

令和元年5月20日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06621

研究課題名(和文)鉛直振動を対象とした評価方法と評価ランクに関する研究

研究課題名(英文)Research on evaluation method and evaluation rank for vertical vibration

研究代表者

富田 隆太(TOMITA, Ryuta)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号：40339255

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人の歩行時等を想定した衝撃振動及び交通振動に対する振動感覚と対応の良い評価尺度の提案を行った。物理量の測定と振動感覚評価実験を行い、気になり度合や不快感合について、対応が良い物理量を提案した。これらの結果より、人の振動感覚と対応の良い評価尺度が提案できた。次に、居住者反応データ(長期居住時)についても、実建物で実施した。その結果、様々な分析を行い、評価尺度としては、等価振動レベルに、振動知覚秒数又は回数の対数を考慮する評価尺度が気になる度合や不快感合と良い対応を示すことがわかった。さらに、それぞれの評価尺度に対して、振動の気になる度合に対する基準を提案することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

居住床の床振動評価としては、日本建築学会から刊行されている「建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説、第2版」が用いられることが多く、評価尺度としては振動加速度の最大値のみであった。しかしながら、本研究で行ったように、振動の気になり度合や不快感合は、振動知覚時間によることを明らかにし、建築物の内部で発生された振動源及び外部で発生された振動源に対して、同じ評価尺度で対応が良いことを示した。今後、本研究で提案した評価尺度が、振動の尺度として活用されることを期待している。

さらに、実験時間を1日に延長し、1日を対象とした振動の気になり度合や不快感合を対象に、評価尺度を提案することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we proposed the good evaluation scale for the vibration sense to impact vibration assuming that people are walking and traffic vibration. The measurement of physical quantity and the evaluation of vibration sensation were conducted, and the physical quantity corresponding to the degree of concern and the degree of discomfort was proposed. From these results, we could propose the good evaluation scale of human vibration sense. Next, resident response data (during long-term residence) were also implemented in the actual building. As a result, various analyzes were conducted, and it was found that the evaluation scale shows the degree to which the evaluation scale considering the second or number of vibration is the degree of concern and the degree of discomfort. Furthermore, for each rating scale, it was possible to propose a criterion for the degree of concern and the degree of discomfort.

研究分野：建築環境工学

キーワード：環境振動 評価尺度 評価規準 振動知覚時間

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

都市の高密度化や建築物の床の大スパン化等により、建築物を取り巻く環境振動の問題が増加してきている。研究開始当初時点では、居住床の床振動評価としては、日本建築学会から刊行されている「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)」が用いられることが多かった。同書によると、「人の動作・設備による鉛直振動」の項目では、「図-1に示す性能評価曲線に、床応答波形から求まる1/3 octaveバンド分析結果を照合することにより行う」とされている。また、「床応答波形は、床用途上、日常的な振動発生源になると想定される加振条件下で求めることとする」とされており、衝撃源や衝撃方法については定められていない。この方法による評価は、床の振動に対する遮断性能(抵抗)に加えて、床に入力される衝撃力の変化が影響することから、人の歩行等の場合には動作の種類や個人差等の変化、ばらつきを含むこととなる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、これまで環境振動分野では導入されていなかったが、振動に対する建築物の遮断性能(建築性能)そのものを評価していこうとするものである。

また、空間の絶対性能からみた評価方法として、「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)」があるが、知覚確率による評価のみが示されていた。

本研究では、居住者の気になる度合や不快度合からみた評価をもとにした評価基準を検討することとする。そのためには、当然振動が暴露された時間影響も関係してくることが予想され、研究開始当初時点に用いられていた「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)」の知覚確率のみの評価指針では評価することができないと考えられる。また、居住者の気になる度合、不快度合等の評価基準については、あくまでも居住者の生活時間によるものを基本とするため、実験室実験と併せて、居住者の振動に対する反応と居住者の通常暴露されている振動応答物理量の測定を行うことが必要と考えられる。

居住者の住環境の向上のためには、環境振動の評価基準として、「空間の絶対性能からみた振動評価」と「床の振動遮断性能からみた建築物の評価」の2種類の評価基準が必要と考えており、それぞれについてまずは実験室実験において評価尺度を検討し、さらに居住者の反応から評価ランクを提案することを目的としている。また、本研究は鉛直振動を対象とするため、対象とする振動源として、「居室内部で人の歩行等により発生する振動」と「外部で発生する道路交通や鉄道等の交通振動」を対象とする。

3. 研究の方法

「空間の絶対性能からみた振動評価」については床に衝撃振動を発生させ、そのときの物理量を様々な視点から検討し、振動感覚と対応の良い評価尺度の提案を行う。この「空間の絶対性能からみた振動評価」について、人の感覚量は衝撃を受けた時間内の振動エネルギー、すなわち振動暴露量が影響すると考え、時間の関数を組み入れた評価物理量の検討を行う。

次に、交通振動を対象とした場合の人の振動感覚と対応の良い評価尺度の提案を行う。交通振動源としては、道路交通、在来線鉄道、新幹線が主であるが、屋内で人の歩行等により発生する衝撃振動とは振動時間波形、周波数特性も異なることから、衝撃振動に対して提案する評価尺度との対応を見ながら、同様に扱えるか等、実験的検討を行う。

初年次から3年次まで継続して、居住者反応データの蓄積を目指す。これは、実際に長年に渡る生活の中で、振動に暴露されている居住者の反応と物理量の絶対値からランク幅や性能ランクの設定を目指すものである。振動が暴露されている居住者の家での物理量測定は非常に難しいが、これまで数件の物件で過去に実施したこともあり、測定機器を簡便にする等の方法でデータ収集が可能であると考えている。

「床の振動遮断性能からみた建築物の評価」については、これまで環境振動分野では導入されていないが、音環境分野で床衝撃音遮断性能の評価基準として導入されている考え方である。本研究では、JIS A 1418-2:2000に規定されている衝撃力特性(2)を有するゴムボールを用いることとする。このゴムボールは、汎用性があり、ハンドリングもよく(直径180mm, 質量2.5kg)、温度等に対する安定性も高いことが報告されている。また、ゴムボールの衝撃周波数は25Hzであることから、人の日常動作時における衝撃力の周波数範囲も網羅しており、その面からも安定した衝撃源であるといえる。「床の振動遮断性能からみた建築物の評価」では、このゴムボールを用いて、一定の衝撃力を加え、建築物の床の振動遮断性能からみた評価尺度の提案を行う。

4. 研究成果

本研究では、まず、人の歩行時等を想定した衝撃振動に対する振動感覚と対応の良い評価尺度の提案を行った。ゴムボール衝撃源を対象として、鉛直振動に対する30Hz以降の振動感覚周波数特性の検討を行い、80Hzまで拡張することで知覚度合との対応が良くなることを示した。さらに、RC造と木造の実建物を対象に、物理量の測定と振動感覚評価実験を行い、気になり度合や不快度合について、対応が良い物理量を提案した。これらの結果より、人の振動感覚と対応の良い評価尺度が提案できた。図1にその成果の一部を示す。

図1では、 $L_{V_{\max}(10\text{ms})} + 20 \log_{10} Th^{k_2}$ 、 $L_{V_{\text{eq}}} + 20 \log_{10} Th^{k_2}$ 、 $L_{V_{\text{eq},h, Th}} + 20 \log_{10} Th^{k_2}$ と気になり度合の関係

を示している。この物理量は、いずれも、振動レベルに起因する物理量(振幅を表している)に振動の継続時間を加えたものである。最大値を示す $L_{Vmax(10ms)}$ やエネルギー平均値を示す L_{Veq} では、気になり度合と対応していないデータも見られる。

一方で、本研究で提案した物理量である $L_{Veq,h,Th}+20\log_{10}T_h^{k2}$ の場合には、決定係数も0.85と大きく、かつデータのばらつきも小さく、気になり度合と良い対応を示していることがわかる。

また、継続時間についても種々の検討を行った。kの値を一定の数字で変化させることや、振動知覚時間によって変化させることを含め、様々なパターンで検討した結果、連続関数として $k2=-1/136\cdot 10\log_{10}T_h+1/4$ のときに気になり度合や不快度合との対応が良いことを示した。

次に、これらの結果を応用して、建築物の床の振動遮断性能からみた評価尺度の検討を行った。木造、鉄骨造の実建物を対象に、ゴムボール衝撃時の床の加速度測定及び感覚評価結果の対応を検討した。

さらに、外部振動源についても、同様の検討を行った。前述した人の歩行時等を想定した床の衝撃振動に関する知見を生かし、交通振動を対象とした場合の人の振動感覚と対応の良い評価尺度の提案を行った。対象とした交通振動源としては、道路交通、在来線鉄道、新幹線とした。交通振動においても、30Hz以降の振動感覚周波数特性の検討を行い、決定周波数以外の周波数帯域も考慮することで知覚度合との対応が高まる可能性を示した。また、交通振動を対象に、振動の継続時間を考慮した物理量と振動感覚の関係について様々な検討を行った結果、人の歩行時等を想定した衝撃振動と同様の振動知覚時間を考慮した物理量を提案し、その物理量が、不快度合と良い対応を示すことを明らかにした。これらの結果より、振動源によらず、本研究で提案した評価尺度が、人の振動感覚評価と対応が良いことがわかった。なお、適用範囲は、実験時間が10分以内の範囲で検討したものである。

次に、居住者反応データ(長期居住時)についても、実建物で実施した。これらのデータは、3年間継続してデータを蓄積した。前述した、10分程度の短い官能検査だけではなく、振動環境に対する生活実感を明らかにすることを目的に、長期間に渡る振動評価を明らかにすることを試みた。

まず、日常生活における環境振動の実情を把握することを目的として、過去1年間の振動暴露を対象とし、アンケート調査を行った。過去1年間での現住居における振動に対して回答してもらった。アンケート調査の全回答者は994名で、男性が673名、女性が282名、性別不明が39名であった。「過去1年間で、家にいるときに地震以外の振動を感じるか」の質問に対して、図2に示すように、全回答者の約40%の人が住宅における実生活の中で振動を知覚しているという結果であった。また、振動を感じると回答した393名に対し、振動に対する総合評価について回答してもらった結果を図3に示す。図を見ると、「振動がストレスとなり、

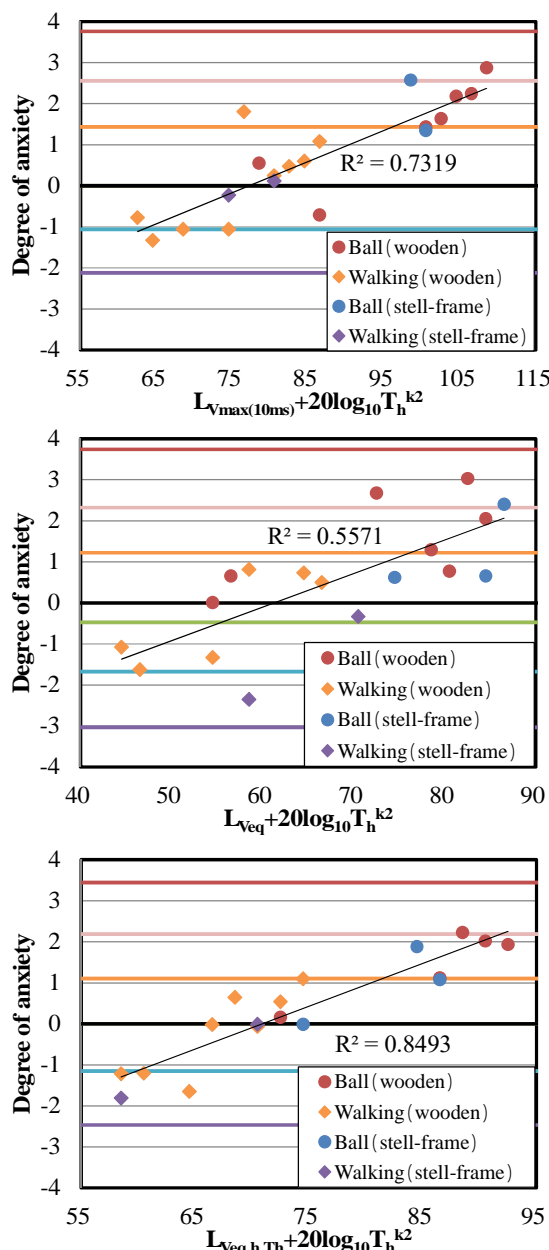


図1 評価尺度と気になり度合の関係

振動を感じているか N=994

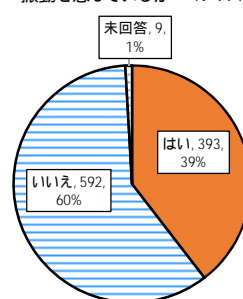


図2 振動の知覚割合

できる事なら引っ越したい」、「振動を感じ不快に思うが、我慢できる程度」、「振動を感じるが、少し気になる程度」と回答した人を合わせると約58%を占め、振動が日常生活に影響を与えていることがわかった。

さらに、対象者を選定し、対象者が居住する実住宅において実験を行った。実験内容は実住宅での振動測定と居住者のアンケート調査とした。50物件の住宅で72名の居住者を対象に、1日を対象とした振動測定とアンケート調査を実施した。

その結果、様々な分析を行い、評価尺度としては、等価振動レベルに、振動知覚秒数又は回数の対数を考慮する評価尺度が気になる度合や不快度合と良い対応を示すことがわかった。さらに、それぞれの評価尺度に対して、振動の気になる度合に対する基準を提案することができた。

以上のように、本研究では、第1段階としては、10分以内の官能検査により、振動の気になる度合や不快度合と対応のよい評価尺度の提案を行うことが出来た。さらに、居住者反応データ(長期居住時)を収集し、1日を対象とした振動に関するアンケート調査結果と対応の良い評価尺度を提案することができた。

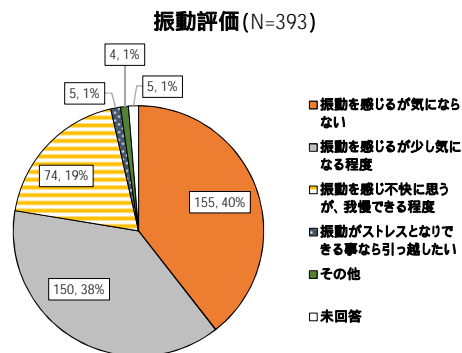


図3 振動に対する評価

5. 主な発表論文等

[学会発表](計13件)

Ryuta Tomita, Katsuo Inoue, (Invited Paper) Proposal of Evaluation Scale for Vibration Sense Targeting Impact Vibration on Floor of Building, INTER-NOISE 2019, 2019年6月(発表予定)

後藤 佑太、井上 勝夫、富田 隆太、日常生活における人の振動評価基準に関する検討(その2 実住宅における1日を対象とした居住者の振動感覚評価と振動応答量に関する検討)、日本建築学会大会、2019年9月(発表予定)

後藤 佑太、井上 勝夫、富田 隆太、1日を対象とした実住宅の振動応答物理量と居住者の振動感覚評価に関する検討、日本音響学会騒音振動研究会、2018年12月

富田 隆太、井上 勝夫、後藤 佑太、1日を対象とした実住宅の振動物理量と居住者の振動評価に関する検討、日本音響学会秋季研究発表会、2018年9月

後藤 佑太、井上 勝夫、富田 隆太、実住宅における居住者の1日当りの振動評価と振動物理量に関する基礎的検討 日常生活における人の振動評価基準に関する検討: その1、日本建築学会大会、2018年9月

松田 貴、富田 隆太、分析時の時定数を考慮した振動評価量の換算方法の実験的検討、日本建築学会大会、2018年9月

Ryuta Tomita, Katsuo Inoue, Examination of vibration evaluation scale considering duration on vibration sense for floor in buildings, INTER-NOISE 2018, 2018年8月

坪井 恒太郎、井上 勝夫、富田 隆太、1日を対象とした実住宅の振動応答物理量と居住者の振動感覚評価に関する検討、日本音響学会騒音振動研究会、2018年6月

松田 貴、井上 勝夫、富田 隆太、新幹線振動を対象とした鉛直・水平振動が同時暴露された場合の振動感覚に及ぼす影響、日本騒音制御工学会秋季研究発表会、2017年11月

松田 貴、井上 勝夫、富田 隆太、新幹線振動を対象とした鉛直・水平方向の複合振動が振動感覚に及ぼす影響 交通振動に対する住宅床の体感振動評価に関する研究: その5、日本建築学会大会、2017年8月

Ryuta Tomita, Katsuo Inoue, (Invited Paper) Effect of floor structure and floor finishing structure on walking sense and dynamic displacement, INTER-NOISE 2017, 2017年8月

富田 隆太、井上 勝夫、振動感覚に対する時間影響を考慮した振動評価尺度に関する検討、日本音響学会春季研究発表会、2017年3月

Toru Matsuda, Katsuo Inoue, Ryuta Tomita, (Invited Paper) Vertical sensory evaluation on residential floor by traffic vibration, 5th Joint Meeting, Acoustical Society of America and Acoustical Society of Japan, 2016年12月

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 井上 勝夫

ローマ字氏名: (INOUE, Katsuo)

所属研究機関名：日本大学

部局名：理工学部

職名：特任教授

研究者番号（8桁）：30102429

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。