

TMD を内蔵したボイドスラブの重量床衝撃音の低減効果

Reduction Effect of Heavy Weight Floor Impact Sound of Void Slab with Built-in TMD

R&Dセンター 小林 秀彰 HIDEAKI KOBAYASHI

R&Dセンター 市川 友己 TOMOKI ICHIKAWA

集合住宅の音環境で問題視される重量床衝撃音の対策として同調質量ダンパー（TMD）を用いた方法が挙げられる。筆者らはこの TMD をボイドスラブに内蔵する新しいシステムを開発した。本システムを実建物のスラブへ適用した結果、TMD の設計固有振動数が含まれる 63Hz 帯域(1 オクターブバンド)において、重量床衝撃音が約 8dB 低減された。また、TMD を内蔵したボイドスラブの振動も TMD の設計固有振動数付近で低減されており、本システムが重量床衝撃音の対策として有効であることが確認できた。

キーワード：重量床衝撃音，TMD，ボイドスラブ，実建物，振動加速度

TMD (Tuned mass damper) is expected to be a countermeasure for heavy floor impact sound, which is one of major issue with the housing complex. The authors have developed a new system that incorporates TMD within void slab. As a result of applying this system to the slab of an actual building, the heavy floor impact sound was reduced by around 8dB in the 63Hz band (one octave band), which includes the design natural frequency of TMD. In addition, the vibration of the void slab with built-in TMD was also reduced around the design natural frequency of the TMD, confirming that this system is effective as a countermeasure against heavy floor impact sound.

Key Words: Heavy Weight Floor Impact Sound, Tuned Mass Damper, Void Slab, Actual Building, Vibration Acceleration

1. はじめに

集合住宅の音環境の中で、上階における居住者の歩行や飛び跳ね等によって発生する重量床衝撃音は、居住者間のトラブルの原因やクレームの対象となりやすい音の 1 つである。これに対して、一般的な対策としては、スラブを厚くすることで重量と剛性を増加させる方法を取るが、建物重量や地震力、階高の増加を招くため、合理的かつ経済的な方法とは言い切れない。一方、近年では重量床衝撃音の低減方法として、同調質量ダンパー（TMD : Tuned Mass Damper）を用いた方法が研究されている(例えば 1)。TMD を対象物に設置することで、その TMD の固有振動数付近の応答を低減させることができる。また、TMD は機構が簡単で実用化しやすく、対策の 1 つとして期待される。筆者らもこれまで、TMD による重量床衝撃音の低減効果について、まずは基礎的検討として、実大試験体や 1/3 縮尺模型による実験、また、

解析による検討を行った^{2,3)}。さらに、これらの検討を経て、TMD をスラブ上やスラブ下に設置する従来報告されてきた方式ではなく、TMD を内蔵したボイドスラブ（以下、TMD ボイドスラブ）を開発し、検討を進めてきた⁴⁾。

本報では、開発した TMD ボイドスラブを実建物のスラブへ適用した際の重量床衝撃音を測定した結果について報告する。

2. TMD ボイドスラブについて

図-1 に、TMD ボイドスラブの断面を示す。ボイドスラブのボイド型枠内を中空化して、おもりとばねで構成された TMD を内蔵している。TMD の構成部品である「おもり」と「ばね」はそれぞれコンクリート板と発泡ポリエチレンでできており、どちらも一般的な建設資材である。TMD の固有振動数は、おもりの質量とばねの

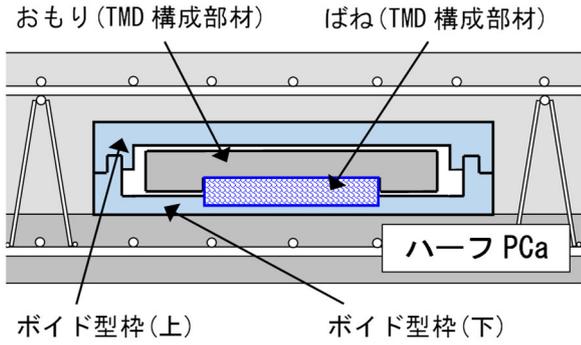


図-1 TMD ボイドスラブの断面

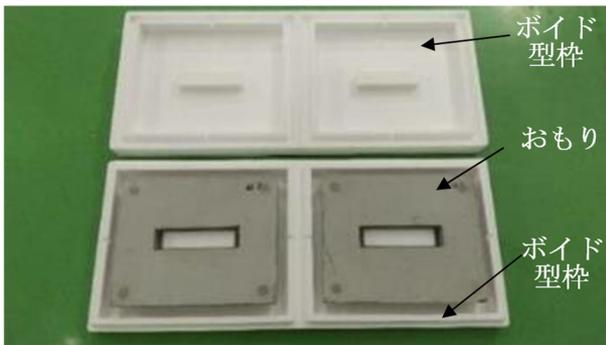


図-2 TMD ボイドスラブのボイド型枠内部

ばね定数の関係性から設計することができる。また、TMD を内蔵するボイド型枠は、図-2 に示す様に、上下蓋式となっており、上型枠を外すと内部におもりとバネが内蔵できる構造となっている。

本システムは、人の飛び跳ね等によってスラブが振動すると、その振動にボイド型枠内の TMD が共振する。その結果、TMD の固有振動数付近におけるスラブの振動が抑制されて、スラブ下側の室の重量床衝撃音が低減する。また、本システムの TMD の固有振動数は、重量床衝撃音の一般的な決定周波数帯域である 63Hz 帯域（1 オクターブバンド）内に設計している。

3. 実験条件

図-3 に、実験対象スラブの平面図を示す。2 スパンのスラブのうち、左側は TMD ボイドスラブ、右側は TMD を設置していない一般的なボイドスラブ（以下、一般ボイドスラブ）である。両スラブのスペンはほぼ同じであり、梁・柱の断面寸法や配筋量も、TMD ボイドスラブと一般ボイドスラブとの境の梁を中心に線対称でほぼ同じである。両スラブの重量床衝撃音レベルを比較するために、各スラブ直下に施工した受音室の範囲を図中に赤線で示す。受音室は、集合住宅のリビング配置を想定し

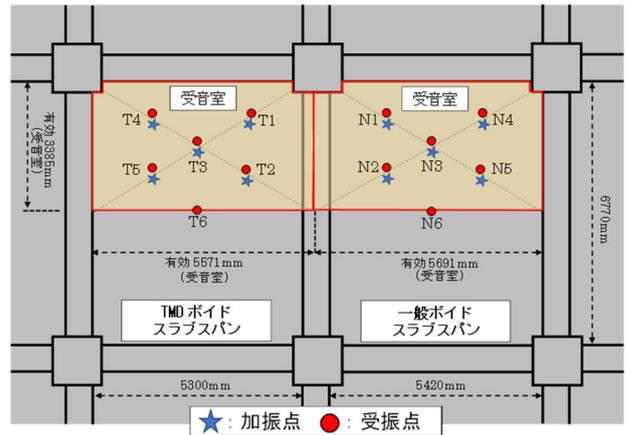
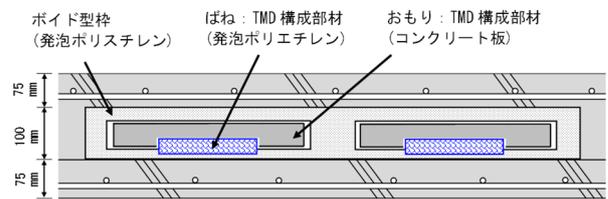
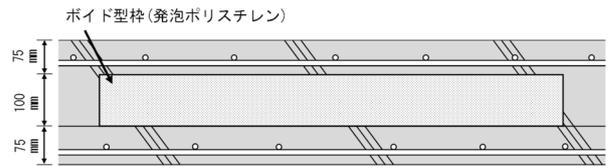


図-3 実験対象スラブ



(a)TMD ボイドスラブ



(b)一般ボイドスラブ

図-4 スラブ断面図

て、スラブの約 1/2 の面積とした。受音室の仕上げは、壁が石膏ボード両面 2 枚貼り、天井やスラブは内装が施工されていない状態であり、受音室の天井高さは 4,100mm である。スラブの加振点は、受音室の上の各スラブの対角線中央と、その中央から対角線上に 1,500mm 離れた 4 点の計 5 点（図中の★印）とした。加振源はパンダマシン、ゴムボール（落下高さ 1,000mm）の 2 種類とした。受音点は加振点直下の同一位置で、高さは 1,000~1,800mm まで 200mm ピッチの 5 点とし、加振点位置 5 か所でそれぞれスラブを加振した際のスラブ直下の受音室内の音を受音点 5 点で測定した。また床衝撃音レベルの算出にあたっては、加振点ごとに受音点 5 点の結果をエネルギー平均し、最後に全加振点で算術平均した。また、受振点は加振点の極近傍とスラブスパン中央の計 6 点（図中の●印）とし、加速度を測定した。測定方法は JIS A 1418-2:2019⁵⁾に準拠した。

図-4 に、実験対象スラブの断面図を示す。TMD ボイドスラブのスラブ厚さは 250mm、TMD を内蔵したボイ

表-1 実験対象スラブの諸元

項目	TMDボイドスラブ	一般ボイドスラブ
スラブ厚さ (mm)	250	250
等価厚さ (mm)	218 (おもり質量の換算無し)	220
ボイド型枠 (mm)	H100×D410×W960 : 36個 H100×D410×W480 : 14個 (合計50個)	H100×D400×W900 : 36個 H100×D400×W500 : 14個 (合計50個)
ボイド容積率 (%)	18.7	16.6
TMD	86個設置 (おもりのスラブ対質量比 : おもり全質量/スラブ質量 =4.7%)	無し

ド型枠は厚さ 100mm である。TMD の固有振動数は、1 オクターブバンドの 63Hz 帯域の重量床衝撃音レベルの低減を目的として、1 オクターブバンドの 63Hz 帯域内において一般的に重量床衝撃音の音が大きく含まれている 1/3 オクターブバンドの 50Hz 帯域内に設定している。一般ボイドスラブのスラブ厚さとボイド型枠厚さは TMD ボイドスラブと同じであり、それぞれ 250mm と 100mm である。ただし、ボイド型枠は発泡ポリスチレンで充填されている。なお、実験対象スラブにおいて、ボイド型枠はスラブ平面内へ全体的に配置している。

表-1 に、実験対象スラブの諸元を示す。TMD ボイドスラブと一般ボイドスラブは、ボイド設置個数、ボイド容積率がほぼ同一となるように設計した。スラブ質量に対する TMD のおもりの全質量比（スラブ質量に対する比）は約 4.7% である。TMD ボイドスラブは一般ボイドスラブに対しておもり質量分が重たくなるが、おもり質量をコンクリート厚さに換算した場合のスラブの遮音効果(基本インピーダンスレベル増加分)は 0.6dB である。

4. 実験結果

(1) 床衝撃音レベル

図-5 に、バングマシンによる床衝撃音レベルの測定結果を示す。1/3 オクターブバンドで見ると、TMD の設計固有振動数帯域である 50Hz 帯域において、TMD ボイドスラブは一般ボイドスラブに対して 7.9dB 低減しており、ボイドスラブに内蔵した TMD が有効に作用していることがわかる。それ以外の帯域では 80Hz 帯域で 2.7dB の低減、125Hz 帯域では 1.6dB 程度の増加が見られた。1 オクターブバンドに換算した場合、重量床衝撃音の決定周波数である 63Hz 帯域では 7.5dB の低減結果となり、125Hz 帯域では 1.0dB の増加となった。

図-6 に、ゴムボールによる床衝撃音レベルの測定結

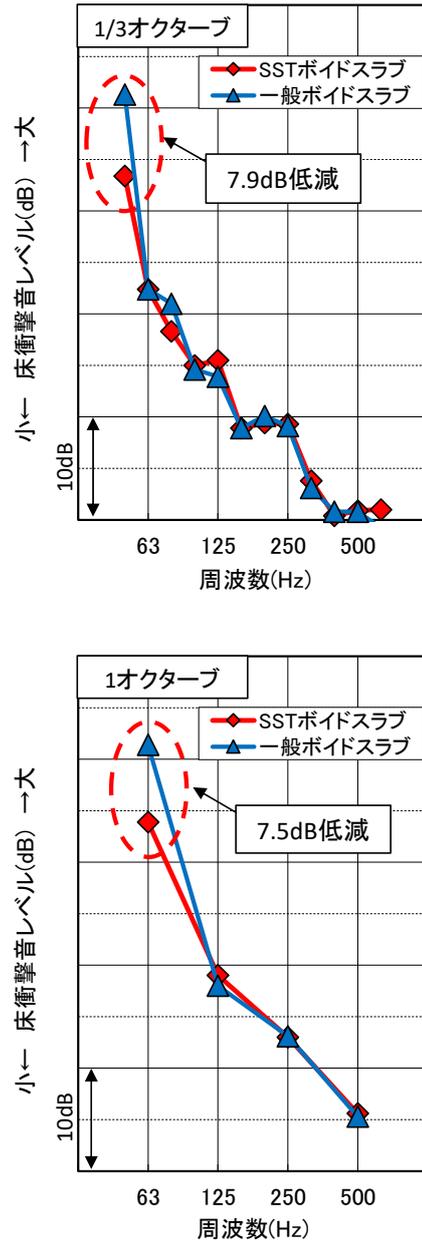


図-5 バングマシンによる床衝撃音レベル測定結果

果を示す。バングマシンによる加振と同様に、TMD の設計固有振動数が含まれる 50Hz 帯域において低減が確認され、1/3 オクターブバンドで 8.3dB の低減結果となったが、125Hz 帯域は 2.5dB の増加が見られた。また、1 オクターブバンドに換算した場合では、63Hz 帯域で 7.2dB の低減結果となり、125Hz 帯域では 1.2dB の増加となった。

以上より、TMD ボイドスラブは、TMD の固有振動数以外の帯域で若干の増加傾向は見られたが、TMD の固有振動数帯域では約 8dB の低減効果が得られ、重量床衝撃音に対して有効な対策であることが確認できた。

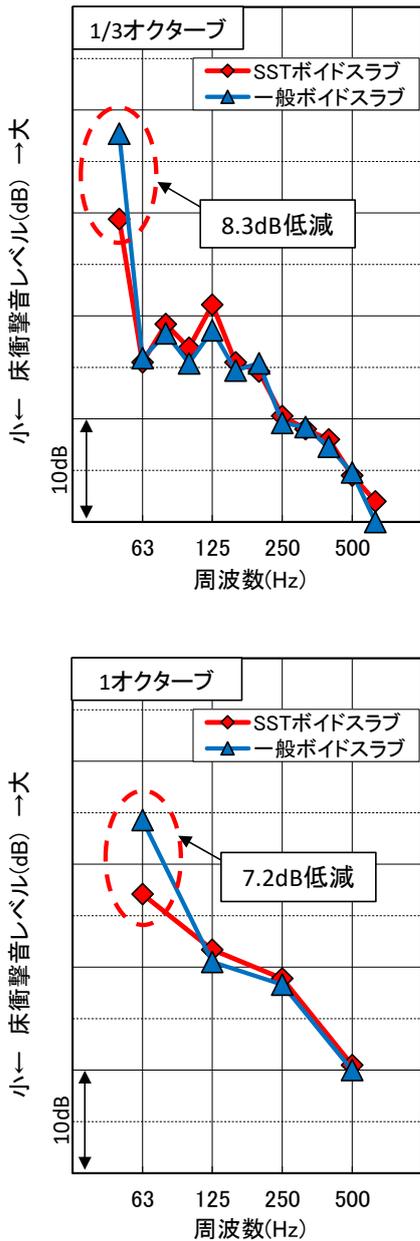


図-6 ゴムボールによる床衝撃音レベル測定結果

(2) スラブ振動

図-7 に、バングマシンによるスラブ加振時の TMD ボイドスラブと一般ボイドスラブの振動加速度のエネルギースペクトル比を、加振点別に算出した結果を示す。図の縦軸のエネルギースペクトルが 1 未満の場合は、一般ボイドスラブに対して TMD ボイドスラブの振動加速度が小さいことを意味する。スラブ上の受振点の位置によって傾向にばらつきはあるものの、各加振点において、TMD の設計固有振動数である 50Hz 帯域の中心周波数である 50Hz 付近を中心に、一般ボイドスラブに対して TMD ボイドスラブの振動加速度が低減している。一方、41Hz 付近および主に 50Hz 以上のいくつかの周波

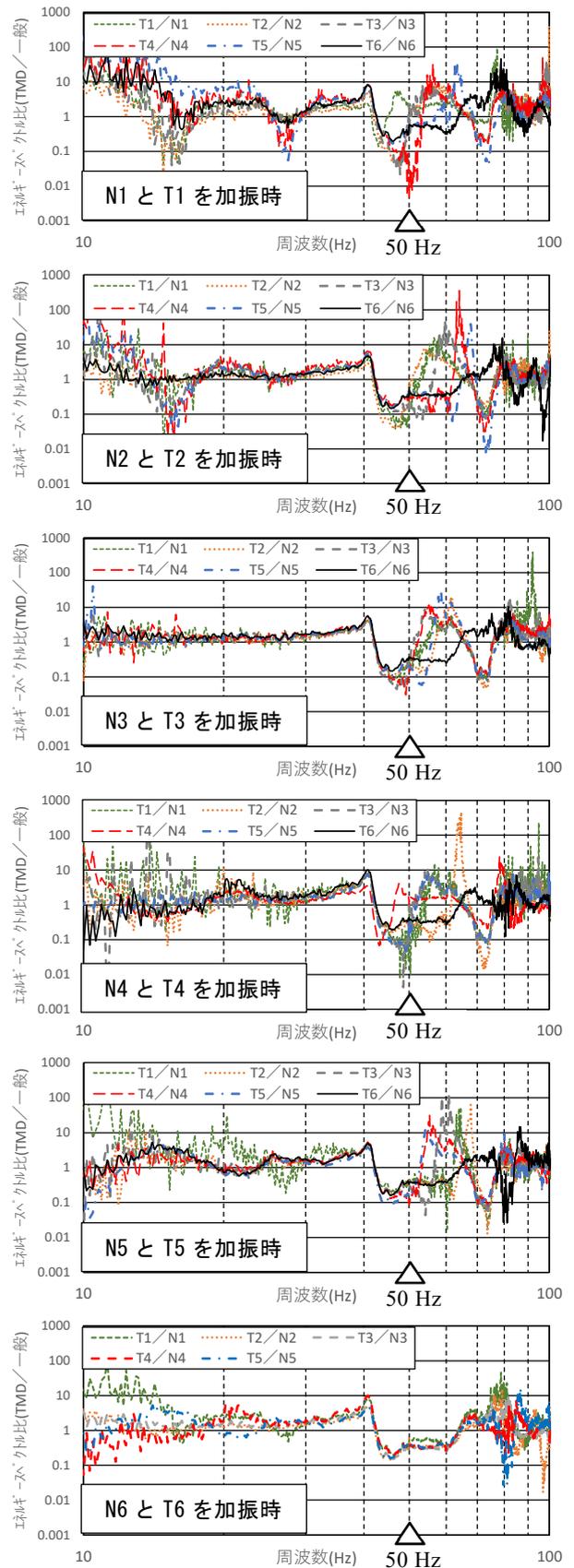


図-7 バングマシン加振によるスラブの振動加速度のエネルギースペクトル比(N1～6, T1～6)

数においてはエネルギースペクトル比が1以上、すなわち振動加速度が増幅している。また、スラブ中央加振のN6とT6では、他の加振点と比較して、各受振点のばらつきの傾向が収束しており、広い周波数範囲においてTMDボイドスラブの効果が得られている。

5. まとめ

重量床衝撃音対策として開発したTMDボイドスラブを、実建物のスラブに適用した。その結果、TMDボイドスラブは、低減目標周波数帯域である1オクターブバンドの63Hz帯域において約8dBの重量床衝撃音の低減効果があり、重量床衝撃音対策として有効であることが確認された。また、スラブ振動性状としては、TMDボイドスラブの振動加速度のエネルギースペクトル比は50Hz付近を中心として減少するものの、50±10Hz付近で増加する傾向があることがわかった。今後は、集合住宅の専有部への適用を目指し、取り組んでいく。

謝辞：本研究は、金沢工業大学、三昌フォームテック(株)との共同研究として実施したものである。本研究の遂行に際しては金沢工業大学 山岸邦彰教授にご指導、ご助言を賜りました。また、TMDボイドスラブの適用

に際しては、三昌フォームテック 佐藤光洋氏、(株)JSP 高橋誠治氏、また当社東京建築支店 山口正和氏をはじめ、多くの方にご協力頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福田優輝, 井上竜太, 岡野利行, 宍戸覚, 麻生直木, 花井厚周: 板状集合住宅における重量床衝撃音遮断性能の向上に関する研究—その2 TMDの効果確認試験—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1分冊, pp.249-250, 2016.8
- 2) 小林秀彰, 岩本毅, 嶋田泰, 赤尾伸一, 山岸邦彰: TMDによる重量床衝撃音の低減効果, 騒音制御, Vol.43(1), 37-42, 2019.2
- 3) 小林秀彰, 嶋田泰, 山岸邦彰: RC造床スラブのTMD設置による重量床衝撃音低減効果, 音響技術, Vol.50(4), 43-48, 2021.12
- 4) 山岸邦彰, 小林秀彰, 岩本毅, 嶋田泰, 赤尾伸一, 高橋誠治: TMD内蔵ボイドスラブの重量床衝撃音低減効果とその予測に関する研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第61号, 180-183, 2018.7
- 5) JIS A 1418-2:2019, 建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第2部: 標準重量床衝撃源による方法—