実住宅床を用いた鉄道・自動車走行時の鉛直振動が人の振動感覚に及ぼす影響

INFLUENCE ON VIBRATION SENSE BY VERTICAL VIBRATION ON RAILWAY AND AUTOMOBILE RUNNING FOR ACTUAL RESIDENTIAL FLOOR

松田 貫 ——— * 1 井上勝夫 ——— * 2
富田隆太 ——— * 3

Toru MATSUDA ——— * 1 Katsuo INOUE ——— * 2
Ryuta TOMITA ——— * 3

キーワード:

鉄道振動, 道路交通振動, 鉛直振動, 振動感覚, 評価方法, 周波数特性, 住宅床

Keywords:

Railway vibration, Road traffic vibration, Vertical vibration, Vibration sense, Evaluation method, Frequency characteristics, Residential floor

In this research, it is examined that influence on vibration sense by vertical vibration on railway and automobile running for actual residential floor. As the result, it is shown the following.

1. Influence on vibration sense by frequency characteristics are examined that difference between vibration sense in the broadband and narrowband evaluations. It is shown that vibration sense in broadband evaluations appeared to be more intense.

2. Evaluation physical quantity representing the perception of vibration is examined to determine the relationship between impact vibration and railway and automobile vibration. It can practically be represented by $\Sigma L_{va, VW}$ (3dB).

1. はじめに

交通振動は環境振動の中でもきわめて日常的に発生しやすい振動であり, 長期間にわたって振動を発生し, 居住者を悩ませ続ける場合が多い。交通による建築物内に生ずる鉛直振動と水平振動は居住性能評価指針¹⁾に記載されている「鉛直振動に関する性能評価曲線」と「交通による水平振動に関する性能評価曲線」が用いられて評価されることが多い。この居住性能評価指針¹⁾は正弦振動に基づいた実験結果から性能評価曲線が提示されている。しかし, 実際の環境下では複数の周波数成分が含まれたランダム振動であり, 人の振動感覚に影響を及ぼすと考えられる決定周波数(接線法で評価した場合に評価値を決定づける周波数帯域と本報では定義する)以外の周波数成分の影響について検討が必要と言える。我々は, 既報²⁾において人の動作を想定した鉛直振動を対象として, 床衝撃音の分野で用いられている JIS A 1418-2:2000³⁾の衝撃力特性(2)を有する標準重量衝撃源(衝撃入力は 30Hz 付近までほぼ一定)以下, ゴムボールを導入して衝撃振動を発生させ, 周波数特性に着目し, 決定周波数の振動応答及び決定周波数の応答加速度から 3dB 以内の振動応答をエネルギー合成する方法を感じる程度を表す実用的な評価物理量として提案した。この評価物理量をより実用に供するために, 振動応答が時々刻々と変化する交通振動のような外部振動源でも用いることができるか検討する必要がある。

そこで, 本報では, まず基礎的検討として鉄道や道路等の交通振動に対する人の振動感覚と振動応答物理量の関係から振動感覚と対応の良い評価物理量の検討を行うことを目的とし, 既報²⁾と同様に振動応答波形から求まる周波数特性に着目し, それらの違いが振動

感覚に与える影響について検討した。また, 本報の対象は既報²⁾と同様に居住床での鉛直振動を対象とした。

鉛直振動の中でも本研究のような交通振動を対象としたものは, 横山ら⁴⁾, 横島ら^{5)~7)}, 松本ら⁸⁾⁹⁾の研究がある。横山らの文献⁴⁾で対象としている振動源は道路交通であり, 地盤面と木造2階建て試験家屋の2種類で被験者実験を行い, 道路交通振動のランダム振動に対する振動感覚を表す評価物理量として振動レベルの最大値を提案している。しかし, これらの検討の対象振動源は道路交通のみであり, 鉄道等の交通振動は対象としていない。横島らは文献^{5)~7)}で新幹線沿線の社会調査として騒音・振動の被害感を調査している。調査内容はある周辺地域におけるアノイアンス評価等であり, 建物内部での振動感覚評価は行っていない。松本らの文献⁸⁾では戸建住宅内で測定された外部振動源による振動を振動台に入力して被験者実験を行い, 振動レベル等のいくつかの評価量を用いて知覚閾の評価を試みている。文献⁹⁾では, ある一定地域の戸建住宅を対象として社会調査と屋外の振動測定により得られた結果に基づき, 社会住民反応と振動評価量の関係を検討している。今後は, 実験室実験の結果と互いに補完させていくとしている。

しかし, これらの検討はいずれも実験室での被験者実験や, 周辺地域の社会調査結果の報告であり, 日常的に振動が発生している実際の住宅内部で振動測定と振動感覚評価実験を同時に行った研究事例はほとんどない。また, 在来線・新幹線・道路交通などの振動源を対象にした鉛直振動の振動感覚評価に関する研究は非常に少ない。本報では実験環境として, 居住空間としての視覚の影響, 振動源通過時の発生音等の聴覚の影響を含めた実生活にできるだけ近づける

¹⁾ 大和ハウス工業総合技術研究所 修士(工学)
(〒631-0801 奈良県奈良市左京6丁目6番地2)

²⁾ 日本大学理工学部建築学科 教授・工博

³⁾ 日本大学理工学部建築学科 准教授・博士(工学)

¹⁾ Daiwa House Industry Central Research Laboratory., M. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

³⁾ Assoc. Prof., Dept. of Architecture, College of Science and Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

ため、交通振動が日常的に発生している実際の住宅を対象に建物内部で振動測定及び振動感覚評価実験を同時に行った結果を報告する。

2. 実験方法

2-1. 対象振動及び対象家屋

本論文で対象とした各々の家屋内で発生している加速度実測波形の例は Fig.1～Fig.3 に示すとおりである。Fig.1, Fig.2 は間欠的な振動である在来線・新幹線が 1 本通過した場合の鉄道振動, Fig.3 は自動車・バス・トラック等が 1 台もしくは複数台連続して通過した場合の衝撃成分の多い振動が連続して発生している道路交通振動を示している。対象家屋は Table.1 に示す 6 棟の実際の住宅である。また、対象家屋における各々の振動の振動継続時間は Table.1 に示す通りである。

2-2. 振動感覚評価実験

振動感覚評価実験は Fig.4 の例に示すように、振動源に対し、各測定点(A 床では①：床中央、②⑤⑦：対角線上の 4 等分、③⑥：柱際、④⑧：壁際を選定、B 床～F 床では床中央 1 点と床中央以外の点を 1～2 点)で X 方向(軌道及び車道平行方向)、Y 方向(軌道及び車道直交方向)、Z 方向(鉛直方向)の計 3 方向の振動加速度を測定(RION 製 VM-53, VM-53A)すると同時に、Fig.5, Fig.6 に示す i)～v)の 5 項目の振動感覚の程度について被験者と居住者(それぞれの対象家屋に居住する人)に回答してもらった。被験者と居住者は Fig.4 に示すように X 方向(軌道及び車道平行方向)を向き、床に直に体育座り(平座位、立膝)の状態(測定点と被験者の位置関係においては臀部が計測器と接触しない程度の近い位置)とした。また、被験者は居住者を含む 20 歳代成人(4 名又は 5 名)とし、各々の床での評価人数は Table.1 に示す通りで、回答票数の合計は 500 票(在来線：145 票、新幹線：213 票、道路交通：142 票)であった。Fig.5 の在来線と Fig.6 の新幹線・道路交通で振動感覚の回答肢が異なるが、振動感覚評価実験を行った時期が在来線のほうが早く、後に新幹線・道路交通を対象とした実験を行ったため、新幹線・道路交通で用いた回答肢は在来線での実験後に被験者と居住者に回答肢の意見を聴き、改善をしたものである。

3. 振動成分の分類

本研究では実際の住宅を対象に振動感覚評価実験を行っているため、被験者及び居住者に鉛直振動と水平振動が同時に暴露されている場合や鉛直振動のみが卓越している場合、水平振動のみが卓越している場合等、様々な振動環境下にある。

そこで、対象家屋の測定点で 3 軸方向の振動を測定し、主に被験者及び居住者が感じる振動として「鉛直振動」の場合、「鉛直振動+水平振動(鉛直振動 $\geq$ 水平振動)」の場合、「その他(水平振動+鉛直振動(水平振動 $\geq$ 鉛直振動), 水平振動等)」の場合の 3 つに分類した。なお、この分類を行うにあたって、本報では、下記の条件(a), (b)を定義して行った。また、居住性能評価指針¹⁾では評価対象範囲が 3Hz～30Hz までとなっているが、ISO 2631-1¹⁰⁾、ISO2631-2¹¹⁾や既報²⁾の結果で 31.5Hz 帯域～80Hz 帯域の周波数成分も対象とされていることから評価対象範囲を 80Hz 帯域まで拡張して評価することとした。Fig.7(図中の N はデータ数を示す)に 3 つに分類した割合を示す。

Fig.1 Example of time-series waveform by conventional lines.

Fig.2 Example of time-series waveform by Shinkansen railway.

Fig.3 Example of time-series waveform by road traffic.

Fig.4 Attitude and orientation of subjects and measuring points (A floor).

- 水平振動に関する性能評価曲線¹⁾の H-10 が式(1)に示す $L_{va,Hw}$ で約 59.5dB であり、H-30→H-50 と知覚確率が 20%上がるにつれて約 3dB 間隔で上がっている。以上から知覚確率 10%範囲を 3dB の半分である 1.5dB とし、 $L_{va,Hw} = 59.5 - 1.5 = 58dB$ を本報では水平振動を知覚し始めるラインと仮定した。ただし、この値については今後も検討していく。
- 式(2)に示す $L_{va,vw}$ と式(1)に示す $L_{va,Hw}$ の振動応答が知覚閾付

Table.1 Overview of the actual housing used in the experiment.

振動源	居住形式	構造	測定階	被験者 (居住者) (人)		被験者 (人)		継続時間 (秒)	居住年数	床寸法 (mm)	床の固有振動数 (Hz)	振動源から建物の 最も近い外壁面ま での概算距離 (m)	回答票数 (票)	
				男	女	男	女							
A 床	在来線	戸建住宅	木造 2階建て	2階	1	-	3	1	12～20	23 年	5000×3640	12	12	74
B 床		集合住宅	RC造 6階建て	2階	1	-	4	-	10～12	2 ヶ月	3500×2575	27	4	71
C 床	新幹線	戸建住宅	木造 2階建て	1階	-	-	2	2	6～10	27 年	3540×1820	-	7	123
D 床		戸建住宅	木造 2階建て	2階	1	-	2	2	6～10	22 年	3500×2610	16	14	90
E 床	道路交通 (自動車) (バス)	戸建住宅	鉄骨造 2階建て	2階	-	1	2	2	5～8	24 年	4000×2500	14	7	127
F 床	(トラック)	戸建住宅	木造 2階建て	2階	1	-	2	2	5～8	18 年	3640×2730	26	13	15

- Ⅰ) 振動はどのくらい感じますか？
- 1.全く感じない
 - 2.あまり感じない
 - 3.感じる
 - 4.強く感じる
 - 5.非常に強く感じる
- Ⅱ) 振動の大きさはどの程度ですか？
- 1.とても小さい
 - 2.小さい
 - 3.どちらでもない
 - 4.大きい
 - 5.とても大きい
- Ⅲ) 振動はどの程度気になりますか？
- 1.全く気にならない
 - 2.あまり気にならない
 - 3.多少気になる
 - 4.かなり気になる
 - 5.非常に気になる
- Ⅳ) 振動は不快ですか？
- 1.全く不快でない
 - 2.あまり不快でない
 - 3.不快である
 - 4.かなり不快である
 - 5.非常に不快である
- Ⅴ) 振動を不安に感じますか？
- 1.全く不安でない
 - 2.あまり不安ではない
 - 3.不安を感じる
 - 4.かなり不安に感じる
 - 5.非常に不安に感じる

Fig.5 Vibration sensory items for conventional line.

Fig.7 Percentage of vibration components pertaining to the vibration source.

近の比較的小さく、同程度の振動応答の場合、例えば、 $L_{Va,VW}=58\text{dB}$ (V-10 に相当)と $L_{Va,HW}=58\text{dB}$ (知覚し始めるライン)の場合は、必ずしも鉛直振動のみを感じているとは言い難い。そこで、式(1)、(2)で示す $L_{Va,VW}-L_{Va,HW}\geq 5\text{dB}$ の条件を満足する場合を、被験者が「鉛直振動」を感じていると仮定することとした。ただし、この値については今後も検討していく。

以上の条件から、 $L_{Va,HW}<58\text{dB}$ かつ $L_{Va,VW}-L_{Va,HW}\geq 5\text{dB}$ の場合を「鉛直振動」が卓越していた場合とし、 $L_{Va,HW}\geq 58\text{dB}$ かつ $0\text{dB}\leq L_{Va,VW}-L_{Va,HW}<5\text{dB}$ のものを「鉛直振動+水平振動(鉛直振動 $\geq$ 水平振動)」が作用していた場合、これらに当てはまらないものを「その他(水平振動+鉛直振動(水平振動 $\geq$ 鉛直振動), 水平振動等)」と分類

Fig.6 Vibration sensory items for road traffic and Shinkansen railway.

Fig.8 Percentage of the vibration components by conventional line (A floor).

した。

$$L_{Va,HW} = 20 \log_{10} \left(\frac{a_{HW}}{a_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

$$L_{Va,VW} = 20 \log_{10} \left(\frac{a_{VW}}{a_0} \right) \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

ただし、

a_{HW} : 決定周波数の水平振動加速度を評価曲線¹⁾に沿って
1.5~2.5Hzを基準に感覚補正した振動加速度(m/s^2)

Table.2 Number of responses in the physical quantity of vibration (1dB interval).

振動源	$L_{Va,VW}$ [dB]	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	total
在来線	狭帯域											2	1	3	3	1	3	4	6	8	3	4	1	2													41	
	広帯域										2		7	8	8	8	5	11	11	2	1	3															66	
新幹線	狭帯域																								5	6	8	8	14	7		1					49	
	広帯域																						3	13	20	24	19	23	24	14						140		
道路交通 (自動車) (バス) (トラック)	狭帯域					1						1	1	1	1	3	1	3	2		3	1	1		1											20		
	広帯域				2		2	1	4	6	3	4	4	4	6	10	5	2	4	4	2	1		1													65	

振動源	$\Sigma L_{Va,VW}(3dB)$ [dB]	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	total
在来線	狭帯域											2	1	3	3	1	3	4	6	8	3	4	1	2													41	
	広帯域														1	4	8	4	5	9	11	8	8	5	2			1								66		
新幹線	狭帯域																								5	6	8	8	14	7		1				49		
	広帯域																										5	12	16	25	35	28	9	7	3		140	
道路交通 (自動車) (バス) (トラック)	狭帯域					1						1	1	1	1	3	1	3	2		3	1	1		1											20		
	広帯域						1		1		2	3	5	5	6	6	4	7	10	3	4	3	3	1		1										65

Fig.9 Difference between perception in narrowband and broadband evaluations using $L_{Va,VW}$. Fig.10 Difference between perception in narrowband and broadband evaluations using $\Sigma L_{Va,VW}(3dB)$. Fig.11 Difference between discomfort in narrowband and broadband evaluations using $L_{Va,VW}$. Fig.12 Difference between discomfort in narrowband and broadband evaluations using $\Sigma L_{Va,VW}(3dB)$.

a_{vw} : 決定周波数の鉛直振動加速度を評価曲線¹⁾に沿って
3~8Hzを基準に感覚補正した振動加速度(m/s^2)

a_0 : 基準加速度($10^{-5}m/s^2$)

本報で対象とした在来線, 新幹線, 道路交通などの外部振動源では, Fig.8(図中の①~⑧は Fig.4 の測定点及び受振点, N はデータ数を示す)のように当然ながら居室の中央部や端部によって「鉛直振動」や「鉛直振動+水平振動(鉛直振動 $\geq$ 水平振動)」等の卓越しやすい振動成分の割合は異なってくる。そこで, Fig.7 の全対象建物に対する集計結果をみると, 「鉛直振動」の割合が在来線で 70%程度, 新幹線で 85%程度, 道路交通で 60%程度と全ての振動源において「鉛直振

動」が卓越している場合のデータが多く得られ, 「鉛直振動+水平振動(鉛直振動 $\geq$ 水平振動)」を含めると在来線で 90%程度, 新幹線で 99%程度, 道路交通で 80%程度, 全体で 90%程度となった。これは本報で対象とした測定範囲では, A 床~F 床の全ての床で居室の中央部付近での振動測定を多く行ったことから水平振動よりも鉛直振動の方が卓越している場合のデータが多く得られたが, 交通振動の実態として, どの方向の振動成分が多く卓越するかは継続して調査していく必要がある。

4. 決定周波数以外の周波数特性が振動感覚に及ぼす影響

3.の結果から本報では, Fig.7 に示す全ての振動源において「鉛直振動」が卓越していた場合のデータが多く得られたため, ここから

の検討は「鉛直振動」を対象として行うこととした。また、「鉛直振動」が卓越していた床は Table.1 の A 床～E 床であったため、この 5 つの床を対象とした。さらに、同程度の振動に対して被験者と居住者で振動感覚に差が生じる可能性も考えられることから対象家屋の居住者を含まない被験者での検討とした。回答票数の合計は 381 票 (在来線: 107 票, 新幹線: 189 票, 道路交通: 85 票) であった。なお、被験者と居住者の振動感覚にどの程度の差が生じるのかについては大変重要な課題であるため今後の検討課題としている。

1.でも述べたように、居住性能評価指針¹⁾による振動評価方法は知覚確率のみを判断基準とし、1/3 オクターブバンド分析結果の最大値を評価曲線に照合し、接線法による決定周波数の応答加速度で評価することとしている。しかし、振動感覚と対応する評価量は基本的には振動知覚閾以上の応答加速度のエネルギー合成であると考えられる。衝撃振動を対象とした既報²⁾の床振動では、式(2)に示す決定周波数の $L_{va,vw}$ が他の帯域に比べて 3dB 以上の差を有する周波数特性の振動を「狭帯域」、差が 3dB 以内の周波数特性を示す振動を「広帯域」と定義し、両者を比較して決定周波数の $L_{va,vw}$ が同一でも、広帯域の振動の方が感じる程度が増すことを示し、式(3)によるエネルギー合成値を用いる方法を提案し、実用的には十分対応が良いことを示した。この評価物理量が既報²⁾のゴムボール³⁾を用いた内部振動の衝撃振動だけでなく、外部振動の交通振動にも対応するとすれば同様な扱い方が可能である。

$$\sum L_{va,vw}(3dB) = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad [dB] \quad (3)$$

ただし、

L_i : 1/3 オクターブバンド分析による決定周波数を含む決定周波数の $L_{va,vw}$ から 3dB 以内の $L_{va,vw}$ [dB]

n : 1/3 オクターブバンド分析による決定周波数を含む決定周波数の $L_{va,vw}$ から 3dB 以内の $L_{va,vw}$ の数

そこで、本報では、決定周波数以外の周波数成分が人の振動感覚に及ぼす影響について検討を行った。

なお、ここでは既報²⁾の衝撃振動と同様に、式(2)に示す決定周波数の $L_{va,vw}$ が他の帯域に比べて 3dB 以上の差を有する周波数特性の振動を「狭帯域」、差が 3dB 以内の周波数特性を示す振動を「広帯域」と定義した。

Fig.9, Fig.10 に Fig.6 の i) による感じる程度と $L_{va,vw}$ 、感じる程度と $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の関係、Fig.11, Fig.12 に Fig.6 の iv) による不快度合と $L_{va,vw}$ 、不快度合と $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の関係について示す。Fig.5, Fig.6 に示すように用いた振動感覚尺度は在来線と道路交通・新幹線と異なるため、同様の回答肢を用い、5 段階もしくは 4 段階の幅広く回答を得た新幹線・道路交通で集計した。なお、振動感覚についてはカテゴリー尺度法を用いて新幹線と道路交通を併せて尺度化し、感覚量の平均値をプロットしたものである。横軸の $L_{va,vw}$ 及び $\sum L_{va,vw}(3dB)$ は 1dB 間隔で示し、振動感覚においては Table.2 に示す票数が 2 票以上のものを用いた。

既報²⁾の衝撃振動では狭帯域で $L_{va,vw} = 56dB$ 程度から振動を知覚し始めると報告しているが、Fig.9 の感じる程度と $L_{va,vw}$ の関係をみ

Fig.13 Difference between perception in impact vibration and traffic vibration types using $\sum L_{va,vw}(3dB)$.

ると、交通振動でも狭帯域では 56dB 程度で「感じない」から「明かに感じる」へと立ち上がり始めることから、既報²⁾の衝撃振動と同様に狭帯域で $L_{va,vw} = 56dB$ 程度から振動を知覚し始めると判断できる。続いて、狭帯域と広帯域を比較すると、同一の $L_{va,vw}$ で狭帯域に比べて広帯域の方が「明かに感じる」、「感じる」で約 3dB の差があり、感じる程度が増加していることがわかる。次に、決定周波数以外の周波数特性を考慮するために決定周波数の $L_{va,vw}$ から 3dB 以内の他の周波数帯域の $L_{va,vw}$ を合成した Fig.10 の感じる程度と $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の関係をみると、狭帯域と広帯域の感じる程度にほとんど差がなく、非常に良く対応している。Fig.11 の不快度合においても、感じる程度と同様に同一の $L_{va,vw}$ で狭帯域に比べて広帯域の方が不快度合が増すことがわかり、「あまり不快でない」で狭帯域と広帯域の差が 5dB 程度ある。次に決定周波数以外の周波数特性を考慮した決定周波数の $L_{va,vw}$ から 3dB 以内の他の周波数帯域の $L_{va,vw}$ を合成した Fig.12 の不快度合と $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の関係をみると、狭帯域と広帯域の不快度合に「あまり不快でない」で 5dB から 2dB 程度の差に縮まっている。このことから、感じる程度と同様に不快度合においても決定周波数のみの $L_{va,vw}$ よりも 3dB 以内をエネルギー合成した $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の方が対応が良いと考えられる。しかし、感じる程度のような狭帯域と広帯域の対応はみられない。これは、基本的には不快度合は感じる程度とは判断基準が異なり、周波数特性以外にも時間特性の影響があると考えられるためであり、今後は暴露時間及び周波数特性の変化も考慮した検討が必要である。

以上から、感じる程度に関しては既報²⁾の衝撃振動と同様に決定周波数のみの $L_{va,vw}$ よりも 3dB 以内をエネルギー合成した $\sum L_{va,vw}(3dB)$ の方が対応が良いと考えられる。なお、本報においても狭帯域と広帯域の判別のための値において、いくつかのパターンで検討を行ったが、既報²⁾と同様の方法で行った 3dB 以内のエネルギー合成値でも十分に振動感覚との対応が良く、近似できることを示していた。

続いて、Fig.10 の結果を既報²⁾の衝撃振動と比較する。Fig.13 に $\sum L_{va,vw}(3dB)$ と感じる程度での衝撃振動と交通振動の比較を示す。交通振動である新幹線+道路交通(広帯域)の「明かに感じる」で 65dB、「感じる」で 69dB に対し、衝撃振動(広帯域)の「明かに感じる」で 63dB、「感じる」で 72dB と約 2~3dB の差が生じている。これは、既報²⁾の衝撃振動と本報で対象とした鉄道や道路等の交通振動での立ち上り特性の違いによる効果が影響していると考えられ

るため、今後の検討課題とする。

5. まとめ

既報²⁾で提案した居住床を対象とした感じる程度を表す決定周波数の振動応答及び決定周波数の応答加速度から3dB以内の振動応答成分をエネルギー合成する実用的な評価物理量をより実用に供するために、鉄道や道路等の交通振動に対する鉛直振動を対象として、日常的に振動が発生している実際の住宅を用いて検討を行った。その結果、感じる程度を対象に評価すると、本報で扱った振動の周波数特性の範囲では既報²⁾の衝撃振動と同様な傾向を示すことがわかった。その内容を下記に示す。

- (1). 狭帯域成分の周波数特性を持つ振動応答の場合には、既報²⁾の衝撃振動と同様に、狭帯域で $L_{va,vw}=56\text{dB}$ 程度で知覚し始めることが示唆された。
- (2). 振動を感じている $L_{va,vw}=56\text{dB}$ 以上の範囲では、狭帯域成分の振動応答と広帯域成分を含む振動応答では同じ $L_{va,vw}$ でも広帯域成分を含む振動応答のほうが感じる程度、不快度合が増すことが示唆された。すなわち、振動感覚に及ぼす影響として、決定周波数以外の周波数特性が要因の一つである可能性が示唆された。
- (3). 狭帯域成分の振動応答と広帯域成分の振動応答について、振動の感じる程度に対応する評価物理量の検討として、振動を感じている $L_{va,vw}=56\text{dB}$ 以上の範囲では、既報²⁾の衝撃振動と同様に決定周波数の $L_{va,vw}$ 及び他の周波数帯域が決定周波数の $L_{va,vw}$ より3dB以内の値をエネルギー合成する方法である $\sum L_{va,vw}$ (3dB)を用いた結果、実用的には振動感覚と十分良い対応を示した。

今後は、感じる程度だけでなく、周波数特性や時間特性等が不快度合にどの程度の影響を及ぼすかさらに検討し、対応の良い評価物理量を検討していく必要がある。しかし、居住性能の評価基準については長期に亘る生活の中での居住者反応を対象として求めていくべきものであるため、被験者評価に基づく実験的研究だけでなく居住者反応である社会調査も並行して行うべきである。

また、本報では鉛直振動のみが卓越している場合の検討を行ったが、実際には鉛直振動と水平振動が同時に暴露される場合や水平振動のみが卓越する場合もあるため、鉛直振動と水平振動が複合された場合や水平振動のみが卓越する場合等の検討も今後進めて行きたい。

参考文献

- 1) 日本建築学会編：建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説，2004.5
- 2) 富田隆太，井上勝夫：居住床を対象とした衝撃振動の周波数特性が人の振動感覚に与える影響，日本建築学会環境系論文集，第705号，pp.927～935，2014.11
- 3) JIS A 1418-2:2000：建築物の床衝撃音遮断性能の測定方法—第2部：標準重量衝撃源による方法
- 4) 横山裕，天野豊章：道路交通振動の感覚上の大きさを表示する物理量の設定，日本建築学会構造系論文集，第563号，pp.37～44，2003.1
- 5) 横島潤紀，田村明弘：新幹線沿線住民の振動被害感を構成する要因に関する研究，日本建築学会計画系論文集，第526号，pp.1～7，1999.12

- 6) 横島潤紀，田村明弘：新幹線鉄道の騒音と振動による複合被害感，日本音響学会誌，第62巻9号，pp.645～653，2006
- 7) 横島潤紀，森原崇，太田篤史，田村明弘：新幹線鉄道騒音に関する評価指標の再検討，日本音響学会誌，第67巻8号，pp.321～330，2011
- 8) 松本泰尚，国松直：外部振動源による建物振動の知覚閾評価に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D1，401～402，2013.8
- 9) 松本泰尚，横島潤紀：交通振動に対する社会反応と振動評価量の関係に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，D1，387～388，2014.9
- 10) International Organization for Standardization：Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—part1：General requirements, ISO 2631-1,1997
- 11) International Organization for Standardization：Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—part2：Vibration in buildings(1Hz to 80Hz), ISO 2631-2,2003

[2015年5月19日原稿受理 2015年10月27日採用決定]