Yuka-Sansho-Kenzai Corporation

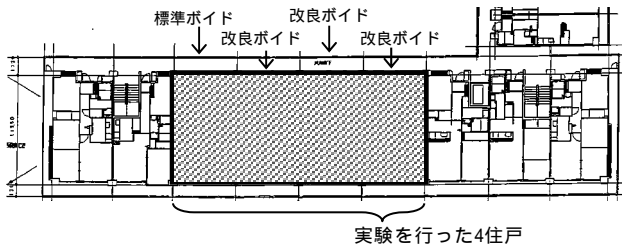


図 - 2 住棟平面図

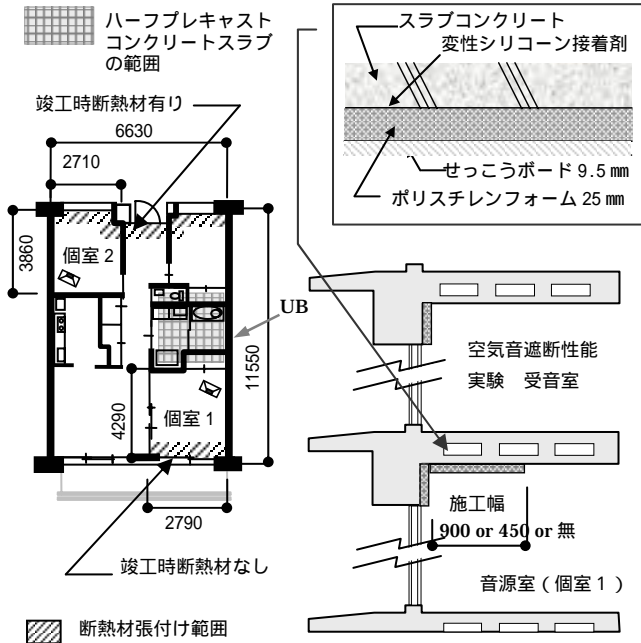


図 - 3 住戸平面図

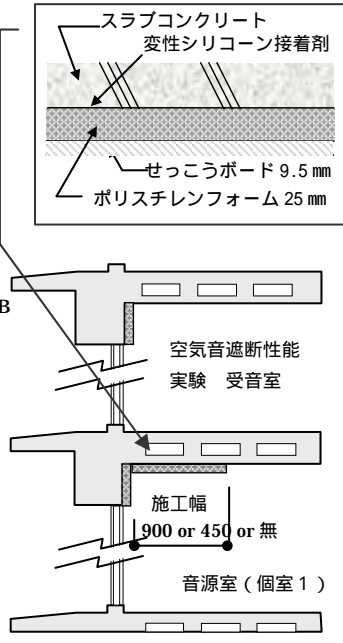


図 - 4 空気音遮断性能測定状況

4. 床衝撃音遮断性能ならびに空気音遮断性能の実験方法

4.1 床衝撃音遮断性能実験方法

軽量衝撃源はタッピングマシン (FI-01 リオン社製) 重量衝撃源はバングマシン (サツキ製作所社製) である。音源室の中心部と対角線上に打撃点 5 点 (標準 5 点) を設定し、階下も同様に 5 点で受音した。また、標準 5 点に近い位置にあるボイド部の直上にあたる 5 箇所 (ボイド中央 5 点) に打撃点を設ける場合も行った (図-5 のタッピングマシンで図示)。その場合、タッピングマシンはボイド部の対角線方向に向けて設置した。受音点のマイク高さは、図 - 5 に示す番号順にそれぞれ床から R1:1.6m、R2:1.4m、R3:1.2m、R4:1.0m、R5:0.8m とし、精密騒音計 (NA-27 リオン社製) で受音した。

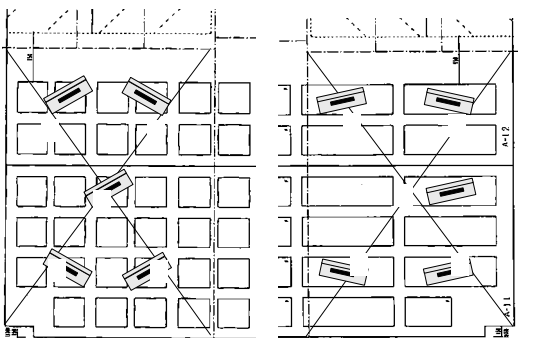


図 - 5 ボイドスラブ打撃点 (標準、ボイド中央 5 点)

軽量床衝撃音測定は、周波数重み特性 F 特性、時間重み特性 F 特性で受音し、6 秒間の等価音圧レベルを測定した。床衝撃音レベルの算出は、音源位置別に全測定点のデータをエネルギー平均し、音源位置毎 5 個のエネルギー平均値を算術平均した。

重量床衝撃音測定は、打撃点、受音点ならびに受音点高さは軽量衝撃音と同様である。測定は、周波数重み特性は F 特性、時間重み特性は F 特性で、3 秒間の周波数毎の最大音圧レベルを測定し、各受音点で 3 回計測し、音源位置毎にエネルギー平均、音源位置毎に算術平均し、床衝撃音レベルとした。また、軽量・重量床衝撃音ともに、音衝撃音測定終了直後に、R3 受音点で計測した暗騒音によって、音源位置毎のエネルギー平均値に対し補正を行った。

4.2 空気音遮断性能実験方法

音源室に設置されたスピーカ (TAURUS 165W POLYTONE 社製) からホワイトノイズ (実時間周波数分析器 SA-30 リオン社製) を発生させ、上階で受音した。音源室を下階、受音室を上階とした理由は、スピーカから直接床に伝わる振動の影響を考慮したためである。スピーカは図-3 に示すように部屋の隅に向けて斜め上向きに設置した。受音は精密騒音計 (NA-27 リオン社製) で測定した。測定点は音源室、受音室ともに床衝撃音計測時と同様の標準 5 点、暗騒音は受音室中央 1 点とし、いずれも 1/3 オクターブバンドで 6 秒間の等価音圧レベルを計測した。マイク高さは床から約 1.5m である。空気音遮断性能は受音側のエネルギー平均値に対し、暗騒音補正を必要に応じて行い受音室の音圧レベルとし、音源側との音圧レベル差で表した。

5. 床衝撃音遮断性能実験結果

次頁、図 - 6 に床衝撃音遮断性能測定結果を示す。

グラフは、スラブ素面の標準 5 点 (図 - 5 参照) を、重量衝撃源で打撃した結果である。標準ボイドは、1kHz 帯域で 3dB ほど他より音圧レベルが大きい。

グラフは、スラブ素面の標準 5 点を軽量衝撃源で打撃した結果である。各ボイドスラブ間で大きな違いはないが、強いて言えば、標準ボイドは 1kHz 帯域で 3~4dB ほど他より音圧レベルが大きい。

グラフは、スラブ素面のボイド部中央 5 点に軽量衝撃源を設置し (図 - 5 参照) 打撃した結果である。標準ボイドは 1kHz 帯域及び 2kHz 帯域が、改良ボイドは 2kHz 帯域が、に比べ音圧レベルが大きい。

グラフは、遮音フローリング (両面テープをコンクリートスラブ面に接着し、その上に湿気硬化型ウレタンで接着) のボイド部中央を、軽量衝撃源で打撃した結果である。標準ボイドの音圧レベルは 1kHz 帯域で 4dB ほど大きいですが、その他の帯域では、タイプ間の差は小さくいずれも Li,r-45 の結果が得られている。

グラフは、コンクリート素面に 2.3mm 厚長尺塩ビシートを敷き、軽量衝撃源でボイド部中央を打撃した結果で、素面と大差なく、ボイドタイプの違いがそのまま現れている。

グラフは、竣工後乾式二重床下地フローリング (12mm 厚) の測定結果である。重量床衝撃音の結果で、標準ボイドは改良ボイドより 1~4kHz 帯域で 2~6dB 音圧レベルが大きいですが、63~500Hz 帯域ではほとんど差がない。Li,rmax,rH(1) - 55 等級で決定周波数は 63Hz 帯域である。軽量床衝撃音の結果で、125~2kHz 帯域ではほとんど差がない。Li,r 値は 55 で決定周波数は 250Hz 帯域である。

グラフは、浴室洗い場に軽量衝撃源を置き、個室 1 で測定した結果である。尚、このユニットバスは防振などの対策が施されていない。改良ボイドと比較すると、標準ボイドは 500~2kHz 帯域で 2~5dB ほど音圧レベルが大きい。

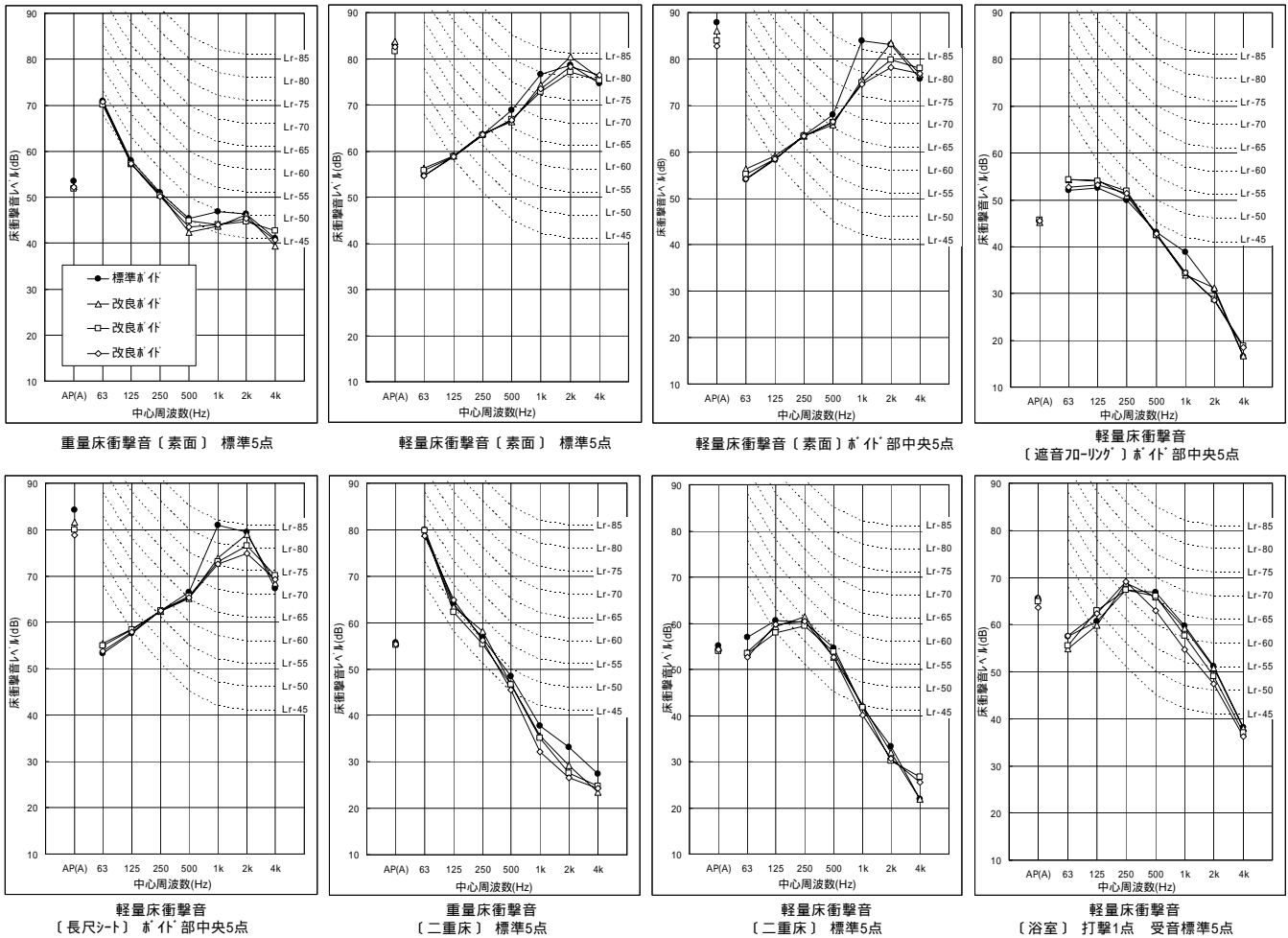


図 - 6 床衝撃音遮断性能測定結果

6. 空気音遮断性能実験結果

3.4 階の界床で行った測定結果を、次頁図-7 に 3,4 示す。1/3 オクターブバンドのグラフに等級曲線を目安のため併記した。グラフ ~ に床が素面での個室 1 の測定結果を示す。南側に位置する個室 1 は、本来 S1 断熱材が設計には無いが、実験用に測定界床の天井面にあらかじめ 900 mm幅で密着張りしたものを、各計測終了後順次撤去しながら、各断熱材幅での測定を行った。

グラフ は、天井の S1 断熱材なしの結果で、標準ボイドは 1.25kHz 帯域で性能低下が見られるが、改良ボイド特に , は性能低下が見られない。Dr 数で表すと、標準ボイド Dr 数 50、改良ボイド Dr 数 52、改良ボイド Dr 数 54、改良ボイド Dr 数 52。決定周波数は標準ボイドが 1.25kHz 帯域、改良ボイド が 1.6kHz 帯域に対して、改良ボイド 、 は決定周波数が 160Hz 帯域となっている。

グラフ は S1 断熱材を施工した結果で、 の断熱材 450 mm幅では 1.25k ~ 1.6kHz 帯域で性能が低下し、 の 900 mm幅では性能低下が更に大きくなる。Dr 数で表すと、 の断熱材 450 mm幅では標準ボイド Dr 数 48、改良ボイド Dr 数 49、改良ボイド Dr 数 52、改良ボイド D 数 51。決定周波数は標準ボイド、改良ボイド 、 が 1.6 kHz 帯域に対して、改良ボイド は決定周波数が 160Hz 帯域となっている。 の断熱材 900 mm幅では標準ボイド Dr 数 45、改良ボイド Dr 数 47、改良ボイド Dr 数 49、改良ボイド Dr 数 50。決定周波数はいずれのタイプも 1.6 kHz 帯域となっている。

グラフ , は、 , のデータをオクターブバンドに換算し、断熱材の張付け幅とボイドタイプ別の結果を示した。断熱材の面積が大きくなると遮音性能が低下する傾向が標準ボイドにも改良ボイドにも見られる。

グラフ , は既報³⁾⁴⁾⁵⁾に示した実験室(残響室間にスラブを設置)での測定結果である。グラフ に示す実験室での標準ボイドと改良ボイド の音響透過損失値の差は、グラフ に示した現場測定での標準とタイプ の差と同一傾向を示した。しかし 2kHz 以上の周波数帯域では実験室での遮音性能が現場より高い。これは現場測定において、サッシ(普通サッシ)はクレセントを閉め、換気口はウエスを充填した状態で測定したが、窓や S1 断熱材が張られた壁などからの回り込みが影響したと思われる。また改良ボイド は、中空部を有しない均質スラブ 200 mm厚と同等以上で、1kHz 帯域前後の中空部共振の影響は見られない。グラフ は実験室でスラブ全面(10.5 m²)に S1 断熱材を施工した測定結果である。均質スラブ、ボイドスラブ共に 1k ~ 2kHz 帯域で 6dB ほど落込み、標準ボイドは TLD-50 が 45 と低下し、S1 断熱材全面張りでの遮音性能への影響が確認された。

グラフ , は竣工後の個室 1,2 の結果で、二重床下地フローリングを施工した場合には、各ボイド間での遮音性能の違いは殆ど認められない。グラフ の個室 2 は図-3 の範囲で天井に 450 mm幅の S1 工法断熱材が施工してあり、500 ~ 1kHz 帯域で性能が低下しているが、いずれもオクターブバンドに変換後の評価は Di,r-55 となっている。

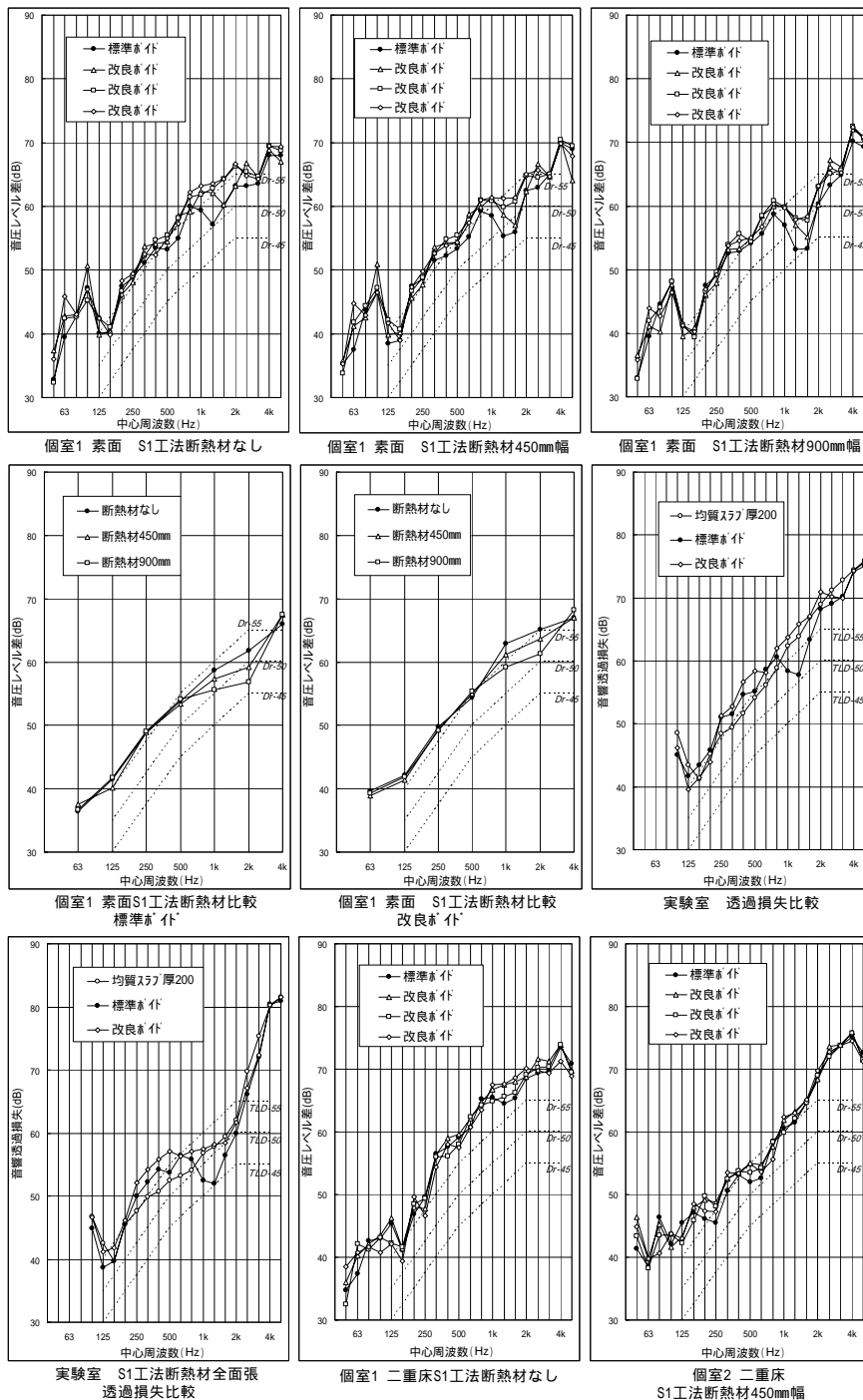


図 - 7 空気音遮断性能測定結果

7. 結果の検討

床衝撃音実験では、コンクリート素面の標準5点を打撃した場合、重量・軽量ともに各ポイド間の違いはあまりなかったが、軽量衝撃源でポイド中央5点を打撃した場合、改良ポイド、において効果が確認された。また長尺シート敷きでも同様であった。しかし遮音フローリング直張り仕上げの軽量床衝撃音遮断性能では、標準ポイドの $L_{i,r}$ の決定周波数が、問題となっている1kHz帯域から、125Hz帯域や250Hz帯域へ移動し、1kHz帯域での改善を狙った改良ポイドの効果は、見かけ上小さくなっている。さらに乾式二重床の軽量床衝撃音では、標準ポイドの1kHz共振の影響が目立たなくなり、改良ポイドの効果がほとんど認められなくなる。しかし浴室での軽量床衝撃音については、放射する部位のポイド種類の違いがあらわれ、改良ポイド

の場合と比較すると標準ポイドは500~2kHz帯域で音圧レベルがより大きくなっている。この実験は手桶の落下音などの影響を考えたものだが、直天井仕上げの場合、設備から発生する固体伝搬音やドアの開閉音に対しても同様の結果となる可能性がある。

次に、空気音遮断性能についてである。標準ポイドでは、コンクリートスラブ素面の状態で、空気音遮断性能に2箇所の落ち込みが見られた。一つはポイド部の共振によるもの、もう一つはコンクリート板のコインシデンス効果によるものと考えられる。後者による遮断性能の低下は、どのスラブにも同様に見られたが、ポイド部の共振による性能低下は、改良ポイドに多少見られるのみで、についてはまったく見られない。今回の現場測定結果および実験室の透過損失データでは、コンクリート素面で改良ポイドの効果がよく現れている。竣工時、乾式二重床仕上げ時の空気音遮断性能は、床仕上げの改善効果のためか、S1工法断熱材の有無にかかわらず、各ポイド間の差はほとんど見られなかった。しかし二重床で測定したグラフとを比較すると、グラフは500~2kHz帯域で1ランク以上遮断性能が低下している。しかしグラフ、ではその低下が1~2kHz帯域に見られる。傾向が異なった原因は室面積が同程度で同一床仕上げであることから、天井面の断熱材以外に外壁のS1工法断熱材面積の違い等も影響している可能性がある。

8. まとめ

この改良ポイドスラブは、床が直仕上げ天井も直仕上げの場合に、効果が大きく現れ、この仕上げ条件に更にS1工法断熱材を天井面に密着張りした場合にも、効果的であると考えられる。

9. おわりに

改良ポイドの開発では、音響性能はその最重要課題であったが、施工性の面でも密実な枠型とすることで強度を向上できた。また、開発当初よりご協力頂いた日本大学井上教授、実験に協力して頂いた都市再生機構、ハーフPCaポイドスラブ協議会ほか関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 吳、藪下他『ハーフPCaポイドスラブの床衝撃音に関する研究その4 種々のポイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善』建築学会大会学術講演梗概集 2000.9
- 2) 藪下、鍵谷他『その6 種々のポイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善(2)』建築学会大会学術講演梗概集 2001.9
- 3) 堀内、藪下、鍵谷『その7 矩形ポイドスラブの音響透過損失』日本建築学会大会学術講演梗概集 2002.8
- 4) 藪下、鍵谷、『その8 改良ポイドスラブによる音響透過損失の改善』建築学会大会学術講演梗概集 2002.8
- 5) 堀内、藪下『共振現象を制御した改良型ハーフPCaポイドスラブの開発』建築学会技術報告集 2002.12
- 6) 堀内、川窪『その9 集合住宅における改良ポイドスラブの床衝撃音実験』日本建築学会大会学術講演梗概集 2004.8
- 7) 藪下、川窪、『その10 集合住宅における改良ポイドスラブの空気音遮断性能実験』建築学会大会学術講演梗概集 2004.8