

## 環境振動に対する感覚量の評価に関する検討

環境工学 - 環境振動

正会員 ○ 野田千津子<sup>1</sup>正会員 石川 孝重<sup>2</sup>

振動感覚 心理評価 物理量

カテゴリ-尺度法 系列範疇法 性能評価

## § 1 はじめに

本研究では、これまで実施した被験者実験の結果をふまえ、鉛直・水平振動に対する感覚量の評価を検討する。これまでの報告では、感覚評価を表現する各カテゴリに対する回答確率と、振動の物理成分との関係を明確にし、知覚閾や感覚評価の振動数特性を把握してきた。本報では、系列範疇法を用いて、カテゴリの選択により得られた振動に対する感覚量を、振動の物理量との関係からとらえ、その決定要因を探ることを目的とする。

## § 2 実験の概要と解析の方法

鉛直・水平振動に対する感覚評価を知るために被験者実験を実施した。詳細は文献<sup>1~4)</sup>を参照されたい。

被験者は振動台に設置した居室内で、鉛直振動では立位、水平振動では腰掛け位あるいは座位の姿勢をとる。居室内には、視覚や聴覚から振動を察知できる要因をなくし、体感のみによる感覚の把握を目的としている。被験者は、鉛直振動の場合が合計56名(女性・18~25歳)、水平振動の場合は実験によって異なるが、20代前半を中心とした女性、合計34~56名程度の被験者である。

入力振動は正弦振動を基本とした波形とし、鉛直振動は振動数2.7~31Hz、加速度最大値0.6~200cm/s<sup>2</sup>の範囲で38種類、水平振動は振動数0.1~40Hz、加速度最大値1.6~400cm/s<sup>2</sup>の範囲で57種類、評価対象とする振動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、その間、評価対象となる振動の目標値に加速度が達した時点で振幅を定常にする。

振幅が定常になった30秒後に、被験者は実験者の指示に従ってアンケートに回答する。被験者は振動を感じながら、カテゴリ-尺度法を用いた表1の評価尺度について、あてはまる表現を1つずつ選択する。鉛直振動では5種類すべて、水平振動では強さ以外の4種類を用いた。

系列範疇法を用いることで、それぞれの振動に対する各カテゴリの回答分布をもとに、各カテゴリの感覚

表1 実験で用いたアンケートのカテゴリ

尺度名	カテゴリ				
	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
大きさ	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
強さ	とても弱い	弱い	どちらでもない	強い	とても強い
不快感	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
不安感	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

量の境界値が求められる。既報<sup>1~3)</sup>のように、カテゴリごとに回答確率を評価する場合、各カテゴリの評価はあてはまる振動範囲が限定される。一方、系列範疇法では、1つの振動に対する全カテゴリの回答分布を連続量として扱うため、例えば限界評価の場合、知覚限界から許容限界までを一次元の感覚量として評価できる。

カテゴリの境界値から、各振動に対する感覚量を尺度値として一次元に位置づける。この各振動の感覚量と物理量との関係を検討し、さらに、感覚量と物理量との間に線形関係を仮定して、ステップワイズ法による変数選択を用いて重回帰分析を行う。これらの考察より、各評価尺度が表現する感覚に対して、影響力をもつ振動の物理量を知ることができる。

## § 3 鉛直振動に対する感覚量の評価

## 3.1 鉛直振動に対する感覚量と物理量との関係

上述の方法で、各評価尺度で表現される感覚量を振動ごとに算出し、各物理量との関係を例示したものが図1である。図中には、各カテゴリの境界値をあわせて示す。限界評価以外では、「とても小さい」「とても弱い」「まったく不快でない」「まったく不安を感じない」の範囲が広く、実験対象とした振動のほぼ半分があてはまり、回答には偏りがある。一方、限界評価では「耐えられない」範囲の振動はほとんどないが、それ以外のカテゴリにはほぼ均等に分布する傾向がみられる。

表2に示す感覚量と物理量との相関係数をみるように、評価尺度による違いは小さい。鉛直振動の場合、感覚量と加速度および速度の間には線形関係があり、相関係数も高い。特に不安感や不快感、限界評価では速度との

表2 鉛直振動の感覚量に対する物理量の相関係数

	限界評価	大きさ	強さ	不快感	不安感
振動数	-0.15 (-0.12)	-0.19 (-0.18)	-0.15 (-0.14)	-0.09 (0.07)	-0.13 (-0.12)
変位	0.45 (0.82)	0.53 (0.80)	0.53 (0.78)	0.45 (0.79)	0.51 (0.83)
速度	0.70 (0.94)	0.78 (0.89)	0.78 (0.89)	0.70 (0.93)	0.74 (0.95)
加速度	0.72 (0.94)	0.73 (0.86)	0.74 (0.87)	0.74 (0.95)	0.72 (0.95)
加加速度	0.47 (0.77)	0.44 (0.67)	0.46 (0.70)	0.50 (0.80)	0.46 (0.77)

※( )内は各物理量を対数軸で表す場合

さによって感覚量には若干の大小が生じるものの、加速  
度が大きな決定要因となることがわかる。

相関も高いが、  
速度が低い範囲  
では、感覚量は  
ほぼ一定となる  
傾向がある。共  
通して、その他  
の物理量の大き

### 3.2 鉛直振動に対する感覚量の物理量による重回帰分析

上記のように算出した各振動の感覚量について、各振  
動の振動数、変位、速度、加速度、加加速度とそれら  
を対数軸で表現した場合の値を説明変数として、重回  
帰分析を行った。その過程で、ステップワイズ法を用いた  
変数選択を行い、各評価尺度の感覚量と物理量との関係  
を知る上で、適切な物理量を選択することとした。表3に  
分析の結果得られた重回帰式の係数と、実験結果に基づ  
いた各振動の感覚量、すなわち系列範疇法により求めら

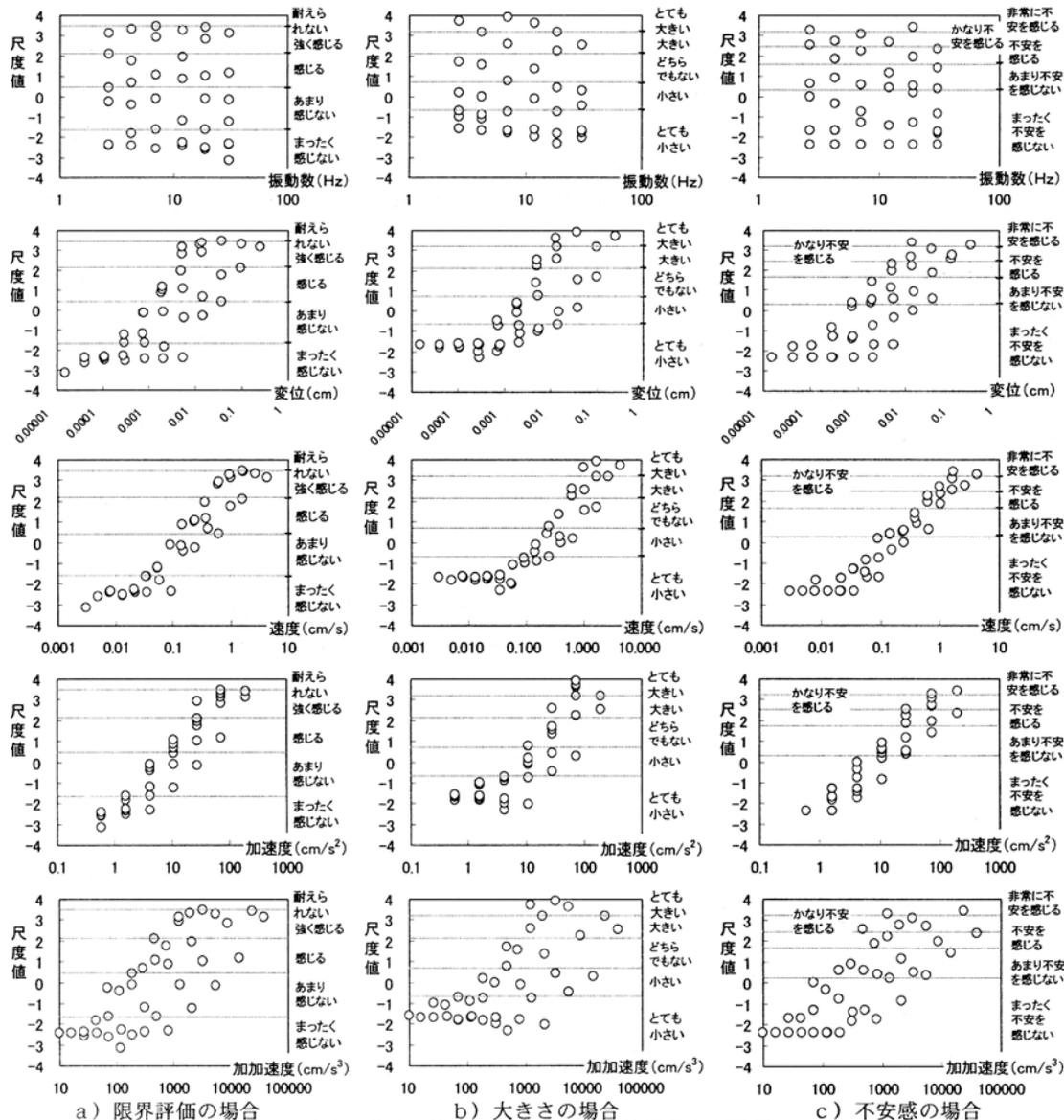


図1 鉛直振動に対する感覚量と物理量との関係

表3 鉛直振動に対する感覚量の重回帰式係数と相関係数

	限界評価	大きさ	強さ	不快感	不安感
振動数	-0.107			-0.043	(-1.261)
変位	(-0.728)				3.507
速度		(1.223)	(1.234)		
加速度	(3.472)	0.039	0.040	(2.727)	
加加速度		-0.00016	-0.00016		-0.408
定数	-3.648	0.434	0.415	-1.898	-0.408
相関係数	0.978	0.946	0.941	0.973	0.976

※( )の場合は対数軸で表した各物理量が説明変数となる

図2に重回帰分析の結果をもとに、実験結果から求められた感覚量と重回帰式による予測値との関係を例示する。

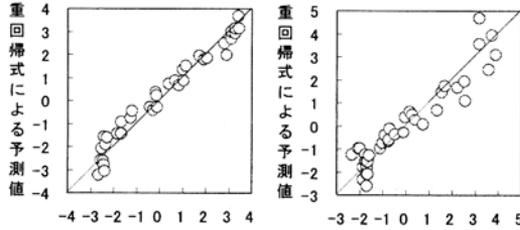


図2 鉛直振動に対する限界評価の重回帰結果  
a) 限界評価の尺度値  
b) 大きさの尺度値

鉛直振動の場合、感覚量と物理量との相関係数にもみられるように、大きさ、強さ、不安感是对数軸でみた場合の速度との関係が強く、限界評価と不快感是对数軸でみた場合の加速度との関係が強い。なかでも、大きさと強さはほぼ同じ予測式となり、速度が等しい振動の感覚量におけるばらつきは、加速度や加加速度で表され、その影響も無視できない。正弦振動の場合、これらの物理量は互いの相関性が比較的低く、大小関係が違って変動する。大きさや強さの感覚には振動におけるいくつかの異なる要素が影響しているものと推察できる。一方、不安感の場合、速度が等しい場合の感覚量のばらつきは変位で表される。速度と変位の相関性は高く、大小関係は同じように変動することから、振動における限られた物理的特性が要因として影響力をもつものと推察できる。

また、限界評価と不快感の感覚量に対しては、加速度の影響力が高いが、加速度と独立して変動する振動数によってばらつきが表される。限界評価の感覚量には、さらに変位が関係する。振動数と変位は、予測値に対して大小関係がほぼ逆となる影響をおよぼすため、加速度が比較的大きい範囲の限界評価は、不快感と同様に加速度との関係が強い一方、知覚限界を含む限界評価には、各物理量がより複雑に影響するものと推察できる。

これらから、各評価尺度の特質を以下のように分類できる。大きさと強さは、物理量との関係は複雑であるが、

れた尺度値と重回帰式による予測値との相関係数を示す。

図2に重回

同じ振動にする感覚量はほぼ等しく、類似した評価である。不安感と速度、不快感と加速度との関係は強く、いずれも単一の物理量が決定要因となりやすい。一方、知覚限界、許容限界を含む限界評価は、物理量との関係も複雑である上、他の感覚量とは異なる特性をもつ。

#### §4 水平振動に対する感覚量の評価

##### 4.1 水平振動に対する感覚量と物理量との関係

表4 水平振動に対する感覚量と物理量の相関係数

	限界評価	大きさ	不快感	不安感
振動数	-0.16 (0.06)	-0.22 (-0.17)	-0.24 (-0.09)	-0.20 (0.02)
変位	0.17 (0.37)	0.18 (0.43)	0.21 (0.50)	0.19 (0.41)
速度	0.62 (0.64)	0.65 (0.68)	0.61 (0.74)	0.66 (0.67)
加速度	0.69 (0.95)	0.73 (0.92)	0.64 (0.93)	0.75 (0.94)
加加速度	0.36 (0.68)	0.30 (0.61)	0.32 (0.56)	0.35 (0.64)

※( )内は各物理量を対数軸で表す場合

す。いずれも、加速度との線形関係が強い特徴がある。

実験対象とした0.1~40Hzの範囲では、水平振動に対する感覚は2Hz付近でもっとも厳しく、低振動数・高振動数になるほど感覚が鈍くなるU字型を描くような振動数特性を示す。<sup>4)</sup> 2Hz付近を境に、低振動数範囲と高振動数範囲では異なる感覚特性を示すため、速度や変位、加加速度との関係は、全体的にばらつきが大きい。特に大きさと速度の関係においては、速度が大きい範囲では振動数の高低によって感覚量が二分する傾向がみられる。限界評価では、加加速度が小さい範囲、すなわち、低振動数・低加速度の範囲で、感覚量との線形関係が顕著であり、知覚限界の評価との関連が読み取れる。

各カテゴリーの範囲をみると、各評価尺度の回答の偏りが異なる。限界評価で「耐えられない」範囲の振動が少ないことは鉛直振動と共通しているが、「まったく感じない」振動の範囲は狭い結果となっている。

##### 4.2 水平振動に対する感覚量の物理量による重回帰分析

表5 水平振動に対する感覚量の重回帰式係数と相関係数

	限界評価	大きさ	不快感	不安感
振動数		-0.037	-0.032	-0.025
変位				
速度				
加速度	(2.850)	(3.146)	(2.538)	(2.597)
加加速度	-0.000084			
定数	-3.099	-3.298	-2.516	-2.756
相関係数	0.957	0.935	0.946	0.953

※( )の場合は対数軸で表した各物理量が説明変数となる

による感覚量との関係を図4に例示する。

この結果を見ると、いずれも、対数軸で表した場合の加速度との関係がもっとも強く、加速度が大きいほど感

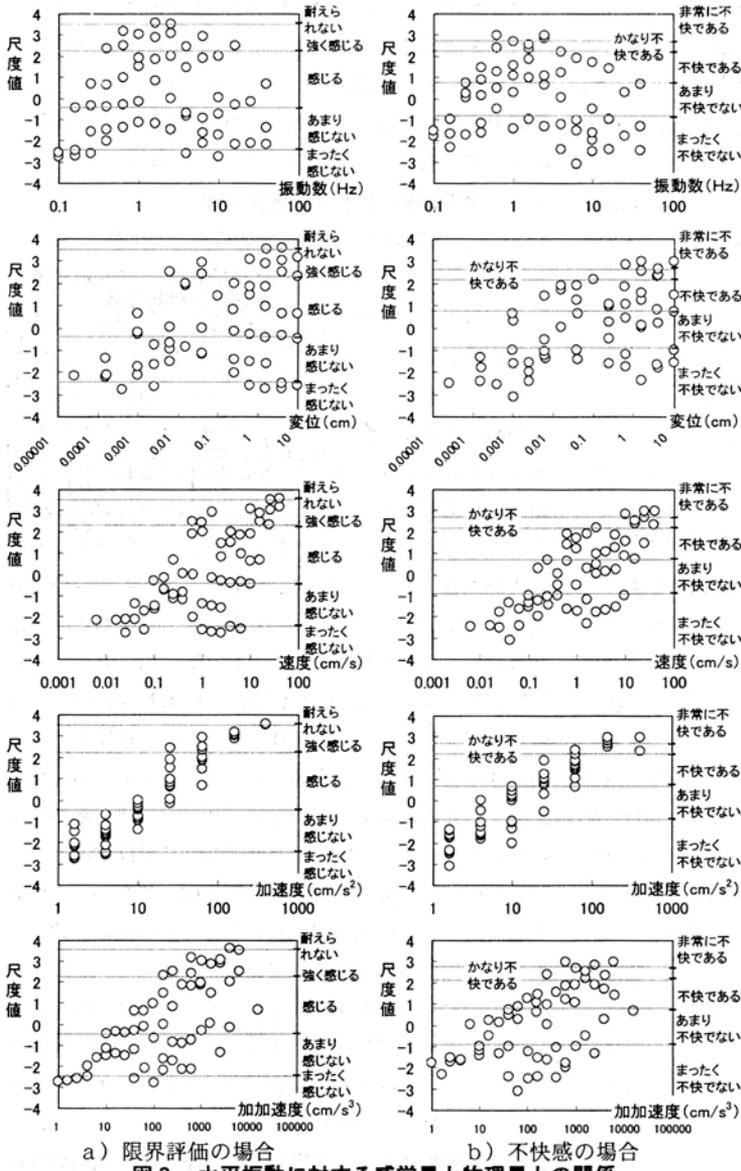


図3 水平振動に対する感覚量と物理量との関係

覚量も大きくなることわかる。また、限界評価とそれ以外の評価尺度によって、感覚量と物理量との関係が異なり、大きさ、不快感、不安感では、振動数が高いほど影響が大きく、感覚量が小さくなる関係にある。一方限界評価は、知覚限界との関係から加加速度にも影響を受ける。

実験対象とした振動数範囲が広く、感覚の振動数特性が明確であることから、加速度が決定要因となり、振動数が影響をおよぼす傾向が読みとれる。

§5 おわりに

これまでの実験結果に基づいて、振動に対する感覚量を物理量との関係からとらえると、同じ感覚についても、鉛直・水平振動によって、影響要因となる物理量が異なる。実験で対象とした範囲に限られるが、鉛直振動では、速度や加速度が決定要因となる感覚、速度あるいは加速度を中心として、その他の物理量も複雑に影響をおよぼす感覚量がある。一方、水平振動では、振動数特性が強く表れるため、加速度が主に決定要因となる一方、知覚限界以外の感覚量は、振動数が高いほど小さくなる傾向がある。

これらの解析を発展させ、振動に対する感覚量を統括して表現する評価量を検討したい。

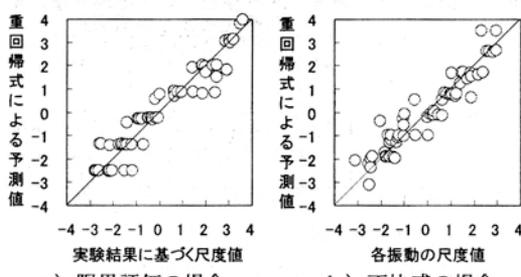


図4 水平振動に対する感覚量の重回帰結果

【引用文献】

- 1) 石川孝重, 野田千津子: 鉛直振動に対する知覚限界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年2月.
- 2) 石川孝重, 野田千津子: 広帯域振動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.
- 3) 野田千津子, 石川孝重: 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25号, pp.15~20, 1999年11月.
- 4) 石川孝重: 水平振動に対する要求性能レベルのわかりやすい表現に関する研究, 平成15年度科学研究費補助金基盤報告書 (研究成果報告書), 平成16年3月.

\*1 日本女子大学住居学科 学術研究員・修士 (家政学)  
 \*2 日本女子大学住居学科 教授・工学博士