

京都大学工学部 正員 後藤尚男
 京都大学工学部 正員 O横山康夫

1. まえがき

水中橋脚が地震時に示す動的挙動は、上部構造との関連を考慮外におくとしても、水中橋脚の振動によって生ずる動水圧、橋脚躯体の弾性、基礎地盤の支持性状などの影響を受けて複雑な応答を示すものと考えられる。本研究では、特に地盤の支持機構に注目し、円柱状の剛性水中橋脚が地盤係数で表示されると仮定した弾性地盤で支持されるものとして、その動揺連成振動について解析し、水中橋脚の動揺振動に及ぼす基礎地盤の影響などについて考察を行なった。

2. 理論解析

橋脚を支持する地盤が一応質量のないバネで表示されるものと仮定すると、図-1 に示された円柱状の水中橋脚の振動は、橋脚を剛体として取り扱えば、重心Gの水平変位 y と重心軸のまわりの回転角 φ との2自由度からなる連成振動と考えられる。地盤は表層および基盤層の2層からなるものとし、動水圧として、表面波の影響および水の圧縮性による影響が小さくて無視できるときに理論式を用いることにすると、水中橋脚の運動方程式はつぎの2式で与えられる。

$$\left(\frac{W}{g} + M_1\right)\ddot{y} + M_2\dot{\varphi} + k_1 y - k_2 \varphi = k_1 \cdot e(t)$$

$$M_2\dot{y} + (J_G + k^2 M_3)\ddot{\varphi} - k_2 y + k_3 \varphi = -k_2 \cdot e(t)$$

ここに、 M_1 , M_2 , M_3 は水の質量作用を表わし、 k_1 , k_2 , k_3 は弾性地盤による復元力を示しており、それぞれつぎのように書ける。

$$M_1 = \rho_w \pi r^2 h \cdot \alpha_1, \quad M_2 = \rho_w \pi r^2 h \cdot \alpha_2, \quad M_3 = \rho_w \pi r^2 h \cdot \alpha_3$$

$$k_1 = K_R A_0 + 2K_R h d, \quad k_2 = K_R A_0 d + K_R h d(2l - d)$$

$$k_3 = K_R A_0 l^2 + 2K_R h d(l^2 - ld + \frac{d^2}{3}) + I_G K_w - Wl$$

ただし、 W , ρ_w , A_0 : 橋脚の重量, 半径, および断面積, h : 水深, I_G : 橋脚底面の断面2次モーメント, J_G : 重心軸に関する橋脚の慣性モーメント, $2l$: 橋脚の全長, ρ_w : 水の密度, d : 表層の厚さ, K_R : 表層の水平地盤係数, K_R , K_w : 基盤層の水平・上下両方向の地盤係数。また、 α_1 は $\frac{h}{l}$ の関数で、 α_2 , α_3 は $\frac{h}{l}$, $\frac{l}{h}$ および $\frac{d}{h}$ の関数で表わされ、それぞれ図-2, 3, 4 に示される無次元量である。ただし、図-3, 4 は $2l = h + d$ なる時の値を示す。なお上式の右辺は水平方向の単弦地動 $e(t) = e_0 \sin \omega t$ が作用する定常状態における強制力を示している。

3. 数値計算適用例

水深 50 m の地点に設置された直径 75 m の円柱状橋脚が、図-1 にみうように表層を貫いて基盤層まで根入れした場合を対象として、表層の厚さ d および地盤係数 K_R , K_R , K_w の異なる場合について

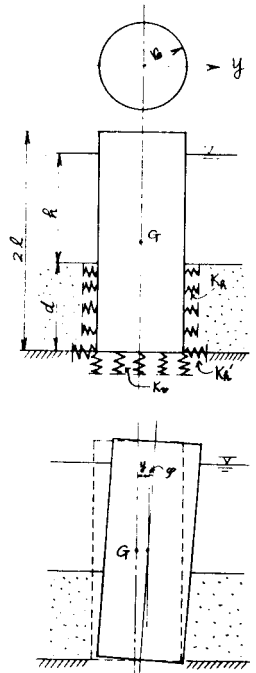


図-1 水中橋脚の振動モデル

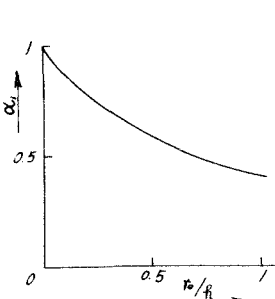


図-2 α_1 曲線

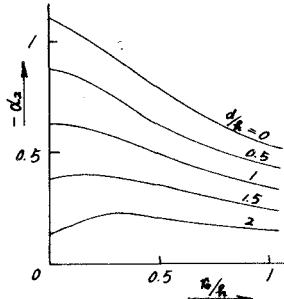


図-3 α_2 曲線

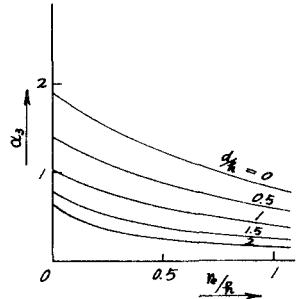


図-4 α_3 曲線

上に述べた解析結果を適用して、水中橋脚の自由振動および定常強制振動に関する数値計算を行なった。この数値計算においては、基盤層は良好な弾性地盤であると考え、 $K_R/K_0 = 0.8$ なる場合について計算した結果の一例を図-5, 6に掲げた。

本研究の結果、円柱状水中橋脚の動揺振動について得られた成果はつぎの通りである。

- (1) 水の表面波と圧縮性の影響が小さくて無視できる場合には、任意寸法の円柱状水中橋脚の連成動揺振動が図-2, 3, 4を利用して解析できる。
- (2) 連成動揺振動の固有周期は、水平変位または回転のみを考慮した1自由度系の固有周期に比べて、かなり長くなっている。例えば、 $d=50\text{m}$, $K_R=1\text{kg/cm}^2$, $K_R'=40\text{kg/cm}^2$, $K_0=50\text{kg/cm}^2$ の場合には、 $T_H=0.161(\text{sec})$, $T_R=0.298(\text{sec})$ (T_H, T_R : 水平および純動揺振動の固有周期) に対し、連成動揺振動の1次固有周期は $T_1=0.487(\text{sec})$ となり、連成動揺振動としての取り扱いが重要であることが指摘できる。

- (3) 水中橋脚の連成動揺振動の固有周期は、当然のことではあるが、橋脚の下端を完全固定とし、橋脚の弾性変形を考慮した場合に比べて長くなっている。すなわち下端が完全固定の理想的な状態に比べて実際の水中橋脚は揺れやすい傾向にある。また、表層地盤が軟弱な場合には根入れ深さの増加と共に固有周期が長くなる傾向がみられるが、これは橋脚躯体の大型化による慣性の増大のためと考えられる。

- (4) 水中橋脚の、空中にある場合に対する固有周期の増大率は5~7%であり、弾性たわみを考慮した場合のそれよりも小さい。

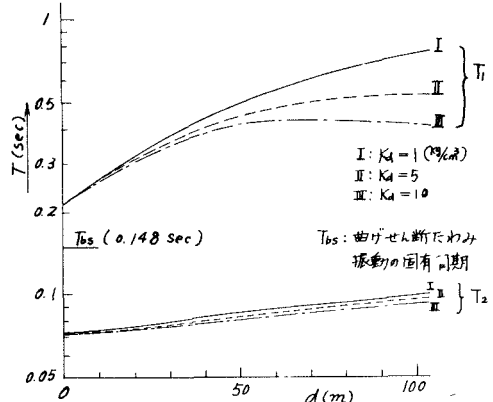


図-5 連成動揺固有周期
($K_R=40\text{kg/cm}^2$, $K_0=50\text{kg/cm}^2$)

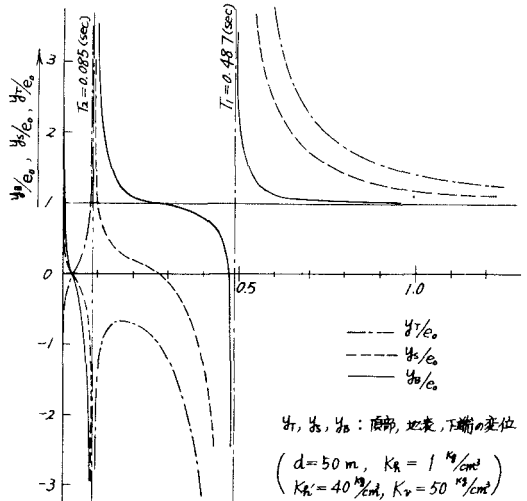


図-6 定常強制振動の変位倍率係数