木質系構造床の重量床衝撃音低減に関する研究 多次元スペクトル解析の適用と評価

METHOD FOR THE REDUCTION OF FLOOR-IMPACT SOUND IN WOODEN FLOOR STRUCTURE : The Application and the Evaluation of the Multiple Spectral Analysis

高倉史洋 ———*1
向井達郎 ———*2
西川嘉雄 ———*3
角張 勲 ———*4

山下恭弘 ———*5

Fumihiro TAKAKURA
Taturo MUKAI
Yoshio NISHIKAWA
Isao KAKUHARI

Yasuhiro YAMASHITA

*1

*2

*3

*4

*5

The multiple spectral analysis are effective in case of multiple input/output for correlative inputs. In this paper, we introduce to the results of the application and evaluation of the multiple spectral analysis which is applied the matter of floor impact sound in wooden floor structure.

It is shown that there are the relations of correlation in L-value and Partial Coherent Output Power Ratio (P. C. O. P. R) calculated by Partial Coherent Function in the floor impact sound and also there are the relations between the P. C. O. P. R and the impedance of transmitted vibration, etc.

キーワード:

重量床衝撃音, 多次元スペクトル解析, パーシャルコヒーレント関数, 木質系床構造, マルチプルコヒーレント関数

Keywords:

Heavy floor impact sound, Multiple spectral analysis, Partial coherent function, Wooden floor structure, Multiple coherent function

1 はじめに

木質系構造は、一般的にコンクリート構造に比べ、床が軽量かつ低剛性であるため、床衝撃音遮断性能が劣り、そのため上階における子供の飛び跳ねを想定した重量床衝撃音は大きくなりやすい。しかし、木質系の床構造はコンクリート構造に比べ構造が複雑で非線形要素が多いこと、また木質系建築物の多くが家族のための戸建て住宅か2層の賃貸アパートであるため、コンクリート系構造に比べ床衝撃音に対する苦情が少なかったことが低減に関する研究を立ち遅らせた原因の一つと考えられる。

このようななか、木質系建築物の床衝撃音低減に関して井上、木村らは高剛性パネルの接着工法により重量床衝撃音に対しL-55を達成している^{1),2)}。また、高剛性木質床パネルにより、剛性面で強化された壁と独立遮音天井とを組み合わせることで重量床衝撃音に対しL-55以下の遮音等級を得ている。福島、安岡らは、在来工法の枠を超えた新しい構造の開発により重量床衝撃音に対し、縮尺模型ながら

L-45を達成している^{3),4)}。

これまで筆者らは、縮尺模型を使用し実験を行い、従来の木造床に軽量コンクリート薄板を付加することにより床衝撃音レベルの低減をできることを報告してきた^{5),6)}。より複雑な騒音対策を行う場合、騒音源及び振動—音響伝達経路を明確にする必要が生じてきたことから、多次元スペクトル解析を適用し、重量床衝撃音発生時における受音室の壁面振動—音響放射の重量床衝撃音レベルに対する寄与率について研究を進めてきた^{7),8)}。また併せてインピーダンス手法を適用し木質系構造における床衝撃音レベルについて検討を行ってきた。これまでの対策ではL-55を達成してはいないが、多次元スペクトル解析の重量床衝撃音に対する適用の可能性について検討を行った。

2 多次元スペクトル解析理論

騒音源の検出方法の一つにオーディナリーコヒーレンス関数 (Ordinary Coherence Function 以下 O. C. F) が用いられるが、こ

*1 信州大学工学部社会開発工学科 博士前期課程学生

*2 松下電工 社員・修士(工学)

*3 鴻池組 社員・修士(工学)

*4 松下電器産業 社員・修士(工学)

*5 信州大学工学部社会開発工学科 工学部教授・工博

*1 Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ. of Shinshu.

*2 Matsushita Electric Works, M. Eng.

*3 Konoike Construction CO., LTD, M. Eng.

*4 Matsushita Electric Industrial, M. Eng.

*5 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Univ. of Shinshu, Dr. Eng.

の関数は騒音源が互いに独立である場合に有効である。しかし床衝撃音のように天井、壁など各部位に振動が伝わり、そこから放射音となる現象では、放射音間に深い相関関係があり、正確な騒音源の検出が難しくなる。そこで相関成分を取り除いたパーシャルコヒーレンス関数 (Partial Coherent Function 以下 P. C. F) と入力全体の出力に対する寄与を表すマルチプルコヒーレンス関数 (Multiple Coherent Function 以下 M. C. F) などの多次元スペクトル解析を用いることが有効である。本論文の多次元スペクトル解析のモデルは、多入力/単出力系である。多入力/単出力系において個々の入力、相関関係を有している。つまり複数入力の場合、P. C. F は入力間の相関のある成分を除去する関数であるため、ある点における他点からの影響を調べるのに有効な手段となる。P. C. F は、入力間の共通な成分を除去するために残差計算を行っている。残差過程は①入力のパワースペクトル算出、②入力間のクロススペクトル算出、③伝達関数算出、この①、②、③の過程を解析回数繰り返し残差処理を行う。図1に床衝撃音の構成概念図、図2に多次元スペクトル解析概念図を示す。以下に多次元スペクトル解析によって得られる関数を示す。

(1) P. C. F (Partial Coherent Function)

各壁面固有成分と床衝撃音とのパーシャルコヒーレンス

$$\gamma_{iy \cdot (i-1)}^2 = |G_{iy \cdot (i-1)}|^2 / (G_{ii \cdot (i-1)} \cdot G_{yy \cdot (i-1)}) \cdots \cdots (1)$$

ここに、 G_{iy} ：多入力時の任意の入出力間のクロススペクトル

G_{ii} ：任意の入力のパワースペクトル

G_{yy} ：出力のパワースペクトル

図1 床衝撃音構成概念図

図5 重量衝撃源 衝撃力特性

図2 多次元スペクトル解析概念図

図4 床断面図(木造床+ALCパネル+4cm木質パネル)

(2) M. C. F (Multiple Coherent Function)

全壁面の共通成分と床衝撃音とのコヒーレンス

$$\gamma_{yi}^2 = 1 - [(1 - \gamma_{1y}^2)(1 - \gamma_{2y}^2) \cdots (1 - \gamma_{qy \cdot (q-1)}^2)] \cdots \cdots (2)$$

(3) P. C. O. P. R (Partial Coherent Output Power Ratio)

各壁面の固有成分の割合

$$\text{Ratio} = G_{yy \cdot (i-1)} \times (\text{P. C. F}) / \{G_{yy} \times (\text{M. C. F})\} \cdots \cdots (3)$$

(4) P. C. O. S (Partial Coherent Output Spectrum)

各壁面の固有成分 dB 表示

$$\text{P. C. O. S} = 10 \log (10^{(\text{Miclevel})/10} \times (\text{Ratio}/100)) \cdots \cdots (4)$$

(5) M. C. O. S (Multiple Coherent Output Spectrum)

各壁面の共通成分 dB 表示

$$\text{M. C. O. S} = 10 \log (10^{(\text{Miclevel})/10} \times (\text{M. C. F})) \cdots \cdots (5)$$

3 実験方法

実験は、六畳間とその上階を想定した 1/2 縮尺模型を使用して行った。この模型は大きく 2 タイプに分類できる。一つは床衝撃音対策上、建物および床の高剛性化が指摘されていることから、すべての部材を接着剤と釘で固定し、梁と根太に振れ止めを施工したものである(以下、接着模型)。もう一つは、通常の工法と同様の固定方法で施工した模型である(以下、通常模型)。なお、二種類の模型共に羽子板金具、筋違が施工されている。また、これらの模型における構成部材は施工精度を上げるため、家具職人に依頼して製作した。

多次元スペクトル解析対象床の数は、接着模型で 7 タイプ (このうち 1 つは緩衝ゴム挿入床構造) である。通常模型は 30 タイプであるが、ここでは 17 タイプ (このうち 4 タイプは緩衝ゴム挿入床構造) について扱うことにする。なお、床断面内に緩衝ゴムを挿入することは、部材の不連続性を持たせることになるので、検討には分けて扱うことにする。インピーダンス測定は、接着模型の 7 タイプの床構造について行った。床構造は木造床に 37 mm 厚の ALC 板を付加した床、4 cm あるいは 8 cm 厚の本質パネルによる床、そのパネル内に面密度 29 kg/m² 相当の砂利を挿入した床など、各種の対策を複合して構成した。図3に模型断面図、図4に床断面図(接着模型：ALC+4 cm 木質パネル床)を示す。

1/2 縮尺模型の衝撃源には競技用自転車のタイヤ (落下高さ 15 cm, 空気圧 7.5 kg/cm²) を使用し、受音室内でマイクロホンで受音した。この衝撃源は図5に示す JIS 規格の衝撃特性に対し、相似則から得られる 1/2 縮尺模型用の理想衝撃特性を満たしている。

騒音計のマイクロホンは受音室中央から 10 cm 離れた点の床上

図3 縮尺模型断面図

65 cm に設置し、トリガー信号として2階床中央の打振点近傍に振動加速度ピックアップを設置した。天井、壁の測定位置は、受音室内の天井、壁4面に図6に示す位置に振動加速度ピックアップを設置し、2階床中心を重量床衝撃源で打振し、各面の中央点と他の4点の振動のO.C.Fを算出し検討した。中央点と他の4点の平均コヒーレンスは図7に示す。オクターブバンド63 Hz、125 Hzのコヒーレンスは0.9以上となり、中心点と他の測定点との間には高い相関関係があることから、各測定面は一樣に振動していると考えられる。さらに、本研究で対象としている木質系床の重量床衝撃音レベルから算出する遮音等級(以下、重量L値)は、殆ど63 Hz帯域によって決まることから各測定面の振動は中心点で代表させられるとして、測定・解析の簡略化を計ることにした。この結果から多次元スペクトル測定は、天井・各壁面中央に振動加速度ピックアップ、受音室中央(正確には10 cm離れた点)にマイクロホンを設置し、衝撃振動と床衝撃音を同時にデータレコーダーに記録した。図6に多次元スペクトル測定点を示す。

インピーダンスは、加えられた衝撃力とそれによって生じる振動速度の比によって求まるが、測定にはインパルスが発生させるインパルスハンマが必要である。本測定では、プラスチックハンマ頭部にインパクトロードセルを固定したインパルスハンマを製作して使用した。このインパルスハンマは衝撃力特性が600 Hzまで平坦であることが確認されている。図8に示す打振点を加振し、発生したインパルスを受振点(梁の下面)に設置した振動加速度ピックアップによって検出した。図9に測定系統図を示す。なお、インピーダンス値はセンサの感度をもとに算出した。

解析系統は上述した測定について共通しているが、解析プログラムのA/D変換設定が異なっている。A/D変換システムは12ビット構成で8ch同時サンプリングが可能である。床衝撃音レベルの解析はサンプリング周波数16384 Hz、データ個数8192個、アンチエイリアシングフィルター($F_a=8$ kHz)である。多次元スペクトル解析はサンプリング周波数4096 Hz、データ個数4096個、($F_a=2$ kHz)である。図10に解析系統図を示す。

4 実験結果

解析結果からL数と多次元スペクトル、振動伝達インピーダンスの関係について検討を行った。

天井、床、壁面合成時におけるP.C.O.P.Rとこの寄与分をもとに算出するP.C.O.S (Partial Coherent Output Spectrum)、およびM.C.Fの寄与分をもとに算出するM.C.O.S (Multiple

Coherent Output Spectrum)、その他に合成値、床衝撃音レベル、L数をまとめた結果を表に示す。緩衝ゴム挿入床構造をのぞいた接着模型の多次元スペクトル解析結果を表1、同じく緩衝ゴム挿入をのぞいた通常模型の結果を表2に示す。表3には緩衝ゴム挿入床構造をまとめて示す。

これらの結果から、M.C.Fがほとんど0.9以上である。従って、P.C.O.P.Rはかなり小さい値となり、床衝撃音レベル(dB)とM.C.O.S (dB)はほとんど一致する。M.C.Fが0.98以下になると、床衝撃音レベルとM.C.O.Sのレベル差がでてくる。しかしながら、この数字を見てもL数とM.C.F、P.C.O.P、P.C.O.Sなどの関係がわかりづらいが、床衝撃音レベルとP.C.O.Sの差が小さくなるに従いL数が小さくなる関係が確認される。そこで床構造の違いによる振動・音響伝達経路の各要因について直線回帰して関係を求めてみる。まずL数とP.C.O.P.Rの関係をみるが、P.C.O.P.Rは小さい数値になるので百倍して対数をとることにする。天井の結果を図11に示す。黒四角は通常模型による床構造を表し、白抜き丸は緩衝模型の緩衝ゴム挿入床構造である。これらはほとんど相関はないが、黒丸の接着模型床構造は負の相関があり、相関係数は0.8以上となる。同様に4壁面を合成したP.C.O.P.R、および床についてL数との関係をみると接着模型の場合は、負の相関であるが、通常模型・緩衝ゴム挿入床はほとんど相関がない結果となった。これらからL数が低減するとP.C.O.P.Rの割合が大きくなって各部位の寄与は大きくなる。なぜ、通常模型と緩衝ゴム挿入床においては相関がないかであるが、接着模型は床構造を梁、根太、合板の床構造をもとにALC、木質パネル等を付加する一連の実験であるのに対して、他の実験は一連性がないものを比較した結果のためと考える。従って、一連の実験を通しての結果か

図7 ピックアップO.C.F検討結果

図9 インピーダンス測定系統図

図6 振動ピックアップ設置位置(白丸) 図8 インピーダンス測定点および多次元スペクトル測定点

図10 解析系統図(インピーダンス・多次元スペクトル)

表1 多次元スペクトル解析結果(接着模型)

Freq(Hz)	床衝撃音レベル	M.C.F	M.C.O.S	P.C.O.S			P.C.O.S 合成値	L数	床構造
				壁面合成	天井	床			
A床	75.9	0.999	75.9	42.9	42.1	38.0	46.2	70.1	木造床
B床	73.2	0.991	73.2	51.2	48.7	47.8	54.3	68.2	木造床+ALC ^ハ ₁ 床
D床	75.6	0.996	75.6	49.6	46.7	46.9	52.7	66.5	木造床+4cm木質 ^ハ ₁ 床
E床	69.9	0.970	69.7	54.5	51.2	46.7	56.6	63.3	木造床+4cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)
F床	66.3	0.982	66.2	46.5	45.3	45.3	50.5	59.6	木造床+4cm木質 ^ハ ₁ 床+ALC ^ハ ₁ 床
G床	62.8	0.978	62.7	45.4	43.9	37.3	48.1	60.7	木造床+4cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)+ALC ^ハ ₁ 床

表2 多次元スペクトル解析結果(通常模型)

Freq(Hz)	床衝撃音レベル	M.C.F	M.C.O.S	P.C.O.S			P.C.O.S 合成値	L数	床構造
				壁面合成	天井	床			
TYP1_2	83.4	0.912	83.0	73.8	66.9	68.1	75.5	80.6	木造床
TYP1_4	87.0	0.939	86.7	75.9	71.1	68.3	77.7	80.6	合板+木造床
TYP1_5	75.3	0.852	74.6	68.2	61.7	59.7	69.6	72.4	合板+梁+砂利+根太+合板
TYP1_6	72.6	0.960	72.5	57.4	57.5	52.3	61.1	69.3	合板+梁+砂利+根太+ALC ^ハ ₁ 床
TYP2_5	71.5	0.952	71.3	55.5	53.6	51.1	58.5	63.2	合板+梁+砂利+根太+8cm木質 ^ハ ₁ 床
TYP2_6	77.2	0.995	77.2	53.9	50.1	49.2	56.4	64.2	合板+梁+砂利+根太+4cm木質 ^ハ ₁ 床
TYP2_9	86.6	0.997	86.6	61.1	61.8	55.5	65.0	80.6	梁+根太+4cm木質 ^ハ ₁ 床
TYP2_10	80.3	0.995	80.3	55.3	51.9	50.1	57.8	75.5	梁+8cm木質 ^ハ ₁ 床
TYP2_11	75.4	0.880	74.9	65.8	60.5	56.9	67.4	69.3	梁+8cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)
TYP2_12	74.4	0.951	74.2	60.1	54.0	52.0	61.5	65.2	合板+梁+8cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)
TYP2_13	80.0	0.995	80.0	54.3	49.9	46.6	56.2	80.6	梁+4cm木質 ^ハ ₁ 床
TYP2_14	72.8	0.949	72.6	59.8	57.3	51.9	62.2	73.4	梁+4cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)
TYP2_15	77.3	0.956	77.1	63.2	59.7	54.9	65.2	69.3	合板+梁+4cm木質 ^ハ ₁ 床(砂利)

表3 多次元スペクトル解析結果(緩衝ゴム挿入床構造)

Freq(Hz)	床衝撃音レベル	M.C.F	M.C.O.S	P.C.O.S			P.C.O.S 合成値	L数	床構造
				壁面合成	天井	床			
C床	77.5	0.996	77.5	52.2	49.8	46.5	54.9	64.8	木造床+緩衝ゴム+ALC ^ハ ₁ 床(接着模型)
TYP1_1	76.8	0.954	76.6	61.9	58.3	54.1	64.0	65.2	木造床+4mmゴム+ALC+合板
TYP1_7	73.8	0.988	73.7	53.1	51.0	47.6	55.9	62.1	木造床+砂利+合板+4mmゴム+ALC+合板
TYP93_4	67.9	0.928	67.6	53.2	48.9	51.8	56.4	63.2	木造床+4mmゴム+ALC+合板
TYP93_5	68.5	0.967	68.4	52.5	47.0	46.7	54.4	64.2	木造床+8mmゴム+ALC+合板

M.C.F : Multiple Coherent Function
P.C.O.S : Partial Coherent Output Spectrum (dB)

M.C.O.S : Multiple Coherent Output Spectrum (dB)
L数 : 重量床衝撃音

図11 L数とP.C.O.P.R.(天井)の関係

図12 振動加速度レベルとP.C.O.P.R.(天井)の関係

図13 床衝撃音レベル-P.C.O.SとP.C.O.P.R.(天井)の関係

らはL数とP.C.O.P.R.は負の相関となるはずである。

天井、壁面等の振動加速度レベルとL数は正の相関があることは明らかであるが、振動加速度レベルとP.C.O.P.R.の関係をみると、図12に天井の結果を示すように負の相関である。次に床衝撃音レベルとP.C.O.Sとのレベル差(dB)とP.C.O.P.R.の関係をみると、図13に天井の結果を示すように、同じく負の相関になる。図12に対して図13の結果は接着、通常模型の床構造ともに一つの回帰直線で説明が付き、相関係数も0.98と高い。この傾向は、壁面・床も同じである。レベル差(dB)は、床衝撃音レベルとそれに寄与する各面の固有成分の合成寄与率をもとに算出する音圧レベルとの差であるから、小さくなることは各面による合成固有成分が増すことで、各面が一体に振動して音響放射する割合が増大することを意味する。そこで、L数と床衝撃音レベル-P.C.O.Sの関係を見ると、図14のように接着模型の床構造だけが相関関係にあって、通常模型、緩衝ゴム挿入床構造は殆ど無相関である。

振動伝達インピーダンスは、 Z_0 を基準として、以下の式よりイン

図14 L数と床衝撃音レベルとP.C.O.Sの合成値との差の関係

●	接着模型
○	通常模型
■	接着模型(緩衝ゴム挿入床)
□	通常模型(緩衝ゴム挿入床)

図 15 L 数と振動伝達インピーダンスの関係

ピーダンスレベルを算出した。

$$L_z = 20 \text{ Log } (Z/Z_0)$$

Z: インピーダンス測定値

Z_0 : 1 kg/s

L_z : インピーダンスレベル (dB)

測定による振動伝達インピーダンスレベルと重量 L 数の関係をみると、接着模型の 6 タイプの床構造では図 15 のようになる。これは多次元スペクトル解析による P. C. O. P. R の場合とほぼ同じとなる。今回の実験解析から得られたこと、周知の関係をまとめると以下ようになる。

L 数……………P. C. O. P. R	負の相関
L 数……………振動伝達インピーダンス	負の相関
L 数……………振動加速度レベル	正の相関
P. C. O. P. R……………振動伝達インピーダンス	正の相関
L 数……………床衝撃音レベルと P. C. O. S との差	正の相関
振動加速度レベル……………P. C. O. P. R	負の相関
振動加速度レベル……………振動伝達インピーダンス	負の相関
床衝撃音レベルと P. C. O. S との差 P. C. O. P. R	負の相関
床衝撃音レベルと P. C. O. S との差	
……………振動伝達インピーダンス	負の相関

これらから L 数、振動加速度レベルもしくは床衝撃音レベルと P. C. O. S とのレベル差は、P. C. O. P. R としくは振動伝達インピーダンスと負の相関になる。従って、P. C. O. P. R と振動伝達インピーダンス、もしくは L 数と床衝撃音レベルと P. C. O. S の差は正の相関である。これらから、P. C. O. P. R は無次元の比率であるが、木質系構造の振動伝達現象を表す伝達インピーダンスと同じ挙動をするファクターであると解釈できる。

5 まとめ

木造床構造の重量床衝撃音の低減をはかるため、各種床構造について、縮尺模型実験によって、多次元スペクトル解析を用いて検討を行った。この手法は、複雑な振動伝達経路、音響放射を明らかにするのに有効であり、以下の点を明らかにした。木造床構造の場合、重量床衝撃源によって加振すると壁、天井、床が 63 Hz、125 Hz 帯域では、ほとんど一体振動してしまう。そのうえ、各面の振動入力出力である床衝撃音レベルに寄与する固有成分の割合である P.

C. O. P. R (Partial Coherent Output Power Ratio) は小さいが、その L 数と負の相関がある。そして、これは振動伝達インピーダンスと L 数の負の相関と同じ挙動をしている。すなわち、P. C. O. P. R が各面の振動が床衝撃音に寄与している振動伝達インピーダンスと等価なことと見る手がかりを得たことになる。ただ P. C. O. P. R が無次元数で比率であるので、定量的な関係が明らかになっていない。接着固定した模型では以上の関係が見いだされたが、通常の模型では L 数と P. C. O. P. R、には相関が見いだせなかった。これは振動伝達インピーダンスにも当てはまり、各部位の接合度合いが変わっているような床構造を含めたままでは L 数との相関が見いだせないはずである。一方、L 数と振動加速度レベルの相関は接着・通常模型とも正の相関があることは知られているが、このことは接合度合いにあまり関連しないことを意味するので、各種床構造を定量的に評価する指標になり得ない。今後、さらに多次元スペクトル手法を床衝撃音の振動・音響放射メカニズムの解明に活用したい。

6 謝 辞

この研究は 1991 年から 1995 年までの一連の研究をまとめたものであり、本研究を実施するにあたり実験、および解析に協力された元信州大学学生、遠藤玲子、稲葉伸武、長谷川克己、井上貴美子、斎藤秀和、佐藤寿子、芝野茂輝、井上浩司の各氏に感謝の意を表します。また、資料および現場測定の便宜を計って頂くなど、旭化成住建株式会社の協力を得ました事を付記し、感謝いたします。

参考文献

- 1) 井上勝夫, 木村 翔, 宮崎浩司: 木質系構造の重量床衝撃源に対する床衝撃音低減方法に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 382 号, pp. 1~9, 1987. 12
- 2) 井上勝夫, 木村 翔, 矢島浩之: 高剛性方式の木質系床構造における床衝撃音予測手法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 419 号, pp. 11~20, 1991. 7
- 3) 福島寛和, 安岡正人, 小林康彦, 藤井弘義: 木質系構造の床衝撃音低減工法に関する実験的研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 419 号, pp. 11~20, 1991. 1
- 4) 田中 洪: 大断面集成材を用いた床の重量床衝撃音レベル, 日本音響学会建築音響委員会資料, AA-88-16, 1988. 9
- 5) 及川 右, 根田金重, 山下恭弘: 木造床+ALC の床衝撃音遮断性能 (1~2), 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 291~294, 1989. 10
- 6) 山下恭弘, 角張 勲ほか: 縮尺模型実験による木造軸組 ALC 床の床衝撃音低減に関する研究 (1~5), 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 247~256, 1991. 9
- 7) 山下恭弘, 西川嘉雄ほか: 木造軸組工法における床衝撃音に関する研究 その 1—多次元スペクトル解析への適応—, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 77~78, 1992. 8
- 8) 山下恭弘, 角張 勲ほか: 木造軸組工法における床衝撃音に関する研究 その 2—多次元スペクトル解析による低減対策の評価—, 日本建築学会学術講演梗概集, pp. 79~80, 1992. 8

[1995 年 6 月 30 日原稿受理 1995 年 8 月 25 日採用決定]