

風切音が水平振動感覚に及ぼす影響に関する研究

The Influence of the Sound of Wind on the Sense of Horizontal Vibration

住居学科 齋藤 美彩子 石川 孝重

Dept. of Housing and Architecture Misako Saito Takashige Ishikawa

抄 録 これまで環境振動に関する研究は体感や視覚を考慮したものが多く、水平振動における聴覚を考慮した研究例はほとんどない。本研究では風切音の疑似音を用いた被験者実験を行い、聴覚が水平振動の感覚評価に及ぼす影響を検討した。その結果、本実験で用いた風切音の場合は、振動知覚への影響はさほどなく、心理量に及ぼす影響も限定的であった。しかし、音が風切音であることを被験者に意識させると、感覚が大きい尺度で風切音による影響が若干見られた。

キーワード：環境振動，水平振動，聴覚，風切音，感覚評価

Abstract Many studies of environmental vibration take into account bodily sensations and visual sensations. There are almost no studies of auditory sensation and horizontal vibration. In this study, we carried out tests using the sound of wind. Auditory sensation related to horizontal vibration was examined. Not much effect on sensory evaluation was observed. However, the sound was described by the test subjects as the sound of wind. The effect of the sound of wind was observed in a range of sensory evaluations of the big psychological quantity.

Keywords: environmental vibration, horizontal vibration, auditory sensation, sound of wind, sensory evaluation

§ 1 はじめに

日本建築学会の居住性能評価指針¹⁾も含め、既往の振動に関する規範は体感による知覚を基盤としていいる。また、近年では、視覚をともなう研究^{2,3)}もいくつか行われている。

実存の超高層住宅や免震建物におけるアンケート調査^{4,5)}からもわかるように、実際には居住者は家具や窓の外の景色の動きを見たりするだけでなく、風や建物のきしみ音を聞いたりすることで揺れていることに気づく場合がある。これら周辺要因の影響を加味した、実状により近い状況における居住性能評価とするには、視覚だけでなく聴覚の水平振動感覚に及ぼす影響を明らかにすることが必要となる。しかし、聴覚を考慮した研究は多くなく、特に水平振動を対象としたものはほとんどないのが現状である。

そこで本研究では、周辺要因の中で聴覚が水平振

動感覚に及ぼす影響に着目した。実際の居住環境において、振動を感じるきっかけを与えるものとして、交通機関が建物の傍を通るときの建物のきしみ音や、家具などのがたつき音、さらには風が吹く音などがある。

本論文では、風切音を想定した疑似音を用い、水平振動感覚を知る実験を行った。風切音を振動とともに与える場合の被験者実験の結果と体感振動だけの場合との比較から、聴覚が水平振動の感覚評価に及ぼす影響を探ることが目的である。

§ 2 被験者実験の概要

本学の動電型の加振装置を用いて被験者実験を実施した。本実験で用いる入力振動は水平の正弦振動であり、図1に示す振動数0.1~40Hzの14種ごとに、加速度最大値1.6~400cm/sec²（変位最大値0.000025~10cm）を、図2に示すように、増分、定常、増分、定常を繰り返し行う。図1の●が定常箇

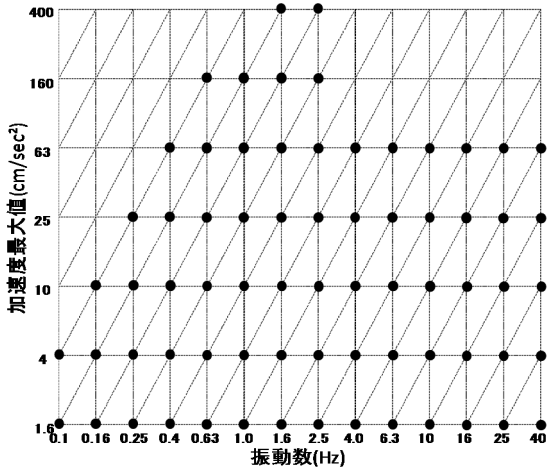


図 1 入力振動の目標値

所である。

これに先立ち、0.63Hz、25cm/sec² (変位 1.6cm) の振動を基準振動として被験者に与えた。実験中は振動台における加速度をサーボ型加速度計で実測し、入力振動の再現性を都度確認している。

任意の振動数で加速度を徐々に大きくしている間、図 1 に●で示した所定の加速度で振動を定常にし、アンケートに回答するように指示した。被験者は振動を感じるか否かにかかわらず、指示がある度に図 3 に示したアンケートに回答する。「先の振動」Q1 は基準振動の不快感合を 5 段階の中から一つ選定する。「後の振動」Q1 は基準振動と比較したときの不快感合、Q2 は基準振動を 100 としたときの大きさ度合を聞いている。Q3、Q4 は絶対評価で、Q3 が不安度合、Q4 が限界評価である。

		水W No. -	
Q1	先の振動	まったく不快でない 非常に不快である	
■アンケート①			
Q1	後の振動	大きさ度合 () / 100	
Q2			
Q3		まったく不安を感じない	非常に強く不安を感じる
Q4		まったく感じない	耐えられない

図 3 アンケート用紙 (一部)

各振動数を入力する順序はランダムであり、一つの振動数の実験が終了するごとにアンケート用紙を回収した。

風切音を振動とともに与える実験① (以後「風切音あり」と呼ぶ) では、始めにアンケートの基準振動を約 30 秒間入力する。その間風切音はなく、被験者は体感だけで振動を感じる。さらに約 10 秒間振動を停止した後、0.1~40Hz の 14 種類の中の任意の振動数で加速度が徐々に大きくなる振動を入力する。被験者は風切音が聞こえている中で、振動を感じた時点で各自のボタンを押す。加速度を徐々に増分する間は風切音の音圧 (dB) も徐々に大きくしている。(図 2 参照)

比較対照とする実験として体感振動だけの実験② (以後「風切音なし」と呼ぶ) では、被験者はすべての振動を体感のみで感じる。その他のボタンによる評価やアンケートの回答については、風切音ありの実験①と同様である。その他、実験開始などの指示はマイクを通し、居室外から行った。

用いた振動台は、振動発生器からの機械騒音が極めて小さく、被験者が入る 3m 四方、高さ 3m の実験室 (居室) の壁は鋼板の間に 10cm 程度のグラスウールを遮音材として充填しており、外部騒音を

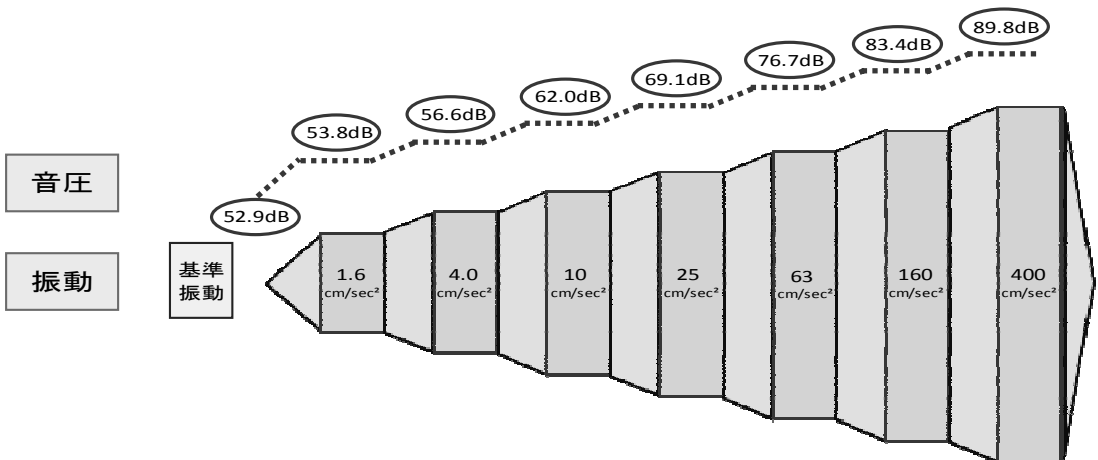


図 2 本実験の振動と音圧の関係

15dB 程度低減させる効果がある。疑似音として用いる風切音以外の周辺要因をできる限り少なくするため、居室の窓には鋼材製の蓋をして視覚的な手がかりを得られないようにしてある。この中で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に事前に指示した。

本実験では、全48名(女性、18歳~24歳)を対象に、表1のように被験者16名ごとに条件を変えて行った。最初の16名は実験順番として、風切音ありの実験①から行い、休憩を挟んでその後風切音なしの実験②を行った。実験順序による影響が懸念されたため、実験順序を逆にした実験も行った。

表1 実験条件

実験順番	教示	人数
風切音 あり→なし	A	16人
風切音 なし→あり	A	16人
風切音 なし→あり	B	16人

教示A: 風で揺れていることを意識させない

教示B: 風で揺れていることを意識させる

ここで、実験順序によるボタン評価での知覚特性による検証結果を述べる。

被験者16名ごとのボタンによる知覚評価を2次回帰したのが図4、図5である。

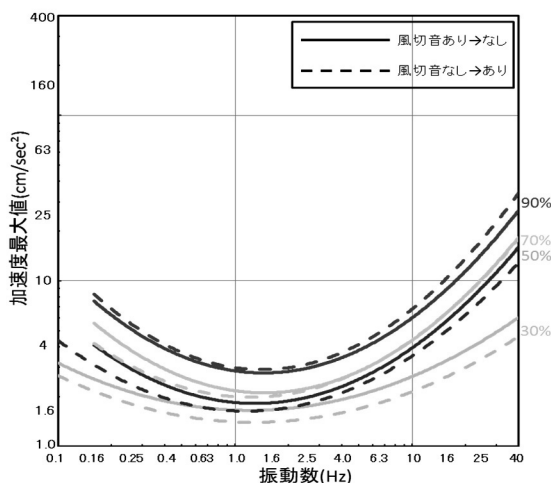


図4 実験順序の違いによる知覚評価(風切音なし)

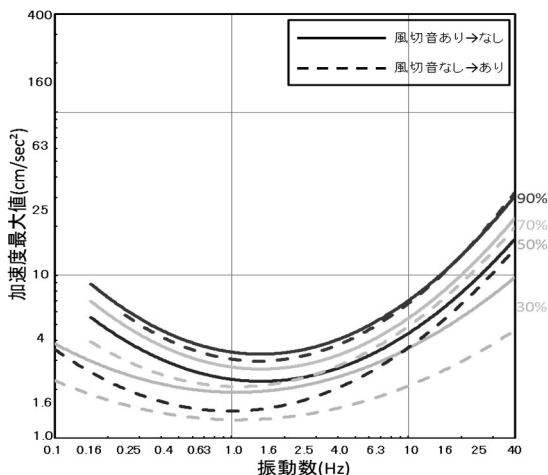


図5 実験順序の違いによる知覚評価(風切音あり)

風切音なし、ありにかかわらず、全体的に破線で表される風切音なしの実験から行った方が小さい加速度から振動を知覚している。振動数の小さい範囲では風切音ありを後に実施した実験の方が若干知覚しやすくなる傾向もみられるが、被験者の違いによる影響も加味すると、実験順序が及ぼす影響が小さいことが確認できる。そのため次章以降からの考察では、実験順序を変えた被験者32名をまとめて扱うこととする。

実験後行った最初の32名へのヒアリングで、実験中に与えた音をどのように感じたか、実験結果に及ぼす影響を聞いた。被験者個々によってこの疑似音の感じ方が異なるものの、『ジェット機やヘリコプター、吹雪や雨風のような音で、振動への関与はそれほど大きくない』との回答を得た。実験結果の解析と被験者へのヒアリングを参考に、最後の16名には、音が風切音であることを教示で伝えることで評価結果にどう影響するか実験してみた。具体的には、「風切音なし」の実験から「風切音あり」の実験に入る前に以下のように教示した。『ここからの実験では皆さんに一つ想定をしていただきます。皆さんは今、建物の中において、外では風が吹いています。その風によって建物が揺れたり、揺れなかったりすると思ってください。このシチュエーションを踏まえた上で、アナウンスに沿って、先ほどと同じアンケートに答えていただきます。ボタンは、風が吹いていることを加味した上で、揺れを感じている間、押し続けてください。』

§ 3 風切音が体感知覚に及ぼす影響

任意の振動数において加速度を上昇させている間、被験者にはボタンを握ってもらい、揺れを感じている間ボタンを押し続けてもらう。そのボタンを押し始めた応答に基づき評価した知覚確率を図6に示す。被験者個々の知覚応答から30、50、70、90%の知覚確率に相当する加速度を算出し、2次回帰した。

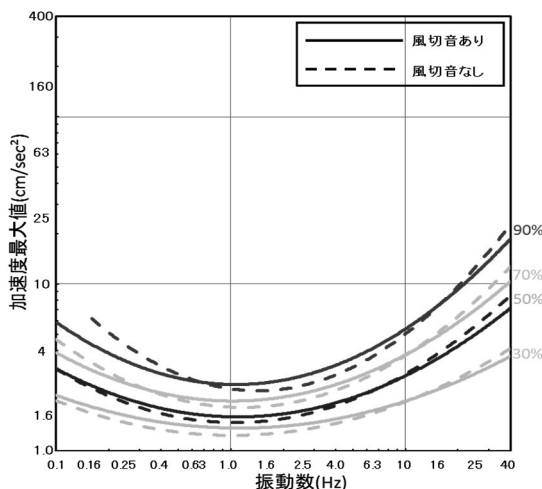


図6 聴覚条件が異なる場合の知覚閾の比較

実線で表される風切音ありの場合と、破線で表される風切音なしの場合を比較する。振動数 0.1～0.4Hz の範囲や振動数 16～40Hz の範囲では、風切音が体感知覚に影響し、体感のみよりも若干であるが、知覚しやすくなっている。しかしながら全体として有意差は認められない。

風切音のボタン評価による知覚閾への影響があまり見られなかったことをふまえ、振動を「まったく感じない」から「耐えられない」までの限界評価から得られる知覚特性について考察する。図7は実験で加速度を定常に行ったアンケートにおける限界評価「まったく感じない」の回答確率を2次回帰したものである。

図7も、風切音ありの場合と風切音なしの場合と比較すると、やはり風切音による体感知覚への影響は見られず、有意差はない。

実験後被験者に対し行ったヒアリングで、風切音への影響について聞いたところ、『風の音は情景を思い浮かべるのには使ったが、特に揺れを感じる

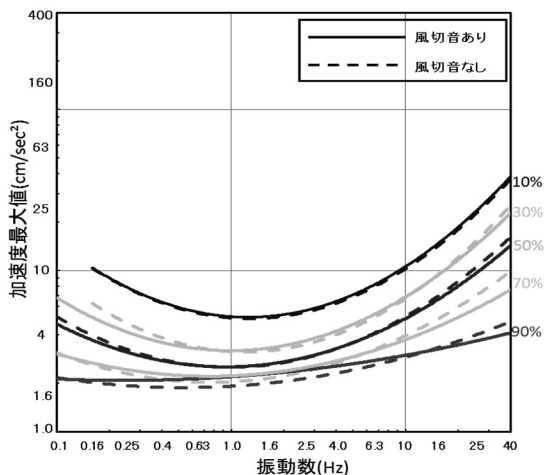


図7 聴覚条件が異なる場合の限界評価「まったく感じない」の比較

きっかけにはならなかった。』や『音に騙されないように、体感のみで評価した。』などの回答を得た。このヒアリングから、被験者は風切音によって振動を想起することは少なく、むしろ風切音を頭で排除し、体感のみで評価しようとしている場合があることがわかった。

以上から、本実験で用いた風切音の場合、振動を知覚する要因としての効果が小さいことがわかる。

§ 4 風切音が心理評価に及ぼす影響

本章では風切音が心理評価に及ぼす影響について分析する。図3に示されるアンケート用紙の、大きさ度合、限界評価、不快感度合、不安度合の各評価尺度について考察する。

図8は各振動に対する大きさ度合を、基準振動(0.63Hz, 25cm/sec²)を100としたときの相対評価で表し、2次回帰したものである。つまり、大きさ100は基準振動と同じ大きさ度合に相当する。

大きさ度合が小さい範囲では風切音による影響がみられない。一方、大きさ度合が大きい範囲では、風切音があることにより、振動数0.63Hz～2.5Hzの範囲でより小さい加速度から振動を大きく感じている傾向もみられる。したがって、風切音があり、その音が加速度に応じて大きくなると、微小ではあるが振動も大きく感じる傾向にあることがわかる。しかし、全体として聴覚からの情報が大きさ度合に及ぼす影響は小さい。

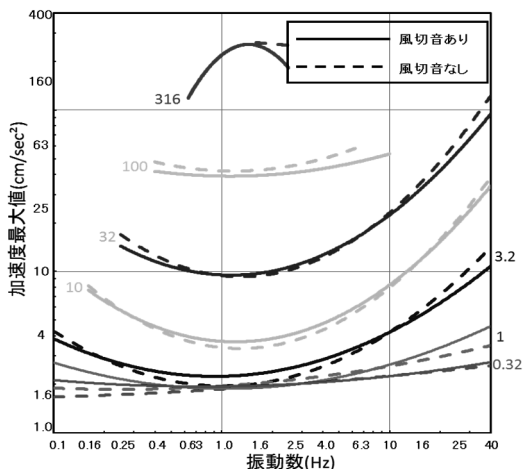


図 8 聴覚条件が異なる場合の大きさ度合の比較

大きさ度合が大きい加速度範囲において、風切音が加速度に応じて大きくなると、微小ではあるが振動も大きく感じる傾向もみられることから、高加速度範囲に対する影響を知るため、限界評価「強く感じる」より大きい評価の回答確率を 2 次回帰したのが図 9 である。

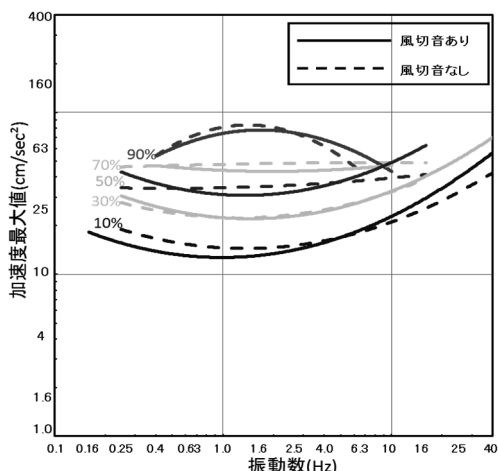


図 9 聴覚条件が異なる場合の限界評価「強く感じる」以上の比較

しかし、各回答確率曲線は風切音の有無で任意の振動数で交差していることから、風切音の音圧が大きくなっても振動を強く感じることへの影響は小さい。よって、比較的に加速度の大きい範囲においても、風切音が心理評価に及ぼす影響は大きくない。

これらをふまえて、心理量の大きい評価である不快感、不安感に対する分析を試みる。図 10 は、各振動と基準振動に対する不快の差を平均したものを相対評価で表し、2 次回帰したものである。すなわち 0 は基準振動と同じ不快感を示し、それよりも対象振動に対する不快感が大きい場合はプラス側に、マイナスは基準振動より対象振動の不快感が小さいことを表す。

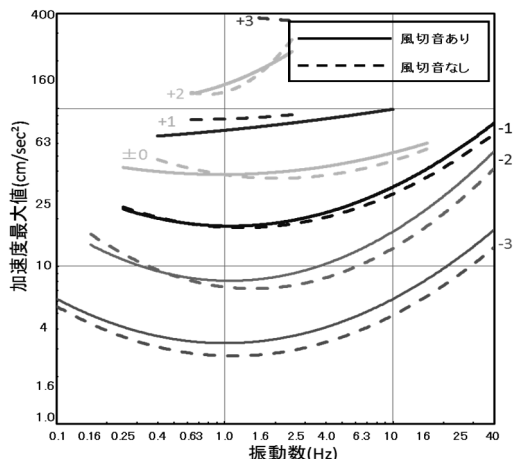


図 10 聴覚条件が異なる場合の不快感度の比較

全体的に、風切音ありに比べて風切音なしの方が小さい加速度から不快を感じており、風切音による影響は小さい。『横に引っ張られるような、ぐわんぐわんとする揺れが不快感を増す。』や『小刻みな揺れは普段だとトラックが通る時のように一瞬だけ、今日は長かったので不快に感じた。』など、実験後に行ったヒアリングでは、被験者から体感のみに関する話ばかりが聞かれ、風切音に関するコメントがなかった。このことから、不快感は大半が体感評価を中心に評価を行う傾向があることが類推される。

これまで知覚、大きさ度合、限界評価、不快感と、風切音ありなしの比較で結果を示してきたが、風切音が及ぼす影響は限定的であった。これらの結果を念頭に、ここからはさらに心理量の大きい評価となる、不安度合についての結果を示す。図 11 は不安度合「まったく不安を感じない」、図 12 は「かなり不安を感じる」より大きい評価の累積確率を 2 次回帰したものである。

図 11 の不安度合「まったく不安を感じない」においては、振動数の小さい範囲や、振動数の大きい

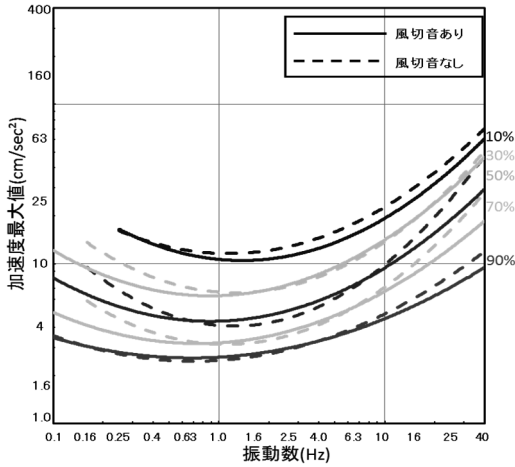


図 11 聴覚条件が異なる場合の不安度合「まったく不安を感じない」の比較

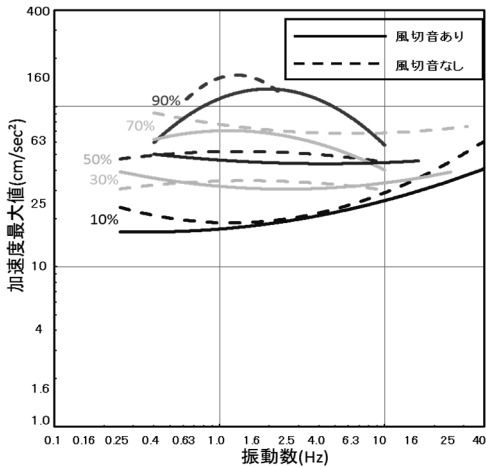


図 12 聴覚条件が異なる場合の不安度合「かなり不安を感じる」以上の比較

範囲で、風切音が心理評価に及ぼす影響が表れ、多少不安を感じやすくなっている。しかし、全体的に見て有意差があるとは言えない。したがって、聴覚からの情報が不安度合「まったく不安を感じない」に及ぼす影響は限定的である。

一方、より評価が高加速度範囲に位置する図 12 の不安度合「かなり不安を感じる」以上では振動数によって、風切音が心理評価に及ぼす影響は若干表れ、不安を感じる度合が大きくなっているところがある。しかしこれらも限定的であり、全体的に有意差は認められない。聴覚からの情報が不安度合「か

なり不安を感じる」より大きい評価に及ぼす影響は小さい。

§ 5 風切音を被験者に意識させた場合の感覚評価

前章までに、風切音が感覚評価に及ぼす影響は小さいか限定的であることを示した。ここでは本実験で行った、開始前にあえて教示で風切音を意識させた実験に注目する。2 章にて、風切音を発生させる実験順番の違いが心理評価に及ぼす影響が小さいことを検証しており、風切音を教示で特別に説明しなかった 32 名と、教示で風切音を意識させた場合 (16 名) とを比較した。

図 13 はそれらの結果であり、限界評価「強く感じる」より大きい評価の累積確率を 2 次回帰したものである。両者とも、風切音ありの結果である。

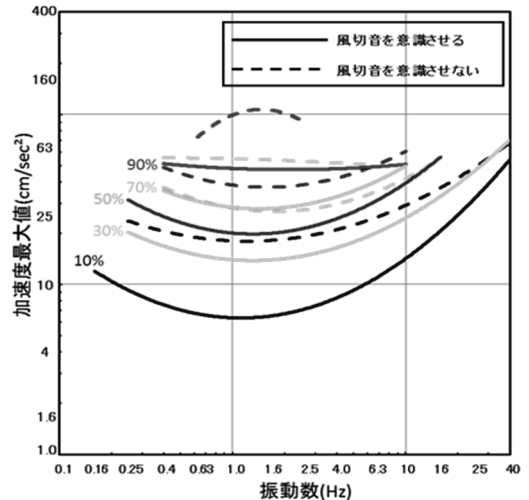


図 13 限界評価「強く感じる」以上として風切音を意識させたか否かによる比較

実線で表される風切音を意識させた場合と破線で表される風切音を意識させなかった場合とを比較する。全体を通して風切音を意識させた場合の方が小さい加速度から振動を感じやすい傾向にある。したがって、限界評価「強く感じる」より大きい評価では、意識させるか否かで結果が変わってくるのがわかった。

図 14, 図 15 は風切音を意識させるか否かの不安度合「まったく不安を感じない」, 「かなり不安を感じる」より大きい評価の回答確率である。

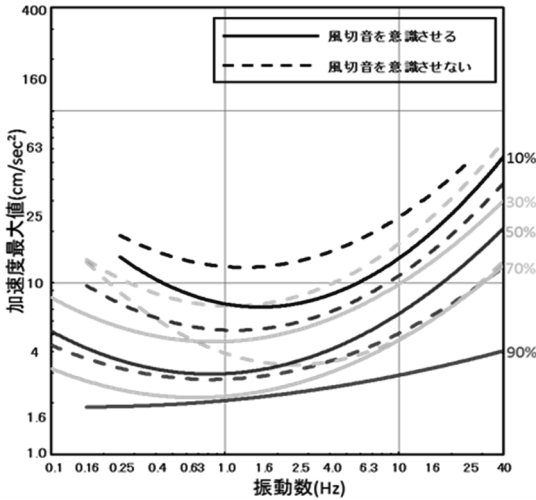


図 14 不安度合「まったく不安を感じない」として風切音を意識させたか否かによる比較

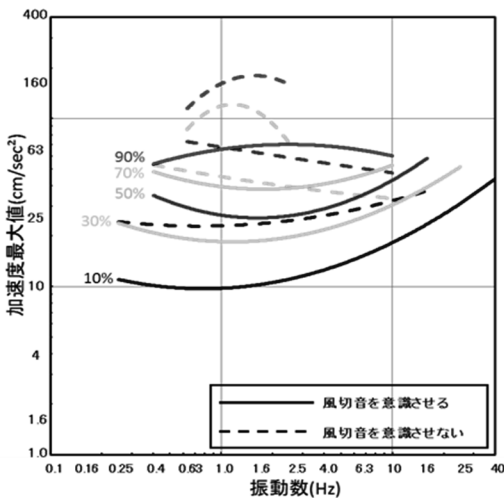


図 15 不安度合「かなり不安を感じる」以上として風切音を意識させたか否かによる比較

これも、どちらも風切音ありの結果である。不安度合では、全体的に風切音を意識させる場合の方が小さい加速度から振動に対し不安感を抱くようになっている。被験者の特性の違いを今後追求する余地はあるものの、図 11 ならびに図 12 と比較してもその差は顕著であり、特に不安度合「かなり不安を感じる」以上に、風切音を意識させるか否かで回答確率として 20~40%ほどの違いが生ずる。実験後に被験者に行ったヒアリングでは、『風で建物が揺

れていることをイメージしながら乗っているとリアリティが増し、不安感も募る。』や『風でこんなにも大きく揺らされると思うと不安感が増した。』などのコメントがあった。

§ 6 おわりに

風切音が水平振動の感覚評価に及ぼす影響を知るために、風切音ありとなしの対比実験を同一の被験者に行った。本実験で得られた知見を以下に纏める。まず、風切音ありなしの実験順序が感覚評価に及ぼす影響は小さいことを検証した。そのうえで、風切音の有無が感覚評価に及ぼす影響を、評価尺度ごとに分析した。本実験で用いた風切音の場合は、振動知覚への影響はさほどなく、心理量に及ぼす影響も限定的であった。

また、音が風切音であることを被験者に意識させる実験を並行して行った。結果、感覚が大きい尺度で風切音による影響が若干みられた。特に不安度合においては、実際の風揺れのように感じ、不安感をより強く抱く傾向があった。

音を構成する要素は高さ、大きさ（強さ）、音色と 3 要素あり、本実験で検証したのは一つの音であり、その大きさを振動の加速度に連動させて変化させたものである。被験者へのヒアリングも行っており、今後まだまだ継続して分析すべき余地がある。特に、用いる音の種類によって知覚、心理評価に及ぼす影響は少なからず違ってくものと考えられる。

謝辞

実験計画から実験実施に至るまで、文化学園大学久木章江教授、ならびに当研究室修士 2 年 鈴木千尋氏と同修士 1 年 鹿又理沙氏に支援いただいた。また、被験者として協力戴いた皆様に謝意を表する。

引用文献

- 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 1 版、1991 年 4 月
- 2) 石川孝重、野田千津子：視覚が水平振動感覚に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 525 号、pp15~20、1999 年 11 月
- 3) 新藤智、後藤剛史：長周期ねじれ振動が人体の視覚知覚に及ぼす影響、日本建築学会計画系論文集、第 553 号、pp23~28、2002 年 3 月

- 4) 石川孝重, 植草友枝, 一力ゆう, 野田千津子 : 高層住宅の居住性をふまえた揺れ感覚に関する調査研究—その 1 アンケートの概要とその結果—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (環境工学), pp95~96, 1993 年 9 月
- 5) 中村敏治, 神田順, 塩谷清人, 長屋雅文 : 免震建物における地震時振動知覚の統計的調査, 日本建築学会構造系論文集, 第 472 号, pp185~192, 1995 年 6 月