

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 (Ⅱ)

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 II.

ABSTRACT: In the present paper, following informations on the vibration of ground and structures are obtained, through the experimental data on free dropping of a weight and through the data measured on three different spots of construction where a Diesel pile hammer drives a pile into the ground.

(1) The empirical equation $\alpha = cr^{-a}$ is obtained on the distance r from the center of shock and the maximum amplitude of ground acceleration α , where the constants c and a have different values according to the direction of the vibration and the natures of the soil. In general, the value of c is large in the hard soil.

(2) When a pile is driven in by a Diesel pile hammer, two types of ground vibration are resulted, one of which (p-type vibration) has high speed of propagation and the other (S-type vibration) has low.

(3) P-type vibration, a kind of longitudinal and dilatational waves, arises when a pile is driven into the ground by a Diesel hammer, or when a weight is dropped upon a disk or an anvil on the ground, as in the case of a forging machine. Its distinctive features are (a) the speed of propagation is high, (b) the amplitude in the vertical direction is larger than that in the horizontal direction. Its frequency and duration time are large or small according to circumstances.

(4) S-type vibration, a kind of transverse and distortional waves, is caused when a pile and some amount of earth moving with it vibrate as one mass. This type of vibration does not grow in the case of dropping a weight on a disk or an anvil. The special features of this vibration are (a) small speed of propagation and (b) large amplitude in the horizontal direction. The frequency is rather small and the amplitude is large and the duration time is rather long, owing to a large moving mass. This type of vibration may damage houses and structures.

(5) Remarkable forced vibration occurs in a structure when a large shock acceleration is input to it. On the contrary, remarkable free vibration occurs when a small shock acceleration is input to it.

(6) The model of the ground-structure vibrating system, which has been proposed and simulated by an analog computer in our previous paper, agrees tolerably with the actual vibrating system.

結 言

前報⁽⁴⁾では、建築用基礎コンクリート杭をディーゼルハンマーで打込む際の地盤ならびに構造物の振動について、工事現場での振動加速度の測定例を基にして次の結果を得た。

(A) 地盤振動について

(A-1) 杭打点に極く近い地点の地盤加速度には多くの周波数成分を含んでいるが、卓越した振動数は見当らない。

(A-2) 杭打点からの距離が増す程、振幅は減衰するが、振動数の高い成分ほど減衰が大きい。このため遠距離の地点では、比較的低い卓越振動数が顕著に現われる。

(B) 構造物の振動について

地盤を、杭と共に運動する付加質量と、これによって生じた振動を伝播する部分（屋外地盤と仮称する）、および構造物振動の影響を受ける部分（屋内地盤と仮称する）の3部分に分け、杭と付加質量とで構成される1自由度系で生じた衝撃加速度が、屋内地盤と構造物で構成される2自由度系へ入力されるというモデルを考え、アナログ計算機で計算し、構造物の固有振動数と入力加速度の振動数が近づくと構造物の加速度振幅は大きくなるなどの結果を得た。

本報ではこれに引続いて次のような目的で行った実験ならびに考察について述べる。

〔地盤振動について〕

- (1) 振源距離と加速度振幅との関係を示す実験式を求める。
- (2) 前報でも述べたように、杭打点近くの加速度波形には、伝播速度の異なる2相の波が認められるので、夫々について伝播速度を求め、その性質を明らかにする。

〔構造物の振動について〕

- (3) 前報で提案したモデルの妥当性を実験によって検討する。

1. 距離による振幅の減衰

1.1 従来の説

杭打点から測定点までの距離を単に「距離」または「振源距離」とよぶことにし r で表わすと、一般に r が大きいほど測定点での最大加速度全振幅 α は小さくなる。 r と α の間の実験式を求めるのが本章の目的である。

杭打ちによる地盤の振動について r と α の関係を求めた例は見当らないが、H. Lamb は半無限弾性体の表面に、これに垂直な方向に対称的な衝撃力が働いた場合、その点から r の距離にある表面上の一点における運動を理論的に取扱ひ、その点にはP波、S波に相当した初

期微動と, Rayleigh 波に相当した主要動が到達し, 初期微動の変位振幅は r^{-2} に, 主要動のそれは $r^{-0.5}$ に比例するという結果を得ている。⁽²⁾

また実際の地震の測定結果から求められた半経験式として

$$y = cr^{-a} \cdot e^{-br} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

がある。ここに y は変位振幅, c, a, b は定数で, a は P 波, S 波に対しては 1, 表面波に対しては 0.5 である。この式は(1)振源から振動が四方に拡がって行くためエネルギーが分散されることに依る y の減少 (振源が地中にある時は球面状に拡がるから y は y^{-1} に比例し, 地表にある時は円状に拡がるから $r^{-0.5}$ に比例する), (2)地盤の減衰作用に依る y の減少 (e^{-br} に比例する) を加味した式である。⁽³⁾

発破による地盤の振動については畑中が次の実験式を提案している。⁽⁴⁾

$$y = c_1 r^{-2.0} \quad 15 < r < 250 m \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

$$y = c_2 r^{-1.2} \quad 250 < r < 1500 m \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

自動車による土地の振動については可成り測定例があり, この振動は土地の表面を伝って四方に拡がる Rayleigh 形のものらしいとの説もある。⁽⁵⁾

1・2 錘の自由落下実験

〔1・2・1〕 実験方法

島根大学農学部林産加工場横の空地に加速度変換器を設置し, そこから距離 r m の地点に直径 115mm, 厚さ 15mm, 重量 1.24kg の鋼製円板を固定し, その直上高さ 50cm の位置から, 直径 65mm, 長さ 310mm, 重量 7.26kg の円柱状の鋼製錘を自由落下させた時の地盤の振動を記録した。一直線上, $r = 1, 2, 3, 4, 5$ m となるように円板を移動し, 各 r につき同様な測定を繰返した。また建造物の振動も併せて測定するため, 建造物模型として木製机を図 1・1 のように置き, 脚を地中に約 11cm 埋めて固定した。机の中央には加速度変換器を設置した。

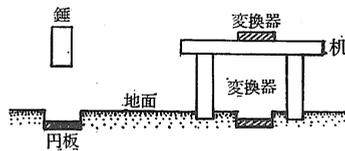


図 1・1

土地, 机とも, 変換器は 2 個ずつ石膏で固定し, 水平, 上下 2 方向の加速度を検出した。使用した変換器は次のものであった。

土 地	{	水平方向: K社製 2g 用 120A-2 J型 L4352	(略号 Y)
		上下方向: 同 上 N8519	(略号 X)

机 { 水平方向：S社製 2g用UA-2G-120型No.03228 (略号S)
 { 上下方向：K社製 5g用120A-5C型H6740 (略号G)

表1・1

交換器名	加速度 1gに相当した歪 $\times 10^{-6}$	固有振動数 (Hz)	感度一様な振動数 (Hz)	減衰係数
Y	1590	100	40	0.7
X	1291	100	40	0.7
S	1842	130	60	0.7
G	646.6	250	90	0.7

これらの特性を表1に示す。Kは共和電業(株)，Sは新興通信工業(株)のことである。

変換器の出力をS社の動歪計D36-MTY型で増幅し，K社の電磁オツシロで記録した。オツシロの振動子は固有振動数400Hz，減衰係数0.7のM400型を使用した。

円板と錘には6ボルトの電池と100k Ω の可変抵抗およびオツシロの振動子が直列に接続されるようにし，錘が落下して円板に衝突する時点をマークした。

〔1・2・2〕 実験結果

図1・2に一例として $r = 2m$ の場合の加速度波形を示す。土地と機の水平および上下方向の加速度の最大全振幅(ピークよりピークまで)を夫々 $\alpha_y, \alpha_x, \alpha_s, \alpha_g$ で表わしてある。(以下，加速度の最大値は全振幅で表わすことにする。)

図で点Aは錘と円板の衝突時点，点Fは錘が反跳して再び落下した再衝突時点，点B, C,

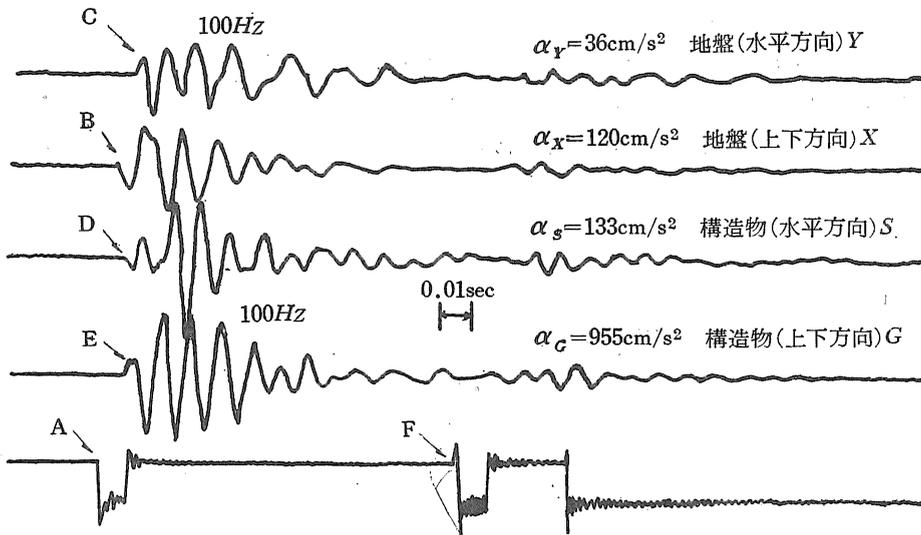


図1・2 錘の自由落下に対する地盤と構造物の加速度応答
 距離 $r = 2m$

D, Eは各波形の立上り時点を示す。AB間の時間差0.05秒は地盤の上下方向振動が距離2mを伝播するに要する時間である。AC, AD, AEも夫々の振動の伝播に要する時間である。AC = 0.09秒で最も長く, AD = 0.06秒, AE = 0.08秒となっている。

他のrに対しても同様に α_r , α_x , α_s , α_G を求めて図示したのが図1・3と図1・4である。

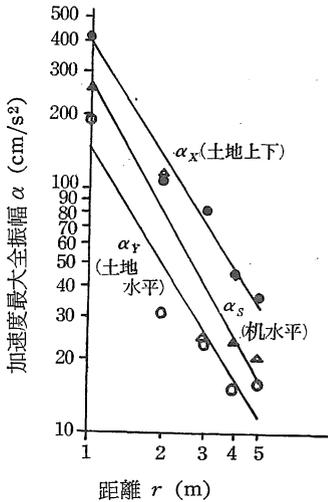


図1・3 距離と振幅の関係 (錘落下。島大)

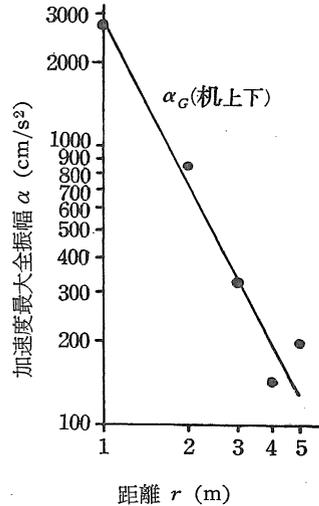


図1・4 距離と振幅の関係 (錘落下。島大)

これらの結果が次の2式

$$\alpha = cr^{-a}e^{-br} \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$\alpha = cr^{-a} \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

の中, どちらによく適合するかを見るために, 最小自乗法で a, b, c を計算したところ, b の値が負になった。またこれらの2式で計算した α と実測の α との差の平方和を計算してみると, 式(1・4)の方が小さい平方和を与える場合もあるが, 余り大きな差はないので, 結局 $1 < r < 5m$ なる範囲で成立つ実験式として, 土地については

$$\text{水平方向に対して } \alpha_r = 142r^{-1.55} \quad \dots\dots\dots (1.6)$$

$$\text{上下方向に対して } \alpha_x = 386r^{-1.51} \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

を得た。尚, 参考までに机についても α と r の関係を求めてみると,

$$\text{水平方向に対して } \alpha_s = 272r^{-1.746} \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

$$\text{上下方向に対して } \alpha_G = 2840r^{-1.94} \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

この結果から次のことが分る。(1)上下方向の加速度は水平方向より大きい。(土地については $\alpha_x/\alpha_r \doteq 2.7$ 机については $\alpha_G/\alpha_S \doteq 10$) (2) 構造物の増幅率は r が大きい程小さくなるが水平方向で $\alpha_S/\alpha_r = 1.4 \sim 1.9$, 上下方向で $\alpha_G/\alpha_x = 3.7 \sim 7.4$ である。

図1・3, 図1・4の直線は式(1・6)～(1・9)によって計算したものである。

1・3 杭打現場での測定

〔1・3・1〕 測定条件

鳥取大学医学部校舎増築現場での測定記録の一例を図1・5に示す。この時の杭打条件は、先ず earth auger で直径330mm, 長さ15mの杭孔を掘り, これに直径350mm, 長さ20mのコンクリート杭を入れ, 自重によって先端を孔底に達せしめてから, Diesel hammer (ram 重量2.2ton) でこれを打撃して残り3mを打込み, 深さ18mに達せしめるというものである。測定は杭の先端が深さ16m前後, N 値15~30のローム混り砂層にある時に, その点から距離16mにある庭土の上に加速度変換器を石膏で固定して行った。その詳細は別報⁽⁶⁾に述べてある。

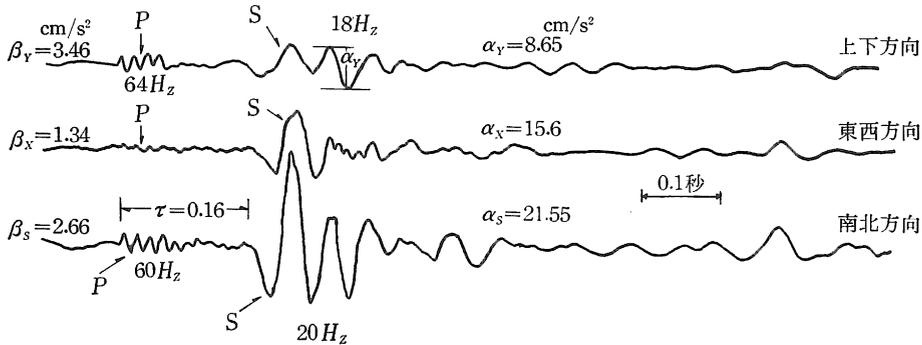


図1・5 距離16mの地盤振動加速度(杭打時。鳥大医)

〔1・3・2〕 測定結果

図1・5には, 上下, 東西, 南北方向の地盤加速度を, それぞれ変換器 Y, X, S で検出した波形が示されている。これらの波形をよく見ると, P と記した振動数 $60 \sim 64$ Hz で振幅の小さい波が現われてから $\tau = 0.16$ 秒後に, S と記した振動数 $18 \sim 20$ Hz で振幅の大きい波が来ていることが分る。仮りに前者を P 形振動, 後者を S 形振動と呼び, その全振幅の最大値を夫々 β, α で表わし, 上下方向に Y , 東西方向に X , 南北方向に S という添字をつけることにする。

杭打点からの距離 $r = 8, 16, 24, 27$ の各測定点についての図1・5と同様な波形記録から β, α を求め, $8 < r < 27$ m で成立つ実験式として

$$\begin{cases}
 \text{東西方向: } \alpha_x = 330r^{-1.25} & (1.10) \\
 \text{南北方向: } \alpha_s = 540r^{-1.4} & (1.11) \\
 \text{上下方向: } \alpha_y = 170r^{-1.15} & (1.12)
 \end{cases}$$

$$P \text{ 形} \begin{cases} \text{東西方向: } \beta_x = 25r^{-1.17} & (1.13) \\ \text{南北方向: } \beta_s = 60r^{-1.17} & (1.14) \\ \text{上下方向: } \beta_r = 102r^{-1.17} & (1.15) \end{cases}$$

を得た。これを図示したのが図 1・6 である。

式 (1.10) ~ (1.15) から次の結果を得る。

(1) S 形では水平方向が上下方向より振幅が大きい。

$$\alpha_x/\alpha_r = 1.4 \sim 1.6$$

$$\alpha_s/\alpha_r = 1.4 \sim 1.9$$

(2) P 形では上下方向が水平方向より振幅が大きい。

$$\beta_r/\beta_x = 4.1$$

$$\beta_r/\beta_s = 1.7$$

(3) S 形では東西方向と南北方向で振幅に有意の差がないが、P 形では差がある。(危険率 1%)

$$\alpha_s/\alpha_x = 1.0 \sim 1.2$$

$$\beta_s/\beta_x = 2.4$$

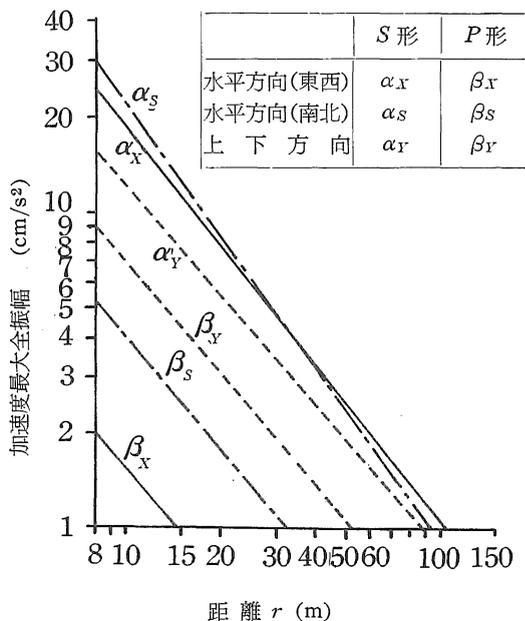


図 1・6 距離と振幅の関係 (杭打時。鳥大医)

2. P 形, S 形の伝播速度と成因

2・1 P 形振動と S 形振動

杭打の際の地盤加速度波形に、伝播速度の異なる P 形, S 形があることは前記の鳥大医学部 (図 1・5) の他に、別報⁽⁶⁾ で詳述する米子都市開発ビル、および前報⁽¹⁾ で述べた松江日赤の杭打工事の時にも記録され、また後述の鳥大教育学部の杭打時にも現われている。これらの記録から P 形振動は伝播速度と振動数が大きく、振幅と持続時間が小さく、水平方向よりも上下方向の振幅が大きい、S 形はその逆で、伝播速度と振動数が小さく、振幅と持続時間が大きく、上下方向よりも水平方向の振幅が大きいことが分った。

次に [a] P 形と S 形の到着時間差 τ から、S 形の伝播速度 U_s の上限を求めることによって、[b] 錘の自由落下実験の際に現われる振動 (図 1・2) は P 形であることを導き、P 形の伝播速度 U_p を求め、[c] 更に τ を使って U_s の値を求めよう。そして纏めとして [d] P 形, S 形の発振機構についての仮説を提案することにしよう。

2・2 P 形と S 形の到着時間差と U_s の上限

図2・1でAは杭打地点，Bは地中にある杭の先端，Cは測定点とし，Bの深さAB = d m，振源距離 AC = r m，および BC = R mとする。R と r の間には

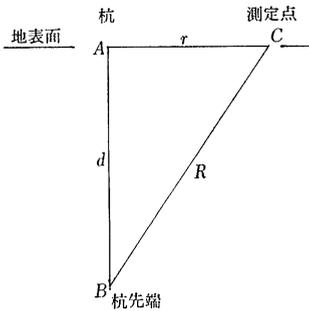


図2・1

$$R = r \sqrt{1 + \left(\frac{d}{r}\right)^2}$$

の関係がある。今 d = 16m (鳥大医の例) として r = 8, 16, 24, 27m に対する R を求めるとそれぞれ R = 17.9, 22.6, 28.85, 31.4 を得る。また d = 17m (松江日赤の例) として r = 25, 30 に対して R = 30.2, 34.5 を，d = 38 (米子都市開発の例) として r = 50, 60 に対して R = 62.8, 71.0 を得るから，実測値から得られる r と τ の

関係を R と τ の関係に変えて図示すると図2・2を得る。これから，鳥大医学部，松江日赤および米子都市開発の場合に適用できる実験式として，

$$\tau = 0.006 R \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

を得る。一方，P形振動とS形振動はいずれもB点で発生し，BCを伝播して点Cに到着するものとすれば，次の関係がある筈である。

$$\tau = \frac{R}{U_S} - \frac{R}{U_P} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

この2式から

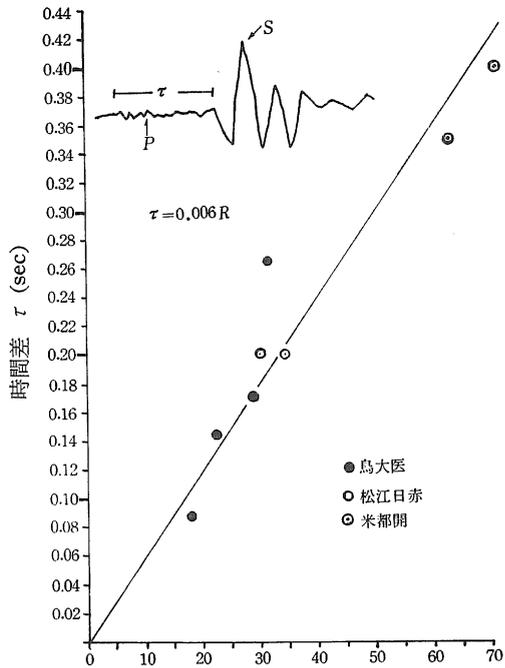
$$\frac{1}{U_P} = \frac{1}{U_S} - 0.006 \quad \dots\dots (2.3)$$

を得る。U_P > 0 でなければならないから上式より U_S < 167 m/s を得る。

2・3 錘の自由落下による地盤の振動

図1・1のような錘の自由落下実験の場合には，振動は地表面に置かれた円板のところから発生し，地表に沿って伝播して測定点に到着すると考えられるから，図1・2の点AとC，AとBの間の時間差 t_r，t_x はそれぞれ水平方向，上

図2・2 P形、S形の到着時間差と距離Rの関係



杭の先端から測定点までの距離 R (m)

下方向の振動が距離 r m だけ伝播するに要する時間である。 $r = 1, 2, 3, 4, 5$ に対する t_y, t_x の実測値をプロットしたのが図 2・3 である。この図から伝播速度を求めると、上下方向では 460m/s 、水平方向では 280m/s を得る。これは U_s の上限 167m/s を越えている。従ってこの実験で得られた振動は S 形ではない。

一方、〔1・2・2〕で述べたように、この振動の振幅は上下方向が水平方向の2.7倍も大きい、これは P 形の特徴である。よってこの振動は P 形と同種のものと考えられる。即ち、この例から P 形振動の伝播速度 U_P として上下方向で 460m/s 、水平方向で 280m/s という値が得られたことになる。

この U_P の値を式 (2・3) に入れて U_s を求めてみると、上下方向で $U_s = 122\text{m/s}$ 、水平方向で 104m/s を得る。従って $U_P/U_s = 3.8$ および 2.8 となる。

2・4 S 形振動の成因についての仮設

杭が打たれると、その先端に接した土は杭に押されて下方に動き、周囲の土との間にずれを生ずる。この剪断による変形が徐々に地盤中を伝播して行くのが S 形振動と考えられる。

(これは前報⁽⁴⁾で述べた杭打モデルと同じ考え方である。) S 形の成因をこのように仮定すると上述した S 形の諸特徴をはば説明できる。即ち

(a) Diesel hammer が杭に与える打撃仕事の大部分は杭の沈下、従って土の変形に使われるから S 形は相当なエネルギーを持った振動である。このため振幅も大きく、長く持続する振動となるのである。

(b) 杭およびそれと共に動く土を一体とした質量を m 、地盤の剪断に対するばね定数を k とすると、 S 形の振動数 f_s は減衰を無視すれば

$$f_s = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.4)$$

である。 m は相当大きいので f_s は余り大きくないことが分る。

(c) 土の変形は横波となって地中を伝播するが、その速度は縦波より小さい。

(d) 杭の先端に生ずる土の変形は上下、水平どちらの方向にも同程度の剪断歪を生ずるが、地盤中を伝播する間に、上下方向の波動は、深度による土質の不均一などのためそのエネルギーを散逸し易く、振幅が小さいのである。

2・5 P 形振動の成因についての仮設

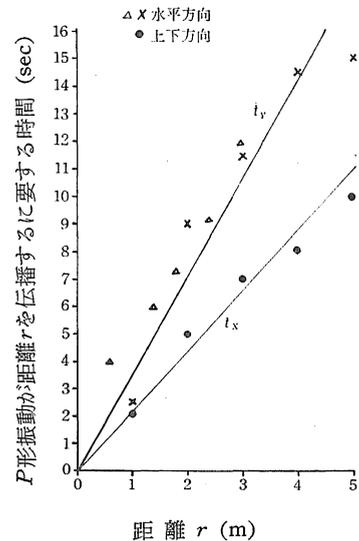


図 2・3 P 形振動の伝播時間と距離の関係 (錘落下。島大)

P 形は前述のように、杭打ちの時にも、円板上への錘の自由落下の時にも、ハンマーによってアンビル上の品物を鍛造する場合にも現われる振動であって、土の体積変化に起因する縦波と考えられる。

図2・4で質量 m の杭、円板またはアンビルがばね k とダンパ c を介して地盤に載っており、錘の落下によって m が動き、地盤に $c\dot{x}+kx$ なる力が伝達される。 $(x$ は静止位置からの m の変位) この力によって地盤中に生ずる体積変化が縦波となって伝播するのが P 形振動であるとするればその振動数 f_P は、減衰を無視すれば式(2・4)の右辺で与えられる。従って地盤のばね定数 k が同じでも、 m が小さければ f_P は大きく(図1・2の例では $f_P = 100 \text{ Hz}$)、逆に m が大きければ f_P は小さいということになる。(鍛造用ハンマーの例では $f_P = 10 \text{ Hz}$ ⁽⁷⁾)

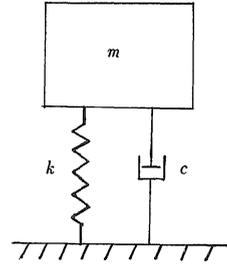


図2・4

P 形振動の本質は上下方向の体積変化に基く縦波であるとするれば、その伝播速度が速く、上下方向の振幅が大きいかことは当然であろう。

尚、図1・5の P 形は振動数が大きく 64 Hz であったが、米子都市開発ビルで測定した鍛造ハンマーによる P 形の振動数は 29 Hz であった。

3. 振幅と土質の関係

振源距離 r は同じでも、杭の先端が硬い層にある場合には、ディーゼルパイルハンマーのラムの打撃力が増し、その上昇高さは高く、打撃間隔は長くなる。このような時は地盤振動の振幅も大きくなると予想される。これを確かめるため、米子都市開発センタービル工事現場で直径 400 mm 、厚さ 4 mm 、最大長さ 50 m の鋼管杭をディーゼルハンマーで打込む場合、距離 $r = 60 \text{ m}$ を一定として深度と振幅の関係を求めた。図3・1はその結果で、その深度の N 値

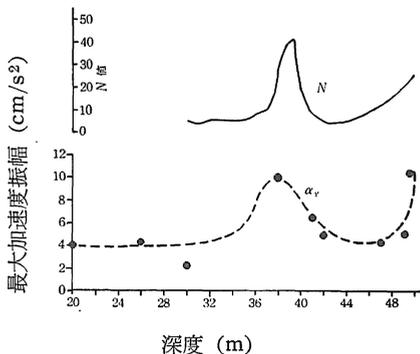


図3・1 杭の深度と、 N 値および加速度最大振幅(上下方向)の関係(米子都市開発)

も合せ記入してある。図3・2は杭打点附近の土質図である。⁽⁵⁾

図3・1より分るように、 N 値の大きい所では振幅も大きくなっている。このことから式(1・5)の定数 c は N 値と共に増す、従って同一場所の杭打ちでも、杭の先端が N 値の大きい層にある時は加速度 α は大きくなることが分る。杭打点も測定点も同一であっても α の測定値にばらつきを生ずる原因の一つはこれであろう。

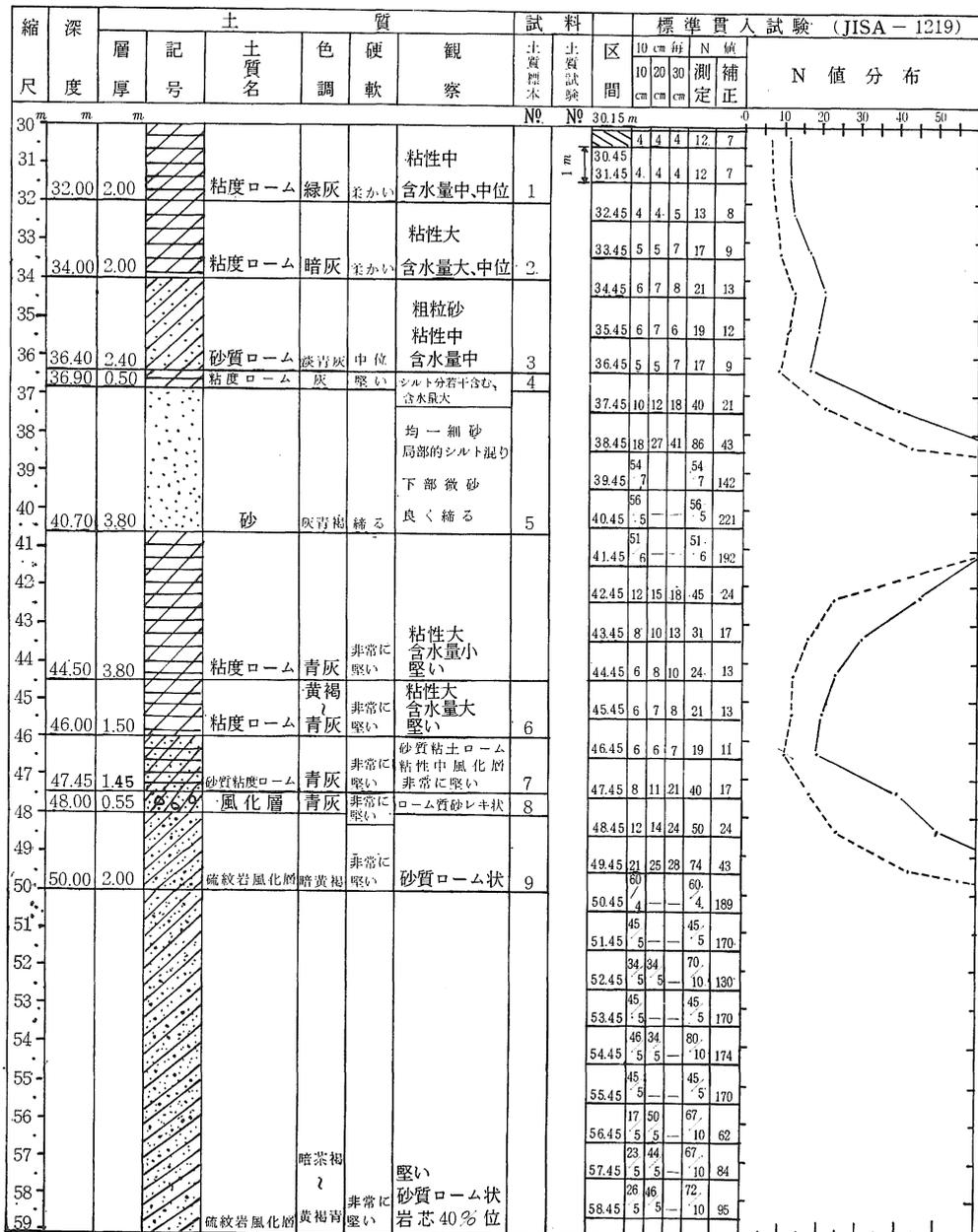


図3.2 土質図 (米子都市開発)

4. 構造物の振動

前報で提案した屋内地盤と構造物よりなる2自由度モデルの妥当性を確かめるために行った実験について述べる。

4・1 構造物の固有振動数

構造物の模型として図1・1に示す木製机を使うことにし、先ずその固有振動数を知る目的で4脚を土中に約11cm埋めて固定し、天板の中央に加速度変換器を、それより約30cmの位置に小型整流子電動機を、いずれも石膏で固定した。電動機の回転数を2210~4780 rpm (37~80rps) の間に変え、各回転数の時の天板の上下方向、水平方向の加速度を求めて共振点を探したところ、図4・1の結果を得た。即ち上下方向では約55 Hz、水平方向では約68 Hz 付近に固有振動数があることが分った。また図4・1から推測されるように、これらの値より低いところにも固有振動数があると思われるので、衝撃を与えて自由振動させ、20 Hz 前後にも固有振動数があることが分った。

4・2 錘の自由落下実験

図1・2には地盤振動の他に図1・1の構造物の水平、上下2方向の振動も記録されている。これで見ると地盤、構造物とも100 Hz のP形振動がはっきり現われており、構造物の自由振動は認められない。それは衝撃エネルギーが比較的大きかったためであると考えられる。地盤と構造物の振幅の比即ち構造物の増幅率は上下方向で3~8、水平方向で0.9~4であった。

図4・2は、木造2階家屋の玄関の屋根（この部分は1階）上に変換器を設置し、玄関のコンクリート土間を先手ハンマーで軽く叩いた時の東西、南北、上下3方向の加速度を記録した

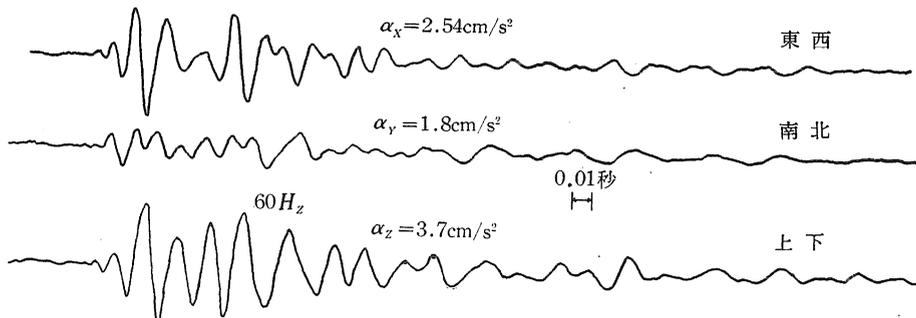
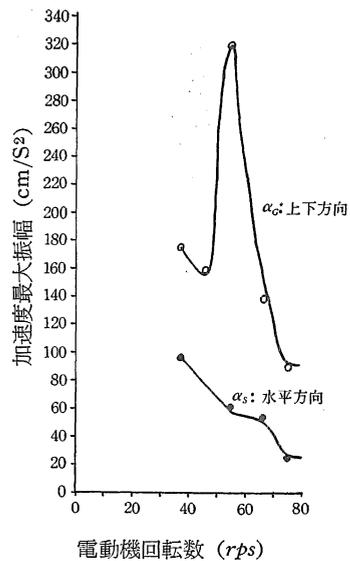


図4・2 木造家屋の屋根の加速度 (P形振動。鳥大医)

図4・1 供試構造物の周波数応答 (鳥大) 回転数による励振力の差異を補正したもの



ものである。振幅は上下方向が大きく、振動数は約 60 Hz であるから、これは図 1・2 と同じく P 形振動であると考えられる。(木造家屋の固有振動数は 10 Hz 以下)

4・3 杭打現場での測定

島根大学教育学部増築工事現場で、距離18mの地点で杭打が行われている時、図 1・1 と同じ構造物と、その直下の地盤の加速度記録の一例を図 4・3 に示す。この時の杭打の条件は、先ず三和機材 (株) 40 H 型 earth auger で深さ12mの杭孔を掘り、その孔に直径400mm、長さ14mの杭を入れ、その頂部を神戸製鋼製22型ディーゼルパイルハンマーで打つのであるが、図 4・3 は杭の深さ12.8m、ラム落下高さ2.1mで、貫入量が1.1mmの時のもので、この時杭の先端は凝灰岩層にあり、 N 値は40~50と推定される。

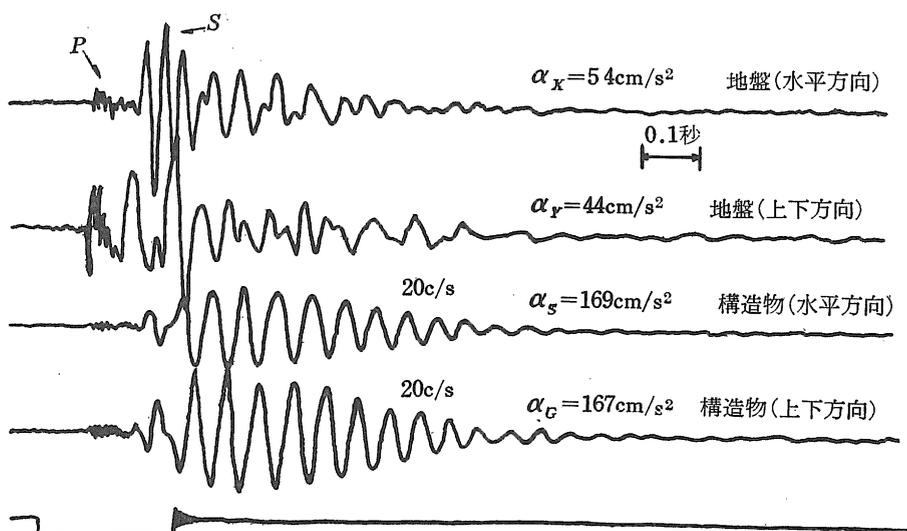


図 4・3 杭打時の地盤と構造物の加速度 (距離18m、島大)

図 4・3 では、地盤の S 形の振動数は約 30 Hz であるが構造物はその固有振動数 20 Hz で振動している。構造物の増幅率は上下方向で3.1~3.8、水平方向で2~3であった。

図 4・3 でも P 形振動が認められる。

4・4 考 察

前報で述べたアナコンモデルによって、地盤の固有円振動数 (屋外、屋内とも) 30 rad/sec、構造物の固有円振動数 30 rad/sec、構造物と地盤の重量比0.01、減衰係数はいずれも0.1の場合の屋内地盤および構造物の加速度を計算した結果を図 4・4 に示す。

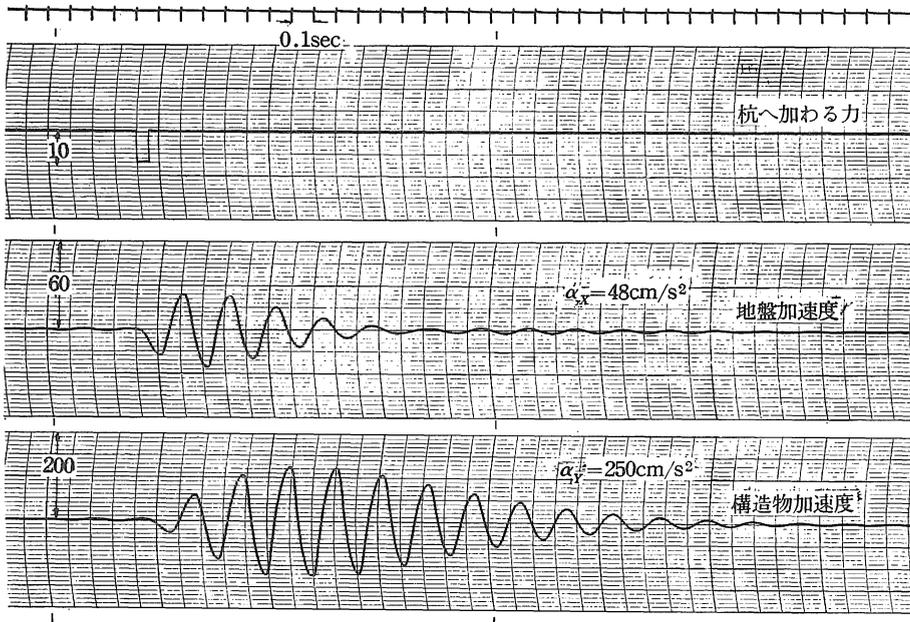


図4・4 アナコンによる杭打時の地盤および家屋の振動加速度の計算値

この時の構造物の増幅率は 5.2 である。

図4・4に示す計算波形は、図1・2、図4・3に示す実測波形とよく似ており、また増幅率も計算値と実測値が大体合っているから、前報のモデルは可成り妥当性があるといえよう。但しこのモデルは S 形振動または P 形振動のどちらか一方しか表わせない。

結 論

錘の自由落下実験および3個所の工事現場で行った測定を基にして次の結果を得た。

(1) 振源距離 r と加速度最大振幅 α の間には $\alpha = cr^{-a}$ という関係がある。定数 c と a は振動の方向により、また土質により異なる。一般に硬い地盤では c が大きい。

(2) 杭打の際に生成する地盤振動に、伝播速度の速い振動 (P 形振動) と遅い振動 (S 形振動) があるが、その各々の中でも水平方向と上下方向では速度が異なる場合がある。一例として上下方向で $U_P = 460 \text{ m/s}$, $U_S = 122 \text{ m/s}$, 水平方向で $U_P = 280 \text{ m/s}$, $U_S = 104 \text{ m/s}$ 。

(3) 構造物の振動には、その自由振動が顕著に現われる場合と、強制振動が顕著に現われる場合がある。構造物への強制入力大きい時に後者となる。

(4) 構造物についてのアナコン モデルは実際と可成り良く合う。

P 形振動は土の体積変化に基づく上下方向の縦波であり、 S 形振動は杭と付加質量が一体となって運動するため土の中に生ずる剪断変形に基因する横波であると仮定すると、次の結論を得る。

(1) P 形振動は杭打のみならず、錘の自由落下や、鍛造作業の時にも現われる。その特徴は伝播速度が速いこと、および上下方向の振幅が水平方向より大きいことである。

(2) S 形振動は、杭打ちの場合にのみ生ずる。その特徴は、伝播速度が遅く、水平方向の振幅が上下方向より大きいこと、および振動数は比較的小さく、振幅は大きく、持続時間の長いことである。

謝 辞

実験に協力された農学部学生牧，福島の両君，木材研究所の平佐氏，鳥大医学部の岡田工務係長，米子都市開発事務所の金地所長，野間次長，角森課長，戸田建設の遠坂氏，栗林組の関係者諸氏ならびに鳥大施設課の諸氏ならびに鳥大電子計算センターの堀江氏，下谷氏に深く感謝します。

参 考 文 献

- (1) 鳥根大学教育学部紀要(自然科学編)第4巻(1970.12)
- (2) 本多弘吉 : 地震波動 p. 46
- (3) 妹沢克惟 : 振動学 p. 634
- (4) 土木学会 : 土木技術者のための振動便覧 p. 330
- (5) 鳥根大学農学部研究報告 第5巻(1971. 12)
- (6) 大築・金井:耐震設計 p. 54
- (7) 桜井・小畑: 振動、衝撃の計測