

I-B186

減衰項の差異に着目した橋脚-基礎地盤系の減衰性状についての一考察

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 正会員 齊木 功

1. はじめに

構造物の地震時挙動を数値解析により明らかにする際には、減衰を適切に考慮する必要がある。しかしながら、基礎・地盤までを含めた減衰性状を適切に数値解析に組み込むことは容易ではない。

本研究では、橋脚-基礎地盤系を対象とし、レーリー減衰などの、一般的な比例減衰と、剛体ばねモデル解析による非比例減衰を用いた場合のモード減衰比や各減衰要素のエネルギー吸収量などについて基礎的な検討を行った。

2. 解析モデルおよび減衰項の構成

本研究では、図-1のように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、剛体ばねモデルの考え方をを用いて構造系をモデル化した¹⁾。

橋脚は高さ10m、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の鉄筋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。

剛体ばねモデル解析においては、フーチングの要素数は1、橋脚部の要素数は13とし、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、せん断および回転ばねを設けた。ただし、アンカー部のばね定数は橋脚部の2倍の値とした。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。

非比例減衰系では、ダッシュポットを用いた減衰要素を図-1に示すようにばね要素と同様に配置した。これに対して、比例減衰系としては、レーリー減衰に加えて剛性比例型、質量比例型減衰²⁾を用いた。

本研究では、地盤ばねを変化させて、剛な地盤と柔な地盤(ばね定数は剛な地盤の0.1倍)の2種類の地盤条件について検討を行った。

3. 解析結果と考察

(1) 固有値解析

まず、対象構造物の非減衰の固有値解析を行った結果を表-1に示す。その結果、どちらの地盤に対しても縦振動を除けば、橋脚の曲げ1次振動モードの次に、基礎の水平運動が卓越するモード、基礎の回転運動が卓越するモードが現れた。

(2) 非比例減衰と比例減衰の各モード減衰比の比較

剛な地盤を有する解析モデルにおいて、橋脚部およびアンカー部(アンカー部は橋脚部の2倍)の回転ダッシュポットの粘性減衰係数 C_r のみを一様に変化させ、複素固有値解析を行って得られた各振動モードの減衰比 ξ の変化の様子を図-2に示す。

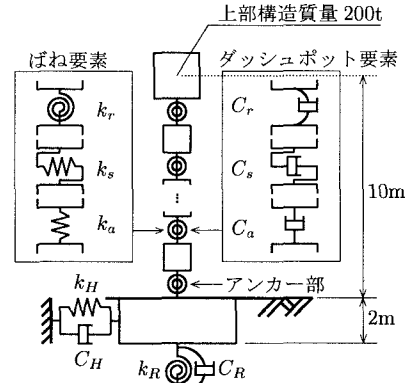


図-1 解析モデル

表-1 非減衰時の固有振動数(Hz)

振動モード	剛な地盤	柔な地盤
曲げ1次振動モード	1.2631	1.0747
基礎の水平卓越モード	13.190	4.2489
基礎の回転卓越モード	22.583	8.2489
曲げ2次振動モード	55.919	55.859
曲げ3次振動モード	159.25	159.25

表-2 各減衰要素の粘性減衰係数(非比例減衰)

減衰要素	減衰比	剛な地盤	柔な地盤
橋脚回転 C_r	0.01	15.2MNsm	24.8MNsm
基礎水平 C_H	0.1	5.29MN/m	1.72MN/m
基礎回転 C_R	0.1	64.5MNsm	23.8MNsm

ここでは、橋脚の回転運動に対して減衰比 $\xi = 0.01$ に相当する粘性減衰係数を考慮するために、図-2の中に示す橋脚の曲げ1次振動モードで減衰比 $\xi = 0.01$ となる粘性減衰係数($C_r = 15.2\text{MNsm}$)を算定した。

一方、基礎の水平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 も、同様の整理から対応する振動モードの減衰比 $\xi = 0.1$ となるとききの C_H および C_R を算定した。

その結果、剛な地盤および柔な地盤において、各減衰要素に対して表-2のような粘性減衰係数が得られた³⁾。これらの値を用いて、非比例減衰マトリックスを設定する。この非比例減衰マトリックスを用いて、系の複素固有値解析を行い各振動モードに対する減衰比を求める。

次に、比例減衰における各モード減衰比の求め方を説明する。比例減衰では、橋脚の曲げ振動に対して減衰比0.01、基礎の水平、回転に対して減衰比0.1を仮定し、ひずみエネルギー比例減衰法⁴⁾により1次およ

Key Words: 比例減衰, 非比例減衰, 橋脚-基礎地盤系, 剛体ばねモデル, モード減衰

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6208 Fax.028-662-6367

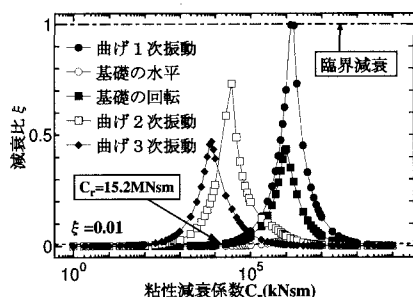


図-2 橋脚およびアンカー部の回転ダッシュポットの粘性減衰係数 C_r と減衰比 ξ の関係

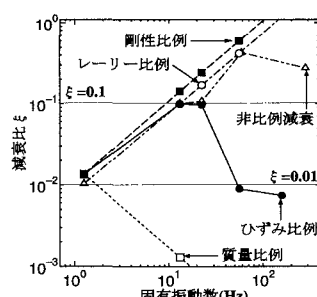


図-3 各振動モードにおける減衰比 (剛な地盤)

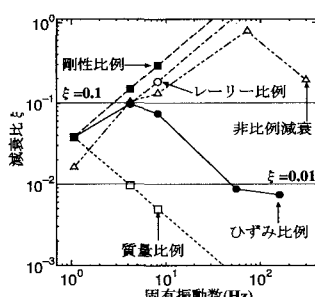


図-4 各振動モードにおける減衰比 (柔な地盤)

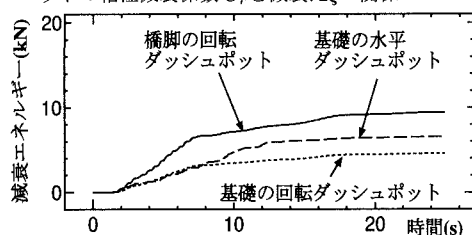


図-5-a 非比例減衰の場合

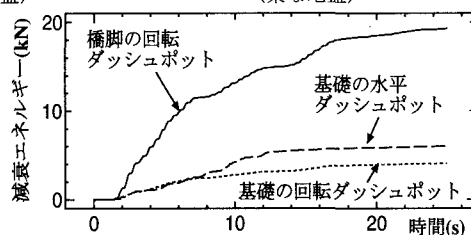


図-5-b レーリー減衰の場合

図-5 各減衰要素(ダッシュポット)による減衰エネルギー吸収量の累積時刻歴

び2次モードに対する減衰比を求めた。

上述の方法により求められた非比例減衰, 比例減衰マトリックスを考慮した場合の各モードの減衰比と固有振動数の関係を図-3, 図-4に示す。

これらの図より, 比例減衰を用いた場合の1次モードの減衰比は, 非比例減衰を用いた場合の1次モードの減衰比よりも大きくなるのがわかる。この傾向は, 特に, 柔な地盤において顕著である。これは, 柔な地盤を仮定した場合には, 1次振動モードにおいて, フーチングとその付近の節点の変位が非常に大きくなるので, 結果的にひずみエネルギー比例減衰法により求められる1次モードの減衰比が大きくなるためと考えられる。また, 既知のことではあるが, レーリー減衰, 剛性比例型減衰では固有振動数に比例して減衰比が増加しているのに対し, 質量比例型減衰では固有振動数に反比例して減衰比が減少していることもわかる。ただし, 1~3次モードに着目してみると, 本研究で用いた非比例減衰から求められた減衰比が, ひずみエネルギー比例減衰法により求められた減衰比に最も近い値を示していることがわかる。

(3) 弾性地震応答解析の結果と考察

以上のようなモード減衰の違いを, 弾性地震応答解析を行い, 減衰要素のエネルギー吸収量を調べることで検討する。入力地震波は震度法レベルの修正開北橋記録を用いた。また, ここでは比例減衰としてレーリー減衰を用いている。

柔な地盤を仮定した場合, 非比例減衰およびレーリー減衰を用いた系の, 各減衰要素によるエネルギー吸収量を図-5に示す。図-5-aより, 非比例減衰を考慮した場合は, 基礎地盤部での減衰によるエネルギー吸収が無視できない程度まで大きくなるのがわかる。一方, 図-5-bに示すレーリー減衰を考慮した場合は, 基礎地盤部の振動が卓越するモードの減衰比

は, 非比例減衰の場合よりも大きいにもかかわらず, 橋脚部でのエネルギー吸収が支配的であることがわかる。これは, 図-4に示すように, 非比例減衰では1次モードの減衰比が0.016であるのに対し, レーリー減衰では1次モードの減衰比が0.038となり, 1次モードの減衰の影響が支配的であるためと考えられる。また, ここには示さないが剛な地盤についても, 柔な地盤と同じ傾向を示すことが確認された。

一方, 橋脚頂部の最大水平変位を比較すると, 非比例減衰では剛, 柔な地盤でそれぞれ0.0560, 0.0534cmであるのに対し, レーリー減衰では剛, 柔な地盤でそれぞれ0.0521, 0.0489cmとなり, レーリー減衰を仮定したほうが非比例減衰を仮定した場合よりも, 最大変位が小さくなり橋脚曲げ1次モードの影響が大きいことがわかる。

4. おわりに

本研究では, 橋脚-基礎地盤系を対象構造物として, 比例減衰および非比例減衰など, 系の減衰項の差異がモード減衰性状に及ぼす影響を検討した。その結果, 系を構成する各部に同じ割合の減衰比を仮定した場合, 非比例減衰をもつ系のモード減衰に比較して, レーリー減衰(比例減衰)を用いた系のモード減衰の方が高次になるほど大きくなるが, 減衰要素によるエネルギー吸収量に及ぼすモード減衰の影響は1次モードの減衰が支配的であることがわかった。

参考文献

- 1) 中島, 土岐: 剛体ばねモデル解析を用いた桁橋の..., 構造工学論文集, Vol.44A, pp.793-800, 1998.3.
- 2) 柴田明徳: 最新耐震構造解析, 森北出版, 1981.
- 3) 中島, 金丸他: 橋脚-基礎地盤系の地震時における..., 構造工学論文集, Vol.45A, pp.763-770, 1999.3.
- 4) 川島, 長島他, : エネルギー比例減衰法による..., 土木技術資料, 35-5, pp.62-67, 1993.