

I-100 群杭基礎の動的特性に関する実験的研究

特に減衰性について

東洋大学工学部 正員 高田孝信

東洋大学工学部 学生員 ○高田清美

1. まえがき

従来、杭基礎の動的特性に関する研究は数多くなされているが現実問題としてより事実即した動的性状の把握はなされていないように思える。特に減衰力は一般に粘性減衰系とし、復元力は変位のみ関数として考えられているが、これらの想定が実際の杭基礎に対してどれほどの近似性があるか疑問であり、この点を究明すべく実験的研究を行なったものである。

この意味から、本実験では模型実験で問題となる相似性を考慮して、通常使用されている杭基礎に対する縮小比の小さな模型を用いた。

実験は外力として正弦波的な強制力を杭頭頂盤に作用させた場合の応答振動を記録して、減衰性および復元性が頂盤の動的挙動にいかなる関係があるかを定性的に考察した。また、静的水平載荷試験を行なって、「力-変位」関係のヒステリシスからみかけのバネ定数と求めて動的試験から得られた値と比較検討も併せて行なった。

2. 実験概要

供試体は外径 31.85 (cm) で肉厚 0.97 (cm) と、外径 21.73 (cm) で肉厚 0.65 (cm) の 2 種の鋼管を用いた。また、TYPE については i) 杭頭自由の単杭、ii) 杭頭固定の単杭、iii) 群杭の 3 種を用いており、計 6 種の供試体について実験を行なった。供試体の設置状態は図-1 に示す。但し杭頭固定の杭は杭頭自由の単杭 A_1 と A_2 、および B_1 と B_2 の頂盤を連結することで杭頭固定の条件を満足させる。

杭周囲の地層は図-2 に示すようにシルト質ロームからなっているが、地表部と杭尖端部で 40 (cm) 程度の層に礫を含む。N 値は全層を通じて 10 ~ 20 程度である。

群杭 A_0 のコンクリート頂盤の重量 (W_{TC}) は 18 (TON) で、起振機等を含めた総重量 (W_T) は 20.55 (TON) である。

実験は大別して、静的試験と動的試験の 2 種について行なった。前者は水平の繰り返し載荷によって「力-変位」のヒステリシスを得る。後者は各供試体の頂盤に起振機 (大型: 5 Hz で 20 TON , 小型: 0 ~ 3 TON) を設置して正弦波形の強制力を作用させ、定常状態になってから加速度と速度計により応答振動を記録する。この際、強制力の最大値を千エッカーで応答記録と同時に記録させることによって任意の時刻の位相が得られ「力-変位」関係のヒステリシスを描くことができる。

実験に先立って、群杭 A_0 の振動が他の杭に及ぼす影響を知るために、 A_0 の頂盤に強制力をかけて各々の杭頭の応答振動数と振幅の関係を求め、これを図-3 に示した。この図より、群杭 A_0 の振動は地盤を媒体として他の杭へ伝播しており、逆に群杭 B_0 からののはお返り現象もみられる。特に卓越周期付近においてその伝播度は大きい。しかし、5 Hz 以下では他の杭への影響はほとんど無視し得る。従って実験では 5 Hz 以下の強制振動数で行なって、他の杭の影響は考慮しない。

測定値の解析は簡単な一自由度の質点系にモデル化し、復元力が線型および非線型とした場合の2通りについて計算した。

i). 復元力が線型のとき、減衰定数 h およびバネ定数 k は次式で表わされる。

$$h = \frac{W_r^2 - 1}{2W_r} \tan \delta \quad \dots \dots (1) \quad k = \frac{W_r^2 P_0^2 W_r}{g} \quad \dots \dots (2)$$

但し、 W_r は固有と強制の円振動数比であり、 δ は位相である。また、 W_r はコンクリート頂盤とそれに付帯する起振機等の総重量である。

実験から減衰定数およびバネ定数を求めるには定常振動において、振幅と位相を測定することにより(1)と(2)式から近似的に算出される。

ii). 復元力が非線型のとき 復元力は図-4に示すような振幅と変位で表わされる非線型であるとし、減衰性は粘性減衰系とすると運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{W_r}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + R(y, a) = F_0 \sin \omega t \quad \dots \dots (3)$$

但し、 c -変位の関係が図-4に示されるような履歴曲線を呈する場合、復元力 $R(y, a)$ はフーリエ級数展開することによって、次式で表わされる。

$$R(y, a) = F(a) \frac{y}{a} + \frac{\Delta W}{\pi a} \sqrt{1 - \left(\frac{y}{a}\right)^2} \quad \dots \dots (4)$$

(4)式中の $F(a)$ および ΔW は次のようなものである。

$$F(a) = \frac{W_r}{g} P_0^2 a \pm \sqrt{F_0^2 - \left\{ c P_0 a + \frac{\Delta W}{\pi a} \right\}^2} \quad \dots \dots (5)$$

$$\Delta W = \oint R(y, a) dy \quad \dots \dots (6)$$

すなわち、位相 δ および減衰定数 h は次のようになる。

$$\delta = \tan^{-1} \left\{ - \frac{c P_0 a + \frac{\Delta W}{\pi a}}{\frac{W_r}{g} P_0^2 a - F(a)} \right\} \quad \dots \dots (7)$$

$$h = \frac{g}{2P W_r} \sqrt{\frac{F_0 \tan \delta}{a^2 P_0^2 (1 + \tan \delta)}} \quad \dots \dots (8)$$

3. 結果および考察

群杭Aの頂盤に強制力を作用させて応答加速度の測定した結果を図-5に示す。この測定値を線型的として減衰定数およびみかけのバネ定数を算出した。この結果、振幅と減衰定数の関係は図-6に示すように振幅の増加にともなって減衰定数は減少する傾向がみられる。

しかし、振幅は振動数に依存しているのでこの図から直接減衰定数と振幅を関係づけることはできない。従って、図-5と6より減衰定数のパラメータとなる振幅と振動数の関係を表わしたのが図-7である。この図より次のことが言える。振幅が0.13(cm)付近で減衰定数は最も大きく、それ

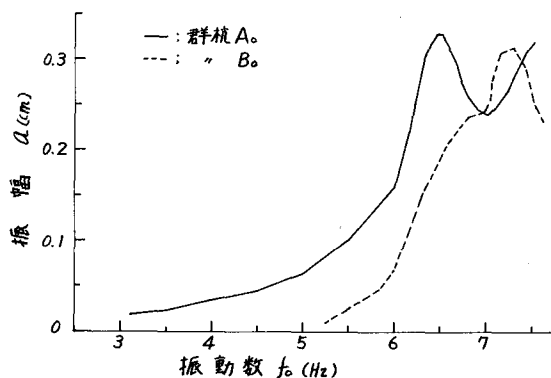
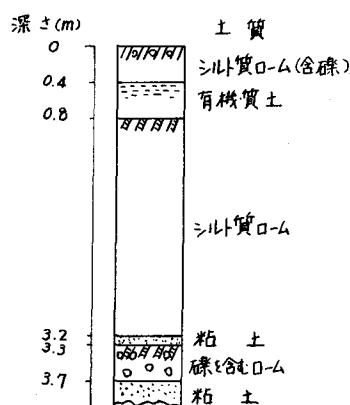
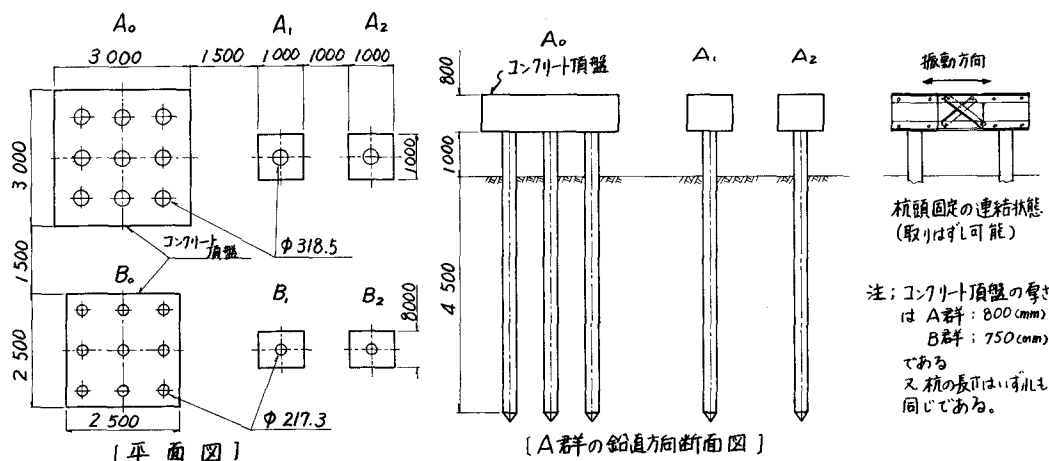
前後の振幅では小さくなっている。特に $0.05(\text{cm})$ 以下では急激に減衰し、ほぼ比例関係にあることが予想される。又、振幅が一定のもとで振動数が大きくなると減衰定数は小さくなる。換言すれば、振動速度が大きくなるに伴って消散されるエネルギーは低下するといえる。

以上のことより減衰定数は一定ではなく、振幅と振動数の変化に伴って変化することが推測される。すなわち、解析するにあたって想定した粘性減衰系だけでは不十分であり、振幅と振動数をパラメータとして含まなければならない。

みかけのバネ定数については図-8に示す通り、振幅および振動数の変化に関係なく、ほとんど一定の値が得られた。すなわち地盤の破壊がない振動のもとではみかけのバネ定数は線型として近似できるものと思われる。

4. むすび

これまでに行なって来た実験から減衰性についての結果をまとめると、減衰定数は一定ではなく、振幅および振動数の変化に伴って変化することが推測された。しかし、この結果は問題を比較的単純化した状態として整理したもので、その内容については尚検討すべき問題を多く含んでいる。



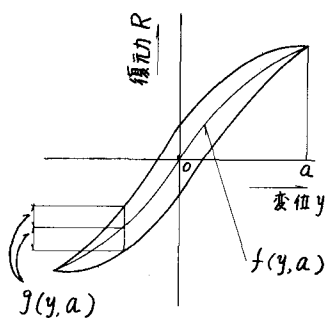


図-4. 「力-変位」のグラフ

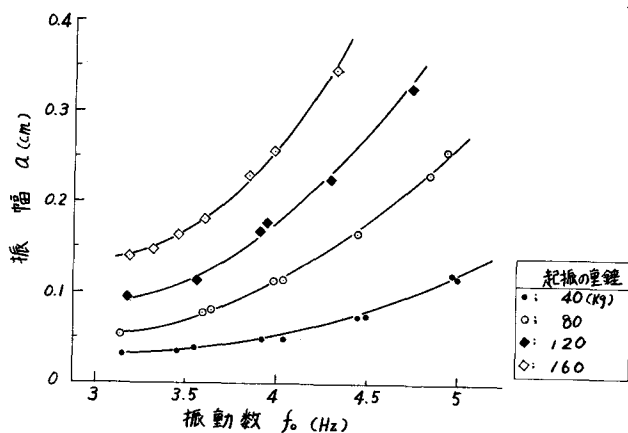


図-5. 群羊杭Aの振動数と振幅の関係

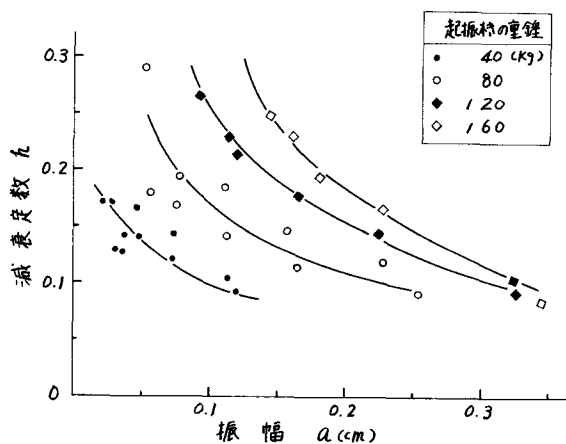


図-6. 群羊杭Aの振動数と減衰定数の関係

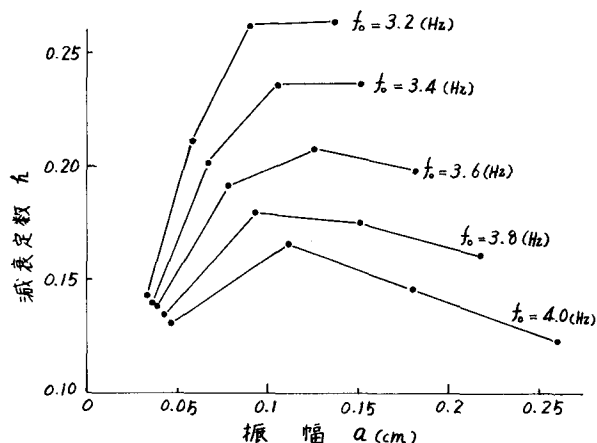


図-7. 振動数および振幅と減衰定数の関係

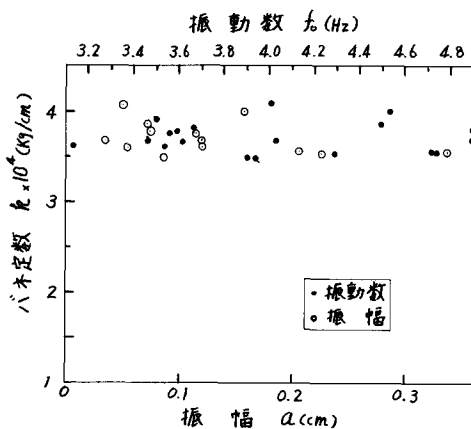


図-8. 振動数および振幅とバネ定数の関係