土木学会第46回年次学術講演会（平成３年９月）

I-263　埋設基礎を有する道路橋橋脚の固有周期と減衰定数に関する理論的研究

宮崎大学工学部　原田隆典
（株）タダノ　山下典彦

１．まえがき　一般道路橋の橋脚と基礎地盤系を最も簡略化した上部１自由度、基礎２自由度（水平と回転）の振動モデルを用いて、橋脚の基本固有周期と減衰定数を理論的に研究したのでその概要を報告する。なお、この概要は文献 (1) に基づいている。

２．橋脚·基礎地盤系の解析モデル　図１に示すような水平１自由度、基礎の水平·回転の２自由度を有する合計３自由度の解析モデルを考える。基礎周辺地盤が地震時に基礎·橋脚へ及ぼす効果は次のように定義される有効地振動 u_{ct}、θ_{ct} および基礎地盤系の複素ばね係数 K^*_{hh}、K^*_{rr}、$K^*_{hr}(=K^*_{rh})$ によって表すことができる。

- 有効地震動：基礎地盤系モデルにおいて基礎の質量を零としたときの基礎の地震応答値。地表面レベルでの無質量基礎の地震応答値の水平、回転成分を u_{ct}、θ_{ct} とする。
- 複素ばね係数：基礎地盤系モデルにおいて、無質量基礎に単位の変位を支えるために必要な力。地表面レベルでの複素ばね係数の水平、回転成分およびそれらの連成成分を K^*_{hh}、K^*_{rr}、$K^*_{hr}(=K^*_{rh})$ とする。

この有効地震動は周辺地盤から基礎·橋脚へ入力される地震動を表すものであり、一方、複素ばね係数は基礎橋脚の振動に対する地盤の抵抗や振動エネルギーの周辺地盤への逸散を代表する。図 1(b) に示すように基礎上面（＝地表面レベル）および上部質点を力のつり合を考える位置とすると、振動数領域における３自由度系の運動方程式は次のようになる。

$$\begin{bmatrix} -m_S\omega^2+K^*_S(\omega) & -m_S\omega^2 & -m_SL\omega^2 \\ -m_S\omega^2 & -(m_S+M)\omega^2+K^*_{hh}(\omega) & -(m_SL-ML_f)\omega^2+K^*_{hr}(\omega) \\ -m_SL\omega^2 & -(m_SL-ML_f)\omega^2+K^*_{rh}(\omega) & -(m_SL^2+J_G+ML_f^2)\omega^2+K^*_{rr}(\omega) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ u_T \\ \theta \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} m_S\omega^2 \\ (m_S+M)\omega^2 \\ (m_SL-ML_f)\omega^2 \end{Bmatrix} u_{CT} + \begin{Bmatrix} m_SL\omega^2 \\ (m_SL-ML_f)\omega^2 \\ (m_SL^2+J_G+ML_f^2)\omega^2 \end{Bmatrix} \theta_{CT} \tag{1}$$

ここに,ω =振動数、m_s =上部質点の質量、M =基礎の質量、J_G =基礎重心回りの質量モーメント、その他の記号に関しては、図１に示すようである。

３．動的相互作用を考慮した１自由度系モデル　式 (1) から橋脚の相対変位 u は次のように書き換えられる。

$$[-m_S\omega^2+K^*_e]U_e = m_S\omega^2 U_{ge} \tag{2}$$

ここに

$$K^*_e = \frac{K^*_S A}{A+K^*_S B},\quad U_{ge} = \frac{C}{A}u_{CT}+\frac{D}{A}L\theta_{CT},\quad U_e = \frac{K^*_S}{K^*_e}u \tag{3}$$

また、

$$A = MJ_G\omega^4-[J_GK^*_{hh}+ML_f(L_fK^*_{hh}+2K^*_{hr})+MK^*_{rr}]\omega^2+(K^*_{hh}K^*_{rr}-K^{*2}_{hr}) \tag{4.a}$$

$$B = -[J_G+M(L+L_f)^2]\omega^2+(K^*_{rr}+K^*_{hh}L^2-2K^*_{hr}L) \tag{4.b}$$

$$C = -[J_GK^*_{hh}+M(L+L_f)(L_fK^*_{hh}+K^*_{hr})]\omega^2+(K^*_{hh}K^*_{rr}-K^{*2}_{hr}) \tag{4.c}$$

$$D = -\Big[\frac{J_GK^*_{hr}}{L}+\frac{M(L+L_f)}{L}(L_fK^*_{hr}+K^*_{rr})\Big]\omega^2+(K^*_{hh}K^*_{rr}-K^{*2}_{hr}) \tag{4.d}$$

式 (2) は図 1(c) に示すような基礎固定の１自由度系に地震動が作用するときの振動数領域での運動方程式である。したがって、K^*_e、U_{ge} および U_e は基礎と地盤および橋脚の動的相互作用を考慮した橋脚の複素ばね係数、橋脚への入力地震動および橋脚の相対変位であると解釈することができる。

４．動的相互作用を考慮した橋脚の固有周期と減衰定数の近似式　式 (2)、(3) で与えられる橋脚の等価複素ばね係数 K^*_e を数値計算例を含めて理論的に検討すると、一般道路橋脚の固有周期 T_e と減衰定数 h_e が次のように

近似できるようである。

(1)　**直接基礎, 抗基礎を含み基礎の質量が大きくない場合では、**

$$T_e = R_0 T_S, \quad h_e = h_S\left(\frac{1}{R_0}\right)^3 + h_0 \tag{5}$$

ここに、T_s、h_sは基礎固定時の橋脚の固有周期と減衰定数で、また、R_0、h_0は基礎地盤系の静的ばね係数と減衰係数および基礎同定時の橋梁の静的ばね係数から決まる定数である。

(2)　**埋没深さ５ｍ以上の深いケーソン基礎を有する場合では、**

$$T_e = \begin{cases} R_1 T_S & T_e > T_{FD} \\ T_S & \text{その他} \end{cases}, \quad h_e = \begin{cases} h_S + h_1 & T_{FD} < T_e < T_g \\ h_S(\frac{1}{R_0})^3 + h_0 & \text{その他} \end{cases} \tag{6}$$

ここに、R_1、h_1は基礎地盤系の静的ばね係数と減衰係数および基礎固定時の橋脚の静的ばね係数および基礎の固有周期T_{FD}から決まる定数である。また、T_gは表層地盤の固有周期である。ケーソン基礎のように埋没深さが深い場合には、基礎の質量効果が無視できなくなり基礎の固有周期が、橋脚の固有周期と減衰定数に影響してくるために、式(6)のように表される。数値計算で用いた諸元は省略するが（文献１参照)、式(5)、(6)による近似値と式(1)を直接解いて求まる厳密な固有周期と減衰係数を比較すると図２、３に示すように両者はよく一致している。また橋脚の減衰定数に関しては経験式として$h = 0.02/T$と言うように橋脚の固有周期に反比例して、減衰定数が小さくなることが知られているが、図４に示すように本研究の近似式(5)、(6)によってもそのような傾向がみられる。ただし、ばらつきは大きい。このことは経験式のように橋脚の固有周期のみの関数では、減衰定数は表しきれず、式(5)、(6)に示すようなパラメータの関数とする方がより厳密であることを意味している。

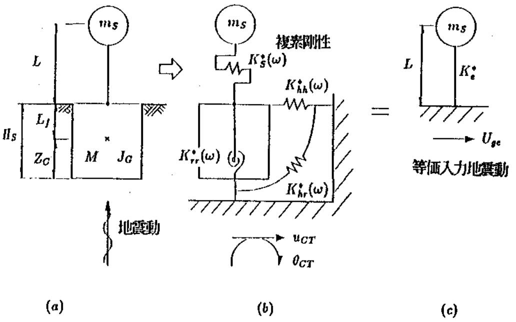

図１　基礎上面における動的相互作用モデル

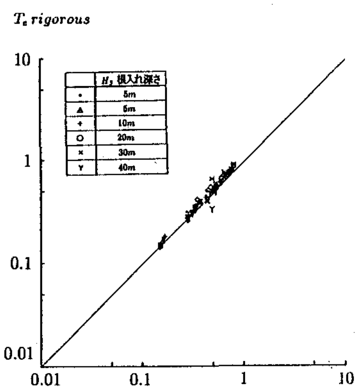

図２　$T_e$rigorous と $T_e$approximate の比較

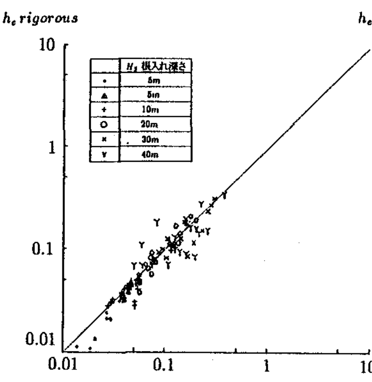

図３　$h_e$rigorous と $h_e$approximate の比較

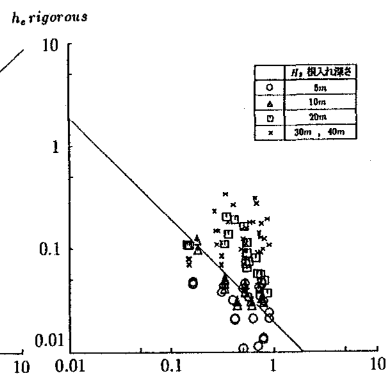

図４　$T_e$rigorous と $h_e$rigorous の関係

参考文献　[1]　山下、埋設基礎の地震応答解析と耐震設計法に関する基礎的研究　宮崎大学修士論文