

# —第7回 歩行振動(内部振動源)—

東京工業大学大学院 理工学研究科 横山 裕

## 1 はじめに

建築物床は、歩行など床上での人間の動作により振動しています。この振動は、従来一般的な材料、構法の床では非常に小さく、居住者に感じられることはありませんでした。しかし、近年、床の軽量化や長スパン構造の採用による低剛性化の影響で、人間の動作時に従来の床より大きな振動が発生し、居住性の観点から問題となる事例が増加してきました。筆者らは、この問題について約 30 年前から取り組み、妥当な評価方法を確立するための研究を積み重ねてきました。本稿では、人間の動作により発生する床振動の概要を述べたうえで、筆者らの研究成果のうち代表的なもの<sup>[1]-[18]</sup>について解説します。

なお、人間の動作により発生する振動が苦情につながる例としては、歩行などの日常的な動作による振動の他に、エアロビックダンスやコンサートでの“たてのり”など、多くの人間が一定のリズムに合わせて連続的に行う動作により発生する振動が問題となる例が挙げられますが、この問題については別の機会に報告することとします。

## 2 歩行振動の概要

建築物内で行われる人間の動作は様々ですが、床振動評価の観点から最も重要と位置付けられる加振動作は、歩行です。歩行は、住宅における子供の飛び跳ねなどと異なり、人間が生活するうえで必要不可欠な動作です。したがって、歩行により気になる、通常的生活、業務に差し障りが生じる、あるいは不安感を感じるような振動が発生すると、それは床に問題があるとみなされ、苦情につながってしまいます。

歩行は、もちろん個人差は存在するものの、おそらく人間の日常的な動作の中で最も安定した動作とみなすことができます。例えば、歩行実験の際、ほとんどの被験者は、ただ単に「ここを歩いて下さい」と指示しただけで、何の質問もなしに歩き始めることができます。これは、“歩く”といったら通常どれくらいの速さ、激しさ(すなわち歩幅、歩調など)で動作するのかが、被験者各人の中に無意識のうちに確立されていることを意味しています。おそらく、最も効率のいい速さ、激しさに収束しているのでしょう。そのため、動作の安定性は非常に高くなります。この点は、標準の速さ、激しさなどが存在せず、その時々々の目的や緊急度に応じて速さ、激しさを変化させる他の動作と、大きく異なっています。

ちなみに、歩行とともによく取りあげられる加振動作に、小走りがあります。小走りによる加振力は、当然のことながら歩行より一般に大きくなります<sup>[8]</sup>。しかし、動作の頻度が低い(特に住宅など十分な広さのない空間では行われにくい)こと、日常において必然性のある避けられない動作ではないこと、及び動作自体の安定性が低く 1 歩ごとの歩調の微妙な変化

が歩行より大きいため後述の倍調波共振が比較的発生しにくいことから、実際には歩行による振動が問題となることの方が多いようです。

では、歩行により発生する振動(以降“歩行振動”と記します)は、どのような性状を有しているのでしょうか。図-1は、筆者らがこれまで機会あるごとに紹介してきた、人間が歩行時に床に与える荷重の時間変化の代表例と足の接地状況との関係、及びその荷重により発生する歩行振動の例[1]-[7]です。図は、周囲から縁の切れた床に1歩着地して歩き抜けた場合のものです。図に示すように、歩行振動は、着地→体重の移動→踏み出しの一連の動作にともなう二峰形の荷重に応じた動的変形(変形・時間曲線参照)と、着地開始時のかかと先端と床との衝突により励起される床の固有振動数での減衰振動(加速度・時間曲線参照)が複合された、複雑な性状を示します。

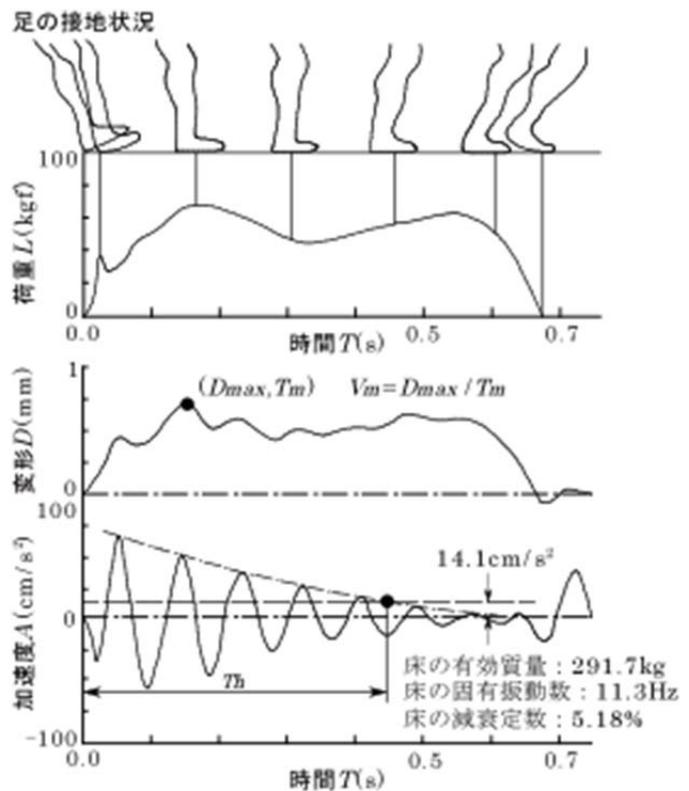


図-1 人間が歩行時に床に与える荷重と歩行振動の例<sup>[1]-[7]</sup>

つぎに、実際の床での複数歩連続した歩行により発生する振動について述べます。図-2に、一般的な木造住宅の8畳間程度の大きさの床における歩行振動の実測例<sup>[9]</sup>を、(1)数歩歩行した場合と(2)1歩のみの場合を比較して示します。連続した歩行の場合、1歩1歩の間にわずかではありますが両足が着地している時間(両脚支持期、通常0.1s程度)があります。図の(1)と(2)の比較から、(2)の変形・時間曲線の振幅を、歩行者が測定点に接近したり遠ざかったりするのにあわせて1歩ごとに増減させながら両脚支持期を重ね合わせると、(1)の変形・時間曲線のようになるのがわかります。また、加速度・時

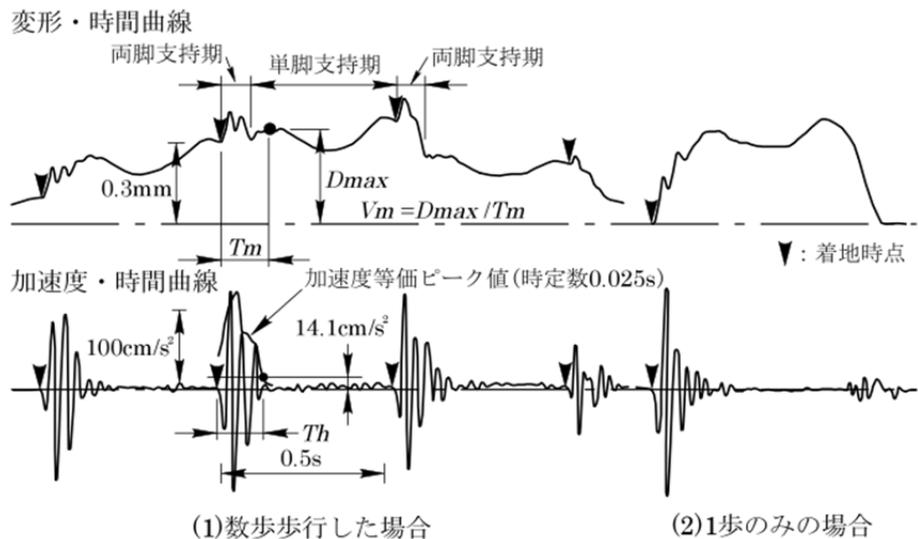


図-2 木造建築物床における歩行振動の例<sup>[9]</sup>

また、加速度・時

間曲線からは、着地衝撃により非常に大きな床の固有振動数での振動が励起されているものの、減衰が大きいとため次の1歩までに十分減衰していることがわかります。木造や軽量鉄骨造(以降まとめて“木造”と記します)建築物における歩行振動は通常このような性状を示しますが、この加速度振幅の最大値を床の固有振動数とともに日本建築学会の居住性能評価指針と照合すると、実際にはなんら問題が発生していない床でも著しく悪い評価となってしまいます。

一方、S造、RC造建築物の床、すなわちコンクリートスラブでは、木造建築物の床と比較して、剛性が高いため動的変形は小さく、質量が大きいため着地衝撃により励起される床の固有振動数での振動も小さくなります。しかし、この種の床では一般に振動が伝搬しやすいとため、遠方に着地した際の振動も伝搬してきます。そのため、比較的振幅は小さいものの着地衝撃により励起される床の固有振動数での振動が何歩分も繰り返される、周期的な振動が発生します。

図-3 に、S造建築物における歩行振動の実測例<sup>[12]</sup>を示します。図は、固有振動数が6.5Hzの床での測定結果です。上段に示した歩調1.75Hzでの歩行時の加速度・時間曲線から、上述の周期的な振動が発生していることがわかります。また、下段には、固有振動数6.5Hzの1/3の歩調2.16Hzでの歩行時の加速度・時間曲線を示します。減衰の

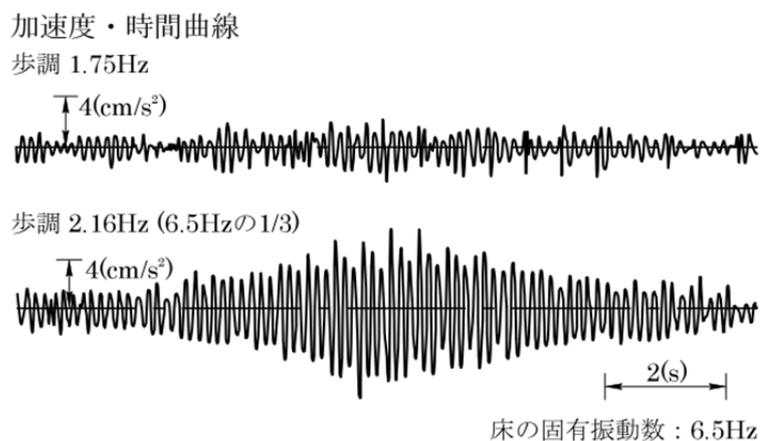


図-3 S造建築物床における歩行振動の例<sup>[12]</sup>

小さいコンクリートスラブでは、このように歩調の整数倍の振動数が床の固有振動数と一致すると、歩数を重ねるごとに振幅が増幅してゆく共振現象が発生し、振幅の変動が比較的少ない連続的な振動が数歩～十数歩分続くこととなります。このようないわゆる倍調波共振は、一般に歩行の4倍調波成分まで発生する可能性があるといわれています。通常の歩行の歩調の範囲が1.6～2.3Hz程度であることを考慮すると、床の固有振動数を10Hz以上とすれば、倍調波共振は避けられる可能性が高いとみなすことができます。

なお、倍調波共振に関しては、6で述べる木造大スパン床でも注意する必要があります。筆者らの実験<sup>[15]</sup>では、1wayでかつ周囲に壁などが設けられていない極端に減衰の小さいステージ状の試料床ではありますが、固有振動数10.5Hzの試料床を2.1Hzで歩行した場合に倍調波共振が発生したこと、すなわち5倍調波成分でも共振が発生したことを付記します。

### 3 1歩の歩行振動に対する性能値

2で述べたように複雑な性状を示す歩行振動は、どのようにして評価すればよいのでしょうか。筆者らが研究を始めた当初は、マイスター曲線など、振動数・振幅平面上に等評価曲線を描いた形式の評価指標がよく用いられていました。現在の日本建築学会居住性能評価指

針も、その延長上に位置付けられます。しかし、これらは、もともと単純な正弦波を対象とした研究成果を基本に策定されたものです。複雑な歩行振動をこれらの指標で評価しようとすると、測定結果からどのようにして指標と照合する振動数と振幅を抽出するのが問題となります。様々な方法が提案されましたが、いずれの方法も何らかの矛盾を内包しており、根本的な解決には至りませんでした。筆者らは、これらの評価指標で評価するのは無理があると考え、一度原点に戻り、歩行振動の何がどのように人間の感覚、評価(以降“振動感覚、評価”と記します)に影響しているのかを再検討しました。

実際に、様々な歩行振動を自分達で感じるなどして種々検討した結果、振動感覚、評価には、着地時の動的変形の大きさ及び速さと、その後の床の固有振動数での振動の続き具合が大きく影響していることがわかりました。具体的には、着地時の動的変形の大きさ及び速さは図-1の変形・時間曲線に示す変形の最大値  $D_{max}$  及び変形速度  $V_m$ 、床の固有振動数での振動の続き具合は加速度・時間曲線に示す振動の振幅がマイスター曲線の“やや気になる”程度に相当する  $14.1\text{cm/s}^2$  まで減衰するのに要する時間  $Th$  で、それぞれ表せることが明らかとなりました。さらに、これらを複合した下式で得られる  $VI(2)$  で、歩行振動に対する感覚、評価を表示できることが明らかとなりました<sup>[1]・[4]</sup>。

$$VI(2) = 0.2 \cdot \log(D_{max}) + 0.5 \cdot \log(V_m) + \log(Th)$$

ここで、単位は  $D_{max} : \text{cm}$ ,  $V_m : \text{cm/s}$ ,  $Th : \text{s}$

図-4に、種々性状の異なる28種の歩行振動を検査試料とし、官能検査を実施して構成した振動の気になり具合に関する心理学的尺度(気になり具合評価尺度)と、これらの歩行振動から算出した  $VI(2)$  の関係<sup>[11]</sup>を示します。図の①～⑦の破線は、官能検査に用いた判断範ちゅうの心理学的尺度上の位置を表します。図から、両者はよい対応を示しており、例えば  $VI(2) = -0.3$  程度の歩行振動は“⑤やや気になる”程度、 $VI(2) = 0.2$  程度の歩行振動は

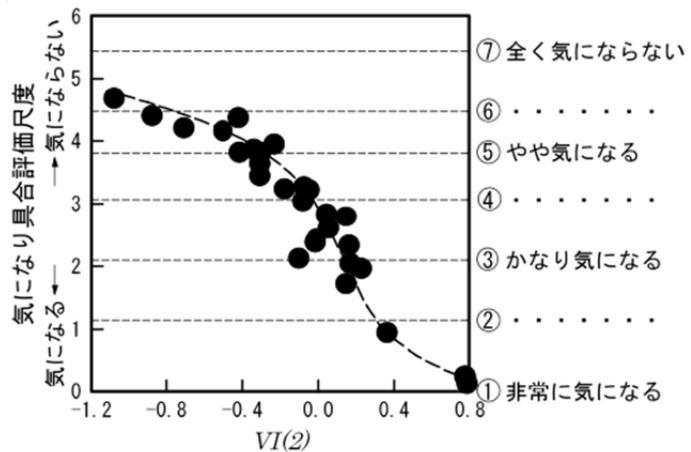


図-4 気になり具合評価尺度と  $VI(2)$  の関係<sup>[11]</sup>

“③かなり気になる”程度と評価できることがわかります。この  $VI(2)$  のように、人間の感覚、評価と対応する物理的指標を、筆者らは“性能値”と呼んでいます。

#### 4 苦情発生の有無からみた木造建築物床の評価方法

3で述べた成果は、1歩のみの歩行振動に対する評価です。では、実際の床で発生する複数歩連続した歩行による振動は、どのようにして評価すればよいのでしょうか。筆者らは、2で述べた通り、木造建築物床とS造、RC造建築物床で振動性状が大きく異なることから、これらについて別々に検討することとしました。

木造建築物床では、図-2 に示した通り、動的変形も床の固有振動数での振動も、一般に測定点直近の1歩によるものが最も大きくなります。そこで、何歩も歩くことができない8畳間程度の大きさまでの床であれば、その床の評価は、無限にある歩行者の着地位置と受振者の位置の組合せのうち、最も大きい振動が発生する組合せでの評価で代表できるものと想定しました。この想定に基づき、実在する50棟以上の木造住宅の床を対象に、それぞれの床ごとに最も大きな振動が発生すると思われる位置に1歩分の加振力を入力し、その位置で測定される変形・時間曲線と加速度・時間曲線から  $VI(2)$  を算出したところ、それぞれの床での苦情発生の有無とよい対応を示すことが明らかとなりました。なお、1歩分の加振力の入力と  $VI(2)$  の測定には、筆者らが開発した“床振動測定装置<sup>[5]・[8]</sup>”を使用しました。

図-5 に、苦情発生の有無と上記の条件で測定した  $VI(2)$  の関係<sup>[9]</sup>を示します。図より、 $-0.8 \leq VI(2)$  の床では苦情が発生しているのに対し  $VI(2) < -0.9$  の床では一部を除いて苦情は発生していないこと、 $-0.9 \leq VI(2) < -0.8$  の床はボーダーライン上にあることがわかります。このように、8畳間程度の大きさまでの木造建築物床では、その床の中で最も大きな振動が発生する位置に1歩分の加振力を入力して測定される  $VI(2)$  を、その床の居住後評価を代表する性能値として適用できることが明らかとなりました。

なお、 $VI(2) < -0.9$  でも苦情が発生している床がいくつかありますが、これらについて詳しく調べた結果、振動自体はそれほど大きくはないものの、家具、食器などがたつき音やテレビ、観葉植物の揺れなどにより床が振動していることが認知され、苦情につながったことが推察されました。また、その後の筆者らの研究<sup>[10],[11]</sup>の結果、これら聴覚、視覚的要因は、比較的大きい振動の評価には大きくは影響しないものの、わずかに感じる程度の小さい振動の認知などに影響することが、明らかとなりました。すなわち、聴覚、

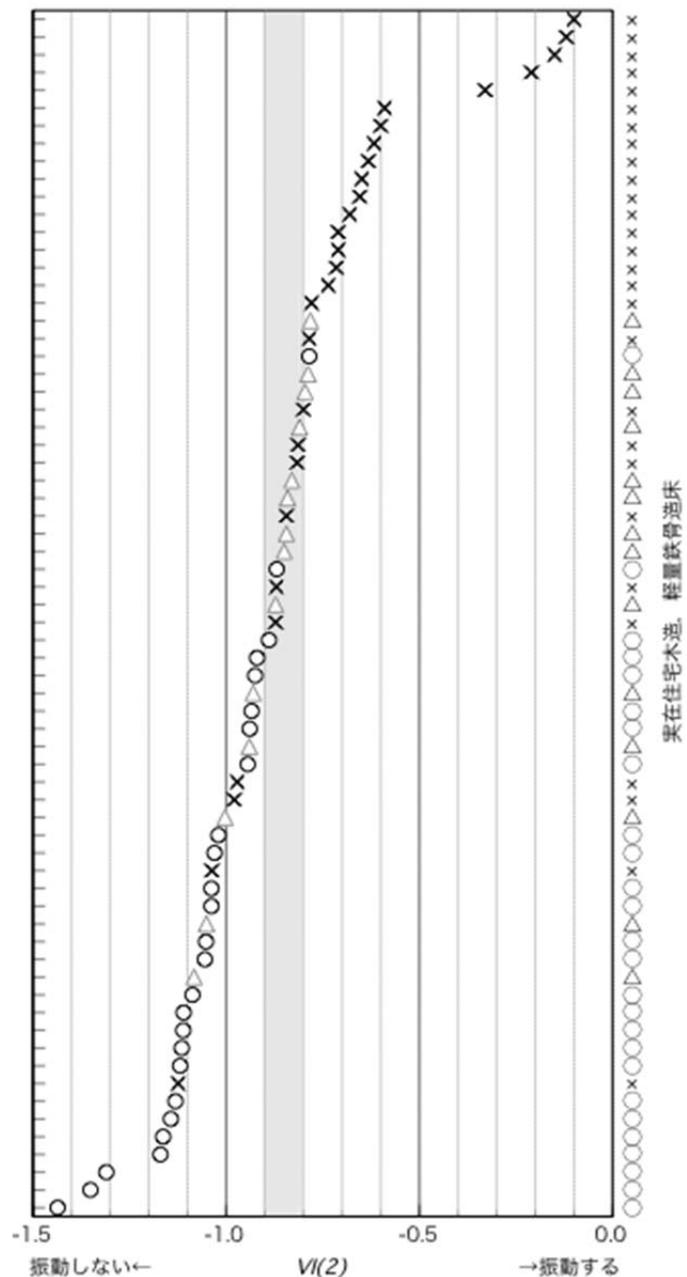


図-5 苦情発生の有無と  $VI(2)$  の関係<sup>[9]</sup>

視覚的要因が引き金となって苦情につながるメカニズムを、確認することができました。

## 5 S造, RC造建築物床における歩

### 行振動の評価方法

つぎに、S造, RC造建築物床で発生する周期的な振動や、倍調波共振時の連続的な振動の評価方法について検討しました。この検討では、振動台を用いて新たに官能検査を実施しました。

図-6 に、検査試料とした歩行振動の例<sup>[13]</sup>を示します。ここで、図の縦軸は、人間の感覚特性に応じて振動数補正した振幅となっています。図に示した3種の周期的振動は、いずれも振幅の最大値はほぼ近似していますが、官能検査の結果、

1)と2)に対する振動感覚、評価は同程度であるのに対し、3)は1), 2)より振動が小さく感じられ、気にならないと評価されることがわかりました。このような例を含め種々検討した結果、周期的な振動に対する感覚、評価には、着地した瞬間を含むある一定の時間内(図の網掛けの範囲内)の振動が支配的に寄与していることが明らかとなりました。これは、周期的振動では、人間はある程度以上の歩数分振動を感じると無意識のうちに次の1歩のタイミングを計り、そのタイミングで発生する振動の大きさで全体としての振動の大きさを判断しているためと推察できます。そこで、周期的振動の歩数や図の $t$ の長さを種々変化させて検討した結果、5歩程度以上あれば人間は着地のタイミングを計れること、及び $t=0.15\text{s}$ とした場合の網掛けの範囲内の平均振幅(以降“振動数補正着地振幅”と記します)が振動感覚、評価とよい対応を示すことが明らかとなりました。図-7 に、周期的振動の気になり具合に関する心理学的尺度(気になり具合評価尺度)と振動数補正着地振幅の関係<sup>[13]</sup>を示します。

なお、倍調波共振時の連続的な振動については、同様の検討の結果、振動感覚は振動数補正を施した振幅の最大値とよい対応を示すのに対し、振動評価には振動の継続時間も影響しており、振幅の最大値に継続時間を加味した性能値がよい対応を示すことが、明らかとなりました。

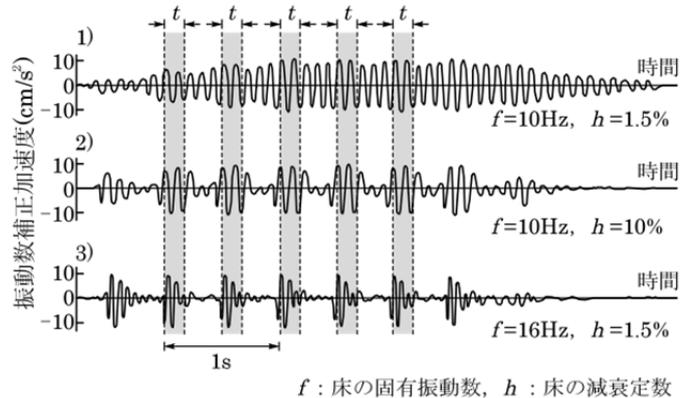


図-6 周期的振動と人間の感覚、評価との関係の検討例<sup>[13]</sup>

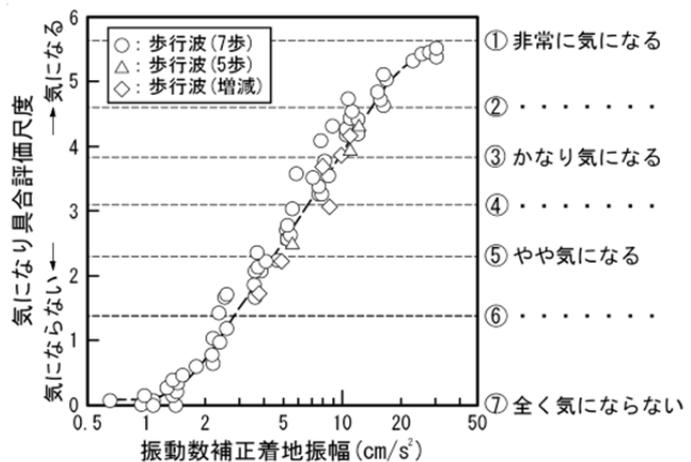


図-7 気になり具合評価尺度と振動数補正着地振幅の関係<sup>[13]</sup>

## 6 木造大スパン床における歩行振動の評価方法

近年、日本の林業の復興や環境問題対策として、学校や官公庁の事務所など公共の中、低層大規模建築物に木造を採用しようとする方向性が、国によって示されました。これらの建築物では、大スパン床が採用される例が多くなると思われます。ここで、歩行振動の観点か

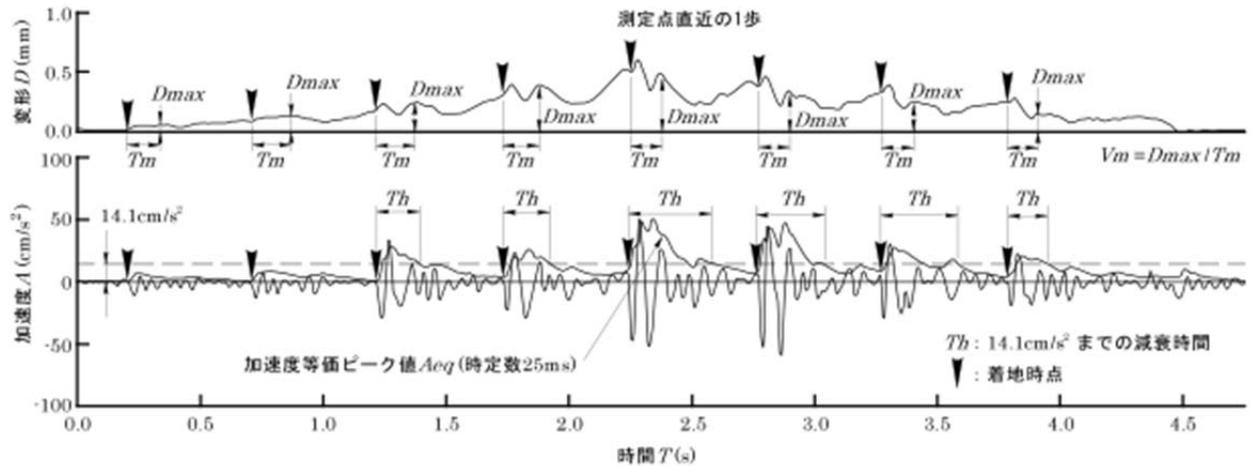


図-8 比較的剛性の低い木造大スパン床における歩行振動の例<sup>[14]</sup>

ら木造大スパン床を評価する場合、多くても5歩程度しか歩行できない8畳間程度の大きさまでの床と異なり、歩数や歩行方向などの影響が無視できず、4で述べたように、当該床の中で最も大きな振動が発生する位置に1歩分の加振力を入力して測定される  $VI(2)$  を、その床の居住後評価を代表する性能値として用いるのは困難と予想されます。

そこで、筆者らは、第一段階として、木造大スパンの中でも比較的剛性が低いと思われる、スパン 5460mm、梁幅 105×梁成 240mm、梁間隔 910mm の架構からなる床を試料床として用い、複数歩連続した歩行による振動と振動感覚、評価との関係を検討しました。図-8に、試料床での歩行振動の例<sup>[14]</sup>を示します。図から、歩数は異なるものの、図-2に示した8畳間程度の大きさの床で発生する歩行振動と、性状が比較的近似していることがわかります。種々検討の結果、連続した歩行振動に対する感覚、評価には1歩ごとの振動が加算的に影響しており、1歩ごとの振動に対する性能値を全歩数分加算することにより連続した歩行振動の性能値を提示できることが、明らかとなりました。すなわち、図に示す要領で1歩ごとに  $D_{max}$ 、 $V_m$ 、 $T_h$  を求め、これらを3で述べた式に代入して求まる1歩ごとの  $VI(2)$  を、さらに下式にしたがって全歩数分加算して算出される  $SVI(2)$  が、連続した歩行振動に対する感覚、評価とよい対応を示すことを明らかとなりました。ここで、 $VI(2)_{ref}$  は、振動感覚、評価に影響しないほど小さい  $VI(2)$  を加算対象から除外するために設定した、 $VI(2)$  の下限値です。

$$SVI(2) = \sum_{n=1}^{全歩数} (VI(2)_n - VI(2)_{ref})$$

ここで、 $VI(2)_n$  は  $n$  歩目の  $VI(2)$

$$VI(2)_{ref} = -1.2$$

ただし、 $VI(2)_n < VI(2)_{ref}$  の場合、

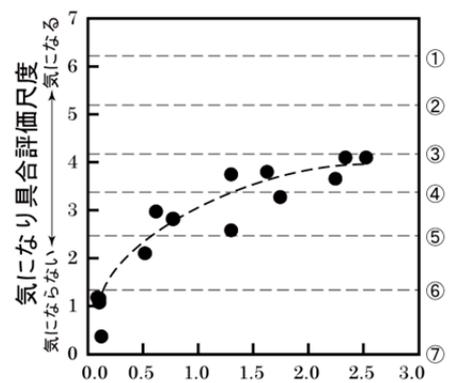


図-9 気になり具合評価尺度と  $SVI(2)$  の関係<sup>[14]</sup>

$$VI(2)_h = VI(2)_{ref} \text{とします}$$

図-9 に、官能検査結果に基づいて構成した心理学的尺度(気になり具合評価尺度)と  $SVI(2)$  の関係<sup>[14]</sup>を示します。両者はよい対応を示しており、比較的剛性の低い床を対象とした場合、連続した歩行振動に対する性能値として  $SVI(2)$  が妥当であることがわかります。

続いて、今後施工例がより多くなると思われる、比較的剛性の高い木造大スパン床に適用する性能値について検討しました。この検討では、スパン、梁断面、小梁もしくはパネル受材の種類及び間隔、床板の質量及び剛性などが種々異なる、31種の試料床を用いました。試料床のスパンの範囲は4550～8190mm、梁成の範囲は330～600mm、1次固有振動数の範囲は10.5～27.0Hzです。また、梁上のスパン中央に980Nの集中荷重を静的に載荷した場合の剛性の範囲は、1521～13032N/mmです。ちなみに、上述の比較的剛性の低い木造大スパン床の1次固有振動数は15.5Hz、剛性は653N/mmです。

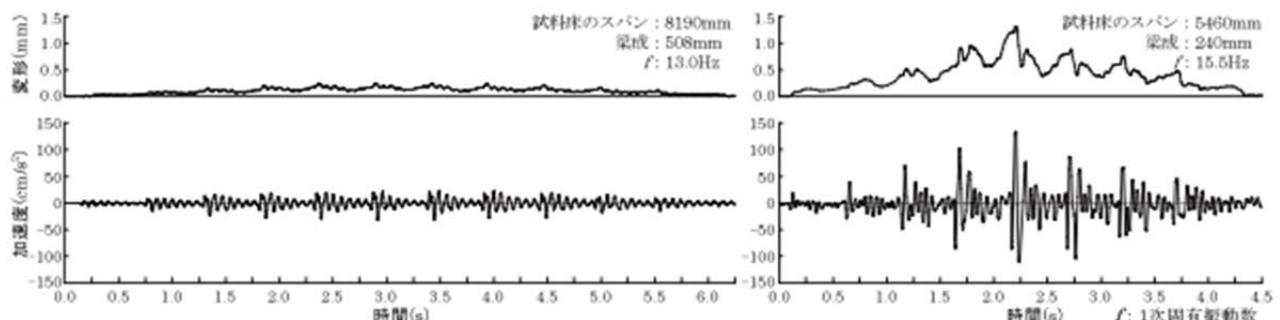
図-10に、比較的剛性の高い床で発生する歩行振動の例<sup>[16],[17]</sup>を示します。図には、上述の比較的剛性の低い床での歩行振動も、同じスケールで比較して示しました。図から、(1)の比較的剛性の高い床で発生する歩行振動は、大きさ、性状ともに(2)の剛性が低い床とは大きく異なり、どちらかというとき造、RC造建築物床で発生する周期的な振動と近似していることがわかります。この変形・時間曲線及び加速度・時間曲線から上記の要領で  $SVI(2)$  を算出しても、大部分の試料床で0となり、官能検査結果と対応しないことが明らかとなりました。すなわち、図の(1)に示すような歩行振動に対する感覚、評価は、1歩ごとの感覚、評価の積み重ねでは記述できないことがわかりました。では、(1)のような振動は、どのように感じられているのでしょうか。筆者らは、(1)と(2)の比較から、(2)では着地時の変形にマスクされて1歩ごとに分断されていた床の固有振動数での振動が、(1)では連続的に感じられるようになるため、歩き始めから終わりまでの床の固有振動数での振動を、振幅は小さいものの、継続時間の長い1つの連続した振動として感じているものと推察しました。

そこで、比較的剛性の高い床に適用する性能値を新たに設定するべく、各試料床で測定された加速度・時間曲線から、以下の1)～3)の3種のレベル波形を算出しました。

- 1)  $wVAL(T.C. : 25ms)$
- 2)  $wVAL(T.C. : 10ms)$
- 3)  $VZ(T.C. : 10ms)$

ここで、 $wVAL$ は、振動加速度レベル  $VAL$ (基準値： $10^{-5}m/s^2$ )を下式にしたがって補正した“補正振動加速度レベル”です。この補正式は、日本建築学会居住性能評価指針のV曲線に基づいて、卓越振動数  $f$  の振動の  $VAL$  を、卓越振動数8Hzの場合の  $VAL$  に換算するものです。

- ・卓越振動数  $f \leq 8Hz$  の場合： $wVAL = VAL$
- ・卓越振動数  $8Hz < f$  の場合： $wVAL = VAL + 20 \cdot \log(8/f)$



(1) 比較的剛性の高い床における歩行振動の例

(2) 比較的剛性の低い床における歩行振動の例

図-10 木造大スパン床における歩行振動の例<sup>[16],[17]</sup>

表-1 比較的剛性の高い木造大スパン床の歩行振動の性能候補値<sup>[16], [17]</sup>

性能候補値の概念	補正振動加速度レベル		振動レベル
	1)wVAL(T.C.:25ms)	2)wVAL(T.C.:10ms)	3)VZ(T.C.:10ms)
A)レベルの最大値	$wVAL_{max}$	$wVAL_{max}$	$VL_{max}$
B)1歩ごとのレベルの最大値の和	$\sum_{n=1}^{60} (wVAL_n - wVAL_{ref})$ wVAL <sub>n</sub> : n歩目のwVALの最大値 ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dBとし wVAL <sub>n</sub> <wVAL <sub>ref</sub> の場合 wVAL <sub>n</sub> =wVAL <sub>ref</sub> とする	$\sum_{n=1}^{60} (wVAL_n - wVAL_{ref})$ wVAL <sub>n</sub> : n歩目のwVALの最大値 ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dBとし wVAL <sub>n</sub> <wVAL <sub>ref</sub> の場合 wVAL <sub>n</sub> =wVAL <sub>ref</sub> とする	$\sum_{n=1}^{60} (VL_n - VL_{ref})$ VL <sub>n</sub> : n歩目のVLの最大値 ただし、VL <sub>ref</sub> =67dBとし VL <sub>n</sub> <VL <sub>ref</sub> の場合 VL <sub>n</sub> =VL <sub>ref</sub> とする
C)レベルの積分値	$\int (wVAL - wVAL_{ref}) dt$ ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dBとし wVAL<wVAL <sub>ref</sub> の場合 wVAL=wVAL <sub>ref</sub> とする	$\int (wVAL - wVAL_{ref}) dt$ ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dBとし wVAL<wVAL <sub>ref</sub> の場合 wVAL=wVAL <sub>ref</sub> とする	$\int (VL - VL_{ref}) dt$ ただし、VL <sub>ref</sub> =67dBとし VL<VL <sub>ref</sub> の場合 VL=VL <sub>ref</sub> とする
D)レベルの最大値+継続時間	$wVAL_{max} + 20 \cdot \log(T^{1/4})$ T: wVALがwVAL <sub>ref</sub> 以上となっている時間 ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dB、T <sub>cr</sub> =1sとし T<T <sub>cr</sub> の場合T=T <sub>cr</sub> とする	$wVAL_{max} + 20 \cdot \log(T^{1/4})$ T: wVALがwVAL <sub>ref</sub> 以上となっている時間 ただし、wVAL <sub>ref</sub> =67dB、T <sub>cr</sub> =1sとし T<T <sub>cr</sub> の場合T=T <sub>cr</sub> とする	$VL_{max} + 20 \cdot \log(T^{1/4})$ T: VLがVL <sub>ref</sub> 以上となっている時間 ただし、VL <sub>ref</sub> =67dB、T <sub>cr</sub> =1sとし T<T <sub>cr</sub> の場合T=T <sub>cr</sub> とする

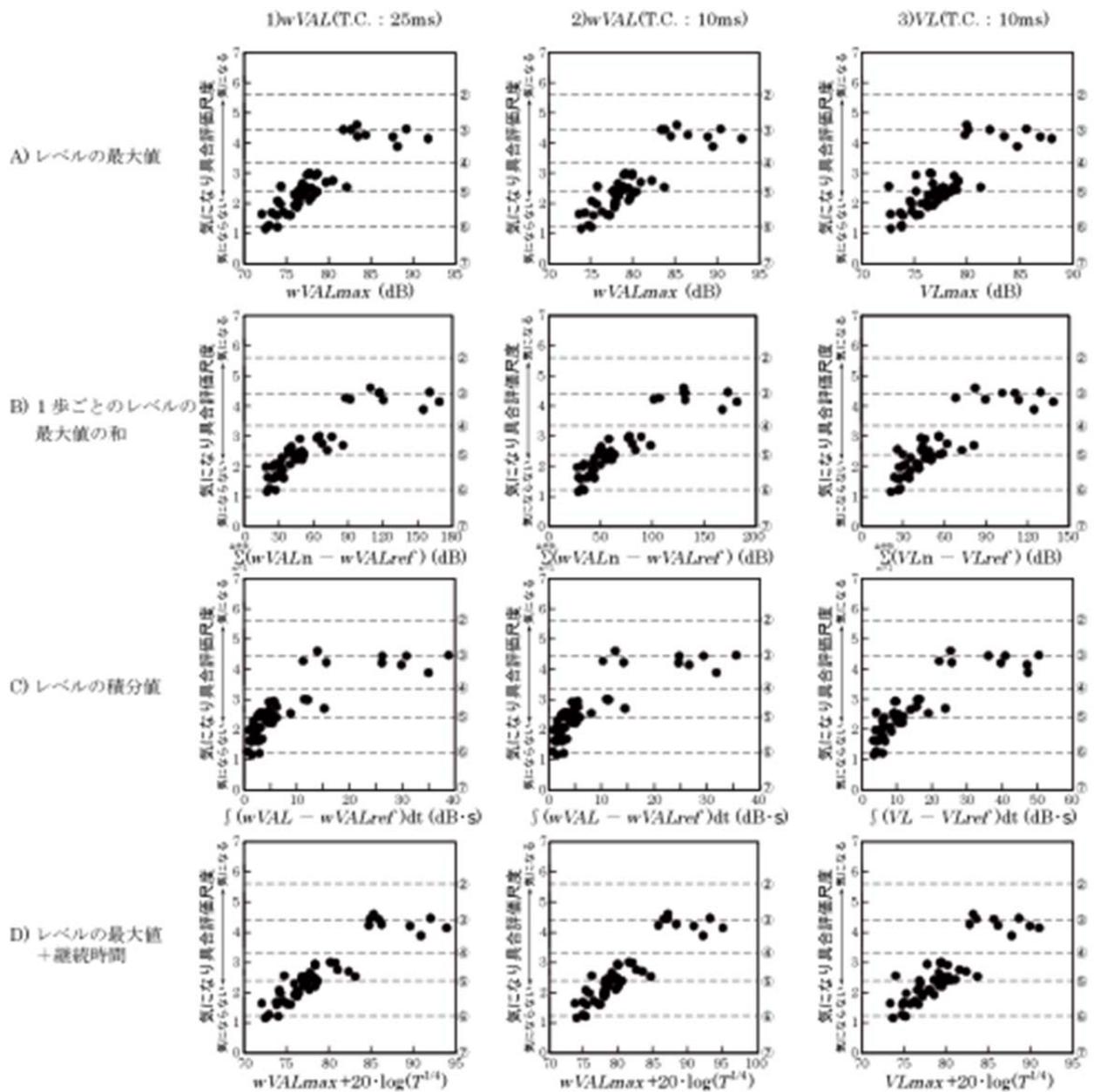


図-11 気になり具合評価尺度と性能候補値の関係<sup>[16], [17]</sup>

また、*VL*は、JIS C 1510に規定された基準レスポンスにしたがって振動数補正を施した“振動レベル”です。なお、*T.C.*は、時定数を表します。

つぎに、それぞれのレベル波形から、表-1に示すA)~D)の4種の値を、性能値の候補として算出しました。表の“性能候補値の概念”の欄に示すように、A)はレベルの最大値、B)~D)はレベルの最大値に時間変化の要因を加味した性能候補値です。このうち、B)は、5で述べたS造、RC造建築物床で発生する歩行振動の性能値<sup>[13]</sup>との整合性を考慮して設定したものです。また、C)は、受振者に暴露された振動の総和量と位置付けられるものです。さらに、D)は、井上と筆者らが提示した、レベルの時間変化の要因を比較的簡便な方法で加味した性能値<sup>[18]</sup>との整合性を考慮して設定したものです。

図-11に、官能検査結果に基づいて構成した心理学的尺度(気になり具合評価尺度)と、表-1に示した12種の性能候補値の関係<sup>[16],[17]</sup>を示します。図より、12種の性能候補値の中では、A)のレベルの最大値が心理学的尺度とよい対応を示し、さらにB)~D)のレベルの時間変化の要因を加味した性能候補値がよりよい対応を示していることがわかります。ここで、これらの性能候補値は、それぞれ以下のような長所、短所を有しています。

- ・時定数については、25ms とすると *VI(2)*や *SVI(2)*と整合しますが、一般的に普及している分析機で簡便に算出することはできません
- ・*wVAL* と *VL* では、*VL*の方が解析が簡便ですが、振動数情報が欠落しがちという問題点を含んでいます
- ・レベルの最大値のみでなく、その時間変化の要因を加味した方が性能値としての精度は高くなりますが、解析は煩雑になります

今後、これらの長所、短所に加え、S造、RC造建築物床で発生する歩行振動や、歩行以外の振動(設備や交通による振動など)への適用性なども考慮しながら、どの候補値を性能値として採用するか検討してゆく予定です。

## 7 おわりに

本稿では、居住性の観点から歩行振動を評価するうえで基本となる1歩の歩行振動に対する性能値について述べたうえで、苦情発生の有無からみた木造建築物床の評価方法、S造、RC造建築物床における歩行振動の評価方法、及び木造大スパン床における歩行振動の評価方法について解説しました。8畳間程度の大きさまでの木造建築物床や比較的剛性の低い木造大スパン床では、着地時の動的変形の大きさ及び速さと、その後の床の固有振動数での振動の続き具合を複合した性能値で、歩行振動を評価できることがわかりました。一方、S造、RC造建築物床や比較的剛性の高い木造大スパン床では、床の固有振動数での振動から算出されるレベルの最大値が振動感覚、評価とよい対応を示し、さらにレベルの時間変化の要因を加味するとよりよい対応が得られることが示唆されました。

現在、日本建築学会の環境振動運営委員会では、居住性能評価指針の改定に向けた検討を行っていますが、そこでの主要な検討課題の1つに、振幅の時間変化をともなう振動に対す

る性能値の設定が挙げられています。本稿の 5, 6 で述べた性能値に関する検討結果は、その議論の際の有効な知見となると考えています。

### 参考文献

- [1] 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, ー振動発生者と受振者が同じ場合ー, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 381 号, pp.1-9, 1987.11
- [2] 横山 裕, 小野英哲: 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, ー振動発生者と受振者が異なる場合ー, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 390 号, pp.1-9, 1988.8
- [3] 小野英哲, 横山 裕: 人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究, ー振動発生者と受振者が同じ場合(動作した人間自身が床振動を感じる場合)ー, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 394 号, pp.8-16, 1988.12
- [4] 横山 裕, 小野英哲: 振動発生者と受振者が異なる場合の床振動の評価方法の提示, 人間の動作により発生する床振動の居住性からみた評価方法に関する研究(第 2 報), 日本建築学会構造系論文集, 第 418 号, pp.1-8, 1990.12
- [5] 横山 裕: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究, 動的加振器, 受振器の設定および妥当性の検討, 日本建築学会構造系論文集, 第 466 号, pp.21-29, 1994.12
- [6] 横山 裕, 佐藤正幸: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究, 衝撃的加振器の開発および振動減衰時間算出方法の妥当性の確認, 日本建築学会構造系論文集, 第 476 号, pp.21-30, 1995.10
- [7] 横山 裕, 佐藤正幸: 歩行時に発生する床振動評価のための加振, 受振装置に関する研究, 仕上げ材が施された床に対する加振, 受振装置の適用方法の設定, 日本建築学会構造系論文集, 第 490 号, pp.17-26, 1996.12
- [8] 横山 裕, 松長健一郎: 小走り時の床振動測定用加振装置および振動減衰時間算出方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 519 号, pp.13-20, 1999.5
- [9] 横山 裕: 苦情発生の有無からみた実在住宅床振動の測定条件, 境界値の提示, 日本建築学会構造系論文集, 第 546 号, pp.17-24, 2001.8
- [10] 横山 裕, 井上竜太: がたつき音の影響を含む床振動の評価方法の提示 振動発生者と受振, 受音者が同じ場合, 日本建築学会構造系論文集, 第 550 号, pp.15-22, 2001.12
- [11] 横山 裕, 井上竜太: がたつき音の影響を含む床振動の評価方法の提示 振動発生者と受振, 受音者が異なる場合, 日本建築学会構造系論文集, 第 564 号, pp.15-22, 2003.2
- [12] 横山 裕, 井上竜太, 西谷伸介, 松下仁士, 柴田昭彦, 塚田幸一, 小林裕明: 共振を考慮した人間の動作による床振動の測定, 評価ならびに対策に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 第 24 号, pp.197-202, 2006.12

- [13] 横山 裕, 井上竜太, 池田文乃, 八木 豊: 歩行により発生する周期的および連続的な床振動の評価指標, 日本建築学会環境系論文集, 第 74 巻, 第 636 号, pp.125-132, 2009.2
- [14] 横山 裕: 複数歩連続した歩行振動の性能値に関する基礎的検討, 木造大スパン床の歩行振動の居住性からみた評価方法(その 1), 日本建築学会環境系論文集, 第 78 巻, 第 691 号, pp.689-695, 2013.9
- [15] 横山 裕, 盧 曼: 居住性からみた木造大スパン床の歩行振動の評価方法に関する基礎的研究, その3 評価指標の提示, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.399-400, 2013.8
- [16] 黒田瑛一, 横山 裕: 居住性からみた木造大スパン床の歩行振動の評価方法に関する基礎的研究, その4 心理学的尺度との関係を検討する物理量の導出, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.379-380, 2014.9
- [17] 横山 裕, 黒田瑛一: 居住性からみた木造大スパン床の歩行振動の評価方法に関する基礎的研究, その4 心理学的尺度と物理量の関係の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.381-382, 2014.9
- [18] 井上竜太, 横山 裕, 松下仁士: 振動の継続時間が居住性能評価に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.377-378, 2014.9