HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	10. 市街地における雑微動の研究 : その一振動感覚計の試作
Author(s)	窪田, 将; 田, 望
Citation	北海道大学地球物理学研究報告, 9, 103-110
Issue Date	1962-03-06
DOI	https://doi.org/10.14943/gbhu.9.103
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/13841
Type	departmental bulletin paper
File Information	9_p103-110.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

10. 市街地における雑微動の研究

その一 振動感覚計の試作

窪田 将・田 望
(北海道大学理学部地球物理学教室)

— 昭和36年8月受理 —

I. 序

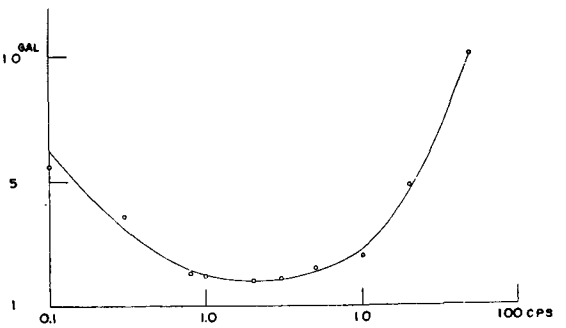
市街地などにおける振動公害の測定のために，工場や交通機関などに起因する振動が，主として人体にいかなる程度の感覚を及ぼすかを簡単に測定する装置を試作した。

個々の振動記録を得ることは望ましいことではあるが，数多くの測定には繁雑に過ぎるきらいがあるので，振動の加速度を meter 指示によって読取ることを試みた。音響についてのいわゆる騒音計に相当するものであり，いま振動感覚計と名付けたが，その使用の目的から装置全体を小型軽量化することに努めた。

試作後各種交通機関内部の振動を測定してみたが，本器の指示と人体感覚との間によい一致が見られた。

II. 人体の振動感覚

このような計器を設計するには，振動の人体に及ぼす感覚がその周波数とどのような関係にあるかを調べなければならない。音響については音の intensity と loudness の関係が詳しく調べられ[1]，これに基づいて騒音計が作られている。振動については日本の研究以来岸上・大島その他により研究されているが[2),3),4)]，公害を及ぼすような振動を測定する計器の特性などを規格化する段階には至っていない。ここでは振動に対する人体感覚についての大島の研究に基づいてえられた，第1図

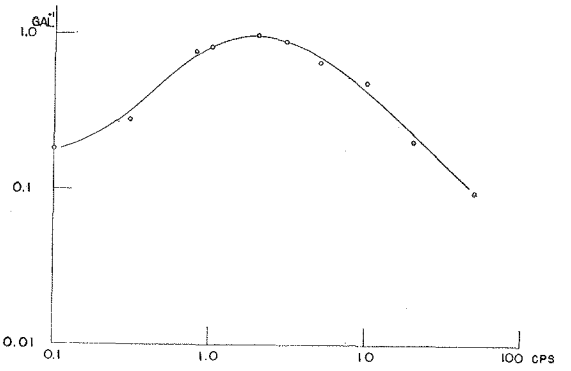


第1図 人体の有感最小加速度

Fig. 1. Minimum accelerations sensible to human.

1) W. A. Munson: The Loudness of Sound. Handbook of Noise Control. edited by C. M. Harris (1957) McGraw-Hill Co., N. Y.
2) M. Ishimoto: Bull. Earthq. Res. Inst. 10 (1932), 614.
3) F. Kishinouye: Bull. Earthq. Res. Inst. 33 (1955), 207.
4) M. Oshima: Tekkō-Rōdō-Eisei 2 (1953), Nos. 1, 2 and 3-4.

に示すような人体の有感最小加速度曲線を参考とした。第2図はこの有感最小加速度の逆数を図示したもので，人体を一種の振動計と見なした場合にその仮想的感度を意味するものと解してよいであろう。従って振動感覚計の特性としてもこれらに一致したものが望ましい。即ち0.1～30 cps の周波数範囲が特に重要である。



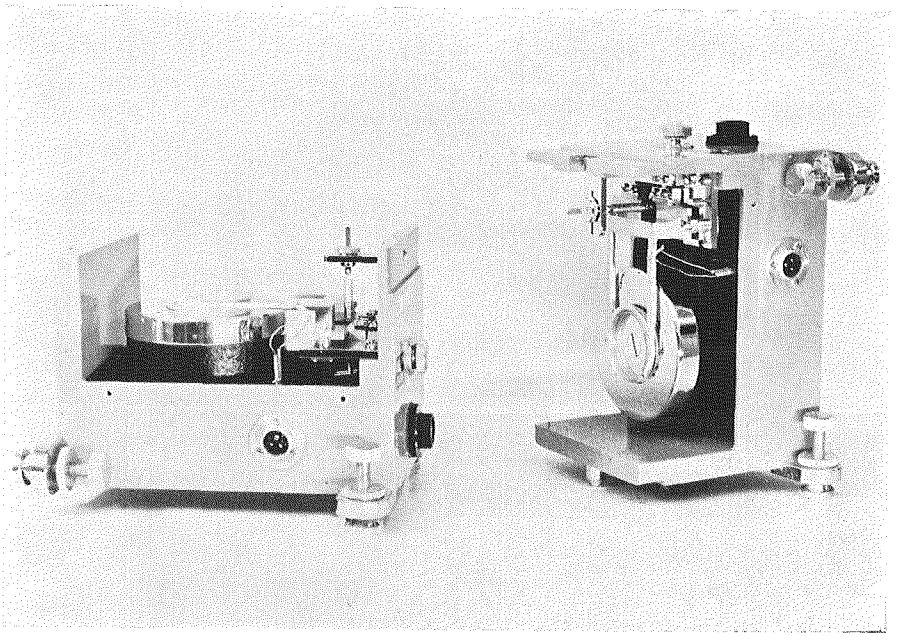
第2図 人体の有感最小加速度の逆数

Fig. 2. Reciprocals of the minimum sensible accelerations.

III. 加速度計

試作した計器は電磁式加速度計と transistor 増幅器を組合せたものである。

電磁式加速度計は第3図に示すような構造の可動線輪型の換振器であり，上下動及び水平動兼用であって，上下動の場合は Ewing 吊りとして，また水平動の場合は鉛直振子として用いられ，いずれの場合も固有周波数は3 cps であり，感度も変らない。



第3図 電磁式加速度計

Fig. 3. Electrodynamic accelerometer.

換振器の振子の運動方程式及び電流系の式は，

$$K\frac{d^2\theta}{dt^2}+D\frac{d\theta}{dt}+U\theta=-MH\ddot{w}-GI$$

$$I = \frac{G}{R_c + R_{ext}} \cdot \frac{d\theta}{dt}$$

ただし

θ: 振子のふれの角

K: 振子の慣性能率

D: 流体による減衰の係数

U: 復元力率の係数

M: 振子の質量

H: 振子の重心と回転軸の間の距離

x: 地動変位

G: 電圧感度の係数

I: Coil に流れる電流

R_c: Coil 直流抵抗

R_{ext}: 外部抵抗

ここにおいて D は無視されるので減衰係数 h は電流による制動のみとなり，次の式で与えられる。

$$h = \frac{G^2}{2K(R_c + R_{ext}) \cdot 2\pi f_0}$$

ただし

f_0: 振子の固有周波数

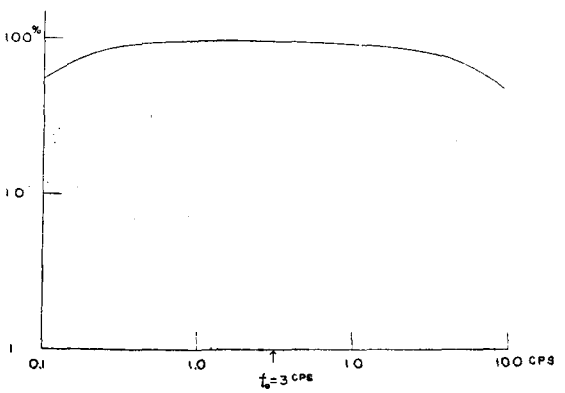
h を大きくとってあるので振子の運動は $f_0/2h$ より $2hf_0$ の周波数の間で地動速度に比例し，従って出力電流 I は地動加速度に比例する。その感度 S は次のように求められる。

$$S = \left| \frac{I}{\ddot{x}} \right| = \frac{MH}{G}$$

使用した加速度計は

$$S = 0.72\,\mu\mathrm{A\,(r.m.s)/gal}$$

である。また出力電流の周波数特性は第4図のようになっている。

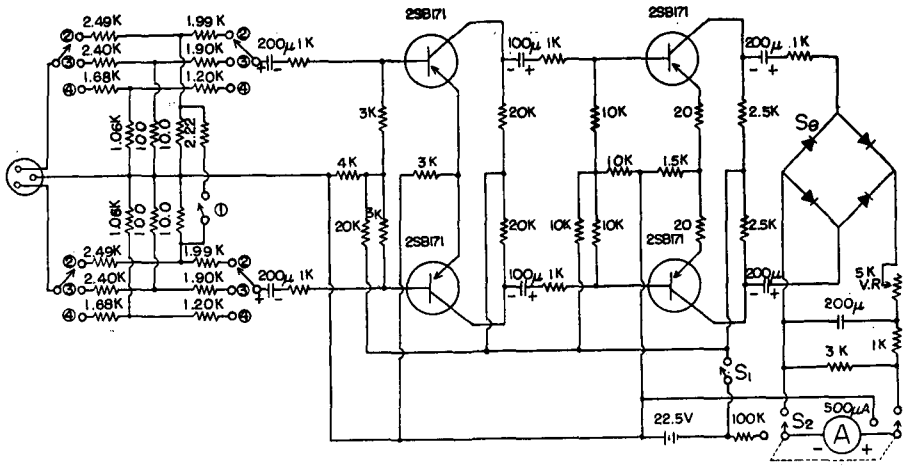


第4図　加速度計の周波数特性

Fig. 4. Frequency characteristics of the accelerometer.

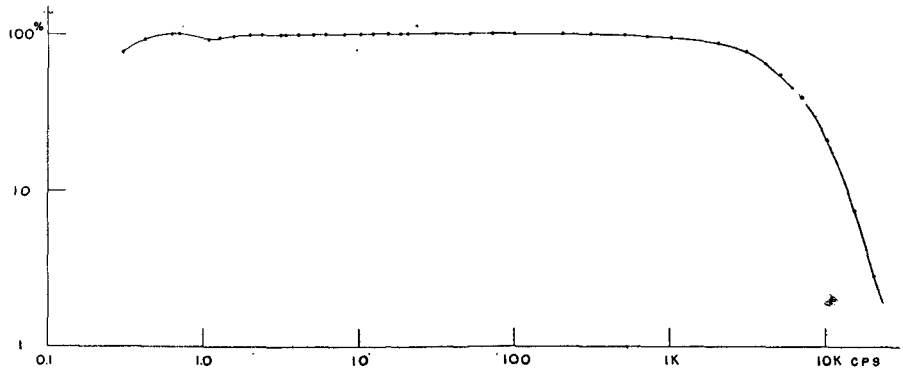
IV. 増　幅　器

増幅器は transistor を使用し，その回路は第5図に示される。計器の目的から言って，人



第5図 増幅器の回路

Fig. 5. Circuit of the amplifier.

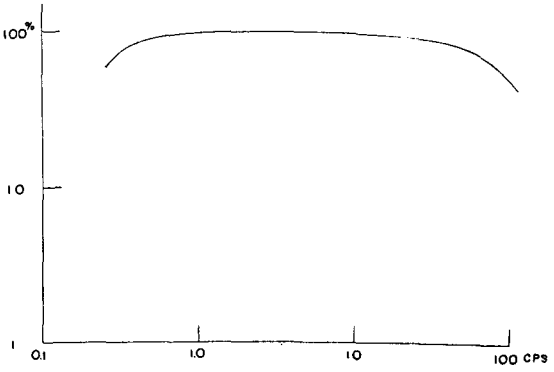


第6図 増幅器の周波数特性

Fig. 6. Frequency characteristics of the amplifier.

体に感じうる程度の振動，即ち1 galの振動を充分に測定できればよいので，増幅段数は多くする必要はない。しかし1 cps 以下の低周波まで増幅するために，push-pull 方式を採用した。普通の single の RC 結合増幅では，emitter の by pass condenser の値を大きくとっても，低い周波数に対して充分ではないので，push pull 方式を用いたわけである。

この増幅器の周波数特性は第6図の



第7図 総合周波数特性

Fig. 7. Over-all frequancy characteristics.

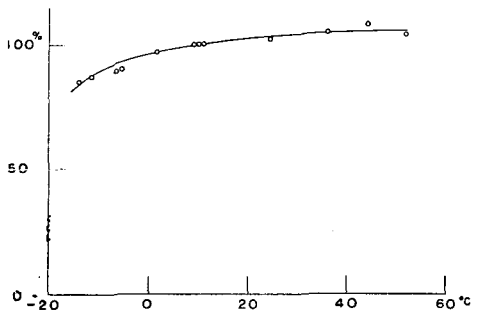
ようになり，0.3 cps より 3,000 cps まで平担である。前述の加速度計と組合せた場合の総合周波数特性は第7図のようになり，これは第2図の曲線より多少平担ではあるが，実際にこの計器を使用して測定した結果では，この周波数特性は人体の感覚を指示するために満足すべきものと考えられる。

Meter 指示計器として他に問題となる点は meter の時定数である。試作したものでは指示回路に整流器と meter を用い，さらに時定数を増すために RC を用いた。従って meter に指示されるものは，その RC により決定される時間における振幅の平均値に対応する。連続正弦波の場合には指示値はこの時定数に関係ないが，非定常の振動の場合，殊に pulse 状の波形の場合などにはこの時定数が問題となり，これも人体感覚に適合するよう実験的に妥当な値を研究しなければならない。今回の実験では RC ≒ 0.7 sec とし，この値でかなり満足すべき結果を得たが今後さらに種々の条件で実験を繰返したい。

感度の切替えは，増幅段における飽和の問題も考慮して，入力側につけた attenuator で行なっている。この attenuator によって，感度を 100 μA/gal より 0.1 μA/gal まで4段に切替えることができる。Meter の直前に入れた可変抵抗は電源電圧補償用であり，これによって電源電圧が 15 V に低下しても使用できる。電源電圧は S_2 を切替えることによって，随時測定できる。

V. 温度の影響

Transistor では温度によってその parameter が大きく変化するので温度に対する増幅率の変化を調べた。その結果は第8図に示される。通常の周囲温度では大きく見つもっても 10°C につき 5% 程度の増幅率変動である。



第8図　温度による増幅率変化

Fig. 8. Variation of amplification due to temperature.

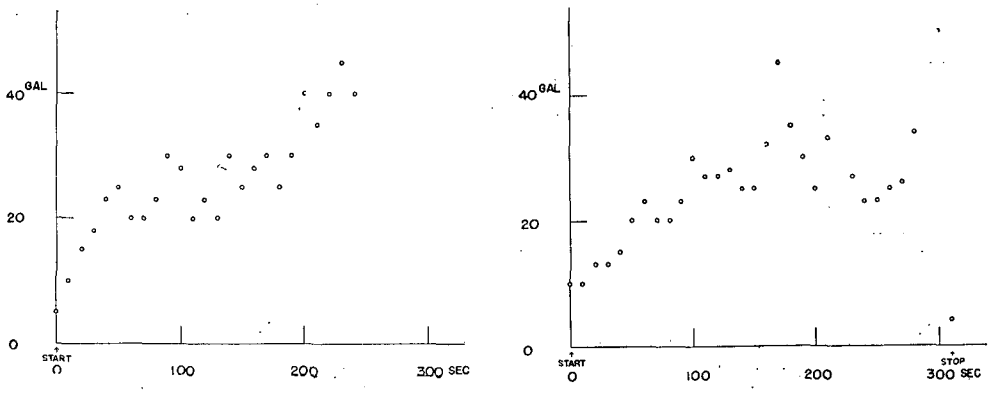
VI. 測定結果

この計器を使用して，二，三の実測を試みた。資料も少く正確な解釈はできないが，次のような結果が得られた。

主として交通機関の内部で振動を測定した。実験したのは鉄道 (普通旅客列車, Diesel car), 市街電車，bus 等である。加速度計はいずれの場合も床の上に設置し，上下動を観測した。

§1. 普通旅客列車

測定結果は第9a図および第9b図に示される。40 km/h のときは 30 gal，50 km/h のときは 40 gal とほぼ速度に比例して大きくなる。ただし減速の際には停止の瞬間まで 50 gal 以上を記録した。加速度計を座席の上に置いたときは約 1/2 の値を得た。



第 9 図 普通旅客列車の振動
a. 函館本線 厚別—白石間 **b.** 白石—苗穂間

Fig. 9. Vibrations in accommodation trains.
a. From Atsubetsu to Shiroishi. **b.** From Shiroishi to Naebo.

§2. Diesel car (鉄道)

速度との相関は認られない。主として rail 及び路面の状態に影響を受けるものと推定される。例えば 70 km/h の速度において rail が重軌 (50 kg/m) ならば 180 gal, 軽軌 (37 kg/m) ならば 270 gal であった。curve では 10～20% 増加する。走行中の平均はおよそ 180 gal (平均速度 60 km/h) であった。停止の際は普通 50 km/h から 30 sec 間の減速で停止するが, この間の振動は平均 400 gal, 最大 700 gal と非常に大きい。

§3. 市街電車

速度計を見ることができなかったため, 速度との関係を正確に述べることはできない。Rail の状態で大きく左右されるが, 走行中の平均は 300～600 gal であった。(平均速度は約 30 km/h)。今後速度との関係, 或いは乗客人員, rail 状態との関係等を確かめたい。

§4. 乗用車

第 1 表に示されるように, 路面の状態に左右されるが, 速度については 30～60 km/h の間でほぼ一定である。

第 1 表 乗用車の振動 (gal)
Table 1. Vibrations in antomobiles.

速度 (km/h) (speed)	20	30	40	50	60	70	80
鋪装道路 (paved road)	100	170	160	150	160	190	200
砂利道 (gravel road)	300	250	450	500			

§5. Bus

最後部と最前部とで調べた。最後部では平均 4,000 gal, 最大 6,000 gal を認めた。最前部

では平均3,000 gal (平均速度30 km/h) であった。なおこの場合道路は舗装されており，乗客は20名程度であった。

ただしここで1 g (980 gal) 以上の値は正確な数値とはいい難い。このような場合には加速度計全体がはね上ったり，内部の coil を支える spring が不規則に変形することも考えられるためであるが，実際の振動は1 g 以上あることは間違いないから何等かの目安とはなるであろう。

以上各種車輛の内部の測定結果を第2表にまとめる。

第2表 各種車輛の総括

Table 2. Summary results of cars.

車種 (kind of cars)	平均値 (gal) (averages)	速度 (km/h) (speed)	備考 (remarks)
普通列車 (train)	40	50	
ディーゼル車 (Diesel car)	180	60	
市街電車 (street car)	300～600	30	
乗用車 (automobile)	160	60	舗装道路 (paved road)
バス (bus)	4,000	30	最後部 (rear)
バス (bus)	3,000	30	最前部 (fore)

§6. 道路脇における測定

道路に面した建物の内部と道路の上で測定した結果を第3表に示す。道路は asphalt 舗装で中央は電車 (複線) が走っている。建物の床は concrete であるが一般に戸外よりも大きい値を示した。

第3表 道路脇の振動

Table 3. Vibrations at road side.

車種 (kind of cars)	距離 (m) (distance)	測定場所 (measuring point)	平均値 (gal) (averages)
市街電車 (street car)	10	コンクリート (concrete)	29
乗用車 (automobile)	7～10	コンクリート (concrete)	2.8
乗用車 (automobile)	2～4	道路 (road)	1.9

10. Measurement of Ground Tremors in a City

Part 1. Vibration Feeling Meter

By Susumu KUBOTA and Nozomu DEN
(Department of Geophysics, Faculty of Science, Hokkaido University)

Corresponding to "Subjective Noise Meter" in the acoustic measurement, a "Vibration Feeling Meter" was made to measure the intensity of ground tremors in a city. It is composed of an electrodynamic accelerometer and a transistorized amplifier.

The intensity is indicated on a meter and the frequency characteristics are adjusted to fit the human sensation.

Some trial measurements brought about good results.