

I - 470

非線形特性を考慮した免振支承を有する橋梁の振動解析法における一考察

日本電子計算機 正員 ○岡田 毅

日本電子計算機 松田 宏

1. はじめに

近年、免振および可動支承を有する橋梁の非線形性を考慮した振動解析が多く行われつつある。この非線形解析を精度良くかつ迅速に行うには、数値計算上の豊富な知識や経験が必要とされる。

本報告は、これらの非線形振動解析において、数値計算上の知識、経験などを極力必要としなく、容易に解析を行うことを目的として、改良したモデル化、計算条件、およびその適用手順を提案する。

2. 数値計算上のモデル化および計算条件および適用手順の提案

現在、一般的に多く用いられている時刻歴応答解析の時間積分手法として、変位法に基づくニューマーク β 法を採用している。この手法を従来通りのモデル化¹⁾および計算条件で非線形問題に適用した場合、加速度に高周波成分が混入し、加速度が容易に発散する傾向がある。この誤差を低減させる方法として、次に示す3種類の改良方法が考えられる。また、数値計算上の専門的な知識、経験などを極力、排除するために、免振支承を有する橋梁の非線形問題を扱う手順として、次に示す①～③の順番で、誤差を低減した計算ができるまで順次条件を適用することを提案する。

①モデル化条件の改良(質量の無い節点を除去する方法)

質量の無い節点の加速度は、実際の挙動よりも過大に振動し易い特徴を有している。このため、従来のモデル化で質量の無かった節点にも質量を分散させてモデル化を行う。

②計算条件の改良

1) 微小時間増分量 Δt を大きく設定する方法

一般的に、微小時間増分量 Δt を小さくすることは、加速度に高周波成分が混入するという特性がある。微小時間増分量 Δt は、従来から言及されているように精度良く安定した計算が行える最も大きな値とする。

2) ニューマーク β 法の β 値を $\beta \geq \frac{1}{4}$ とする方法

非線形問題において、経験的に加速度の精度の良い計算を行うためには、 $\frac{1}{2} > \beta \geq \frac{1}{4}$ とする必要がある。しかし、精度が良くなる β 値を決定するために、 $\beta = \frac{1}{4}$ を初期値として、数値計算の試行錯誤を繰り返す必要があり、数値計算上の専門的な知識や経験が要求される²⁾。

③その他条件の改良(計算した加速度応答波形にローパスフィルターをかける方法)

計算した加速度応答波形に存在する高周波成分を取り除くローパスフィルターを通すことにより、高周波成分を除いた波形を作成する。

3. 数値計算上の改良したモデル化および計算条件の適用例

2. で示した条件を実際の橋梁に適用した例を以下に示す。

1) モデル化

解析モデルは図-1に示す平面モデルとし、左側の端橋脚および中間橋脚部は免振支承、右側の端橋脚は可動支承を有している。免振支承は図-2に示す地震時履歴特性を考慮した非線形バネ、可動支承は図-3に示す支承の摩擦を考慮した非線形バネでモデル化する。減衰はモーダル減衰と等価な減衰行列を用いている。計算に用いる加速度波形は、道路橋示方書・耐震設計編Vの地盤種別Ⅲ種用の標準波形の振幅を1.1倍した最大加速度が154.38(gal)となる波形である。なお、このモデル化の際に、①モデル化条件で提案した全節点に質量が存在するモデルとしている。

2) 計算条件

計算条件は、数値計算の試行錯誤の結果、最終的に表-1に示すように、安定な計算を行える最大の微小

時間増分量 Δt は0.005(sec), β は初期値である等加速度法と等価な $\beta = \frac{1}{4}$ の条件を用いる。

3) 計算結果

本報告で提案した改良したモデル化および計算条件を用いたモデルの着目点A(図-1参照)の加速度波形図を図-4に示す。図より、最大加速度は **215(gal)**であり、高周波成分が殆ど混入していない応答波形となっており、この解析例では、応答波形にローパスフィルターをかける必要は無いことが判る。また、計算条件は表-1と同一で、従来通りのモデル化を行った一部の節点に質量が存在しないものを用いて計算した加速度波形図を図-5に示す。図-4, 5を比較すると、明らかに図-4の方が誤差が低減されており、本報告で提案している改良した条件の有効性が確認できる。

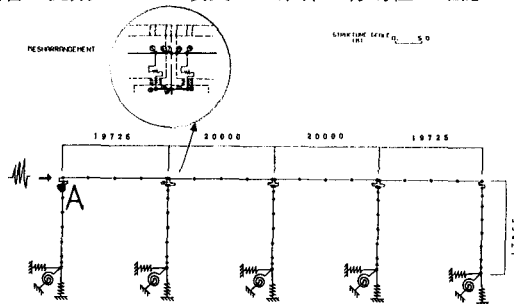


図-1 計算モデル図

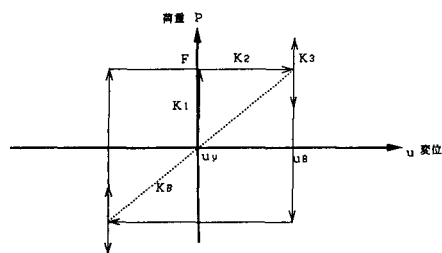


図-3 可動支承の地震時履歴特性図

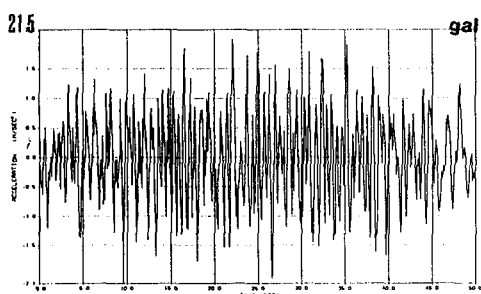


図-4 提案した条件を用いた加速度応答波形図

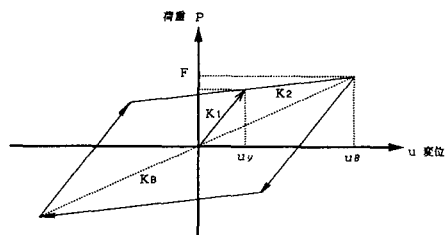


図-2 免振支承の地震時履歴特性図

表-1 計算条件

時間積分手法 β 値	ニューマークの β 法 0.250
微小時間増分量 Δt	0.005(sec)
残差力の処理	次ステップに 残差力を持ち越す
収束計算 条件	行う
$\ R_i\ < \varepsilon_1$ $\ R_i\ < \varepsilon_2 * \ \Delta f_i\ $	$\varepsilon_1 = 0.01$ $\varepsilon_2 = 0.00001$

ここに、 R_i は不釣り合いベクトル、 Δf_i は積分ステップ i の増分荷重と持ち越した残差力ベクトルの和である。

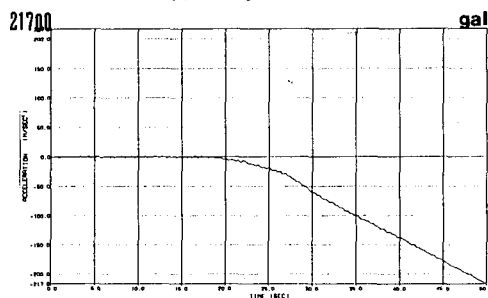


図-5 従来モデルで計算した加速度応答波形図

4. おわりに

本報告は、非線形特性を考慮した免振支承を有する橋梁の振動解析において、数値計算上の観点より改良した条件およびその適用手順を提案し、実際の橋梁に適用した例を示した。ここで提案したことにより、数値計算上、安定して誤差を低減した解析結果を容易に得られることが期待できる。

参考文献 1) 川島 他 著, 道路橋設計計算例, 山海堂, pp.90-91, 1992.

2) 清水信行著, パソコンによる振動解析, 共立出版(株), pp.267-296, 1989.