

構造物の弾性域における共振が非線形挙動に及ぼす影響の検討

国立大分工業高等専門学校 学生会員 竹中 理恵

国立大分工業高等専門学校 正会員 中野 友裕

1. はじめに

橋の設計時に地盤の影響を考慮する場合には、杭及び地盤を地盤ばねにモデル化し、構造物と地盤を一体化したモデルで表すことが多い。このことは、地盤ばね定数がモデル全体の固有周期を変化させることを表している。

本論文では、さまざまな剛性の地盤ばねを想定し、弾性域における共振の発生の有無と、その後の非線形挙動の相関について定量的な把握を行うことを目的として解析的検討を行った。

2. 解析対象と解析方法

解析対象とした構造物は、道路橋示方書¹⁾の規定を満たすように十分せん断補強筋を施された、高さ 12m、基礎部高さ 2m、幅 12m、上部工質量 400.0ton の RC 橋脚とした。これを 8 質点、7 要素の多質点系にモデル化した。(図-1)

地震入力を受ける多質点系構造物の運動方程式は、質量、減衰、剛性の各マトリクスを $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 、また変位ベクトルを $\{u\}$ で表せば、次のように導くことができる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_g\}$$

この運動方程式を微小な時間間隔ごとに数値積分して解を定めることにより、構造物の動的応答を得ることができる。本研究では、数値積分に Newmark の β 法 ($\beta=0.25$) を用いることとした²⁾。なお、断面復元力の算定には Fiber-Model³⁾を用い、それにより構造物の復元力特性を求めた。その上で地盤ばねをフーチング質点に設置して、非線形動的解析を実施した。

3. 入力波の設定と地盤条件

復元力と地盤ばねを考慮した解析は、複雑な波形になることが予測されるので、定量的な把握を行うため、地震波は単純な正弦波を入力して行った。

図-2 に示す波形のように周期 T の正弦波を、時間 $5T$ ごとに、100gal, 200gal, 300gal, 400gal, 500gal, 300gal, 100gal と変化させ、その後は入力を 0 として自由振動させた。周期 T は 0.10~1.00 まで 0.05 秒刻みで与えた。

地盤については固定、及び地盤ばね定数 $A_{ss}=2000$ [MN/m]、6000[MN/m] の 3 種の状態を検討した。なお、結果の検討を行いやすくするために、上下・回転・連成ばねは無視し、フーチング質点における該当自由度を固定としている。すなわち、地盤ばねの影響は、基部水平方向のみの考慮となっている。

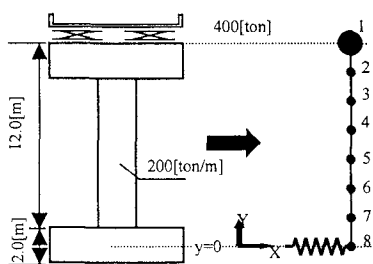


図-1 解析対象構造物

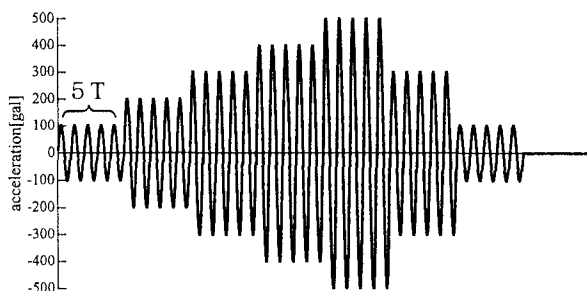
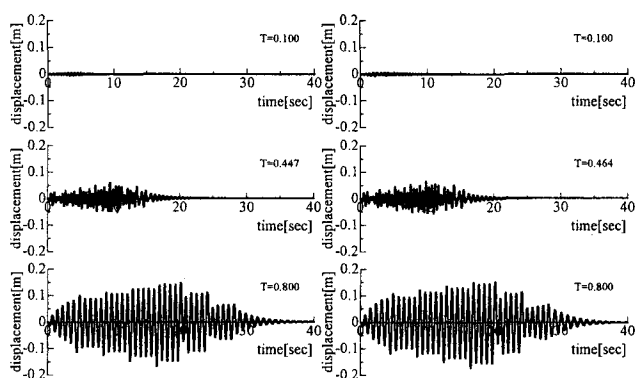


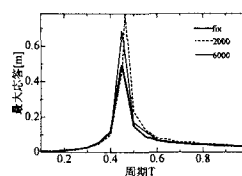
図-2 入力正弦波



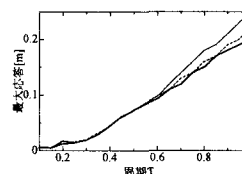
a)フーチング固定

b)Ass=2000MN/m

図 - 3 時刻歴変位応答(非線形)



a)弾性解析による結果



b) 非線形解析による結果

図 - 4 周期 - 最大応答変位関係

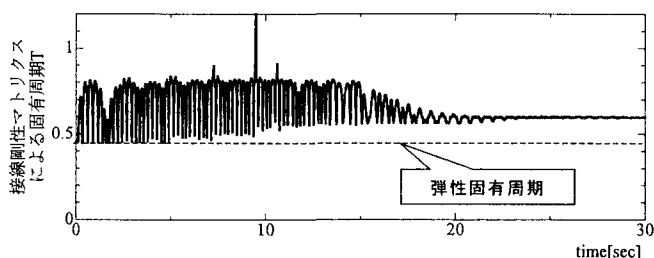


図 - 5 固有周期の変化

4. 解析結果

固定支持で $T=0.1, 0.447, 0.8$ の場合を図 - 3a)に、ばね定数 $2000[\text{MN/m}]$ で $T=0.1, 0.464, 0.8$ の場合を図 - 3b)にそれぞれ示す。また、周期 T による弾性の場合の最大応答変位の推移を図 - 4a)に、非線形の場合を図 - 4b)にそれぞれ示す。図を見ると、弾性の場合ではどの地盤条件でも構造物の固有周期において変位が最大になっている。これに対し非線形性を考慮した場合は周期が大きくなるに従って最大応答変位も大きくなっていることが分かる。この相違の原因を検討するために、各時刻ステップにおいて固有値解析を実施して、当該時刻ステップにおける構造物の1次固有周期を求めた。その結果を図 - 5 に示す。非線形性を考慮した場合、接線剛性マトリックスの勾配が小さくなることに伴い、構造物の固有周期が弾性固有周期の0.477秒より長くなることにより、弾性共振の起こる入力波の周期よりも長い周期において振幅が大きくなっていくことが分かる。

5. 結論

構造物の非線形応答においては、構造物の時刻歴固有周期が、弾性時における固有周期よりも長くなるために、損傷の大小を、弾性固有周期により論じることは適当ではない。一方で、非線形性が生じた場合に卓越する周期に着目することにより、構造物の非線形応答特性を推定することができる可能性がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会、道路橋示方書・同解説 V, 2002.
- 2) Newmark, N.M.; A Method of Computation for Structural Dynamics, Proc.ASE, Vol.85, No.EM3, pp.67-94, 1959.
- 3) CEB:RC FRAMRS UNDER EARTHQUAKE LOADING, Thomas Telford, pp.50-56, 1996.