木造根太床の鉛直振動特性に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON VERTICAL DYNAMIC CHARACTERISTICS OF LIGHT FRAME JOIST FLOOR

鈴木 秀三*, 井原 行孝**, 藤野 栄一***
Shuzo SUZUKI, Yukitaka IHARA and Eiichi FUJINO

Impact hammer tests were conducted to demonstrate the vertical dynamic characteristics of light frame joist floor and effect of human load on it. The specimen was 3.64m-long-span and 4.55m-wide joist floor consisted of eleven 2" by 8" dimension lumbars and 15 mm-thick plywood subfloor. Furniture and/or human (in four types of posture, respectively) loads were applied to investigate the influence on natural frequencies and damping factors.

The test results indicate, i) Human-load hardly affects natural frequencies, ii) The value of damping factor increases with the body area in contact with the floor, iii) The first natural frequency of joist floor is roughly estimated according to the theory of free vibration equation of motion for bending beam.

Keywords : *Light-frame joist floor; Natural frequency; Damping factor; Human-load*

木造根太床, 固有振動数, 減衰定数, 人間荷重

1. はじめに

枠組壁工法による床組や軸組工法における根太を省略した床組は, 並列材による比較的大きなスパンの床を構成するものであり, 日本建築学会木質構造設計規準¹⁾ が想定している根太床・梁床・組床の分類の範疇にないように思われる。すなわち, 同規準の「曲げ材の所要剛性」においては, 「通常の梁」については「初期変形における最大たわみがスパンの 1/300 以下かつ, 振動障害のないこと」と規定しているものの, 「床板・根太の類」には振動障害の規定がないのが現状であり, 今後, 比較的大きなスパンの根太床の振動特性を考慮した設計法を整備することが必要であると思われる。

筆者等は, 鉛直振動性能評価において指標とされる固有振動数・減衰定数・振動振幅の観点から, 木造梁床及び木質ハイブリッド床の鉛直振動特性について明らかにしてきた^{2)~5)}。それに引き続いて, 並列材による実大木造根太床の鉛直振動特性について一連の研究を続けてきていた^{6)~13)}。

本論文は, 並列材を用いた木造実大無開口床組の基本的な鉛直振動特性を調べるために行った実験の結果をまとめたものであり, 主として次の 3 点について考察するものである。

1). 並列材・構造用合板で構成された根太床の基本的な静的特性(ツウウェイ・アクション効果) および固有振動数・減衰定数・モード

形等の振動特性を実験的に明らかにするとともに, 根太床の 1 次固有振動数の概算方法について検討する。

2). 木造床の減衰性能に及ぼす人間荷重の影響については既に多くの報告があるが(例えば^{14)~17)}, 人間の姿勢が及ぼす影響についての知見が少ないことに鑑み, 根太床の減衰に及ぼす 4 種類の姿勢について実験を行い, その影響度合を定量的に検討する。

3). 実物実験に依らず, いわゆる数値実験の可能性を探るために, 実験対象根太床に関して有限要素法解析を行い, 実験結果と照合することによりその適応性について検証する。

なお, この論文の内容の一部については速報的に日本建築学会大会学術講演会において報告している^{10), 11)}。

2. 試験体

試験体は図 1 のようなスパン 3.64m, 幅 4.55m の枠組壁工法による根太床組で, 図 2 に示すように 11 本の床根太【枠組壁工法構造用製材: 寸法型式 208, 配置間隔@455mm, 曲げ剛性 EI=1.79~1.92(実験による平均値)~2.07×10¹¹ (N・mm²)】と端根太・端根太ころび止め等で構成された床枠組に, 本実加工針葉樹構造用合板【厚さ 15mm, 曲げ剛性 EI=2.33×10⁹ (N・mm²) (実験による平均値)】をちどりに配置したものである。床根太材は, 端から実測曲げ剛性の順に配置す

* 職業能力開発総合大学校建築システム工学科 教授・工博

** 秋田職業訓練支援センター 職業訓練指導員・修士(工学)

*** 職業能力開発総合大学校建築専攻 准教授・博士(工学)

Prof., Dept. of Architectural Engineering, The Polytechnic University, Dr. Eng.

Instructor, Akita Vocational Training Center, M. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, The Polytechnic University, Dr. Eng.

図1 試験体概要

図2 床組平面図

表1 床組構成部材一覧表

床根太	枠組壁工法構造用製材 (SPF材 2級)
端根太	寸法型式 (断面: 38mm×184mm)
ころび止め	曲げ剛性: $1.79 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2 \sim 2.07 \times 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2$
床下張り	本実加工 (T&G) 針葉樹構造用合板 2級 寸法: 910mm×1820mm 厚さ: 15mm 曲げ剛性: $2.33 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ (平均値)

表2 構成部材間の接合方法一覧表

床根太と端根太	3本のCN90相当のビス 小口打ち
端根太ところび止め	4本のCN75相当のビス 平打ち
頭つなぎと端根太	3本のCN90相当のビス 小口打ち
構造用合板と床枠組	CN65相当のビス外周部@150・中間部@200
頭つなぎと支持壁	床根太間に3本のCN90相当のビス平打ち

ることを原則としたので、床組中央部付近の床根太材が曲げ剛性の平均値をもつ床根太材となっている。根太床の総質量は319kg、単位床面積質量は19.3kg/m²である。床組構成材の諸元及び接合方法については、表1及び表2にそれぞれ示すとおりで、各材間の接合については、作業の段取りを考慮して、釘に代えて各釘径に対応するビスを使用しているところに特徴がある。床組は床根太両端部位置(2列)で支えているが、集成材による架台と床組端部との納まりは図3に示したとおりである。実際の建物の床は幅方向端も支持(4辺支持)されているのが通例であるが、本試験体は幅方向が長い(4.55m超)根太床を幅4.55mで切取った状態を想定したものであるといえる(同スパン3.64mで幅を2.73mまで変化させた場合の振動特性及び支持条件の影響についての実験も行ったが、振動特性に及ぼす幅/スパン比と支持条件等の影響については、別途報告する予定である)。

3. 試験方法

実大根太床を対象とした実験は、ツーウェイ・アクション効果を調べるための静的鉛直荷重載荷実験、固有振動数等の基本振動特性を調べるための実験、人間荷重が固有振動数・減衰に及ぼす影響を調べるための実験の3種類に大別される。

図3 支持壁と床組の納まり

写真1 加振方法の様子

図4 鉛直荷重載荷の種類

図5 振動試験の試験種類【■は錘、●は人間】

3.1 静的鉛直荷重載荷実験

並列材による根太床の各根太の鉛直方向変位については、ツーウェイ・アクション効果の影響を受けることが知られており、その効果は床を構成する床根太の配置間隔・曲げ剛性及び床下張り材の曲げ剛性の組み合わせによって決まると考えられている¹⁾。本論文では、実験対象とした実大床根太のツーウェイ・アクション効果を含めた基本的特性を調べておくために静的鉛直荷重載荷実験を行った。鉛直荷重載荷は、図4に示すように[1]横一線分布荷重載荷: 床組のスパン中央位置横一線の各床根太位置に錘により集中荷重755N/m(合計重量2747N)を加える方法と、[2]縦一線分布荷重載荷: 根太床中央部付近の任意の根太材1本(0,①または②)に、錘により分布荷重752N/m(合計重量3421N)を加える方法とにより行い、全根太材のスパン中央部の鉛直変位を電気式変位計(精度1/200mm)により計測した。

3.2 基本振動特性実験

固有振動数等の基本振動特性を調べるための実験として、インパクトハンマー加振実験を行った。この場合、床の固有振動数を変化

させるために、固定荷重だけの場合(図 5①参照：○数字は表 3 に対応)と物品荷重として錘 20 個(平均質量 25.6kg/個、合計 513kg)を分散的に付加した場合(図 5⑥参照)の 2 条件について実験を行った。

加振は床組中央位置とし、人間荷重の影響を避けるためにブランコに乗った実験者が、ロードセルを介してインパクトハンマー加振を加えることとした(写真 1 参照)。各部分の加速度は、図 6 の a1～a18 の位置に取り付けた圧電型加速度計により測定し、変位については各床根太のスパン中央(図 6 の a1～a11)の下面に取り付けた電気式変位計(精度 1/200mm)により測定した。得られたアナログ信号は A/D 変換後、入力をインパクトハンマーの加振力、出力を応答加速度等として多自由度法によるモード解析【汎用モード解析ソフト ME' scope】により、固有振動数、減衰定数、モード形を求めた。なお、減衰定数については、得られた周波数応答関数に基づきカーブフィット法により算出した。

3.3 人間荷重の影響を調べるための実験

根太床組に人間荷重を積載した場合の固有振動数と減衰定数に及ぼす影響を調べる実験である。実験は、基本振動特性実験の場合と同様の加振・測定・振動特性の算出方法であるが、人間荷重の影響を調べるために、床の固定荷重だけの場合と錘による積載荷重を分散的に付加した場合について、人間 10 人(人間の合計質量 723.5kg)を分散的に積載した状態(図 5②～⑤及び⑦参照)について行うこととした。なお、人間の姿勢が減衰に及ぼす影響を調べるために、直立姿勢、中腰前傾姿勢、体育座り姿勢、足伸ばし後支え姿勢の 4 姿勢(写真 2 参照)について実験を行うこととした。

4. 有限要素法モデル

有限要素法解析については、汎用有限要素法解析ソフト[NX_Nastran]を用い、図 7 に示すように、床根太材・床下張り材ともに板要素(曲げ・せん断を考慮)とし、ビスによる接合部としては 3 方向バネ要素とした解析モデルを用いた。床根太のヤング係数は各床根太材毎に行った曲げ実験による実測値、構造用合板のヤング係数については曲げ実験による実測値の平均値とし、ポアソン比は一律に 0.4 としている。バネ要素の剛性は、せん断実験値と文献¹⁸⁾を参考に CN65 釘相当ビス接合部 550N/mm、CN90 釘相当ビス接合部 800N/mm としている(母材の繊維方向に対するせん断方向の影響はなく、引き抜き剛性はせん断剛性と同一と仮定。なお、各ばね定数を 10 倍として解析しても得られる固有振動数等は変化しないことを確認しており、採用したばね定数の値は解析上便宜的に決定したともいえる)。各要素の大きさは接合部位置で区切ることとしたが、解析モデルの全体像は図 8 に示した通りである。この場合、支持点は各床根太が単純支持されたものとし、支点間距離(スパン)は頭つなぎ材間の内法寸法としている。

5. 実験結果とその考察

5.1 ツーウェイ・アクション効果

図 9(a)(b)には、[1]横一線分布荷重載荷時及び[2]縦一線分布荷重載荷時の各根太中央の鉛直変位が、それぞれ示してある。また、同図には、有限要素法解析による変位も併せて示してある。

同図より、[1]横一線分布荷重載荷の場合には各根太の変位には大きな差はなく(両端の根太への作用荷重が少ないことにより、変

図 6 加速度・変位の測定位置

写真 2 人間(10 人)の姿勢

図 7 解析モデルの各要素の諸元

図 8 解析モデル全体像

位も小さい)、ツーウェイ・アクション効果は無いように見える。[2]縦一線集中荷重載荷の場合には載荷された床根太の両側に隣接した 2 本の床根太の変位が大きく、3 番目以降の床根太の変位はほとんどないことがわかる。根太 0 位置に載荷した場合、各根太の鉛直変位と曲げ剛性に基づいて各根太が負担している荷重を算定すると、載荷位置の床根太 0 が約 40% の荷重を負担し、隣接する床根太(①と①')が 2 本合計で約 40%、再隣接する床根太(②と②')が 2 本合計で約 17%、これら以外の床根太合計で約 3% となる。こ

(a)横一線分布荷重載荷時の各根太スパン中央部の変位

(b)縦一線分布荷重載荷時の各床根太スパン中央部の変位

図9 静的鉛直載荷時の床根太変位

のことから、試験対象の床根太の床下張りによるツーウェイ・アクション効果は、荷重の約60%を隣接する床根太類に伝達する効果があることがわかるが、特に両隣接する2本の床根太(幅でいえば片側910mm, 両側合計1800mm)までの伝達効果が高いといえよう。

また、同図より、有限要素法解析による結果は実験値と良く一致していると見てよく、適切なモデルを選択すれば、根太床のツーウェイ・アクション効果を評価する手法として採用した解析モデルによる有限要素法解析は有効であることを示唆している。

5.2 基本的な振動特性

図10には、床の固定荷重だけの場合と物品荷重を分散的に付加した場合の実験により得られた周波数応答関数が示してある。また、表3には、実験により得られた固有振動数と減衰定数の結果と解析値が一括表示してある。

(1) 人間荷重を載荷しない状態の振動特性

表3より、人間荷重の無い状態における根太床の基本的な振動特性について次のことがいえよう。

表3中①固定荷重だけの場合の1次固有振動数は実験19.2Hz・解析19.4Hz(「解析値/実験値」=1.01), 2次固有振動数は実験25.8Hz・解析22.1Hz(同比=0.86), 3次固有振動数は実験33.7Hz・解析29.1Hz(同比=0.86)であり、解析値は1次固有振動数については実験値を精度良く予測するといえるが、高次振動数については15%程度低く予測することになる。

図11には、実験及び解析から得られた1~3次固有振動数に対応する振動モードが示してあるが、両者のモード形は類似した形となっており、解析の有効性を示しているといえよう。

次に、物品荷重を付加した場合についてみれば(表3中⑥参照), 1次固有振動数は実験10.1Hz・解析12.5Hz(「解析値/実験値」=1.24), 2次固有振動数は実験14.1Hz・解析14.0Hz(同比=0.99), 3次固有振動数は実験17.2Hz・解析18.5Hz(同比=1.08)で、1次固有振動数についての解析精度は①固定荷重のみの場合に比べると低下するが、この原因としては分散配置された錘のモデル化の影響が

図10 周波数応答関数の例【①固定荷重のみ】

表3 インパクトハンマー加振実験の結果一覧表【()内は解析値】

番号	荷重条件	1次		2次		3次	
		振動数 (Hz)	減衰 定数 (%)	振動数 (Hz)	減衰 定数 (%)	振動数 (Hz)	減衰 定数 (%)
①	固定荷重のみ	19.2 (19.4)	3.3	25.8 (22.1)	2.7	33.7 (29.1)	2.3
②	直立 (10人)	21.8	10.6	29.8	6.9	35.3	6.7
③	中腰前傾 (10人)	19.4	6.1	26.2	4.8	33.3	4.3
④	体育座り (10人)	18.6	14.4	26.8	8.9	33.9	7.1
⑤	足伸し後支え (10人)	19.4	20.5	25.3	12.9	33.9	5.3
⑥	①+物品荷重	10.1 (12.5)	4.9	14.1 (14.0)	2.6	17.2 (18.5)	3.7
⑦	①+物品荷重 +直立(10人)	10.4	7.3	14.7	10.0	18.7	3.1

図11 振動モード形の例【①固定荷重のみ】

考えられる。

人間荷重が無い場合の減衰定数は、1~3次固有振動数で2.3~4.9%であり、固定及び物品荷重載荷時(人間荷重の無い場合)の減衰は大きくないといえよう。

(2) 根太床の1次固有振動数の概算

根太床の1次固有振動数を、有限要素法等の手法を用いずに簡便に予測できれば、構造設計を行う上で有用である。「5.1 ツーウェイ・アクション効果」で検討したように、【1】横一線分布荷重載荷の場合にはツーウェイ・アクション効果は無いように見え、1次固有振動数に対応する1次モード形を大観すればスパン方向の1方向振動が卓越しているとみることができよう。このことは、荷重(質量)が等分布的に存在する場合には、根太床全体をスパン方向に架け渡された1本の梁として捉えることができることを予感させる。そこ

で、根太床に梁の振動理論を適用して、1 次固有振動数を算定してみることにする。連続梁の固有振動数は次式で与えられる。

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{EI}{w}} \quad (\text{Hz})$$

ここに、 f : 1 次固有振動数 (Hz)

EI : 曲げ剛性 ($\text{N} \cdot \text{m}^2$)

w : 質量 (kg / m)

上式に、根太床の固定荷重のみの場合(表 3①に対応)の諸元を代入すれば、1 次振動数は次のように計算される。

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{\sum(EI)}{\sum(w)}} = \frac{3.14}{2 \times 3.64^2} \sqrt{\frac{1.92 \times 10^5 \times 11}{319/3.64}} = 18.4 \text{ (Hz)}$$

計算値 18.4Hz と実験値 19.2Hz とを比較すればその比は 0.96 で、両者は概ね一致しているとみてよく、この結果は上述の洞察を裏付けるものと判断してよからう(ただし、供試体は本実加工合板であるので、コンポジット効果は大きくないことに留意しておく必要がある)。

同様に、分散的に物品荷重を載荷した場合(表 3⑥に対応)について計算すれば、次のようになる。

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{\sum(EI)}{\sum(w)}} = \frac{3.14}{2 \times 3.64^2} \sqrt{\frac{1.92 \times 10^5 \times 11}{(319 + 513)/3.64}} = 11.4 \text{ (Hz)}$$

計算値 11.4Hz と実験値 10.1Hz とを比較すればその比は 1.13 で、計算値の方が 15%程度大きい結果となるが、実用上問題がないと考えて大過なからう。

以上のことは、スパン 3.6m・幅 4.55m の 2 辺支持された根太床で確認されたものであり、スパン・幅・支持条件が異なる場合には更なる検討が必要であるが、荷重が等分布的に載荷されて 2 辺支持された状態の根太床の 1 次固有振動数を概算的に予測する手法の可能性が示されたといえよう。

5.3 固有振動数に及ぼす人間荷重の影響

固有振動数に及ぼす人間荷重の影響について、表 3 に示す実験結果一覧表に基づけば、次のことがいえよう。

固有振動数について、①固定荷重だけの場合【総質量 319kg】と②物品荷重が無く固定荷重と人間荷重(分散載荷)が載荷された場合【総質量 1042.5kg (=319+723.5)】の固有振動数を比較すれば(①に対する②の質量は 3.29 倍)、1 次固有振動数では①19.2Hz と②21.8Hz [②/①=1.14]、2 次固有振動数では①25.8Hz と②29.8Hz [②/①=1.16]、3 次固有振動数では①33.7Hz と②35.3Hz [②/①=1.05]である。同様に、⑥物品荷重載荷の場合【総質量 832kg (=319+513)】と⑦それに人間荷重を付加した場合【総質量 1555.5kg (=319+513+723.5)】とを比較すれば(⑥に対する⑦の質量は 1.90 倍)、1 次固有振動数では⑥10.1Hz と⑦10.4Hz [⑦/⑥=1.03]、2 次固有振動数では⑥14.1Hz と⑦14.7Hz [⑦/⑥=1.04]、3 次固有振動数では⑥17.2Hz と⑦18.7Hz [⑦/⑥=1.09]である。人間荷重が付加された場合、固有振動数が若干大きくなる傾向(全重量に対して人間荷重の占める割合が多い固定荷重のみの場合②の方が顕著)が見られる。

いずれにしても、人間荷重が載荷され計算上の質量が 1.9~3.3 倍

図 12 応答変位波形の例

図 13 人間の姿勢と減衰定数との関係

となっても、固有振動数は 15%程度しか変化しない(かつ、大きくなる)ことを考えれば、床根太の固有振動数に及ぼす人間荷重の影響は小さく、根太床の固有振動数を考える上では、人間荷重を無視しても大過ないといえよう。この物理学の一般常識に反するように見える現象については、既報³⁾の梁床の場合において、人間と床との相互作用による位相ずれによって生じることを明らかにされているが、根太床の場合にもこの現象が確認されたと言ってよからう。

5.4 人間の姿勢が固有振動数と減衰定数に及ぼす影響

(1) 人間の姿勢が固有振動数に及ぼす影響

物品荷重の無い状態で人間 10 人が分散載荷された場合の固有振動数は(表 3 中②~⑤参照)、姿勢に関わらず、1 次固有振動数 18.6~22.7Hz、2 次 25.3~30.0Hz、3 次 33.3~37.8Hz であり、①固定荷重のみの場合(1 次 19.2Hz、2 次 25.8Hz、3 次 33.7Hz)とほぼ同じか若干大きい。また、物品荷重がある状態で人間 10 人が直立姿勢で分散載荷された場合も(表 3 中⑥と⑦参照)、同様の傾向がある。このことから、人間の姿勢は根太床の固有振動数に影響しないとみてよからう。

(2) 人間の姿勢が減衰定数に及ぼす影響

図 12 には、①固定荷重のみの場合と②人間荷重載荷の場合(10 人分散載荷・直立、全荷重に占める人間荷重の割合は 69%)の床組中央部の応答変位波形が例示してある。同図より、人間荷重載荷の場合には変位波形が急速に減衰することがわかる。

図 13 は、表 3①~⑤に基づき、人間 10 人が載荷位置において 4 種類の姿勢をとった場合の、各固有振動数に対応する減衰定数の値を図示したものである。同図表より、1 次固有振動数に対応する減衰定数は、①固定荷重のみの減衰定数 3.3%が最も小さく、③中腰前傾姿勢 6.1%、②直立姿勢 10.5%、④体育座り姿勢 14.4%、⑤足押し後支え姿勢 20.5%の順に大きく、人間が床に接触する面積が大きいほど減衰が大きくなる傾向があるといえよう。

1 次固有振動数に対応する減衰定数に及ぼす姿勢の影響を調べるために、固定荷重のみの減衰定数 3.3%を差し引けば、中腰前傾姿勢 2.8% (=6.1 - 3.3), 直立姿勢 7.2% (=10.5 - 3.3), 体育座り姿勢 11.1% (=14.4 - 3.3), 足伸し後支え姿勢 17.2% (=20.5 - 3.3) であり [直立姿勢を基準とすれば 0.38~2.36 倍の差がある], 減衰定数に及ぼす人間の姿勢の影響が大きいことがわかる。一方, 2 次固有振動数については, 中腰前傾姿勢 2.1% (=4.8 - 2.7), 直立姿勢 4.2% (=6.9 - 2.7), 体育座り姿勢 6.2% (=8.9 - 2.7), 足伸し後支え姿勢 10.2% (=12.9 - 2.7) であり [直立姿勢の 0.50~2.43 倍], 3 次固有振動数については, 中腰前傾姿勢 2.0% (=4.3 - 2.3), 直立姿勢 4.4% (=6.7 - 2.3), 体育座り姿勢 4.8% (=7.1 - 2.3), 足伸し後支え姿勢 3.0% (=5.3 - 2.3) である [直立姿勢の 0.45~1.09 倍] ことがわかる。以上のことから, 高次振動数に対応する減衰定数に及ぼす人間の姿勢の影響は, 1 次固有振動数に対応する減衰定数の場合ほど大きくないといえよう。

6. まとめ

スパン 3.64m・幅 4.55m の 2 辺支持された床根太の鉛直振動特性に関して, 本報の実験により明らかになったことをまとめれば, 次のようになろう。

- (1) 試験対象床根太のツーウェイ・アクション効果は, 隣接する 2 本の床根太(幅でいえば 910mm)まで波及し, 荷重の 60%は隣接する床根太が負担する効果を有する。また, 本論文で採用した解析モデルを用いた有限要素法解析は, 根太床のツーウェイ・アクション効果および固有振動数・モード形を評価する手法として有効である。
- (2) 荷重が等分布的に載荷され 2 辺支持された根太床の 1 次固有振動数を概算的に予測する手法として, 根太床全体をスパン方向に架け渡された梁として捉え, 梁の振動理論により固有振動数を算定する方法の可能性が示された。
- (3) 根太床の固有振動数を算定する上では, 人間荷重の影響は少なく, 人間荷重を無視しても大過ない。
- (4) 人間の姿勢が 1 次固有振動数に対応する減衰定数に及ぼす影響は, 中腰前傾姿勢, 直立姿勢, 体育座り姿勢, 足伸し後支え姿勢の順に大きく, 人間が床と接触する面積が大きいほど大きくなる傾向があるが, 高次固有振動数に対応する減衰定数に及ぼす影響はそれほど大きくない。

謝辞

木造根太床の振動特性に関する一連の実験実施に当たり, 本村明日香氏(スウェーデンハウス)並びに各実験当時に卒業研究生として在籍した塚本良子, 住田悟, 田中博昭, 前田雄一の各氏より多大なる御助力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 木質構造設計標準・同解説 ―許容応力度・許容耐力設計法―, 2002. 10
- 2) 鈴木秀三・藤野栄一・野口弘行: 木造床の振動特性に及ぼす人間荷重の影響に関する実験的研究 (第 1 報), 日本建築学会構造系論文集第 585 号, pp. 123-129, 2004. 11
- 3) 藤野栄一, 鈴木秀三, 野口弘行: 同 上 (第 2 報), 日本建築学会構造系論文集第 589 号, pp. 127-142, 2005. 3
- 4) 藤野栄一, 鈴木秀三, 野口弘行: 衝撃加振力を受ける木造梁床モデルの鉛直

- 振動応答に関する研究, 日本建築学会構造系論文集第 591 号, pp. 107-112, 2005. 5
- 5) 鈴木秀三, 藤野栄一, 野口弘行, 五十田博: 木質ハイブリッド梁床モデルの鉛直振動特性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集第 596 号, pp. 65-70, 2005. 10
 - 6) 本村明日香, 藤野栄一, 塚本良子, 鈴木秀三: 根太床の鉛直振動性状に及ぼすコンポジットアクションの影響に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 53-54, 2005. 9
 - 7) 塚本良子, 藤野栄一, 本村明日香, 鈴木秀三: 根太床の動的挙動に及ぼすツーウェイ・アクション効果に関する実験的研究 (その 1: 静的性状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 55-56, 2005. 9
 - 8) 藤野栄一, 塚本良子, 本村明日香, 鈴木秀三: 同 上 (その 2: 動的性状), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 57-58, 2005. 9
 - 9) 鈴木秀三, 藤野栄一, 園田明日香: 根太床のツーウェイ・アクション効果に関する解析的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 33-34, 2007. 9
 - 10) 鈴木秀三, 井原行孝, 藤野栄一: 根太床の振動特性と人間荷重の減衰性に及ぼす影響に関する研究(その 1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 439-440, 2010. 9
 - 11) 井原行孝, 鈴木秀三, 藤野栄一: 同 上 (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 441-442, 2010. 9
 - 12) 鈴木秀三, 井原行孝, 藤野栄一: 有開口木造根太床の鉛直振動特性と有限要素法の適用性, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 565-566, 2011. 8
 - 13) 井原行孝, 鈴木秀三, 藤野栄一: 衝撃加振力を受ける木造根太床の鉛直振動応答に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp. 567-568, 2011. 8
 - 14) 竹山謙三郎・久田俊彦: 木造床組の振動障壁に就いて, 建築學會論文集第 33 号, pp. 9-10, 1944. 4
 - 15) 安藤直人・杉山英男: 木造床の振動性状 (第 3 報), ストレス・スキン・パネルの衝撃荷重による動たわみと歩行振動, 日本木材学会木材学会誌, Vol. 31, No. 2, pp. 97-102, 1985
 - 16) 小野英哲・横山裕: 人間の動作により発生する床振動の振動感覚上の表示方法に関する研究―振動発生者と授振者が同じ場合―, 日本建築学会構造系論文集, 第 381 号, pp. 1-9, 1987. 11
 - 17) 中村昇・野地清美・西山豊・伊野部健吉・安藤直人: 木造床の振動性状と感覚評価, 日本木材学会木材学会誌, Vol. 49, No. 2, pp. 78-83, 2003
 - 18) 2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針, 社団法人日本ツーバイフォー建築協会発行

(2011 年 9 月 27 日原稿受理, 2012 年 3 月 8 日採用決定)