

特に減衰性について

東洋大学工学部 正員 高田孝信
 同 上 正員 ○高田清美
 東洋大学大学院 学生員 小暮 誠

1. まえがき

第一報⁽¹⁾においては減衰定数を測定する一般的な方法によって測定した結果、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傾向にある事を示した。しかし、地盤破壊等の危惧から、共振点の振動数の約 1/2 以下程度の振動数域でしか測定できなかったために、最も必要とする共振点附近の減衰定数については考察する事ができなかった。そこで今回の実験では起振機を改良して共振点附近の実験を行なって、減衰定数およびみかけのバネ定数の変化傾向を把握しようとするものである。更に、柱の曲げ剛性、頂盤の剛性および柱の本数等の構造条件の異なる既設の供試体と、新に一基設け、それぞれの多柱基礎供試体において一連の実験を行なったので、整理の終わっている一部の資料についてここに報告する。

2. 実験概要

本実験で用いた供試体の形状と配置状態は図-1 に示した。図示した A, B 2 組の供試体は水平方向荷重を考えて比較的連接して設置したために振動試験では各供試体の相互干渉を生じ易くなる。従って新設の供試体 C はそれらを考慮してある程度 A, B から離れた地点に設置した。柱頭のコンクリート頂盤および柱の重量と寸法は表-1 に示すようなものである。なお、表中の A₀, B₀ および C₀ は多柱基礎供試体であり、A₁, A₂, B₁ および B₂ は単柱であるが、単柱については柱頭が自由と固定の二通りの条件を適宜得られるように作成してある。

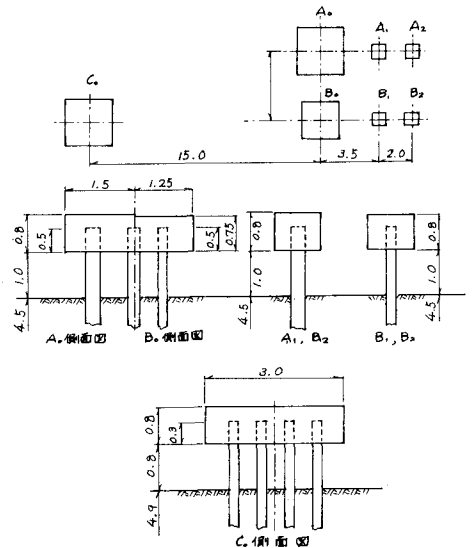


図-1. 供試体の形状と寸法, および配置

供試体設置に当っては所定の位置に柱径の 1/2 の掘孔をしてから杭打ちを行なった。その時得られた柱状図を図-2 に示す。表層部と下層部に薄い粘土層があるが、杭部の水平抵抗性に最も影響があると思われる深度 2m 前後では比較的密なシルト質ロームからなっている。

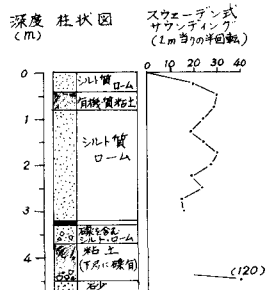


図-2. 柱状図

起振機は eccentric-mass によるもので、マイクロスイッチによる位相検出器を附帯し、出力は最小重量 8.34 (Kg) で 10 (Hz) のとき約 1680 (Kg) である。

表-1. 供試体の寸法および重量

種類	柱種別	頂盤寸法 (m)	頂盤重量 (ton)
A ₀	30 ⁽²⁰⁾ × 9 ⁽²⁰⁾	3 × 3 × 0.8	18.40
A ₁ , A ₂	30 × 1	1 × 1 × 0.8	1.25
B ₀	20 × 9	2.5 × 2.5 × 0.75	11.70
B ₁ , B ₂	20 × 1	1 × 0.8 × 0.75	1.48
C ₀	20 × 16	3 × 3 × 0.8	17.96

実験は静的試験と動的試験に大別し、前者は水平方向載荷試験、後者は過渡的な場合と定常的な場合の挙動と特性を把握する意味から自由振動と、定常状態における強制振動試験を行なった。

静的水平方向載荷試験はお互いに隣接する供試体の頂盤側面に最大推力 20(t) のオイルジャキで載荷した。この試験で大きな変位を与えると地盤の破壊が生ずる危険があり、最大変位を約 1(mm) 程度に抑え、この範囲内で最大荷重を 3 段階に分けた場合と、等しい最大荷重で 3 回繰り返した場合との 2 種について行なった。自由振動試験の初期変位は剛性の小さい単柱については手動により、又、連結柱および多柱については静的試験と同様にジャッキによって与えた。

強制振動試験は既述の起振機で正弦波状の起振力を作用させ、定常状態における頂盤および地盤の動きを加速度計によって記録した。多柱 A₀ の強制振動試験のときの換振器の設置位置を図-3 に示す。起振力は起振機の回転重錘を最小 (W_c = 8.34 kg) として振動数を約 4 Hz から 10 Hz、すなわち起振力を約 600 (kg) から 1680 (kg) 程度まで変化させて共振曲線と位相差曲線を求めた。

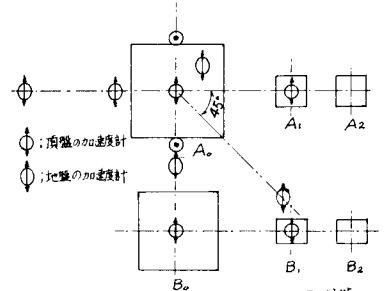


図-3. A₀における換振器の設置状態

3 結果および考察

I). 静的水平載荷試験 各供試体について行ない、荷重と変位の関係から頂盤に対するみかけのバネ定数を求めると共に、履歴曲線より地盤に対する仕事量(伝達エネルギー) ΔW を求め、これを表-2 に示す。なお同表には参考のため η を基に算出した固有振動数 f_0 を示した他、ΔW を振動時の逸散エネルギーとみなした場合の減衰定数 h_f も示した。ただし、その際 f_0 と h_f は次式より求めた。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_r}{m_r}} \quad \dots (1) \quad h_f = \frac{\Delta W}{2m_r \pi a^2 p^2} \quad \dots (2)$$

($p = 2\pi f_0$, $m_r = W_r/g$)

II). 自由振動試験 多柱 C₀ を除く各供試体において減衰定数 h_f と固有振動数 f_0 を求め、更に f_0 を用いて頂盤上面の同心位置におけるみかけのバネ定数 k_f と算出した値を表-3 に示した。但し、頂盤に対する h_f と k_f は次式による。

$$k_f = (2\pi f_0)^2 m_r \quad \dots (3) \quad h_f = \log e V / 2\pi \quad \dots (4)$$

III). 強制振動試験 多柱基礎供試体 A₀, B₀, C₀ の頂盤に順次起振機を設置し、次の項目について実験を実施した。

- i) 多柱基礎本体の頂盤における共振曲線。
- ii) 供試体の共振点附近の地盤と単柱の振動状況。
- iii) 起振力に対する多柱と単柱の位相差の変化状態、特に換振器の位置と起振力の振動数との関係。

表-2. 静的試験結果

供試体種類	最大値		みかけのバネ定数 k_f (kg/cm)	固有振動数 f_0 (Hz)	減衰定数 h_f
	荷重 P(kg)	変位 a			
A ₀	4 700	0.045	8.043×10^4	9.86	0.105
A ₁ + A ₂	1 250	0.068	2.039×10^4	10.88	
A ₁	650	0.140	4.494×10^3	7.54	0.034
A ₂	650	0.138	4.158×10^3	7.56	
B ₀	4 700	0.128	3.378×10^4	8.46	
B ₁	215	0.105	2.022×10^3	6.05	
B ₂	215	0.107	1.556×10^3	6.05	

表-3. 自由振動試験結果

供試体種類	減衰比 V	固有振動数 f_0 (Hz)	減衰定数 h_f	みかけのバネ定数 k_f (kg/cm)
A ₀	1.196	8.41	0.0285	6.962×10^4
A ₁ + A ₂	1.280	9.58	0.0392	1.593×10^4
A ₁	1.084	7.32	0.0128	4.230×10^3
A ₂	1.036	7.50	0.0055	4.440×10^3
B ₀	1.380	7.87	0.0513	3.715×10^4
B ₁ + B ₂	1.160	8.82	0.0235	9.820×10^3
B ₁	1.048	5.58	0.0077	1.720×10^3
B ₂	1.060	5.71	0.0092	1.800×10^3

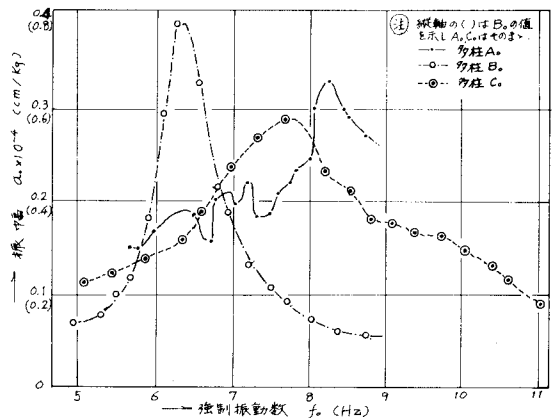


図-4. 多柱 A₀, B₀, C₀ の共振曲線

以上の3項目を主に実験を行ない、i)で得られた共振曲線からは固有振動数を求め、iii)より得られた位相差からは減衰定数を求めた。この各試験結果を次に示す。

i). 共振曲線について。各供試体A, B, Cの頂盤に対する共振曲線は図-4に示した。図中、Aは特に複雑な曲線を示し、各供試体からの相互干渉を敏感にうけている。他方Bは他からの影響をほとんど受けていない。これは根入れ剛性の影響と思われる。

ii). 起振力の振動数の変化に伴う地盤と隣接供試体の振動状況の一例としてA₀加振における結果を図-5と図-6に示した。この二図から比較的振動力の小さい単柱の共振時の影響が周囲の地盤のみならず、多柱にまで敏感に影響していることがわかる。

iii). 起振力に対する供試体の位相差。供試体の強制振動波を記録する際、同時に起振力の最大値も記録することによって位相差を求め、振動数との関係で表わしたのが図-7である。この図より位相差 $\delta = \pi/2$ (rad) のときの振動数を求めれば、これが各供試体の固有振動数となる。従って固有振動数はA₀, B₀, C₀に対してそれぞれ8.41, 6.40, 7.80 (Hz)となる。

固有振動数と位相差 δ とが与えられれば、この振動系を頂盤について1質点の振動系とみなしうれば、減衰定数 k_{D1} およびみかけのバネ定数 k_{D1} は

$$k_{D1} = \frac{u^2 - 1}{2u} \tan \delta \quad \dots (5), \quad k_{D1} = m_r p^2 \quad \dots (6)$$

より算出される。但し、 $u = p/p_0$, $p = 2\pi f$ および $m_r = W_r/g$ である。

本実験で取り扱っている供試体では強制振動により地盤へのエネルギー逸散が大きく、強制力と振動変位との関係を図示すればかなり顕著な履歴曲線を描く。いま、供試体に作用する定常的強制力 F と頂盤に生ずる振動変位 y との間に δ の位相があるとするれば、 F と y は $F = F_0 \sin pt$, $y = a \sin(pt - \delta)$ であらわされる。しかるに、頂盤に対する力の釣合は

$$\{ \text{抵抗力} \} = \{ \text{起振力} F \} - \{ \text{慣性力} F_2 \}$$

$$\therefore R = F_0 \sin pt + a p^2 m_r \sin(pt - \delta)$$

となる。したがって、時間 t をパラメーターとして1周期について R と y の関係を描くことによってその供試体に対する履歴曲線を求めうる。但し、 R の中には粘性や摩擦による減衰力の他、振動変位の或る関数であるような復元力等も含まれるが、これらは結果的には地盤への逸散エネルギーで、この系における減衰力として最も大きくなる。これに対する減衰定数をみかけの減衰定とすれば、

$$k_{D2} = \Delta W / 2 m_r \pi a^2 p g \quad \dots (8)$$

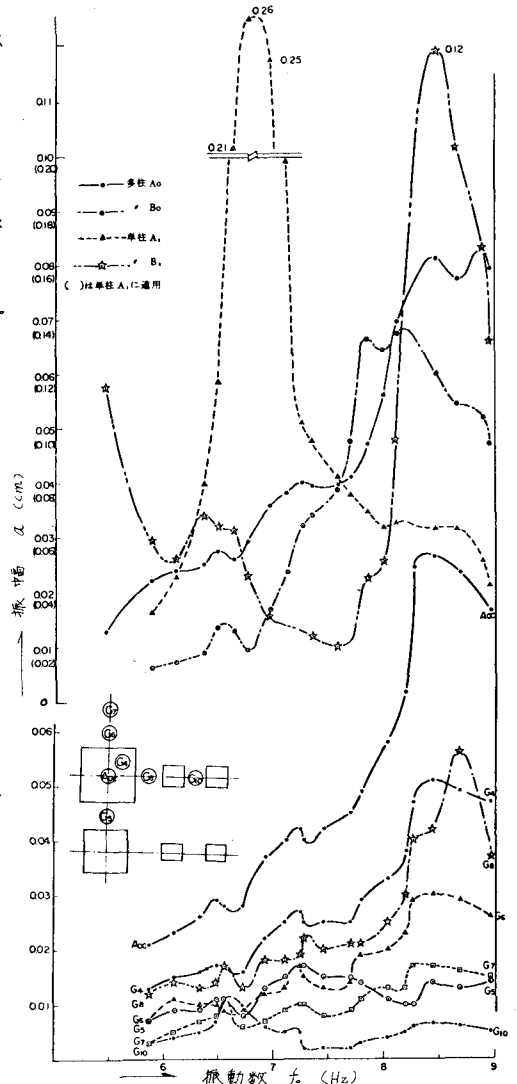


図-5.6 A₀起振時の隣接柱と地盤の振動状況

より求まる。但し、 ΔW は1サイクル中に供試体に作用する抵抗力 R が地盤及び供試体自体に対してなす仕事で、履歴曲線が囲む面積として求められ、 m_0 は頂盤と起振機の質量、そして a は振幅を示す。又、みかけのバネ定数については (8) 式で描かれた履歴曲線の勾配を近似的にみかけのバネ定数 k_{02} とする。

表-4 強制振試験結果

供試体種類	固有振動数 f_n (Hz)	みかけのバネ定数		みかけの減衰定数	
		k_{01} (kg/cm)	k_{02} (kg/cm)	β_{D1}	β_{D2}
A ₀	8.41~8.28	$5.859 \sim 5.640 \times 10^4$	$5.44 \sim 6.22 \times 10^4$	0.040~0.200	0.100~0.200
A ₁	6.75	3.400×10^4			
B ₀	6.40	2.885×10^4	$1.91 \sim 2.35 \times 10^4$	0.035~0.065	0.05~0.10
B ₁	5.40	1.700×10^4			
C ₀	7.80	4.314×10^4	$4.35 \sim 5.45 \times 10^4$	0.04~0.21	0.06~0.20

以上の方法により固有振動数を含む振動数域の減衰定数、およびみかけのバネ定数を求めた。この結果を表-4に示す。

(5)式より得られた減衰定数は各供試体において、最小と最大の比が2~5と、かなり幅のある値となった。しかも固有振動数、若しくはそれ前後の振動数領域で減衰定数は極小値を示す傾向がみられる。

抵抗力と振動変位の履歴曲線より求めた多柱 A₀, B₀ および C₀ の減衰定数を位相差と振動数の図にプロットすると 図-7 のようになる。この図から、位相差、みかけのバネ定数とも、供試体により強制振動数の変化によりかなり異ってくる。B₀, C₀ の位相差は比較的単純な曲線を呈している。しかし、A₀ については幾つかの山を有して複雑に変化し、振動数と減衰定数の関係に極めて敏感に影響している。

これは根入れ剛性の大きい A₀ の加振エネルギーが地盤によく伝達され、隣接供試体をも振動させるために B₀ や C₀ に比べて大きい値となったことが推測される。なお振動エネルギーは供試体自身でも消費されるが、この量は 0.03 程度以下と思われぬ。

みかけのバネ定数については (6) 式より得られた値について、A₀, B₀, C₀ に対してそれぞれ 5.86×10^4 , 2.89×10^4 , 4.31×10^4 であるが、履歴曲線から得られた値は減衰定数の場合と同様に、振動数の変化によって変化する傾向がみられる (図-8)。

4. おまげ

本実験で得られた結果をまとめると、減衰定数およびみかけのバネ定数は振動数の変化によって変化し、供試体の固有振動数で最小となる傾向がみられる。しかし、この結果は付加質量については考慮しておらず、上記の傾向が不適的なものかどうかについては今後更に検討を進める所存である。

参考文献 (1) 高田(孝), 高田 ; 多柱基礎の動的特性に関する実験的研究 第26回 年次学術講演集 昭和45年11月

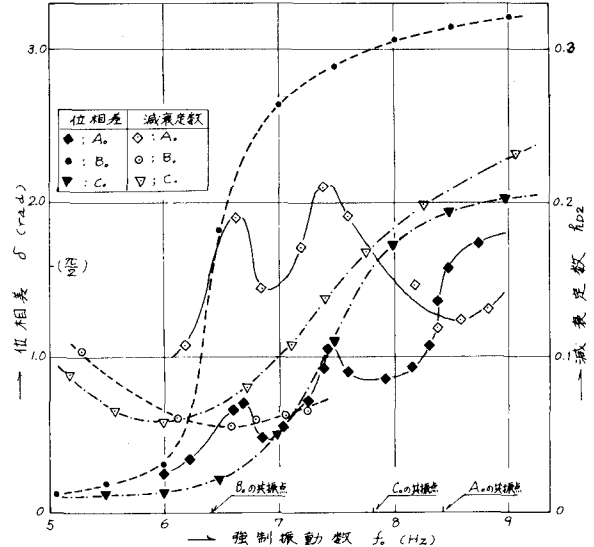


図-7. 振動数に対する位相差と減衰定数の関係

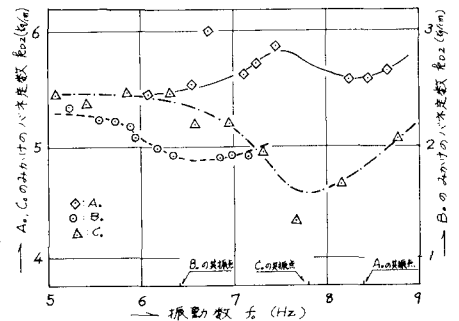


図-8. 振動数とみかけのバネ定数の関係