

高減衰型中空コンクリート版の開発

Development of High Damping Void Slabs

矢野成祥*

鹿倉潤二*

田中ひかり**

増田 潔**

Shigeyoshi Yano

Junji Shikakura

Hikari Tanaka

Kiyoshi Masuda

スラブの軽量化は、柱や梁など躯体への負担軽減のため欠かすことはできない。だが、音の遮断性能に関する要求性能を満たすことができず、スラブを軽量化できない場合もある。当社は大成建設株式会社と共同で、スラブ重量と音の遮断性能両方の要求を満たす、高減衰型中空コンクリート版を開発した。ワインディングパイプによるスラブの軽量化と、内部に封入した粒状体による振動低減効果を高減衰型中空コンクリート版はもたらす。高減衰型中空コンクリート版の性能確認試験として、筆者らは3つの試験を実施した。まず振動試験により、高減衰型中空コンクリート版に用いる粒状体および積層材による振動低減効果が高いことを確認した。次に耐火試験では、高減衰型中空コンクリート版の高い耐火性能が確認できた。最後に施工性能検証試験では、許容揚重本数などを確認した。

Decreasing the weight of slabs is necessary to protect structures in architecture, such as pillars and beams. But sometimes, it is difficult to decrease the weight of slabs because of requirements for sound reduction performance. This report explains how Kurimoto, Ltd. and Taisei Corporation developed High Damping Void Slabs (HDVSSs), which satisfy both requirements, decreasing the weight of the slabs and improving vibration reduction performance. HDVSSs provide those two positive effects, owing to the winding pipes and granular material inside the slabs. To verify the performance of the HDVSSs, we performed three tests. First, we performed a vibration test and confirmed how large the vibration reduction effect of the HDVSSs is, owing to the granular material and laminated materials in them. Second, we performed a fire resistance test and confirmed that HDVSSs have fire resistance performance equivalent to voided slabs. Finally, we performed a construction test and confirmed some points to keep in mind when working on construction with HDVSSs.

1 はじめに

中空スラブは鉄筋コンクリート造建物のスラブであり、スラブ内にワインディングパイプを埋設することで自重を増やさずスラブ厚さを増すことが可能となる。スラブの軽量化は、柱や梁など躯体への負担軽減のため欠かすことはできない。だが、騒音に関する要求性能を満たすことができずスラブを軽量化できない場合もある。音の遮断性能とスラブ厚さの関係は、スラブ設計において大きな課題となっている。

スラブに関する騒音の主な要因は振動の伝搬しやすさであり、それにより固体伝搬音が発生する。固体伝搬音とは、機械装置などに起因する振動が、構造体およびその周辺の空気に伝わることで生じる音のことである。集合住宅では、設備機械、鉄道などからの固体伝搬音が生活空間へと伝搬する。

筆者らは、スラブの固体伝搬音の低減を目的とし、高減衰型中空コンクリート版（以下高減衰型中空スラブ）を開発した（図1参照）。本報では、高減衰型中空スラブの概要と、振動低減性能、耐火性能、施工性能の検証結果を報告する。



図1 高減衰型中空スラブ

2 高減衰型中空スラブの概要

2.1 高減衰型中空スラブとは

高減衰型中空スラブとは、中空部を形成するワインディングパイプ内に、粒状体を封入した中空スラブである。中空部を設けることによるスラブの軽量化と、粒状体による固体伝搬音の低減効果をこのスラブはもたらす。

ワインディングパイプ内に封入した粒状体は袋材と共に、動吸振器のような振動低減機構として働く（図2参

照)。粒状体を覆う袋材がバネおよびダンパーとなり、粒状体が床の振動とは逆の方向に動くことで、振動を低減させる仕組みとなっている。粒状体として採用したのは、振動低減に効果的な単位体積質量を有し、なおかつ資源循環性の高い砂である。袋材として採用したのは、バネとして適切な弾性を保有する樹脂製袋である。対象とする固体伝搬音の周波数に応じて、粒状体の質量、および袋の弾性を調整することにより、効率的に固体伝搬音を低減させることが可能になる。

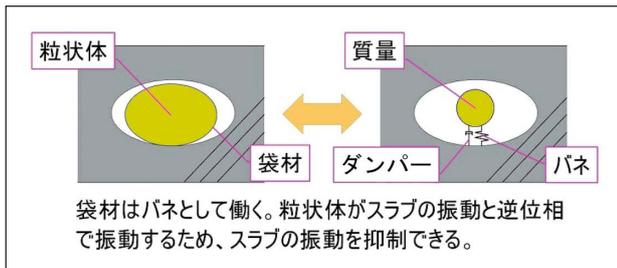


図2 振動低減機構説明図

して、中心線上に設けた受振点（図3の●）への伝達インピーダンスを測定した。粒状体の設置は表1に示す4条件（Case 1～Case 4）とし、粒状体なしの条件（Case 0）と比較した。粒状体は粒径1.0～2.5 mm、単位容積質量1.6 kg/Lの砂とし、袋に入れた状態で中空部に設置した。袋はポリエチレン製の薄膜材（0.13 mm厚）または積層材（0.17 mm厚×5層）とした。^{1) 2)}

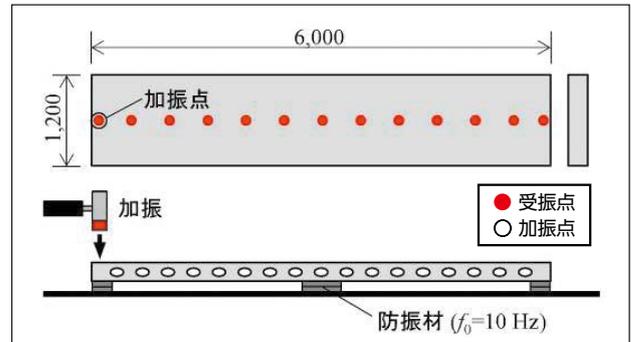


図3 実験状況

2.2 従来の中空スラブとの比較

従来の中空スラブと高減衰型中空スラブについて、同厚での性能比較を行った。振動低減性能に関していえば3章記載の通り、Case 2の試験体において63Hz帯域で12dB程度の振動低減効果が確認できた。質量については10%ほど増加してしまうものの、コンクリート質量を80%増加させた時のものに相当する振動低減効果があった。

また、高減衰型中空スラブは従来の中空スラブと同等の構造的性能を有しているといえる。従来の中空スラブと同様の材料、工法を使用していること、およびコンクリートから除かれる容積が同等であるためである。耐火性能と施工性能については、それぞれ4章、5章に詳細を記載する。

3 振動低減性能

3.1 実験目的および実験条件

高減衰型中空スラブの振動低減性能を明らかにするべく、振動実験を行った。高減衰型中空スラブを図3に示すように防振材を介して実験室の床上に設置した。試験体の端部（図3の○）をインパクトハンマーにより加振

3.2 実験結果

全受振点への伝達のインピーダンスをエネルギー平均してオクターブバンド値にまとめ、粒状体なし（Case 0）と比較した。インピーダンスレベル上昇量を低減量とした。

Case 1およびCase 2の粒状体による低減量を図4に示す。コンクリート版の複数の共振周波数における落ち込みのうち、Case 1は125Hz帯域、Case 2は63Hz帯域において最大の低減量が得られている。また、図5に各条件の駆動点インピーダンスレベルの周波数特性をCase 0と比較して示す。Case 1は150Hz付近が、Case 2は80Hz付近が特に浅くなっている。さらに、袋材が積層で、1袋当たりの粒状体の質量を変化させたCase 2～Case 4を比較すると、効果が生じる周波数が変化する。

このように、平均的なインピーダンスレベルに変化はなく特定の周波数の共振が低減されること、袋材の厚さや粒状体質量が変化すると周波数が変化することから、粒状体が袋材をバネとして動吸振器のように働いていると考えられる。参考として文献³⁾に示す二質点モデルにより推定した動吸振器の共振周波数を図5中に矢印で示す。

表1 実験条件

条件	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
粒状体質量 (中空部1列あたり6袋×17列=全102袋)	なし	3.75 kg/袋	3.75 kg/袋	2.50 kg/袋	0.83 kg/袋
質量比 (粒状体/中空コンクリート)	0%	10.5%	10.5%	7.0%	2.3%
袋材 (ポリエチレン)	なし	薄膜	積層	積層	積層
設置イメージ					

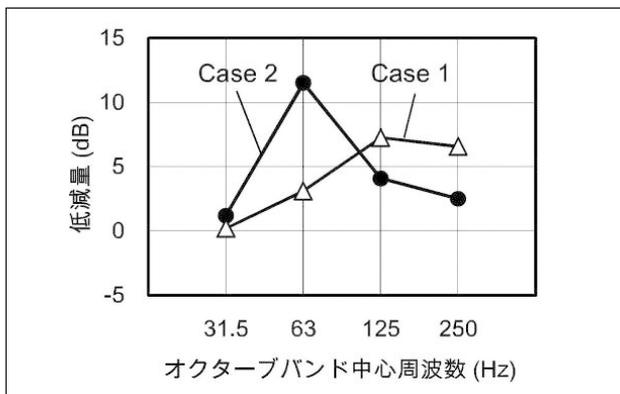


図4 Case 1およびCase 2の振動低減量



図6 耐火試験中の試験体状況

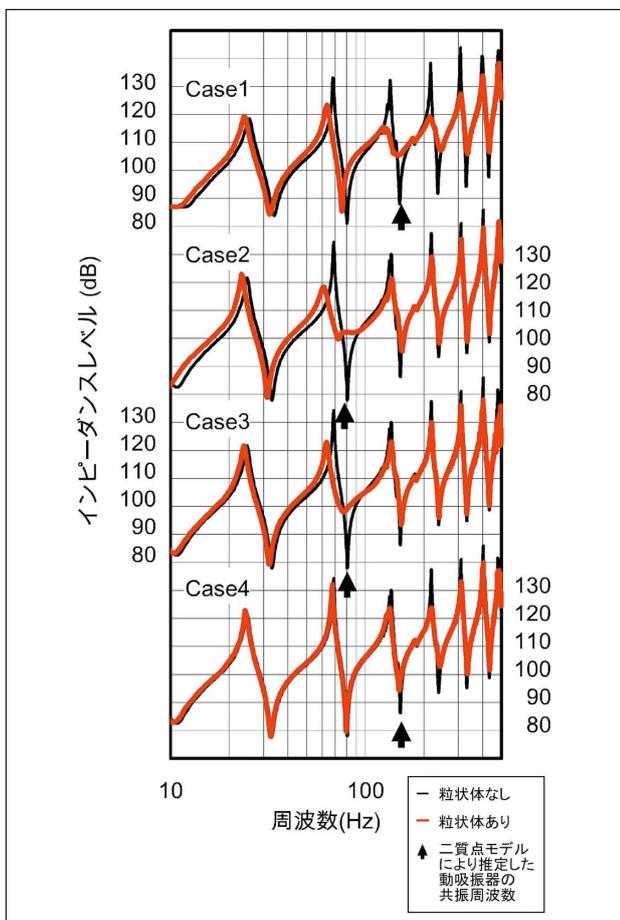


図5 実験結果

4 耐火性能

4.1 試験目的および試験条件

ワインディングパイプに封入する袋材の材質は、ポリエチレンであり、有機材料をスラブ内に封入するため、耐火性能を証明する必要がある。高減衰型中空スラブが建築基準法第2条第七号の耐火構造の規定に適合することを確認すべく、耐火試験を行った。試験は第三者機関となる一般財団法人建材試験センターにて行った。試験時の状況を図6に示す。試験体厚さは遮熱性能において不利となる、当社製スラブの中で最も薄いスラブ厚さ(200mm)とした。

4.2 試験結果

表2に記す建築基準法第2条第七号の耐火構造の規定に適合し、国土交通大臣の耐火認定を取得することができた。図7には試験体の加熱温度と試験体のたわみの関係を記す。

表2 耐火構造体の基準値

	基準値	試験値	合否
最大たわみ量 (mm)	267	115	合格
最大たわみ速度 (mm/分)	11.8	3.5	合格
最高裏面温度 (°C)	203	88	合格
平均裏面温度 (°C)	163	73	合格

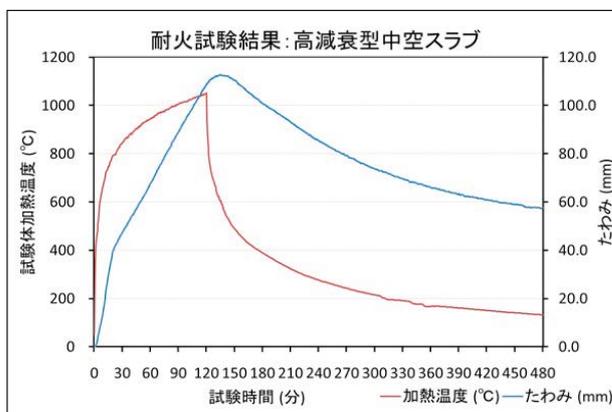


図7 耐火試験：たわみ、試験体加熱温度

5 施工性能

5.1 運送試験

5.1.1 試験目的および試験条件

高減衰型中空スラブに用いるワインディングパイプが運送時の振動、衝撃に耐えられることを確認すべく、運送方法の検証を行った。

運送試験の試験条件を表3に示す。運送前後での荷崩れ、およびパイプの損傷の有無を確認した。

表3 運送試験条件

項目	条件
運送距離	一般舗装道路約100km(約3時間)
積載本数	高減衰型パイプ50本/パレット1台
判定	荷崩れ、外観(凹み・変形)

5.1.2 試験結果

運送試験終了時の状況を図8に示す。運送時の荷崩れ及び、パイプの損傷は見られなかった。以上より積み込み本数が1パレットあたり50本までの場合、通常のワインディングパイプとほぼ同様の運送手順で問題ないことが確認できた。



図8 運送試験後の試験体状況

5.2. 揚重試験

5.2.1 試験目的および試験条件

高減衰型中空スラブに用いるワインディングパイプが揚重時の外圧に耐えられることを確認するべく、揚重方法の検証を行った。揚重試験の試験条件を表4に示す。

表4 揚重試験条件

項目	条件
吊り具	ワイヤー (太さ12mm)
揚重本数	30本
判定	荷崩れ、外観 (凹み・変形)

5.2.2 試験結果

図9に30本揚重時の試験状況を示す。30本を揚重した場合は、凹み、および外観の変化は見られなかった。以上より、最大揚重本数を30本とすれば、揚重時に損傷などは発生しないことが確認できた。



図9 揚重時の試験体状況

6 終わりに

コンクリートの厚みに頼らず固体伝搬音の遮断性能を発揮する高減衰型中空スラブを開発した。本報ではその概要と、振動低減性能、耐火性能、施工性能について検証結果を報告した。検証により、高減衰型中空スラブは、従来の中空スラブと同等の耐火性能を持ち、従来の中空スラブを超える振動低減性能を持つことが示された。

今後は、実建物での試験施工を通じて固体伝搬音の遮断性能等の検証を実施する。

参考文献：

- 1) 田中ひかり、増田潔、鹿倉潤二：粒状体によるコンクリート板の振動低減に関する検討 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集 (2015.9)
- 2) 田中ひかり、増田潔、鹿倉潤二：粒状体によるコンクリート板の振動低減 FEM解析による検討、日本音響学会講演論文集 (2015.9)
- 3) 増田潔、田中ひかり、鹿倉潤二：粒状体によるコンクリート板の振動低減に関する検討 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集 (2015.9)

執筆者：

矢野成祥

2015年入社

騒音対策関係の研究・開発に従事



鹿倉潤二

1999年入社

騒音対策関係の研究・開発に従事

一級建築士

環境計量士 (騒音・振動関係)



田中ひかり

大成建設株式会社 技術センター

増田 潔

大成建設株式会社 技術センター