I-95 動的相互作用を考慮した連続桁橋の周期と減衰定数の評価法

宮崎大学工学部　正員　原田 隆典
宮崎大学大学院　学生員　ウイルソン ゴルジェス
（株）日本技術開発　正員　中野 道秀

1．はじめに　地盤と構造物の動的相互作用の効果は，現行の道路橋耐震設計指針には考慮されていない．ここでは，動的相互作用の効果を設計指針に盛り込めるように，簡単に表現することを目的として，地盤－基礎－橋脚系の等価ばね，と等価入力の考え方を提案する．この考え方に基づくと，地盤－基礎－橋脚系の下部工が1つのばねと入力に置き換えられるので，極めて簡単に上部工の動的特性を計算することができる．免震支承が存在する場合には，ここで提案する等価ばねと直列につないで免震支承の効果を導入することができる．このような動的相互作用を考慮した等価ばねを用いて連続橋の周期と減衰定数の評価法を示し多質点系モデルによる評価法の妥当性を検討する．

2．地盤－基礎－橋脚系の等価ばねと等価入力 [1]　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自由度系モデルの考察から，等価ばねと等価入力は次のように与えられる [1]．

$$K_e^* = \frac{K_S^* A}{A + K_S^* B}, \quad U_{ge} = \frac{C}{A} u_{CT} + \frac{D}{A} L \theta_{CT}, \tag{1}$$

ここに，K_S^* =橋脚の複素剛性，u_{CT} =基礎上面での有効入力の水平成分，θ_{CT} =有効入力の回転成分．また，A, B, C, D は地盤-基礎系の諸定数 (基礎の質量 M, J_G，地盤-基礎系の複素剛性 $K_{hh}^*, K_{rr}^*, K_{hr}^*$，基礎重心点から基礎上面までの距離 L_f) と上部1質点系の高さ L のみの関数として次式で与えられる．

$$A = M J_G \omega^4 - [J_G K_{hh}^* + M L_f (L_f K_{hh}^* + 2K_{hr}^*) + M K_{rr}^*]\omega^2 + (K_{hh}^* K_{rr}^* - K_{hr}^{*2}) \tag{2.a}$$

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

$$C = -[J_G K_{hh}^* + M(L + L_f)(L_f K_{hh}^* + K_{hr}^*)]\omega^2 + (K_{hh}^* K_{rr}^* - K_{hr}^{*2}) \tag{2.c}$$

$$D = -\Big[\frac{J_G K_{hr}^*}{L} + \frac{M(L + L_f)}{L}(L_f K_{hr}^* + K_{rr}^*)\Big]\omega^2 + (K_{hh}^* K_{rr}^* - K_{hr}^{*2}) \tag{2.d}$$

上部工が1質点系にモデル化できる橋梁では，式(1),(2) の等価ばねと等価入力を用いて図1 (c) のような基礎固定の1質点系にモデル化でき，基礎固定にも係わらず動的相互作用の効果は全てこのモデルに含まれていることになる．したがって，簡単に1質点系の周期と減衰定数が評価でき，応答スペクトルを用いると1質点系に作用する地震力を評価することができる．

3．連続橋への適用　図2 (a) に示すような連続橋の1次周期と減衰定数も，式(1),(2) の等価ばねと等価入力を用いると，図2 (b) のように等価ばねに支持された連続桁としてモデル化できる．ここで，連続桁の質量を零として等価入力による連続桁の応答を計算し，これをΔ_Sとする．また，静的に自重 $w(x)$ を橋軸または橋軸直角方向に作用させたときの連続桁の変位形を$\psi(x)$ とする．これらを用いると，仮想仕事の原理により図2 (b) のモデルは次の1質点系の振動方程式で近似することができる．

$$[-\omega^2 m^* + i\omega c^* + k^*]z = \omega^2 m^* z_g^* \tag{3}$$

ここで，一般化質量，一般化ばね係数，一般化減衰係数，一般化地震動は次のように与えられる．

$$m^* = \frac{1}{g}\int w(x)\psi^2(x)dx, \quad k^* = \int w(x)\psi(x)dx \tag{4-a}$$

$$c^* = \frac{1}{\omega}\sum_j Im(K_{ej}^*)\psi^2(x_j), \quad z_g^* = \frac{\int w(x)\psi(x)\Delta_S dx}{\int w(x)\psi^2(x)dx} \tag{4-b}$$

したがって，周期と減衰定数は，

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m^*}{k^*}}, \quad h = \frac{c^*}{2\sqrt{m^* k^*}} \tag{5}$$

４．数値計算例　図２(a)に示す連続橋の橋軸直角方向の１次周期と減衰定数を，式(5)で算定してみた．モデルの諸定数は文献[1]に譲るが，ここでは，基礎半径を$2m, 6m, 10m$と変えた３ケースについて試算し，その変位形と周期，減衰定数を図３に示す．変位形の実線は動的相互作用を考慮した場合，点線は，考慮しない場合の変位形を示す．基礎半径が大きくなるにつれて，動的相互作用の効果が小さくなり，基礎半径$10m$のケースでは，ほぼ基礎固定の場合と同じ変位形となっている．しかし，減衰定数の方は基礎半径$6m$のとき，0.47と最も大きく，半径$10m$の場合，0.064と最も小さい．このような変位形と周期，減衰定数は多質点系モデルでも確かめられ(紙面の都合上計算例や考察を省略する)，式(5)の簡易評価法の妥当性が確かめられたものと考えられる．

(1)N.,Yamasita,T.,Harada,T.,Wakahara,:Theoretical Assessment of Soil Structure Interaction Effect at Bridge Structure,Proc. 10th WCEE, Vol.3,pp.1579-1582, Madrid,1992.

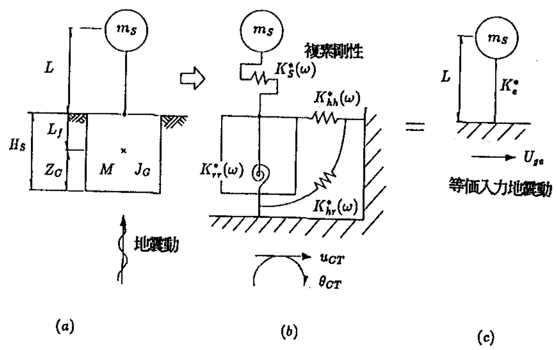

図１　等価ばねと等価入力

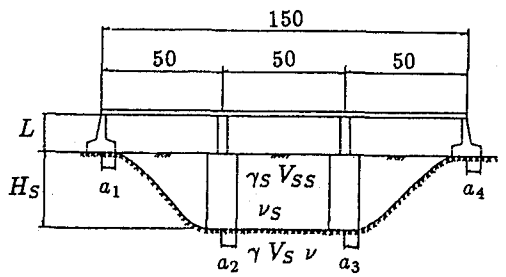

図２(a)　連続橋の例

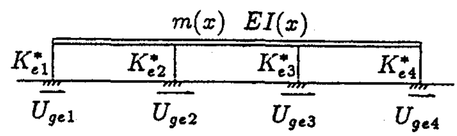

図２(b)　連続橋のモデル

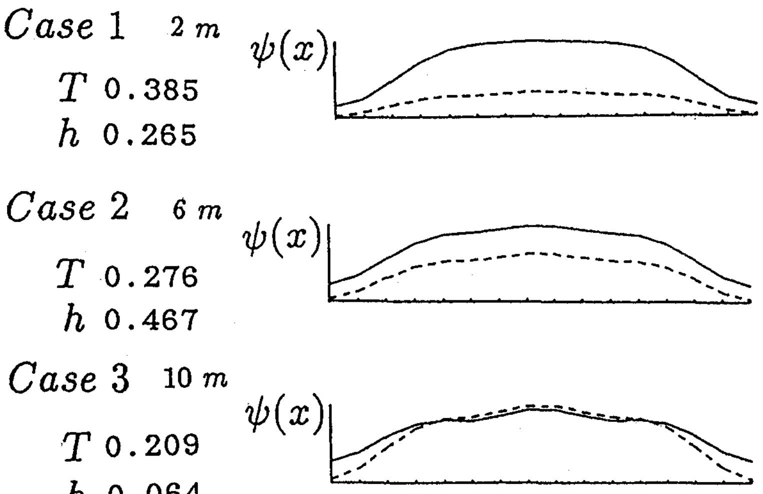

図３　変位形と周期，減衰定数