

○松本泰尚（埼玉大），国松直（産総研），△石川孝重，△野田千津子（日本女子大）

### 1. はじめに

環境振動の評価においては、国際的なコンセンサスとして、振動の大きさが人間の振動知覚閾をわずかでも上回れば振動に対する苦情等の住民反応が現れ得ることから、評価方法や基準値などを設定する際に振動知覚閾が重要な情報であると考えられている<sup>1)</sup>。振動知覚閾については、連続正弦振動に対する知覚閾に関する知見の蓄積はある程度なされており、振動方向や人の姿勢に依存することが知られている<sup>2,3)</sup>。一方、実際の居住環境下で発生している振動は、振動源の特性や地盤・建物の動的特性により様々な周波数および時間特性を持つことから、それら実振動に対する知覚閾の評価に連続正弦振動に対して得られた知見を直接適用することは難しいことが予想される。このことを示唆する例として、正弦振動の振動継続時間がある長さより短い場合に、知覚閾での振幅が大きくなる傾向が示されている<sup>4,5)</sup>。本報では、実振動に対する知覚特性の解明に向けた検討の一つとして、実測された交通振動および実振動に近い条件を持つ合成振動を入力波形として、被験者を用いた振動実験を実施し、それらの振動に対する知覚特性について検討した結果を紹介する。

### 2. 交通振動を用いた実験の概要

本報で紹介する2つの実験はいずれも、日本女子大所有の動電型の加振装置を用いた振動台を使用して実施した。振動台上には3m四方の居室が設置されており、1セットの実験につき居室の床に直接座った被験者8人に対して実験を行った。本実験では、実際に戸建住宅内で測定した交通振動を入力波形として用いており、被験者は18~22歳の女性40人である。入力振動は被験者に対して水平（左右）方向である。実験時間の制約から、用いた交通振動の波形は全6種類とし、卓越振動数や振動性状の異なる30秒間の振動を用いた。6種類の振動の内訳は、道路交通振動4種類、および鉄道振動2種類とした。図1に入力振動の例を示す。また、交通振動の卓越成分に対応する振動数である5, 8, 13.5, 19 Hzの連続正弦振動も入力振動として用いた。実験では、各振動波形対

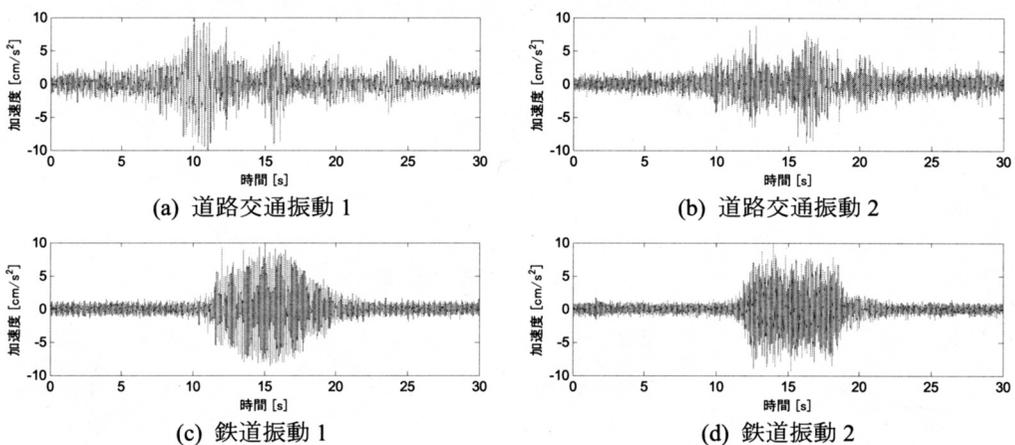


図1 交通振動を用いた入力振動の例

\*An Investigation of Perception of Traffic Induced Vibration By Yasunao MATSUMOTO (Saitama Univ.), Sunao KUNIMATSU (AIST), Takashige ISHIKAWA and Chizuko NODA (Japan Women's Univ.)

し加速度ピーク値が 1.6, 4, 10, 25 cm/s<sup>2</sup> となるような入力振動を被験者に与えた。以上のとおり、交通振動 6 種類と正弦振動 4 種類、振幅 4 種類の計 40 種類の入力振動を用いた。各振動暴露後に、知覚に対する 5 段階のアンケート(「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」)への回答を被験者に求めた。以下に示す結果では、「まったく感じない」以外の回答をした被験者数の全被験者数に対する割合を知覚確率として整理している。

### 3. 交通振動に対する知覚特性

図 2(a)に、図 1(a),(b)で示した道路交通振動に対する知覚確率を示す。入力振動の大きさの評価には、JIS C 1510<sup>6)</sup>に規定された水平方向の振動レベルを用いている。図には、知覚確率と振動レベルの関係に対する対数正規分布による近似曲線を、参考のために示している。図から分かるように、振動レベルの変化による知覚確率の推移は道路交通振動 1 と 2 で同様の傾向を示している。ここで、道路交通振動 1 は、5 Hz 付近に単一の卓越振動数を持つ振動であった。道路交通振動 2 は、5 Hz と 15 Hz 付近に卓越振動数成分を持つ振動であったが、水平方向の連続正弦振動に対する知覚閾に関する既往の研究結果から<sup>2,3)</sup>、5 Hz の成分が知覚に支配的な影響を与えるものと推察できた。これらのことから、図 2 には、2 つの道路交通振動の卓越振動数成分に対応する 5 Hz の連続正弦振動に対する知覚確率も示している。振動レベル 56 dB 程度の知覚確率に着目すると、道路交通振動の方が正弦振動より 30%程度知覚確率が低い、すなわち知覚し難い傾向にあったことが分かる。

同様に、図 2(b)に、図 1(c),(d)で示した鉄道振動に対する知覚確率を示している。鉄道振動 1 は 8 Hz 付近、鉄道振動 2 は 8 Hz と 19 Hz 付近に卓越振動数成分を持つ振動であった。鉄道振動 1 については、入力振動の大きさを水平方向の振動レベルを用いて評価した。一方、鉄道振動 2 に対しては、居室の共振によって鉛直方向にも 19 Hz の比較的振幅の大きい振動の発生が認められ、振動の測定結果および既往の知覚閾に関する知見<sup>2,3)</sup>より、鉛直振動の知覚への影響が支配的になることが推察されたので、入力振動の大きさの評価には鉛直方向の振動レベルを用いた。図 2(b)には、それぞれの鉄道振動に対応する 8 Hz および 19 Hz の連続正弦振動に対する知覚確率も示しているが、8 Hz は水平方向の振動レベル、19 Hz は上述の理由から鉛直方向の振動レベルを用いている。また、図には、対数正規分布による近似曲線も合わせて示しているが、鉄道振動 2 については 43 dB 程度で得られたデータを除いて求めた近似曲線としている。図より、鉄道振動 1 は対応する 8 Hz の連続正

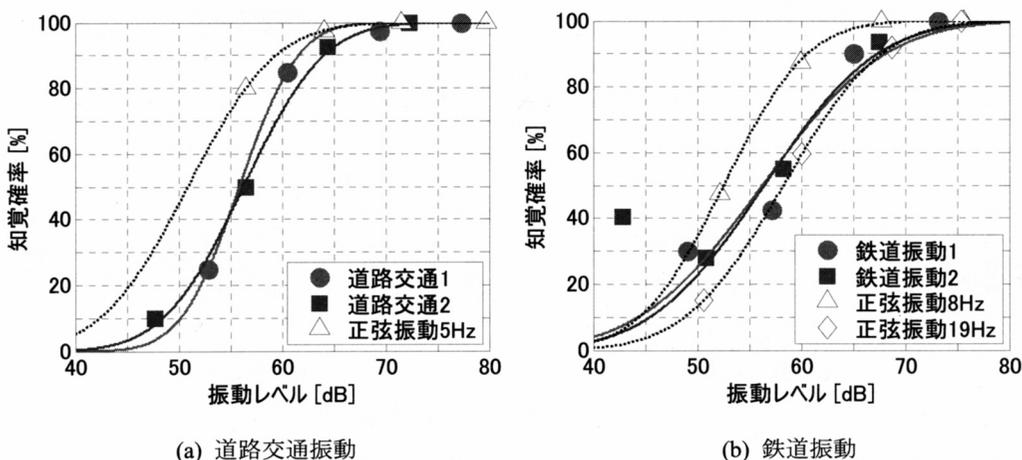


図 2 交通振動および対応する正弦振動に対する知覚確率と振動レベルの関係

弦振動に比べ20%程度知覚確率が低くなる振動レベルの領域があるのに対し、鉄道振動2は対応する19 Hzの正弦振動と同程度の知覚確率を示していることが分かる。これは、鉄道振動2は振幅が概ね等しい時間が長いことが関係しているものと考えられる(図1(d))。2つの連続正弦振動に対する知覚確率と振動レベルの関係に明確な差が認められたことは、今後検討すべき課題である。

#### 4. 合成振動を用いた実験の概要

本実験では、交通振動の知覚に関するより基礎的な知見を得ることを目的に、合成振動を入力波形とし、18~20歳の女性被験者32人が参加した。入力波形とした振幅変動振動は、1.6, 6.3, 25 Hzの正弦振動をハニングウィンドウで振幅変調した20秒間の振動とした。既往研究<sup>7)</sup>で示されている正弦振動に対する知覚閾の振動数特性を踏まえ、これらの振動数を用いたが、6.3Hzについては、一般的な木造家屋の1次固有振動が生じる周波数領域に対応することからも選択した<sup>8)</sup>。ハニングウィンドウの長さは、道路交通振動を想定し、1.25, 2.5, 3.75秒程度とし、振動の周期に応じて微調整している。振幅変動振動は、2.5秒のウィンドウによる波形が3回連続して発生するパターンと、ウィンドウを2.5, 3.75, 1.25秒の順で用いた波形が発生するパターンの2種類とした。図3にウィンドウ長が異なるパターンの入力振動の例を示す。さらに、比較のため継続時間10秒の連続正弦振動も用いた。振動の大きさは、前述の実験と同様に、1.6, 4, 10, 25 cm/s<sup>2</sup>の加速度ピーク値を目標値とした。以上のおおりに、振動数3種類、振幅変動パターン3種類、振幅4種類の計36種類の振動を入力振動としている。各入力振動に対する被験者の反応は、振動暴露後に実施する前述と同様のアンケート、および手持ちのスイッチにより測定した。スイッチについては、それぞれの過渡的振動に対する反応を測定するため、振動を知覚している間押し続けるように被験者に指示した。以下に示す結果では、アンケートについては「まったく感じない」以外の回答をした被験者数、スイッチについては個々の過渡的振動に対してスイッチを押した被験者数それぞれの全被験者数に対する割合を知覚確率として整理している。

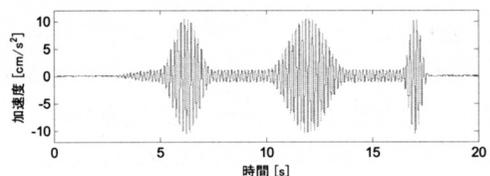


図3 ウィンドウ長が異なるパターンの入力振動の例。順に2.5, 3.75, 1.25秒のウィンドウ。6.3 Hz。

#### 5. 合成振動に対する知覚特性

6.3 Hzの正弦振動を2.5, 3.75, 1.25秒のウィンドウで振幅変調した過渡的振動が順に発生する振動(図3の波形)、および6.3 Hzの連続正弦振動に対して、知覚確率と水平方向の振動レベルの関係を図4に示す。図中の「正弦振動」、「振幅変動」はアンケート結果に、「過渡振動」は個々の過渡的振動に対するスイッチによる結果にそれぞれ対応する。また、知覚確率と振動レベルの関係に対する対数正規分布による近似曲線も合わせて図に示している。まず、アンケート結果に着目すると、52~53 dBでは連続正弦振動、振幅変動振動ともに35%程度の知覚確率を得たが、60 dB程度では両者の知覚確率の差が顕著であり、40%程度の被

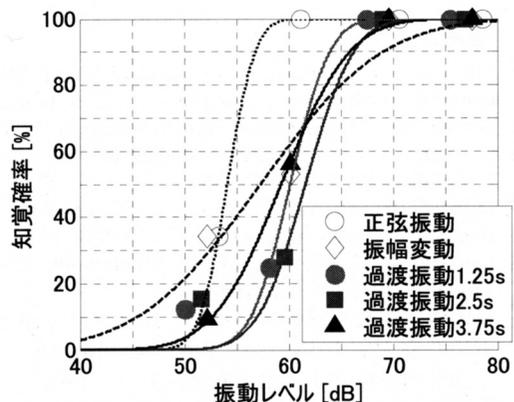


図4 合成振動に対する知覚確率の例。6.3 Hz。

験者は連続正弦振動のみしか知覚しなかったことが分かる。つぎに、振幅変動振動（3回の過渡振動）に対するアンケート結果と、個々の過渡振動に対するスイッチによる結果を比較すると、50～52 dB では振幅変動振動の知覚確率がいずれの過渡振動の知覚確率よりも高い。これは、被験者がいずれかの過渡振動を知覚したことにより振幅変動振動を知覚したと判断したことを示唆する結果である。一方、60 dB 程度では最も長い過渡振動と振幅変動振動の知覚確率が55%付近でほぼ同程度となっており、この場合は振幅変動振動の知覚において最も長い過渡振動の知覚が支配的であった可能性がある。

## 6. 交通振動と合成振動の比較

図5は、上述の2実験において、振動数および時間特性が比較的近かった5 Hz 付近に卓越振動数成分を持つ道路交通振動、6.3 Hz の振幅変動振動、および対応する連続正弦振動に対して、知覚確率を比較している。両実験では、連続正弦振動に対して低い知覚確率が得られるような振幅を用いることができなかつたことなど、実験条件に限りがあるものの、特に振動レベル55～60 dB の範囲において、連続正弦振動に対する知覚確率が道路交通振動と合成振動に比べ20～30%程度高い傾向にあったことが分かる。

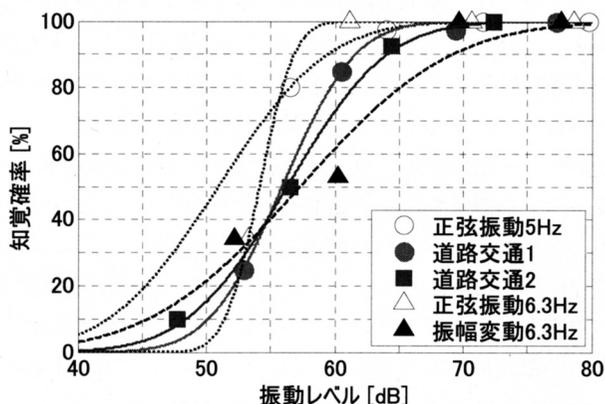


図5 道路交通振動（5.0Hz 付近に卓越成分）、合成振動6.3Hz および対応する連続正弦振動に対する知覚確率の比較。

## 7. おわりに

戸建住宅で測定された水平方向の道路交通振動を用いた被験者実験より、実験で用いた5～6 Hz 付近に卓越振動数成分を持つ道路交通振動は、対応する振動数の連続正弦振動と比較し、同程度の振動レベルであれば知覚される確率は低いことを示した。実振動を想定して振動数や振幅の変化を制御した合成振動を用いた本実験による結果は、実振動に対する知覚閾の合理的な評価法の構築につながる可能性を示すものと考えている。今後種々の条件での実験結果の蓄積が必要であると考えられる。なお、本研究の一部は、環境省予算によっている。記して謝意を表す。

## 8. 参考文献

- 1) International Organization for Standardization: Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), ISO 2631-2, 2003.
- 2) Griffin, M. J.: Handbook of Human Vibration. Academic Press, London, 1990.
- 3) Matsumoto, Y.: A review of studies of whole-body vibration perception thresholds. Inter-Noise2006, Honolulu, USA, in06\_340, 2006.
- 4) Miwa, T., Yonekawa, Y., Kanada, K.: Thresholds of perception of vibration in recumbent men. Journal of Acoustical Society of America, 75, 849-854, 1984.
- 5) Parsons, K. C., Griffin, M. J.: Whole-body vibration perception thresholds. Journal of Sound and Vibration, 121, 237-258, 1988.
- 6) 日本規格協会：振動レベル計。JIS C 1510, 1995.
- 7) 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関する検討, 日本建築学会計画系論文集, 第506号, 9～16, 1998.
- 8) 宮澤健二編著：目でみる木造住宅の耐震性, 東洋書店, 2007.