

I-B413 逸散減衰効果を考慮した所要降伏震度スペクトルに与える減衰定数についての研究

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 齊藤 正人
同上 フェロー 西村 昭彦

1. はじめに

鉄道構造物の新しい耐震設計法¹⁾では、動的解析により構造物の応答値の算定を行なう必要がある。この耐震設計法では動的解析手法として、非線形スペクトル法と呼ばれる所要降伏震度スペクトルによる応答値の算定手法がある。この所要降伏震度スペクトルは、基礎-地盤-構造物系を等価な1自由度系モデルに置換し非線形復元力特性と減衰特性を与えて、横軸に構造物の等価固有周期 T_s 、縦軸に降伏震度 K_y を設定し、応答塑性率 μ 毎にまとめたノモグラムである。本耐震設計法ではこの所要降伏震度スペクトルを、上部構造物の降伏が主体となる場合と、基礎-地盤系の降伏が主体となる場合で履歴特性が異なることを考慮して各々定めている。このとき、上部構造物が主体となって振動する場合と、基礎-地盤系が主体となって振動する場合では、1自由度系に与える減衰特性が異なる可能性がある。そこで本研究では、上部構造物と基礎-地盤系を2質点3自由度系モデルに置換し(図1)、複素固有値解析によりその減衰特性を把握すると共に、所要降伏震度スペクトルに与える減衰特性曲線式を提案する。

2. SRモデルに与える減衰特性の設定

基礎-地盤系の減衰特性は、慣性系の振動エネルギーが地盤へ散逸する逸散減衰の効果が大きく影響を与える。そこでこの逸散減衰の効果を考慮するために、基礎天端における複素インピーダンスをVoigt型のばねに置換してその減衰特性を把握した結果、図2に示すように慣性系の動揺振動数 (ω_f) が地盤の固有振動数 (ω_g) と一致した場合、平均的に20%程度の減衰定数 (h_g) を取ることが分かった。また一般に、耐震設計で考慮する振動数領域では、基礎-地盤系の減衰特性は慣性系の動揺振動数が高くなるに従い増加する傾向にある。また、地盤が非線形領域にあってもおよそその直線上に乗ることを解析により確認している。ここに点線で示す減衰特性が一般的なものであるが、土岐等²⁾の実験により、遮断振動数 (ω_g) 以下でも逸散減衰以外の減衰があることから、線形の増幅特性を仮定することは問題ないとする。そこで、基礎-地盤系の減衰を剛性比例型のレーリー減衰と仮定し、係数 β にその関係を与えれば次式で表される。

$$[C_f] = \beta [K_f] \quad (1)$$

ここで、 $\beta = 2h_g / \omega_g$

$[C_f]$:基礎-地盤系の減衰係数マトリクス

$[K_f]$:基礎-地盤系の剛性マトリクス

上部構造物の減衰係数 C_s については次式で設定する。

$$C_s = 2h_s \sqrt{m_s k_s} \quad (2)$$

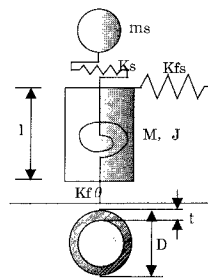


図1 SRモデル一般図

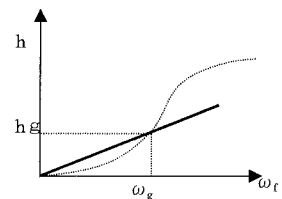


図2 基礎-地盤系の減衰特性

3. 固有値解析による減衰定数の検討

解析モデルは実ケーソン基礎構造物8ケースと実杭基礎構造物8ケースを対象とする。以下では紙面の都合上ケーソン基礎を主体に説明を行なうものとする。まず、全体系のPush Over Analysisを行ない、橋脚部と基礎天端(フーチング)位置での荷重変位曲線から、降伏点と原点を結ぶ割線剛性を求め、これをキーワード:所要降伏震度スペクトル, 減衰特性曲線

連絡先: 〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38(財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7262 FAX 042-573-7248

各自由度に与えるばね値とする。

始めに、これら解析モデルに対して複素固有値解析を行ないモード減衰定数を算定する。このとき解析モデルの各自由度の剛性を変化させて、上部構造物の運動が主体となる場合（橋脚の剛性が小、もしくは基礎-地盤系の剛性を大）と基礎の運動が主体となる場合（橋脚の剛性が大、もしくは基礎-地盤系の剛性を小）の減衰定数と振動モードの違いを確認する。このとき上部構造物の減衰定数を5%、基礎-地盤系を20%で固定する。

その結果、図3に示すように橋脚の剛性を小さくすると1次モードの減衰定数は10%程度に減少し、反対に大きくすると減衰定数は20%程度に増加する。また同様に、図4に示すように基礎の剛性を小さくすると1次モードの減衰定数は20%程度に増加し、基礎の剛性を大きくすれば10%程度に減少する。従って、上部構造物が主体となって振動する場合にはあまり大きな減衰効果は見込めず、反対に基礎-地盤系が主体となって振動する場合には上部構造物主体に比べて減衰効果が見込めると考えられる。また、図3中に示すA、Bの振動モードを示すと図5のようになる。また他のモデル、杭基礎に関しても同様の傾向が見られることを確認している。

(2)減衰特性曲線の算定

次に、図4に示すように、上部構造物主体に振動する構造物と基礎主体で振動する構造物をモード図を参考に分類する。分類した解析モデルについて、耐震標準に定められる地盤種別毎に構造物の固有周期 T_s と1次のモード減衰定数 h_{eq} の関係をプロットする。上部構造物主体に振動するモデルによる解析結果を図6に、基礎主体に振動するモデルによる解析結果を図7に示す。

4. 結果と結論

上部構造物を主体とする減衰特性曲線は、従来から用いている $0.04/T_s$ （図中実線）とその特性が良好に一致し、地盤周期が長くなるに従い、より設計上安全側になっている。基礎を主体とした減衰特性曲線は、上部構造物が主体の特性曲線よりも大きく、平均的に $0.08/T_s$ （図中実線）で表現できると言える。これらを実設計に適用する場合には、この逸散減衰以外の減衰特性も踏まえて工学的判断により設定する必要がある。今後、非線形時における履歴減衰以外の減衰特性を更に検討する予定である。

参考文献：1) (財)鉄道総合技術研究所「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」

2) 土岐憲三、小松昭雄：井筒基礎の地震応答解析に関する研究、土木学会論文集、281号・1979.1

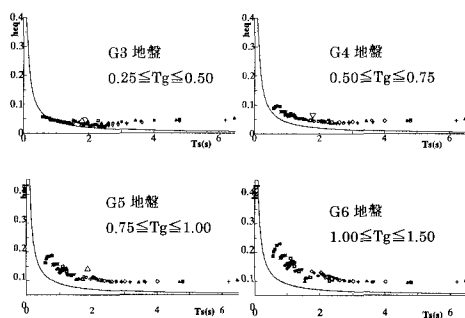


図6 上部構造物を主体とする減衰特性

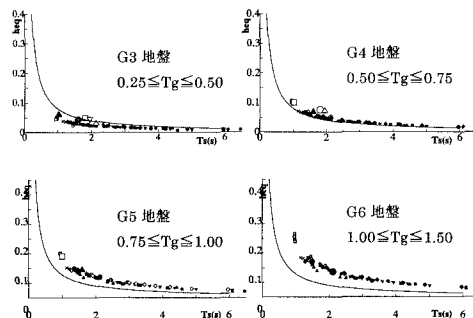


図7 基礎構造物を主体とする減衰特性

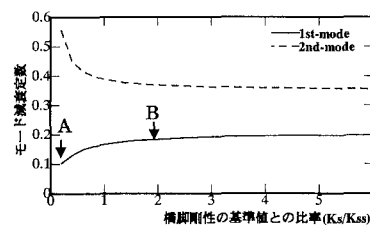


図3 橋脚剛性の違いによるモード減衰定数

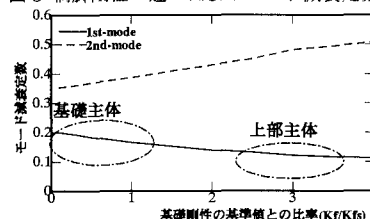


図4 基礎剛性の違いによるモード減衰定数

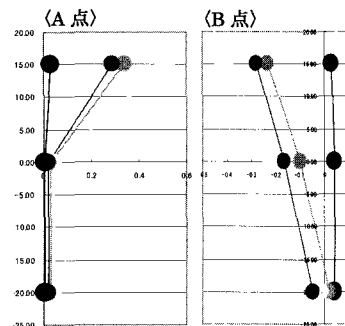


図5 剛性の違いによる振動モード性状