

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

1. 緒言

周囲を地盤に取り巻かれている地中構造物の振動特性を取り扱う上で、地盤と構造物の相互作用を明らかにすることは重要である。構造物の振動にともなう、見掛け上、周辺の地盤も一緒に震動するか、周囲の土が構造物に付加されて、共に震動しているかという仮想的な概念で、地盤・構造物系の問題を扱うことは便法ではあるが、多少の疑問もあろう。我々は、構造物の震動によって、その表面から地盤中へ弾性波動が伝播し、その結果、周辺の地盤が震動しており、波動の反力として、構造物には震動圧を及ぼしているという見方をして、波動論の立場から、地中構造物および周辺地盤の動きを解析しようとするものである。さらに、地盤の振動特性を明らかにすることによって、基盤・表層地盤・構造物からなる振動系内に生じる波動の特性についても検討を行なう。

2. 地盤振動の解析

Fig. 1 に示すように、剛な基盤と、弾性を有する表層からなる地盤層を考え、表層地盤を貫いて、基盤に支持された地中構造物が、その頂部に定常加振力を受けて、ロッキング振動を行なう場合を対象として解析を進める。鉛直方向の変位を無視し、構造物の表面($r=a$)で、地盤との変位が連続であり、ロッキング中心を基盤面上に有するという仮定を用いて、円筒座標で表示された波動方程式を解くことによって、地盤内の半径方向、接線方向の変位 U_r , U_θ は次のように求まる。

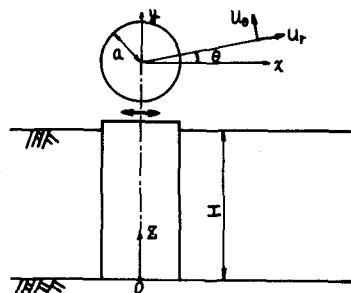


Fig. 1 Model of Structure

$$U_r(r, \theta, z)/U^* = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cdot \frac{\{1 - F(k\alpha, k\alpha)\} \cdot G(kr, k\alpha) + \{1 - F(k\alpha, k\alpha)\} \cdot F(kr, k\alpha)}{1 - F(k\alpha, k\alpha) \cdot F(k\alpha, k\alpha)} \sin k_z z \cdot \sin \theta \cdot e^{i\omega t} \quad (1)$$

$$U_\theta(r, \theta, z)/U^* = \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cdot \frac{\{1 - F(k\alpha, k\alpha)\} \cdot F(kr, k\alpha) + \{1 - F(k\alpha, k\alpha)\} \cdot G(kr, k\alpha)}{1 - F(k\alpha, k\alpha) \cdot F(k\alpha, k\alpha)} \sin k_z z \cdot \cos \theta \cdot e^{i\omega t} \quad (2)$$

ここに、 C_k は境界条件によって決定される未知数より求められる (r, θ, z) に関係しない定数であり、 F, G は、横波・縦波の特性値を表わす k, k^* を引数とするハンケル関数を含んだ関数である。

3. 数値計算および考察

Fig. 2 は、構造物からの距離 r/a をパラメーターとして、地表面における x 軸方向の地盤変位について、その周波数応答を求めたものである。 r/a が増大するに従って、変位振幅は減少しており、さらに、共振振動数は徐々に増大している傾向が知れる。ここで取り扱っているような円筒座標系では、距離が増大するにつれて、波動逸散による減衰効果が出てくることは当然であり、変位振幅は小さくなっていく。また、共振振動数の増加は、作用力と合わせて考えれば、逸散減衰が粘性減衰と同等の性質をもっていることを示しているものといえる。Fig. 3 は、ある距離における地表面変位を、構造物表面での変位に対する倍率として表わしたものである。振動数が高くなれば、変位振幅の減少の割合は小さくなり、遠方まで構造物振動の影響が及んでくることを示している。構造物の振動方向およびそれに直交な方向における減少の傾向は異っており、逸散波動の特性によるものと考えられる。Fig. 4 は $\theta = \pi/4$ の方向における地盤質点の動きの軌跡を示したものである。質点は精円運動を行なっていることが知られる。Fig. 5 は、(1)、(2) 式で表わされる変位の位相特性を距離の関数として示したものである。(1) 式で表わされる変位の位相を φ で表示し、 x 方向に伝播する波動の速度を C とすれば、次式が成立する。

$$\frac{C}{v_x} = \frac{a}{H} \frac{\pi}{2} \frac{\omega}{\omega_g} \cdot \frac{r}{a} / \varphi \quad (3)$$

ここに、 v_x は表層地盤内での横波速度、 a/H は構造物の半径と根入れ長の比である。Fig. 5 より分るように、 φ は距離に関して 1 次比例的であり、(3) 式の $\frac{r}{a}/\varphi$ は一定値をとってくる。すなわち、構造物の振動によって、速度 C をもった波動が x 軸方向に伝播して、周辺の地盤を振動させていることになる。(3) 式からもわかるように、この波動の伝播速度は、構造物の形状や振動数によって異なり、媒質の英波速度とは違う特性を有するものである。Love 波や Rayleigh 波が表面波と呼ばれるならば、ここで扱っている波動も表面波であるが、特に、構造物という境界によって引き起こされる波動であり、境界波とも呼ばれるものであろう。この波動速度の計算結果及びその特性については発表時にゆずる。

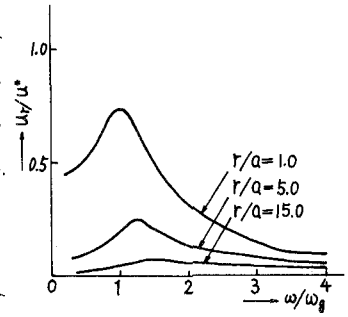


Fig. 2 Resonance Curve

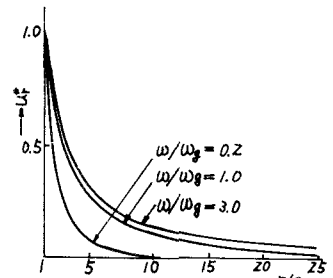


Fig. 3 Decrease of Displacement

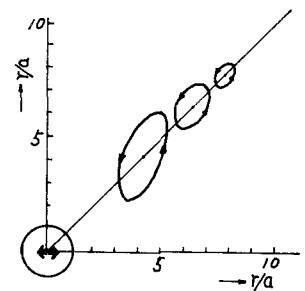


Fig. 4 Time Locus of Particles

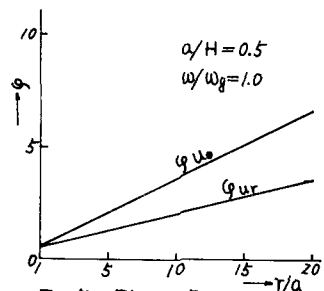


Fig. 5 Phase Difference