

九大 正 員 小坪清真

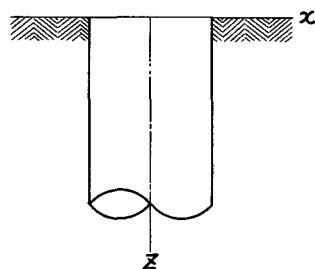
九大 学生員 ○花田和史

1. まえがき

構造物はその基礎を通じて、周辺の地盤と力の受け渡しを行う。たとえば、不平衡力を発生する機械の基礎や、地震時の構造物の基礎などに現われる水平動では、基礎周囲の側圧が発生する。この地中構造物への地盤反力を求めるのに動的地盤係数がその実用上の利便から用いられることが多い。しかし、機械ばねとして考えられる動的地盤係数は、あくまで仮想的なものであるため、求値方法も多岐に亘っている。

動的地盤反力は、地盤と構造物の物理的諸元によって異なるものであるが、著者らは先に¹⁾地下に基礎が埋設された場合の解明の第一段階として、地盤を弾性論的にみて、構造物と基礎地盤との振動問題を解析的に取扱ひ、円形構造物の地盤反力を計算した。ここでは、みかけの動的地盤係数より、土の附着重量の分離とその理論値を示し、あわせて、模型実験を行ったので、その実験結果も示した。

図 - 1



2. 地盤反力

地盤を半無限弾性体と仮定する。円筒座標を図-1のように設け、 r 、 θ 方向の地盤変位を u 、 v とする。構造物の水平力による変形を図-2のように x 方向に、

$$X = X_0 e^{-\beta z + i\omega t} \quad (1)$$

とする。地盤に対して均質弾性体の波動方程式を適用し、構造物が x 軸方向に振動する場合を解けば、次式を得る。

$$u = \begin{Bmatrix} A(Rs/r_0)\{J_0(Rpr/r) - J_2(Rpr/r)\} \\ + B(Rs/r_0)\{Y_0(Rpr/r) - Y_2(Rpr/r)\} \\ + A(Rp/r_0)\{J_0(Rsr/r) + J_2(Rsr/r)\} \\ + B(Rp/r_0)\{Y_0(Rsr/r) + Y_2(Rsr/r)\} \end{Bmatrix} E \cos \theta \cos \omega t \cdot X_0 e^{-\beta z} \quad (2)$$

$$v = - \begin{Bmatrix} A(Rs/r_0)\{J_0(Rpr/r) + J_2(Rpr/r)\} \\ + B(Rs/r_0)\{Y_0(Rpr/r) + Y_2(Rpr/r)\} \\ + A(Rp/r_0)\{J_0(Rsr/r) - J_2(Rsr/r)\} \\ + B(Rp/r_0)\{Y_0(Rsr/r) - Y_2(Rsr/r)\} \end{Bmatrix} E \sin \theta \cos \omega t \cdot X_0 e^{-\beta z} \quad (3)$$

ここに、

$$A(R/r_0) = Z_R J_2(i/r_0) + Z_I Y_2(R/r_0)$$

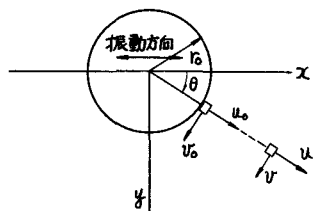
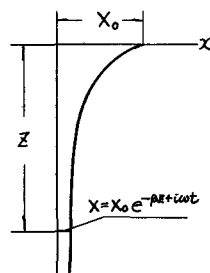


図 - 2



$$B(R_0) = Z_I J_2(R_0) + Z_R Y_2(R_0)$$

$$Z_R = J_0(R_p R_0) J_2(R_s R_0) + J_2(R_p R_0) J_0(R_s R_0) - Y_0(R_p R_0) Y_2(R_s R_0) - Y_2(R_p R_0) Y_0(R_s R_0)$$

$$Z_I = J_0(R_p R_0) Y_2(R_s R_0) + J_2(R_p R_0) Y_0(R_s R_0) + Y_0(R_p R_0) J_2(R_s R_0) + Y_2(R_p R_0) J_0(R_s R_0) \quad (4)$$

$$E = \frac{1}{Z_R^2 + Z_I^2}, \quad R_p = \sqrt{\frac{\frac{W}{g} \omega^2 + \mu \beta^2}{\lambda + 2\mu}}, \quad R_s = \sqrt{\frac{\frac{W}{g} \omega^2 + \mu \beta^2}{\mu}}$$

また、 λ 、 μ はLaméの定数、 W は土の単位体積重量を表わす。

深さ z において、半径 r_0 まわりに積分して得る地盤反力を p とし、

$$p = 2\pi\mu(R \cos\omega t - I \sin\omega t) X_0 e^{-\beta z} \quad (5)$$

図-3

と表わすと、 $R_s R_0$ の変化による無次元化量「 πR 」と、

「 I 」は図-3で表わされる。但し、Poisson比は、0.25に固定して計算を行った。

他の物理量との比較をすると、一自由度系の振動方程式

$$m \ddot{y} + 2r_0 M^* \dot{y} + 2r_0 K^* y = \text{単位深さ当りの外力}$$

m : 杭の単位深さ当りの質量

K^* : みかけの動的地盤係数

において、 K^* は「 πR 」に、 M^* は「 I 」に関係する。すなわち、 $f = \omega/2\pi$ として、

$$\frac{K^*}{\mu} = \frac{\pi R(R_s R_0)}{r_0} \quad (6)$$

$$\frac{M^*}{\mu} = \frac{I(R_s R_0)}{2f r_0} \quad (7)$$

(6) 式で求めた K^* は、前述のようにみかけの動的地盤係数であり、

$$2r_0 K^* = 2r_0 K - \frac{W_{eg}}{g} \omega^2 \quad (8)$$

K : 真の動的地盤係数

W_{eg} : 単位深さ当りの附着重量

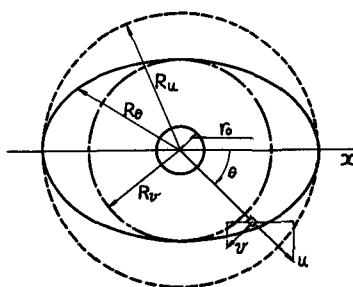
を表わしている。

ろ。土の附着重量

附着重量の慣性力は、構造物自身の慣性力と同一位相である。従って、変位 u 、 v の x 軸方向の成分のうち、実線境界内の土の重量が附着重量に関係すると考えられる。

附着重量の運動エネルギーが、図-4に示す実線内の土の重量の運動エネ

図-4



杭変位最大時の

--- $u=0$ 境界

--- $v=0$ 境界

— x 軸方向の変位
處の境界

ルギーに等しいとすれば、附着重量の定義より、

$$\frac{W_{eg}}{2g} (\omega X_0 \sin \omega t e^{-\beta z})^2 = \int_0^{2\pi} \left\{ \sum \frac{w}{2g} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \cos \theta - \frac{\partial v}{\partial t} \sin \theta \right)^2 r \Delta r \right\} d\theta \quad (9)$$

(2)、(3) 式を

$$u = E u_r \cos \theta \cos \omega t X_0 e^{-\beta z} \quad (10)$$

$$v = -E v_r \sin \theta \cos \omega t X_0 e^{-\beta z} \quad (11)$$

と表示すれば、(9) 式は、

$$W_{eg} = w \pi \left(\frac{3}{4} \sum u_r^2 r \Delta r + \frac{3}{4} \sum v_r^2 r \Delta r + \frac{1}{2} \sum u_r v_r r \Delta r \right) \quad (12)$$

で示される。今、

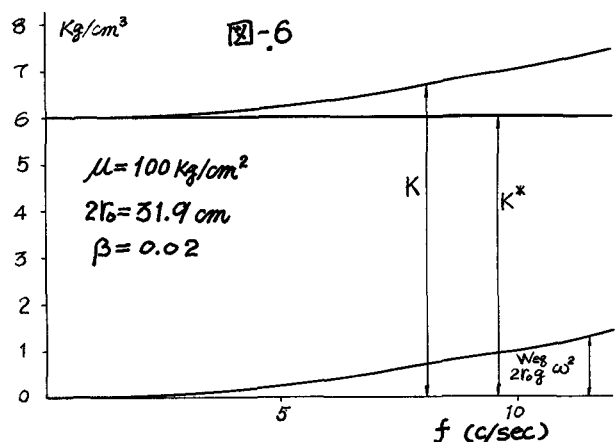
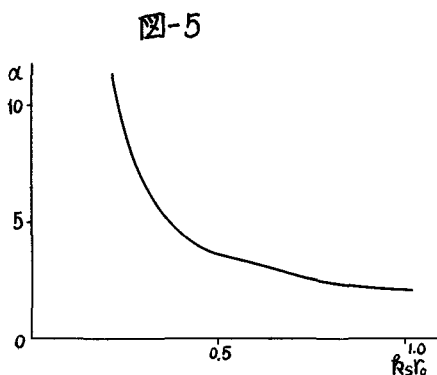
$$\alpha = \frac{W_{eg}}{\pi r_0^2 w} \quad (\alpha \text{ を附着重量係数と略ぶことにする}) \quad (13)$$

とすれば、 α は次式で表わされる。但し、 $K = R_s r$ 。

$$\alpha = \frac{E^2}{(R_s r_0)^2} \left[\frac{3}{4} \sum_{K=R_s r_0}^{R_s R_u} u_r^2 K \Delta K + \frac{3}{4} \sum_{K=R_s r_0}^{R_s R_v} v_r^2 K \Delta K + \frac{1}{2} \sum_{K=R_s r_0}^{R_s R_\theta} u_r v_r \Delta K \right] \quad (14)$$

[] 内の第3項は、他の項に比して充分小さいため、 R_θ として R_u と R_v の幾何平均を採った。

図-5 は $R_s r_0$ と、附着重量係数 α との関係を示し、図-6 は、図-3、図-5 より得た数値例である。



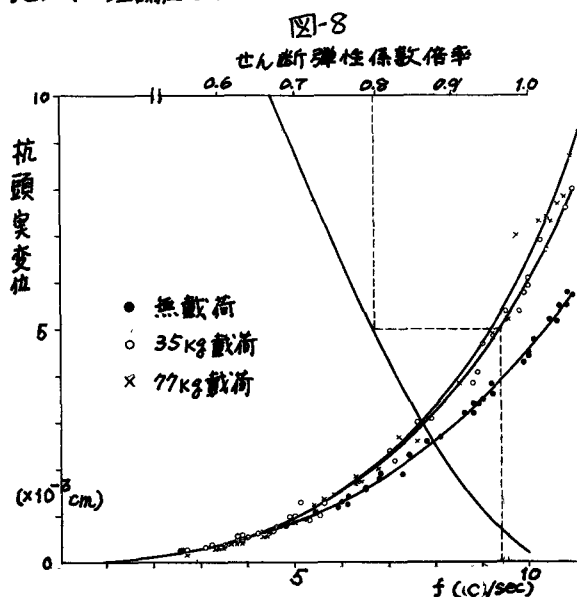
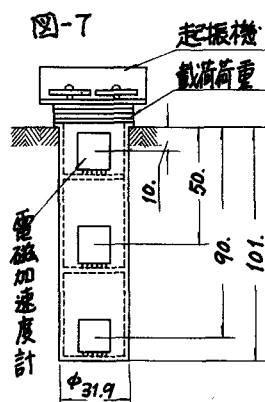
4. 実験例

実験は、図-7 に示す鋼管を用いて、細骨材貯蔵場で行った。杭下端での鉛直地盤反力の影響を除去するために、スポンジとゴム板を杭下部に埋め、摩擦杭とした。また、載荷重量としては、35Kg、77Kg の鉄板を用い、無載荷と併せて3通りの場合を行った。

杭頭部に起振力 $0.592 \text{ f}^2 \text{ Kg}$ の起振機を据え、杭を振動させ、周期をいろいろ変えた場合の杭の加速度を測定し、次に杭の上端に水平力を加え、静的変位を測定した。

図-8は、各振動数に対する杭頭実変位を、載荷重量別に分けてプロットしたものである。また、砂層の非線型性を考慮するため、「水平力」-「杭頭変位」の関係より、杭頭変位とせん断弾性係数との関係を推定した。図-8に同時に記入したお下りの曲線は、杭頭変位零の場合のせん断弾性係数を1.0とした倍率を示している。

図-9は、起振力を同一の場合に換算した、「振動数」-「変位」曲線である。実験値曲線より、一見共振点にかなり近い値を示しているようであるが、各場合の共振振動数が相当高いので、振動により、砂層のせん断弾性係数が減少したために、みかけの動的地盤係数も減少したと解釈の方が妥当であろう。従って、理論値は、各振動数に対応するせん断弾性係数を、図-8より求めて用いた。



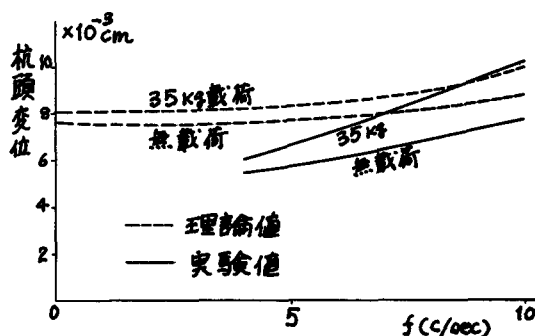
5. まとめ

図-6より明らかなように、弾性論ではみかけの動的地盤係数が、振動数に関して一定であることから、附着重量との分離によって、附着重量、真の動的地盤係数とともに、振動数の函数にすることは、動的地盤係数を機械はねとして考える長所が消えることになるので、むしろみかけの動的地盤係数を直接を用いた方が実用上の利便が大である。また、現在真の動的地盤係数を定数とし、更に附着重量を考慮することは、二重に附着重量を考えたことになり、みかけの動的地盤係数が小となり過ぎることになる。

しかし、実験例のところで補正を行ったように、実際の地盤では振動数による弾性定数の変化が大きくみかけの動的地盤係数に影響している。今後はこの非線型性を追求することが必要であろう。

なお、数値計算にあたって、東大大型計算センターのHITAC 5020 を用いた。

図-9



(1) 小坪、花田「地中構造物の動的水平地盤反力に関する研究」九大工学集報 vol 40-5