

鋼管矢板井筒基礎の震動特性について

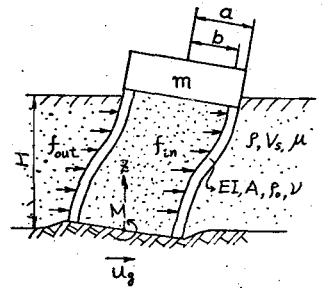
京都大学防災研究所 正会員 土岐憲三
 京都大学大学院 学生員 〇長沼敏考

1. まえがき

鋼管矢板井筒を構造物の基礎として用いることが多くなりつつあるが、基礎形式としては比較的新しいことから動的な特性に関しては十分な検討が行われていない。また、特に、井筒の直径が数十mにも達する場合には鋼管矢板によって取り囲まれた井筒内部の土の動的な特性に関しては明らかでない。そこで、本研究では井筒の内、外部の土を共に連続した弾性体として表現し、これらが基礎から地震動を受ける際の動揺振動について応答解析を行い、井筒内部の土の挙動が井筒の応答特性に及ぼす影響を把握し、これから井筒内部の土の取り扱いに関する検討を試みた。

2. 解析モデル

解析の対象とした力学モデルは図・1に模式的に示されている。すなわち、井筒本体は円筒形であり、その頂部には頂版を有し、下端は基礎に達しているが、その左面中心の周りで動揺運動を行う。また、井筒上端は頂版に固定されており、また下端も基礎に対して固定されている。そのため頂版は常に井筒下端面と平行であって、井筒下端における回転角と同一だけの回転運動を伴うことになる。また、井筒の外面および内面はともに弾性体とみなした土に直接に接しているものとする。以上のような仮定の下での井筒の弾性変形 η および動揺振動 θ に関する運動方程式は次式で表わされる。



図・1 解析モデル

$$\rho_0 A \frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 \eta}{\partial z^4} + EIV \frac{\partial^5 \eta}{\partial t \partial z^4} = f(z, t) - \rho_0 A \frac{\partial^2}{\partial t^2} (U_g + \theta z) - m \frac{\partial^2}{\partial t^2} (\eta + U_g + \theta z) \delta(H - z) \quad (1)$$

$$I_G \ddot{\theta} + C_R \dot{\theta} + K_R \theta = M(z, t) - \int_0^L \rho_0 A \frac{\partial (\eta + U_g)}{\partial t^2} z dz - mH \frac{\partial^2 (\eta + U_g)}{\partial t^2} \Big|_{z=L} \quad (2)$$

すなわち、 $f(z, t)$ は井筒がその内部および外部の土から受ける動圧であり、 $M(z, t)$ はこれらによる回転モーメントを表わし、いずれも内圧によるものと外圧によるものとがある。

$$f_{out}(z, t) = - \sum_{n=1}^{\infty} \rho \pi a^2 \omega_n^2 \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{8 \rho_0 H (-1)^{n-1}}{\pi^2 (2n-1)^2} - \frac{4 \mu g}{\pi (2n-1) \sum_{m=1}^{\infty} (\omega_m^2)} + \frac{2}{H} \sum_{j=1}^{\infty} X_j \sin a_n z \psi(\beta_j z) dz \right\} \{ \Omega_n + i \Omega_n' \} e^{i \omega t} \cdot \sin a_n z \quad (3)$$

$$f_{in}(z, t) = - \sum_{n=1}^{\infty} \rho \pi b^2 \omega_n^2 \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{8 \rho_0 H (-1)^{n-1}}{\pi^2 (2n-1)^2} - \frac{4 \mu g}{\pi (2n-1) \sum_{m=1}^{\infty} (\omega_m^2)} + \frac{2}{H} \sum_{j=1}^{\infty} X_j \sin a_n z \psi(\beta_j z) dz \right\} \{ \Lambda_n + i \Lambda_n' \} e^{i \omega t} \cdot \sin a_n z \quad (4)$$

$$M_{out}(z, t) = - \sum_{n=1}^{\infty} \rho \pi a^2 \omega_n^2 \sum_{m=1}^{\infty} \left\{ \frac{2H}{\pi (2n-1)} \right\} (-1)^{n-1} \left\{ \frac{8 \rho_0 H (-1)^{n-1}}{\pi^2 (2n-1)^2} - \frac{4 \mu g}{\pi (2n-1) \sum_{m=1}^{\infty} (\omega_m^2)} + \frac{2}{H} \sum_{j=1}^{\infty} X_j \sin a_n z \psi(\beta_j z) dz \right\} \{ \Omega_n + i \Omega_n' \} e^{i \omega t} \quad (5)$$

$$M_{i:n}(z,t) = -\sum_{n=1}^{\infty} \pi b^2 \omega_n^2 \xi_n^2 \left\{ \frac{2H}{\pi(2n-1)} \right\}^{2n-1} \left\{ \frac{89.6H(L-1)^{n-1}}{\pi^2(2n-1)^2} - \frac{4M_g}{\pi(2n-1)\xi_n^2 (\omega_n)^2} + \frac{2}{H} \sum_{j=1}^n X_j \sin \alpha_n z + (A_j z) dz \right\} (\Lambda_n + i\Lambda_n) e^{i\omega_n t} \quad (6)$$

こゝに、 ω_n は表層地盤の固有円振動数、 ξ_n は円筒の基準関数、 Ω_n, Λ_n は円筒と地盤の間の相互作用を表わす関数であり、他の諸量は図・1中に示してある。円筒と地盤との間の境界条件はすでに f, M, Ω, Λ などを求める際に用いられており、円筒の変形 η の満足すべき境界条件式は次の2式である。

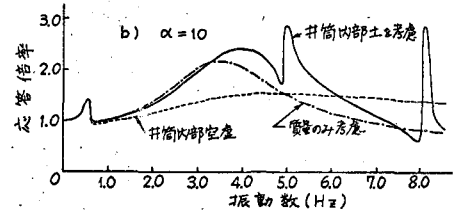
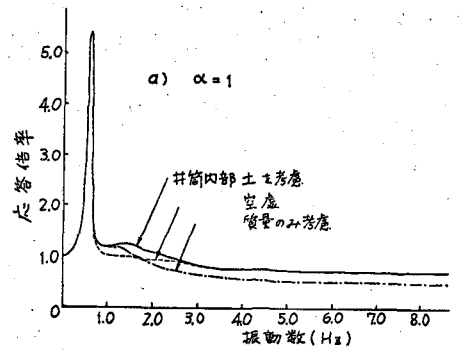
$$z=0: \eta=0, \quad \partial \eta / \partial z = 0$$

$$z=l: \partial \eta / \partial z = 0, \quad EI \partial^3 \eta / \partial z^3 = -M \partial^2 \eta / \partial t^2$$

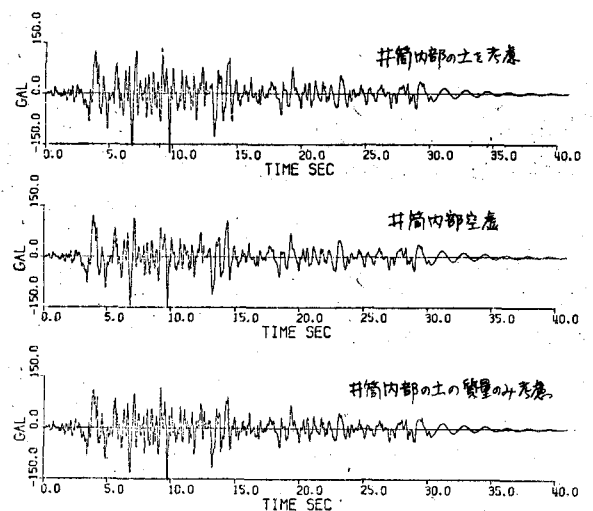
3. 数値計算例

上述のすべての諸式を周波数領域に変換して、井筒底面における地動に対する周波数応答関数を算定し、一方、入力地震動のフーリエ変換をこれに乗じた後、再び逆フーリエ変換を求めることにより井筒各部での時刻歴を算出した。図・2, 3は直径36m 高さ48m、頂版重量18,400tの鋼管矢板井筒を想定し、その弾性変形を無視した場合の動揺振動に関する周波数応答関数と Taft(1952) の N21E成分に対する応答曲線を示したものである。図・2のa)は井筒側面での地動に対する底面でのそれの比 α が1.0であり、b)は $\alpha=10$ の場合を示している。また、同図中の実線は井筒内部の土をも外部でのそれと同様に取り扱った場合、点線は内部を空虚にした場合、一実鎖線は内部の土の質量分だけ井筒の質量を増大させた場合を表わしている。また、井筒が設置されている地盤は横波速度が110m/sec程度の地盤を想定しており、表層地盤の固有振動数は

0.57 Hz である。図・2のa), b)を比較すると、いずれの場合にも内部の土の影響の程度は周波数によって変化し、また地盤の構成や卓越振動数と入力地震動の周波数特性によってその影響の現われ方に相違のあることがわかる。図・3は図・2のa)に相当する場合の時刻歴であり、上から順に内部土を考慮した場合、空虚にした場合、質量のみを考慮した場合である。これらの詳細ならびに井筒の弾性変形をも考慮した場合の数値計算結果は講義時に示す。



図・2 周波数伝達関数



図・3 井筒頂部の応答 (Taft, 1952, N21E)