

## 鉄道振動に係る感覚反応実験について（第1報）

青木 一郎 上原 幸雄

### 1 はじめに

在来線鉄道によって発生する振動は、沿線住民にとって非常に不快な振動公害となっている。

現今まで、在来線鉄道のひきおこす振動については、種々の測定が行われ、振動のレベルや伝搬等の実態が明らかにされてきているが、列車振動が住民の振動感覚上でどのような振動感覚として捉えられているかについては、実験や計測の方面から明らかにされたものはない。

そこで、当研究所では、振動測定の際に得た鉄道振動の録音テープを利用して、振動発生装置に再生し、被験者に印加することにより、被験者がどのような感覚反応を示すかについての実験を行った。本年の実験は未舗装の土の上で測定を行った振動スペクトルについての実験であるが、以下、この結果について報告する。

### 2 実験の概要

#### (1) 感覚反応実験

##### ア 鉄道振動感覚反応実験

在来線の鉄道振動が沿線住民にどのような感覚を与えているかについて、その感覚を出来るだけ感覚上の量として捉えることを意図して、異なる鉄道振動のレベルを被験者に印加して、印加したレベルに対し反応した感覚の度合を一つの感覚量でまとめ、評価することにした。感覚は、“感じる”というカテゴリーで、5段階の評価によって回答させることにした。

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

鉄道振動感覚反応実験に用いたテープは、鉄道振動のレベル測定を行ったときに得た平坦、切取、高架の各構

造上を通過する列車の波形を用いることにした。波形は各構造上を通過する列車の特徴を有したものを選定し、これを元テープとした。実験では、この元テープから作成した実験用テープの振動を被験者に印加して実施した。

##### イ 正弦振動等感覚反応実験

先の実験と同時に、正弦振動についての実験を行った。正弦振動は10, 20, 40, 60Hzの4種の周波について、54~84dB迄の間のレベルを2dBずつ上昇、下降させながら印加して各レベルにおける感覚を調べた。この実験の反応感覚も前記のカテゴリーを使用した。

#### (2) 振動波形と実験用テープ

##### ア 鉄道振動波形

鉄道振動感覚反応実験に用いた平坦、切取、高架の波形と周波数分析の図は、図1~3に示した。

##### イ 実験用テープ

鉄道振動感覚反応実験に用いたテープは、平坦、切取、高架構造上を通過する一列車の振動を在来地表面上で測定した鉛直方向、加速度波形の録音テープである。平坦、切取は10m地点の、高架は5m地点のテープから採用した。一列車の通過時間は6秒から8秒であるが、通過前から通過後まで約10秒間の信号を元のテープとし、このテープから実験用のテープを作成した。実験用テープでは、10秒間の鉄道振動の信号の後に20秒間の休止時間を入れた計30秒間のテープを53~85dBまで1dB毎、ランダムに出現するテープとした。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置した。テープは、最初に校正信号を入力しておき、その後に本信号を配置して、発生する信号の正確さを期した。

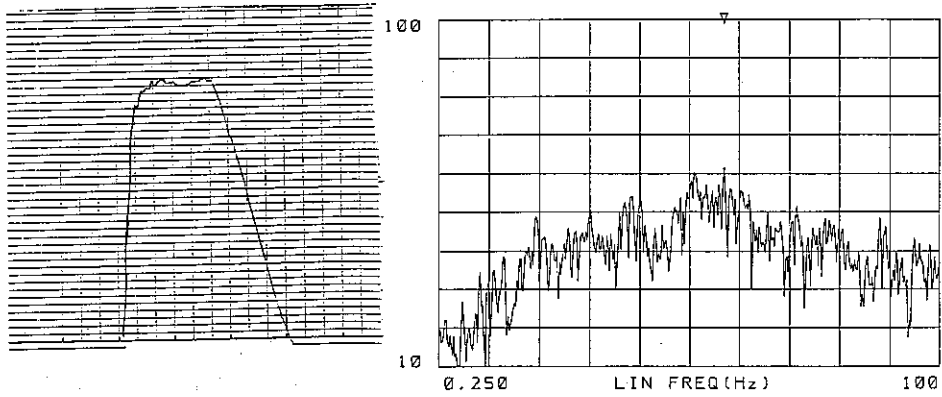


図1 平坦構造の波形及び周波数分析

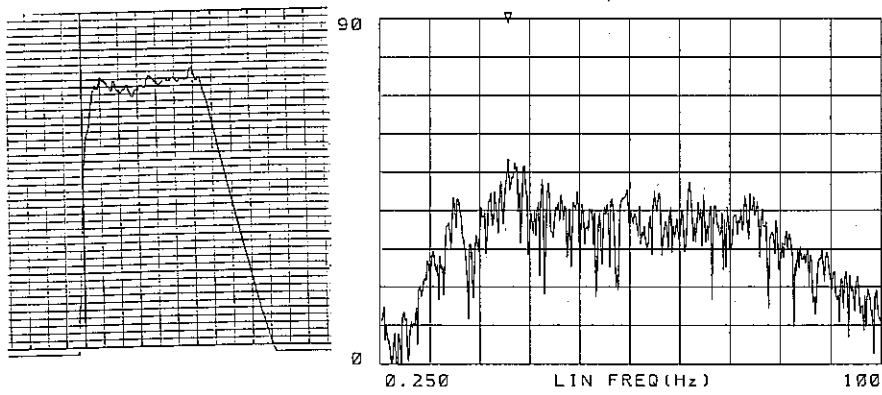


図2 切取構造の波形及び周波数分析

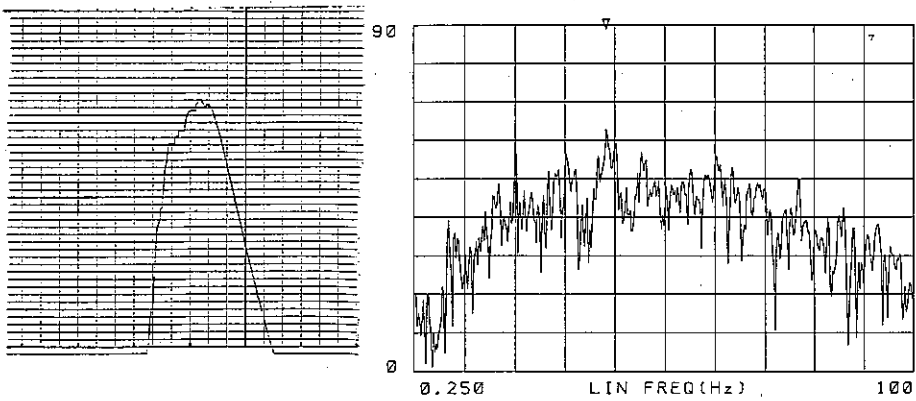


図3 高架構造の波形及び周波数分析

### 3 実験室、実験装置及び実験条件

#### (1) 実験室及び実験装置

実験は、当研究所内振動実験室に設置してある振動発生装置を用いて実施した。

実験のシステムは次の図4のとおりである。

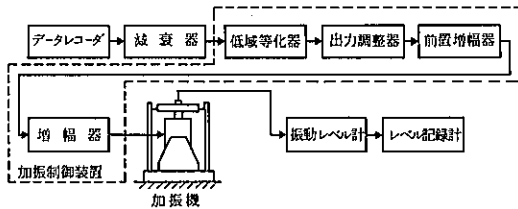


図4 実験システムの構成

データレコーダ	ソニー製	DFR-3515W
コントローラ	明石製	ASK-13D
振動発生装置	明石製	ASE-43T
振動計	リオン製	VM-16
レベルレコーダ	リオン製	LR-04

周波数分析器 (FFT) タケダ理研製 TR-9405A  
 実験装置の詳細は81' 東京都公害研究所年報一騒音・振動の複合による感覚反応について一を参照されたい。

出現する振動レベルについては、このシステムにおいて、振動発生装置の振動台上にセットした振動ピックアップから振動計を通じレベルレコーダで監視、確認した。

#### (2) 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。

被験者について、特別の健康調査は実施しなかったが、実験結果からみて特異な反応を示した者は認められなかった。

##### イ 室内条件

実験室は、窓をしめて空調を行い、外部からの騒音、振動はない。実験中は空調を止め、被験者にイヤーマスクを着けさせて不必要なノイズを防止した。

##### ウ コントローラの運転条件

コントローラにおける入力電圧は、いずれの実験においても3Vとし、レベルのアップ、ダウンはインプットダイヤルを増減して増幅、減衰を行った。

ランダム波の入力時の低周波域における周波数特性の

平坦化は低域等化器を通じて行った。

正弦振動の周波数制御はコントローラ装置内のデジタルファンクションシンセサイザで行った。

### 4 実験の方法

#### (1) 実験の方法

被験者は、1日7種のテープで実験を行い、同一の実験を3日間にわたり実施したが、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日目の実験をデータとした。

実験は、2人1組で、1人が実験中は1人が休息し、1実験のテープが終了後交替する方法で実施した。

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

#### (2) 回答の方法

鉄道振動感覚反応実験では、列車振動を印加後、休止時間に入ったところで、そのレベルにおける感覚をカテゴリーの番号により回答させた。

正弦振動等感反応実験では、同一周波数の一定レベルを5~6秒間印加後、実験者が手をあげて合図した時、カテゴリーの番号により回答させた。

被験者の感覚反応は、すべて被験者自身の自由な判断に任せた。

### 5 実験結果

#### (1) 鉄道振動感覚反応実験

平坦、切取、高架の各構造上を通過する列車の振動についての感覚反応実験の結果を表1~3に示している。

反応は、各レベルについて被験者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。

平坦構造における反応は、54dB以下では無感が大部分を占めるが、55~64dB間はわずかに感じるの反応を示し、65~71dBの間ははっきり感じるとなり、72~77dB間は強く感じる、78dB以上は非常に強く感じると

表1 平坦構造の感覚反応

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

	53	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																			
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85					
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

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

	53	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																			
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85					
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

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

	53	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																			
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85					
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	●	●	●	●	●	▲	▲	▲	▲	○	○	○	○	○					

なっている。

切取構造では、57dB以下が無感で、58dBでは無感とわずかに感じるが50%ずつとなり、59~65dB間はわずかに感じる、70~75dBがはっきり感じるに、76~80dB間が強く感じるとなり、81dB以上が非常に強く感じるとなっている。66~69dB間は、反応にバラつきがみられる。

高架構造では、56dB以下は無感、57~65dBがわずかに感じるに、66~73dBがはっきり感じるに、74~79dBは強く感じるに、80dB以上は非常に強く感じていることになる。

三構造別の反応結果について、51%以上の反応を示したものを一つの表にしてみると、表4のようになる。同

一カテゴリーでは、平坦は低いレベルで感じているが切取は、平坦より3~4dB高いレベルで反応している。高架は、両構造の中間の反応を示している。

表4 構造別の感覚反応

— 平坦構造  
- - - 切取構造  
- - - 高架構造

	53	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																			
	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85					
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																			

(2) 正弦振動等感反応実験

正弦振動等感反応実験は、10, 20, 40, 60Hzの4種の正弦周波について実施し、表5~7に示した。

実験は、レベルを順次あげてゆく上昇系列とレベルを下げてゆく下降系列とを実施したが、紙面の都合により下降系列の反応結果は割愛し上昇系列の結果について検討を加えた。

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、正弦振動の実験は被験者10人が1日2回2日間実施したので計40回に対する比率である。

10Hzについて51%以上の反応があったものについてみると、無感60dB迄、わずかに感じる62~66dB、はっきり感じる68~72dBの間と考えられるが、68と70dBでは反応にバラつきがみられた。74~78dBは強く感じるに、80dB以上は非常に強く感じている。10Hzの表は割愛した。

20Hzは、無感60dB迄、わずかに感じる62~68dBの間、はっきり感じる70~74dB間、強く感じる76~78dB間で80dB以上は非常に強く感じている。

40Hzは、無感が58dB迄、わずかに感じる60~64dB、はっきり感じる66~72dB、強く感じる74~78dB、非常に強く感じる80dB以上となっている。

60Hzは、無感が56dB迄、わずかに感じる58~64dB、はっきり感じる66~70dB、強く感じる72~76

表5 20Hzの感覚反応

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

	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 40Hzの感覚反応

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

	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7 60Hzの感覚反応

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

	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										●	●	●	△	○	○	○

dBで、78dB以上は非常に強く感じるになっている。

4種の正弦波についてみると、表8にみるように、高い周波数の方の反応が低い周波数の反応より2~3dB低いレベルで反応しており、反応もはっきりしている。

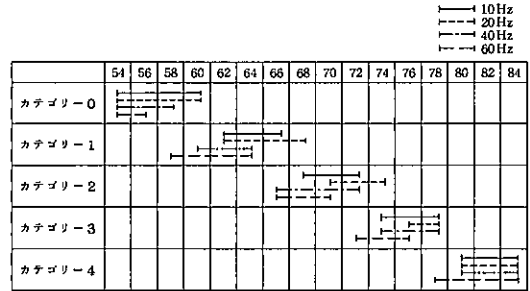
(3) 鉄道振動感覚と正弦振動感覚

平坦構造における鉄道振動の周波数分析をみると(図1)、58Hz付近にピークをもつスペクトルを示している。これは、60Hzの正弦波に近いのでこの両方の反応を比較してみると、非常に類似した反応となっている。

切取構造における周波数分析図(図2)は、25.5Hz付近にピークをもつスペクトルで20Hz前後迄の周波数成分が多いことから、20Hzの正弦波の反応と比較してみると、この場合も近似している。

高架構造における周波数分析図(図3)は、38Hz付近にピークをもっていることから40Hzの正弦波と比較してみると、この場合にも非常に類似した反応が認められる一という結果になっている。

表8 正弦波の感覚反応



6 まとめ

鉄道振動の感覚に及ぼす影響について、被験者実験を行って次のような結果を得た。

(1) 平坦、切取、高架の各構造上を通過する列車は、構成するスペクトルも異なるが、同一レベルでも感じ方に差異があり、平坦が最も良く感じており、続いて高架が良く、切取の感じ方は平坦より3~4dB低い。

(2) 正弦振動等感覚反応実験

正弦振動において、振動レベルは周波数が異なっても同一レベルは同一の振動感覚反応を示すはずであるが、この実験結果をみると低い周波数におけるよりも、高い周波数における反応の方が、2~3dB低いレベルで反応があり、はっきりしている。

(3) 鉄道振動感覚と正弦振動感覚

平坦、切取、高架構造の感覚反応と正弦振動の感覚反応を比較してみると、各構造における反応は、各構造の主となる周波数と正弦波の同一の周波数における反応とが非常に近似している。

こと等が明らかとなった。

今年度は、在来地表面上での測定テープを使用したのが、次年度では舗装面上での測定テープを用いて同様の実験を行い、在来地表面と舗装面による感覚反応の相違等について明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 青木一郎他; 在来線鉄道振動の測定結果について(第1報), 東京都環境科学研究所報(1986)
- 2) 青木一郎; 在来線鉄道振動の測定結果について(第2報), 東京都環境科学研究所報(1987)