

まえがき

柱状構造物を動的に取扱う場合の基本的なものに固有振動数と減衰常数があるが、これらを推定する研究はこれまで幾多の研究者によって進められて来た。吾々もこれまで軟弱地盤における杭の動的挙動については実物試験を通して取扱って来たが硬地盤での経験に乏しかった。今回硬地盤である岩盤にコンクリートを介して埋込まれた鉛直杭について、模型杭および実物杭について、静的動的に関する一連の実験をなしたが、このうちここでは、動的な結果に検討を加えたものでこの結果、地盤の反力関数は、近似的に撓みに一次比例することになり、振動系としては簡単に倒立実体振子または一端固定の弾性梁の振動系として取扱えることがわかった。

1. 試験条件

表－1に各試験体の試験条件を示したが主要内容を概説すると

a) 模群－1～2： 地盤としてコンクリートブロック（ $1.5 \times 2.5 \times 0.6$ m）を作り、これにコンクリートを充填した模型鋼管を埋込んだもので、模型杭3本の頭部は鋼板（ 80×32 mm）にて連結した状態の場合である。基盤として用いたコンクリートブロックの強度は $E_c = 300 \text{ kg/cm}^2$ ，一軸圧縮強度 340 kg/cm^2 程度のものである。

b) 実単－1～3： 地盤表層は風化花崗岩で亀裂が多く軟質で平板載荷試験の結果、地盤反力係数が 140 kg/cm 程度である。岩はあらかじめ堀削機で削孔（ $\phi 90 \sim 110$ cm）され、鋼管との空隙部はモルタル充填によって固定された。杭の間隔は2 mで鋼管の内部処理は、実単－1は鉄筋コンクリート、実単－2，3は中空管で内外管の空隙にはモルタルが充填されている。夫々単杭試験である。

c) 橋脚－1，2： 地盤は約12 mの水底下で、このうち橋脚－1は軟質泥岩（一軸圧縮強度 58 kg/cm^2 ），橋脚－2は硬質泥岩（一軸圧縮強度 95 kg/cm^2 ）からなり、杭はあらかじめ水中岩掘削されたものに埋込まれモルタルにより固着されている。なお鋼管内はコンクリートにて充填された状態で躯体（9.2 m高鉄筋コンクリート製）のフーチングと連結されている。

表－1 試験条件

単位 cm, kg

試験番号 名 称	鋼 管 杭 寸 法					自由長	根入長	杭頭 条件	載荷方向
	直 径	肉 厚	本数	E I	中 詰				
模群－1	6.05	0.32	3	5.80×10^7	○	30	18	自由	
"－2	"	"	"	"	"	"	"	固定	
実単－1	80.00	0.12	1	1.10×10^{13}	R C	520	680	自由	
"－2	外80.00 内60.96	0.12 0.13	"	9.95×10^{11}	○	"	"	"	
"－3	"	"	"	"	"	"	"	"	
橋脚－1	81.28	0.16	18	4.19×10^{13}	"	900	640	固定	
"－2	"	0.18	"	"	"	1170	"	"	

載荷の手法は、自由振動試験はいずれも杭頭載荷で、引張用ジャッキと引張棒の中間に挿入した鋳鉄製切断片によって予定荷重に達した時、瞬間的に切断できる機構によった。各杭での最高荷重を示すと表-2となる。強制振動の場合は0.4^{ton}小型起振機および2.0^{ton}大型起振機を用いたが、このうち大型起振機は橋脚-2の場合である。

振動測定に用いた機器は、試験番号“模群”の場合を除いては主に歪計型加速度計を用いたが、試験番号“模群”の場合は高い振動数のため精度の観点から貼付式抵抗線歪計によった。

2. 測定結果

a) 固有振動数

測定値は変位置に多少関係し変動するが、そのうち代表値を示すと表-2の自由振（自由振動試験）ならびに強制振（強制振動試験）結果である。

表-2 測定結果

試験番号 名称	載荷 重 ton	バネ常 数 ton/cm	固有振動数 %				減衰常数 %	
			自由振	強制振	梁振動	実体振	自由	交番
模群-1	2	9.0	142	—	143	143	2.7	2.4
” -2	”	33.5	256	—	257	275	2.1	1.7
実単-1	4.5	14.6	13.1	13.9	13.1	12.7	2.6	—
” -2	”	12.8	15.2	15.2	15.1	15.0	2.3	2.0
” -3	”	14.9	17.2	17.7	17.2	16.9	2.0	—
橋脚-1	20	355	332	—	331	327	1.6	—
” -2	”	204	249	246	245	245	0.8	—

b) 減衰常数

表-2に自由（自由振動試験）結果と交番（交番載荷試験）結果による履歴曲線から求めた^{※1), 2)}ものを掲げた。表中橋脚試験において、2脚で異なるのは強制振動試験結果などから判断して橋脚-1は引張装置に原因し摩擦抵抗を増した為と判断される。なお図-1, 3に測定例を示す。

c) バネ常数

静的な一方向載荷試験ならびに交番載荷試験（実単-2）結果から本報告が取扱っている載荷範囲での水平方向バネ常数を表-2にバネ常数として示した。

図-1 模群-2 荷重-変位曲線

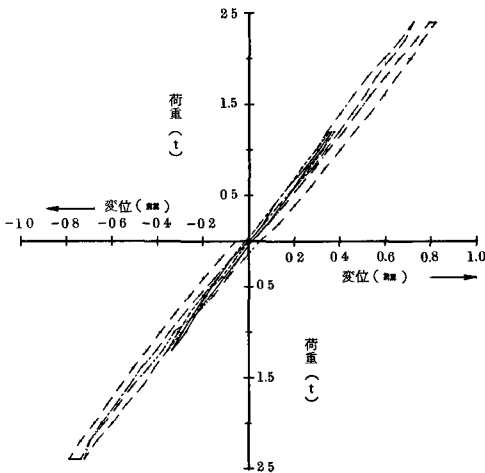
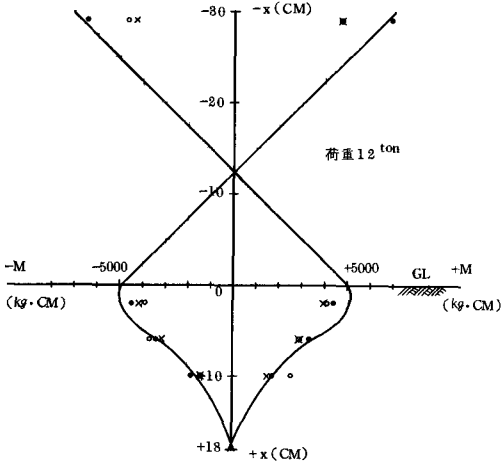


図-2 模群-2 曲げモーメント分布



d) 歪分布

図-1, 3に示した荷重時における歪分布を示すと図-2, 4となる。尚図中の実線は線形地盤反力関係を仮定した場合の理論曲線である。

e) 共振曲線

杭頭部に加振機を据えた場合と、杭から4.3 mの距離で地盤表面を加振した場合の例を、図-5に示した。但し地盤加振の場合は、図-10に示した実験後に実施したため共振点は下っている。図-6は、実単-2杭を加振した場合の隣接杭の挙動を示したものである。

図-7は橋脚-2床版加振時の床版の共振曲線で、図-8に振動モードを加速度鉛直分布で示した。

f) 振動の距離減衰

実単-2の試験において杭頭加振による振動の地下減衰を図-9に示した。測点は地下90 cm, 水平距離約5 m間の資料であり、この地盤の弾性常数は、表層(0~6 m)の $V_p = 580 \text{ m/s}$, 下層(6~15 m)で 2.5 km/s である。

g) 塑性域交番履歴

図-10は実単-2の地上50 cm点载荷の杭、地盤共塑性領域に達した場合の

図-3 実単-2 荷重-変位関係

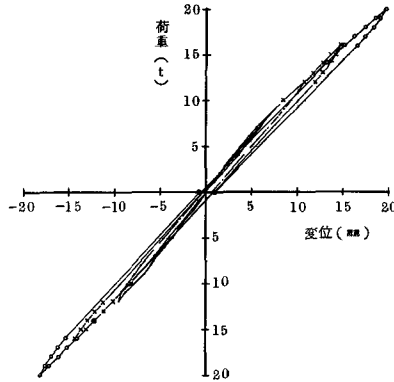


図-4 実単-2 曲げ歪分布

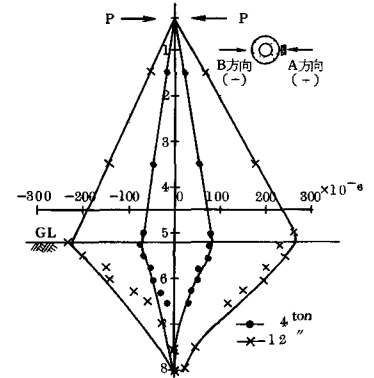


図-5 実単-2 共振曲線

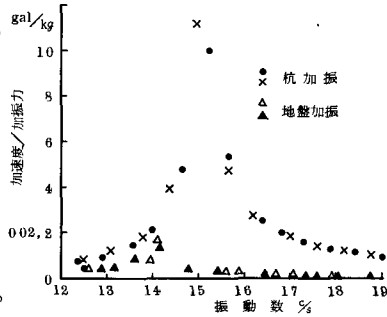


図-6 隣接杭の影響

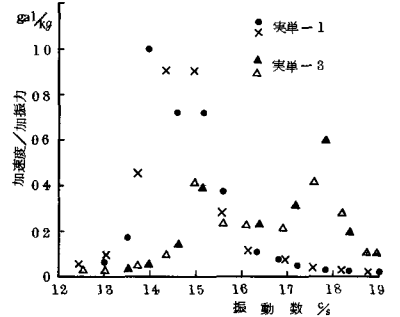


図-7 橋脚-2 共振曲線

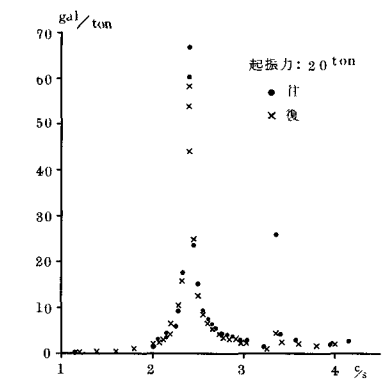


図-8 橋脚-2 加速度鉛直分布

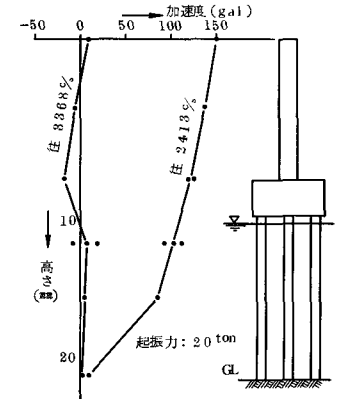


図-9 距離減衰

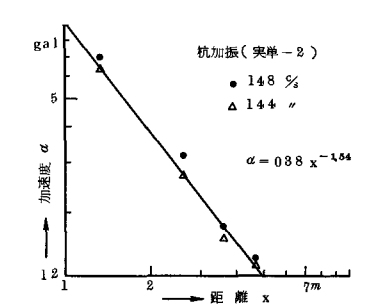
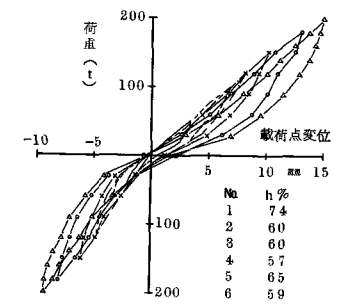


図-10 交番载荷



荷重-変位曲線で

減衰常数は6%程度となっている。

3. 考察

a) 地盤反力関数： その例を図-11, 12に示す如くほぼ撓みに1次比例している。

従って線形系として取扱える。

図-11 模群-2 荷重-変位関係

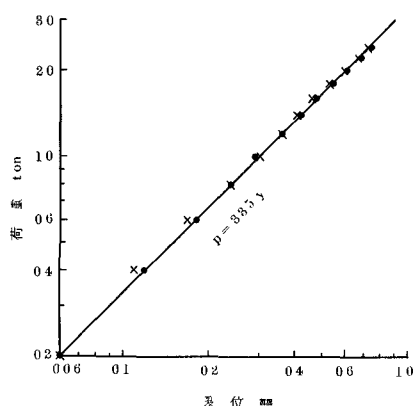


図-12 実単-2 荷重-変位関係

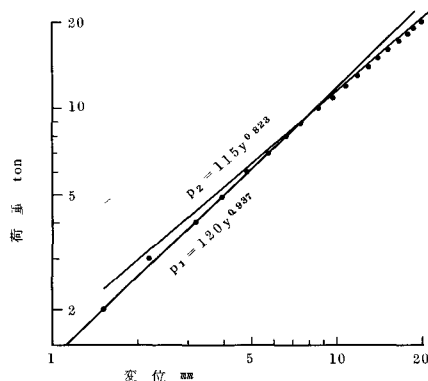


図-13

図-14

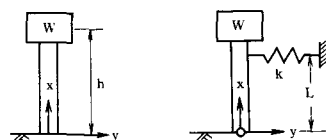
b) 固有振動数： 地盤が硬であり従って地盤反力係数も大きく線型であるから固有振動数の推定計算の近似化も簡単になる。即ち図-13に示すように下端固定の梁の振動^{※8)}として取扱うと、この場合の運動方程式は、 $EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \frac{r}{g} A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0$ 従って固有周期は、 $T_0 = C_1 h^2 (rA/GEI)^{1/2}$ となる。ここで長さ h の

うち地中部長は、近似的に $1/\beta$ (但し $\beta^4 = E_s/4EI$) で与えられる。また、実体振子系として扱う^{※1)}場合 (図-14 参照) は、杭の第1零点をピン点として回転し、ある点にバネを持つ振子の運動方程式は、 $I_0 \frac{d^2 y}{dt^2} + KL^2 y = 0$ で与えられ、固有振動数は $F_0 = (\frac{1}{2\pi}) (KL/I_0)^{1/2}$ で計算される。これら2方式による計算結果は表-2に実測値と併記した通りで実測値とよく近似する。特に橋脚の場合振動振巾が微少のためか、杭が水中にある条件であっても、特に付加質量的な補正は、測定精度などを考慮すると必要としない程度である。

c) 減衰性： 減衰常数は他機関^{※9)}での実測例と同程度で特筆すべきものはないが、図-10に示した塑性領域での交番履歴曲線から求めた値は最高7.4%となっている。

あとがき

比較的硬な地盤での杭の挙動の報告はあまり見当たらないので、断片的な試験内容であったが事例として報告した。



参考文献

- 1) Hパイルの水平抵抗に関する研究 運輸省港湾技術研究所, 八幡製鐵株式会社 1963
- 2) 鋼杭の動的横抵抗に関する研究 林聰外 第3回港湾技術研究所研究発表会 1965
- 3) 鋼杭工法 石井靖丸 石黒健 技報堂
- 4) 高い橋脚をもつ橋梁の地震荷重 栗林栄一外 土木研究所資料第548号 1969