

## コンクリート杭の打込みによる地盤ならびに構造物の振動

野 坂 弥 蔵 ・ 林 隆 一  
桜 井 敏 夫 ・ 田 中 千 秋

Yazo NOZAKA, Ryuichi HAYASHI, Toshio SAKURAI, and Chiaki TANAKA : Vibration of Ground and Structures Induced by Driving in a Reinforced Concrete Pile.

**ABSTRACT :** Ground vibration produced by driving in a reinforced concrete pile, as in construction jobs, is of importance because of damage which may be caused to structures, and of annoyance which may be suffered by the public. In this paper, some characters of such transient ground- and structure-motions are presented. Ground-and structure-acceleration-time curves for Diesel pile hammer excitation and their frequency spectra have revealed the following two.

(1) Ground motions in the near vicinity of the hammer contain a large number of frequency components, but have no remarkable dominant-frequency components.

(2) Within a distance of 70m from the hammer, the amplitude of ground acceleration, especially high frequency component of it, are damped down and the dominant frequency component of 5~8 Hz is observed with increasing distance.

A simple model simulated by an analog computer is proposed to represent ground- and structure-motions. And according to the analysis with the model, two results are deduced.

(1) Acceleration-time curves obtained by the model, are somewhat similar to that of ground- and structure-motions.

(2) The acceleration amplification coefficient of a structure becomes large, when the dominant frequency of the interior ground approaches to the natural frequency of the structure, especially when the mass of the structure is much smaller than that of the interior ground.

### 1. 緒 言

最近の建築ブームで、住宅の密集した市街地での建築用基礎杭の打込みによる騒音と振動が深刻な問題となっており、無音、無振動と称する色々な工法も考案され、一部では実際に使用

されているが、能率とコストの面から有利なディーゼルハンマーによるデルマック工法が依然として多用される現状である。この工法は写真1に見られるように、対杭ピストン形2サイ



写真 1

クルディーゼルエンジンの上方ピストンを兼ねている重さ2～4噸のハンマーが自由落下すると、下方にある対向ピストンとの間で空気が圧縮されて燃料の重油に着火し、その爆発力で下方ピストンは杭を打込み、上方ピストンは上昇するという動作を自動的に繰返して杭を直接に地中へたたき込む工法である。従って打撃音の他にエンジンの爆発、排気音も加った相当な騒音と、打込みによる地盤の振動を伴い、附近の住民と建築業者との間にしばしばトラブルが生じ、その度に騒音や振動による公害基準が問題になる。

騒音については、その媒体が空気であるから測定も比較的容易であり、公害基準値も色々提案され使用されているが、振動はそれ程簡単ではない。その理由は杭打地点で発生した振動は、地盤や基礎など、特性の複雑な媒体を経て建物や人間に伝わるため、その様相が一様ではなく、測定も手軽には行なえないからである。このため実測例も乏しく、公害基準も未だ確定されていない。杭打に限らず、鍛造工場の各種ハンマー、鉄道、自動車のような交通機関など、構造物の振動を誘発する人的原因は多いから、振動測定法の確立や公害規準値の設定と共に、振動公害を予防し或は減少させるための積極的手法の開発が望まれるが、それには実態調査の資料の蓄積が先ず必要であろう。この意味で、杭打時の地盤と家屋の振動についての測定例と、この振動系をアナログ計算機でシミュレートして得た結果について報告する。

## 2. 測定結果

### 2・1 杭打機械

杭打機械は神戸製鋼所製K-22型水冷ディーゼルパイルハンマー(写真2)で、その仕様は次のようである。

ラム重量

2.2 ton

全重量	4.8 ton
ラムストローク	1.8~2.3 m
	最高2.5 m
1 打撃仕事量 (標準)	6150 kgm
打撃回数	45~60 blows/min
燃焼による押圧力	72 ton

ここでラムというのは、緒言で上部ピストンと称したものである。

## 2・2 測定器

測定器は次の3部より構成された。

検出部	共和電業製加速度変換器。 5 G用。周波数特性は 150 Hz まで平坦
増幅部	新興通信工業製動歪計 DS6-MTY型
記録部	共和電業製電磁オツシログ ラフ

加速度変換器は水平方向用に2個、上下方向用に1個、合計3個を互に石膏で固着し、これを更に測定面に石膏で固定した。水平方向用の内1個は、杭打点と測定点を結ぶ直線上に、他の1個はそれに直角方向に向けた。以後、前者を前後方向、後者を左右方向と仮称しよう。

## 2・3 松江市内建築現場の例

現場附近は松江市の中心部に位置した沖積平地である。市内一円は地表より深さ20 m 附近までは軟弱地盤シルト質粘土が一様に分布し、この下部より第3紀層岩盤、頁岩~砂岩が分布する軟弱地盤地域である。杭打地点の土質柱状図を Fig 2・1 に示す。

杭は直径300 mm、長さ10 m の RC パイルである。これを先ず1本打込むのであるが、これは比較的容易に入る。次にこの杭の上端に同一規格の杭を電気溶接し、全長を20mにして更に打込むと、17 m 位入ったところでは抵抗が増大し、1回の打撃での杭の貫入量は5 mm位に下る。このように貫入抵抗が増すと、ラムの上昇高さも高くなり、地盤の振動も大きくなるので、測定はこのような時期に行なった。

測定点は、杭打地点を中心として一周するように次の7箇所を選んだ。

測定点	検出器設置場所	杭打地点からの距離(m)
A	屋外の庭土	25

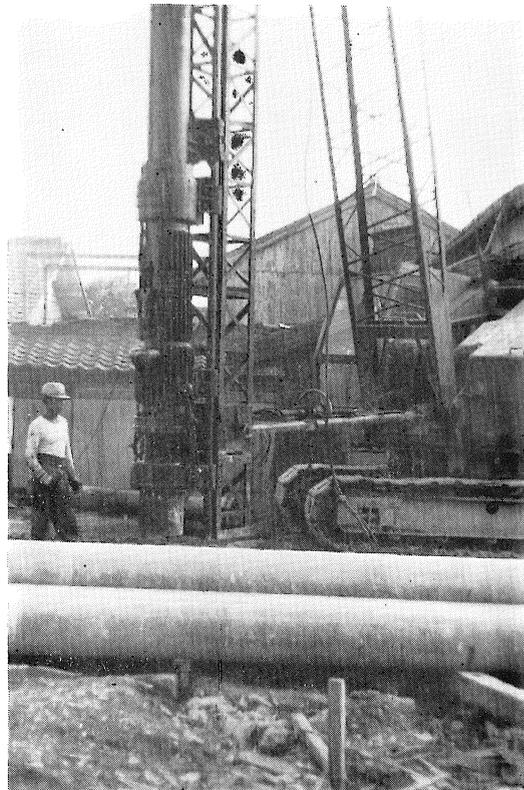


写真 2

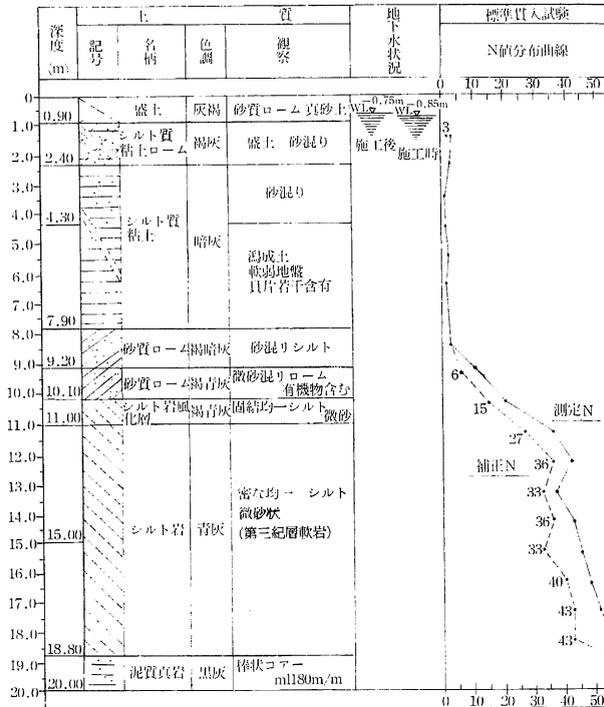


Fig 2.1 土質柱状図

測定点	検出器設置場所	杭打地点からの距離 (m)
B	1階土間コンクリート	30
C	玄関ポーチのコンクリート	58
D	1階土間Pタイル	67
E	玄関ポーチのコンクリート	94
F	1階土間コンクリート	105
G	玄関ポーチのコンクリート	130

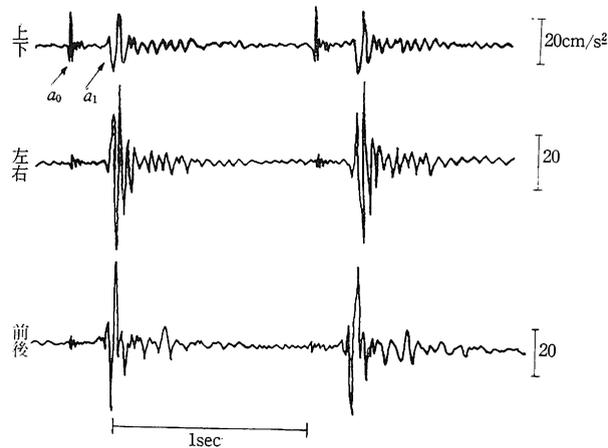


Fig. 2.2 測定点Aの加速度

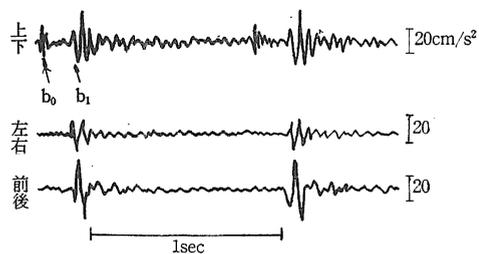


Fig. 2.3 測定点Bの加速度

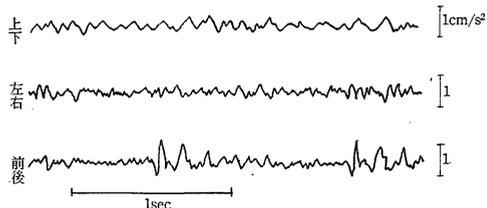


Fig. 2.4 測定点Fの加速度

これらの家屋はいずれも木造1階または2階建であった。測定点の土質も Fig 2.1 のものとはほぼ同じと考えられる。

Fig 2.2, 2.3, 2.4は、測定点 A, B, F における地盤振動の加速度の記録である。  
2.4 米子市内建築現場の例

現場附近は米子市の中心部に位置し、日野川の吐出した広大な沖積平野内にある。杭打地点附近の土質は Fig 2.5 に示すように河成沖積土(砂, シルト質粘土), 海浸蝕沈積土(シルト質粘土, シルト質細砂), 火山堆積土(火山灰ローム, 沈下火山礫)などよりなり, その N 値は Fig 2.1 のものよりやや小さい。けれども, この附近の地盤は複雑で, 少し離れた地点では, 地質も N 値も Fig 2.5 のものと可成り異なるものと考えられる。

杭は直径400 mm, 長さ10 m の RC パイルで, 松江の場合と同様に, 2本を溶接し約20 m 打込むのであるが, 測定は

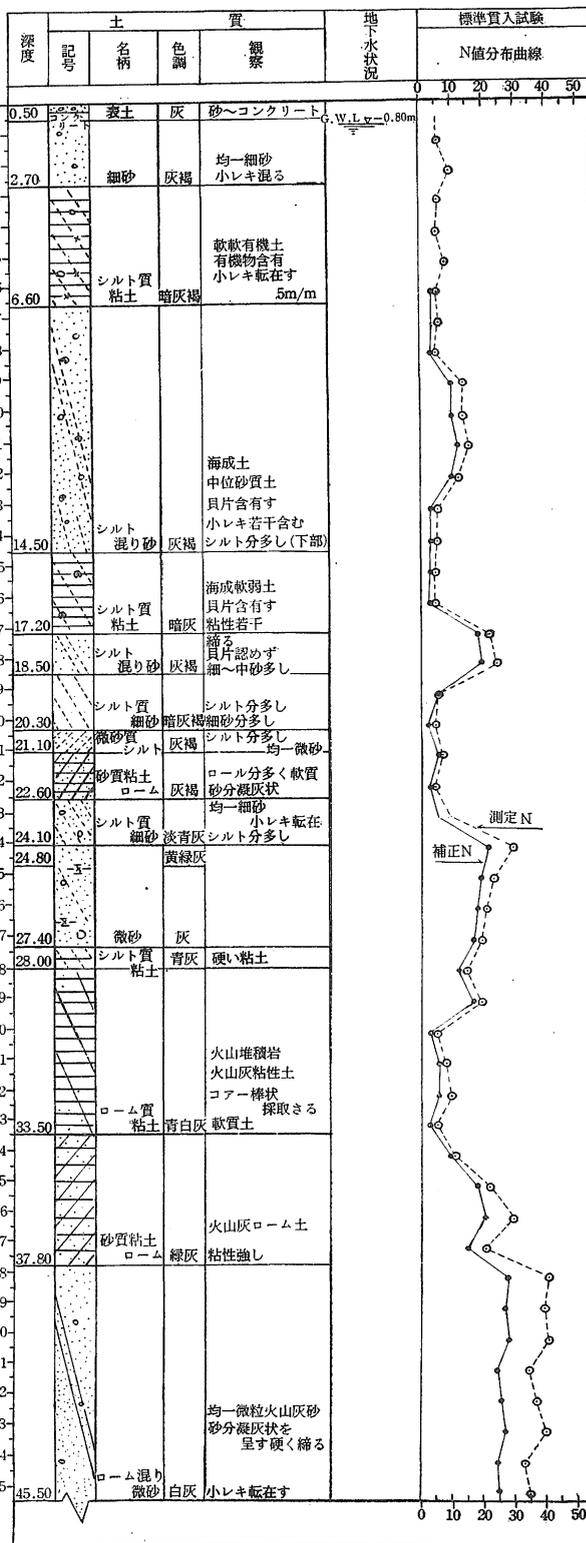


Fig 2.5 土質柱状図

打込み深さが17 m 前後で1回の貫入量が5 mm位の、振動が最も大きいと思われる時期に行なった。

測定点は、地形その他の都合で、杭打点を取囲む形に選定することが出来ず、同じような方向に片寄ってしまったが、次の5点を選んだ。

測定点	検出器設置場所	杭打地点からの距離(m)
P	木造1階建の土間コンクリート	95
Q <sub>1</sub>	木造2階建の土間コンクリート	95
Q <sub>2</sub>	同 上 の2階窓枠	95

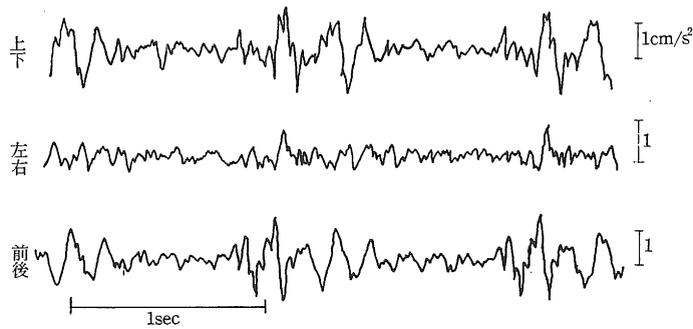


Fig. 2.6 測定点Pの加速度

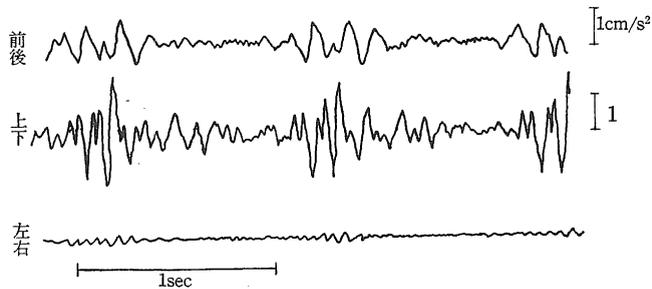


Fig. 2.7 測定点Q<sub>1</sub>の加速度

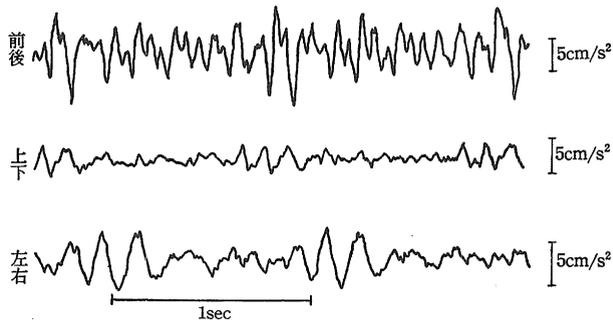


Fig. 2.8 測定点Q<sub>2</sub>の加速度

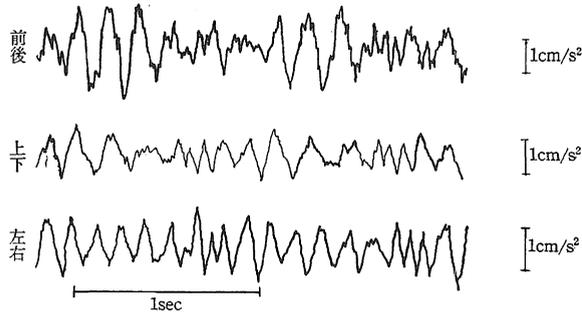


Fig. 2.9 測定点Sの加速度

測定点	検出器設置場所	杭打地点からの距離(m)
R	鉄筋コンクリート4階建の3階廊下床面	135
S	木造2階建家屋の2階窓枠	300

Fig 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 はそれぞれ測定点 P, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, S における振動の加速度波形である。

### 3. 測定結果の検討

#### 3.1 距離と振幅の関係

Fig 2.2~2.4 に示したような波形より、測定点 A~G における加速度振幅の最大値を求め、横軸に距離をとってプロットしたのが Fig 3.1 である。

これで見ると、70 m 以内の近距離では、地盤の振動は距離の約3乗に逆比例して減少するが、70 m 以上では減少がゆるやかになることが分る。この結果は地質などによっても異なるであろうから、もっと多くの測定結果を集めなければ定量的議論は出来ないが、杭打点の近傍では、その点から離れるに従って急激に振動が減少することは間違いないであろう。

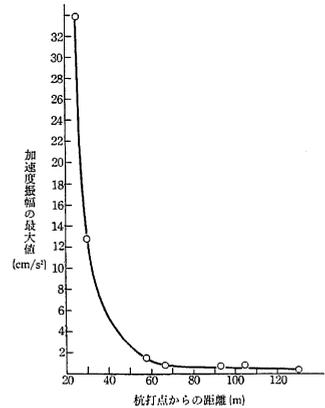


Fig 3.1 距離と振幅の関係 (松江の例)

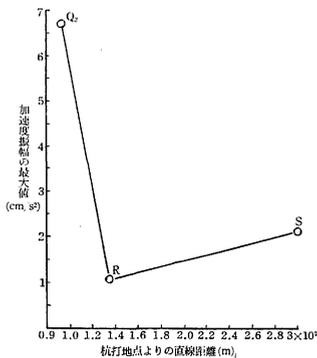


Fig 3.2 距離と振幅の関係 (米子)

この結果から見ると、振動に対する苦情が、杭打点に近い家から多く出るのは当然であるが、時によると近い家からは苦情が出ないのに、遠くの家から出ることがある。その中には心理的なものや補償問題の絡んだもので、実態と合わないものもあるが、中には実際に遠くの家の方が振動が大きい場合もある。例えば Fig 2.8, Fig 2.9 のような波形から測定点 Q<sub>2</sub>, R, S の最大加速度振幅と距離との関係を調べてみると、Fig 3.2 に

あるが、時によると近い家からは苦情が出ないのに、遠くの家から出ることがある。その中には心理的なものや補償問題の絡んだもので、実態と合わないものもあるが、中には実際に遠くの家の方が振動が大きい場合もある。例えば Fig 2.8, Fig 2.9 のような波形から測定点 Q<sub>2</sub>, R, S の最大加速度振幅と距離との関係を調べてみると、Fig 3.2 に

示すように  $S$  の方が  $R$  より大きくなっている。その理由についてはアナログ計算機によるモデルのところで触れることにしよう。

### 3・2 距離と波形の関係

Fig 2・2 や Fig 2・3 のように近距離地点の波形と、Fig 2・4, Fig 2・6, Fig 2・7 のように遠距離地点の波形を比較して分ることは、近距離では波形の立上りが急峻で振動数も高いが、距離が増すにつれて衝撃性が失われてくることである。これは杭打によって生じた振動が、地盤中を波動として伝播して行く間に、地盤の低域波特性のため、高周波分ほど大きく減衰されるためであろう。

も 1 つ興味のあるのは Fig 2・2 と Fig 2・3 で、矢印  $a_1, b_1$  で示す大きな立上りの前に、 $a_0, b_0$  で示す小さい立上りのあることである。これには次のような 2 通りの説明が考えられる。

(1) 杭打点で生じたパルス状の振動は、地震と同様に縦波 ( $P$  波) と横波 ( $S$  波) となって地中を伝播して行く。伝播速度の大きい  $P$  波が測定点へ到達したのが  $a_0, b_0$  で、 $S$  波が  $a_1, b_1$  であろう。もし  $P$  波、 $S$  波の伝播速度に 125m/sec の差があれば、25 m の距離を伝播する間に、到達時間に 0.2 秒の差を生ずることになり、Fig 2・2 の  $a_0, a_1$  間の時間差 0.2 秒を説明できる。

この説明の可否については、今後検討を要するが、もしこれが妥当であるとすれば、杭打の振動を測定することによって、逆に  $P$  波、 $S$  波の伝播速度を算出することが出来よう。

(2) 杭打によって発生した圧力波の中には、直接に測定点へ到達するものと、途中の地層の境界や地表面で反射した後に到達するものとある。従って到達時刻に差を生ずるのである。

以上 2 つの説明の真偽については今後の検討に俟たねばならない。

### 3・3 波形の周波数分析

地盤振動の最大振幅は距離が増すほど減少するが、建物では必ずしも遠くの家々の振幅が小さくならないことは 3・1 節で述べた。これに関連して地盤および建物の卓越周期が重要になると考えられるので、Fig 2・2, 2・3, 2・4, 2・6, 2・9 の加速度波形をフーリエ解析した。

その際、波形の振幅は時間 0.01 秒刻みに curve reader で読みとり、その値を電子計算機に入れて各周波数成分を算出した。Fig 3・3, 3・4, 3・5, 3・6, 3・7 及び第 3・1 表はその結果を纏めたもので、これより次のことが分る。

(1) 杭打点より遠い地点  $F, P, S$  では卓越周期は 5~8 Hz で、それより高い振動数の成分は比較的小さい。これに対して近い地点  $A, B$  では 10~30 Hz に卓越振動数と見られるものがあるが、その他の振動数成分も可成り含まれており、Fig 3・3, 3・4 と、Fig 3・5, 3・6, 3・7 を比較してみると分るよう前者には大きく突出した山がなく比較的平坦である。これは 3・2 節にも述べたように、波動が地盤中を伝播して行く間に高い周波数成分が減衰して、Fig 3・5~3・7 のように低振動数側に山が出来るものと解釈される。

Fig 3・7 だけは木造 2 階建の 2 階の振動であるため特に山が顕著である。

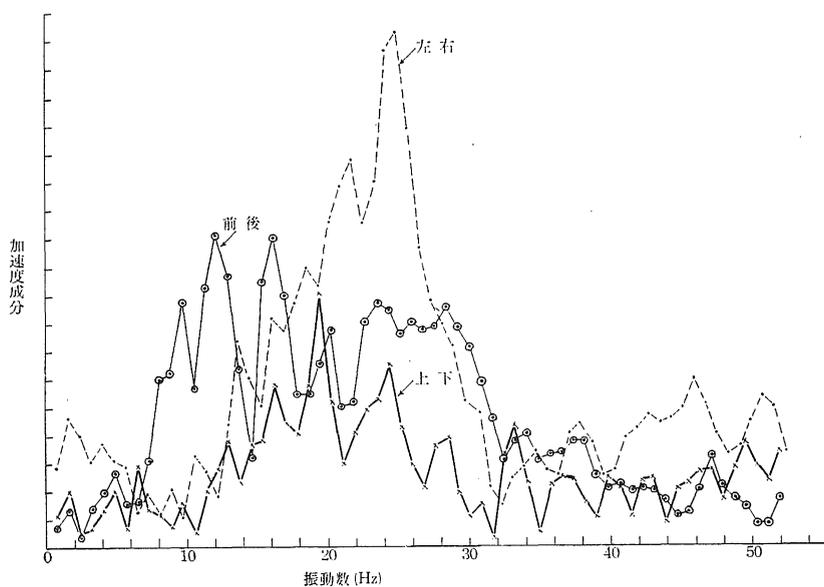


Fig 3.3 A点の周波数スペクトル

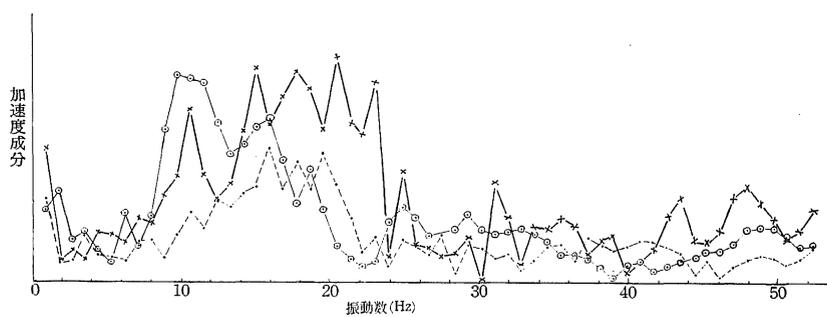


Fig 3.4 B点の周波数スペクトル

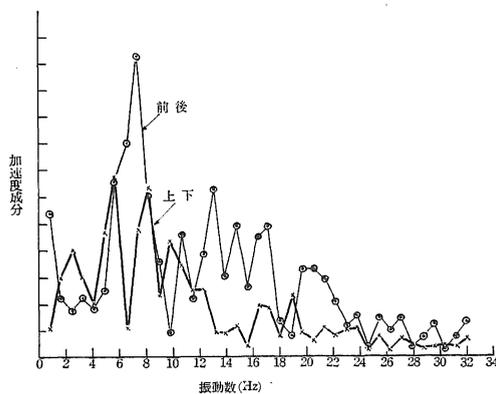


Fig 3.5 F点の周波数スペクトル

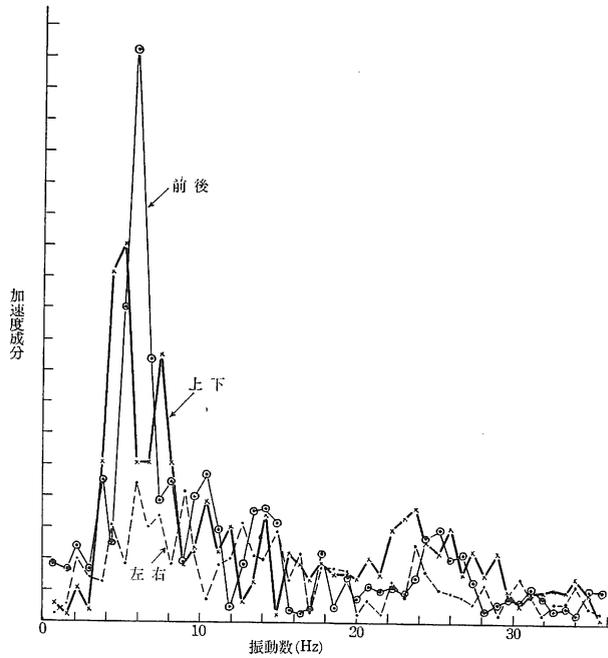


Fig 3.6 P点の周波数スペクトル

第3・1表

測定点	測定箇所	杭打点からの距離 (m)	加速度波形	周波数スペクトル	卓越振動数 (Hz)	最大振幅 (cm/s <sup>2</sup> )
A	松江 屋外の庭土	25	Fig 2.2	Fig 3.3	10~30	1.8 (12~16Hz)
B	松江 木造家屋 1階土間コンクリート	30	Fig 2.3	Fig 3.4	10~24	1.1 (10~25Hz)
F	松江 木造家屋 1階土間コンクリート	105	Fig 2.4	Fig 3.5	5~8	0.11 (7.4Hz)
P	米子 木造家屋 1階土間コンクリート	95	Fig 2.6	Fig 3.6	5~8	0.31 (5.8Hz)
S	米子 木造家屋 2階窓枠	300	Fig 2.9	Fig 3.7	5~8	0.54 (5.8Hz)

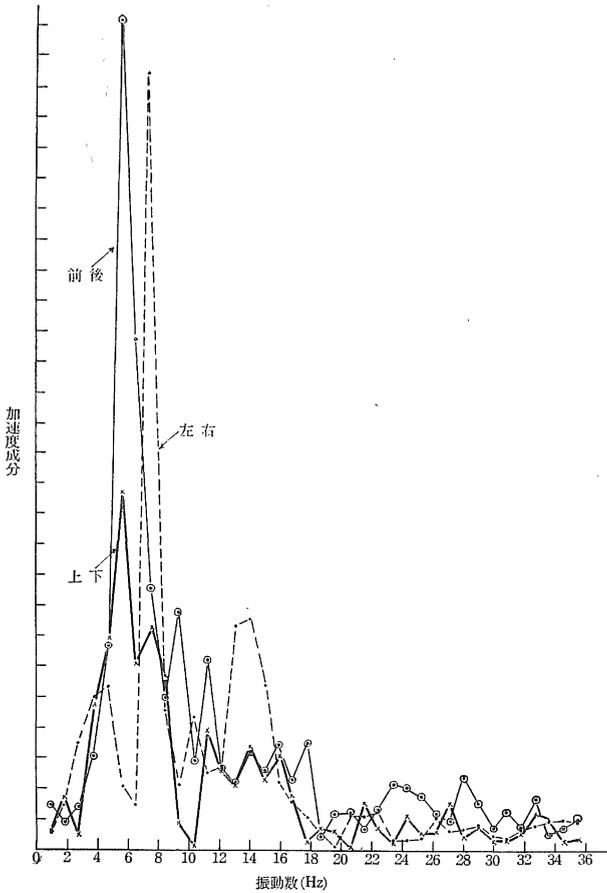


Fig 3.7 S 点の周波数スペクトル

$F$  と  $P$  の大きな相異点は、 $F$  では杭の直径が300 mmであったが、 $P$  では400 mmであったことである。これから見ると、杭の直径が大きくなると、振幅が大きくなると見えそうであるが、いずれにしても、杭の太さと振幅および土質と振幅の関係は、振動公害の程度を事前に予知しようとする立場からすれば、今後明らかにして行かねばならない問題であろう。

(4) 測定点  $P$  は杭打点から95 m離れたところにある木造家屋の土間 コンクリート上であり、 $S$  は、300 m離れた地点にある木造2階建住宅の2階であったが、Fig 3.6, 3.7を比較してみると、その卓越振動数はいずれも5~8 Hzである。

また両者共5.8 Hzの成分が最大であるが、その大きさは  $P$  が  $0.31 \text{ cm/s}^2$ 、 $S$  が  $0.54 \text{ cm/s}^2$  であって遠距離の  $S$  の方が大きい。この理由は建物の増幅率で説明できるであろう。これについては後に述べる。

#### 4. モデルによる解析

##### 4.1 はじめに

杭打に対する苦情には、壁に亀裂が入ったとか瓦がずり落ちたとかというように建物の損傷

(2) 測定点  $F$  (Fig 3.5) は松江、 $P$  (Fig 3.6) は米子であるが、両者の卓越振動数がいずれも5~8 Hzであるのは、両者とも土質が沖積層であり、また木造家屋の一階土間のコンクリート面の振動であることを併せ考えると興味深い。

(3)  $F$  は杭打点から105 m、 $P$  は95 mの距離にあるが、振幅は  $P$  が可成り大きい。これは10 mの距離差だけでは説明出来ない。また  $N$  値は Fig 2.1 と Fig 2.5を比較して分るように、 $P$  の方がむしろ小さいので、 $N$  値の大きい方が杭が入り難いだから振幅が大きくなるとも云えないようである。

に関するものが多いから、究極的には家屋の振動が問題になる訳であるが、実際に現場で振動測定を行なう場合、屋内、特に住宅へ上り込んでの測定は、

(1) 板の間、畳、窓など測定箇所によっても、また部屋によってもデータが異なる恐れがある。

(2) 種々の事情から屋内に立入ることが出来ない場合がある。

などのため敬遠し、代わりに屋外地盤或は建物基礎の振動を測定し、その測定値に建物の増幅率を乗じた値によってその振動を推定しようという考え方がある。このためには、振動特性に関する屋外地盤と建物基礎（或は屋内地盤）との関係、および、基礎と建物との関係を明らかにしなければならない。これについての実験的検討は今後に譲り、ここではアナログ計算機で構成された簡単なモデルについて考察するに止めよう。

#### 4・2 杭打によって地盤に生ずる振動

杭はハンマーで打たれると一旦沈下し、次いで rebound して上昇してくる。この際、直接に杭の影響を受けて杭と共に変位する土 (Fig 4・1) を想定し、その質量と杭の質量とを合わせた質量  $m$  が、ばね定数  $k$ 、粘性減衰係数  $c$  の地盤に支持されているとすると (Fig 4・2),  $m$  について次の運動方程式が得られる。

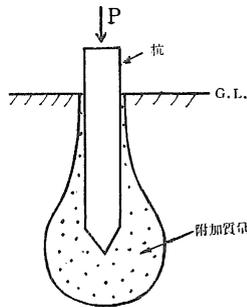


Fig 4.1 杭と附加質量

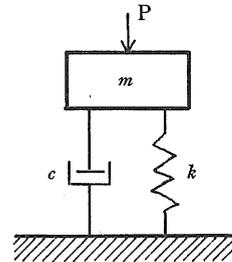


Fig 4.2 杭の打込みのモデル

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -P \quad \dots(4.1)$$

$P$  は杭に加わる打撃力である。今、 $\frac{k}{m} = \omega^2$ ,  $\frac{c}{m} = 2h\omega$ ,  $\frac{P}{m} = p$  とおくと

$$\ddot{x} + 2h\omega\dot{x} + \omega^2x = -p \quad \dots(4.2)$$

となる。また、これによって地盤の受ける力  $U$  は、

$$U = c\dot{x} + kx$$

$U$  のために土中に生じた圧力が隣接地盤中を波動となって伝播し、家屋下の地盤に達してこれを変位せしめると考えられるが、伝播の状況は地層の境界での反射、屈折など極めて複雑であるから、ここでは簡単に、建物直下の地盤は加速度

$$\alpha = \frac{U}{m} = 2h\omega\dot{x} + \omega^2x$$

で変位されると考えることにしよう。式 (4・2) をアナログ計算機に組むと Fig 4・3 のよう

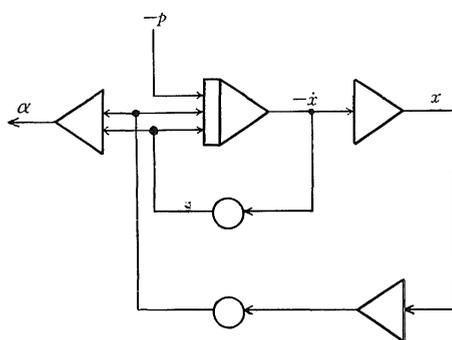


Fig 4.3 杭の打込みのアナコン回路

になる。

### 4・3 地盤と建物の振動

Fig 4.4 で、 $m_1$  は建物の直下にあつて、その振動の影響を受けると考えられる地盤（以下、屋内地盤とよぶことにする）の質量、 $m_2$  は建物の質量、 $k_1, k_2$  はそれぞれのばね定数、 $c_1, c_2$  はそれぞれの粘性減衰係数とし、建物と地盤  $m_1$  との相対変位を  $x_2$ 、地盤  $m_1$  と建物振動の影響を受けない隣接地盤（以下、屋外地盤とよぶことにする） $M$  との相対変位を  $x_1$  とし、 $M$  が加速度  $\alpha$  で変位すると考えると、 $m_1, m_2$  について次の運動方程式が得られる。

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 = c_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 - m_1 \alpha \\ m_2 \ddot{x}_2 + c_2 \dot{x}_2 + k_2 x_2 = -m_2 \dot{x}_1 - m_2 \alpha \end{cases} \quad \dots(4.3)$$

ここで  $\frac{k_i}{m_i} = \omega_i^2$ ,  $\frac{c_i}{m_i} = 2h_i \omega_i$  ( $i=1, 2$ )

$$\frac{m_2}{m_1} = \gamma$$

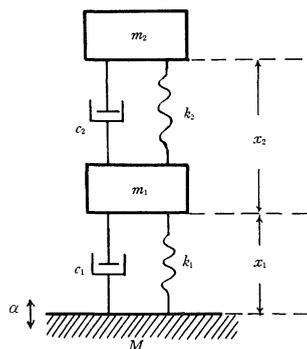


Fig 4.4 屋内地盤と家屋のモデル

とおくと上式は

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 + 2h_1 \omega_1 \dot{x}_1 + \omega_1^2 x_1 = \gamma(2h_2 \omega_2 \dot{x}_2 + \omega_2^2 x_2) - \alpha \\ \ddot{x}_2 + 2h_2 \omega_2 \dot{x}_2 + \omega_2^2 x_2 = -\dot{x}_1 - \alpha \end{cases} \quad \dots(4.4)$$

となる。式(4.4)をアナログ計算機に組むと Fig 4.5 となる。

実際に計算する時には、Fig 4.3 の出力  $\alpha$  を、Fig 4.5 の入力  $\alpha$  へ接続する。また屋内地盤  $m_1$  の絶対加速度  $a_1 = \alpha + \dot{x}_1$  や、建物  $m_2$  の絶対加速度  $a_2 = a_1 + \dot{x}_2$  を求めるための加算器や符号変換器も適当な箇所に接続しなければならない

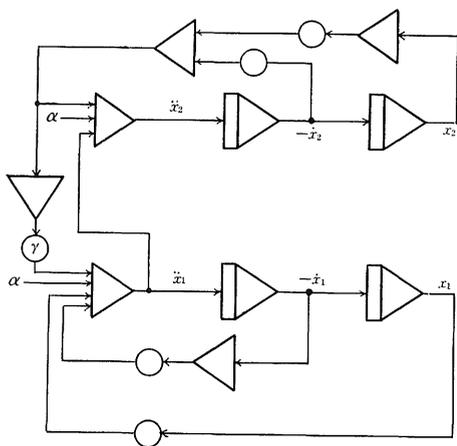
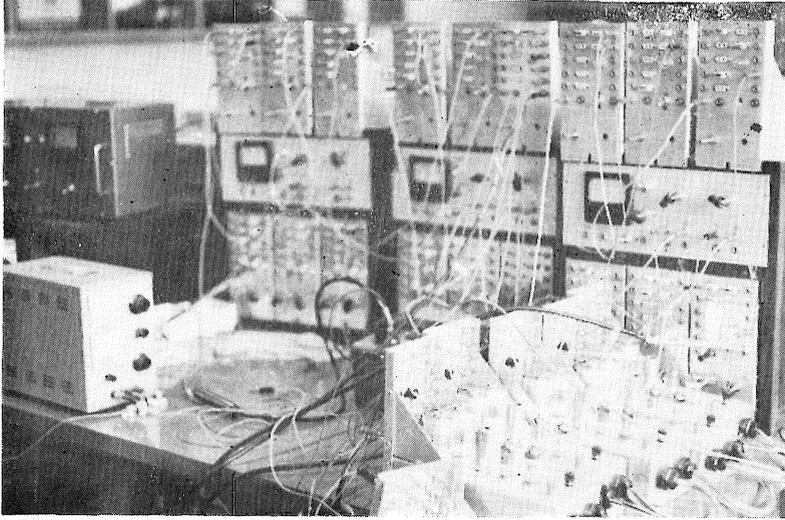


Fig 4.5 屋内地盤と家屋のアナコン回路

がそれは Fig 4・5 には示さなかった。

計算機は試作した低速度型を使用した。写真3はその概観である。



写 真 3

#### 4・4 計算結果

今回は建物の固有振動数の影響だけを見るために、地盤の定数は次のように一定にした。

杭打点の地盤  $h=0.1, \omega=30$

屋内地盤  $h_1=0.1 \quad \omega_1=30$

また建物については、 $h_2=0.05$ に固定し、 $\omega_2$ は10, 20, 30の3通りに変えて計算した。

建物と屋内地盤との質量比 $\gamma$ は0.1, 0.5の2通りに変えた。

結果は Fig 4・6~4・10および第4・1表に示す。

第4・1表

上からの段	記録された加速度	縦軸方向の長さ10mmに相当した電圧(V)	備 考
第1段	$p$ 杭の打撃力に対応したパルス	15	パルス幅は手動で定めたため一定にできなかった
2	$a_1$ 地盤 $m_1$ の絶対加速度 $a_1 = \alpha + \ddot{x}_1$	30	建物の一階や玄関の土間コンクリート上に設置された加速度計に表われる量
3	$\alpha$ 地盤Mへの入力加速度	20	杭打で発生した振動が波動となって伝播し、家屋直下の地盤を変位せしめる
4	$\ddot{x}_1$ 地盤 $m_1$ の、地盤Mに対する相対加速度	60	
5	$\ddot{x}_2$ 建物 $m_2$ の、地盤 $m_1$ に対する相対加速度	60	建物に応力を生じさせ損傷の原因となる
6	$a_2$ 建物 $m_2$ の絶対加速度 $a_2 = a_1 + \ddot{x}_2$	12.5または100	建物の2階などに設置された加速度計に表われる量

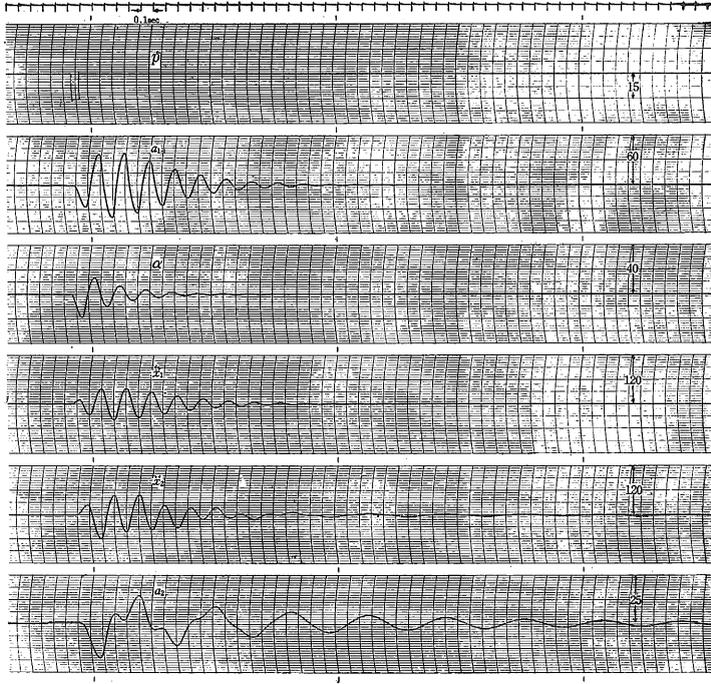


Fig 4.6 ( $\gamma=0.1, \omega_2=10$ )

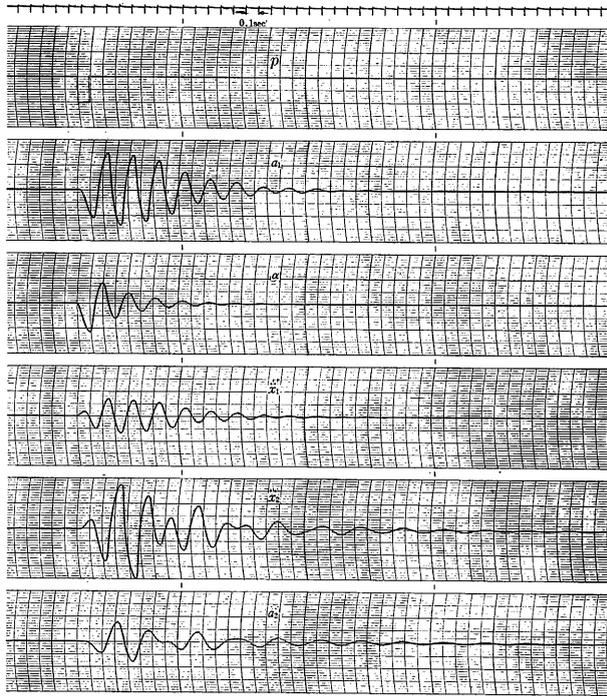


Fig 4.7 ( $\gamma=0.1, \omega_2=20$ )

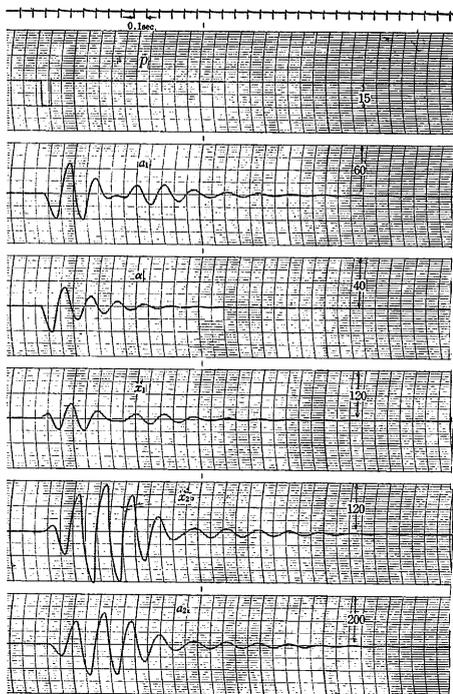


Fig 4.8 ( $\gamma=0.1, \omega_2=30$ )

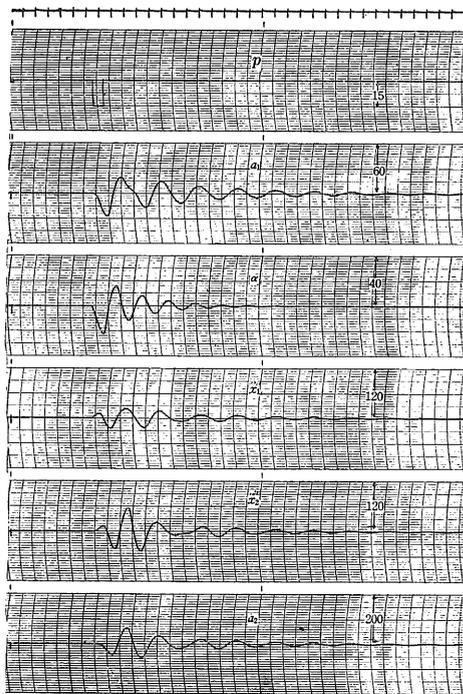


Fig 4.10 ( $\gamma=0.5, \omega_2=30$ )

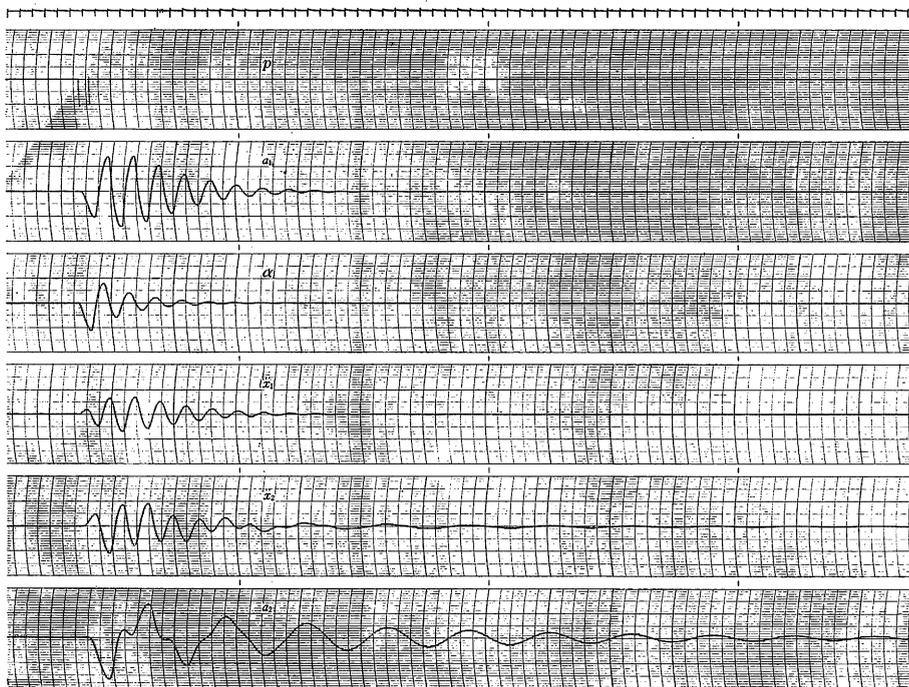


Fig 4.9 ( $\gamma=0.5, \omega_2=10$ )

これより次のことが分る。

- (1) 杭打点の地盤の定数を一定にしたため、 $\alpha$  の波形は皆同じになった。
- (2)  $\ddot{x}_1, \ddot{x}_2, a_1, a_2$  の波形には、初めの 1 sec 前後までは 衝撃の影響が表われるが、以後は単なる減衰振動となり、 $\ddot{x}_1$  と  $a_1$  は、 $\ddot{x}_2$  と  $a_2$  に比べて速かに減衰する。
- (3)  $\gamma=0.1, \omega_2=30$  の時の  $a_1, a_2$  と、それぞれに対応した実測波形である Fig2・7, 2・8 とを比較してみると、実測波形には高調波を含むけれども、大体の傾向は似ている。
- (4) Fig 4・6~4.10 から、 $a_1, a_2, \ddot{x}_1, \ddot{x}_2$  および  $\alpha$  の最大値を読み取り、 $a_2/a_1, a_1/\alpha$  を計算した結果を第 4・2 表に示した。これで見ると、 $\omega_2$  の値が  $\omega_1$  に近づくにつれて  $a_2, \ddot{x}_2$  は急に大きくなって共振状態に近づくが、 $a_1, \ddot{x}_1$  は逆に、僅かではあるが減少する傾向がある。従っ

第 4・2 表 加速度の最大値 (単位は V) 及び増幅率

加 速 度	$\gamma=0.1$			$\gamma=0.5$	
	$\omega_2=10$ (Fig 4.5)	$\omega_2=20$ (Fig 4.6)	$\omega_2=30$ (Fig 4.7)	$\omega_2=10$ (Fig 4.8)	$\omega_2=30$ (Fig 4.9)
入 力 $\alpha$	19	23	21	22	22
屋 内 地 盤 (絶対) $a_1$	40	45	36	42	27
建 物 (絶対) $a_2$	20	80	130	21	65
屋 内 地 盤 (相対) $\ddot{x}_1$	35	42	36	42	24
建 物 (相対) $\ddot{x}_2$	60	120	120	66	65
地 盤 増 幅 率 $\frac{a_1}{\alpha}$	2.05	1.97	1.72	1.86	1.23
建 物 増 幅 率 $\frac{a_2}{a_1}$	0.50	1.78	3.62	0.50	2.40

て建物の増幅率  $a_2/a_1$  は  $\omega_2$  が  $\omega_1$  に近いと可成り大きな値となる。

杭打点から遠方にある家が、近くにある家より振動が激しいことがある (3・1節および3・3節(4)参照) のは、このような共振で説明できよう。

また従来、木造家屋の増幅率として0.7~17という数字が示されているが、余りに幅があり過ぎて、地盤の測定から家屋の振動の大きさを推定するには役立たなかつたけれども、このモデルで明らかになったように、地震動などに比べて更に衝撃性の強い杭打においても、増幅率が地盤の卓越周期と建物の固有周期の函数であるとすれば、も少し精度よく増幅率を推定することが可能であろう。

(5) 屋外地盤  $M$  の振動を表わす  $\alpha$  と、屋内地盤  $m_1$  の振動を表わす  $a_1$  との比  $a_1/\alpha$  は第 4・2 表で見ると、 $\omega_2$  が  $\omega_1$  に近づくにつれて、僅かずつではあるが減少する傾向にある。

## 5. 結 言

drop hammer や人工地震などのような衝撃的原因による地盤と家屋の振動を明らかにし、公害基準の設定、更にはその予測 或は予防に資する目的で、建築現場において、Diesel pile hammer による杭打のために生じた地盤と家屋の振動を測定し、またその波形を分析して次の結果を得た。

(1) 衝撃点の極く近くの地盤振動には、多くの振動数成分を含む。その代り顕著に卓越した振動数成分は見当らない。

(2) 衝撃点よりの距離が約70 m 以内では、距離が増すと振幅は急減する。特に高い振動数成分ほど減衰が大きい。そのため比較的低い卓越振動数 (5~8 Hz) が顕著に現われる。

地盤を、杭打点地盤、屋外地盤、屋内地盤の3つに分けて考えることにし、杭と杭打点地盤で構成される1質点系が加速度パルスで励振され、そのため生じた新たな加速度が伝播して行って屋外地盤を変位せしめ、それによって、屋内地盤と家屋で構成される2質点系が強制振動されるというモデルを想定し、これをアナログ計算機に組んで計算した。その結果、

(1) 得られた加速度波形は、実測したものと傾向が一致した。

(2) 屋内地盤の卓越振動数と、家屋の固有振動数が近づくと、特に、家屋の質量が屋内地盤に比べて小さい場合には家屋の振動増幅率が大きくなることが分った。これによって、杭打点より遠距離にある建物が、近距離にあるものより大きく振動することのあるのを一応説明できた。

衝撃性の地盤および家屋の振動については、尚未解決の部分が多く、今後の研究に俟たねばならない。

現場での測定のお世話になった松江日赤の森広事務部長、松江土建の持田氏、鴻池組の森脇課長、金築主任、原田氏、および伊藤氏と、測定に協力された島根県林業試験場木材研究所の平佐氏、特に、波形のフーリエ解析をしていただいたヤンマーディーゼル株式会社技術研究所の野崎氏、また貴重な文献を頂戴した東大生産技術研究所の佐藤助教授と松江高専の鈴鹿講師に深く感謝いたします。

## 参 考 文 献

- (1) 佐藤：機械構造物の耐震設計に関する研究，東大生研報告 Vol.15 No.1 (1965)
- (2) HARRIS and CREDE：SHOCK and VIBRATION HANDBOOK Vol.3 MCGRAW HILL. N. Y
- (3) CREDE：VIBRATION and SHOCK ISOLATION, JOHN WILEY & SONS N. Y.
- (4) 科学技術庁研究調整局：騒音，振動防止に関する総合研究 昭42.3
- (5) 大築，金井：耐震設計 コロナ社