

交通による戸建て住宅の水平方向の実測波形を用いた ランダム振動に対する環境振動評価

EVALUATION OF RANDOM VIBRATION BASED ON INVESTIGATION OF PERCEPTION OF HORIZONTAL TRAFFIC VIBRATION MEASURED IN DETACHED HOUSES

石川孝重*, 国松 直**
Takashige ISHIKAWA and Sunao KUNIMATSU

In this study, we performed an experiment involving the measurement of the subjective perception of horizontal traffic vibration in detached houses. The objective was to investigate the influence of the predominant frequency and waveform pattern on the perception of random vibration over a wide range of frequencies.

Results show that the predominant frequency greatly influences the perception of random vibration. Evaluation curve of perception of random vibration calculated by using predominant frequency and maximum acceleration is parallel to that of sinusoidal vibration. For 40% of the subjects, the random vibration was harder to perceive than the sinusoidal vibration. Based on the result, the authors present the conclusions derived from the evaluation of perception of random vibration.

Keywords : *Environmental vibration, Random vibration, Traffic vibration, Horizontal vibration, Probability of perception, Predominant frequency*

環境振動, ランダム振動, 交通振動, 水平振動, 知覚確率, 卓越振動数

1. はじめに

これまで環境振動に対する知覚や心理量に着目した被験者実験では, 主として正弦振動を対象とした検討^{1) 2)}が行われ, 居住性能評価指針³⁾でも正弦振動の知覚に基づいて性能評価曲線が提示されている。一方, 実環境で生じる振動は, 複数の振動数成分を含み, 振動数や振幅が時々刻々と変化するランダム振動であり, 正弦振動に対する知覚の評価とは相違があることが指摘されてきた⁴⁾。

このような複雑な特性をもつランダム振動の評価に関しては, 風によるランダム振動を対象とした既報⁵⁾がある。風振動は, 1次固有振動数を中心に比較的単一の振動数が卓越し, 加速度の増減も緩やかに繰り返す特性をもつ⁴⁾。一方, 交通振動は, 短時間で加速度の増減を繰り返す複雑な物理特性を示し⁶⁾, 風振動とは異なる特徴がみられる可能性があるが検討例は少ない。実環境に生じる振動はこのような発生源などによって特徴が異なるが, 複雑な物理特性をもつランダム振動の知覚評価に関して汎用的な知見を得られていないのが現状である。

そこで本研究では, 戸建て住宅内で実測した車輛や鉄道による水平振動を用いた被験者実験を実施した。交通振動を実測振動の一例として取り上げながら, 振動数範囲を広げて検討することで, ランダム振動としての波形パターンや卓越振動数の違いが知覚に及ぼす

影響を検討する目的である。

また, 実験を通して得たランダム振動の知覚を従来の環境振動に関する評価で基盤とされてきた正弦振動の知覚と比較することで両者の違いを明らかにし, ランダム振動の知覚に関する評価曲線(座位姿勢)を提示する。

なお, 本論文の一部は, 文献^{7,8)}において速報している。

2. 正弦振動に基づく検討をふまえた実験目的

筆者らは, 既報^{9,10)}において, ランダム振動の知覚に影響を及ぼす要因として, 振動数特性, 加速度振幅の変動と繰り返し回数(継続時間)に着目し, 正弦振動を基にした複合振動などを対象に実験を行った。その結果, 2種の振動数を複合した正弦振動の場合は大い加速度の振動数が知覚をほぼ決定することがわかった。⁹⁾また, ウィンドウ長 1.25~3.75 秒の範囲で加速度を増減させた場合には, ウィンドウ長の影響は振動数によって異なること, 全体として振動数による知覚の変動が大いことを見出した。¹⁰⁾

正弦振動を基にしたこれらの模擬波形による実験結果をふまえ, 既報¹¹⁾では交通による実測振動を忠実に再現して入力し, 実測振動に対する知覚を検討した。その結果, 限られた波形形状のもとではあるが, 振幅の変動による波形の特徴が異なる場合にも, 卓越振動

* 日本女子大学住居学科 教授・工博

** 産業技術総合研究所 工博

Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's University, Dr. Eng.
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Dr. Eng.

数を変数として用いることで、知覚確率は同程度の加速度範囲に分布し、評価曲線の勾配も同じような傾向を示すことがわかった。

しかし、戸建て住宅での実測振動を用いたことから、その振動数成分は各住宅の固有振動数が顕著に卓越していた。そのため、実験で入力した各波形の卓越振動数は 5.0~10Hz 程度が中心となった。その結果、卓越振動数がランダム振動の知覚に影響する傾向を見出すことはできたが、対象とした振動数範囲が狭く、より広い振動数範囲を対象とした検証が課題となった。

そこで本論文では、既報¹⁾で対象とした戸建て住宅における実測振動を元波形として用い、波形データの離散間隔を変化させることで卓越振動数をより広い範囲に設定することを試みた。これにより、波形パターンを相似に保った上で、卓越振動数のみを変化させることが可能となる。一方、加速度に関しては振幅に適宜倍率をかけることで任意の加速度最大値とした元波形と相似の振動が再現できる。

本研究では、本学にある、目標とした波形を忠実に再現できる振動制御装置を用いることで、このような入力波形の作成を可能としている。予備実験の段階で、元波形の卓越振動数を数段階に設定した振動を振動台に入力し、計測データの FFT 分析によって振動数特性を確認した。その結果、比較的顕著に卓越する複数の振動数成分は元波形と相似の関係を保っており、実験目的として想定した、主な卓越振動数、波形パターン、加速度最大値が相似の関係にある波形が作成できることを確認した。

このような方法を用いることで、ランダム振動としての振動数特性や波形形状が異なる入力振動をパラメトリックな条件で作成し、ランダム振動の物理特性が知覚に及ぼす影響を検討することが目的である。

3. 被験者に対する振動実験の概要

戸建て住宅で交通により発生した同じ実測振動を元波形として、振動の入力方法や継続時間などが異なる 2 種類の方法で実験を行った。これらの条件がランダム振動の知覚に及ぼす影響を検証した上で、正弦振動の知覚特性との違いを明らかにすることが目的である。

(1) 実験の実施状況と元にした実測波形

振動台を用いた被験者実験における居室内の状況を図 1 に示す。3m×3m の加振テーブルの上に天井高さ 3m の鋼材製の居室を設置し、床面にはカーペットを敷いている。壁、窓などの内装は住宅に用いられるものと同様の材料を用いた。

また、体感による評価を対象とするため、体感以外に振動を想起させる要因となる物の動きや音をできるかぎり排除した状態で実験を行った。そのため、居室自体の剛性をきわめて高くしている。このため、固有振動数付近の共振により卓越振動数 25Hz の場合には波形によって加速度が大きくなり音が発生する場合があったが、実験後に被験者に行ったヒアリングではこれらの音が知覚範囲で影響していないことを確認している。

この居室内で 8 名の被験者が脚を曲げた状態で床に座り、知覚の応答に用いるボタンを手に握る。曲げた脚の下で両手でボタンを握るように指示し、他の被験者からボタンへの応答が見えないように配慮した。被験者に対して実験者が実験の開始を伝えた後、振動を感じている間このボタンを押し続けるよう事前に指示した。

実験者は、居室の外で CCD カメラを通して被験者の状況を観察

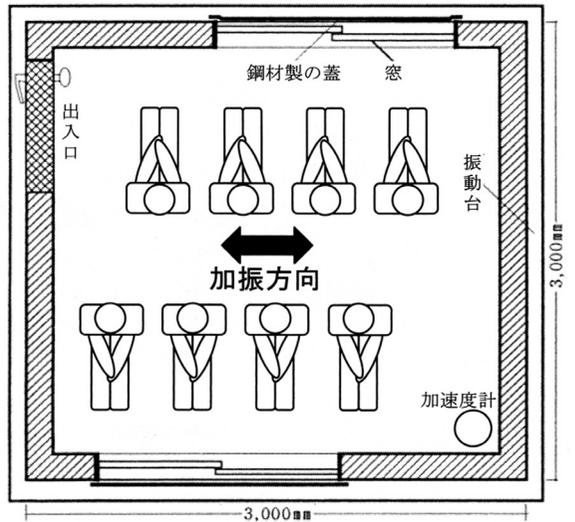


図 1 実験における居室内の状況

しながら被験者に対して左右方向に振動を入力し、この間の入力振動をサーボ型加速度計で計測する。入力振動の実測データは、各被験者のボタンによる知覚応答の電圧とともにデジタルデータレコーダで収録し、結果の評価に用いた。

予備実験をふまえて、既報¹⁾で対象とした実測振動から図 2 に示す 5 種の波形を入力振動の元波形とした。波形の特徴を考慮して、道路交通振動 3 種 (パターン A, B, C)、鉄道振動 2 種 (パターン D, E) を選択した。図 2 の () 内に示した卓越振動数に応じて目標とする卓越振動数に従って波形データの離散間隔を変化させるため、実験における振動の継続時間は、波形パターン、目標とした卓越振動数によって異なる。

(2) 実験①における実験方法

実験①では、図 2 に示す波形パターン A~E の 5 種類を対象として、表 1 に示すように、目標とする卓越振動数と加速度最大値を設定した。さらに、卓越振動数ごとの正弦振動の知覚閾を考慮して表 1 に示す入力範囲とした。実験①では、これらの振動条件と波形パターンの組み合わせによる全 120 種類のランダム振動を対象とした。

実験①では、卓越振動数と波形パターンを任意の 1 種類に定め、加速度の目標値が段階的に大きくなるよう振動を入力した。加速度の各目標値の間には振動を入力しない時間を 10 秒とり、次に大きい加速度の振動を入力した。入力順序は、卓越振動数、波形パター

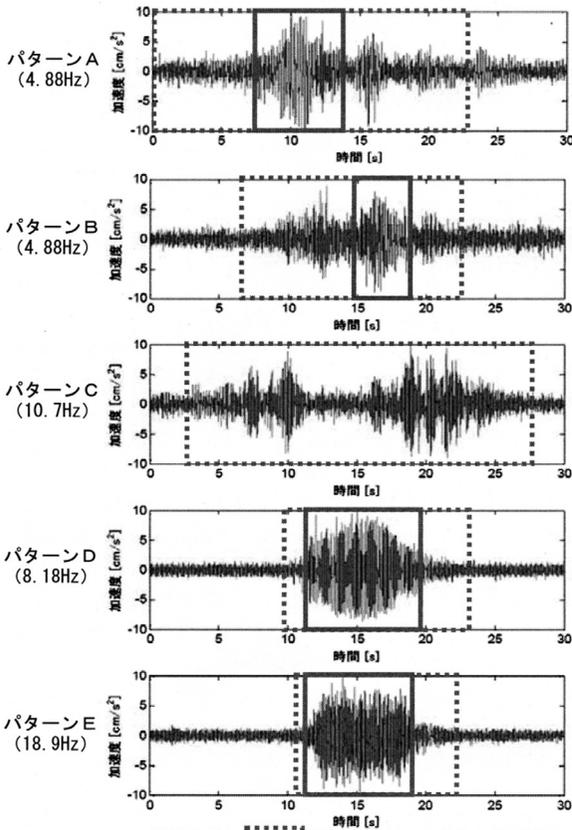
表 1 実験①で入力した振動の条件

		加速度最大値 (cm/sec ²)					
		0.63	1.6	4	10	25	63
卓越振動数	0.4Hz	●	●	●	△	△	△
	1.0Hz	●	●	●	△	△	△
	2.5Hz	●	●	●	△	△	△
	4.0Hz	●	●	●	●	△	△
	10Hz	●	●	●	●	●	△
	25Hz	●	●	●	●	●	●

表2 実験②で入力した振動の条件

	卓越振動数	加速度最大値 (cm/sec ²)					継続時間45秒に 入力範囲を限定した 波形パターン	
		1.6	4	10	25	63		160
卓越振動数	1.0Hz	●	●	○	○	○	○	パターンA, B, D, E
	2.5Hz	●	●	○	○	○	○	パターンB, D
	4.0Hz	●	●	○	○	○	△	—
	10Hz	●	●	●	○	○	△	—
	25Hz	●	●	●	●	○	△	—

※●は、入力後、アンケートを行わない条件。○は、入力後、アンケートを行なう条件。



※各波形の□は、実験①で入力した振動範囲
○は入力した振動範囲でもっとも卓越する振動数
□は、実験②で評価の対象とした振動範囲

図2 実験における入力振動の元波形

ンともランダムに設定し、全回共通の順序とした。

既報との比較や性別・年齢によるばらつきをおさえるため、被験者は18~22歳の女性とし、5日間・合計40人で行った。

被験者の知覚応答はボタンへの反応に基づいて評価し、各入力振動の加速度最大値から各振動の継続時間の1/10の間ボタンを押し続けている被験者をその振動を知覚したものと評価した。

(3) 実験②における実験方法

実験②では、図2の元波形からパターンA, B, D, Eの4種類を対象とした。卓越振動数の目標値は、実験①の対象範囲のうち1.0Hz~25Hzの5種類とした。また、既報¹²⁾における実験範囲をふまえて表2に示す加速度最大値を目標値として設定した。

実験②では、これらランダム振動20種類(波形パターン4種類・卓越振動数5種類)にあわせて同様の卓越振動数と加速度最大値を目標とする正弦振動5種類を入力した。振動の入力順序は、波形パターン、卓越振動数ともランダムに設定し全回共通の順序とした。

入力振動の作成にあたっては、各波形の加速度最大値の前後を中心に、図2で□で囲った範囲を評価の対象とする波形とした。卓越振動数1.0Hz, 2.5Hzでは波形パターンによってこの範囲の継続時間が45秒を超える場合がある。そのため、表2に示した波形パターンと卓越振動数の組み合わせでは、継続時間が45秒となる範

囲に限って入力振動を作成した。卓越振動数が高く、対象の範囲で継続時間が45秒を超えない場合には、その前後に適宜範囲を広げ、いずれの入力振動も5~45秒程度の継続時間となるようにした。正弦振動の場合の継続時間は各振動数とも30秒とした。

各回の実験では、既報⁴⁾で用いた実験方法と整合させるため、最初にアンケートの基準とする0.63Hz・25cm/sec²の正弦振動を30秒間入力する。被験者は基準とする振動に対するアンケートに回答した後にボタンを手に握る。振動を10秒間停止した後、任意の波形パターンで卓越振動数を1種類に固定し、加速度最大値が段階的に大きくなるよう、各10秒の間をあけてランダム振動を連続して入力する。被験者は振動を感じている間ボタンを押し続ける。表2に○で示した加速度最大値の振動を入力した後のみ、被験者はアンケートに回答して再度ボタンを手に握り、振動を感じている間ボタンを押し続ける方法を繰り返した。

既報との比較などを考慮して、被験者は18~45歳の女性とし、5日間・合計40人で行った。

知覚の評価は、被験者のボタンによる応答を用いて行い、評価対象とする振動の継続時間内に一定時間の間、ボタンを断続的に押し続けた被験者を対象の振動を知覚したとして評価した。

4. 波形形状と振動数成分による知覚特性の検討

波形パターンによって知覚特性に異なる傾向がみられることから、ここでは5種類を対象とした実験①の結果に基づいて、FFT分析の結果を例示しながら波形パターンごとの知覚確率を検証する。

ランダム振動の知覚を評価するにあたって、既報¹¹⁾の知見をふまえて、振動数の代表値としてFFT分析による卓越振動数を用い、加速度の代表値として評価対象とした振動継続時間内における加速度最大値を用いる。波形形状を考慮し、加速度の変動が複数回あるパターンA, B, Cは、継続時間が10秒以上の場合は前半・後半に分けて分析することとした。

(1) ほぼ単一の振動数が顕著に卓越する波形の場合

実験で用いたランダム振動のうちパターンA, C, D, Eはほぼ単一の振動数が顕著に卓越する。これらの波形について知覚確率を評価したものが図3である。卓越振動数ごとに各振動の知覚確率を加速度最大値で直線補間して、知覚確率10, 50, 90%に相当する加速度を算出してプロットした。振動数によるばらつきを平滑化するため、説明変数を卓越振動数、目的変数を加速度(いずれも常用対数値)として回帰した2次曲線をあわせて示す。

評価対象範囲の振動においてもっとも卓越する振動数と加速度最

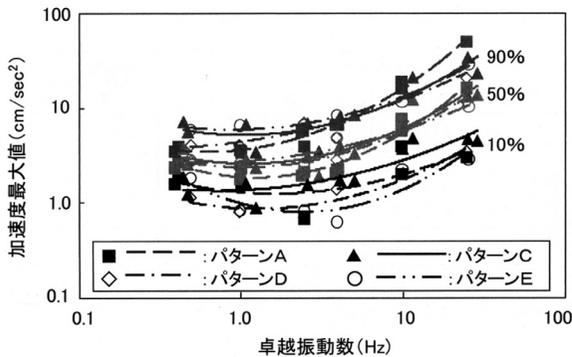


図3 パターンA, C, D, Eの知覚確率

大値を用いて評価することで、波形パターンによらず知覚確率の評価曲線は概ね類似した形状となっている。

例えば、パターンCのFFT分析の結果を図4に示す。サンプリング振動数1,000Hzの加速度データに対して、FFT点数4096、重複率50%とし、対象とする振動の範囲で分析を繰り返して平均化した。図のスペクトルは対象範囲の最大値をとったもので、波形パターンを考慮して窓関数は方形窓とした。図4は、卓越振動数4.0Hz、加速度最大値10cm/sec²を目標とした入力振動の場合の例である。

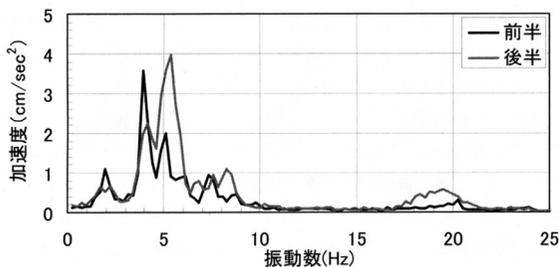


図4 パターンCのFFT分析結果(4.0Hz, 10cm/sec²の場合)

パターンCで加速度が増幅する範囲を前半・後半に分けると、前半は目標とした4Hz程度が卓越し、後半では5.5Hz程度が卓越する。この場合、前半と後半で知覚確率を評価し、各々の振動範囲で卓越する振動数を用いて評価することとした。また、図5にFFT分析の結果を示すパターンEでは目標値の4Hz程度が卓越する一方、19Hz程度にも卓越する振動数成分がある。この場合は両者の差が大きく、振幅比でみると振動数が高い方が低い振動数の80%に満たないことから、目標値の振動数を卓越振動数の代表値とした。

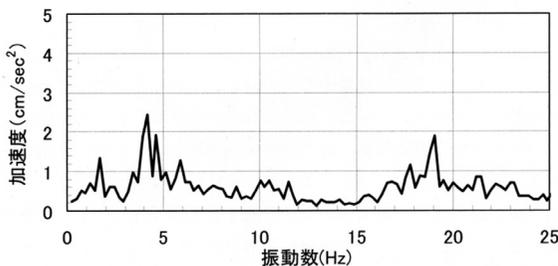


図5 パターンEのFFT分析結果(4.0Hz, 10cm/sec²の場合)

(2) 複数の振動数が卓越する波形パターンの場合

パターンBでは、他の4種の波形パターンと異なり、図6に示すFFT分析結果のように2つの振動数成分が同程度に卓越する。

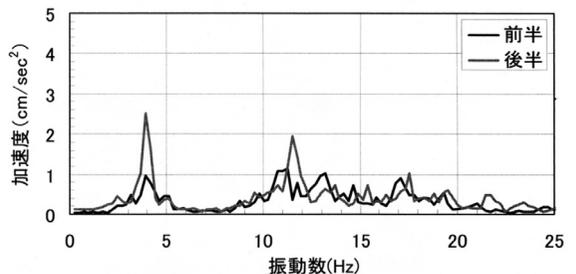


図6 パターンBのFFT分析結果(4.0Hz, 10cm/sec²の場合)

入力振動の設定はより感じやすいと考えられる低い振動数を目標値としたが、入力波形の前半部分では約3倍の振動数の方が卓越している。そこで、これらの卓越振動数を用いた知覚確率の評価曲線の傾向を比較してみた結果、前半・後半のそれぞれでもっとも卓越した振動数を用いて評価することで、他の4種類の波形パターンにもっとも類似した形状の評価曲線を得ることができた。

このような条件で入力した振動ごとにFFT分析の結果に基づいて評価に用いる卓越振動数を定め、知覚確率を評価した結果を他の4種類の波形パターンと比較したのが図7である。

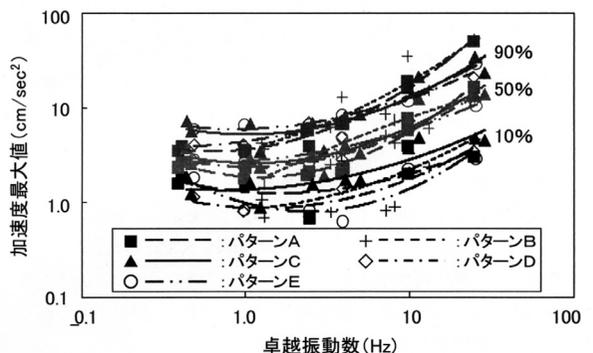


図7 パターンBと他の波形パターンの知覚確率の比較

パターンBの知覚確率が分布する加速度範囲は、図3に示したパターンA, C, D, Eとほぼ等しい。しかしながら、卓越する振動数成分がほぼ1つに集約されるこれらの波形パターンと比較すると、複雑な振動数成分をもつパターンBは、評価曲線の形状が若干直線的であり、振動数の評価による影響とも考えることができる。

ただし、5種の波形パターンによる知覚確率の違いが20%以下であるのに対し、同じ波形パターンでの卓越振動数による知覚確率の違いは40%以上である。このことから、波形パターンの違い以上に卓越振動数が知覚に及ぼす影響が大きいことがわかる。

5. 実験条件の違いによる影響の検証

実験①と実験②における結果を比較し、実験条件がランダム振動

の知覚に及ぼす影響を検証する。実験②の目標値の再現性を検証し、卓越振動数と加速度最大値に表2の目標値を用いることの妥当性を確認した。先に述べた方法と同様に知覚確率を評価し、波形パターンごとに実験①と実験②を比較した例を、図8と図9に示す。

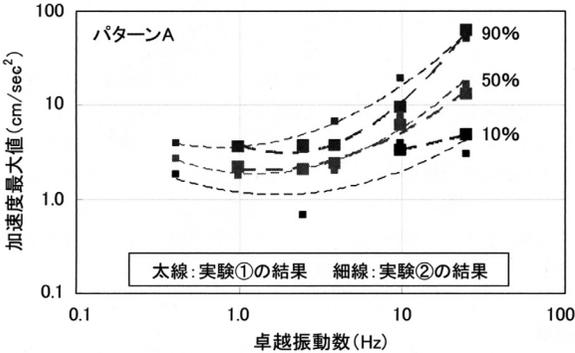


図8 パターンA (前半)の知覚確率における実験①と実験②の比較

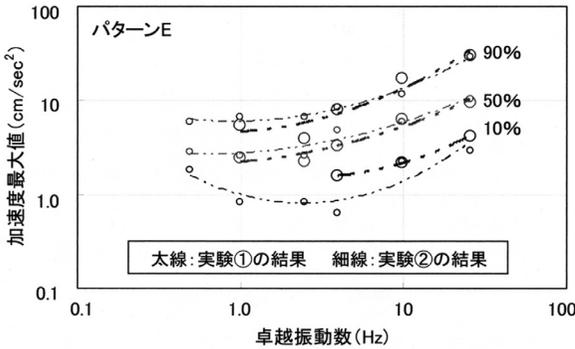


図9 パターンEの知覚確率における実験①と実験②の比較

実験範囲とした卓越振動数が異なることもあり、知覚確率10%でばらつきが大きい波形パターンもあるが、いずれも実験①と実験②の結果は、ほぼ同様の知覚確率曲線を示している。特に、知覚確率50%のように比較的安定する範囲の知覚確率を中心に、両実験がほぼ重なっていることがわかる。

これらの結果から、実験①と実験②における振動の入力方法や被験者の違いがランダム振動の知覚に及ぼす影響は小さく、両実験に基づいたランダム振動の知覚に対する評価には再現性があることがわかる。

上記のことから、本論文では両実験で対象とした波形パターンA (前半), B (後半), D, Eについて両実験 (実験①②)の結果を統合して評価することにした。その結果を図10に示す。ばらつきが大きい知覚確率10%の決定係数は約0.63であるが、それ以外の曲線の決定係数は約0.75~0.85の範囲にある。いずれの評価曲線もほぼ同様の形状を示し、卓越振動数にかかわらずランダム振動に対する知覚確率は同程度に分布する。

6. ランダム振動と正弦振動に対する知覚確率の比較

実験②と同条件で行った正弦振動の知覚に対する結果をランダム

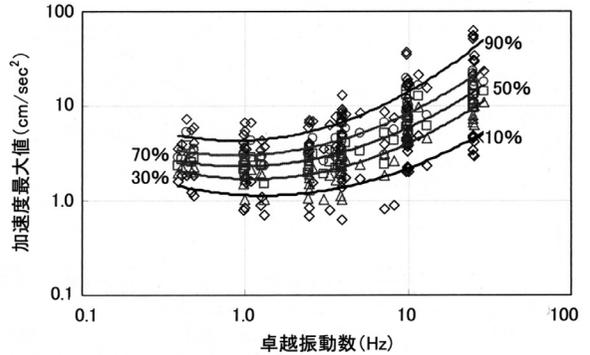


図10 実験①と実験②を統合したランダム振動の知覚確率

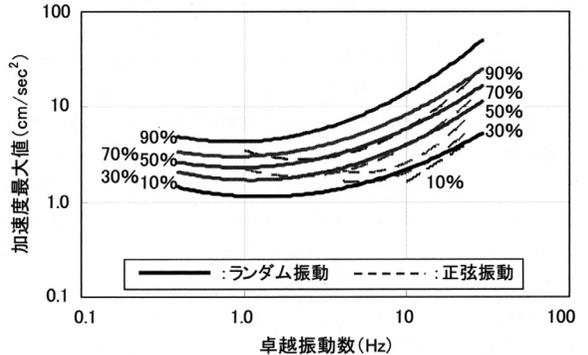


図11 ランダム振動と正弦振動の知覚確率

振動の知覚確率と比較する。図10のランダム振動の知覚確率の評価曲線に正弦振動の結果を重ねたものが図11である。

正弦振動の方が全体的に知覚しやすい傾向にあり、対象とした加速度範囲では10%、30%の知覚確率を評価できない振動数範囲がある。対象とした振動数範囲の違いによる影響もあり、低い振動数範囲を中心にランダム振動と正弦振動の評価曲線の傾きに違いがみられるが、全体として両者の評価曲線は類似した形状にある。

一方、両者の知覚確率が分布する加速度範囲には違いがある。ランダム振動の方が加速度の大きい範囲に知覚確率曲線が分布し、感じにくい傾向を示す。また、ランダム振動の方が知覚確率のばらつきが大きい。振動数範囲によって両者の知覚確率には違いがあるが、ランダム振動の方が正弦振動の場合より知覚確率70~30%程度感じにくい。

7. 本実験と既報における正弦振動の知覚確率との比較

上記の本実験のランダム振動の結果を、既報¹²⁾による正弦振動の知覚確率曲線と比較し、汎用的な結果としてまとめる。

既報⁷⁾で述べたように、実験①と既報¹²⁾の結果には、知覚の評価方法などに起因すると考えられる加速度範囲の違いがある。一方、図11にみるように同じ条件で実験を行った場合、ランダム振動と正弦振動には知覚確率で概ね20%~40%程度の違いがある。そこでここでは、図10のランダム振動の知覚確率の加速度を知覚確率で概ね40%程度補正して評価してみる。

補正した結果と既報¹²⁾による正弦振動とを重ねたものが図12で

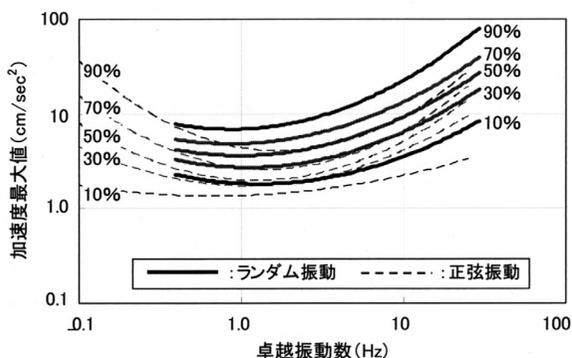


図12 ランダム振動と既報¹²⁾による正弦振動の知覚確率の比較

ある。全体として、正弦振動よりランダム振動の方が知覚確率が分布する範囲が広い。振動数が低い範囲では両者の評価曲線の傾きが若干異なるが、2Hz程度より高い振動数範囲では両者の知覚確率の評価曲線はほぼ同様の形状を示す。また、知覚確率が高い範囲ではランダム振動と正弦振動の知覚確率の差は40%程度が中心であるが、知覚確率が低い範囲ではランダム振動は正弦振動より知覚確率で20%程度感じにくい傾向を示す。

8. おわりに

本研究は、ランダム振動の知覚特性を明らかにする目的で、戸建て住宅における実測振動を元波形に、卓越振動数と加速度最大値を変化させた被験者実験を行った。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 振動の入力方法や被験者などの実験条件が異なる2つの実験結果から、これらの実験条件が結果に及ぼす影響はほとんどなく、本研究で得られたランダム振動の知覚に関する結果には再現性があることを確認した。これより、本研究によるランダム振動の知覚に関する結果は確度も高く客観性の高いものといえよう。
- 2) 本実験で検証した波形の範囲内では、評価対象とする振動範囲においてもっとも卓越する振動数と、時系列波形における加速度最大値を用いて評価することで、どの波形の知覚確率の評価曲線もほぼ同様の形状を示す。波形の違いによるばらつきは知覚確率で20%程度以下である。一方、同じ元波形のもとでも、卓越振動数の違いによって60%程度の知覚確率の差が生じる。この結果から、ランダム振動の知覚に対して、波形形状の違いが及ぼす影響よりも卓越振動数による影響の方が大きいことがわかる。
- 3) ランダム振動の知覚に対する卓越振動数の影響は、ほぼ単一の振動数が顕著に卓越する場合には知覚確率のばらつきが小さい。一方、複数の振動数が卓越する場合には、知覚確率の評価曲線の傾向が若干異なるなど、複雑な振動数成分がランダム振動の知覚に及ぼす影響の可能性が示唆された。しかし、本実験の対象波形に限られており、これらに対する詳細な検討は今後の課題である。

- 4) 実験内の同条件で行った正弦振動の結果と比較し、ランダム振動との知覚特性の違いを明らかにした。その結果、ランダム振動の卓越振動数と加速度最大値で評価することにより、ランダム振動と正弦振動ともに類似した評価曲線となり、正弦振動と比較すると、ランダム振動では振動数により知覚確率で20%~40%程度感じにくくなる。

本研究では、振動数特性が複雑な場合は知覚に影響を及ぼす可能性が示唆されたが、本実験で対象とした元波形に限られており、詳細な検討については今後の課題としたい。しかしながら、卓越振動数と加速度最大値を用いたランダム振動の知覚評価の方法は設計実務において有用な知見となる。

今後、元波形を増やすなどして波形特性の違いが知覚に及ぼす影響をさらに検討する予定である。

謝辞

本研究の一部は環境省地球環境保全等試験研究費によっている。実験実施には、日本女子大学学術研究員 野田千津子氏と文化学園大学 久木章江准教授をはじめ多くの被験者の協力を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 三輪俊輔, 米川善晴: 正弦振動の評価法(振動の評価法1), 日本音響学会誌, 27巻1号, pp.11-20, 1971.
- 2) 中田信治, 田村幸雄, 大築民夫, 内藤俊一, 桐山信一: 中低層建物における短周期水平振動の知覚閾に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学), pp.1899-1900, 1994.9.
- 3) 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, 2004.5.
- 4) 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1版, 1991.4.
- 5) 塩谷清人, 藤井邦雄, 田村幸雄, 神田順: 2次元水平ランダム振動の知覚閾に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第485号, pp.35-42, 1996.7.
- 6) 振動評価手法及び規制手法等検討調査委員会: 環境省請負業務 平成20年度振動評価手法および規制手法等検討調査業務 報告書, 日本騒音制御工学会, 2010.3.
- 7) 石川孝重 他: ランダム振動に対する振動感覚の評価に向けて(その12)~(その16)一, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学I), pp.371~379, 2010.9.
- 8) 石川孝重 他: ランダム振動に対する振動感覚の評価に向けて(その17)~(その21)一, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学I), pp.397~406, 2011.8.
- 9) 石川孝重, 松本泰尚, 国松直 他: 正弦波複合振動の知覚および心理量に関する実験の概要-ランダム振動に対する振動感覚の評価へ向け(その1)~(その4)一, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学I), pp.377~384, 2007.8.
- 10) 石川孝重, 松本泰尚, 国松直, 野田千津子 他: 正弦波複合振動の知覚および心理量に関する実験の概要-ランダム振動に対する振動感覚の評価へ向け(その5)~(その7)一, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学I), pp.457~462, 2008.9.
- 11) 石川孝重, 松本泰尚, 国松直, 野田千津子 他: ランダム振動に対する振動感覚の評価に向けて(その8)~(その11)一, 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境工学I), pp.357-364, 2009.8.
- 12) 野田千津子, 石川孝重: 水平振動を受ける被験者の状況が知覚閾に及ぼす影響, 日本建築学会計画系論文集, 第524号, pp.9-14, 1999.10.

(2011年3月9日原稿受理, 2011年6月7日採用決定)