

枠組壁工法実大実験住宅における 床衝撃音遮断性能向上に関する実験的検討

平光 厚雄¹

¹独立行政法人建築研究所 環境研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

木造である枠組壁工法（ツーバイフォー工法）による木造耐火構造が可能となり、2004年から防火地域内において、4階建共同住宅や特殊建築物等への枠組壁工法の適用が可能となった。集合住宅の音環境性能、特に床衝撃音遮断性能は、コンクリート系建築物と比較すると、木造系の建築物の性能は劣ることが多い。そこで、4階建ての実大実験住宅を建設し、床衝撃音に関する実験的検討を行った。その結果、コンクリート系の集合住宅の床仕上げ材として使用される乾式二重床構造が床衝撃音遮断性能対策に有効であることがわかった。さらには、現在衝撃力の異なる2種類が規定されている標準重量衝撃源のタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の対応性を実大実験住宅において検討を行った。

キーワード 枠組壁工法, 床衝撃音遮断性能, 乾式二重床構造, 標準重量衝撃源

1. はじめに

建築基準法第61条により、防火地域内では、階数が3以上であり、又は延べ面積が100㎡を超える建築物は耐火建築物とし、その他の建築物は耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。独立行政法人建築研究所と社団法人日本ツーバイフォー建築協会は、木造である枠組壁工法（ツーバイフォー工法）の耐火構造に関する共同研究を実施し、枠組壁工法による木造耐火構造を可能とした。これにより、2004年（平成16年）から防火地域内において、4階建共同住宅や特殊建築物等への枠組壁工法の適用が可能となった。防火地域内における枠組壁工法の適用範囲について図-1に示す。

しかしながら、4階建枠組壁工法に関する技術の知見は少なかつたため、そこで4階建ての実大実験住宅を建設し、構造安定性、振動特性²⁾、建物の沈み込み量等について検討を行ってきた。

(財)住宅リフォーム・紛争処理支援センターの「相談統計年報2008」等によると、「音・振動」の相談事象が多くみられ、共同住宅におけるクレーム内容では音環境に関することが上位に位置しており、その中で床衝撃音に関する事項が1位となっている。枠組壁工法の4階建共同住宅を計画、施工する際は、床衝撃音対策が必要であると考えられる。当然のことながら、音環境性能、特に床衝撃音遮断性能は、コンクリート系建築物と比較すると、木造系建築物の性能は低いといえる。これは、音環境性能向上の基本が質量や剛性を上げることが基本であるためである。そこで、実大実験住宅において音環境

性能についても実験的検討を行った。実大実験住宅は、界床は6種類あり、コンクリート系建物に用いる床仕上げ材である乾式二重床構造を施工する等、床断面仕様を全て異なる仕様とした。

日本工業規格JIS A 1418-2³⁾において、標準重量衝撃源として衝撃力特性の異なるタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の2種類が規定されている。ゴムボール衝撃源は、2000年に新たに追加された衝撃源であるが、日本住宅性能表示基準などの各種基準は、従来から使用されているタイヤ衝撃源による評価となっている。ゴムボール衝撃源への移行には、2つの標準重量衝撃源の対応性を明らかにすることが急務となっており、実大実験住宅の測定結果を基に検討した。

本報では、床衝撃音遮断性能測定結果、2つの標準重量衝撃源の対応性に関する検討内容について報告する。

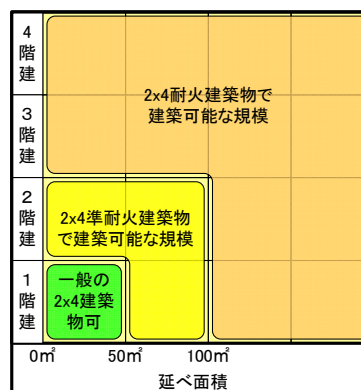


図-1 防火地域内の枠組壁工法による共同住宅の構造について¹⁾

2. 実大実験住宅について

(1) 建物概要

実大実験住宅の建物は、7,735×4,777.5×軒高12,639の規模をもつ4階建て（小屋裏5階建て）の木造枠組壁工法耐火建築物である。写真-1に建物の外観全景を図-2に平面図を示す。居室部分に関しては、1階から4階までほぼ同じ間取りとなっており、各階に2つの居室（住戸）を有している。また外壁、バルコニー手摺に関しては、全て異なる仕様となっている。



写真-1 実大実験住宅外観

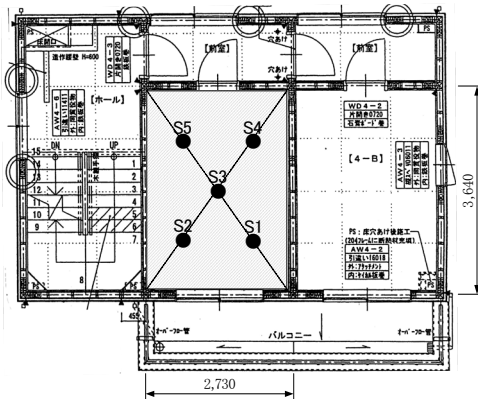


図-2 実大実験住宅平面図および測定ポイント図（例）

(2) 界床仕様

建物断面概略図を図-3に示す。前述したように、1つの階に2住戸ある4階建てであるため、図中のように2A、2B、3A、3B、4A、4Bの6つの界床をもつこととなる。この6床は全て異なる断面仕様とした。なお、4つの界壁（W1、W2、W3、W4）についても、異なる断面仕様としている。断面仕様の概要について表-1に示す。それぞれの断面は、耐火構造の認定取得した界床断面仕様である4Aを基本仕様とした。界床4Aの断面図を図-4に示す。

図中の床側断面と天井側断面の強化せつこうボード2枚（厚さ15mm+21mm）貼りは、耐火構造の基本となっており、壁部分についても同様の強化せつこうボード2枚貼りとなっている。

界床4Aにアスファルト系遮音シートを挿入したものの（4B）、制振ダンパを床根太部分に組み込んだもの（2B）、4Aの仕上げの複合フローリングの代わりに乾式二重床構造を設置したもの（2A、3A、3B）の6種類である。界床2A、2Bに使用したダンパおよび乾式二重床構造は試作品を用いている。乾式二重床A、Bに関しては、コンクリート系住宅用に市販されている製品で、それぞれカタログ値では L_L-35 、 L_H-45 （乾式二重床A）、 L_L-45 、 L_H-50 （乾式二重床B）と表記されているものである。

乾式二重床構造は、コンクリート構造共同住宅に多く使用される床仕上げ材の一つであり、図-5の断面図例に示すように空気層をもつ構造をしている。しかしながら、コンクリート構造では空気ばねの影響のため、床仕上げ材の施工時には素面スラブと比較すると、重量床衝撃音遮断性能が低下することが知られている。

なお、天井部分は床根太と天井ボードが直接接触していい「独立天井」とし、天井内にはグラスウールなどの吸音材の挿入は行わなかった。

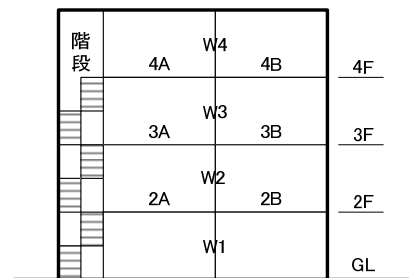


図-3 実大実験住宅断面概略図

表-1 界床の断面仕様概要

界床	仕様
4A(基本)	耐火構造仕様+複合フローリング(12)
4B	耐火構造仕様+アスファルト系遮音シート(8)+複合フローリング(12)
3A	耐火構造仕様+乾式二重床A
3B	耐火構造仕様+乾式二重床B
2A	耐火構造仕様+乾式二重床C [※]
2B	耐火構造仕様+遮音用制振ダンパ [※] 組込

ただし、[※]印は試作品、括弧内の数値は厚さを表す。

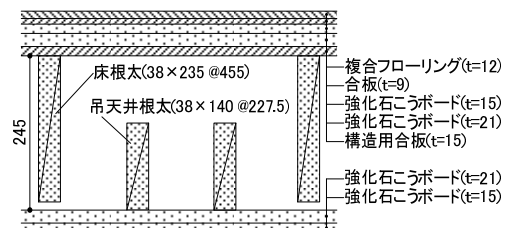


図-4 基本仕様界床（4A）断面図

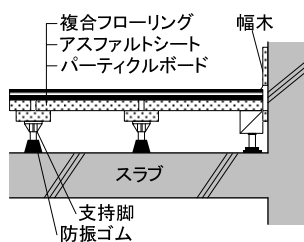


図5 乾式二重床構造断面例

3. 床衝撃音遮断性能測定

(1) 測定概要

床衝撃音遮断性能の測定は、JIS A 1418-2およびJIS A 1418-1⁹⁾に準拠して行った。図-2に示すように、室(2,730×3,640)の対角線を4等分点した5点を衝撃点および受音点とし、各衝撃点について標準衝撃源により衝撃加振し、多チャンネル分析器により床衝撃音レベルを測定した。なお、受音点5点の高さは60～180cmの30cmピッチで不均一とした。標準衝撃源としては、JIS A 1418-2に規定されている標準重量衝撃源の「タイヤ衝撃源」、「ゴムボール衝撃源」およびJIS A 1418-1に規定されている標準軽量衝撃源の「タッピングマシン」の3種類とした。

また測定は写真-2に示すように、受音室内にソファ、カーペットおよびカーテンを設置し、通常の室内に近い状況に残響調整を行った。受音室6室の残響時間測定結果を、設置なしのときの測定結果と併せて図-6に示す。残響時間は、63Hz帯域を除き、おおよそ0.4sで、部屋による差はほとんどみられなかった。



写真-2 受音室内観

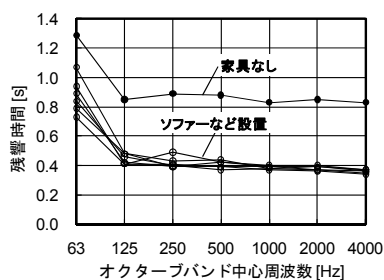


図-6 受音室の残響時間測定結果

(2) 床衝撃音遮断性能測定結果

床衝撃音遮断性能の測定結果を、標準衝撃源別に図-7に示す。また、一般的な界床断面仕様である4Aを基準とし、床衝撃音レベル差をそれぞれ求めた結果を図-8に示す。図-8中で正の値は4Aより床衝撃音遮断性能が高いことをあらわしている。

a) 重量床衝撃音レベル

基本の4Aと厚さ8mmのアスファルト系遮音シートを挿入した4Bとの差は、タイヤ衝撃源、ゴムボール衝撃源ともにほとんどみられなかった。重量床衝撃音対策は、床の面密度や剛性を上げることが基本であるが、面密度、剛性ともにほとんど変化しなかったためであると考えられる。

2Bの制振用ダンパは63Hz帯域付近の制振を目的としている。基本の4Aと2Bとの重量床衝撃音遮断性能の差は、63Hz帯域で4dB程度みられ、制振ダンパの効果がみられた。

乾式二重床を施工した2A、3Aは、基本の4Aと比べて63Hz帯域で10dB程度の重量床衝撃音遮断性能の向上がみられた。

乾式二重床を施工した3Bについては、4Aと比較すると、タイヤ衝撃源の場合は、ほとんど差がみられなかったのに対し、衝撃力の小さいゴムボール衝撃源の場合は、63Hz帯域で3dB程度の効果がみられた。6床の内、最も性能が高い床は3Aで、タイヤ衝撃源の場合はL-60 (L数: 62)であった。

b) 軽量床衝撃音レベル

基本の4Aと2Bとの軽量床衝撃音遮断性能の差は、ほとんどみられなかった。これは、2Bの制振用ダンパは、重量床衝撃音を対象としており、63Hz帯域付近のみを制振し、床の表面材は同様の複合フローリングとしたためである。

基本の4Aと厚さ8mmのアスファルト系遮音シートを挿入した4Bとの差は、250Hz帯域、500Hz帯域において、重量床衝撃音レベルではほとんどみられなかった遮音シートの効果がみられた。

乾式二重床を施工した2A、3A、3Bは、いずれの場合も、基本の4Aと比べて軽量床衝撃音遮断性能の向上がみられた。6床のうち、最も性能が高い床は重量衝撃音のときと同様に3Aで、L-50 (L数: 53)であった。さらには、本実大実験住宅の天井内には吸音材が入っていないが、グラスウールなどの吸音材を挿入することにより、軽量床衝撃音遮断性能の更なる性能向上は可能であると考えられる。

c) 日本建築学会の遮音性能基準による評価

実測された床衝撃音遮断性能などの音環境の測定結果の評価は、日本建築学会の遮音性能基準⁹⁾により通常行われる。集合住宅居室における床衝撃音レベルの適用等級を表-2に示す。表中の重量衝撃源は、タイヤ衝撃源を示している。

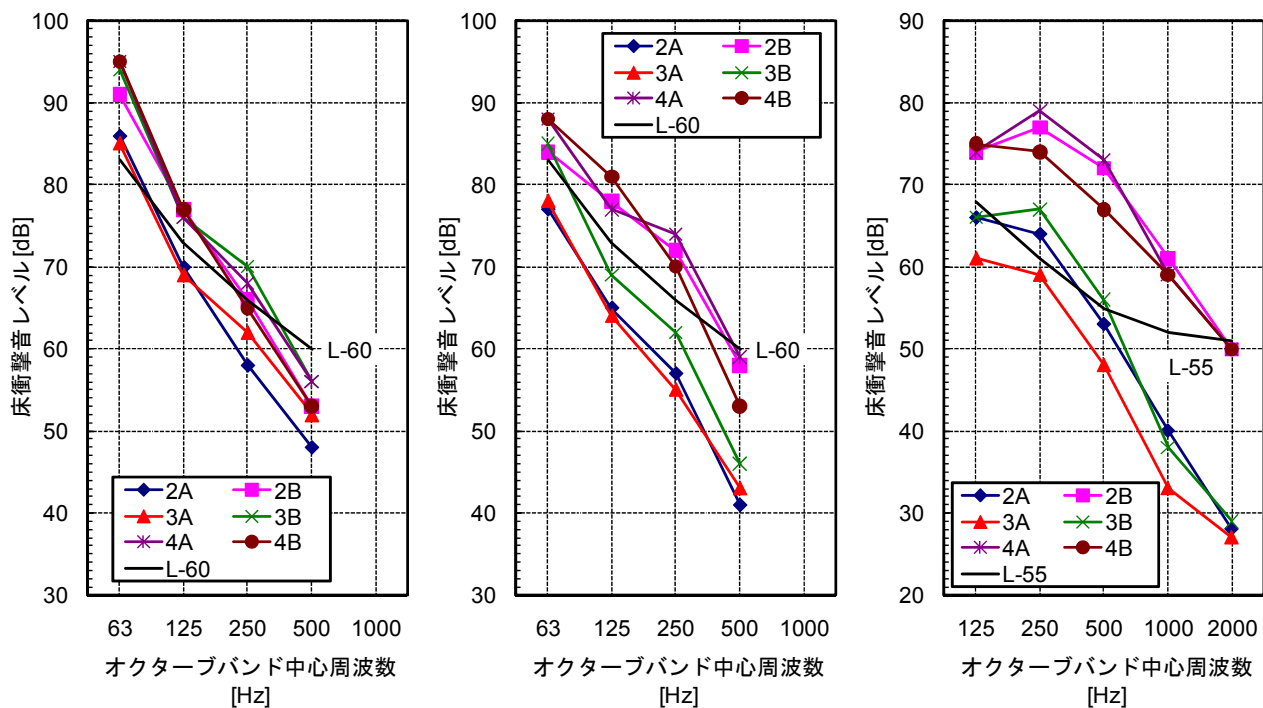


図7 床衝撃音レベル測定結果

(左：タイヤ衝撃源、中：ゴムボール衝撃源、右：タッピングマシン)

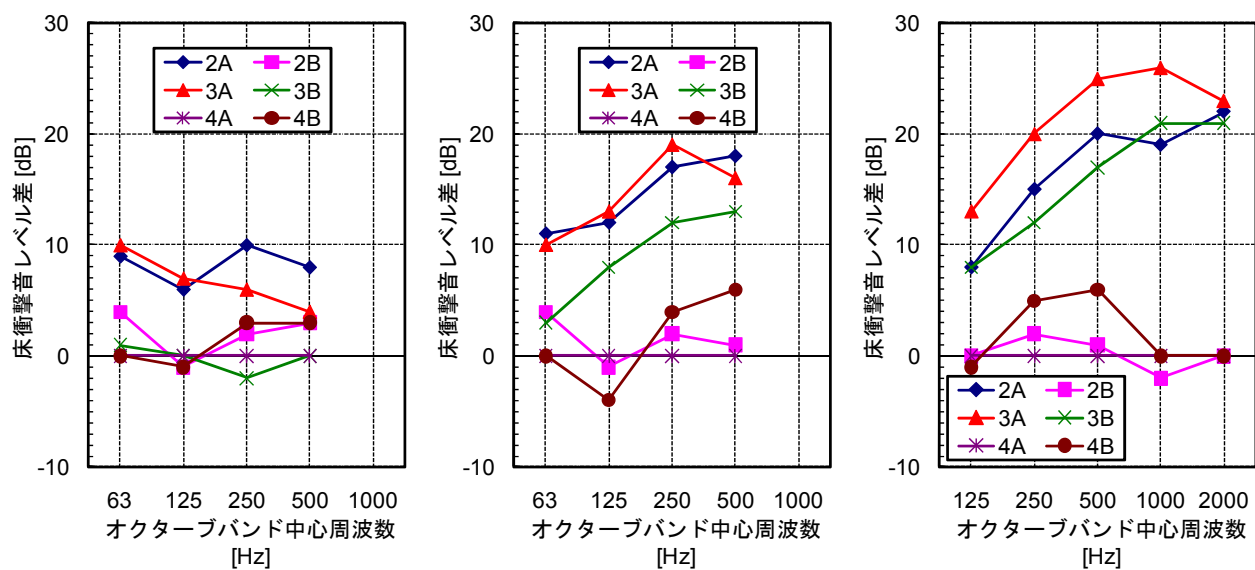


図8 床衝撃音レベル差計算結果

(左：タイヤ衝撃源、中：ゴムボール衝撃源、右：タッピングマシン)

基本仕様の4Aおよび2A、2B、4Bの4床については、重量および軽量床衝撃音レベルは共に等級外であった。一方、最も性能の高い界床3Aの測定結果を表に当てはめると、重量床衝撃音レベルの場合はコンクリート構造における3級、軽量床衝撃音レベルの場合は2級と高い性能を示している。

以上の結果から、木造の枠組壁工法では乾式二重床構造が、重量床衝撃音、軽量床衝撃音ともに有効であることがわかった。これは、枠組壁工法における乾式二重床構造の共振周波数がコンクリート構造と比較して低域に

シフトしたことや乾式二重床構造がもつ防振ゴムによる振動減衰効果が有効に働くためと考えられる。

表-2 集合住宅居室における床衝撃音レベルの適用等級

衝撃源	適用等級			
	特級	1級	2級	3級
重量衝撃源	L-45	L-50	L-55	L-60、L-65*
軽量衝撃源	L-40	L-45	L-55	L-60

* 木造、軽量鉄骨造またはこれに類する構造の集合住宅に適用する。

4. 標準重量衝撃源の対応性に関する検討

日本工業規格JIS A 1418-2において、標準重量衝撃源として衝撃力特性(1)をもつタイヤ衝撃源に加え、衝撃力特性(2)をもつゴムボール衝撃源が2000年に規格化された。既報⁶⁷⁾では、コンクリート構造を対象とした2種類の標準重量衝撃源の対応性に関する検討が行われてきた。今回、3.で測定した枠組壁工法の実大実験住宅を対象とし、2種類の標準重量衝撃源の対応性について検討を中心に行った。

標準重量衝撃源であるタイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源の衝撃力特性は、JIS A 1418-2およびISO140-11⁹⁾に規定されている。それぞれの衝撃力特性について図-9に示す。図中のそれぞれの衝撃源の2本の線は、規格の上限と下限を表している。2つの衝撃源は衝撃力の大きさの他、周波数特性も異なっており、低周波数域ではタイヤ衝撃源の方が、高周波数域ではゴムボール衝撃源の方が衝撃力暴露レベルが大きくなっている。この2つ標準重量衝撃源の対応性については、既報⁹⁾では、式(1a)のように、衝撃力暴露レベル差により規準化する方法を提案した。

$$\begin{aligned} & \text{規準化されたボールによる床衝撃音レベル} \\ & = \text{ボールによる床衝撃音レベル} \\ & - \text{ボールの衝撃力暴露レベル} \\ & + \text{タイヤの衝撃力暴露レベル} \end{aligned} \quad (1a)$$

3.で測定したゴムボール衝撃源による重量床衝撃音レベルを式(1a)により規準化された重量床衝撃音レベルとタイヤ衝撃源による重量床衝撃音レベルを比較した結果の例(3A、4A)を図-10に示す。また、6床の全てに対してタイヤ衝撃源による重量床衝撃音レベルから規準化したゴムボールによる重床衝撃音レベルを差し引いたものを図-11に示す。

これらを見ると、乾式二重床を施工していない2B、4A、4Bの3床では、衝撃力暴露レベル差で規準化することにより、全周波数帯域において両衝撃源の対応性がほぼとれることがわかる。これに対し、乾式二重床構造を施工した2A、3A、3Bでは、125Hz帯域から上の周波数帯域では、周波数帯域が高くなるほど、その差が大きくなる傾向がある。これは、乾式二重床構造などでは、衝撃力変化に対する床衝撃音変化は線形ではないためと考えられる。今後、2つの標準重量衝撃源の対応をみるために、床構造別の補正值を求めることが必要であると考えられる。

重量床衝撃音で最も重要な周波数帯域である63Hz帯域のみに着目すると、その差が最大で2dB程度であることから、枠組壁工法においても既報と同様に、63Hz帯域では、衝撃力暴露レベルの差で規準化することにより、両衝撃源の対応性がとれる可能性が示された。

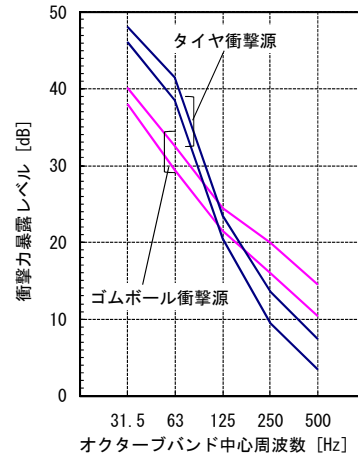


図-9 標準重量衝撃源の衝撃力特性

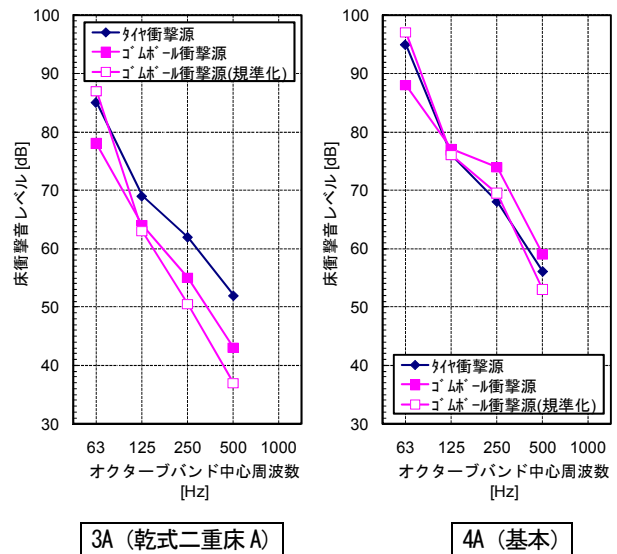


図-10 2つの標準重量衝撃源の対応性の例
(衝撃力暴露レベルにより規準化)

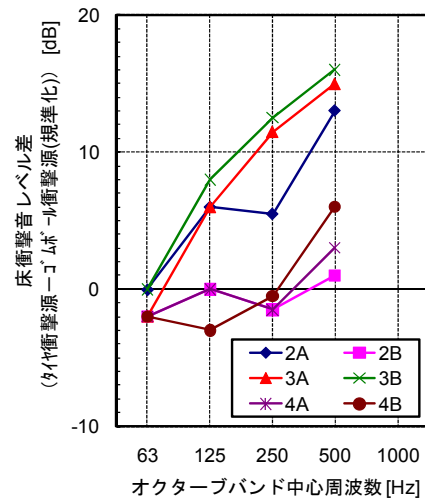


図-11 タイヤ衝撃源による床衝撃音レベルと規準化されたボール衝撃源による床衝撃音レベル差

5. まとめ

今回、防火地域内で建設可能となった4階建て枠組壁工法の床衝撃音遮断性能に関する検討を行った結果、以下のことを明らかにした。

- ・ コンクリート系建物で使用される床仕上げ材である乾式二重床構造は、枠組壁工法の重量および軽量床衝撃音遮断性能の向上に有効である。
- ・ タイヤ衝撃源とゴムボール衝撃源による重量床衝撃音レベルは、衝撃力暴露レベル差で規準化すると、63Hz帯域では対応性が取れる。

今後の討課題としては、以下のようなことが考えられる。

- ・ 室面積の違いの影響などを実建物での検証。
- ・ 耐火構造でない一般的な枠組壁工法や他の木造系建築物での検証。
- ・ 他の建物（室面積の違いなど）での検証
- ・ 乾式二重床構造は、空気層をもつことから天井高（階高）に影響を与えるため、空気層の薄い専用の乾式二重床構造の開発
- ・ 乾式二重床構造は、空気層の厚さが天井高（階高）に影響を与えるため、空気層の薄い乾式二重床構造の開発。
- ・ 2つの標準重量衝撃源による床衝撃音データの更なる蓄積。

今後も、枠組壁工法を対象とした床衝撃音遮断性能向上に関する検討を進めていく予定である。

付録

本研究は、独立行政法人建築研究所と社団法人日本ツーバイフォー建築協会との共同研究「枠組壁工法による木質複合建築構造技術に関する研究（その2）」の内容の一部を取り纏めたものである。

参考文献

- 1) 社団法人日本ツーバイフォー建築協会ホームページ：
<http://www.2x4assoc.or.jp/>
- 2) 村上、山口、河合：枠組壁工法耐火構造4階建て建物の振動特性、日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 分冊、pp.325-326、2006年9月
- 3) JIS A 1418-2:2000：建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第2部：標準重量衝撃源による方法、2000年1月
- 4) JIS A 1418-1:2000：建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第1部：標準軽量衝撃源による方法、2000年1月
- 5) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針[第二版]、1997年
- 6) 平光、中森、富田、木瀬、井上、橘、安岡：新標準重量床衝撃源の開発 その3：床衝撃音による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊、pp.233-234、2000年9月
- 7) 高橋、清水、平光、坪川：標準重量床衝撃源の違いによる床衝撃音レベルの検討 その1 現場測定による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊、pp.47-48、2003年9月
- 8) 平光、清水、高橋、坪川：標準重量床衝撃源の違いによる床衝撃音レベルの検討 その2 実験室測定による検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊、pp.49-50、2003年9月
- 9) ISO 140-11：Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 11: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact sound by floor coverings on lightweight reference floors、2005年