

振動と音を同等の大きさに感じるレベルの検討

Investigation of equally feel level the strength of the vibration and sound

○米田圭佑¹, 松田礼², 町田信夫²

*Keisuke Yoneda¹, Hiroshi Matsuda², Nobuo Machida²

Abstract: The purpose of this study is to determine the relationship between vibration sensation and sound. The equivalent strength level of vibration and noise was measured by adjusting sound volume. We examined the superiority of vibration and sound by simultaneously exposing vibration and sound to subjects. From the experimental results, it was found that the equivalent sound level which vibration and sound strength felt equal was proportional to vibration level and had bandwidth of about 15dB.

1. はじめに

人間が振動を受けた時に感じる振動の強さや不快感を振動感覚といい、自動車や鉄道などの乗り物の設計・評価では振動感覚のデータを導入することが重要である。これらの乗り物は走行中に振動と音が同時に発生するため、音を考慮した振動感覚の評価が必要となるが、ISO 2631 の全身振動評価規格では振動のみを対象としており、音の影響は考慮されていない。

著者らは、これまでに振動感覚に与える音の影響を実験的に検討しており、振動条件によって振動感覚に影響を与える音の大きさが異なる可能性を示した^[1]。そこで本研究では、振動条件によって振動と音を同等の大きさに感じる等感覚点があると仮定し、振動周波数と振動加速度レベルが異なる複数の振動条件毎に音を同時暴露する実験を行った。本報では、音の大きさを調整することで振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベルを求め、それを基に振動と音の優位性について検討した結果を報告する。

2. 実験条件

振動条件を Table 1 に示す。自動車と鉄道から発生する振動を想定し、振動周波数は 2~16Hz の 4 条件、振動の大きさは振動加速度レベル (VAL, 基準値: $10^{-5}m/s^2$) が 70~90dB の 5 条件とした。一部の実験の解析には JIS C 1510 の周波数補正值で振動加速度レベルを補正した振動レベル (VL) を用いた。

音条件を Table 2 に示す。音は雑音として周波数パワースペクトルが一定のホワイトノイズ (WN)、楽音として歌詞による影響がないことやテンポのばらつきが小さいことなどを考慮して選定した「展覧会の絵~プロムナード~」、変動雑音として WN の騒音レベルを楽音のテンポ (90BPM) に合わせて時間変動させた変動雑音 (変動 WN) を用いた。

Table 1. Vibration conditions

周波数	VAL (VL) [dB]				
2Hz	70 (67)	75 (72)	80 (77)	85 (82)	90 (87)
4Hz	70 (70)	75 (75)	80 (80)	85 (85)	90 (90)
8Hz	70 (69)	75 (74)	80 (79)	85 (84)	90 (89)
16Hz	70 (64)	75 (69)	80 (74)	85 (79)	90 (84)

Table 2. Sound conditions

音の種類		テンポ
雑音	ホワイトノイズ (WN)	—
楽音	展覧会の絵 ~プロムナード~	90BPM
変動雑音	変動 WN	90BPM

3. 振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベルの測定

3.1 実験方法

被験者は振動加振機の上に着座させ、Table 1 の鉛直方向の全身振動を腰部から暴露し、Table 2 の音を同時に暴露する。「振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベル ($L_{Aeq,T=30[s]}$, 以下等感覚音)」は上昇系列と下降系列の 2 方向からの調整法により測定した。実験に用いる音はヘッドホンより両耳に直接暴露し、被験者にはアンプのリモコンによって音の大きさを調整させた。実験開始音量は、下降系列は $L_{Aeq,T=30[s]}=60dB$ 、上昇系列は $L_{Aeq,T=30[s]}=20dB$ である。実験のタイムテーブルは調整時間を最大 180 秒とし、被験者が調整の終了を宣言した時点で刺激暴露を終了し、休憩 60 秒を 1 条件として繰り返し行った。連続実験時間は被験者の負担を考慮して最大 45 分までとした。被験者は大学生 10 人である。

1 : 日大理工・院 (前)・精機 2 : 日大理工・教員・精機

3.2 実験結果・考察

Figure 1 に実験結果を示す。上昇系列，下降系列のいずれの結果も，振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベルは振動レベルに比例していることが分かる ($R^2=0.8$ 以上，標準偏差 10dB 程度)。また，2つの系列間には約 15dB の差があり，全条件において， t 検定による有意差が確認された ($p<0.05$)。そこで，振動条件毎の「振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベル」は 1 点に定まるのではなく，15dB 程度の幅をもつ帯域（等感覚帯域）であると再仮定した。本研究では，下降系列の値を「帯域上限」，上昇系列の値を「帯域下限」として，両者の平均値を「等感覚音」とした。また，振動と音の優位性を検討するため，前述の帯域上限・下限，等感覚音以外の音量も設定し，振動と音のどちらを強く感じるかを被験者に回答させた。ここで，帯域上限に 10dB 加えた音量を振動よりも音を強く感じる「音優位」，帯域下限から 10dB 引いた音量を振動よりも音を弱く感じる「振動優位」と定義した。

4. 振動と音の優位性の検討

4.1 実験方法

Table 1 から VAL75dB, 85dB を除いた振動条件と Table 2 の音条件，Figure 1 の結果を基に設定した音量を用いて振動と音の優位性について検討した。振動と音の刺激暴露時間を 30 秒，刺激暴露後のアンケート回答・休憩を 60 秒，計 90 秒を 1 条件とし，繰り返し実験を行った。連続実験時間は被験者の負担を考慮して最大で 45 分までとした。評価方法は暴露した刺激について，振動と音のどちらを強く感じたかを「振動」，「同等」，「音」の 3 段階の尺度を用いて測定した。

4.2 実験結果・考察

Figure 2 に振動周波数 8Hz の振動に WN を暴露した時の振動と音の優位性に対する回答割合を示す。音の種類によらず同様の傾向がみられ，音優位では，ほとんどの被験者が音を強く感じていた。振動優位では，VAL70dB で振動を強く感じると回答する割合が 60% 程度（変動 WN では 40%，楽音では 30% 程度）であるが，VAL80dB, 90dB では振動を強く感じる割合が多ことから，音優位と同様，振動と音の優位性の判断は妥当であると考えられる。しかし，等感覚帯域である帯域下限，等感覚音，帯域上限における共通点として，VAL70dB では音を強く感じ，VAL が大きくなると振動を強く感じる割合が増加することから，等感覚帯域では VAL の大きさの影響を強く受けると考えられる。また，等感覚帯域において，「同等」と回答した割合は，

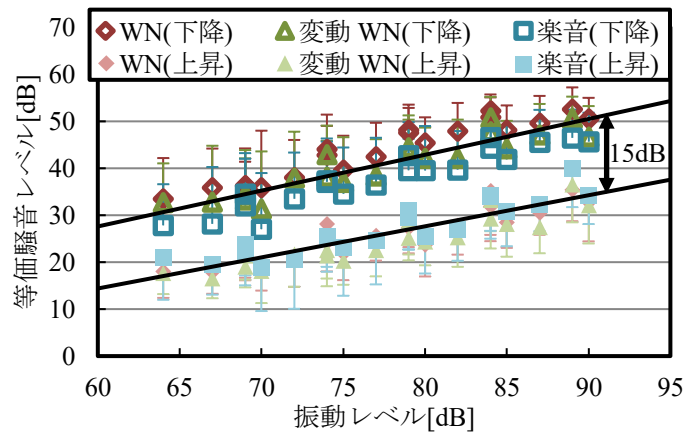


Figure.1 Equally feel level the strength of the vibration and sound

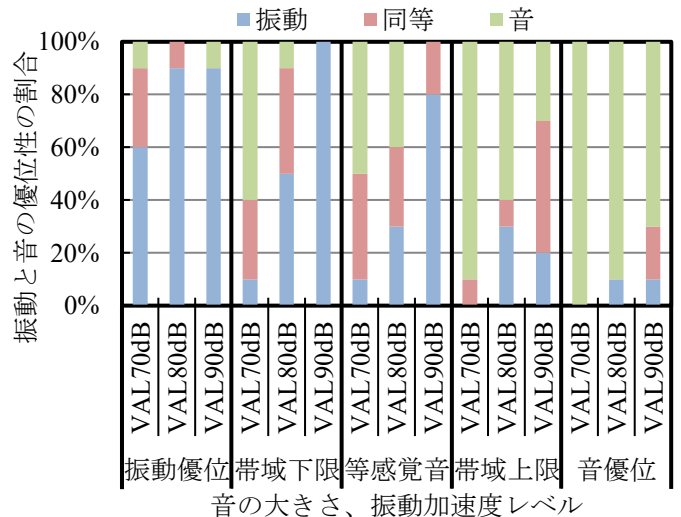


Figure.2 Superiority of vibration and sound (8Hz,WN)

最大で 50% 程度であり，等感覚帯域の音量を必ずしも振動と同じ大きさに感じているとは言えない。よって，本実験における等感覚帯域は，「振動と音を同等の大きさに感じるレベル」ではなく，「振動と音の優位性が変わる領域」という解釈が妥当であると考えられる。

5. おわりに

「振動と音を同等の大きさに感じる等価騒音レベル（等感覚音）」を調べた結果，等感覚音は振動レベルに比例して増加し，15dB 程度の幅をもつことが分かった。振動と音の優位性を検討した結果，振動優位と音優位では振動と音の強度はほぼ正しく判断されることが分かった。しかし，等感覚帯域では，「同等」と回答した割合が少ないことから，「振動と音を同等の大きさに感じるレベル」は「振動と音の優位性が変わる領域」という解釈が妥当であると考えられる。

6. 参考文献

[1] 寺山 聡 他：「振動と音の複合作用に関する研究」，人間工学，Vol.51，Supplement，pp.164-165，2015。