

京都大学工学部 正員 後藤尚男

京都大学工学部 正員 O土岐寛三

1. はしがき

軟弱な地盤中にある構造物の耐震性を考える場合には、まず軟弱地盤の力学的特性が明らかにされていなければならない、とくにその振動を取り扱うに際してはなんらかの解析的な表示がなされている必要がある。軟弱地盤は一般には、普通地盤に比較して流動化しないし流体化しやすい地盤として定義されるが、本来、流体と弾性体とは違った性質を有するから、これらを同時に取り扱うことはできない。しかしながら流体中にある構造物の振動を考えると、流体内部の振動による圧力変動のみを対象とする場合には流体を一種の弾性体として、すなわち *hydro-elastic* の問題として取り扱うことができる。そこで本研究では、軟弱地盤を最も軟弱である場合には流体として、その場合には弾性体とみなせるような両者の特性を備えた一つの抽象的な媒体と考えた。しかる後、このような媒体中にある円柱が媒体とともに一定の加速度運動をしているときに円柱のもつ慣性力を計算して、これから軟弱地盤中の構造物に働く地震力の性状についての推定を試みた。

2. 軟弱地盤の抽象

いま、図-1に示したような平面的に広がる2次元の弾性体と考えると、応力とひずみの間には Lamé の定数 λ, μ を用いて次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{xx} &= \lambda e + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \\ \sigma_{yy} &= \lambda e + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \\ \sigma_{xy} &= \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

ただし、 e は dilatation を、 u, v は x, y 方向の変位である。

ここで、地盤の軟弱さに応じて変動する等方圧 p を導入し、 p の増加に対応して上式の応力が減少するものと考え、このような軟弱度を表わすパラメータとして θ なる量を用いて式(1)を次式のように書き改める。

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_{xx} &= -p(1-\theta) + \theta \left(\lambda e + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) \\ \bar{\sigma}_{yy} &= -p(1-\theta) + \theta \left(\lambda e + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ \bar{\sigma}_{xy} &= \theta \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \text{----- (2)} \quad (1 \geq \theta \geq 0)$$

このような θ を導入することによって、 $\theta = 1$ に対して式(2)は式(1)の弾性体と考えた場合と一致し、 $\theta = 0$ に対しては地盤内部の応力はすべて等方圧 p になり、せん断力は消失することになる。ところで、粘性を考慮しない場合の流体についての連続の式を時間に関して積分したものと、密度と圧力についての示性方程式とから等方圧 p は体積弾性係数 K を用いて次のように表わされる。

$$p = -K e \text{----- (3)}$$

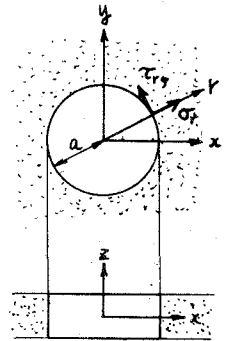


図-1

式(3)の p を式(2)に代入して

$$K - \theta K + \theta \lambda = \beta, \quad \theta \mu = G \quad \text{-----} \quad (4)$$

で表わされる β と G を導入すると結局式(1)と全く同一の方程式になる。したがって、いま考えているような軟弱地盤に対しては λ なる定数 λ , μ の代りに上記の β , G なる弾性定数を持つ弾性体として解析が進められることになる。

3. 軟弱地盤中の円柱の運動

図-1に示したような半径 a , 単位長さ当りの質量 M の円柱が, 周囲を取り巻く地盤とともに水平方向の加速度 α を受けて運動している場合を考えよと次のような境界条件式が成立する。

$$\frac{\partial(u \cos \varphi - v \sin \varphi)}{\partial \varphi} \bigg|_{r=a} = 0, \quad M \frac{\partial^2}{\partial t^2} (u \cos \varphi - v \sin \varphi) \bigg|_{r=a} = a \int_0^{2\pi} (\sigma_r \cos \varphi - \tau_{r\varphi} \sin \varphi) d\varphi \quad (5)$$

上記の境界条件を用いて, 弾性体に関する運動方程式を解き, 円柱の持つ慣性力 $F(\omega)$ を計算した。その解は繁雑な複素関数であるため一般的を見通しを得ることができないが, 数値計算によりその傾向は知ることが出来る。いま, 円柱の半径が 2m であり, 円柱の密度比が 0.7 , $\theta = 1$ に対する縦波の伝播速度 v_L が 800m/sec , 横波の伝播速度 v_S が 260m/sec の場合についてこれを計算すると図-2, 3に示したような結果が得られた。図中の破線は $v_L = 480\text{m/sec}$, $v_S = 250\text{m/sec}$ の場合に対するものである。図-2にみるように振動数が小さな場合には軟軸の $F(\omega)$ の値は1であって, これは円柱の慣性力に対して周囲の地盤は何等寄与していないことを示している。また振動数の増大に伴って慣性力の増大する傾向がみられ, とくに θ の値が小さな軟弱な地盤におけるほどこの傾向が著しい。一方, 地盤の種類を表わすと考えられる v_L, v_S の変化に対してはほとんど影響を受けていないことも認められる。つぎに θ との関係を表わした図-3は, 円柱の持つ慣性力は θ の値にほぼ逆比例すること, すなわち軟弱な地盤ほど円柱の慣性力が増大することを示している。また, 解析結果についての検討と数値計算とから, 振動数の増大につれて位相差の増大すること, 慣性力の大きさは円柱と地盤との密度比に左右されることなども明らかにされた。

以上の所論から早急な結論をするのは危険であるが, 軟弱地盤をせん断抵抗の小さな地盤であるとみなして, ここに述べたような表示を行なって解析を進めることの妥当性をある程度裏付けていると考えてよかつつ。なお数値計算は京都大学電子計算機KDC-II によった。

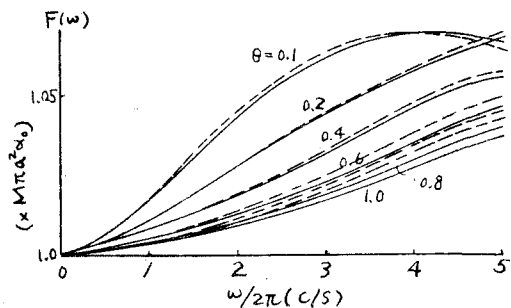


図-2 慣性力と振動数との関係

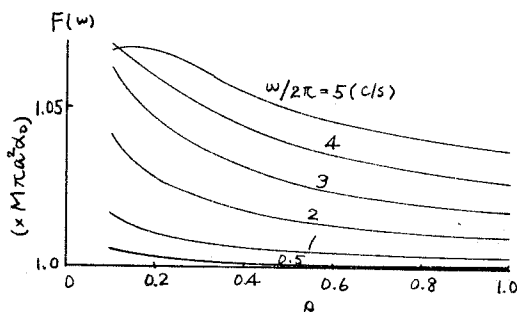


図-3 慣性力と軟弱度との関係