

低周波複合音に対する人間の知覚特性の解明に関する実験的一検討

埼玉大学大学院 学生員 ○佐々木貴史

埼玉大学工学部 正会員 松本泰尚，山口宏樹 津田亜貴子

1. 研究背景・目的

人間が聴覚で感知できる音の周波数範囲は一般に 20Hz～20kHz と言われている。そのうち、人間の感度が相対的に低い 80Hz 以下の音（低周波音）に起因するとされる心理的・生理的苦情などの生活環境上の問題が近年多発しており、その解決が困難な場合も少なくない。その背景の一つとして、低周波音に対する人間の心理応答特性に対する理解が不十分であることが挙げられる。特に、複数の周波数成分によって構成される複合低周波音に対する心理応答は、現実の生活環境上の問題を検討する際に重要となるが、その特性はほとんど解明されていない。そこで、本研究グループでは過去数年間、複合音に対する人間の心理応答特性に関して研究を継続しており、低周波音領域の帯域ノイズに対する心理応答特性とその現行の方法による評価結果の差異¹⁾、低周波音領域におけるマスキング効果の存在²⁾、また複合音に対するアノイアンスに関する基礎的な特性³⁾を明らかにしてきた。これらの結果を踏まえ、本研究では、2つの周波数成分を組み合わせた複合音に対する被験者の知覚閾値を測定し、純音に対する知覚閾値と比較することにより、複合音の知覚特性に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 知覚閾値測定実験

(1) 実験概要

複合音及びそれを構成する周波数成分に対応する純音に対する知覚閾値を測定するため、被験者を用いた実験を実施した。被験者は15人で、年齢18～25才の男性8人、女性7人とした。実験に先立ち、オーディオメーターにより各被験者の聴覚に異常が無いことを確認した。また実験は、試験音に対する暗騒音の影響が少ない夜間に遮音室内で行った。知覚閾値測定方法はISO 389-7に推奨されている上昇法を採用した。

(2) 試験音および実験方法

実験では、25Hz、31.5Hz、40Hz、50Hzの周波数の低周波音を用いた。ここで、本実験では複合音を2つの周波数成分により構成する音とし、このうち一方の周波数成分を被験者が感知できないと想定される音圧レベルに固定した上で複合音を作成し、その音の有無が閾値に与える影響を検討する事とした。すなわち、上記4種類の周波数の純音の知覚閾値を測定し、得られた25Hzの音の知覚閾値から5dB及び10dB低い音圧レベルの音を付加音とし（図1）、その音と31.5Hz、40Hz、50Hzいずれかの純音を同時に発生させて複合音とした。従って、複合音については、全6ケース（表1）で測定を行った。ここで、それぞれの複合音は、実験に先立ってPC上で作成した信号を、アンプとウーハースピーカーで構成されるシステムに入力することで発生させ、システム特性による発生音への影響は、入力信号の調整により補正した。実験で用いた試験音の継続時間は1秒であり、前出のISOによる推奨に従った。

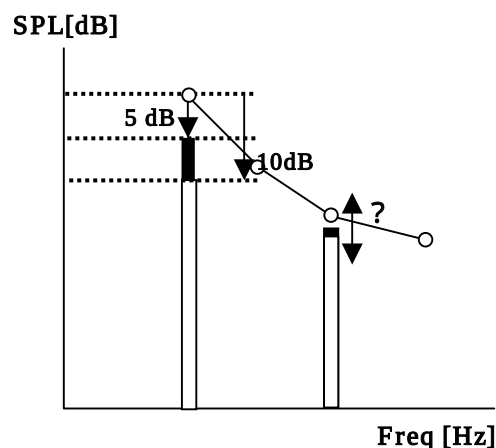


図1 複合音の概略図

表1 測定した複合音

付加周波数 主要周波数	25Hz	31.5Hz	40 Hz	50Hz
25Hz (閾値 -5dB)		測定	測定	測定
25Hz (閾値 -10dB)		測定	測定	測定

キーワード 低周波音，複合音，被験者実験，知覚閾値，心理応答

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学工学部建設工学科 TEL/FAX : 048-858-3557

（３）実験結果および考察

実験結果を図 2(a), (b) に示す。また、ISO 387-9 で規定された順音に対する標準的な知覚閾値を比較のために示している。

実験結果から、純音と複合音との知覚閾値の差に被験者間でばらつきが見られ、周波数によってもその変化に個人差が見られた。また、この結果を男女別に比較すると、どの実験条件においても差が見られ、男性の方が女性に比べ低周波音に対して敏感であったことがわかる。しかし周波数が高くなるに連れその差は減少する傾向がある事もわかる（図 2(a)）。

また、図 2(b) に示されるとおり、純音および複合音に対する閾値を比較すると、特に 31.5Hz の音に 25Hz の周波数成分が付加された複合音の場合、31.5Hz の純音に比べ被験者は複合音を知覚しやすかったことがわかる。その他の周波数の組み合わせでも、若干ではあるが同様の傾向が見られた。また、複合音の知覚閾値は、付加させた周波数成分の音圧レベルが大きい程、下がる傾向がある事もわかった。

実験で用いた各複合音の知覚閾値測定結果において、純音の閾値との差が有意であるかどうかを確認する為、Wilcoxon の符号付き検定(有意水準 5%、両側検定)を行った。その結果を表 2 に示す(表 2 の ~ は、表 1 に対応)。この結果より、知覚閾値より 5dB 低い音圧レベルの 25Hz の音と 31.5Hz の音の組み合わせにより構成される複合音の場合のみ、対応する純音の知覚閾値との差が有意であることがわかった。その他の組み合わせでは、複合音と純音の知覚閾値に有意な差は認められないという結果となった。

3. まとめ

本実験で使用した複合音を構成した音の周波数領域は 25Hz から 50Hz という比較的狭い帯域であったため、中高周波数領域の音に対する既往の知見から類推して、本実験での複合音の知覚においては、近接する周波数成分ごとの知覚が互いに影響を及ぼしあうことで、全ての周波数の組み合わせにおいて複合音の知覚閾値が純音の知覚閾値を下回る傾向が見られることが予測された。しかしながら、実験結果からは 25Hz の不可聴音が知覚閾値に有意に影響を及ぼした周波数の組み合わせは、25Hz と 31.5Hz で、その 25Hz の音圧レベルを知覚閾値の -5dB に設定した場合のみであった。

本研究により、単独では知覚されない音の存在により、他の近接する周波数の音が知覚されやすくなる現象が低周波音領域において見られることが明らかとなった。この複合音に対する知覚特性を定量的に評価するために、今後、異なる周波数の組み合わせや音圧レベルの設定に関しても検討を行うこととしている。

参考文献

1) 山田和洋他：複合低周波音に対する知覚特性と低周波音評価法の妥当性の検討．土木学会第 57 回年次学術講演会講演概要集，I-564，2002． 2) Subedi, J. K. *et al.*: Masked perception thresholds of low frequency tones under background noises and their estimation by loudness model. J. of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 23, 145-157, 2004. 3) Subedi, J. K. *et al.*: Annoyance of low frequency pure tones and effect of one additional tone. 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集，VII-162，2004.

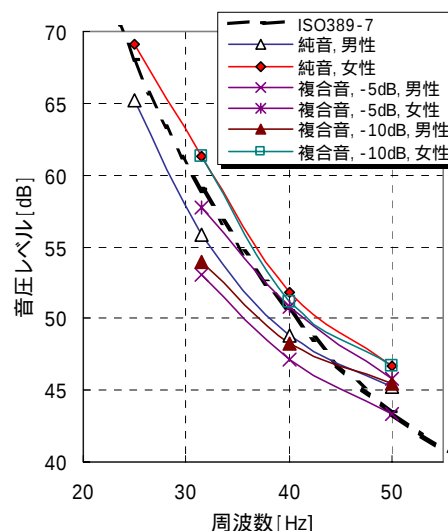


図 2 (a) 性別間の閾値測定結果
(中央値)

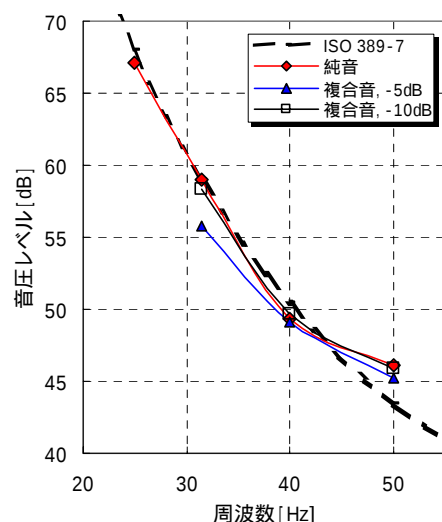


図 2 (b) 全被験者の閾値測定結果
(中央値)

表 2 漸近有意確率

0.004	0.099	0.158	0.388	0.06	0.433