

共振現象を制御した改良型 ハーフ PCa ボイドスラブの開発

DEVELOPMENT OF RECTANGULAR VOID SLAB IMPROVED TO CONTROL RESONANCE

堀内秀樹——* 1 藪下満——* 2

Hideki HORIUCHI Mitsuru YABUSHITA

キーワード：
ボイドスラブ，薄肉 PCa，床衝撃音，音響透過損失

Keywords:
Void Slab, Half Precast Concrete,
Floor Impact Sound, Sound Transmission Loss

In order to improve the floor impact sound level of the standard rectangular void slab which is 5~10dB higher at 1kHz band compared to that of ordinary RC slabs, we made several series of experiments. By experimenting light floor impact sound and impedance on the various types of void slab samples, we found that the ones with upper and lower shells fixed tightly were the best against the light floor impact sound and that considerable improvement on the rise of sound pressure at 1kHz. Then, we examined the effect on one of them by measuring the sound transmission loss, and as a result, this improved void slab got better result than 200mmRC slab.

1. はじめに

近年、平面計画の自由度が大きい小梁の無い大型スラブ工法が、多くの集合住宅に採用されている。ハーフ PCa 矩形中空スラブ（以下ボイドスラブと略す）は、図 1 の断面に示す様に EPS ボイド型枠（Expanded Polystyrene）をコンクリートスラブに内蔵し、スラブ厚増大に伴う重量増大を軽減しながら高剛性化を図ることで、スラブの大型化を実現している。この結果スラブ剛性の向上に伴い、基本インピーダンスレベルが増大することにより、同質量の均一スラブに比べ重量床衝撃音遮断性能が向上している。

しかし軽量床衝撃音遮断性能においては、仕上げのないコンクリート床面（以下素面）をタッピングマシンで加振した場合、均一スラブに比べ L 数が 5~10dB 大きい（図 4 参照）。これは、ボイド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（以下シェル部）が、1kHz 帯域で共振を起こすためである。

本論文では、新に開発した改良ボイドスラブの軽量床衝撃音遮断性能および音響透過損失性能を報告すると共に、この共振の制御に取り組む過程で行ったモデル実験の結果と最終の開発成果とを比較し、実験方法の妥当性についても明らかにするものである。

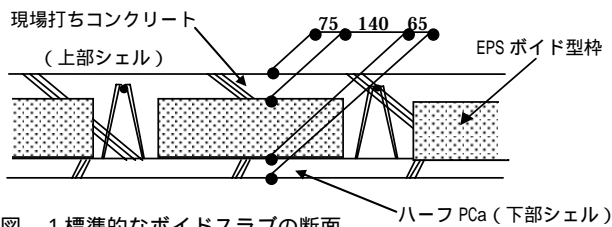


図 1 標準的なボイドスラブの断面

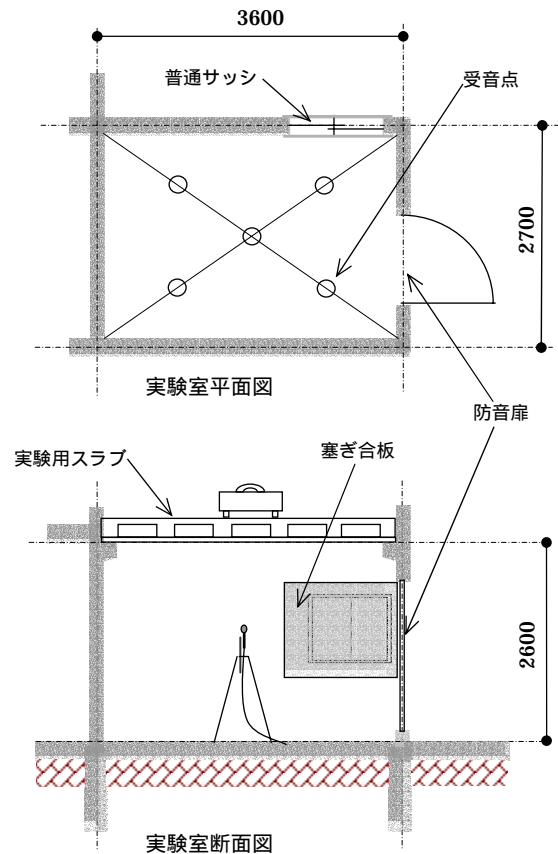


図 2 床衝撃音を測定した住宅実験室

* 1 日本カイザー（株）製品事業部 副課長
（〒150 0011 東京都渋谷区東 3 15 7）

*1 Engineer, NIHON KAISER Corporation,

* 2 YAB 建築・音響設計 社長

*2 President, YAB Corporation,

2. ボイドスラブの軽量床衝撃音遮断性能の把握

図-2に示す住宅実験室にて、標準的なボイドスラブと均一スラブに仕上げ条件を変え、軽量床衝撃音実験を行った。この結果を比較検討し、ボイドスラブの軽量床衝撃音特性を把握した。

2.1 実験の概要

住宅実験室にサンプルスラブを固定し、軽量衝撃音を測定した。スラブの条件は図-3に示す均一スラブ2種類とボイドスラブ2種類、仕上げ条件は素面の他、フェルト下地+カーペット、及びL_L-45表示の直張りフローリングである。(文献¹⁾参照)

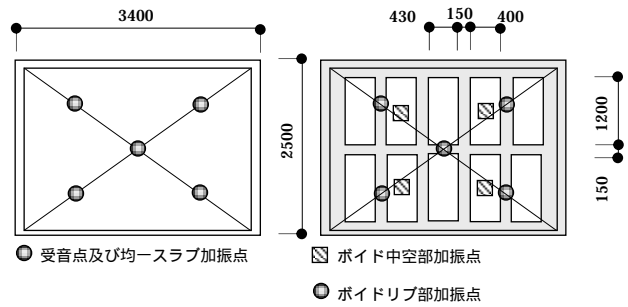


図 3 試験体の加振位置

2.2 各スラブ・各仕上げの軽量床衝撃音遮断性能結果

表-1、図-4に試験体一覧および実験結果を示す。

軽量衝撃源で素面を加振した時のL数は、均一スラブおよびボイドスラブリブ部を加振した場合 L_L-80~81、これに対し中空部加振はL_L-85~87で、最大7dBの差が生じた。

カーペット仕上げのL数は、均一スラブおよびリブ部加振でL_L-37~40、中空部加振でL_L-36~39。フローリング仕上げは、均一スラブおよびリブ部加振でL_L-47~50、中空部加振でL_L-45~48となり、顕著な差は認められなかった。

仕上げ面のL数に差がなかった原因は、ボイドスラブ素面の1kHzの音圧レベルは、中空部加振では上昇したものの(表中黒太枠部)、仕上げ面ではそれぞれの低減量によりマスクされ、全ての仕上げで決定周波数が125Hz帯域へと移動したためである。

今回のフローリングなどでは、ボイドスラブの1kHzでの共振が、L数評価に直接影響を及ぼさなかった。しかし1kHz帯域の低減量が小さい床仕上げを施工した場合など、この周波数帯域が決定周波数となり得る。その場合今回の実験結果とは逆に、この共振現象がL数評価に大きく影響する。このことからこの共振を制御する必要性をあらためて認識した。

表-1 実験結果及び試験体一覧 単位 dB

仕上	スラブ厚さmm	試験体NO.	L数	決定周波数 Hz	中心周波数帯域(Hz)							
					63	125	250	500	1K	2K	4K	
仕上無し素面	均一	150	1-0	81	2k	59	70	74	76	77	77	75
		180	2-0	80	2k	58	69	71	74	76	76	72
	ボイド	230	3-0-R	80	2k	64	67	70	76	76	76	75
			3-0-V	85	1k	65	65	68	74	82	81	78
		250	4-0-R	80	2k	60	71	71	75	76	76	74
			4-0-V	87	1k	61	68	70	74	84	81	78
カーペット	均一	150	1-1	40	125	53	53	43	28	17	-	-
		180	2-1	38	125	51	51	39	26	16	-	-
	ボイド	230	3-1-R	37	125	56	50	38	31	16	-	-
			3-1-V	36	125	58	49	38	28	19	-	-
		250	4-1-R	40	125	54	53	40	30	18	-	-
			4-1-V	39	125	55	52	39	28	22	-	-
フローリング	均一	150	1-2	50	125	56	63	52	47	36	29	28
		180	2-2	47	125	55	60	48	44	33	26	21
	ボイド	230	3-2-R	47	125	60	60	49	47	32	25	21
			3-2-V	45	125	61	58	47	44	36	26	22
		250	4-2-R	50	125	59	63	48	45	33	24	22
			4-2-V	48	125	60	61	47	44	39	27	22

R: リブ部加振, V: 中空部加振

3. シェル部共振現象の改善(改良ボイドの開発)

共振現象の改善に当たり、下記の基本方針を考えた。

シェル部の固有振動数を、高い周波数に移動する。(仕上げ材の低減量は、高い周波数で大きいことを利用する)

上下シェルの固有振動数を変化させ、振動を伝搬しにくくする。

施工の容易性、軽量性に配慮する。(ボイド型枠の外形寸法を標準ボイドに合わせる、1ユニット当たり重量増は25kg程度に抑える) この方針を基に、研究者やボイド型枠メーカーから広くアイデアを集め、18タイプの改良ボイドサンプルと、標準品3タイプを比較実験することが出来た。詳細は文献²⁾を参照されたい。

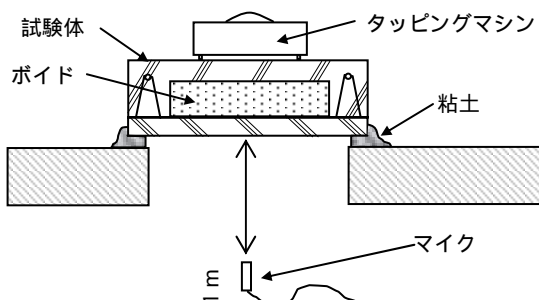


図 5 改良ボイドスラブ軽量衝撃音測定状況

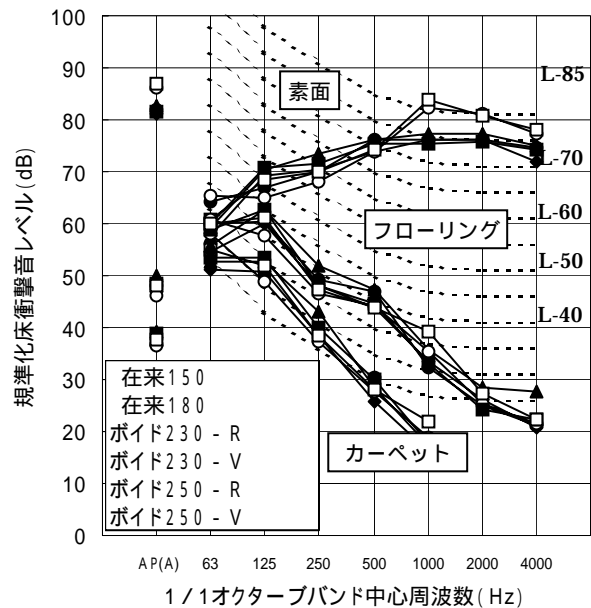


図 4 標準ボイドと均一スラブの軽量床衝撃音比較

3.1 種々の改良ボイド実験

実験は、住宅実験室の天井スラブに長方形の穴を開け、この上に粘土を介し試験体を固定し、図-5に示す位置に設置したタッピングマシンによる衝撃音を、放射面より1mの高さに固定した騒音計で測定し試験体毎の相対比較を行った。試験体は、標準的な矩形中空スラブ（以下標準ボイド）の1ユニットを切り出した形状で、上部シェルを剛性を高めたもの、下部シェルを剛性を高めたもの、上下シェルを剛接したもの等18体となった。代表3例を図6に示す。

3.2 改良ボイドの軽量床衝撃音実験の結果

上部シェルのみ剛性を上げた1は、標準ボイドと比較し僅かな効果に留まった。下部シェルのみ剛性を上げた2は1kHz帯域で9dB低下したが、その前後の周波数帯域では顕著な差は認められなかった。上下シェルを剛接した3のタイプは、1kHzで十数dB低下したほか、卓越周波数は3.15kHzまで移動した。

シェルの剛性別で見ると、加振面のみより放射面のみを、放射面のみより加振面放射面双方の剛性を高めた方がより効果的であった。この結果から効果の高いボイド型枠形状を絞り込み、ボイド型枠製造方法や施工性などを再検討後、若干の修正を加えた十字型分割タイプなどで実験した結果、再現性も得られた（文献³参照）。

しかしこの試験体の形状では、直張り以外の仕上げ材を施工した試験は難しく、実際の建物などで効果を確認する必要がある。

4. ボイドスラブの音響透過損失

筆者らの文献調査では、ボイドスラブの音響透過損失を明快に記載したものは確認できず、現場測定結果報告等の数例に留まった。渡辺らの文献⁴を例にとると、現場実測データが側路伝搬（断熱材の増幅も含む）の影響を受けており、ボイドスラブの部材性能を推察することは困難である。そこでボイドスラブの部材性能実験が、比較的容易に出来る試験設備を備えた、(株)フジタ 技術センターにて、図7に示す残響室間にスラブを設置し音響透過損失を実測した。

4.1 音響透過損失の実験概要

図-8に標準ボイド試験体の形状を示す。試験体は、放射面積10.5m²で、ハーフPCa2枚から成り中央部にたてジョイント部を有している。試験取付装置との空隙及び中央ジョイントはモルタル充填などで密閉した。試験体は標準ボイド1体の他、改良ボイドの代表として

3の十字型分割ボイドを1体、比較用として構造設計荷重が同程度の200mm厚の均一スラブを1体とした。

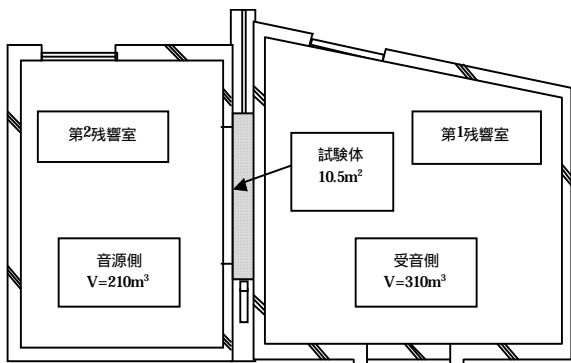
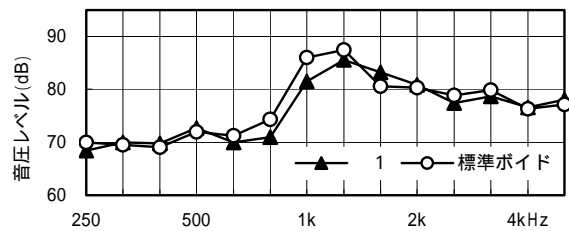
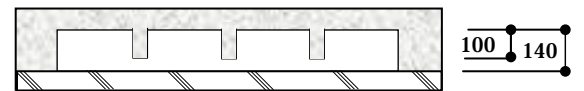
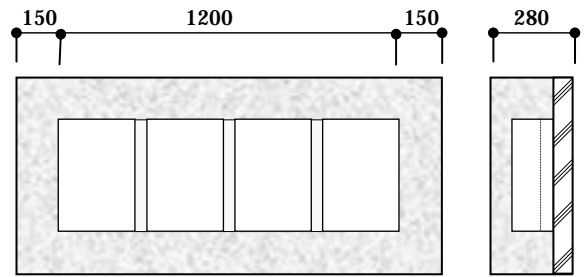
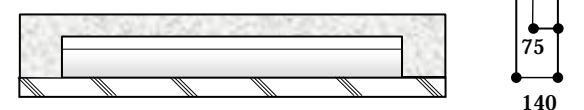
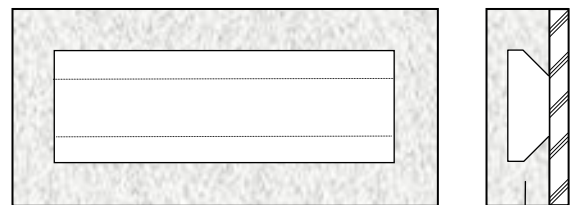


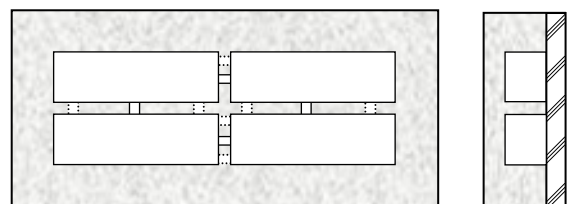
図7 試験室（残響室）平面図



1 上部シェル補強リブ付きボイド (1/3 Oct. band)



2 下部シェル補強船底型ボイド (1/3 Oct. band)



3 十字型分割ボイド (1/3 Oct. band)

図6 各種ボイド形状と軽量衝撃源による音圧レベル

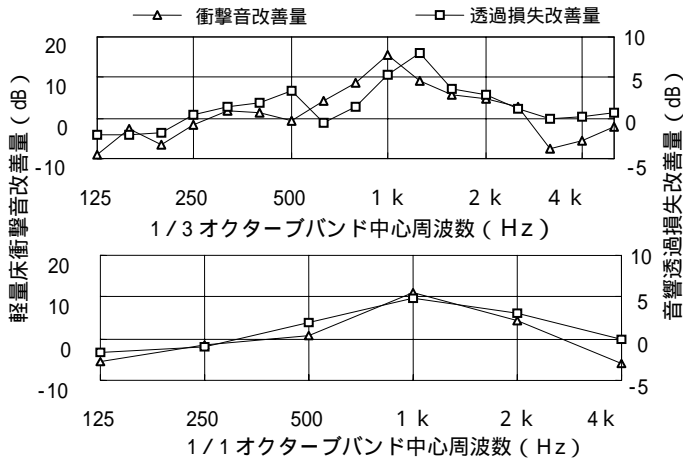


図 11 軽量衝撃音と音響透過損失の改善量

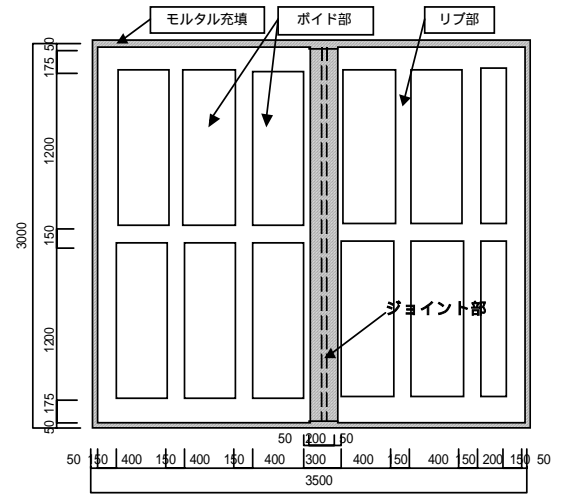


図 8 音響透過損失測定用試験体の形状

4.2 音響透過損失試験結果

図 9 は 1/1 オクターブバンドの試験結果と JIS の遮音等級曲線 Dr を示す。均一スラブは 500Hz で Dr -55 曲線を 1.4dB 下まわり、標準ボイドは 1kHz で 1.3dB 下まわった。改良ボイドは 1kHz の落ち込みは無くなっている。Dr 曲線での評価はすべて Rr-55 であるが、平均値による評価では均一スラブ $D_m(1/1) = 55\text{dB}$ 、標準ボイドは $D_m(1/1) = 54\text{dB}$ 、改良ボイドは $D_m(1/1) = 56\text{dB}$ となる。

図 10 は 1/3 オクターブバンドの試験結果に参考として Dr -50 曲線を当てはめたものである。標準ボイドは 1.25kHz で透過損失値にディップが有り、均一スラブより 8.1dB 低下しているものの、Dr -50 の曲線を下廻ることはなかった。評価方法による数値の違いはあるが、この共振を制御することで空気音遮断性能もある程度の向上が確認できた。標準ボイドの共振現象をどう見るかは意見の分かれるところであるが、1kHz 帯域で共振をおこす断熱材付石膏ボードの併用などを考慮した場合、この共振を制御し音響透過損失の落ち込みを無くす必要性が増してくる。

5. 考察

軽量床衝撃音および音響透過損失の、標準ボイドと改良ボイドとの差を改善量とし、両者を示すと図 11 となる。この改善量は衝撃音のほうが透過損失より 1kHz 周辺で 5.0~7.5dB 大きく現れた。しかしその周波数特性は、極めて近い傾向を示した。このことからボイド型枠 1 ユニットのモデル実験は、ボイド型枠形状を模索するうえで、妥当な方法であったと考えられる。今後は改良ボイドの効果を現場実験にて確認して行きたい。これら一連の研究成果をまとめると、以下の 2 つに集約される。

ボイド型枠の改良によって、矩形ボイドスラブ特有の共振現象は制御された。この結果、音響透過損失の評価値も若干向上することが確認できた。

1 ユニットモデルの軽量衝撃音は、音響透過損失と同一傾向を示した。このことから、1 ユニットモデルによるボイド型枠形状の模索は、妥当であった。

謝意: この研究の一部の実験は、ハーフ P Ca ボイドスラブ協議会及び、油化三昌(株)、積水化成工業(株) 他のボイド型枠メーカーの依頼により行ったものです。また日本大学井上教授や三井建設(株) 安岡部長他、ゼネコン関係の研究者の方々に多くの助言を頂きました。心より感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 藪下, 堀内ほか: ハーフ P Ca ボイドスラブの床衝撃音に関する研究(その 3 実験室における軽量床衝撃音に関する研究): 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 40085, PP181. 1999.9
- 2) 藪下, 堀内ほか: ハーフ P Ca ボイドスラブの床衝撃音に関する研究(その 4 種々のボイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 40117, PP247. 2000.9
- 3) 藪下, 堀内ほか: ハーフ P Ca ボイドスラブの床衝撃音に関する研究(その 6 種々のボイド型枠形状による薄肉部共振現象の改善(2)), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 40100, PP217. 2001.9
- 4) 渡辺充敏, 縄岡好人, 平野滋: 集合住宅における GL 工法に起因する側路伝搬音の低減に関する実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, 40097, PP207, 2000.9

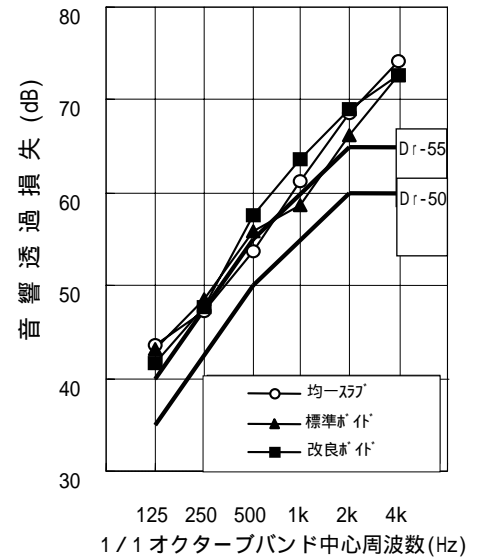


図 9 音響透過損失実験結果

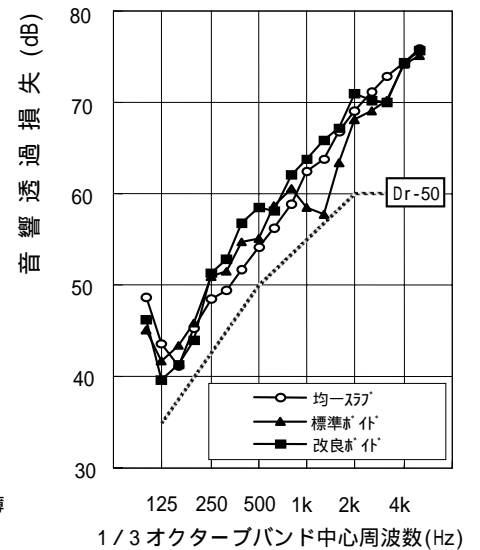


図 10 音響透過損失実験結果