非線形履歴特性を有する構造物の応答推定法に関する基礎的研究

九州大学工学部　学生員　○アラン スマヤ
九州大学工学部　正員　松田 泰治
建設技術研究所　正員　入江 達雄

1. はじめに

近年、震度法レベルの荷重に対しても非線形応答による地震力低減効果を考慮した免震橋梁等が数多く設計されている。しかし、それに伴い復元力特性のモデル化や非線形時刻歴応答解析の実施等、設計上の作業も増加する。これに対し、比較的簡便な方法で非線形応答を予測する多くの手法が提案され、注目を集めている。

本研究ではバイリニア型の復元力を持つ1自由度モデルに、標準波形[1]を入力したときの時刻歴解析結果と、建設省の道路橋の免震設計法マニュアル(案)に基づいた静的な応答推定法(A法)と、図-2に示す応答スペクトル法による動的解析(B法)の結果を比較する。計算にあたっては震度法レベル(0.2g相当)と保有水平耐力レベル(1g 相当)の地震荷重を考慮する。

2. 解析方法

応答推定法を行うにあたっては、図-1に示すようなバイリニア型の復元力を持つ1自由度モデルに、標準波形を入力したときの非線形時刻歴解析結果と、A法とB法による推定結果を比較する。

マニュアル(案)に基づく推定法(A法)

一般に免震装置の剛性は下部構造の剛性に比較して小さいため、免震装置を用いた橋では、桁の併進が卓越した一次振動モードが支配的となる。このため、一般に免震装置を用いた橋では、動的解析を必要とするケースは少なく、静的計算法に基づく設計により耐震性を確保しうると判断されている。その静的解析法は建設省の道路橋の免震設計法マニュアル(案)の規定に従って計算を行う。

応答スペクトル法(B法)

B法は加速度応答スペクトルを用いて等価線形化法で最大応答値を求める解析である。ここで用いた減衰定数0.05の加速度応答スペクトル S[1]は、道路橋示方書V耐震設計編の条文に規定されるもので、地盤種別ごとに定められている。なお、その値は(1)式により算出する。

$$S = c_Z\, c_I\, c_D\, S_0 \quad \cdots\cdots (1)$$

ここに、

c_Z：地域別補正係数、c_Z=1

c_I：重要度別補正係数、c_I=1

c_D：減衰定数(h)別補正係数、

$$c_D = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \quad \cdots\cdots (2)$$

S_0：標準加速度応答スペクトル

この推定法については、最大応答変位を仮定し、復元力特性から等価周期と等価減衰定数を求め、それより応答加速度を計算する。そして、それをせん断力に置換し、最大変位を求め、これが仮定値と一致するまで、計算を繰り返す。

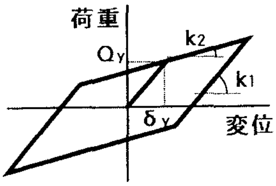


図-1 バイリニア型の復元力を持つ1自由度モデル

$W = Mg = 1000$ t　$T_1 = (0.6, 0.8, 1.0)$ sec

$k_1 = 4\pi^2 M/T_1^2$　$k_2 = (1/4, 1/6, 1/8) \times k_1$

$Q_y = 0.025\,i\,W\ (i = 1, \ldots, 6)$　$h = 5\%$

M：1自由度系の質量　h：減衰定数

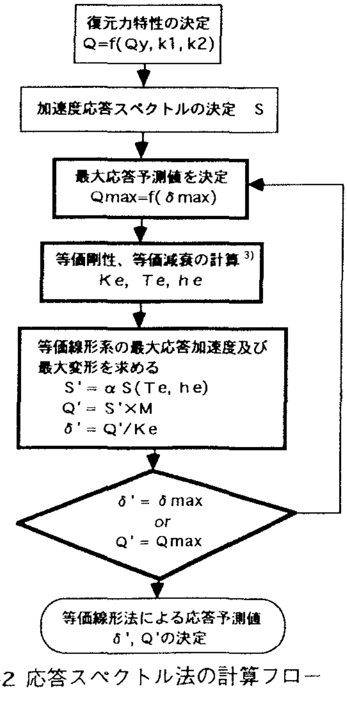


図-2 応答スペクトル法の計算フロー

3. 解析結果

各応答推定法による最大応答加速度を非線形時刻歴解析結果と比較し、その相関係数を求めた。図-3と図-4は、それぞれ震度法レベルと地震時保有水平耐力法レベルの地震荷重を考慮したときの解析結果である。

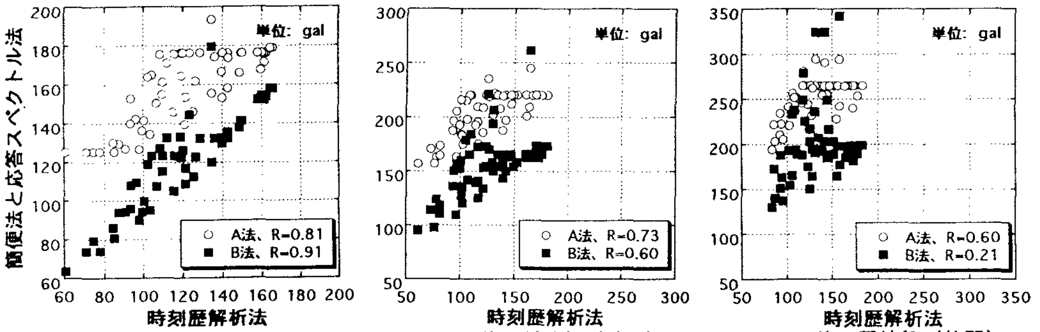
A法で求めた応答加速度は、全てのケースに対して時刻歴解析により求めた応答加速度よりも大きな推定値を示した。しかし、B法においては、図-3(a)に示すようにいくつかの震度法レベルのケースで時刻歴解析結果をやや下回った。

A法では、特に震度法レベルの場合にばらつきが大きく、いくつかのケースで推定値が一定になっている。その原因は、A法では減衰定数の大小による補正係数C_E[1]の選択肢が2種類しかないことと、固有周期別補正係数C_T[2]が一定となる範囲が存在するためと考えられる。推定値が一定になっているケースは、等価減衰定数が10%以上(C_E=0.9)であり、等価固有周期が短い(C_T=1.25)。また、A法の保有水平耐力法レベルで、推定値が一定になっているケースは等価減衰定数が10%より小さく(C_E=1.0)かつ等価固有周期が短い。

B法では、保有水平耐力法レベルの場合(図-4)時刻歴解析結果とよい相関を示した。B法の震度法レベルにおいては、降伏荷重が小さいケースで変位が大きくなり、等価減衰定数が小さな値となる。そのため、大きな推定値を示したと考えられる。特に、第2種地盤(普通)と第3種地盤(軟弱)の場合には、標準加速度応答スペクトルのレベルが高いため、降伏荷重の小さい場合に変位が大きくなるケースが多く、このため大きな推定値を示す場合が多く、相関が低い。

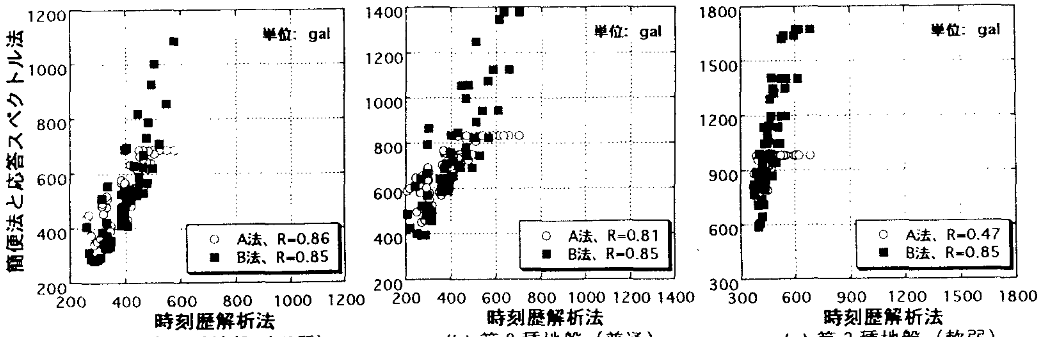
4. まとめ

簡便法と応答スペクトル法による推定値は、ほとんどのケースで非線形時刻歴解析の結果より大きな値を示し、安全側の評価となっている。今後さらに広い非線形パラメータ範囲を考慮し、推定精度の向上をはかる。



(a) 第1種地盤（硬質）　(b) 第2種地盤（普通）　(c) 第3種地盤（軟弱）

図-3 震度法レベルの場合の応答加速度



(a) 第1種地盤（硬質）　(b) 第2種地盤（普通）　(c) 第3種地盤（軟弱）

図-4 地震時保有水平耐力法レベルの場合の応答加速度

参考文献

1) 建設省：道路橋の免震設計法マニュアル(案)、(財)土木研究センター、pp.11～49、1992年12月.
2) 日本道路協会：道路橋示方(V耐震設計編)・同解説、pp.148～163、1990年4月.
3) 日本建築学会：免震構造設計指針、pp.458～461、1993年12月.