

高剛性大型スラブの床衝撃音に対する天井の影響に関する研究



山内 崇*¹

渡邊 秀夫*¹
松岡 明彦*¹
井上 勝夫*²

概 要

近年、集合住宅においては、無梁構造の採用によるスラブの大型化に伴い、高剛性化が進む傾向にある。また、床衝撃音に対する天井の影響は一般的に不利側に作用するが、その研究例は少ないのが現状である。そこで、実物大スラブモデルを利用して、天井の床衝撃音への影響について、吊りボルトの有無の天井仕様について実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 軽量床衝撃音は、吊りボルトからの伝搬振動が大きく寄与しており、吊りボルトをなくすことによって、振動、床衝撃音低減効果が得られる。
- (2) 重量床衝撃音については、低音域において、吊りボルトは天井面の振動を拘束する働きがあるが、下地材間でボードが共振増幅する傾向がある。
- (3) 床衝撃音低減対策としては吊りボルトからの振動絶縁、天井懐空気層による天井板共振の低減、下地間のボードの共振増幅の低減等が考えられる。

STUDY ON INFLUENCE OF CEILING ON FLOOR IMPACT SOUND LEVEL OF HIGH RIGIDITY AND LARGE SPAN SLAB

Takashi YAMAUCHI*¹
Hideo WATANABE*¹
Akihiko MATSUOKA*¹
Katsuo INOUE*²

Recently, it shows a tendency of proceeding with high rigidification caused by the enlargement of slab by adoption of beam-less structure. Moreover, generally the influence of ceiling on floor impact sound acts on disadvantage side, there are few research examples of influence of ceiling on floor impact sound. So experiment was done about the existence of hang bolts on influence of ceiling on floor impact sound by using the full-size slab model. The knowledge is as follows.

- (1) About the light weight floor impact sound, the vibration from hang bolts contributes greatly, and it could get big effects on decrease of the floor impact vibration and sound by removing hang bolts.
- (2) As for the heavy weight floor impact sound, hang bolts work to restrain the vibration of ceiling, it shows a tendency that the boards between the substrate resonate in the low frequency range.
- (3) As the way of decreasing of floor impact sound, it can think about insulation of vibration from hang bolts, and decrease of the resonant ceiling caused by the class of air behind ceiling, and the resonant boards between the substrate.

*1 技術研究所 *2 日本大学理工学部

*1 Technical Research Institute *2 College of Science and Technology, Nihon Univ.

高剛性大型スラブの床衝撃音に対する天井の影響に関する研究

山内 崇*¹ 渡邊 秀夫*¹
松岡 明彦*¹ 井上 勝夫*²

1. はじめに

最近の集合住宅では、平面計画の自由性が重視され、無梁構造が採用されるケースが多くなり、その結果、床衝撃音等の品質確保のために、高インピーダンスの大型スラブが施工されるようになってきている。また、仕上げ天井の床衝撃音に対する影響は、一般的には不利側に働くと考えられているが、その研究例¹⁾²⁾は少なく、住宅の性能表示制度でも不確定要素として扱われているのが現状である。

そこで、無梁構造物の実物大モデル³⁾を利用して、天井の床衝撃音への影響について実験を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験の概要

実験は、図-1に示すように実際の建物の3スパン分の段差付きスラブの実物大モデル³⁾(17,230×9,420)を利用して行った。スラブ厚さはリブ付きで高い方が総厚370mm、低い方が330mmである。370mm厚のスラブ下に実験対象室(16m²)を設定し、ボード乾式壁で受音室を施工した。

天井仕様は、図-2および写真-1に示すように、石膏ボード厚さ9.5mmをリブ下170mmのところから吊る方法(以下吊りありとする)と、吊りボルトなしで天井を2辺の壁で支持とした方法(以下吊りなしとする)の2パターンとした。

測定は、図-3に示すように、重量・軽量床衝撃音レベル(JIS A 1418-1995に準拠)、バングマシン、タッピングマシンでスラブ素面を加振した際のスラブ素面、天井面(全319点)および壁面(各面12点、全48点)の振動加速度応答の測定を行った。

分析は、バングマシン加振時はFastピーク値、タッピングマシン加振時は15秒間のエネルギー平均値を、床衝撃音レベルの場合は1/1オクターブバンドで、振動加速度レベルの場合は1/3オクターブバンドでリアルタイム周波数分析器を用いて行った。

図-4に乾式ボード壁面振動測定点例を、図-5にスラブ加振点、天井の振動加速度測定点および下地割付図を示す。

3. 天井寄与度の検討

図-6に吊りあり、吊りなしと天井施工前の重量・軽量床衝撃音レベルを比較したものを示す。

重量床衝撃音についてみると、天井なしが L_{H-51} 、天井吊りありが L_{H-51} 、天井吊りなしが重量床衝撃音についてみると、天井なしが L_{H-51} 、天井吊りありが L_{H-51} 、天井吊りなしが L_{H-49} となっている。いずれも決定周波数は63Hzであり、天井なしに対して吊りありは同値、吊りなしでは2dBの低減効果が得られており、一般的な天井での床衝撃音増加傾向はみられないが、図-1の太線で囲った部分(約22m²)を下室空間とした場合³⁾、天井なしで L_{L-50} 、吊りあり天井で L_{L-54} となり、4dB増加する結果となった。このように、室面積によっては、天井を施工することにより床衝撃音が大きく増加する場合がある。

軽量床衝撃音についてみると、素面加振のため、天井な

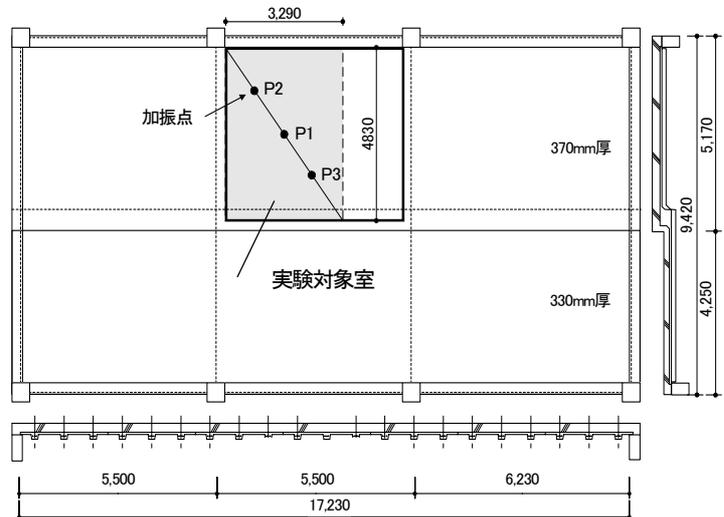


図-1 スラブ平面・断面図

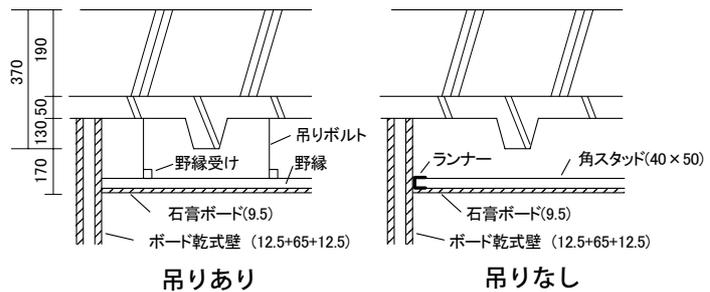


図-2 天井仕様



写真-1 天井下地

*1 技術研究所 *2 日本大学理工学部

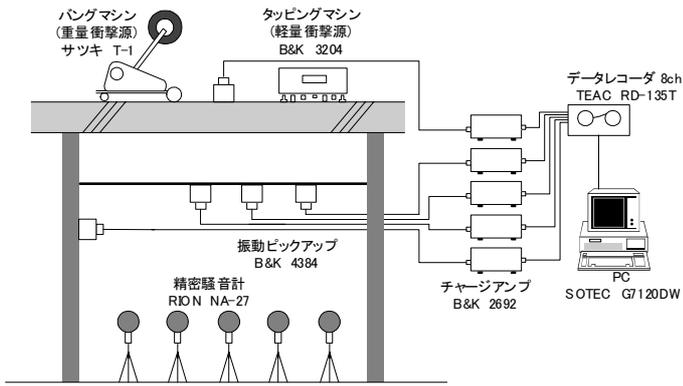


図-3 測定解析ブロックダイアグラム

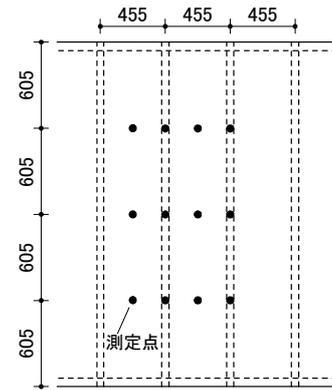


図-4 ボード壁面振動測定点例

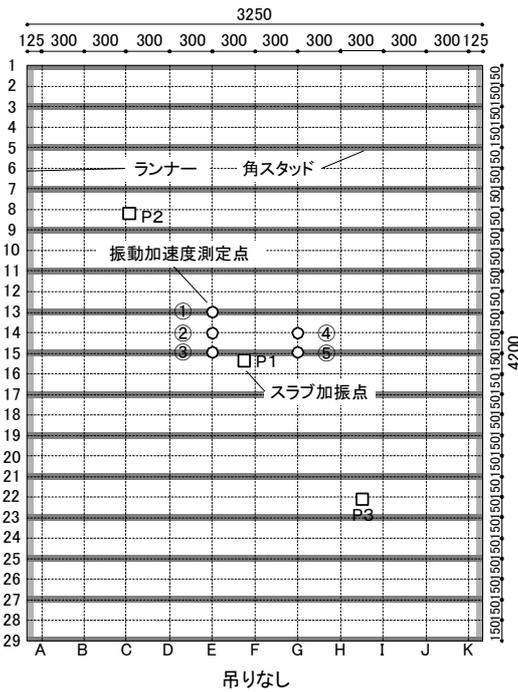
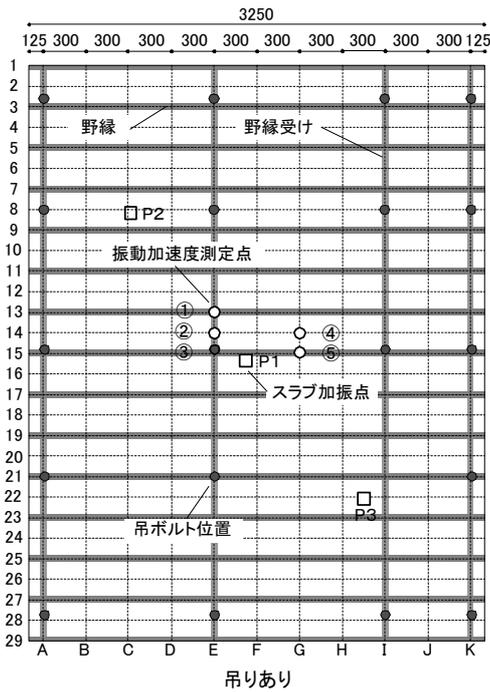


図-5 スラブ加振点・天井測定点・天井下地割付図

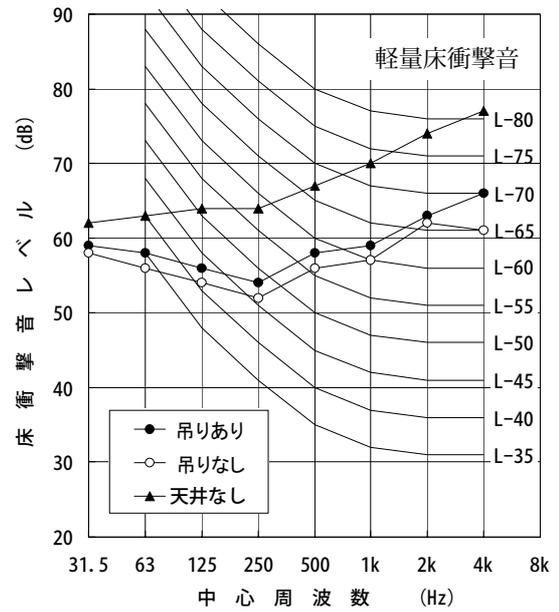
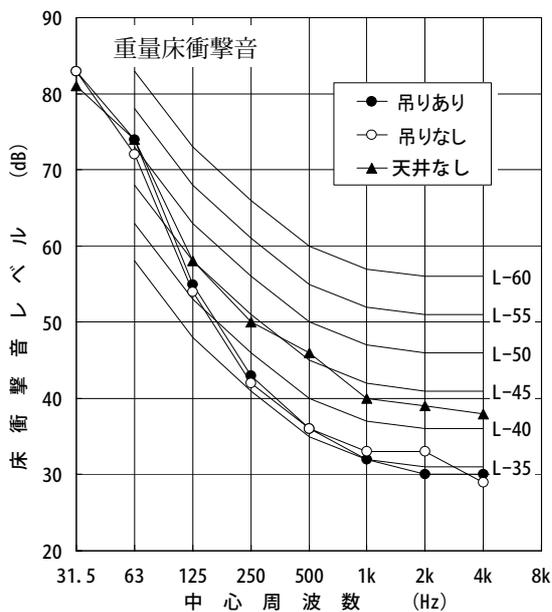


図-6 重量床衝撃音レベル・軽量床衝撃音レベル

しが L_L -81、吊りありが L_L -70、吊りなしが L_L -68となっている。全帯域に渡って天井による床衝撃音低減効果が確認でき、また、吊りなしは吊りありより2dB前後の低減効果が得られている。

床衝撃音レベルに対する天井面および壁面振動の寄与の割合を確認するために、バングマシン、タッピングマシンでスラブP1～P3を加振した際の、それぞれの天井全体および各壁の振動加速度レベルをエネルギー平均し、その結果を加振点3点について算術平均したものに、面積を考慮して振動エネルギーレベルを求めた。その結果を図-7に示す。

バングマシン加振時は、吊りありの場合、31.5Hz帯域で床衝撃音レベルに与える壁の寄与が2dB程度あるが、63Hz帯域では壁の寄与はほとんどないといえる。しかし、吊りなしの場合は、63Hz帯域で壁からの寄与が無視できないため、壁からの影響を除けば、天井仕様の違いによる振動加速度レベルの差が床衝撃音レベルの差にさらにはつきりあらわれてくると考えられる。

タッピングマシン加振時も同様の傾向が見られ、吊りなしの場合は、125Hz～250Hz帯域で、天井と壁がほぼ同等であることから、床衝撃音レベルに対する天井仕様の差はさらに3dB程度大きくなると考えられる。

天井を施工することによる床衝撃音レベルの増加は、今回の測定では顕著にはみられなかったが、実験に用いた下室空間の壁は、表面ボードが比較的軽い乾式壁であり、RC壁や高剛性・高遮音性能の乾式壁の場合には、壁の寄与が更に小さくなるため、床衝撃音遮断性能を向上させるための天井構造の改善検討は重要であると考えられる。

4. 振動分布性状

4.1 重量床衝撃源

図-8～図-11にバングマシンでP1を加振した時の天井面の振動加速度レベルの分布を示す。なお、図中の実線は下地材、破線はボードの割付、点は吊りボルト位置をあらしている。

図-8の31.5Hz帯域の吊り

ありは、短辺、長辺の全体的板としての特性はあまり認められず、吊り位置間隔を基本とした振動特性を示している。吊りなしは短辺方向に1次モード、長辺方向は下地位置による固有振動が確認できる。

図-9～図-11をみると、短辺方向の曲げがあらわれている。50Hz、63Hzでは、吊りありは、吊りボルトで拘束されるものの、吊りボルト間で共振増幅するため、吊りありの方がレベルが大きくなっている。

P1をバングマシンで加振した時の吊りボルト直下の天井面③および野縁間・野縁受け間④の全時間振動応答をそれぞれ図-12、図-13にP1の全時間振動応答とあわせて示す。

図-12の吊りありは、低域ではスラブ振動と天井振動がほぼ一致しており、スラブと天井が一体となって振動しているといえる。

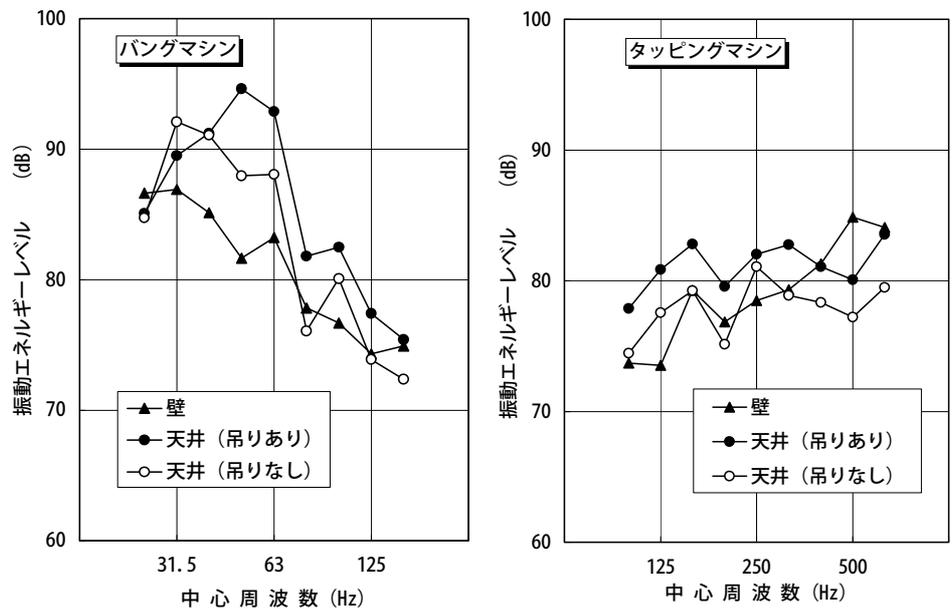


図-7 振動エネルギーレベル

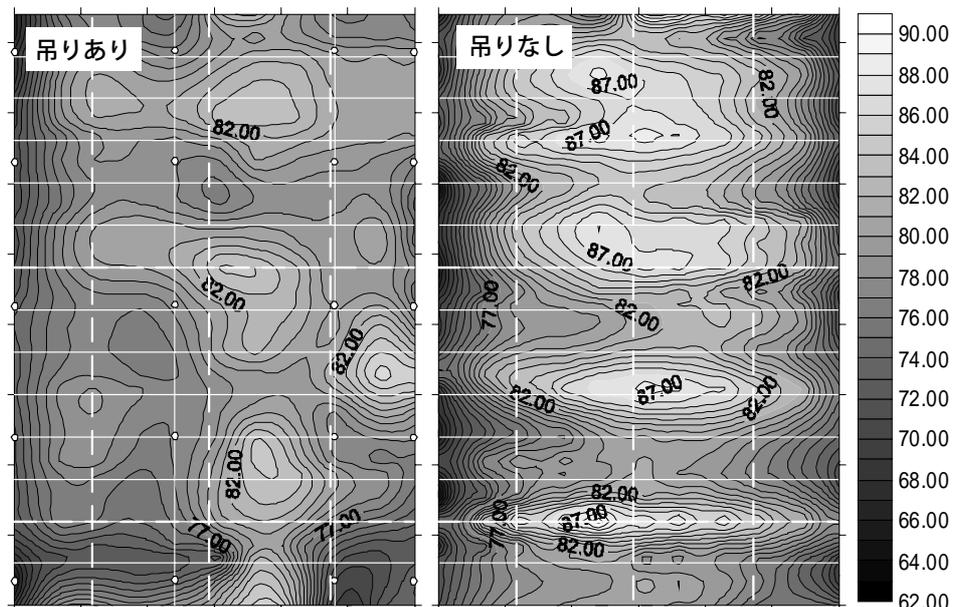


図-8 バングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 31.5Hz

図-13の吊りなしは、吊りボルトの拘束の影響がないので、スラブ振動よりも天井振動が特に30～60Hz間で増幅する傾向がみられる。

図-14にバングマシンでP1を加振した時の天井面の振動加速度レベルエネルギー平均値を示す。31.5Hz帯域を除く全周波数帯域にわたって吊りなしが吊りありに比べて小さなレベルとなっており、天井改善対策の一つになり得ることが示唆されている。

4.2 軽量床衝撃源

図-15～図-16のタッピングマシン加振時の振動応答分布をみると、吊りありでは、125Hz、250Hzとも、吊りボルト位置の応答が小さくなっており、野縁間で共振増幅している。吊りなしも同様に野縁間で増幅する傾向を示しているが、スラブから振動的に独立している分、全体的に吊りありに対して約10dB程度レベルが小さくなるっている。このことより、吊りありの場合、吊りボルトからの振動伝搬の影響が支配的になっているといえる。

5. 天井受振点別振動応答

5.1 重量床衝撃源

図-17～図-21にバングマシンでP1を加振した時の天井面①～⑤の振動応答をそれぞれ示す。

31.5Hz～63Hzに着目すると、吊りありは、吊りボルト直下③の応答が下地や吊りボルトの拘束によって小さく抑えられ、吊りなしが天井懐の空気ばねによる天井板共振の影響を受け、応答が大きくなっている。なお、天井懐の空気ばねによる天井板の共振周波数計算結果は43Hzとなり、吊りなしのピーク帯域と一致する。125Hz以上では吊りなしのほうが小さいレベルとなっており、振動的に独立させることによって伝達損失が大きくなっているといえる。下地の影響の少ない野縁間②、④の吊りなしは、ボルト直下③と同様に空気ばねによる共振が低域であられる特性を示している。これに対して吊りありは、②、④で、吊りボルトの拘束の影響が小さくなり、吊りボルト間の共振増幅の影響があらわれており、ボルト直下③と異なる特性を示している。

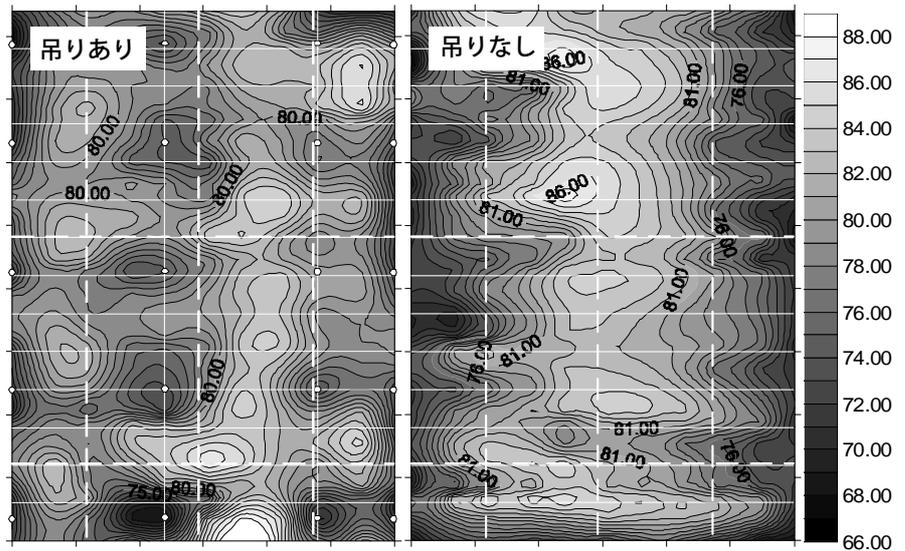


図-9 バングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 40Hz

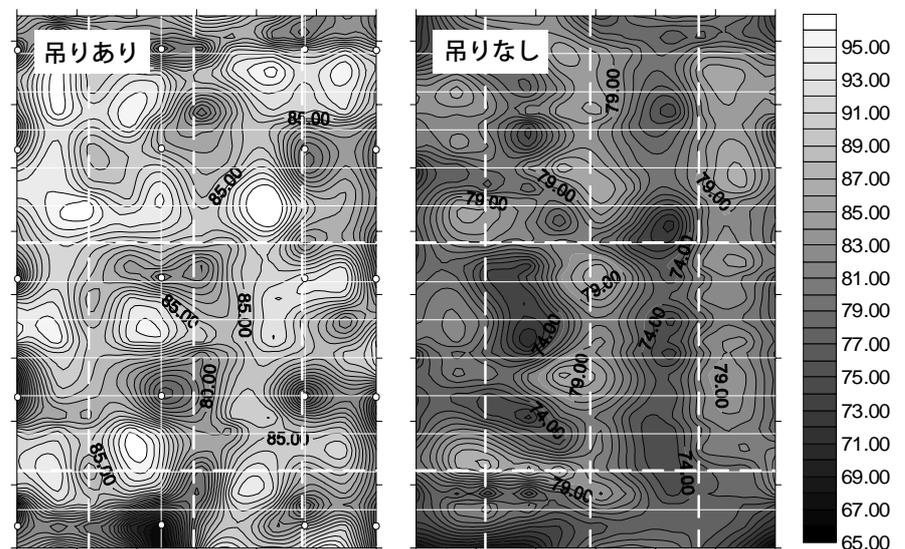


図-10 バングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 50Hz

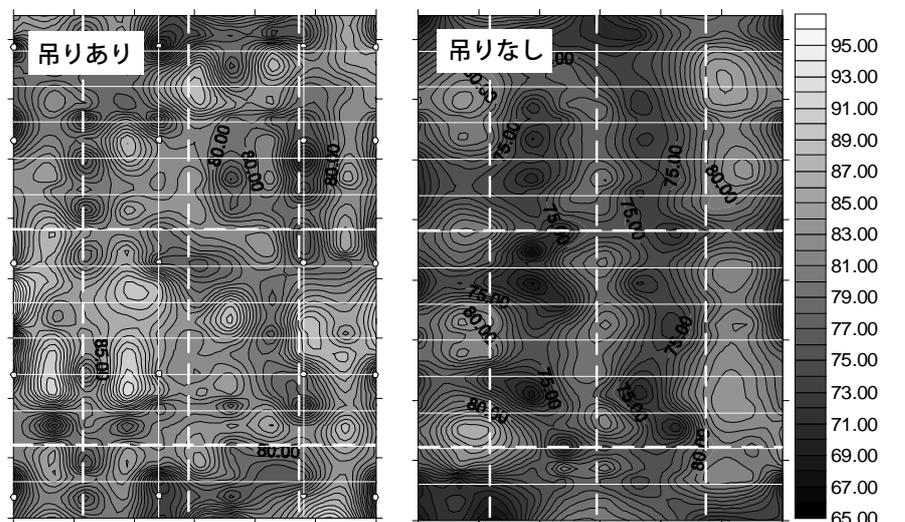


図-11 バングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 63Hz

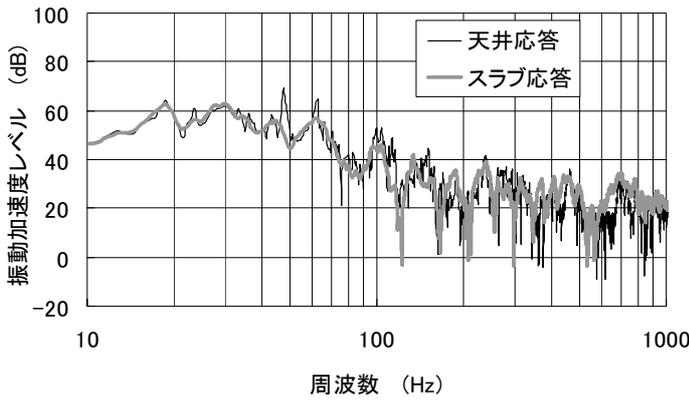


図-12 スラブP1・天井③振動応答 (吊りあり)

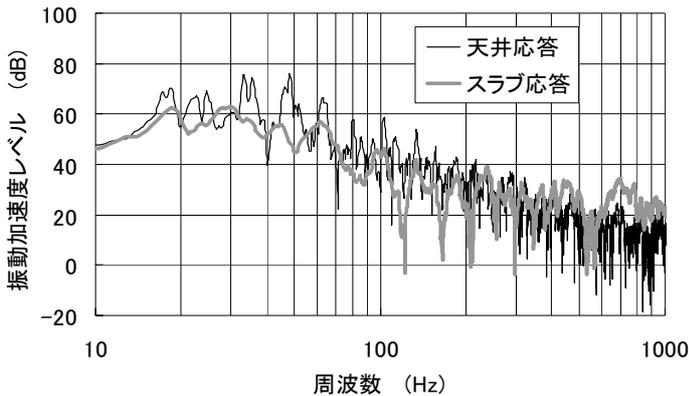


図-13 スラブP1・天井④振動応答 (吊りあり)

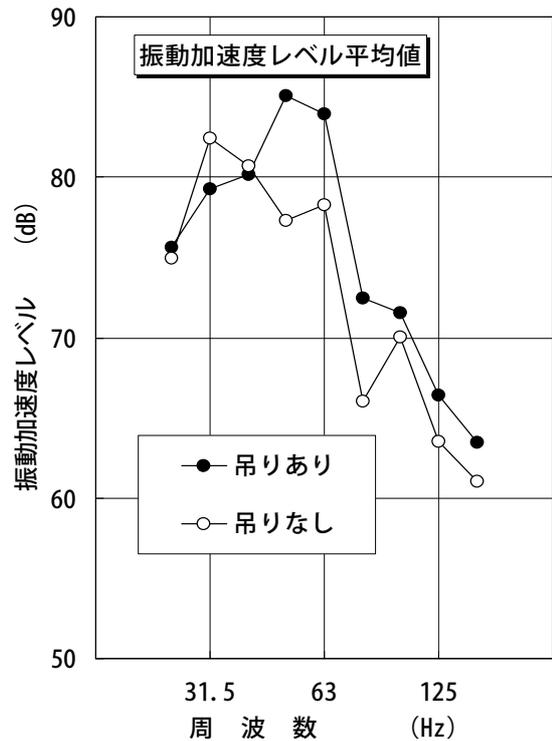


図-14 天井振動加速度レベル平均値

5.2 軽量床衝撃源

図-22～図-26にタッピングマシンでP1を加振した時の天井面①～⑤の振動応答をそれぞれ示す。①、③、⑤の吊りなしの応答は1 kHzまで、吊りありに対して十分小さくなっており、吊りボルトをなくすことによって、振動的に独立させた効果があらわれている。

6. まとめ

今回の実験結果から、重量床衝撃音遮断性能に有効な天井構造の要因として、天井のスラブ共振増幅点以外からの吊り支持、ボードの下地間の質量付加などによる共振増幅の低減、下地材の剛性増、天井懐高の調整と吸音など、63Hz帯域の低減に着目して、天井の共振周波数のチューニングと制御を行うことが重要になると考えられる。軽量床衝撃音に関しては、吊りなしや防振吊りなどによるスラブからの振動絶縁、下地間のボードのモード制御が考えられる。

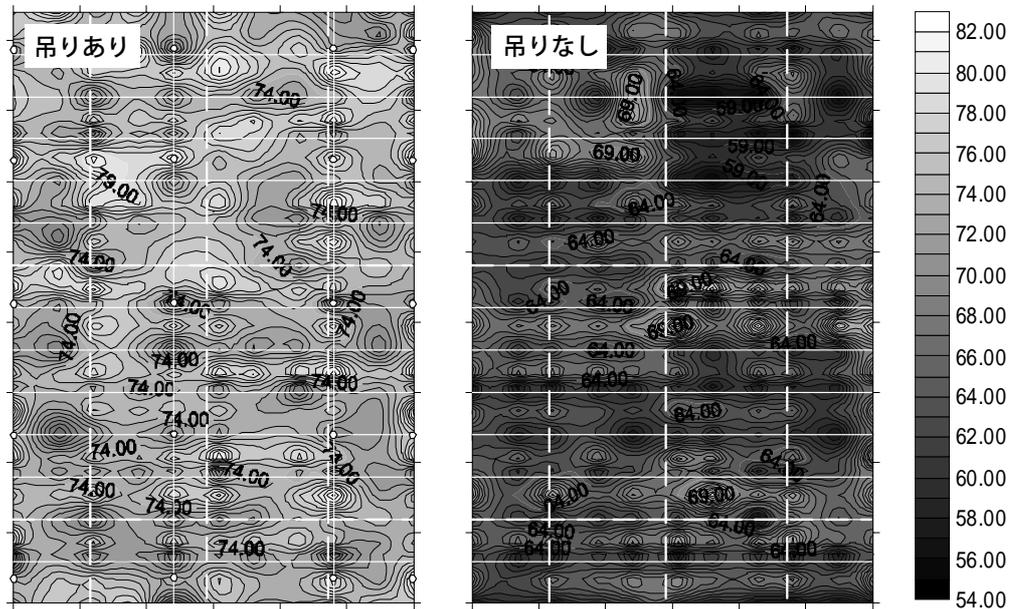


図-15 タッピングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 125Hz

今後、これらの要因を踏まえた具体的な天井構造について検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 松岡、渡辺、宮尾：防振天井の振動加速度レベル低減効果に関する実験的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集, 1998年9月
- 2) 布施、宮島、中川：二重天井の重量床衝撃音への影響、日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002年8月
- 3) 松岡、井上、渡邊、中森：大型スラブの重量床衝撃音特性、日本建築学会大会学術講演梗概集, 2001年9月

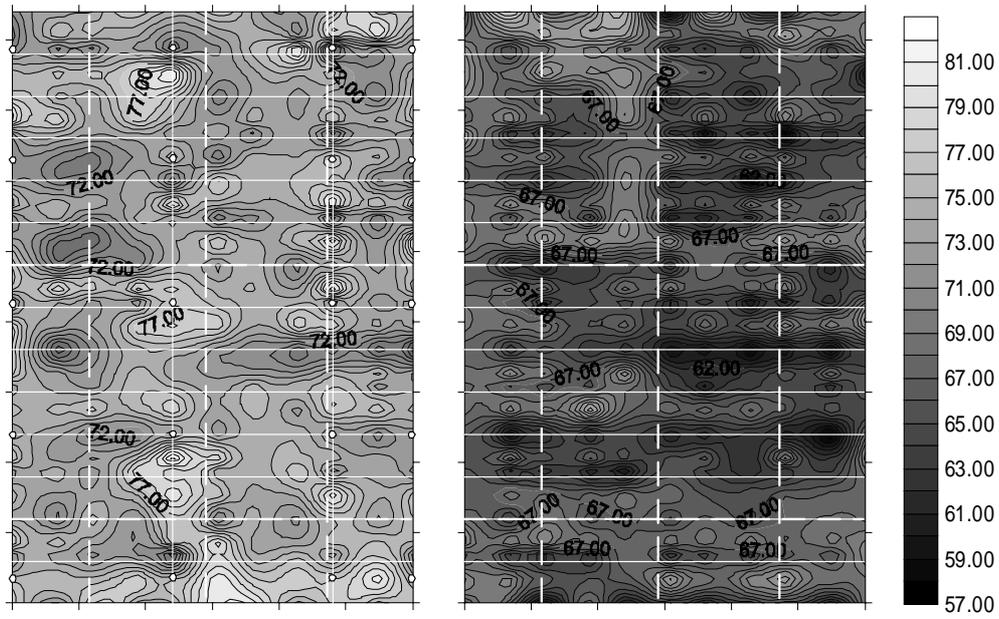


図 - 16 タッピングマシン加振振動加速度レベル分布 (1 dB ピッチ) 250Hz

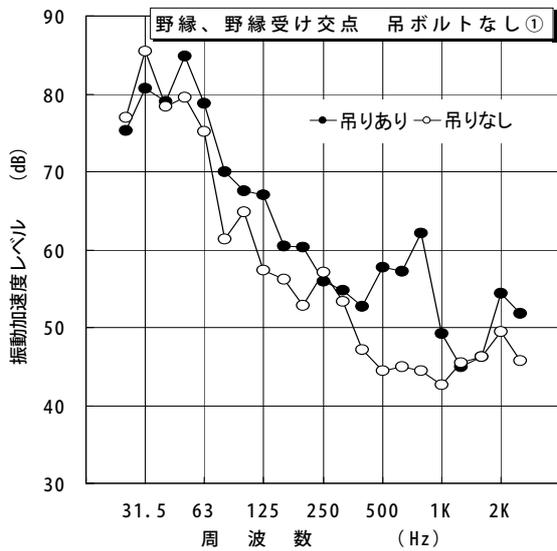


図 - 17 バング加振天井振動応答①

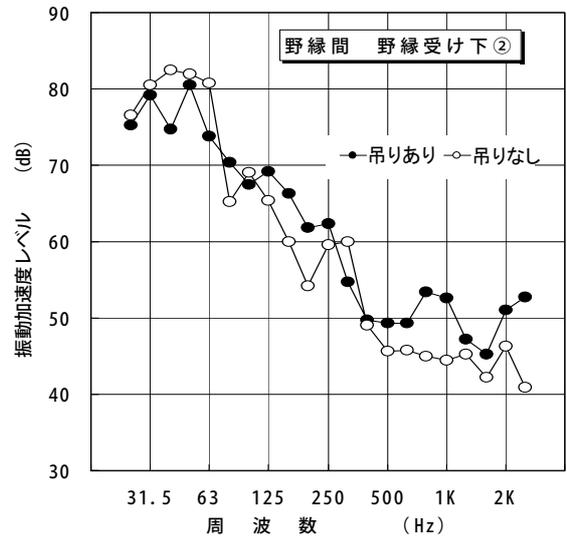


図 - 18 バング加振天井振動応答②

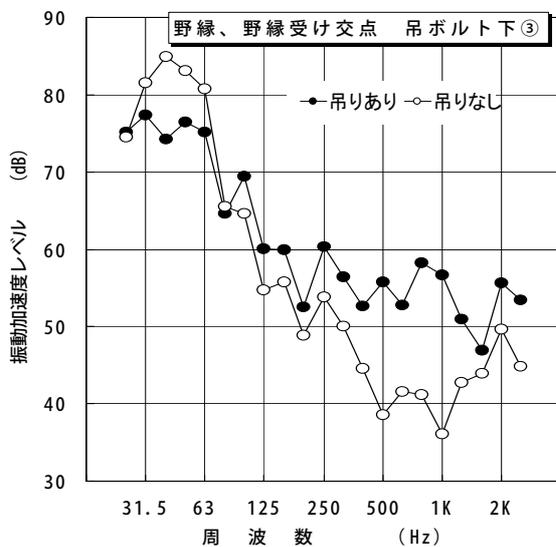


図 - 19 バング加振天井振動応答③

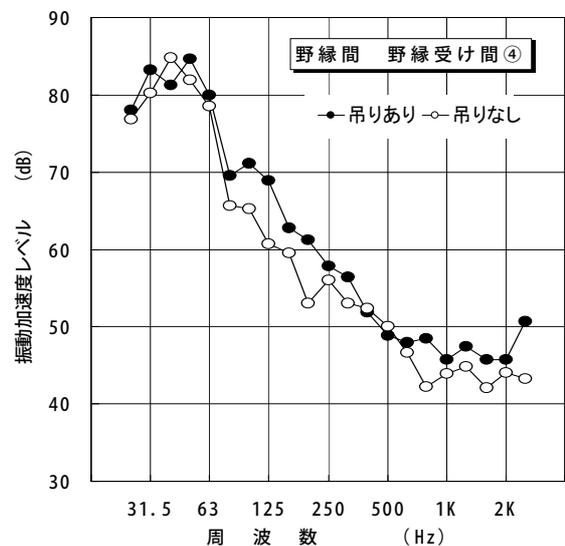


図 - 20 バング加振天井振動応答④

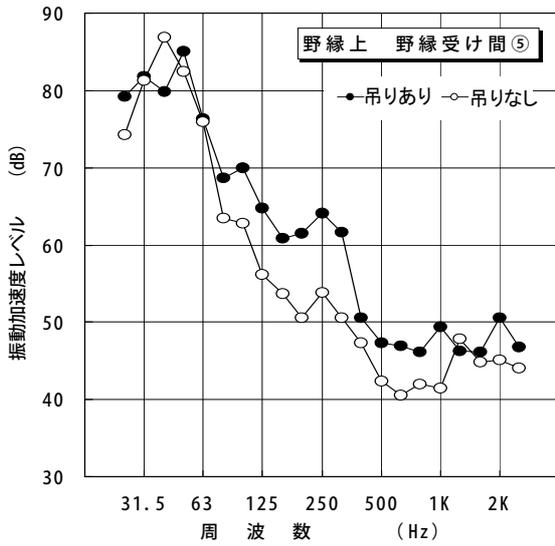


図 - 21 バング加振天井振動応答⑤

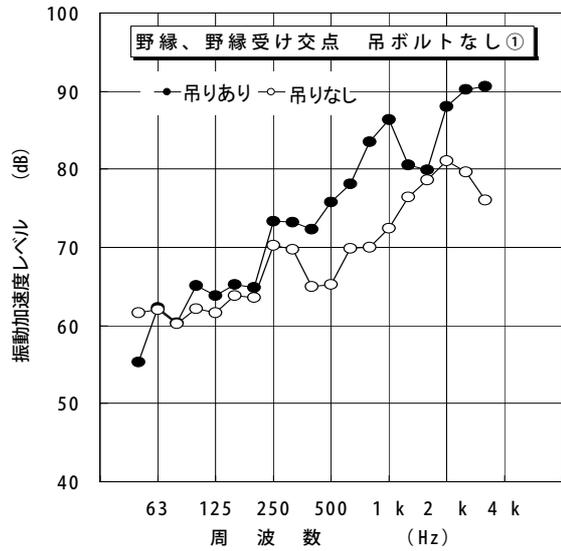


図 - 22 タッピング加振天井振動応答①

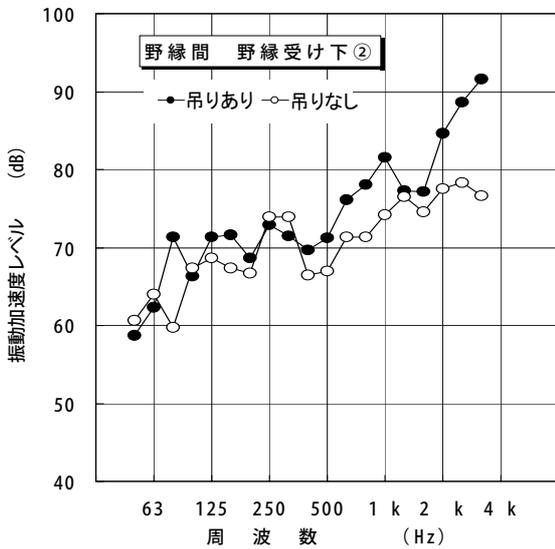


図 - 23 タッピング加振天井振動応答②

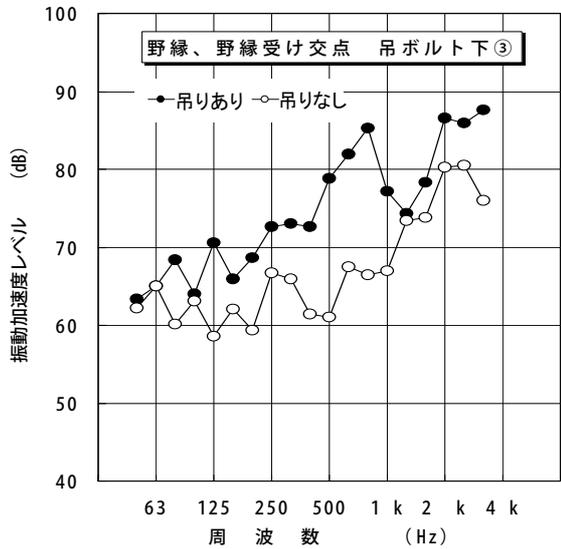


図 - 24 タッピング加振天井振動応答③

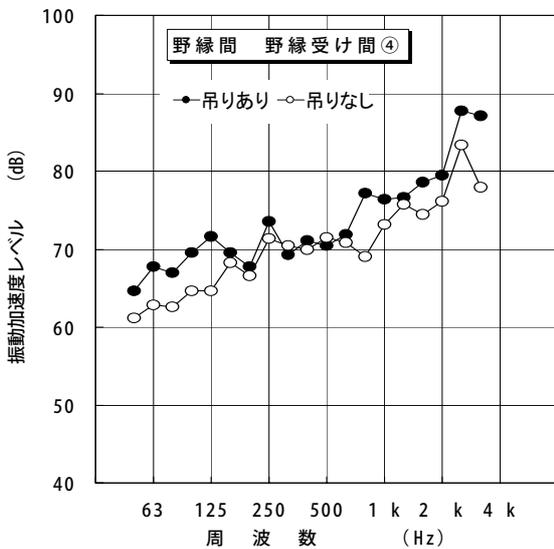


図 - 25 タッピング加振天井振動応答④

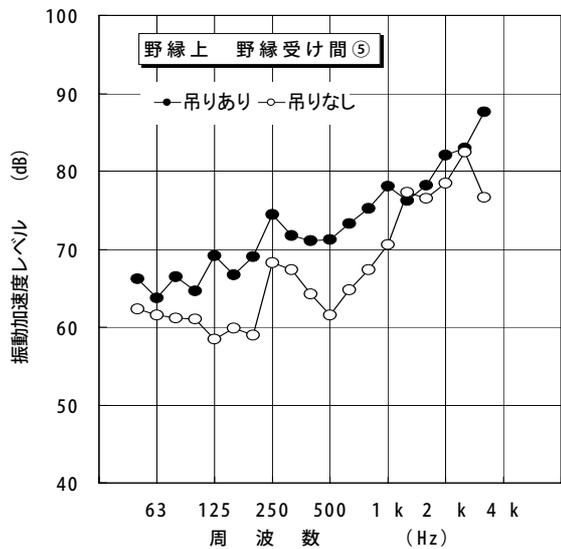


図 - 26 タッピング加振天井振動応答⑤