

清水建設(株)研究所 正会員の石井 清
 武蔵工業大学工学部 正会員の星谷 勝

§1. はしがき

大型地下タンクの実測資料の検討から、基礎版による地震波の入力損失の効果が、タンク底面と比べて、タンクの側面においてより大きく生じているであろうことを指摘した。また、地動を構造物の真下より入射するせん断波と仮定すれば、基礎底面における入力損失の効果はほとんどなく、その効果は基礎の側面においてほとんどが生ずることになる。しかし、実際には平面的にもある程度はなれた2地点の地動には相互の位相ずれ、振幅の差といったものがある。したがって、程度の差はあろうが、底面・側面の両方において入力損失の効果が生じていると考える方がより自然であろう。本研究では、入力損失の効果に関する解析的研究として、地動に対する確率モデルを用いて、以下の項目について検討を試みることにした。

①入力損失の効果に対する基礎の底面および側面の寄与率についての検討。

②埋込みがない場合に、基礎底面において生じるであろう入力損失の効果の程度をつかむこと。

そこで、地動の確率モデルは相互スペクトルにより定義されるが、2地点間の距離に比例して相関が小さくなり、さらに深さ方向には1次元のせん断波動動としての位相ずれをもつモデルとした。基礎の動きは、この地動を基礎-地盤の接触面にわたって平均化することによって求められる。このモデルはごく単純なモデルであるが、上記の項目を定性的に検討することはできよう。

§2. 確率入力地動に対する入力損失の効果の定式化

基礎の解析モデルとして3次元矩形基礎を考える。座標は直角座標でとり、 X, Y を平面として、深さ方向を Z としている。基礎は、平面的には $(L_1), (L_2)$ を2辺とする矩形であり、埋込み深さを (L_3) としている。

剛体基礎の動き $\ddot{u}(t)$ は地動 $\ddot{u}_0(x, y, z, t)$ を基礎-地盤の接触面 S にわたって積分、平均化することによって与えられる。すなわち、

$$\ddot{u}(t) = \int_S \ddot{u}_0(x, y, z, t) dS \quad (1)$$

$\ddot{u}(t)$ の自己相関係数 $R\ddot{u}(\tau)$ は

$$R\ddot{u}(\tau) = E[\ddot{u}(t)\ddot{u}(t+\tau)] = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \left\{ E[\ddot{u}_0(x_i, y_i, z_i, t)\ddot{u}_0(x_j, y_j, z_j, t+\tau)] \right\} dS_i dS_j \quad (2)$$

で与えられる。ここで、接触面は側壁、底面の5つの領域に分けている。これをフーリエ変換すれば、

$$G\ddot{u}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R\ddot{u}(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau = \frac{1}{S^2} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^S \left\{ G(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j, \omega) \right\} dS_i dS_j \quad (3)$$

が得られる。ここで、 $G(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j, \omega)$ は2点 (x_i, y_i, z_i) と (x_j, y_j, z_j) との地動の相互スペクトルである。また、相互スペクトルをここでは次のように定義する。

$$G(x_i, y_i, z_i, x_j, y_j, z_j, \omega) = e^{-\alpha(|x_i-x_j|+|y_i-y_j|+|z_i-z_j|)} \cos\beta(L_3-z_i) \cos\beta(L_3-z_j) G\ddot{u}_0(\omega) \quad (4)$$

ここで、 $\alpha = (a + b\omega)/V_s$, $\beta = \omega/V_s$ で与えられ、 ω は円振動数(rad/sec), V_s は基礎周辺の地盤のせん断波速度(m/sec), a, b は実測データより推定される定数である。

(4)式の相互スペクトルは、地動を構造物の真下より入射するせん断波動動としてモデル化したものであるが、2地点間の距離に応じて相関は小さくなり、深さ方向では位相ずれをもつ。(4)式を(3)式に代入し、区内積分をくり返せば、結果は陽の形で示すことができる。式は複雑なので省略するが、地盤と基礎との伝達関数は結局、 $G\ddot{u}(\omega) = |H(\omega)|^2 G\ddot{u}_0(\omega)$ より与えられ、 $|H(\omega)|$ が入力損失フィルタに相当する。

§3. 異なる2地床の地動の相互スペクトル

前章で示した定式化において、その妥当性は相互スペクトルの定義式およびそのパラメータの選択にかかっている。実測資料について2地床間の地動の相互スペクトルを検討してみると、(4)式の定義式も必ずしもすべての周波数領域であてはまるわけではない。また、そのパラメータも簡単には決定できない。しかし、2, 3の地震観測資料の検討からは、 $\alpha=0$ としたときの最小自乗法で求めると $\alpha=0.2\sim0.4$ 程度の値をとりうるこゝとがわかった。また、実在構造物の基礎/地盤の伝達関数に対する上記解析解の一致度は $b=0.05\sim0.25$ の中では0.15の値が一番良いことがわかったので、この値をパラメータスタディでは用いることとした。

図-1に地下タンクの実測結果と解析解との対応を示すが、解析解は実測解のすべての周波数領域にわたって良好にシミュレートできているわけではないが、全体的な傾向は十分にとらえられていると思われる。

§4. 数値解析例についての考察

(A) 基礎底面と側面の寄与率について

基礎の埋込み深さ L_3 をパラメータとして入力損失フィルターを検討する。ここで、他のパラメータは図中の値に固定した。

結果を図-2に示す。図からは次のことが考察できる。

①埋込みがない場合すなわち $L_3=0\text{ m}$ のときの入力損失の効果は割合に小さいものである。②これに対して、基礎が埋込み深さをもっと入力損失の効果はきわめて強くなっていく。入力損失の効果に対するこの急激な増加は、側面による接地面積の増大にもよるが、側面の地動のせん断波動としての位相ずれが大きく効いている。③また、埋込み深さを増すと入力損失の効果は漸次増えていくが、埋込み深さと基礎幅の比(L_3/L_2)が0.5以上になると、埋込み深さによる入力損失フィルターの形状の変化は相対的に小さくなる。また、図-3には大型地下タンクについて、底面だけによる入力損失の効果と底面と側面の両方を考慮した場合の入力損失の効果を示す。底面のみの場合と比べ側面を考慮した場合には入力損失の効果はだいぶ大きくなる。また、側面の効果は伝達関数の第1ノード(2 Hz)までが非常に大きいことがわかる。

(B) 基礎底面において生じる入力損失の効果について

基礎の底面を正方形($L_1=L_2$)としてその長さをパラメータとし、 $L_3=0.0\text{ m}$ 、 $V_s=200\text{ m/sec}$ とした。結果を図-4に示す。計算結果からは底面だけによる入力損失の効果が比較的小さいことがわかる。基礎幅が40 mでは10 Hzにおいてもそのゲインは0.6程度しかならず、80 mでやっと0.4程度まで落ちる。

なお、解析解による入力損失の効果は実在構造物のそれと比べ幾分小さいようである。振動数の高い領域で解析解のゲインが落ちない理由としては解析モデルの相互スペクトルが同一平面では位相ずれをもたないモデルであることなどが関係しているよう。

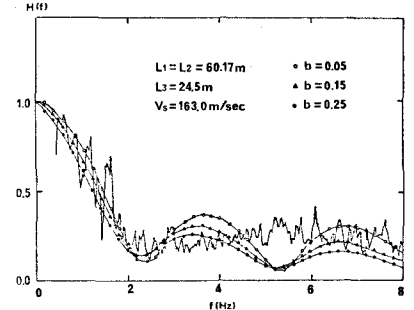


図-1 大型地下タンクの基礎/地盤の伝達関数

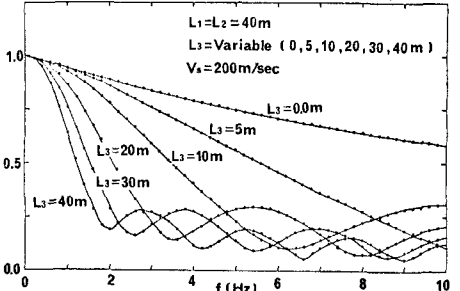


図-2 埋込み深さによる入力損失の変化

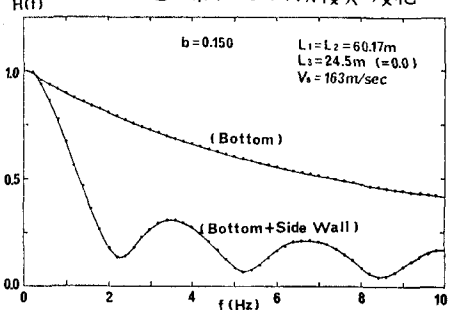


図-3 大型地下タンクの底版・側面における入力損失

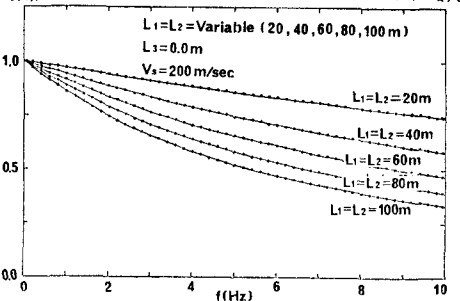


図-4 底面の大きさによる入力損失の変化