

## 鉄道振動に係る感覚反応実験について (第2報)

青木 一郎 上原 幸雄

### 1 はじめに

振動に係る人間の感覚反応は、加振する側の条件、受振する側の条件によって様々に変化するようである。

鉄道の振動を測定する場合には、鉄道付近の平らな土の上か、舗装された道路面上に測定点を定め、ここにピックアップを置いて測定を行っている。ピックアップを土と舗装面の同一距離に置き測定してみると、振動レベルもレベル差が認められるが、振動のスペクトルにもかなりの相違が表れるようである。スペクトルの相違は、人間の振動感覚上にも、相応の相違となって表れると考えられる。人間が振動を感じるのは、多く家の中で座したり、寝たりのくつろいでいる状態であるが、この実験では、ピックアップを置いた場所—土の上と舗装道路—に人間が座した時、このピックアップ設置場所の違いによる両者のスペクトルの相違が、人間の振動感覚上、どのような感覚となって表れるかを明らかにするため、それぞれのスペクトルにより実験を行った。

1988年報<sup>1)</sup>では、土の上の振動スペクトルについての実験を行い、報告したところであるが、今年は舗装道路上の振動スペクトルについて実験を行ったので、以下、その結果についての報告をする。

### 2 実験の概要

#### (1) 実験の種類

実験は、前年度と同じく、鉄道振動感覚反応実験と、これと対比検討するための正弦振動等感反応実験について実施したが、今年の鉄道振動感覚反応実験については、平坦、切取、高架の3種類を、舗装道路上で測定時の振動パターンにより行った。正弦振動等感反応実験は8、16、32、52Hzの4種類の周波数について行った。

#### (2) 振動パターンと実験用テープ

##### ア 鉄道振動感覚反応実験

図1～3は鉄道振動感覚反応実験(以下、「鉄道振動」という。)に用いた平坦、切取、高架の加速度レベルの振動パターンとFFTによるピーク時の周波数分析の結果である。

この実験に用いた鉄道振動のレベル推移は、測定地点の直前を通過する一列車の振動について、通過前から通過後迄の約10秒間の信号を元にして作成したものである。

実験用テープの作成方法は、各構造別に各構造を代表すると思われる振動パターンを選定し、これを元パターンとして、これから実験用テープを作成することとした。

実験用のテープは、10秒間の信号入力後、20秒間の休止時間を設けた1信号約30秒間のテープを、振動レベルで54dB～85dBまでの各レベルを1dBごと、ランダムに出現するものとした。ランダム配置は、乱数サイにより出現順序を決定し、各構造共、別々の出現順序となるように配慮した。1本のテープの時間の長さは約18分である。

##### イ 正弦振動等感反応実験

正弦振動等感反応実験(以下、「正弦振動」という。)は、上記の4種類の周波数について、振動レベルで54dBから84dBの間レベルを変動させた場合、各周波数により感覚上相違があるか否かについて実験した。

そこで、実験用テープは各周波数について、最初に54dBの信号を約30秒間入力し、その後2dB上昇させて30秒間入力する方法を順次繰り返して84dBまで上昇させる上昇系列と、84dBの信号を30秒間入力した後、2dB下降させて30秒間入力する方法の繰り返しによって54dBまで下降する、下降系列とを組合せて1サイクルの

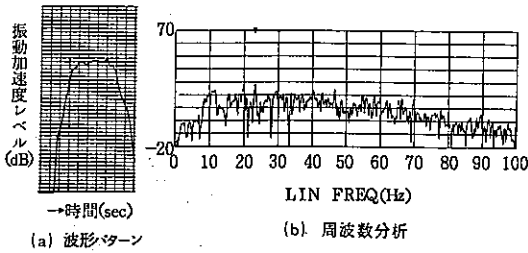


図1 平坦構造の振動パターンと周波数分析

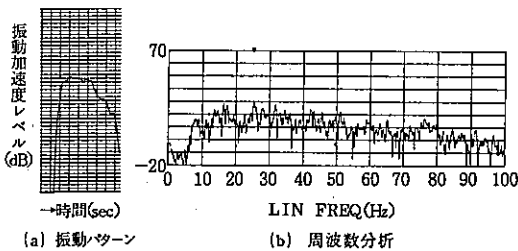


図2 切取構造の振動パターンと周波数分析

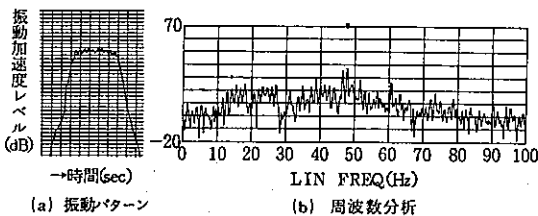


図3 高架構造の振動パターンと周波数分析

テープとした。1本のテープの時間は約20分である。

(3) 実験室及び実験装置

実験室及び実験装置は前年と全く同一の条件で実施したので、詳細については前報を参照されたい。

(4) 実験の条件

ア 被験者

被験者は、18歳から22歳までの健康な男子青年10名を選定した。

イ 室内条件

実験室は、外部からの騒音、振動について、実験、研究に差支えない低レベル状態に維持するよう整備した。

被験者にはイヤーマスクを装着させて、不必要なノイズを防止した。

3 実験の方法

(1) 実験の方法

実験は、被験者に同一の振動を3日間印加したが、第1日目は振動についての感覚を経験させる練習日とし、2日目、3日目の2日間の実験をデータとしてまとめた。1日の実験は、鉄道振動3種類、正弦振動4種類の計7種類の振動について行い、2人の被験者が1組となり、1人が実験中は他の1人は休息し、1実験の終了後2人は交替するという方法で行った。

被験者は、振動台上で、胡座(あぐら)をかいた姿勢で座り、実験中は同一の姿勢を続けさせた。

(2) 被験者の反応

実験は、振動台上に胡座した被験者に、テープに記録した信号の振動(鉄道振動と正弦振動の各々の振動)を振動加振機から発生させ、前記のように種々にレベルを変動させて印加し、被験者はその振動に対し感じたままの振動感覚を、下記のようなカテゴリーにより回答する、という方法で実施した。

印加した振動に対する被験者の反応方法は、鉄道振動は振動の印加直後、20秒間の休止時間中に、正弦振動は同一振動の印加中の後半の時間内に、実験者が手で合図した時に、カテゴリーの番号により回答させた。カテゴリーは、前年と同一の0~4の5段階のカテゴリーとし、カテゴリーの内容は次の通りとした。

カテゴリー 0: 無感

1: わずかに感じる

2: はっきり感じる

3: 強く感じる

4: 非常に強く感じる

被験者の振動の感じ方とカテゴリーの度合は、すべて被験者の自由な判断に任せた。

4 実験結果

(1) 鉄道振動感覚反応実験

表1~3は、平坦、切取、高架の各構造別の振動実験における、被験者の感覚反応の結果を示した。

反応は、夫々の構造について各レベルを、被験者10人に各2回印加して得た20回の回答中、1つのカテゴリー

を何回回答したかについての比率を

- : 71%以上
- △: 51~70%
- : 50%
- ▲: 30~49%
- : 29%以下

の記号で表している。

表1の平坦構造における反応は、60dB以下では無感が大部分を占め61~68dBでわずかに感じる、69~74dBははっきり感じる、75~79dBは強く感じるとなり、80dB以上が非常に強く感じるとなっている。

表2の切取構造の反応は61dB以下では無感であるが、62~70dBはわずかに感じる、70~74dBははっきり感じる、75~78dBは強く感じる、81dB以上が非常に強く感じるになっている。79と80dBでは、はっきり感じるから非常に強く感じるの3カテゴリーに分散した回答となっている。

表3の高架構造の反応は、58dB以下が無感、60~68dBがわずかに感じる、69~74dBがはっきり感じるになり、75、76dBははっきり感じるから非常に強く感じる迄のカテゴリーに分散しているが、77~79dBは強く感じるになり、80dB以上が非常に強く感じるとなっている。

3種類の構造間の反応結果をみると、各カテゴリー間に1~2dBの差はあるものの、構造間に明白な差異はないという結果になっている。

(2) 鉄道振動の反応と周波数分析

各構造別鉄道振動の反応が、ほぼ同一であったことから、各構造のパターンと周波数分析との関係をもとにみた。

図1~3にみるように、各構造の加速度レベルのパターンは夫々特有な形状を示しているが、周波数分析の結果をみると、高架構造が50Hz付近にややレベルの大きい部分がみられる他は、いずれの構造においても、10~70Hzが低い山形をなしており、各周波で凹凸を繰り返すスペクトルとなっている。また、これをウエイトをかけた振動レベル特性(図は省略)でみると、10~30Hzにやや高い山形をもち、周波数が高くなるにつれ次第に低くなるスペクトルとなっている。

このように、舗装道路上にピックアップを置いた場合表れるスペクトルは類似したものとなり、土の上の振動

表1 平坦構造の感覚反応

	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
カテゴリー0	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
カテゴリー1	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
カテゴリー2																		
カテゴリー3																		
カテゴリー4																		

表2 切取構造の感覚反応

	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
カテゴリー0	○	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
カテゴリー1	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
カテゴリー2																		
カテゴリー3																		
カテゴリー4																		

表3 高架構造の感覚反応

	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
カテゴリー0	○	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
カテゴリー1	●	●	●	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
カテゴリー2																		
カテゴリー3																		
カテゴリー4																		

スペクトルのような各構造の持つ特有のスペクトルの特徴がなくなり、これが振動の感覚でも、差異のない反応結果となって表れたものと考えられる。

(3) 正弦振動等感反応実験

正弦振動等感反応実験は、8、16、32、52Hzの4種類の正弦振動について実施したが、8Hzを除く16、32、52Hzの結果を表4~6に示した。

回答比率の算出法、表示法は鉄道振動の場合と同一で

あるが、この実験では、被験者10人が1日2回2日間実施したので、計40回に対する回答比率で算出した。

実験は上昇系列と下降系列について実施したが、ここでは上昇系列のみ記した。

表4の16Hzについてみると、60dBまでは無感、62~68dBはわずかに感じるに、70~76dBははっきり感じる、76~80dBは強く感じるとなり、82dB以上は非常に強く感じるとなっている。

表5の32Hzについてみると、58dBまでは無感、60~68dBはわずかに感じる、68~74dBははっきり感じる、76~78dBでは強く感じる、80dB以上は非常に強く感じるとなっている。

表6の52Hzについてみると、58dBまでは無感、60~66dBはわずかに感じる、68~72dBははっきり感じる、74~78dBは強く感じる、80dB以上は非常に強く感じるとなっている。

表4 16Hzの感覚反応

○71%以上  
△51~70%  
□50%  
▲30~49%  
●29%以下

	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84
カテゴリ-0	○	○	○	△	△	▲	▲	●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-1			●	▲	▲	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	△
カテゴリ-2						●	●	□	□	□	□	□	□	□	□	□
カテゴリ-3								●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-4												●	▲	▲	○	

表5 32Hzの感覚反応

○71%以上  
△51~70%  
□50%  
▲30~49%  
●29%以下

	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84
カテゴリ-0	○	○	○	△	△	▲	▲	●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-1	●	●	▲	▲	△	△	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
カテゴリ-2						●	●	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○
カテゴリ-3								●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-4												●	●	▲	○	

表6 52Hzの感覚反応

○71%以上  
△51~70%  
□50%  
▲30~49%  
●29%以下

	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	82	84
カテゴリ-0	○	○	△	△	▲	▲	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-1	●	●	▲	▲	△	△	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
カテゴリ-2						●	●	▲	▲	○	○	○	○	○	○	○
カテゴリ-3								●	●	●	●	●	●	●	●	●
カテゴリ-4												●	●	▲	○	

以上の3周波数間の反応についてみると、正弦振動の感覚反応は、同一レベルでは同一の反応を示す筈であるが、この実験でみると16Hzと32Hz、52Hzの反応の間に約2dB程度、感度の差があるという結果になっている。

(4) 鉄道振動の感覚と正弦振動の感覚

鉄道振動のは、振動スペクトルで10~30Hz付近の成分が全体的に多いスペクトルであることから、正弦振動は16Hzを、鉄道振動は平坦構造を夫々の代表として比較してみると、無感は鉄道振動が60dBに対し正弦振動は60dB、わずかに感じるでは鉄道振動が61~68dBに対し正弦振動は62~68dB、はっきり感じるのは鉄道振動69~74dBに対し正弦振動は70~74dB、強く感じるのは鉄道振動75~79に対し正弦振動は76~80、非常に強く感じるのは鉄道振動80dB以上に対し正弦振動82dB以上と鉄道振動と正弦振動がほぼ同じ反応を示す結果となっている。

5 まとめ

舗装道路上で測定した鉄道振動のスペクトルが、人間の振動感覚にどのように感じられているかについて実験を行い、次のような結果を得た。

- (1) 舗装道路上で測定した平坦、切取、高架の各構造の振動のスペクトルでは、感覚上ほぼ同一に感じられる。
- (2) これは、上記のスペクトルが3構造共非常に類似した形となるためと考えられる。
- (3) 正弦振動は16Hzと32、52Hzの間に感度の差があり、32、52Hzの方が若干感度が良い。
- (4) 鉄道振動の感覚反応は正弦振動16Hzの感覚反応に類似している。

ということが明らかになった。

以上で、舗装道路上での測定の鉄道振動のスペクトルによる実験結果が明らかになったので、次報では、前報と今報との比較検討を行い、その関係を明らかにしたい。

参考文献

- 1) 青木一郎他：鉄道振動に係る感覚反応実験について(第1報)、東京都環境科学研究所年報1988。