

大阪市立大学

正員 倉田宗章

大阪工業大学

正員 岡村宏一

建設省近畿地方
本州四国連絡道路調査事務所

正員 ○ 多田若彦

I) まえがき 海峡横断橋の基礎として用いられるような巨大なケーソンの設計を行うに際しては、上部工に及ぼす影響の点から、地震時に於ける変位の評価が最も重要な問題となる。このような問題に対しては上部工との連成を考慮せねばならないが、主体をなすケーソン自体の問題に限ってみてもその基礎地盤との結合条件の如何によって応答変位に差異を生ずる。強大な地震力を受けるケーソンの経済寸法を定むるには、殆んどの場合、基礎底面の鉛直力の合力が核外に出る場合が多く基礎の浮上り側に底面の抵抗力が期待出来なく、底面反力の分布巾が変動する非線形の結合となる。そこで主としてこのようなケーソンと地盤との結合状態がケーソンの動的応答にどのような影響を与えるかを調べることにした。一般に、このような一自由度系の非線形過渡振動については従来、種々の解法が提示されているが、われわれは工学的に判断されるケーソンの非線形復元力および減衰力曲線、ならびに地震加速度曲線等をすべて折線で近似させてこれらの諸特性を線形化し、結果の精度を増すために微小時間間隔に於て線形微分方程式の正確解を求め、このような各区間毎の初期値問題の接続として全体の解を構成する方法を用いた。

II) ケーソンと地盤との結合条件：地盤についての諸係数は、実測データを参考にすると全時に、それらのデータを援用して応力のある範囲内で、地盤を理想化して半無限弾性体と見做した。鉛直反力の分布領域のみに仮定される鉛直バネ係数 $K_V(\xi)$ は、反力分布巾 ξB の変動とともに変化する。又底面のせん断バネ係数 $K_S(\xi)$ は底面水平力がクーロン摩擦を越えない範囲で仮定され、実用的には $K_V(\xi)$ と一定の比率で與えられる。以上より、

$$K_V = \frac{E_R}{\xi B I(\xi) (1 - \nu^2)}, \quad E_R: \text{基礎の弾性常数}, \quad \nu: \text{基礎のポアソン比}$$

$$I(\xi) = \frac{2}{\pi} \left\{ \beta \xi^{-1} \log \frac{1 + \sqrt{1 + (\beta \xi^{-1})^2}}{\beta \xi^{-1}} + \frac{1}{2} \beta \xi^{-1} \log \left\{ \beta \xi^{-1} + \sqrt{1 + (\beta \xi^{-1})^2} \right\} - \frac{1}{2} \beta \xi^{-1} (\sqrt{1 + (\beta \xi^{-1})^2} - \beta \xi^{-1}) \right\} \quad \beta = \frac{L}{2B}$$

$$K_S(\xi) = \lambda K_V(\xi) \quad (0 < \lambda < 1)$$

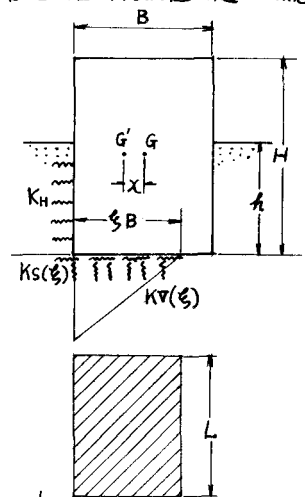


図-1

また、有効根入り部分の受圧側には水平バネ常数 K_H を仮定し、地質により分布形を適宜定める。

III) ケーソンの復元力特性：ケーソンの運動は並進と回転より成るものとし、その復元力特性曲線はケーソンの変形適合条件と力の釣合いから次式によって描くことが出来る。

$$F = f(\alpha) X = \alpha N, \quad X = \frac{N}{K_V(\xi) B} \left\{ \ell \xi^2 + \frac{2(m(\xi) \alpha - n \xi^2)}{2n + m(\xi) \xi} \right\}$$

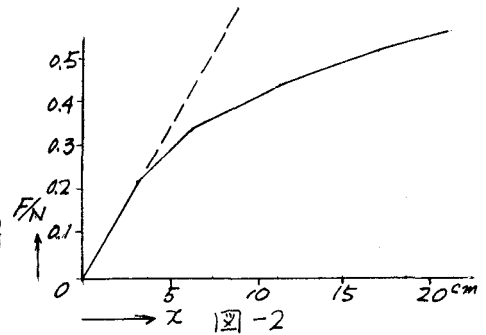
$$\left(\frac{\ell}{2} - \frac{n^2}{2n + m(\xi) \xi} \right) \alpha = \frac{1}{2} - \frac{\xi}{3} + \frac{2}{3} n^3 m(\xi) \xi^2 + \frac{n^4 m(\xi) \xi^2}{2n + m(\xi) \xi}, \quad \text{ただし } X: \text{ケーソン重心点の水平変位}$$

F: 復元力

$$N: \text{鉛直力}, \quad m(s) = \frac{Kv(s)}{KH}, \quad l = \frac{H}{B}, \quad n = \frac{h}{B}$$

底面せん断力が限界摩擦力に到達した場合についても全様に求めることが出来る。モデルケーソンについて復元力特性曲線を描いた例を図-2に示す。このような特性曲線を折線で近似し、図-3のような表示を与えれば $x_i < x < x_{i+1}$ の区間で、

$$F = \alpha + \beta x = \frac{1}{x_{i+1} - x_i} \{ b_i x_{i+1} - b_{i+1} x_i + (b_{i+1} - b_i) x \}$$



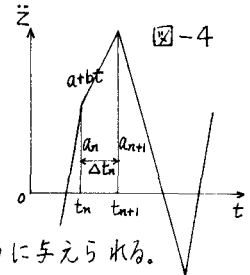
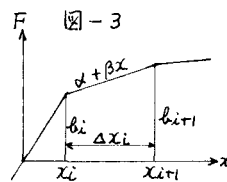
IV) 地動、減衰力特性: 地動 $\ddot{z}$ について、図-4に示すような折線近似で表示する場合は

$$t_n < t < t_{n+1}$$

$$\ddot{z} = a + bt = \frac{1}{\Delta t_n} \{ (a_n t_{n+1} - a_{n+1} t_n) + (a_{n+1} - a_n) t \}$$

復元力特性についても全様な近似を行うとすれば
例えば $\dot{x}_r < \dot{x} < \dot{x}_{r+1}$ の区間で

$$\alpha + \beta \dot{x} = \frac{1}{\dot{x}_{r+1} - \dot{x}_r} \{ \gamma_r \dot{x}_{r+1} - \gamma_{r+1} \dot{x}_r + (\gamma_{r+1} - \gamma_r) \dot{x} \}$$



V) 解式 上述のように線形化された区間での微分方程式は次式のように与えられる。

$$\ddot{x} + 2\gamma r_i p_i \dot{x} + p_i^2 x = - \left\{ (\alpha_r + \beta_i \dot{x} + \delta_n) + \frac{a_{n+1} - a_n}{\Delta t_n} t \right\}$$

$$t \text{ に対し } \frac{b_{i+1} - b_i}{\Delta x_i} = k_i, \quad \frac{\gamma_{r+1} - \gamma_r}{\Delta \dot{x}_r} = C_r, \quad \frac{C_r}{2\sqrt{k_i m}} = \gamma r_i, \quad \frac{k_i}{m} = p_i^2, \quad \Delta \dot{x}_r = \dot{x}_{r+1} - \dot{x}_r, \quad \Delta x_i = x_{i+1} - x_i$$

$$\frac{\gamma_r \dot{x}_{r+1} - \gamma_{r+1} \dot{x}_r}{m \Delta \dot{x}_r} = \alpha_r, \quad \frac{b_i x_{i+1} - b_{i+1} x_i}{m \Delta x_i} = \beta_i, \quad \frac{a_n t_{n+1} - a_{n+1} t_n}{\Delta t_n} = \delta_n,$$

解式は $t = t_s$ なる時 $x = x_s$ $\dot{x} = \dot{x}_s$ なる初期条件を用いて次のように与えられる。

$$x_{s+1} = x_s + e^{-\gamma r_i p_i \Delta t_s} \left(\bar{A} \cos p_i \lambda r_i t_{s+1} + \bar{B} \sin p_i \lambda r_i t_{s+1} \right) - \mu s r_{ni} - \frac{\bar{B}_n}{p_i^2} \Delta t_s$$

$$\frac{\dot{x}_{s+1}}{p_i} = \frac{\dot{x}_s}{p_i} + e^{-\gamma r_i p_i \Delta t_s} \left\{ -\bar{A} (\lambda r_i \sin p_i \lambda r_i t_{s+1} + \gamma r_i \cos p_i \lambda r_i t_{s+1}) + \bar{B} (\lambda r_i \cos p_i \lambda r_i t_{s+1} - \gamma r_i \sin p_i \lambda r_i t_{s+1}) \right\} - \gamma s n_i$$

$$t \text{ に対し } \mu s r_{ni} = x_s + \frac{1}{p_i} \left(\frac{\bar{\alpha}_{rin}}{p_i} + 2\gamma r_i \frac{\bar{\beta}_n}{p_i^2} \right) + \frac{\bar{B}_n}{p_i^2} t_s, \quad \gamma s n_i = \frac{\dot{x}_s}{p_i} + \frac{\bar{B}_n}{p_i^2}, \quad \lambda r_i = \sqrt{1 - \gamma r_i^2},$$

$$\bar{\alpha}_{rin} = \alpha_r + \beta_i \dot{x} + \delta_n \quad \bar{A} = \mu s r_{ni} (\cos p_i \lambda r_i t_s - \frac{\gamma r_i}{\lambda r_i} \sin p_i \lambda r_i t_s) - \gamma s n_i \frac{\sin p_i \lambda r_i t_s}{\lambda r_i}$$

$$\bar{B}_n = \frac{a_{n+1} - a_n}{\Delta t_n} \quad \bar{B} = \mu s r_{ni} (\sin p_i \lambda r_i t_s + \frac{\gamma r_i}{\lambda r_i} \cos p_i \lambda r_i t_s) + \gamma s n_i \frac{\cos p_i \lambda r_i t_s}{\lambda r_i}$$

$$\Delta t_s = t_{s+1} - \Delta t_s \quad \text{又, } x_i < x_{s+1} < x_{i+1} \quad \dot{x}_r < \dot{x}_{s+1} < \dot{x}_{r+1} \quad \text{及び } t_n < t_{s+1} < t_{n+1} \text{ の条件}$$

を満足していることが必要でありこのような条件が満たされない場合は例えば 図-5に示す様に

x_{i+1} を t につき Taylor 展開し才 2 項まで

図-5

$$\text{採り} \quad \Delta t_s = \frac{x_{i+1} - x_s}{\dot{x}_s} \quad \Delta t' = \Delta t_s - \Delta t'_s$$

の 2 つの時間帯に分割して演算を修正する。

尚、 $x_i = 0$ なる時期に於いて変位が反転するので前記の各不等式条件の記号が反対向きとなる。

VI) 数値計算例: 当日報告する。

