

# 砂層中のクイ基礎の水平振動実験

大原資生\*・山本哲朗\*・光永臣秀\*\*

## Horizontal Vibration Model Tests on Pile Foundation in Sand

Sukeo OHARA, Tetsuro YAMAMOTO and Tomihide MITSUNAGA

### Abstract

Horizontal vibration tests using the shaking table on the model of pile foundation in sand are conducted to investigate the effects of thickness of sand layer, vibrating acceleration and shear deformation of sand layer on the dynamic characteristics of pile foundation. The model of pile foundation is a single pile or four piles, and the toe of each pile is fixed at the bottom of the sand box.

From the experimental results, it is found that thickness of sand layer and vibrating acceleration have dominant effects on the characteristics such as natural frequency, damping constant and deflection of the pile foundation. Though, the increase of shear deformation of sand layer owing to the increase of vibrating acceleration has the secondary effect on the dynamic characteristics of the pile foundation.

### 1. まえがき

深い基礎の一つとしてよく知られているクイ基礎は一般の基礎では地盤の支持力が不足する場合や特に軟弱地盤が厚い場合等に用いられる。そしてクイ基礎がある地盤中に設けられる際には、他の基礎と同様にクイ基礎の鉛直および水平方向の支持力の大きさが検討される。

従来、クイ基礎の鉛直方向の支持力計算には Terzaghi によって提案された地盤の支持力公式に立脚して求める方法等の多くの方法が用いられている。またクイ基礎の水平反力の計算は Chang によって提唱されたいわゆる Chang の方法<sup>1)</sup>等によって行なわれている。これらの方法によるクイ基礎の支持力算定公式はクイ基礎上の構造物に静的な力が作用するとして力のつりあいの関係から導かれたものである。

その後、土構造物をも含めて各種の構造物の耐震設計を行なわねばならないということ、さらに動的セン断試験機等によって土の動的特性が明らかにされるようになったことを契機にして、クイ基礎も他の構造物とたがわず、その耐震性が検討されてきた。たとえば、

大原<sup>2)</sup>は水平振動を受けている砂層中のクイの鉛直支持力は Terzaghi の支持力公式によって得られた鉛直支持力に比べて小さくなることを実験によって立証している。このように振動時におけるクイの鉛直方向の動的支持力が静的支持力よりも低下することは村山等<sup>3)</sup>によっても指摘されている。

クイ基礎の動的水平抵抗に関しても我が国においては小坪、後藤等の多くの研究者によって検討されるようになった。それにもかかわらず、現在のところ、耐震設計においてクイ基礎の動的水平抵抗を求める場合には震度法に基づいて、先述の Chang の方法が広く用いられている。この方法は計算が簡単なわりには実際とかなりよくあうという利点があると言われている。しかし、小坪ら<sup>4)</sup>は地震時の地盤のセン断変形を考慮した場合にはクイ基礎の曲げモーメント、セン断力分布は静的な Chang の方法によって求められたそれらと異なることを指摘している。

そこで本文は、著者の一人の先の研究結果から考えて、地震時での地盤のセン断変形はクイ基礎の水平方向の挙動に何らかの影響を及ぼすと考え、振動台を用いて砂層中のクイ基礎模型の水平振動実験を行なった。実験には、単グイ基礎、群グイ基礎の各々について2～3の剛性の異なるクイを用い、また砂層中へのクイ基礎の埋め込み深さを変えてクイの剛性、振動時における砂層の変形がクイ基礎の固有振動数および減衰定

\* 土木工学科

\*\* 大学院土木工学専攻

数に及ぼす影響を主として調べた。さらに各クイ基礎について、クイ基礎上の載荷重が2通りの場合についての比較実験を行ない、クイ基礎の変位と地盤の変形との関係を検討した。このような検討によって地震時におけるクイ基礎の水平方向の挙動をは握する上に必要な基礎的データが得られると考える。

## 2. 実験装置および実験方法

### 2.1 実験装置

実験は Photo.1 に示すように振動台上にクイ基礎模型を設置した砂箱を取りつけて行なった。砂箱は厚さ4 mm の鋼板で製作されており、またその幅、長さおよび深さはそれぞれ 35×100×60 cm である。砂箱の上部にはクイ基礎頭部の載荷板の水平変位測定用の差動トランス型変位計 (LVDT: 最大測定長 50 mm) がのせられている。なお変位計の先端はクイ基礎頭部の載荷板にヒンジ結合の状態に取りつけてある。

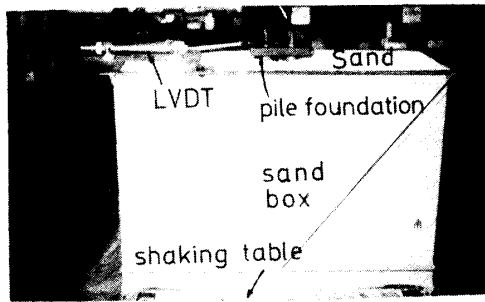


Photo. 1 Vibrating test apparatus.

振動台は載荷面積が 1 m<sup>2</sup> で許容塔載重量は 500 kg であって、振動周期と振幅は運転中に連続的に変化させることができる。また振動は水平あるいは垂直の2方向を与えることができ、振動加速度波形はほぼ正弦波である。なお、今回の実験では水平方向の振動のみ

を用いた。

本実験では、クイ基礎はクイ先が硬い基盤に達した状態で支持されたいわゆる支持グイ (point bearing pile) を想定して、次に示す方法でクイ先端を砂箱にできる限り剛結した。それはまず、砂箱の中央部にクイを取りつける孔を有する縦、横および高さが 18×18×2.5 cm の鋼板をボルトによって締めつけた。次に、先にネジ切り部分をもち、しかも長さが 4.5 cm、外径がクイの内径にちょうど合う大きさの特殊なボルトをクイの先端に取りつけ、クイを鋼板の孔に入れてナットで締めた。特殊ボルトは互いに直交する2方向の2ヶ所でボルト締めによってクイに装着された。なお、クイ基礎上の載荷板のクイへの取りつけも以上述べた方法に準じて行なった。

前述のように実験に用いたクイ基礎は大別すると単グイ基礎および群グイ基礎 (4本グイ) の2種類である (Table 1)。各クイ基礎においては振動時の砂層の動きがクイ基礎の変位に及ぼす影響をより明確には握するために、2ないし3種類の材質の異なったクイを用いた。各々のクイ基礎の材質、寸法、剛性 (EI) および載荷板の重量は Table 1 に示すとおりである。EI はクイの頭部をバネばかりを用いて静的な引張り試験を行ない、それによって得られた引張り力へクイ頭変位関係とクイの断面2次モーメント (I) から求めた。表中、各クイ基礎の載荷重量が異なっているのは載荷板とクイとを剛結するために使用した特殊ボルトの大きさあるいは数が違うためである。

### 2.2 実験方法

クイ基礎模型が設置された砂箱内に次の方法によって気乾状態の豊浦砂を充填した。まず、砂をバケツトに入れて吊り上げ、砂箱底部から約 50 cm の高さから

Table 1 Properties of pile foundation

Pile foundation	Number of pile	Pile dimension			Flexural rigidity of pile, EI (kg-cm <sup>2</sup> )	Surcharge weight, W (kg)
		Length (cm)	Outer diam. (cm)	Thickness (cm)		
Polyvinyl chloride (PVC) pipe single pile	1	56.5	3.2	0.35	79,300	6.3
Brass pipe single pile	1	56.5	3.2	0.11	874,000	6.4
PVC pipe pile group	4	56.5	3.2	0.35	252,000	7.3
PVC rectangular pile group	4	56.5	3.0*	1.00	25,700	7.3

\* Width

ビニールホースを通じて砂箱に流し込んだ。次にクイ頭部をエンピ板を使用して砂箱に固定した後、砂箱を震度 0.8 (振動数: 9.2Hz) の水平振動で 2 分間振動して、十分に砂を締めた。この状態での砂の単位重量は平均  $1.37\text{g}/\text{cm}^3$  で、間ゲキ比は 0.92 であった。砂を締めた後、振動中のクイ基礎の動きを拘束するのに使ったエンピ板は取り除いた。

豊浦砂の物理的性質は次の通りである。平均粒径: 0.21 mm, 均等係数: 1.8, 比重: 2.63, 最大間ゲキ比: 1.09, 最小間ゲキ比: 0.67。また粒度組成は Fig. 1 に示されている。

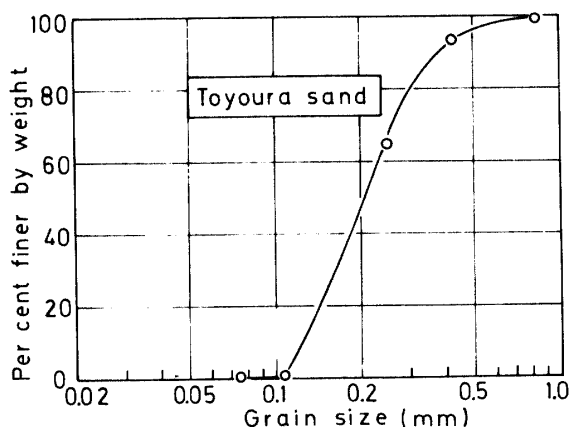


Fig. 1 Grain size distribution curve.

実験では砂層のせん断変形および振動加速度がクイ基礎の固有振動数, 減衰定数および変位に及ぼす影響を調べることを主な目的とした。この実験は上述のようにして締められた砂層中のクイ基礎に一定の水平振動加速度を与えた。振動加速度の範囲は震度に換算して 0.025~0.3 である。また, 定加速度振動試験では振動台の振動数を段階的に減少させる一方, 振動台の変位振幅を増加して一定加速度で振動するという方法をとった。なお, 各振動数での振動時間はおおよそ 30 秒とした。さらに所定の砂層厚すなわちクイの根入り長さは 0, 26, 41 および 55.5 cm の 4 通りである。振動中の測定はクイ頭部の載荷板の水平変位と振動台の加速度の両者について行なった。測定はそれぞれ変位計, 加速度計を用い, 出力はペン書きオシロで自記録させた。

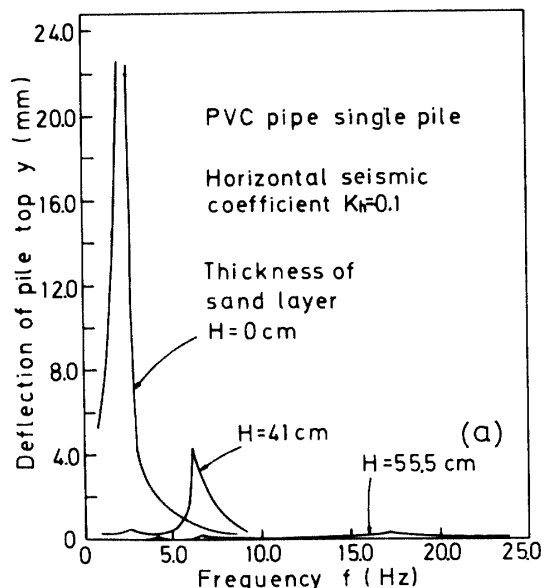
また本実験では振動時での砂の動きがクイ基礎の変位にどのように影響するかを検討した。そのためには砂の動きを知る必要があるため, クイ頭部に慣性力が作用しない状態での試験を行なわなければならない。そこで重量のほとんど無視できるエンピ板製 (縦, 横, 厚さがそれぞれ  $18 \times 18 \times 1\text{cm}$ , 重量が 435 gr) の載荷板をクイ頭部につけた場合の実験を行なった。その際

の砂層厚は 55.5 cm のみとし, 振動数 3 Hz の水平振動を与えた。

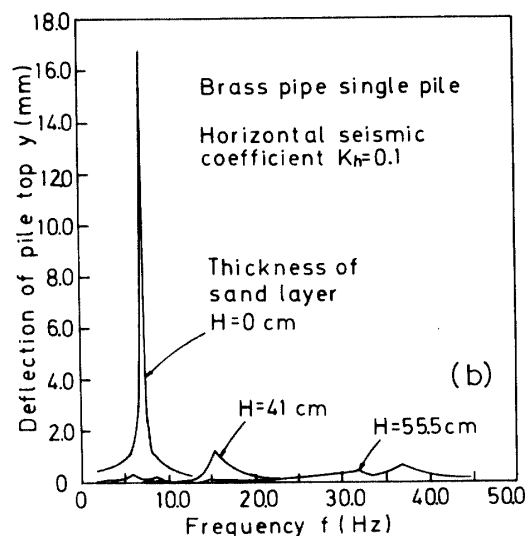
### 3. 結果および考察

#### 3.1 共振曲線

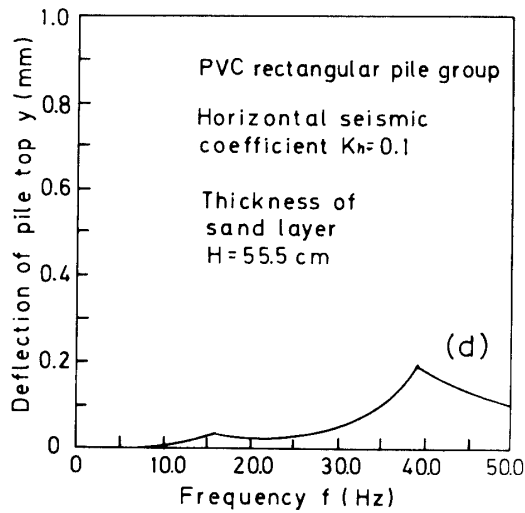
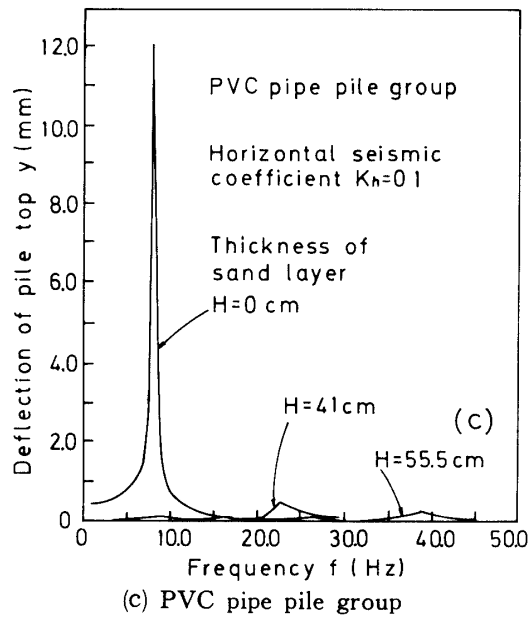
Fig. 2 (a), (b), (c) および (d) は所定のクイ根入り長の各クイ基礎について, 振動台の加速度が一定となるように振動数を段階的に低下させながら台変位を増加してクイ頭変位を測定した結果の 1 例である。Fig. 2 は震度が 0.1 での各砂層厚の場合の結果であるが, 図中の曲線は少なくとも 3 回以上の実験結果の平均値を示している。



(a) PVC pipe single pile



(b) Brass pipe single pile



(d) PVC rectangular pile group

Fig. 2 Resonant curves.

Fig. 2(a), (b), (c)および(d)から、各砂層でのクイ基礎の変位はクイ基礎のEIに対応してある振動数において著しく大きくなっているのがわかる。これはクイ上部に構造物を支持しているクイ基礎の共振現象を示している。この振動数をクイ基礎の固有振動数という。ところで固有振動数は砂層厚が増すのにもなって増加している。さらに砂層厚が0の場合の共振時のクイ頭変位は砂層厚が増加するに従って著しく減少している。このようなクイ基礎の根入り長が共振時のクイ基礎に及ぼす影響については次節で改めて考察する。

次に  $y \sim f$  曲線の山型を呈している曲線に着目すると、曲線のピークから振動数の小さい部分の曲線の勾配はピークから振動数の大きい部分のそれよりも大きい、これはクイ基礎頭部に作用する慣性力と変位の

関係が非線形であることを示している。

各クイ基礎において砂層厚が0cm および 55.5cmの両者の  $y \sim f$  曲線を比較して見ると、後者においては前者から類推して見てクイ基礎自身の共振ピークと思われない4~5ヶの小さなピークが認められる。これらのピークの振動数はクイ基礎の剛性の違いにかかわらずほぼ一定である。これらは本実験では砂層が有限な大きさの箱に詰められた状態で振動を受けたために生じたと思われる。なお砂箱の壁面の状態がクイ基礎一砂層系に及ぼす影響を調べるために砂箱の振動方向に直角な壁面全体に2.5cm厚のスポンジをとりつけた実験も行なった。その結果は壁面にスポンジをつけないで行なった実験結果とともにFig. 3に示されている。この図から、スポンジはクイ基礎一砂層系の振動特性にほとんど影響していないといえる。そこで本節および後節に示した結果はすべて砂箱の壁面にスポンジをつけないで行なった実験結果を用いた。

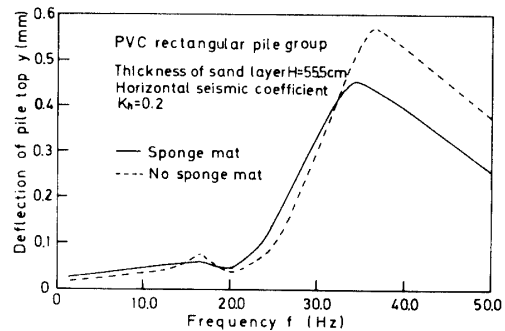


Fig. 3 Comparison of vibrating tests with sponge mat and no sponge mat.

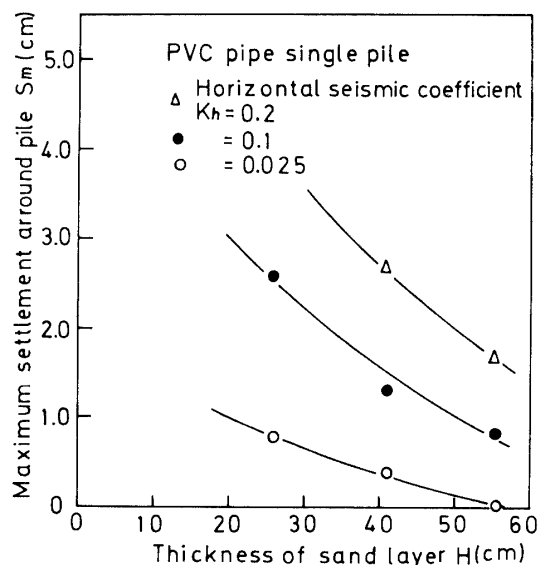


Fig. 4 Maximum settlement around pile caused by vibration of PVC pipe single pile in various thickness of sand layer.

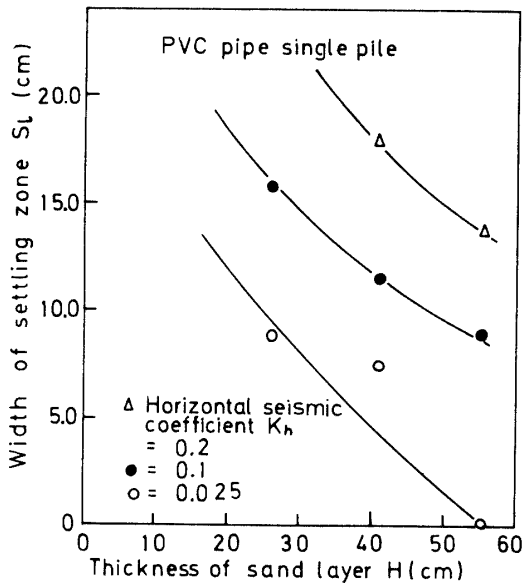


Fig. 5 Width of settling zone of sand layer by vibration of PVC pipe single pile.

各クイ基礎が共振状態で振動することによってクイ周辺の砂層表面の砂は著しい沈下を生じているのが観測された。そこで一通りの振動実験が終わった後、クイ周辺の砂表面の最大沈下量と沈下が起っている領域の長さを測定した。測定結果の代表的な例は Fig. 4 および Fig. 5 に示されている。両図から、クイ周辺の砂層の最大沈下量および沈下領域の広がりには震度が大きくなるに従って増加し、さらに砂層の厚さが増すにつれて減少しているのがわかる。震度が増加するにしたがってこの領域が広がるのはクイ基礎頭部の載荷板の慣性力が増すためである。このことはさらに載荷板の重量が 0.4kg と 12.8kg のクイ基礎について行なった実

験結果を比較して確かめられた。また、砂層の厚さが厚くなるにつれてこの領域が小さくなるのはいうまでもなくクイ周辺の砂がクイ基礎の動きを抑えるためである。

3.2 砂層厚および振動加速度のクイ基礎の固有振動数、減衰定数および変位に及ぼす影響

Fig. 2 に示された実験曲線から、クイ基礎の固有振動数 (\$f\_n\$) はクイ頭が最大の点での振動数として得られる。また減衰定数 (\$h\$) は次式で与えられる。

$$h = (f_2 - f_1) / (f_2 + f_1) \quad (1)$$

ここに \$f\_1, f\_2\$ はクイ頭変位の最大値を \$\sqrt{2}\$ で除したクイ頭変位における振動数である。

所定の砂層厚の状態では震度 0.1 なる振動加速度をうけた振動実験 (強制振動実験) から得られた 2 つのクイ基礎の固有振動数および減衰定数の値は Table 2 に示すとおりである。なお同表には自由振動実験から求めた値も示されている。自由振動実験の値は各砂層中に設置されたクイ基礎頭部の載荷板を引っ張って急に離す、あるいは木づちによって載荷板に衝撃力を加えたときのクイ頭振動の時間的変化の記録を取り、その記録から得られたものである。Fig. 6 は記録の一例である。Table 2 から、自由振動実験によって得た \$f\_n, h\$ は砂層厚が増加すると、強制振動によって得た値よりも大きくなる傾向がみえる。この結果の原因としては自由振動の場合には砂層のセン断変形が生じないのに強制振動の場合にはそれが生じることによる違いであろう。このことから、振動時におけるクイ基礎—地盤系でのクイ基礎の固有振動数、減衰定数は実験の簡

Table 2 Comparison of natural frequency and damping constant obtained by forced and free vibration tests.

Pile foundation	Thickness of sand layer H (cm)	Forced vibration		Free vibration	
		Natural frequency (Hz)	Damping constant	Natural frequency (Hz)	Damping constant
Polyvinyl chloride(PVC) pipe single pile	0	2.2	0.039	2.2	0.046
	26.0	3.2	0.044	3.1	0.075
	41.0	6.0	0.044	6.4	0.113
	55.5	17.4	0.064	10.0	0.276
PVC pipe pile group	0	7.9	0.823	8.3	0.058
	26.0	12.1	0.052	13.3	0.112
	41.0	22.4	0.062	26.3	—
	55.5	38.8	0.050	—	—

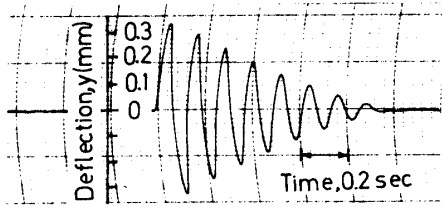
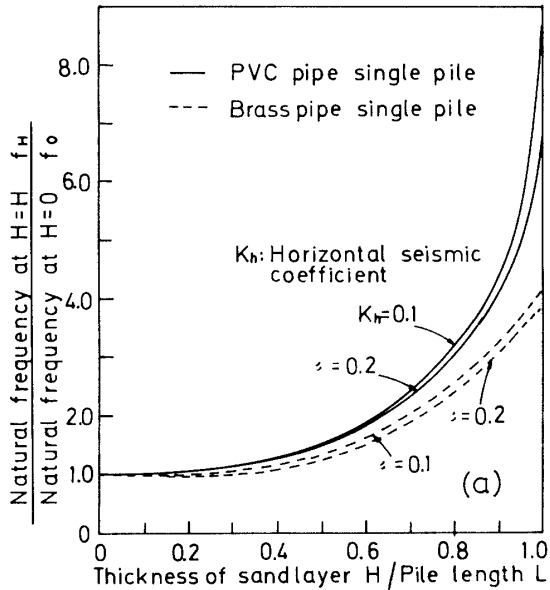
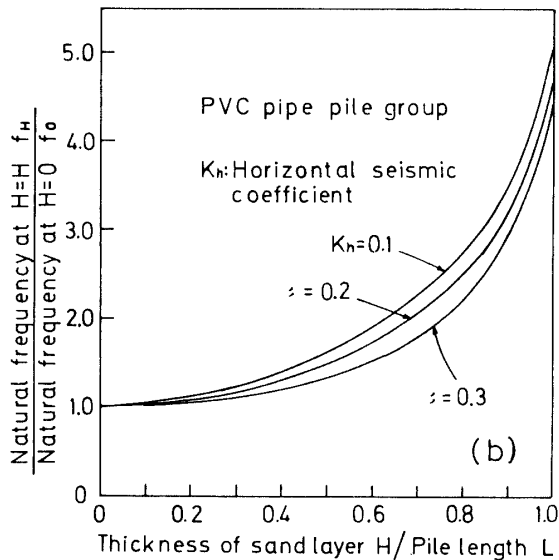


Fig. 6 Record of free vibration test. (PVC pipe pile group. Thickness of sand layer  $H=0\text{cm}$ )



(a) PVC pipe single pile and Brass pipe single pile



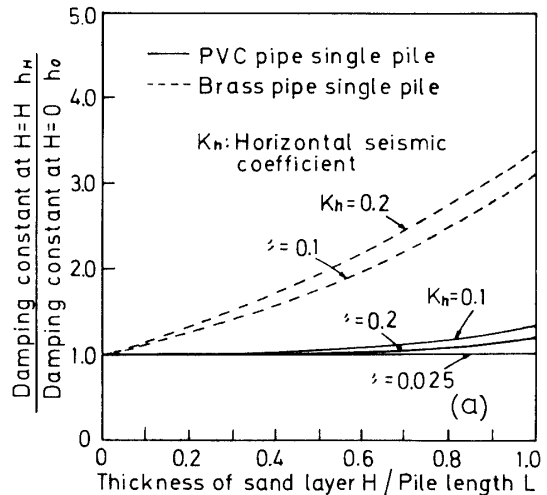
(b) PVC pipe pile group

Fig. 7 Relationship between  $f_H/f_0$  and  $H/L$ .

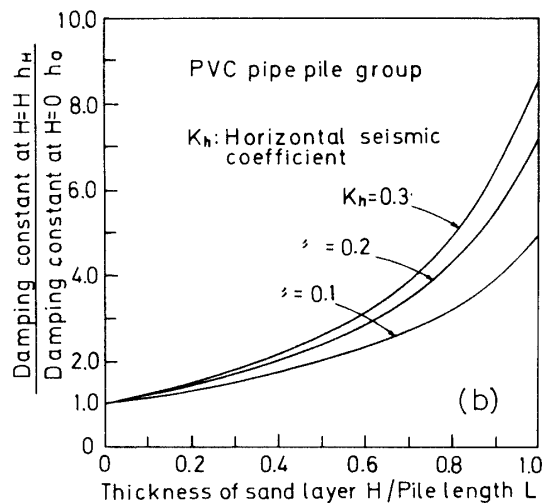
単な自由振動から求めるよりも強制振動によって求めるのが妥当といえよう。したがって、以下の検討は強制振動実験によって求めた値を用いて行なっている。

Fig. 7 (a), (b)は単グイ基礎、群グイ基礎別に砂層厚

および震度とクイ基礎の固有振動数との関係を示す。また、Fig. 8 (a), (b)は Fig. 7 の各クイ基礎に対して砂層厚および震度とクイ基礎の減衰定数との関係を示す。Fig. 7 (a), (b)を総合して次の2点が指摘される。一つは、各震度において、砂層厚がクイ基礎の固有振動数に及ぼす影響はEIの小さいクイ基礎において大きい。他方は震度が大きくなるにつれて砂層厚のクイ基礎の固有振動数に及ぼす影響が小さくなる。最初の点はクイの材質が軟らかいほど砂による拘束力を受け易いことから理解される。二番目の点は震度が大きくなるとクイ基礎と同様に砂層の動きが増加し、したがってクイ基礎の振動の固定端が下がり、その結果としてクイ基礎の固有振動数が増加すると考えられる。このことは見方をかえれば震度が同じ場合、クイの根入り長さが大きくなると、クイ基礎の固有振動数が高く



(a) PVC pipe single pile and Brass pipe single pile



(b) PVC pipe pile group

Fig. 8 Relationship between  $h_H/h_0$  and  $H/L$ .

なるのと同じであろう。つまり、砂層によってクイ基礎の振動に対する拘束力が増して見かけ上、クイ自由部分長が短くなるためと考えられる。

そこでクイ頭部が回転自由な単グイ基礎については載荷板がロッキング振動すると考えて次式を用いて見かけのクイ自由部分長 ( $L_a$ ) を算出した。

$$AL_a^4 + BL_a^3 + CL_a^2 + DL_a + E = 0 \quad (2)$$

ここで  $A = Jmn^4$ ,  $B = -4EImn^2$ ,  $C = -6EImn^2l_1$

$D = -3EIn^2(ml_1^2 + 4J)$ ,  $E = 12(EI)^2$

$J$ : 載荷板の重心まわりの慣性モーメント,  $m$ : 載荷板の質量,  $n$ : クイ基礎の固有円振動数,  $EI$ : クイの曲げ剛性,  $l_1$ : 載荷板の高さ。

上式は片持ちばり上の構造物がロッキング振動を行なう場合の2自由度系の振動数方程式を基にして導かれた。

エンビ管およびシンチュウ管単グイ両基礎について、(2)式から求めた  $L_a$  と砂面上のクイ長 ( $L-H$ ) との比を縦座標に、震度を横座標にとって両者の関係をプロットして Fig. 9 に示す結果を得た。この図から、クイの根入り長さが長いほど、砂層によるクイ基礎の固定端の下降の度合いが大きいことがわかる。さらに各砂層厚においては、震度が大きくなるとクイ基礎の固定端の下降の度合いも大きくなることが認められる。

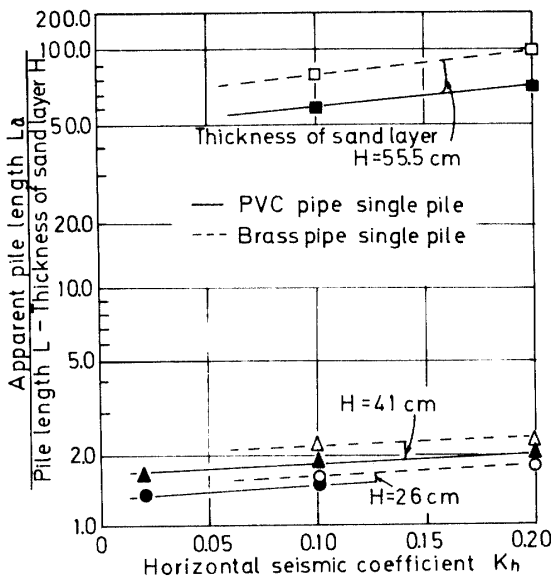


Fig. 9 Effect of vibrating acceleration and thickness of sand layer on an apparent pile length.

次に、Fig. 8(a)から、振動中のシンチュウ管単グイ基礎の減衰はエンビ管単グイ基礎の減衰に比べて砂層の影響を受け易いことがわかる。なお砂層厚が0cmでのシンチュウ管単グイ基礎の減衰定数は0.014であ

り、これに対してエンビ管単グイ基礎のそれは0.039であった。したがっていずれの砂層厚においてもシンチュウ管単グイ基礎の減衰定数はエンビ管単グイ基礎のそれよりも小さいと言える。

Fig. 8(a), (b)でクイがエンビ管の場合の結果を比較すると、群グイ基礎の減衰定数は単グイ基礎の減衰定数よりも砂層厚の増加によってより大きくなっている。さらに各砂層厚での群グイ基礎の減衰定数は単グイ基礎のそれより大きい。ところで振動系の共振時での減衰定数  $h$  は一般的に(3)式で与えられる。

$$h = V_i / (4\pi \cdot V_{max}) \quad (3)$$

ここで、 $V_i$ : 定常振動において振動系が1サイクル中に失なうエネルギー,  $V_{max}$ : ひずみエネルギーの最大値。

したがってクイ基礎のクイの本数が増す、すなわちクイの剛性が増すと、クイと砂層の接触面積が増加することに起因して、クイ基礎が1サイクル中に失なうエネルギーが貯わえられるエネルギーに比して大きくなると考えられる。

さて、減衰定数は所定の根入り長のいずれのクイ基礎においても、振動加速度が大きくなると増加するが、これは砂層のせん断変形が増大すると同時にクイ基礎の変位も増加して、クイ周囲の砂のゆりこみによって砂層が締め、その結果、砂がクイを拘束する度合いが大きくなるためであろう。同じような結果はフーチング基礎の減衰定数とフーチング周辺の地盤との接触面積との関係について調べた実験結果<sup>5)</sup>にも見られる。

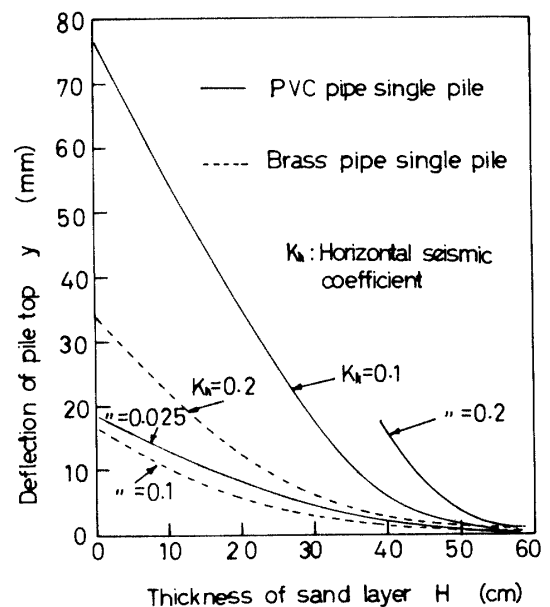


Fig. 10 Relationship between deflection of pile top  $y$  and thickness of sand layer  $H$ .

Fig. 10, 11はそれぞれ単クイ基礎, 群クイ基礎において, クイ基礎が共振現象を起している時のクイ頭変位と砂層厚ならびに振動加速度の関係を示している. Fig.10からわかるように,  $EI$  の大きいクイ基礎ほど, クイ頭の変位が小さい. また, Fig. 10 と Fig.11を比較すると, エンビ管群クイ基礎のクイ頭変位はエンビ管単クイ基礎のそれに比べて非常に小さいといえる.

したがって実際問題としては言うまでもなくクイ基礎として  $EI$  の大きいクイを, また単クイよりも群クイを用いた方が, 地震時での構造物の被害を小さくできる. さらに剛性の大きなクイを使った群クイ基礎においては, クイ基礎の固有振動数が高いことによって単クイ基礎よりも共振現象が回避できよう.

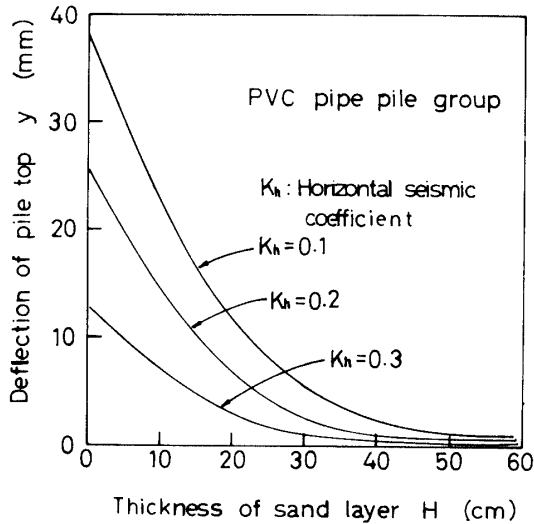


Fig.11 Relationship between deflection of pile top  $y$  and thickness of sand layer  $H$ .

次に Fig.12は砂層厚が  $H$  の時の共振時のクイ頭変位  $y_H$  と砂層厚が  $0$  のときの共振時のクイ頭変位  $y_0$  との

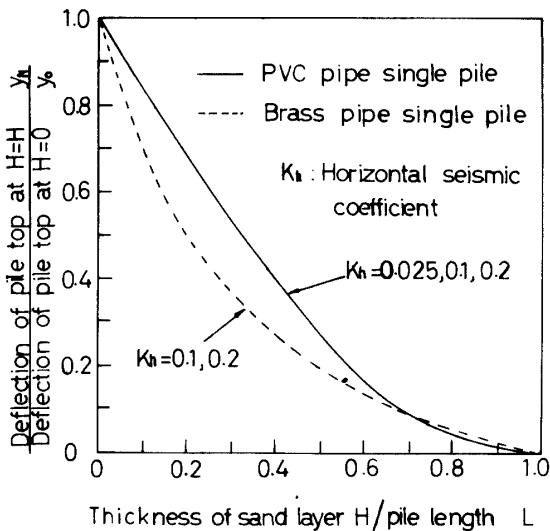


Fig.12 Relationship between  $y_H/y_0$  and  $H/L$ .

比  $y_H/y_0$  と砂層厚  $H$  とクイ長  $L$  との比  $H/L$  との関係を示している. エンビ管およびシンチュウ管単クイ基礎において, クイ基礎—地盤系に加えられた振動加速度の大きさによらず,  $y_H/y_0 \sim H/L$  関係はほぼ一本の曲線であらわされた. この図において  $H/L \approx 0.7$  すなわちこの実験では砂層厚がおよそ 40cm 以上では, エンビ管単クイ基礎の  $y_H/y_0$  はシンチュウ管単クイ基礎の  $y_H/y_0$  よりも小さくなっているが, このことは振動による砂層のせん断変形はそれほど大きくないことを示している. いいかえると振動中の砂層はおよそ 40cm 以上の根入り長をもつエンビ管単クイ基礎に対してはクイ基礎自身の振動変形を拘束していると考えられる.

3.3 砂層のせん断変形

振動中の砂層のせん断変形がクイ基礎の変形にいかに関与するかを調べるために, 載荷板自身の重量が 6.3kg と 0.4kg の二つについて定加速度振動 (振動数: 3Hz) での比較実験を行なった. 各クイ基礎について載荷板とクイを剛結するボルトの数や形が異なるので全載荷重はわずかに違うが, ここではそのことは無視する. なお振動加速度は震度に換算して 0.1, 0.2, 0.3 および 0.4 の 4 通りである.

載荷重量 6.3kg で砂層厚が 55.5cm の場合の実験結果は Fig.13に見られるようであった. 一方, 載荷重量 0.4kg で砂層厚が 55.5cm の場合の実験結果は Fig.14に見られるようであった. Fig.14において, 各クイ基礎のクイ頭変位は非常に小さく, またクイの剛性, クイの本数の違いによってほとんど変わらないことが注

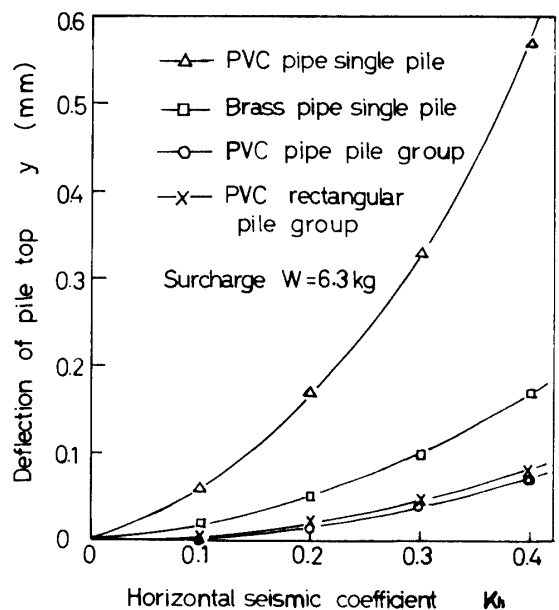


Fig.13 Relationship between deflection of pile top  $y$  and horizontal seismic coefficient  $k_h$ .



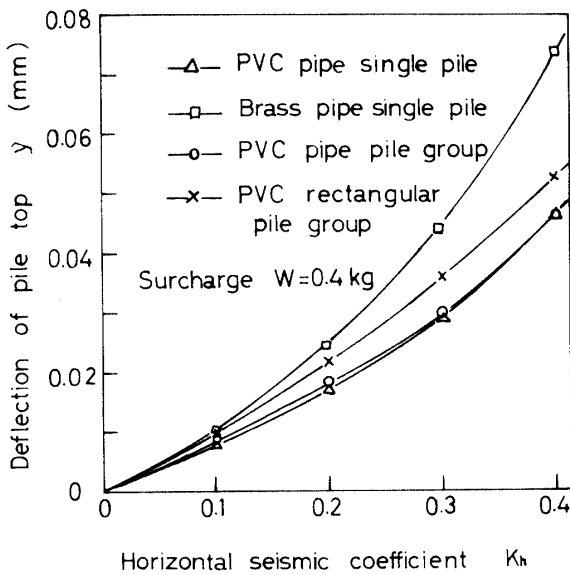


Fig.14 Relationship between deflection of pile top  $y$  and horizontal seismic coefficient  $k_h$ .

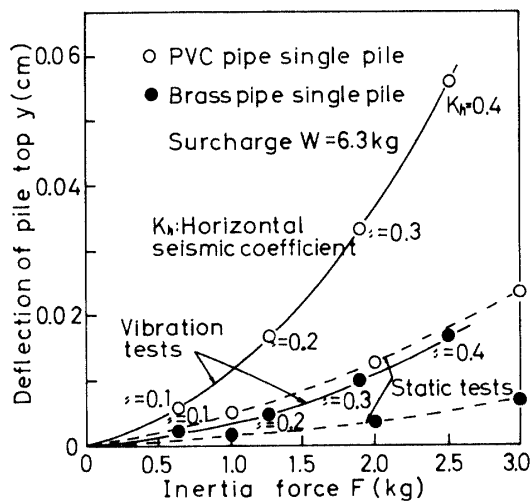


Fig.15 Relationship between deflection of pile top  $y$  and inertia force  $F$ .

目される。したがって Fig.13における各クイ基礎のクイ頭変位の差はクイの剛性と載荷板に与えられる慣性力の大きさの違いによって生じたと理解される。

次に、振動中の砂層の変形がクイ基礎の挙動に及ぼす影響を見るために、砂層厚が 55.5cm での単グイ基礎の振動実験結果と静的引張り実験結果から、両者のクイ頭部の変位と慣性力との関係を調べた。その結果は Fig.15 に示されるとおりである。この図において、振動時のクイ頭変位の方が大きいことから、振動時の砂層のセン断変形によって、砂層のクイ変位に対する反力は砂層が静止している場合のそれより小さくなるのがわかる。しかし、Fig.13, 14 を比べてわかるように砂層のセン断変位は、クイ基礎の変形を助長して

いるとは考えられない。振動中には砂層のセン断変形が生じるためにクイに対する拘束力が減少すると考えられるのである。

軟弱地盤中のクイ基礎の変位は地盤のセン断変形によって助長されることがある。しかし、本実験では実験を行なう都合上砂層を締固めた。その結果、振動中砂層の動きすなわちセン断変形量が小さかったと考えられる。また、砂箱は有限でしかも振動方向に直角な壁面は固定されていたので振動時の砂層のセン断変形もいわゆる半無限地盤のセン断変形と異なっているであろう。今後、砂層の振動方向に直角な壁は砂層の変形に応じて移動できる可動壁として、振動中の砂層のセン断変形がクイ基礎の挙動に及ぼす影響をより定量的には握る必要がある。そしてその結果に基づいて地震時のクイ基礎の挙動をさらに明らかにできるものとする。

#### 4. まとめ

地震時のクイ基礎の挙動を知るための基礎的研究として、クイの根入り長、振動加速度およびクイ頭部の載荷重量がクイ基礎の固有振動数、減衰定数およびクイ頭変位等に及ぼす影響を実験的に検討して、次のような結果を得た。

1) 単グイおよび群グイ (4本グイ) 基礎の両者において振動加速度が同じ場合、クイの根入り長が大きくなると、クイ基礎の固有振動数は高くなる。またクイの根入り長が同じ場合には、振動加速度が増加すると、クイ頭部の慣性力が增大するためクイ周辺の砂層の沈下領域が広がること、および砂層のセン断変形が大きくなることに起因して、クイ基礎の固有振動数は低くなる。

2) クイ基礎の減衰定数はクイの根入り長が大きくなると、また砂層のセン断変形が増すと、クイと砂層の緊密度が増加して大きい値となる。

3) この実験では砂層のセン断変形は実験範囲内でクイ基礎の変位を助長するほど大きいものではなかった。これは砂層が締固められていたことおよび砂層の振動方向に直角な砂箱の壁が固定されていたことによると考えられる。

最後に本実験の一部は本学技官藤井信夫氏、学生西田雄司、溝部吉継両君に手伝っていただいたことを付記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Y.L. Chang: Discussion on the Paper "Lateral Pile-Loading Tests" by L.B. Feagin, Trans. ASCE, **102**, (1937).
- 2) 大原資生: 水平振動を受けている砂層中のクイの支持力についての模型実験, 土と基礎, **15**, 8 (1967).
- 3) 村山, 柴田, 齊藤: 杭の動的支持力について, 第2回地震工学研究発表会講演概要 (1958).
- 4) 緒方, 小坪: 杭基礎に作用する水平地震力について, Proc. of the 2nd Japan Earthquake Engineering Symposium (1966).
- 5) F.E. Richart: Some Effects of Dynamic Soil Properties on Soil-Structure Interaction, Proc. ASCE, **101**, GT.12 (1975).

(昭和51年10月15日受理)