

視覚が水平振動感覚に及ぼす影響に関する研究

INFLUENCE OF VISUAL SENSATION ON
SENSE OF HORIZONTAL VIBRATION

野田 千津子**, 石川 孝重*

Chizuko NODA and Takashige ISHIKAWA

Experiments have been carried out to determine the sense of horizontal vibration where subjects can see the view from a window. A gap between physical feeling and visual amplitude of vibration can cause discomfort and an uneasy feeling in the high frequency and acceleration range. The visual situation has the greatest influence on vibration perception, and this is closely connected with vibration amplitude. Vibrations can not be perceived physically in the low frequency and small acceleration range, but they can be recognized visually as movement of the view. Therefore, many subjects can perceive vibrations when they can see the view. It is therefore necessary to assess the perception threshold in consideration of the influence of visual sensation. The visual sensation does not influence perception in the high frequency range, because the vibration amplitude is imperceptible in that range. It is therefore possible to assess vibrations on the basis of perception threshold scatter by physical feeling in the body.

Keywords: Horizontal vibration, Sense of vibration, Visual sensation, Perception threshold, Psychological evaluation, Habitability

水平振動, 振動感覚, 視覚, 知覚閾, 心理評価, 居住性能

1. はじめに

本学会の居住性能評価指針¹⁾も含め、既往の振動に関する評価規準類は体感による知覚閾を基盤としている。しかし実存の超高層住宅や免震建物におけるアンケート調査^{2), 3)}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、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がつく場合がある。

国際基準⁴⁾ではこのような周辺要因を考慮した評価が提案されているが、その影響を定量的に把握したものではなく、具体的な評価値になっていないのが現状である。周辺要因の影響を加味して、実状により近い状況における居住性能評価とするためには、視覚や聴覚などの周辺要因が水平振動感覚に及ぼす影響を明らかにすることが必要になる。

そこで本研究では、周辺要因の中で視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、振動を感じる視覚的なきっかけを与えるものには、室内の照明器具や什器類、水面や窓の外の景色などがある。^{2), 3)} 本論文では、窓外の景色が見える状態で水平振動を受ける被験者の感覚を知る実験を行った。

筆者らはこれまでも縦縞⁵⁾や高層住宅の模型⁶⁾を視対象とした実験を行ってきたが、視対象のリアリティーに追求の余地が残っていた。そこで本論文では、窓を通して屋外に広がる実際の景色が見えるようにし、視対象を実状により近いものとした。窓外の景色が

見える場合の結果と窓外の景色が見えない場合⁷⁾との比較から、視覚が水平振動の知覚閾と心理評価に及ぼす影響を知ることが目的である。なお、本研究の一部は文献⁸⁾で速報している。

2. 実験の概要

実験では振動台上に3m四方、高さ3mの居室を設置した。居室には住宅用のサッシ窓や壁材、建具などを用いて生活空間に近い内装を施してある。視覚以外の周辺要因をできるかぎり少なくするため、音環境にも配慮した。動電型の加振装置を用いた振動台は、振動発生器からの機械騒音がきわめて小さい。居室の壁には約10cmの吸音材を充填して外部からの騒音を15dB程度低減できるようにした。さらに、実験中には一定の音量で音楽を流している。

窓外の景色が見えるようにして行った実験①における居室内部および外部の状況を図1に示す。被験者3名は居室壁面の高さ約100cmにある約140×100cmの窓の方を見て椅子に腰掛ける。居室の外には約9.3m離れて平屋建物があり、被験者は窓を通してこの建物と周囲の景色を見ることができる。椅子の位置によって若干異なるが、中央の椅子から見た窓外の景色を写真1に示す。左右方向の水平振動を受けた被験者からは、この景色が相対的に左右に動いて見える。以降の結果はこのような条件において、視覚が水平振動感覚に及ぼす影響を知るものである。

* 日本女子大学住居学科 教授・工博
** 日本女子大学住居学科 助手・修士(家政学)

Prof., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., Dr. Eng.
Research Assoc., Dept. of Housing and Architecture, Japan Women's Univ., M. H. E.

い¹⁾ことを確認しているため、これまでに行った実験の中から、この実験②の結果を比較対照としてとりあげる。全被験者は女性35名(20~24歳)である。

3. 視覚が心理評価に及ぼす影響

図3に示したアンケートの結果から、視覚が心理評価に及ぼす影響を知る。窓外の景色が見える場合には、16Hz以上の範囲で生じる椅子の共振による影響を考慮して、被験者ごとに実測した椅子座面の加速度を用いて評価した。

図4は各振動に対する大きさ度合(アンケート用紙Q2)の平均値を直線補間した等評価曲線である。大きさ度合では、基準の振動の大きさを100として、各振動を感じた大きさを比較し数値で表現する。等評価曲線は常用対数で等間隔に算出した。大きさ度合100の曲線上の振動は、標準振動と同じ大きさのみなされたことになる。

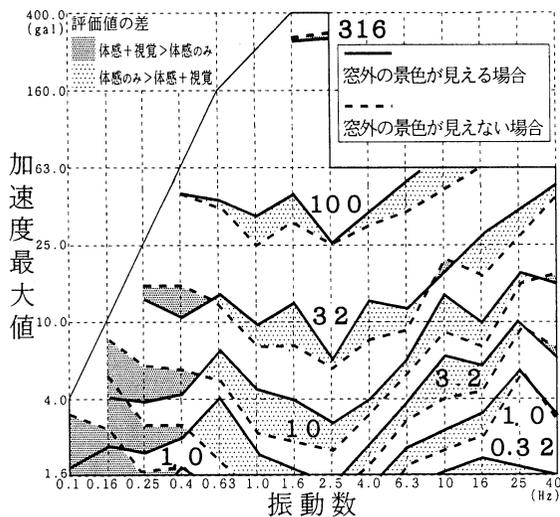


図4 視覚条件が異なる場合の大きさ度合

25gal, 0.4Hz以下の低振動数・低加速度範囲で視覚条件による違いが大きく、窓外の景色が見える場合の方が振動を大きく感じる。この範囲では加速度が小さくても変位が大きいため、体感では振動を小さく感じるが、窓外の景色が大きく動くのを見ることで、振動をより大きく評価することがわかる。

この傾向は低振動数・低加速度範囲に限ってみられる。その他の範囲ではほぼ全体的に、窓外の景色が見える場合の方が小さく感じる。体感で感じる大きさと比較して窓外の景色の動きは小さく見えるため、振動をより小さく評価するものと推察できる。

窓外の景色の影響によって体感だけより大きく感じる範囲とより小さく感じる範囲の境目は約0.63~1.6cmあたり、視覚から認識できる振動の情報である変位の影響がみられる。

図5は不快度合(アンケート用紙Q1)の等評価曲線である。不快度合では、基準の振動に対する不快感を初めに回答し、それと比較して各振動を感じた際の不快感を5段階の数直線で表す。解析では1段階ごとに評価値をあてはめ、各振動と基準の振動との差をとった相対的な評価値とした。すなわち0は基準の振動と同じ不快度

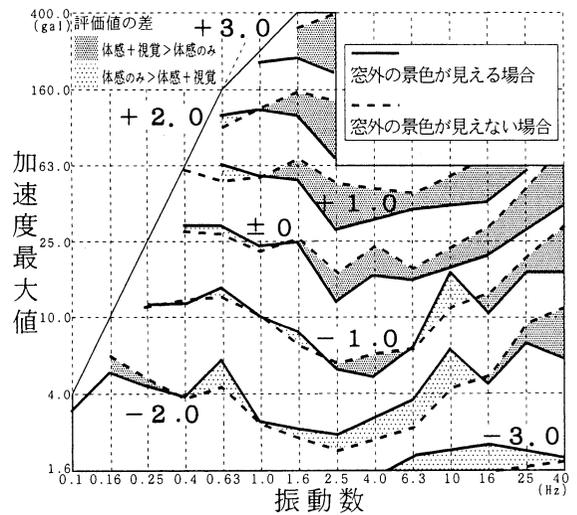


図5 視覚条件が異なる場合の不快度合

合、プラスはより大きく、マイナスはより小さい不快度合を表す。

大きさ度合と同じように、低振動数・低加速度範囲では、窓外の景色が見える場合の方が不快感大きい。やはり0.63~1.6cm程度を境に評価は逆転し、変位が小さい範囲では窓外の景色が見える場合の方が不快感が若干小さいことから、視覚の影響は変位とのかかわりが強いことがわかる。窓外の景色が見える場合の方が、不快感の小さい範囲では、大きさ度合と比較すると両者の違いは小さい。視覚から認識できる振動の変位が小さいことは大きさの評価に強くかかわる一方、不快感に及ぼす影響は小さいことがわかる。

また1.0~1.6Hz以上の高振動数範囲では、全体的に窓外の景色が見える場合の方が不快度合大きい。体感でははっきりと感じる振動でも、目に見える変位が非常に小さいために、体感と視覚による感覚にギャップが生じ、窓外の景色が見える場合に不快感をより強くする一因となっている。実験終了後の被験者のコメントなどからもこのことが確認できる。この傾向は大きさ度合にはみられず、心理的要素の強い評価に視覚が及ぼす特徴的な影響である。

このような視覚の影響は図6に示した不安感(アンケート用紙Q3)、図7に示した限界評価(同Q4)にもみることができる。不安感では各振動に対する不安感について、限界評価は各振動を感じた程度について、あてはまるカテゴリーを1つ選択する。それぞれ図に示したカテゴリーについて、各振動に対する回答率を直線補間した回答率曲線を示した。

25gal程度より加速度が大きい範囲にみられる「かなり不安を感じる」以上と「強く感じる」以上の回答率曲線では1.6Hzを境に評価が逆転し、高振動数範囲では窓外の景色が見える場合の方が評価の厳しい人が多い。これらも心理的要素の強い評価であり、不快度合と共通した特徴がみられる。

一方低加速度・低振動数範囲では、共通して窓外の景色が見える場合の方が評価の厳しい人が多い。低振動数範囲では「体では感じない振動でも、窓の外を見ると横に非常に大きく動いているのがわかって不安だった」という被験者のコメントからも、視覚の影響によって評価が厳しくなっていることがわかる。また窓外の景色が見

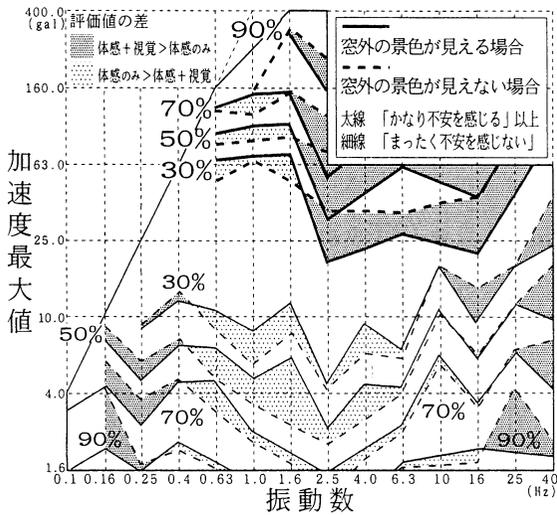


図6 視覚条件が異なる場合の不安感

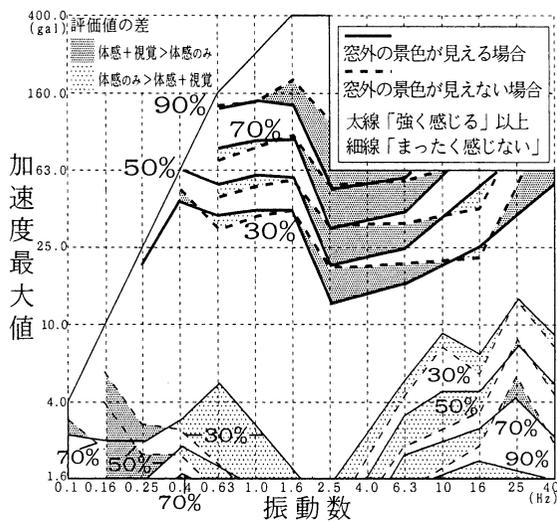


図7 視覚条件が異なる場合の限界評価

えない場合の方が評価が厳しくなる範囲との境目は共通して0.63～1.6cm付近にある。加速度が小さくても変位が大きい低振動数範囲におけるこのような視覚の影響は、大きき度合と「まったく感じない」の回答において顕著にみられ、視覚条件による評価の違いも大きい。これらは振動の物理的な大きさや知覚閾にかかわる評価である。すなわち、視覚がこれらの評価に大きな影響を及ぼす範囲があり、その影響は視覚から認識できる振動の情報である変位と関連していることがわかる。

4. 視覚が知覚閾に及ぼす影響

以上から、視覚が知覚閾に及ぼす影響は大きいことが推察できる。ここでは被験者が揺れを感じた合図により知覚閾を評価し、視覚が知覚閾に及ぼす影響について述べる。解析にあたっては、窓外の景色が見える実験①では椅子座面の加速度、窓外の景色が見えない実

験②では床面の加速度を用いて評価した。

図8は窓外の景色が見える場合における被験者個々の知覚閾の分布である。図中の●は全被験者の知覚閾における50パーセント値を示す。図9に示した窓外の景色が見えない場合には、0.16Hz以下の範囲で実験の最大加速度でも揺れを感じなかった被験者が多くいる。一方窓外の景色が見える場合には、全振動数でほぼ全員の被験者が揺れを感じており、低振動数範囲における違いが大きい。

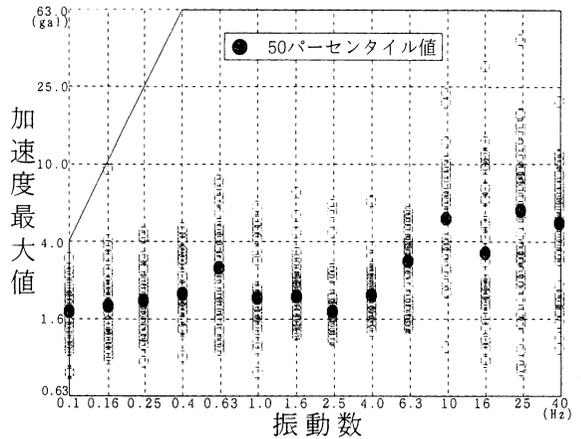


図8 窓外の景色が見える場合の知覚閾の分布

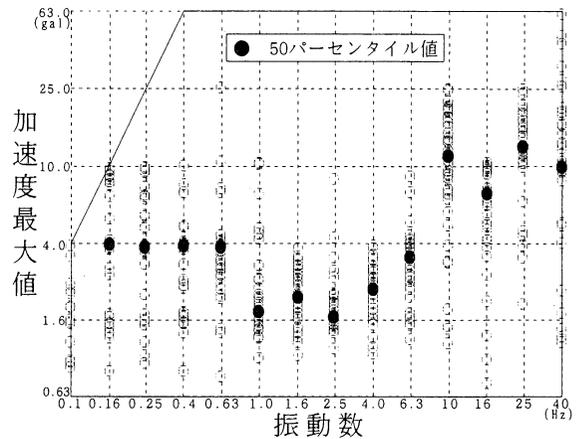


図9 窓外の景色が見えない場合の知覚閾の分布

窓外の景色が見えない場合には振動数によって知覚閾のばらつきが異なるが、窓外の景色が見える場合には6.3Hz程度までのばらつきはほぼ一定である。また窓外の景色が見える場合の方がばらつきは全体的に小さく、変位が大きくなる低振動数範囲ほど知覚閾のばらつきが若干小さくなる傾向にある。窓外の景色が見える場合には、変位という視覚から明確に認識できる振動の情報を得ることによって、知覚閾の個人差が小さくなるものと推察できる。変位の小さい高振動数範囲では視覚から振動を認識しづらいため、窓外の景色が見えない場合の知覚閾と同じようにばらつきが大きくなる。

視覚が知覚閾に及ぼす影響を明らかにするため、両方の条件における知覚閾の50パーセント値を重ね合わせたものが図10である。

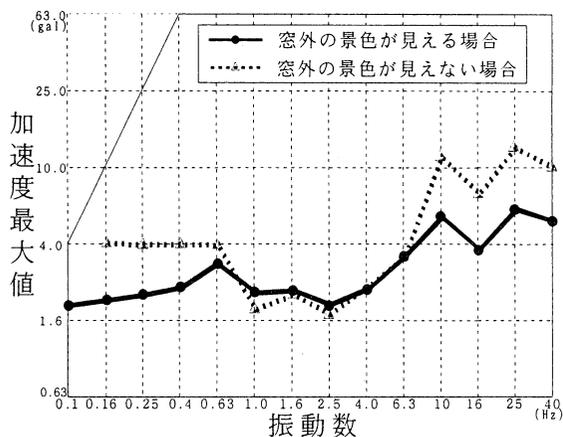


図10 視覚条件が異なる場合の知覚閾

視覚条件による知覚閾の違いは0.4Hz以下の低振動数範囲でみられる。窓外の景色が見える場合には振動数が低いほど知覚閾が小さくなる傾向にあり、窓外の景色が見えない場合との違いは低振動数ほど大きくなる。低振動数になるほど体感で振動を感じにくくなる一方、視覚から認識できる変位は大きくなるため、視覚が知覚閾に及ぼす影響は低振動数範囲ほど大きくなるものと推察できる。すなわち体感で振動を感じない場合にも、窓外の景色の動きを見ることで視覚から振動を感じていることがわかる。

0.63Hz以上の高振動数範囲では、視覚条件によらず知覚閾はほぼ等しい。振動数が高くなるほど変位は小さくなり、窓外の景色が見える場合にも視覚から振動の変位を確認することが難しくなる。そのため視覚の影響がほとんどなく、知覚閾は体感に依存することがわかる。高振動数範囲で両者の知覚閾が異なる場合があるが、これには16Hz程度から生じる椅子の共振の影響が考えられる。窓外の景色が見える実験①では椅子座面の加速度で知覚閾を評価しているが、その他にも床面の振動や椅子の背もたれの応答など、それ以外の要因が影響している可能性がある。

筆者らが実施した縦じまを視対象とした実験の結果⁹⁾と比べると、本実験における視覚の影響は小さい。視覚のみによる知覚を検討した文献⁹⁾でも述べられているように、並進振動の場合、近景と遠景では知覚に及ぼす影響が異なり、近景を見る場合の方がより敏感になる。本実験のようにある程度離れた位置にある建物を見る場合と比べて、窓のすぐ外にある縦じまを見る場合には振動の変位を明確に確認できるため、視覚の影響がより強く表れているものと考えられる。本実験では変位が1.0cm程度より大きい範囲で視覚の影響が強く現れる傾向にあるが、この境目となる変位の大きさは視覚条件によって異なることが推察できる。

5. 既往研究における体感知覚閾との比較

これまでに行った実験②～⑥^{7, 10, 11)}における窓外の景色が見えない場合の知覚閾と比較して、視覚が知覚閾に及ぼす影響を位置づけたのが図11である。窓外の景色が見えない場合の知覚閾は、体感による知覚閾のばらつきを示す曲線¹²⁾として、実験②～⑥の条件を整理した上で、データを近似した3次曲線で表している。

線種	実験名	評価対象	予告	被験者状況
窓外の景色が見える場合				
—	実験①	揺れを感じた合図	有り	アンケートに集中
窓外の景色が見えない場合				
-----	実験② ⁷⁾ ⑤ ¹⁰⁾	揺れを感じた合図	有り	アンケートに集中
-----	実験③ ⁷⁾ ④ ¹⁰⁾	「まったく感じない」	有り	アンケートに集中
-----	実験⑥ ¹¹⁾	揺れを感じた合図	無し	リラックス

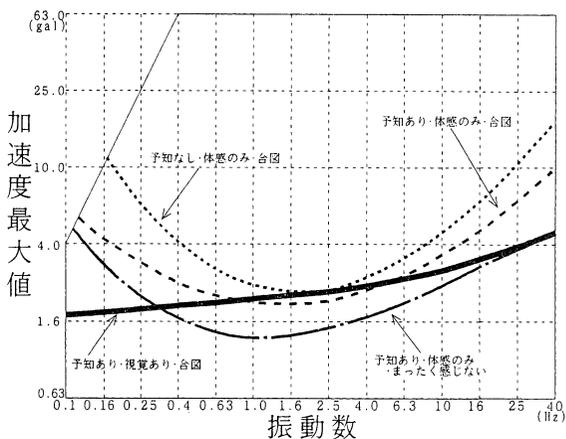


図11 既往研究における体感知覚閾との比較

文献¹²⁾で述べたように、体感による知覚閾には被験者の状況や意識の違いによって図に示すような幅でばらつきが生じる。被験者が振動の発生を予知せずリラックスした状態で過ごしている場合には知覚閾は高くなる。一方被験者が振動の発生に対して構えている上、アンケートの指示を受けることで「揺れているのではないか」という意識を強くもつ場合には知覚閾が低くなる。日常生活環境で居住者のおかれる状況はどれもあてはまる可能性があり、知覚閾におけるこのようなばらつきを考慮した評価が必要になる。

窓外の景色が見える場合の知覚閾は、0.25Hz程度より低振動数範囲でこれら体感による知覚閾を下回る。すなわち被験者の状況や意識が体感による知覚閾に及ぼす影響は大きい、視覚による影響でそれを上回る範囲があることがわかる。低振動数範囲では加速度が小さくても変位が大きいため、体感では感じない振動も変位を視覚から認識することで振動を感じるきっかけとなり知覚閾が低くなる。この範囲では視覚が知覚閾に及ぼす影響は顕著であり、その影響を考慮した評価が必要になる。

一方0.4Hz以上の高振動数範囲では、変位が小さいことと関連して視覚が知覚閾に及ぼす影響は小さく、主に体感により評価される。窓外の景色が見える場合の知覚閾は体感による知覚閾のばらつきの範囲内に位置する。この範囲では、視覚の影響を考慮した上でも、体感による知覚閾のばらつきを主とした評価が可能である。

このように、居住性能評価において対象となる加速度が比較的低い範囲では、振動数によって視覚が知覚閾に及ぼす影響が異なるため、対象建物により体感と視覚に対する重みを変えて評価する必要がある。例えば3階建てプレハブ住宅などの低層建物に生じる2.0～4.0Hz程度の振動範囲¹³⁾は体感による感覚が敏感な範囲であり、それ以外の振動数範囲と比較して視覚の影響は小さい。このような範囲では、体感を重視した評価が適切である。また超高層住宅など

に生じる低振動数範囲では、体感では振動を感じにくい一方、視覚が水平振動感覚に影響を及ぼす可能性が高い。このような範囲では、評価における視覚の重みを大きくすることが必要になる。

6. おわりに

視覚が水平振動感覚に及ぼす影響を知るため、窓外の景色が見えるようにして被験者実験を行い、体感のみによる実験結果と比較検討した。本論文で得られた知見を以下に纏める。

- 1) 視覚が水平振動に対する心理評価に及ぼす影響は、振動数範囲によって変化する。加速度が小さくても変位が大きい低振動数範囲では、視覚の影響により評価が厳しくなる。一方振動数が高い範囲では体感による感覚と比較して視覚として見える変位が小さいため、体感のみによる評価の方が厳しい傾向にある。また窓外の景色が見える場合、視覚による感覚と体感による感覚における違和感が不快感や不安感を助長する一因になることがある。
- 2) 視覚は知覚閾に大きな影響を及ぼすが、その影響は低振動数範囲ほど大きい。低振動数範囲では加速度が小さくても変位が大きいため、体感で振動を感じなくても視覚から確認できる変位がきっかけとなり、知覚閾が低くなる。一方振動数が高くなるほど変位が小さくなるため、高振動数範囲では視覚の影響はほとんどなく、体感に依存して振動を評価するようになる。
- 3) 視覚が水平振動感覚に及ぼす影響は、視覚から認識できる振動の情報である変位とのかかわりが強く、変位の大きさによって3つの範囲に分けて考えることができる。個々の条件によって視覚から認識できる変位の境目となる大きさは異なるが、これより変位が小さい場合には、窓外の景色が見えても視覚によって振動が認識されないため、体感のみで評価される。これより変位が大きい振動に対しては、体感と視覚が相互に影響しあって評価され、そのなかでも変位が大きい振動では、視覚の影響によって評価がより厳しくなる範囲がある。
- 4) 体感による知覚閾は被験者の状況や意識などによってばらつきが生じるが、低振動数範囲では視覚による影響がそれを上回り、知覚閾はより低くなる。一方、振動数が高い範囲では視覚による影響は小さく、視覚を考慮した上でも体感による知覚閾のばらつきで主として評価することができる。

本研究により得られた視覚が影響する振動範囲は一定の視覚条件における特性であり、一般化した評価については今後の研究に期待したい。そのなかで本研究は、水平振動に対する居住性能を評価する上で、視覚の影響を考慮すべき範囲と体感に基づいて評価できる範囲を分けて考える必要があることを明らかにした。

実際の生活環境では居住者の付近に窓があるか、揺れる物があるか否か、また居住者がそれを見るかなどの可能性が評価にかかわることが想定できる。今後は、このような視覚の影響を含め、個人差や状況による違いなども考慮した知覚閾のばらつきを確率的に評価する方法を提示したい。

実験の実施、データ解析にあたっては、当時の当研究室卒論生、上原翠沙、北川陽子、田宮麗子、渡邊みゆ子君にご協力戴いた。ここに記して感謝の意を表す。また実験にご参加戴いた多くの方々へ深謝する次第である。本研究の一部は文部省科学研究費補助金・基盤研究(C)によっている。

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，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），pp.95～96，1993年9月。
- 3) 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，pp.185～192，1995年6月。
- 4) ISO/CD2631-2：1997 Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part2：Vibration in buildings (1 to 80 Hz)。
- 5) 石川孝重，野田千津子，隈澤文俊，岡田恒男：視覚刺激を考慮した強風時の使用限界に関する一考察，構造工学論文集，Vol.40B，pp.1～6，1994年3月。
- 6) 石川孝重，野田千津子，隈澤文俊，岡田恒男：視対象の違いが水平振動感覚におよぼす影響に関する一考察，第13回風工学シンポジウム論文集，pp.107～112，1994年。
- 7) 野田千津子，石川孝重：体感による水平振動の知覚閾に及ぼす影響，日本建築学会関東支部研究報告集（環境工学），pp.269～272，1998年度。
- 8) 野田千津子，石川孝重：窓外の景色が水平振動感覚に及ぼす影響，日本建築学会関東支部研究報告集（環境工学），pp.273～276，1998年度。
- 9) 鶴巻均，後藤剛史，井上二郎：長周期振動における窓外景観が振動感覚に及ぼす影響に関する研究—その2 振動視覚シュミレータ実験の概要と結果について—，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学），pp.361～362，1995年8月。
- 10) 石川孝重，野田千津子：広振動数範囲を対象とした水平振動感覚の評価に対する検討，日本建築学会計画系論文集，第506号，pp.9～16，1998年4月。
- 11) 石川孝重，野田千津子他：生活環境に近い状況下での水平振動感覚とその評価—その1 実験方法の概要と心理評価の特性—；—その2 生活環境に近い条件と振動発生を予告した場合における知覚閾の違い—，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学I），pp.323～326，1998年9月。
- 12) 石川孝重，野田千津子他：周辺要因が水平振動の知覚閾に及ぼす影響—その1 対象実験の概要—；—その2 被験者の意識の違い—；—その3 評価曲線の提示—，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学I），1999年9月。
- 13) 大築民夫，田村幸雄，中田信治，内藤俊一，桐山伸一：道路交通振動に起因する鉄骨造住宅の振動性状，日本建築学会大会学術講演梗概集（環境工学），pp.1885～1886，1994年9月。

(1999年2月8日原稿受理，1999年6月25日採用決定)