

宇都宮大学 学生員 金丸 和稔
 宇都宮大学 正会員 中島 章典
 宇都宮大学 学生員 土岐 浩之

1. はじめに

橋梁システムの地震時挙動を明らかにするためには、減衰を適切に考慮する必要がある。例えば、高架橋システムの減衰の主な要因としては、橋脚を構成する材料の内部減衰、基礎や地盤部のエネルギー逸散などによる減衰、可動支承部での摩擦による減衰、空力減衰などが挙げられる。

そこで本研究では、上記のうち、特に、橋脚を構成する材料の内部減衰と基礎や地盤部の減衰に着目し、これらの要因から起こる橋脚の基本的な構造減衰特性を、基礎や地盤の影響を考慮した鋼製単柱式橋脚を対象として、剛体ばねモデル解析を用いた複素固有値解析により検討した。

2. 解析モデルおよび解析方法²⁾

本研究では、図-1 のようにフーチングおよび地盤ばねを考慮した鋼製単柱式橋脚を長手方向に分割して、剛体要素とそれぞれを結合する長さおよび質量を無視できるばねからなる、剛体ばねモデルにモデル化した。橋脚高さ 10m、橋脚の鋼断面は一辺が 1.2m、厚さ 0.02m の正方形箱形断面とし、フーチングは幅 9m、奥行き 7m、高さ 2m のコンクリート製として、橋脚頂部には上部構造分の集中質量 200t を考慮した。また、フーチングの要素数は 1、橋脚部の要素数は 13 として解析を行った。ここでは橋脚部の剛体要素間および橋脚とフーチングを結ぶアンカー部に軸、せん断、回転ばねを設けた。ただし、アンカー部のばね定数は橋脚部の 2 倍の値を仮定している。フーチングと地盤の間にはフーチングの水平運動と回転運動に対する地盤ばねを考慮した。

次に、ダッシュポットを用いた減衰要素としては、図-1 のように橋脚部の剛体要素間およびアンカー部に、軸、せん断、回転ダッシュポットを設け、フーチングと地盤の間には、水平および回転ダッシュポットを考慮している。また、橋脚およびフーチングの 1 つの剛体要素の並進運動質量および回転慣性は剛体要素の重心点に作用していると考えた。これを標準モデルと呼ぶ。

一方、標準モデルとの比較のために図-1 において地盤ばねを考慮しない、フーチングを固定したモデル（これを固定モデルと呼ぶ。）を考えた。また、一般的に用いられている、橋脚の水平運動、基礎の水平および回転運動のみを考慮した 3 自由度モデル¹⁾を、上記の 2 つのモデルとの比較のために用いる。これを 3 自由度モデルと呼ぶ（図-2）。

以上の解析モデルを用いて、各部の粘性減衰係数をパラメータとして複素固有値解析を行う。

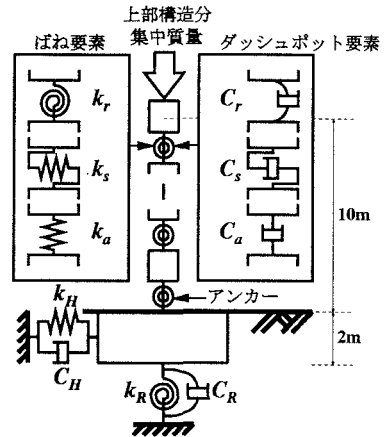


図-1 標準モデル

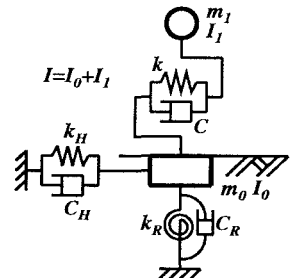


図-2 3自由度モデル

3. 解析結果および考察

(1) 固有値解析

標準モデル、固定モデル、3自由度モデルに対して非減衰の固有値解析を行った結果を表-1 に示す。これより標準モデルと固定モデルの曲げ 1 次の固有振動数を比較すると標準モデルの方が小さいが、これは標準モデルでは地盤ばねを考慮しているためである。また、3自由度モデルの橋脚の水平ばね定数は、固有値解析を行った際に曲げ 1 次モードの固有振動数が、標準モデルの曲げ 1 次モードの固有振動数とほぼ同じになるように設定し、地盤ばね定数は両方のモデルで同じ値を用いた。

(2) 3自由度モデルの減衰特性

通常、橋脚の地震応答解析において減衰を考える際には、橋脚と基礎の要素に対して独立に減衰比が設定されており、例えば、橋脚の水平運動、基礎の水平、回転運動に対してそれぞれ適当な減衰比 ξ が設定されている。ここで橋脚の水平運動、基礎の水平、回転運動に対する減衰比 ξ_0 を 0.05, 0.1, 0.1 とする。これらの減衰

Key Words: 橋脚, 剛体ばねモデル解析, 複素固有値解析, 基礎・地盤, 内部減衰

〒321-8585 宇都宮市石井町 2753 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-662-6367

比 ξ_0 とそれぞれの運動に対する質量（または回転慣性）（ m_1, m_0, I ）およびばね定数（ k, k_H, k_R ）によりそれぞれの運動が卓越する振動モードに対しての粘性減衰係数（ C, C_H, C_R ）が表-2のように求められる。これらの粘性減衰係数を用いて複素固有値解析を行うと、各モードに対して表-2のような減衰比 ξ_1 が得られた。この値は粘性減衰係数を定める際に用いた減衰比 ξ_0 とほぼ一致することがわかる。つまりそれぞれの運動に対しての減衰比 ξ_0 を設定することは、それぞれの運動が卓越する振動モードに対して表-2のような減衰比 ξ_1 を与えていることと等価であることが確認できた。

表-1 固有振動数 (Hz)

卓越する振動モード	標準	3自由度	固定
橋脚の曲げ1次	1.263	1.263	1.290
基礎の水平	13.19	13.27	なし
基礎の回転	22.58	22.37	なし

表-2 粘性減衰係数と減衰比 (3自由度モデル)

卓越する振動モード	ξ_0	C, C_H, C_R	ξ_1
橋脚の水平	0.05	158.8kNs/m	0.0456
基礎の水平	0.1	5.251MNs/m	0.1028
基礎の回転	0.1	64.48MNsm	0.1250

(3) 橋脚部およびアンカー一部の材料内部減衰

標準モデルにおいて、橋脚部およびアンカー部（アンカー部は橋脚部の2倍の C_r を用いている）の回転ダッシュポットそれぞれの粘性減衰係数 C_r を変化させ、複素固有値解析を行って得られた減衰比 ξ の変化の様子を図-3に示す。これより、減衰比 ξ の最大値は橋脚の曲げの1次、2次、3次、基礎の回転が卓越する振動モードの順に大きく、粘性減衰係数 C_r の値によってはかなり大きな減衰比 ξ となることがわかる。また、橋脚の回転ダッシュポットの粘性減衰係数 C_r を変えたときに、基礎の回転が卓越する振動モードでも減衰比 ξ が大きくなることがわかる。

次に、固定モデルの橋脚部およびアンカー部の粘性減衰係数 C_r を変化させたときの減衰比 ξ を図-4に示す。固定モデルでも曲げ振動については標準モデルの場合と同様の傾向を示し、低次のモードから順に減衰比 ξ の最大値が大きい。2つの図を比較することによって、基礎の回転を考慮した場合には、特に、橋脚の曲げ1次振動に起因する内部減衰が、基礎の回転振動に起因する減衰に影響を及ぼすことがわかる。ただし、標準モデルと固定モデルのどちらにおいても、曲げ1次振動モードはピーク時には過減衰となるがここではその領域は示していない。

(4) 標準モデル全体の減衰比の検討

図-3において、曲げ1次振動の減衰比 $\xi = 0.05$ となるとき橋脚部の回転ダッシュポットの粘性減衰係数 C_r の値は、 $C_r = 75.4\text{MNsm}$ （アンカー部は $C_r = 150.8\text{MNsm}$ ）となる。一方、基礎の水平ダッシュポットおよび回転ダッシュポットの粘性減衰係数 C_H および C_R のみを変化させて複素固有値解析を行い、同様の整理から対応する振動モードの減衰比 $\xi = 0.1$ となるとき C_H および C_R はそれぞれ $C_H = 5.29\text{MNs/m}$ および $C_R = 64.5\text{MNsm}$ と得られた。

それぞれのダッシュポットが上記の粘性減衰係数を持つ標準モデルについて複素固有値解析を行った結果、曲げ1次振動モードおよび基礎の水平、回転が卓越する振動モードに対する減衰比 ξ_1 は、それぞれ0.0503、0.1034、0.1342となった。これよりそれぞれの減衰比 ξ_1 は対応する粘性減衰係数を求めたときの減衰比 ξ にほぼ一致しており、3自由度モデルと同様の結果となった。

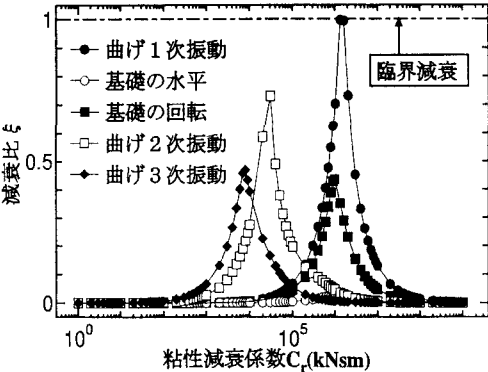


図-3 粘性減衰係数 C_r と減衰比 ξ の関係 (標準モデル)

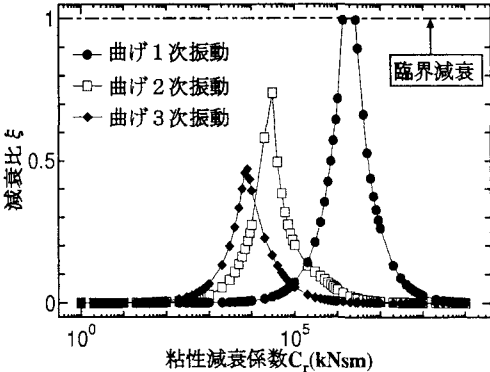


図-4 粘性減衰係数 C_r と減衰比 ξ の関係 (固定モデル)

4. おわりに

本研究では、橋脚を構成する材料の内部減衰と基礎や地盤部の減衰に着目し、これらの要因から起こる橋脚の基本的な構造減衰特性を3つのモデルを用いて、主に複素固有値解析により検討した。

参考文献

- 1) 永田, 渡邊, 杉浦: 基礎—構造物系の非線形動的相互作用に..., 構造工学論文集, Vol.42A, pp.593-602, 1996.3.
- 2) 中島, 土岐: 剛体ばねモデル解析を用いた桁橋の構造減衰特性に..., 構造工学論文集, Vol.44A, 1998.3.