

フリ橋の耐震解析における減衰力の影響について

京都大学工学部

正員 工博 山田善一

新日本技術コンサルタント 正員 工博 辰巳正明

1. 多自由度系の応答解析を行うには、一般にはモーダルアナリシス法が用いられる。この手法を適用するには、各次モードに分離しうることが必要である。更にまた、耐震応答解析において、応答スペクトルを用いる際には、各次モードに分離できるとともに、各次モードの減衰定数も既知であることが必要である。

フリ橋のタワー・ピア・連接系の非線形固有振動数と地盤剛性の関係は、図1の如くなることは知られている。モードが接近する条件において、減衰が導入された場合に、果して分離して解析することが可能か否かが問題となる。本研究は減衰として、慣性項[M]、剛性項[K]に比例しない一応一般的なものとするものを仮定している。まず、調和振動解析より、ピア・部の減衰の影響が明らかにされ、減衰効果は単に応答低下としてだけでなく、モード間の干渉について、興味ある影響を有することが明らかにされた。ランダム波の下での減衰の影響として、応答解析上の諸問題について若干論ずる。更に、模型実験との検証を試みた。

2. 減衰としてタワー・部に考えるべきものは、構造減衰とされている。また、ピア・部の減衰は、地盤の非線形履歴に起因するものが、主体であろうとされている。本研究の主題をピア・部の減衰の影響とし、解析の都合上、理論、実験ともに、粘性減衰を用いている。図2に解析対象を示す。運動方程式は、行列表示すれば、

$$[M]\ddot{x} + [C]\dot{x} + [K]x = \{f(t)\} \quad (1)$$

となる。図1に得られたものより、1次モードと2次モードが接近する条件をCase-I、2次モードと3次モードが接近する条件をCase-II、分離する条件をCase-IIIとする。各地盤条件で共振曲線を計算する。図3はCase-I、図4はCase-IIの場合である。タワー・部減衰を2%に一定とし、ピア・部減衰を5%、10%、20%と順次上げてゆくと、Case-Iの場合、タワー・の共振ピークが徐々に接近し、20%でひとつになる。ところが、ピア・の特性は、単にピークの低下にとどまる。Case-IIの場合には、単に応答量の低下を示すにすぎない。

別の観点から、この共振曲線を考察する。タワー・部の応答量に対し、ピア・の動きがモードに関係している場合と、そうでない場合とで大きな差があることがわかる。ピア・が関係するモードでは、ピア・部減衰が支配的効果を有し、タワー・のそれは強んど無視しうる程度であり、逆に、ピア・の関係ないモードに対しては、ピア・の減衰効果は絶対に近く、タワー・の減衰だけが影響をもつ。

3. 応答解析 2. によって得られた結果がわかるように、モードの接近が起る条件で減衰の影響がモーダルアナリシス法の適用に支障をきたすであろうことが予想される。ここでは、式(1)の運動方程式を非減衰の場合の変換行列 $[U] = [M]^{-1/2}[C]$ で変換して、

$$[U]\ddot{y} + [C]y + [W]y = \{f(t)\} \quad (2)$$

を得る。この式について考える。 $[C]$ が一般的な形の減衰をとる場合、 $[C]$ が対角行列とはな

りえない。従って、連成連成項（非対角要素）がモード間の干渉にどの程度の影響を有するかを明らかにしたい。

連成項を考慮する場合 $\ddot{q}_i + \sum_j C_{ij} \dot{q}_j + W_{ij} q_j = f_i(t)$ (3)

連成項を無視する場合 $\ddot{q}_i + C_{ii} \dot{q}_i + W_{ii} q_i = f_i(t)$ (4)

とし、計算はNewmarkのβ法を用いてstep-by-stepに行う。応答は、絶対値の最大値程、= 乗程の平方根および、式(4)の直接積分結果を用いる。

図5にタワー5%、ピア20%の場合、case I, II, IIIについて、1940年 El Centro地震の応答を外力として変位応答を計算したものである。更程を直接積分、破線と式(4)、一実線と式(3)、太線と絶対値の最大値程、細線と=乗程の平方根とする。モードの接近しているcase-I, IIの場合、ピアの減衰が大きくなる程、破線と一実線の差が大きくなり、連成項を考慮することによる影響が顕著になることがうかがえる。それに比し、モードの離反状態にあるcase-IIの場合には、破線と一実線はほぼ一致し、連成項を考慮してもしなくても強んど影響をもたないことがわかる。

対角要素のみを各モードに分解できると為して応答解析を行うことは、モードの接近している条件においては、誤差が大きくなることが確認された。

本回連続橋設計指針案において動的解析として、応答スペクトルを使いことを提案している。これを適用するにあたって、各モードの減衰定数が判明していることが必要である。又、上述した一般的な減衰をとった場合の各モードの減衰定数を考えると、モードの接近、離反の条件によって、かなり値を異にし、ピアの固有振動数に近接する振動モードの減衰定数は直接ピアのもつ減衰定数に一致する。モードの接近する場合、それらのモードの減衰定数はピアの減衰が分配され、他のモードに無関係という傾向を示す。この減衰定数を用い、応答スペクトルを使って動的解析をなす。

