

# 居住者の価値意識に基づいた床スラブの上下振動性能ランク

石川 理都子 小泉 達也 橋本 康則  
(本社設計本部)

菊池 正彦 柏俣 明子 鐘ヶ江 暢一  
(本社設計本部) (本社設計本部) (本社設計本部)

## Habitability Grade of Vertical Floor Vibration based on Residents' Consciousness

Ritsuko Ishikawa Tatsuya Koizumi Yasunori Hashimoto  
Masahiko Kikuchi Akiko Kashimata Masakazu Kanegae

### Abstract

The residence performance of buildings due to the environmental vibration can be evaluated by the performance evaluation curve based on the perception probability shown in "Guidelines for the evaluation of habitability to building vibration". However, the design target value and the permissible value are entrusted to the designer's judgment, and the quality of buildings might vary depending on the designer. Therefore, to provide a performance rank that connects vertical floor vibration to quality of residence environment based on the occupants' sense of values, the authors executed vibration tests and attitude survey concerning the performance rank. As a result, the authors provided a concrete definition of the performance rank, such as a standard level and a preferable level, on the basis of the occupants' sense of values.

### 概要

環境振動による建築物の居住性能に関して、日本建築学会「建築物の振動に関する居住性能評価指針」には知覚確率に基づく性能評価曲線が示されているが、設計目標値や許容値の設定は設計者の判断に委ねられており、設計者による品質のばらつきが懸念される。そこで、日常的な振動源により生じる床スラブの上下振動の程度に応じて居住環境の良否が示される性能ランクを、居住者の感覚や価値意識に基づいて設定することを目的として、振動台を用いた被験者実験および性能ランクに関する意識調査を実施した。居住性能評価指針では標準ランクや望ましいランクなどは明確にされていなかったが、今回の実験と調査の結果、これらを人の価値意識に基づいて設定することができた。

## 1. はじめに

人の動作や交通振動などの環境振動による建築物の居住性能評価に関しては、日本建築学会より「建築物の振動に関する居住性能評価指針」<sup>1)</sup>が刊行されている。同指針に示されている性能評価曲線は、振動が生じた際に何%の人が振動を感じるかを示す知覚確率に基づいており、例えば床スラブにおいて10%の人が感じる上下振動のレベルをV-10のように表している。

個々の床の居住性能は、応答予測結果や実際に測定された振動を性能評価曲線と比較することにより、知覚確率として評価することが可能である。しかし、設計目標値や許容値の設定は設計者の判断に委ねられており、設計者によって居住性能の品質にばらつきが生じたり、トラブル時の対応が評価者により異なったりする事が懸念されている。

設計目標値や許容値に一定の基準を設けるためには、床の振動が居住者にとって不快であるか、我慢できるかといった感覚評価や設計として許容できる限度を明らかにする必要がある。また、振動感覚に関する評価は、振動に敏感かどうか、寛容かどうか、あるいは財産価値ま

で意識するかなど、個々人によって異なるため、人の感覚・価値意識にまで踏み込んで統計的に評価する必要がある。

そこで、周辺の交通や室内における人の動作や設備機器の影響など、日常的な振動源により生じる床スラブの上下振動について、居住環境の良否を具体的に示す性能ランクを、居住者の感覚や価値意識に基づいて設定することを目的として、振動台を用いた被験者実験と、性能ランクに関する意識調査を実施した。

なお、本論文は、平成19年度に実施した日本女子大学住居学科・石川孝重教授との共同研究により得られた成果を報告するものである。

## 2. 実験の概要

### 2.1 性能ランクの設定

まずFig. 1のように、既往の研究<sup>2)</sup>で示された揺れやすいランク1～揺れにくいランク4に加えて、日常的な振動を超えると考えられる範囲をランク0とし、ランク2を標準とする5段階の性能ランクを想定した。

これらの性能ランクに相当する振動の物理量を、振動

実験と意識調査それぞれのアンケート結果を統計的に分析することにより決定することとした。

## 2.2 振動実験

居住者の価値意識に基づく性能ランクと振動の物理量および知覚確率との関係を調査するために、振動台を用いた被験者実験を行った。

実験の状況をFig. 2に示す。3m×3mの加振テーブルの上に、高さ3mの鋼製の居室が設置されている。被験者は19～25歳の女性40名で、1日につき8名ずつ5日間に分けて実験を実施した。

入力振動は正弦振動とし、振動数2.7～31Hz、加速度最大値0.6～200cm/s<sup>2</sup>の範囲で、各物理量とも対数軸で等間隔となるように、評価対象とする振動42種類（振動数6種類×加速度最大値7種類）の目標値を設定した。

実験では、振動数を一定にして加速度最大値を徐々に大きくしながら上下振動を入力した。その間、振動の目標値に加速度が達した時点で50秒間、振幅を定常にする。振動数の入力順序はランダムに設定したが、全被験者に対して同じ順序で入力した。

実験者は実験の開始を伝えて振動を入力した後、振動が定常振幅になった10秒後に、被験者にアンケートの回答開始を指示する。居室内で自然な両足立ちの姿勢をとっている被験者は、その時の振動を感じながら40秒程度で、アンケート用紙の各設問に回答する。この間の振動をサーボ型加速度計により収録し、結果の評価に用いた。

上下振動の知覚および感覚評価の特性を知るために、実験では既往の研究<sup>3)</sup>と同様の設問を含め、Table 1のような11種類の設問を設定した。被験者は振動を感じながら、Q9ではその時の振動にあてはまると感じた表現をすべて選択し、それ以外の設問ではあてはまらなかった表現をそれぞれ1つ選択する。このような絶対評価による方法を用いたのは、実環境における表現にできるかぎり近づけ、居住者にわかりやすい表現を知るためである。

なお、居室自体の剛性はきわめて高いが、19Hzより高い振動数で約160cm/s<sup>2</sup>以上になるとサッシ等の共振音が発生する。被験者に対する実験後のヒアリングから、この共振音は知覚閾に影響をほとんど与えていないことを確かめているが、加速度が高い範囲の感覚評価には影響をおよぼしている可能性がある。この実験では体感による知覚、感覚評価を把握するため、この共振音以外には、物の動きなどの体感以外に振動を想起させる要因をできるかぎり排除して実験を行った。

## 2.3 性能ランクに関する意識調査

性能ランクと振動との関係や住まいに望むランクなどに着目して、環境振動の性能評価に関する意識調査を振動台実験の直後に実施した。調査では、住宅に関して設定した5段階の性能ランクについて、知覚確率のイメージなどを問う設問に対して回答を得た。

このうち、ランク2とランク3について「100人中〇人～

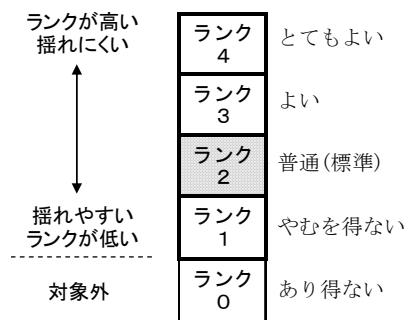


Fig. 1 上下振動の性能ランク  
Performance Rank for Vertical Vibration

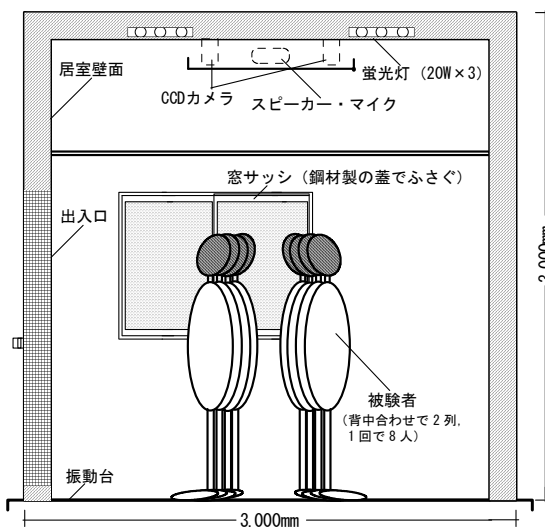


Fig. 2 被験者実験の状況  
Situation of Experiment

Table 1 振動実験で用いたアンケートの設問  
Questionnaire for Vibration Test  
(現在の揺れについて感じるまま答えてください)

Q1	まったく不快でない	あまり不快でない	不快である	かなり不快である	非常に不快である
Q2	とても小さい	小さい	どちらでもない	大きい	とても大きい
Q3	まったく不安を感じない	あまり不安を感じない	不安を感じる	かなり不安を感じる	非常に強く不安を感じる
Q4	まったく感じない	あまり感じない	感じる	強く感じる	耐えられない
Q5	とても強い	強い	どちらでもない	弱い	とても弱い
Q6	まったく気にならない	ほとんど気にならない	あまり気にならない	少々気になる	気になる
Q7	我慢できる		我慢できない		
Q8	どの位の頻度まで許せますか? (地震や事故は除く)				
	日に何度も	日に一度	月に一度	年に一度	一度でも許せない
Q9	住宅の揺れとして当てはまる言葉に、1つ以上、いくつでも〇をしてください				
	まったく感じない 許容できない	不安である 小さい	かすかな 不快である	怖い	耐えられない
Q10	住宅の居室として、よい環境だと思いますか?				
	そう思う	どちらかと言え そう思う	どちらとも いえない	どちらかといえ そう思わない	そう思わない
	学校の教室として、よい環境だと思いますか?				
	そう思う	どちらかと言え そう思う	どちらとも いえない	どちらかといえ そう思わない	そう思わない
Q11	住宅の居室の場合、日常的な振動の性能ランクとしての程度ですか?				
	4	3	2	1	0
	とてもよい	よい	普通 (標準)	やむを得ない 許容できる	あり得ない
	学校の教室の場合、日常的な振動の性能ランクとしての程度ですか?				
	4	3	2	1	0
	とてもよい	よい	普通 (標準)	やむを得ない 許容できる	あり得ない

○人が振動を感じると思うか」という設問について、各人の回答範囲の中央値を集計した結果をFig. 3に示す。

「揺れを感じる人数」を回答者が考える各ランクの知覚確率として評価すると、ランク3については知覚確率20%程度を中心に35~40%以下という回答が大半を占め、ランク2はランク3よりも知覚確率が10~20%高いと考える回答が多いという結果が得られた。

また、ランクが高いほどコストがかかることも考慮して自宅として望ましいランクを問う設問では、ランク3を望む回答が最も多かった。

### 3. 振動実験結果

#### 3.1 知覚確率に関する既往の実験との比較

振動実験中に実施したアンケート (Table 1参照) のQ1で「まったく感じない」以外の回答をした被験者の割合を、その振動を感じた人の割合すなわち知覚確率として評価し、既往の実験結果との整合性を確認した。

実験結果より、10%から90%の範囲で20%ごとの知覚確率に相当する加速度最大値を振動数ごとに求め、対数軸上の2次式による回帰曲線で評価したものをFig. 4に、既往の研究<sup>3)</sup>において同様に算出された知覚確率をFig. 5に示す。

両者の結果は、全体的な傾向や各曲線の勾配は同程度であるが、特に振動数が高い範囲と低い範囲で加速度に若干違いがある。今回の実験では、特に後半の設問で住

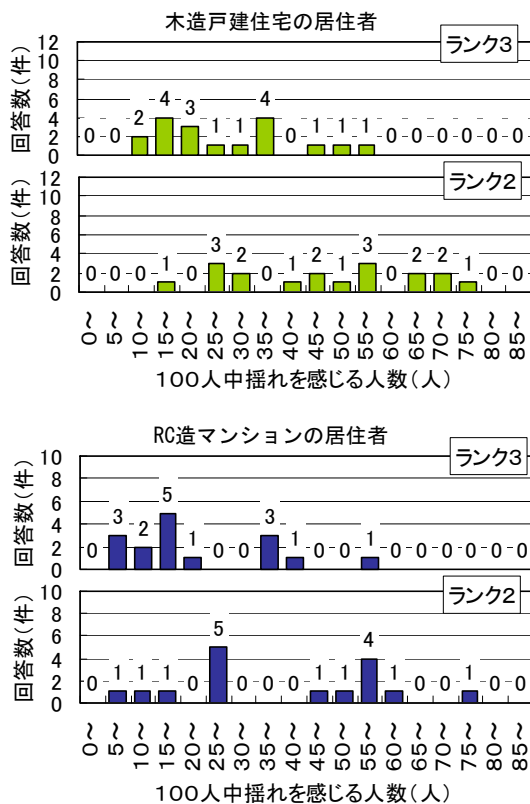


Fig. 3 性能ランクに関する意識調査結果  
Result of Attitude Survey

宅での居住環境性能を意識させながら実施したことが、加速度が小さい振動をより感じやすくさせる要因になったとも考えられる。

しかしながら、知覚確率は不快感などの心理量と比較して回答のばらつきが小さく安定した傾向が得られることが確認されており<sup>3)</sup>、実験結果の分析にあたって、振動の物理量そのものではなく知覚確率との関係に着目することにより、既往の研究との整合性を確保できるものと考えられる。

#### 3.2 振動実験による性能ランクの評価

次にQ11において、評価対象の振動をあるランク以上であると回答した人の割合を性能ランクの累積回答確率として、振動の物理量と性能ランクとの関係性を評価した。

実験結果のうち振動数4.3Hzと12Hzの場合について、実験実施日ごとの累積回答確率と知覚確率を加速度の常用対数を説明変数とした4次式で回帰した結果をFig. 6に示す。Q11の設問は住宅の寝室と学校の教室の場合に分けているため、それぞれの回答を分析した結果を同時に示

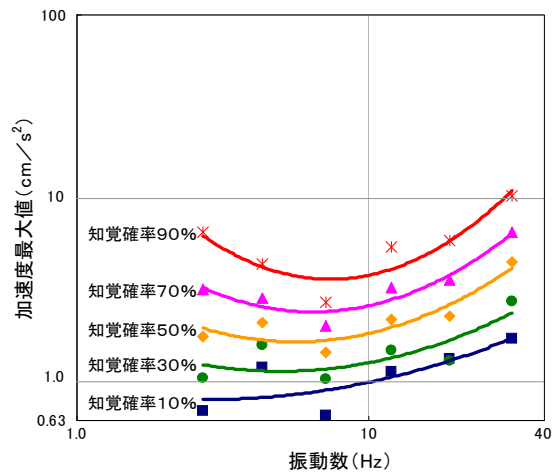


Fig. 4 本実験における上下振動の知覚確率  
Perception Probability by Present Experiment

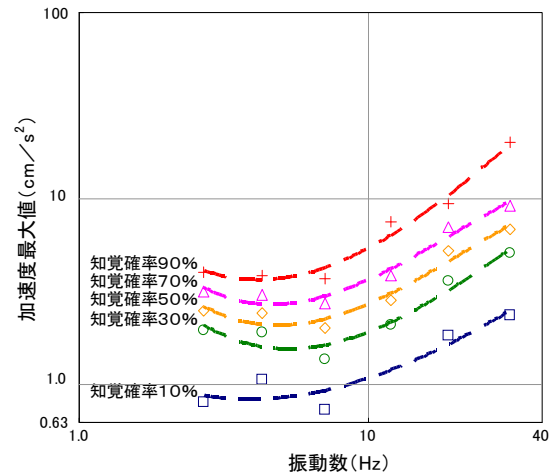


Fig. 5 既往研究における上下振動の知覚確率  
Perception Probability by Reference Experiment

している。

知覚確率は右上がりの赤線、性能ランクの累積回答確率は右下がり住宅が実線、学校が点線となっている。例えば4.3Hzで実測加速度約 $3\text{cm/s}^2$ の場合、知覚確率は約70%で、住宅について70%の人がランク3以上、85%の人がランク2以上と回答していることがわかる。

意識調査の結果を考慮して、住宅のランク3の中央の値が知覚確率20~40%程度の範囲におさまり、ランク2との差が知覚確率で20%程度になる条件を検討した。その結果、累積回答確率の回帰曲線が84.13% (正規分布の場合+1 $\sigma$ に相当)になる加速度を各性能ランク間の境界値とすることにより、各振動数とも、意識調査で得られた結果と同程度の位置づけを性能ランクに与えられるものと判断した。

Fig. 6に太線で示したのが累積回答確率84.13%のラインであり、それぞれの性能ランクの累積回答確率の回帰曲線との交点にあたる加速度以下に床の上下振動を抑えることで、約80%以上の人、その床が該当するランクより高い性能を有すると評価していることを示す。

### 3.3 性能ランクと他の評価項目との関係

Fig. 6から得られた住宅、学校の各性能ランクの範囲を色分けし、他の設問の一部について累積回答確率を示したものがFig. 7である。

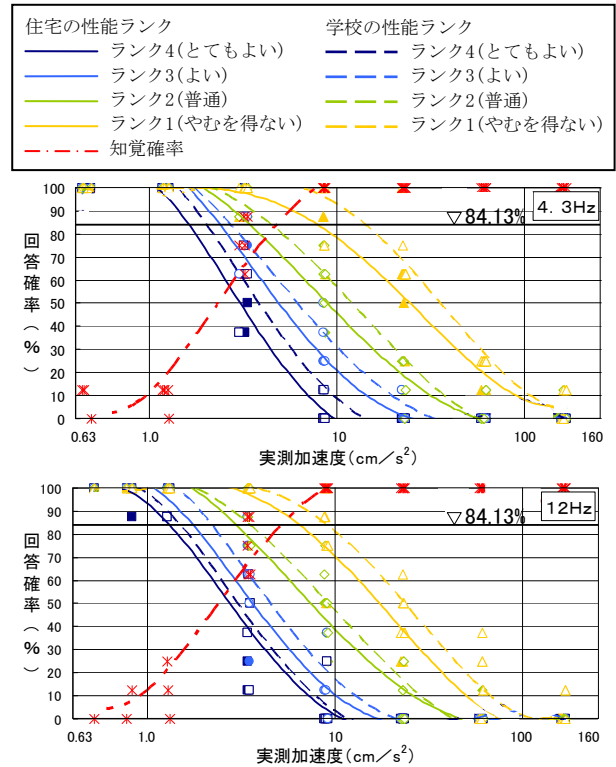
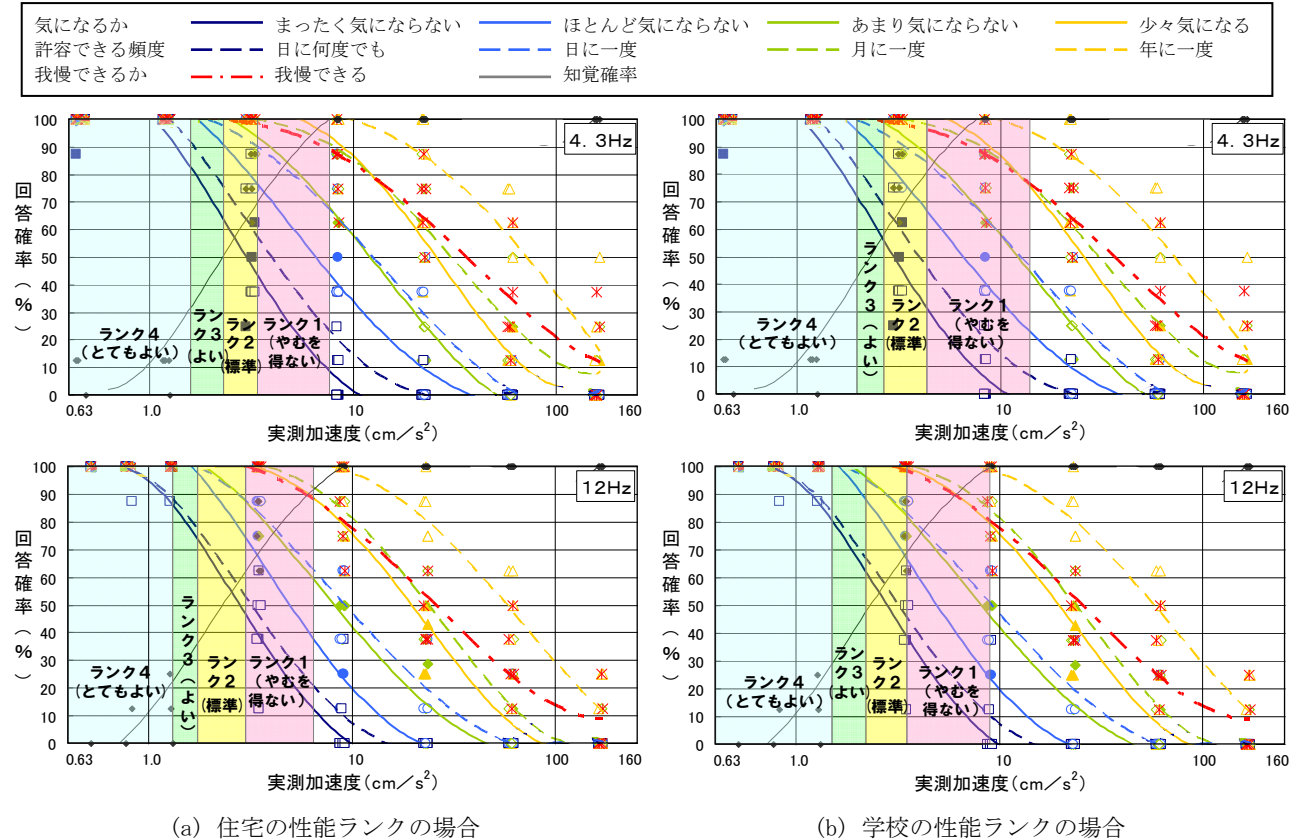


Fig. 6 性能ランクの累積分布 (抜粋)  
Cumulative Distribution of Performance Rank



(a) 住宅の性能ランクの場合

(b) 学校の性能ランクの場合

Fig. 7 性能ランクと評価尺度との関係 (抜粋)  
Relation between Performance Rank and Evaluation Scale

このような図を活用することで、各性能ランクに色分けされた範囲で、どのような評価の人がどの程度いるかを把握することができ、知覚確率による表現では実感に乏しい性能ランクについて、どの程度の振動であるかをよりわかりやすく具現化できる。

例えば、(a)の住宅において、標準のランク2（黄色の範囲）では、ほぼ全員が我慢でき（赤の鎖線）、日に一度までなら許容できる人（青の破線）がほとんどであること、自宅に望む人がもっとも多いランク3（緑色の範囲）では、振動が全くまたはほとんど気にならない人（青の実線）が大半を占めることなどが読み取れる。

#### 4. 性能評価指針をふまえた性能ランクの表示

##### 4.1 性能ランクと知覚確率との関係

Fig. 6より得られる各性能ランク間の境界に相当する最大加速度を振動数ごとに求め、加速度を目的変数、振動数を説明変数（いずれも常用対数値）として、2次式に

よる回帰曲線で評価したものをFig. 8とFig. 9に示す。各曲線は性能ランクの境界を示すラインであり、各ランクは図中に示すような幅をもった範囲で表現される。日常的な床の上下振動が各ランクの範囲内にあれば、80%程度以上の人が、そのランクよりも高い性能を有する床であると評価していることを示す。

住宅が学校かによらず、各ランクの境界を示す回帰曲線の傾向は類似しており、傾きなどもほぼ同程度である。図中に細実線で示した知覚確率と全体的な傾向は類似しており、性能ランクを知覚確率との関係から評価できることがわかる。

##### 4.2 居住性能評価指針をふまえた性能ランクの提案

3.1節で述べたように、今回の実験結果と居住性能評価指針で引用されている既往の結果とを比較すると、知覚確率と加速度との関係に相違が見られるため、Fig. 8とFig. 9に示した回帰曲線をそのまま単純化して性能ランク曲線とすることは適切とはいえない。そこで、居住性

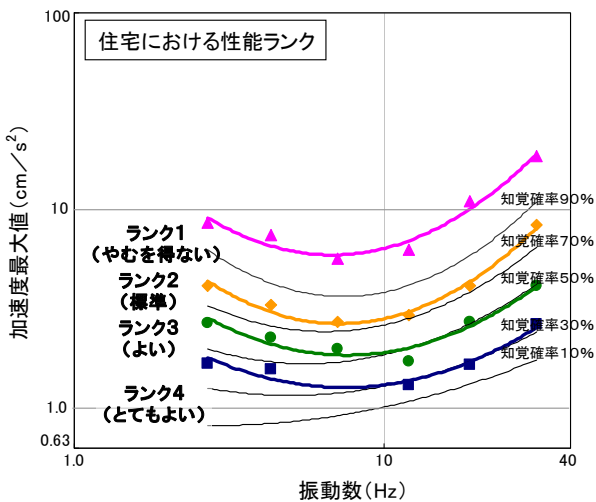


Fig. 8 住宅を想定した性能ランク  
Performance Rank for Residence

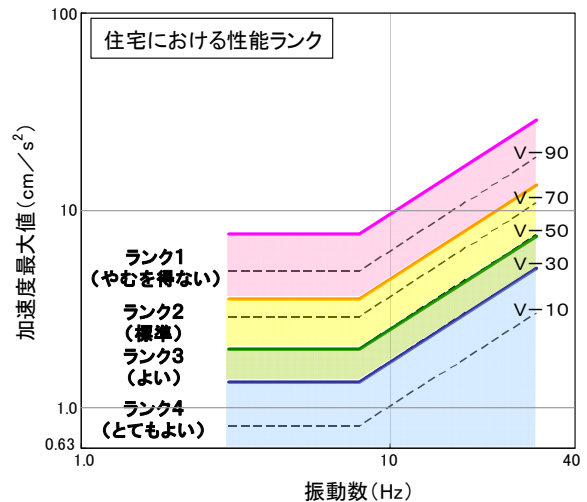


Fig. 10 学会指針をふまえた住宅における性能ランク  
Performance Rank for Residence based on the Guideline

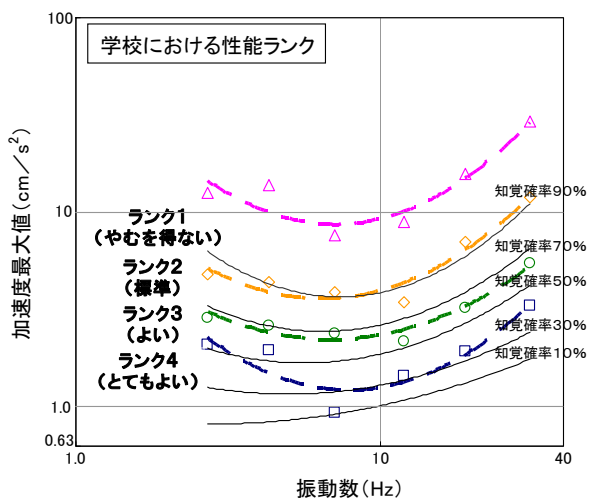


Fig. 9 学校を想定した性能ランク  
Performance Rank for School

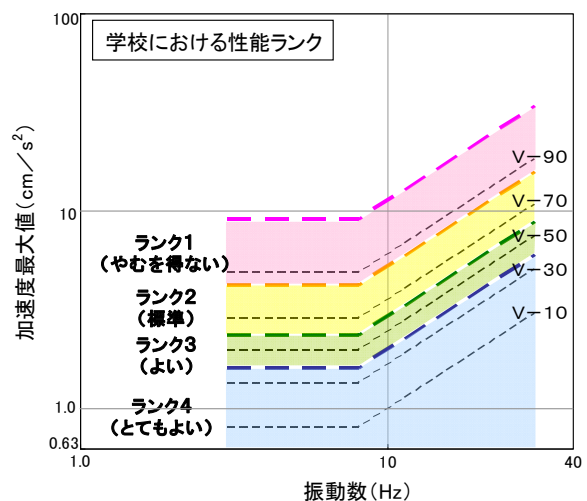


Fig. 11 学会指針をふまえた学校における性能ランク  
Performance Rank for School based on the Guideline

能評価指針の性能評価曲線と知覚確率との関係が明示されていることを受け、4.1節で述べた性能ランクと知覚確率との関係に基づいて、居住性能評価指針の性能評価曲線をベースにした性能ランクを提示することを試みた。

Fig. 8とFig. 9の回帰曲線から、住宅については、ランク4がV-30以下、ランク3がV-30～V-50、標準のランク2がV-50～V-80となり、ランク1はV-80以上で振動を感じない人がほとんどいなくなる範囲(V-97程度)までとした。その上で、知覚確率が対数正規分布にしたがうなど指針で用いられている条件をふまえて、各性能ランクの境界に相当する加速度を算出した。

この結果を居住性能評価指針の性能評価曲線と同じ勾配の曲線を用いて表したものを、学会指針をふまえた住宅における性能ランクとしてFig. 10に示す。

一方、学校については、授業中か休憩中かなど状況のとらえ方によってばらつきが大きくなることも考慮して、意識調査で回答が比較的集約したランク3を基準に、住宅の性能ランクより10%高い知覚確率40～60%とした。Fig. 11がその結果であり、ランク4がV-40以下、ランク3がV-40～V-60、標準のランク2がV-60～V-85程度となる。住宅との対比で考えれば、この学校のランクを事務所として展開することが考えられる。

## 5. まとめ

日常的な振動源により上下振動が生じる床スラブにおける居住環境の良否を示す性能ランクについて、振動台を用いた被験者実験と性能ランクに関する意識調査とを実施し、以下の知見を得た。

- 1) 住宅における性能ランクのイメージを知覚確率で表現すると、ランク3（よい）は知覚確率20～40%程度、ランク2（標準）はランク3（よい）より10～20%高いと考える人が多い。
- 2) 振動実験において評価対象の振動をあるランク以上であると回答した人の割合を性能ランクの累積回答確率として、振動の物理量と性能ランクとの関係を評価することができた。
- 3) 累積回答確率が正規分布の+1 $\sigma$ に相当する84.13%になる加速度を各性能ランク間の境界値とすることにより、意識調査で得られた結果と同程度の位置づけを性能ランクに与えられた。
- 4) 性能ランクの境界に相当する知覚確率を算出する

ことにより、居住性能評価指針の性能評価曲線と同じ勾配の曲線で床スラブ上下振動の性能ランクを提示することができた。

実験における住宅や学校の区別はあくまで被験者がイメージしたものであるため、実環境における評価との違いが想定される上、これによる結果への影響もみられ、今後検討すべき点も残されている。しかしながら本研究では、居住性能評価指針で明確にされていなかった標準ランクや望ましいランクなどを、人の価値意識に基づいて設定することができたものと考えている。

## 謝辞

本研究は、日本女子大学住居学科・石川孝重教授との共同研究によるものです。石川教授をはじめ、本実験を実施するにあたり多大なご協力を頂きました。日本女子大学住居学科・野田千津子研究員、ならびに被験者となっていたいただいた学生の皆様に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会:建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説, 第2版, (2004)
- 2) 野田千津子, 石川孝重: 居住者の意識調査に基づいた環境振動に対する性能評価ランクのあり方に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 385～386, (2007)
- 3) 石川孝重, 野田千津子: 鉛直振動に対する知覚閾および感覚評価に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, 第588号, pp. 9～14, (2005)
- 4) 野口憲一, 石川孝重, 野田千津子, 塩谷清人: 「建築物の振動に関する居住性能評価指針」に関するアンケート調査結果(その1～その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 315～318, (1999)
- 5) 野田千津子, 石川孝重: 環境振動における居住性能評価に関する意識調査—性能グレードの設定に着目した分析—, 日本建築学会関東支部研究報告集(環境工学), pp. 441～444, (2007)
- 6) 柏俣明子他: 床振動に関する居住者意識に基づいた性能ランクの設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 439～448, (2008)