

地盤中にある構造物の剛性変化について

京都大学工学部 正員 後藤尚男
 京都大学防災研 正員 土岐憲三
 京都大学工学部 学生員 高田至郎

1. まえがき

基礎工法の発達により、構造物が地中に深く埋設され、地盤との接触面が拡大されるにつれて、周辺地盤が構造物の動的特性に及ぼす影響も明らかにする事は重要な課題となってくる。筆者らは以前に¹⁾、円柱形基礎が、層地盤中にある場合について、弾性波動論の立場より、地盤と構造物の振動特性についての考察を試みた。その結果、従来より考えられているような附加質量の概念ですべての地中構造物を取り扱うことには、若干の疑問点があることを指摘し、むしろ、剛性と減衰性とに注目することによって、地盤中にある構造物については、その剛性及び減衰性が増加するものと見なして、空中にある場合と同様に取り扱うことが可能であることを示した。本研究では、3次元波動論を用いた理論解の多少の計算結果、及び模型実験より得られた地盤中にある構造物の剛性変化についての考察とその妥当性についての検討を行なった。

2. 剛性変化についての理論解

図1に示す地中構造物の変位振幅を $f(z)e^{i\omega t}$ とし、 $f(z)$ を片持ばりに関して正規化された直交関数 $\eta(k_n z)$ で展開し、基本振動のみで近似できるものとすれば、波動方程式より、基本振動の振幅 B_1 に関して次式が成立する。

$$[P^2 + R^* + Z_0 \{R_1 + \frac{I^*}{2\omega P_1}\}] \omega P_1 - \omega^2 \cdot B_1 = U_0 \omega^2 \Omega_1 \quad (1)$$

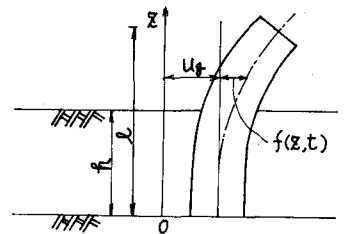


図-1 地中構造物のモデル

P_1 は空中片持ばりの基本固有円振動数、 R_1 は減衰定数、 U_0 は地動の変位振幅、 ω は外力の円振動数、 $\omega^2 \Omega_1 = R^* + iI^*$ を満足し、 Ω_1, Ω_2 は地盤の定数、構造物の形状、周波数によって決定する複素関数である。 R^*, I^* の周波数特性を図2に示す。 R^* は周波数に対して変動が小さく、 I^* はほぼ1次の関数となっている。式(1)より、見かけ上剛性が、 EIR^*/P^2 、また減衰定数が、 $I^*/2\omega P_1$ だけ増加したものと考えられるので、それぞれの増分 ΔEI 、 ΔR_0 は近似的に、周波数に無関係な定数と見なせる。地盤の厚さの変化による剛性と減衰定数の増分を図3に示した。構造物を取り囲む地盤が厚くなれば、比例的に剛性と減衰性が増加していることがわかる。しかし、波動が遠散波として裁

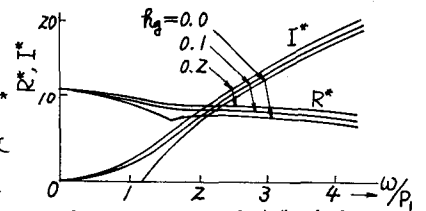


図-2 R^*, I^* の周波数特性

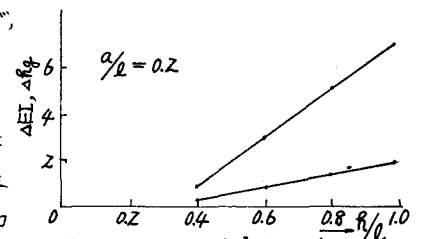


図-3 剛性と減衰値の増分

衰値に關与する周波数領域は、地盤層の1次せん断固有振動数よりも大きい周波数の範囲のみである。

3. 模型実験

アクリルライトで2種類の構造物模型を作製した。表1にその形状寸法を示す。また、ひずみ測定位置、模型地盤の寸法、加振装置を図4に示す。地盤は木津川産の乾燥砂を用いた。砂の比重は 2.63 g/cm^3 、均等係数は 2.64 である。測定は地盤層の厚さ h を変化させ、それぞれの状態について自由振動と強制振動をおこなった時のひずみの大きさをも求めた。強制振動については、アンバランス水平加振方式で $500 \sim 2500 \text{ c.p.m.}$ の範囲で振動数を変化させ、加速度一定(150 gal)の状態、定常ひずみになった場合の大きさを測定した。なお、地盤層の振動状態を見るために、地中に加速度計をうめ込んだ。

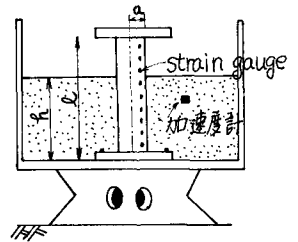


図-4 実験装置

4. 結果に対する考察

自由振動実験より得られた構造物の固有振動数と減衰定数、及び、強制振動実験より得られた共振振動数の値を、地盤の厚さ h に対して示せば表2のごとくである。図5、図6には、空中にある場合($h=0$)に対する倍率として、 h/l と固有振動数、減衰定数との関係を示す。図より明らかなように、構造物周辺の地盤は、その接触領域の拡大につれて、構造物の固有振動数と減衰性を増加せしめている。固有振動数の増大という事は、周辺地盤は構造物に剛性を附加しているものと解釈される。2.の理論解より求めた剛性増分の値を用いて得られる固有振動数と減衰定数の変化を図5、図6中に実線で示した。剛性増分については、理論値と実験値はかなりの一致をみているが、減衰値については、図6にみるように、実験値がいちじるしく小さくなっている。剛性増加の機構については、地中にある構造物は砂の抵抗をうけて振動しており、その変位振幅は地盤によって拘束される。したがって、見かけ上、構造物は固くなり、剛性を増したような振動性状を示すものと考えられる。また、実験した減衰値が小さいのは、模型振動箱内では、定常波が発生しており、理論解におけるような、逸散波が存在せず、減衰に寄与しないためと思われる。むしろ、地盤厚さの増加によって、土粒子の摩擦や粘性抵抗により、構造物の減衰性を増加せしめているものと考えられる。

表1 模型の形状

		$a \text{ mm}$	$l \text{ mm}$	EI
模型	M-I	35.0	500	27000
	M-II	75.0	500	kg/cm^2

表2 固有振動数と減衰定数

h/l	M-I $P_{cr} \text{ cm}$	R_g	M-II $P_{cr} \text{ cm}$	R_g
0.0	835 (830)	0.044	695 (660)	0.035
0.4	1165 (1130)	0.074	857 (790)	0.065
0.6	1775 (1800)	0.109	1164 (1080)	0.088
0.8	2815 (2300)	0.172	1680 (1450)	0.115
1.0	4350 (—)	0.406	2640 (—)	0.276

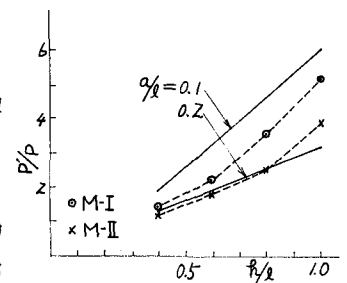


図-5 固有振動数の変化

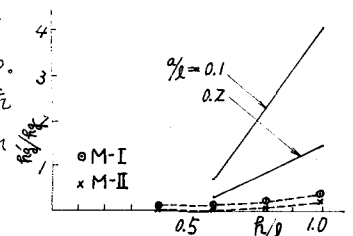


図-6 減衰値の増分

1) 後藤, 土岐, 高田: 地盤と構造物の地震応答, 第10回地震工学研究発表会, 昭和44年7月