

有効エネルギー入力を考慮した地震時における構造物の応答推定に関する研究

九州大学 学生員 ○山本 智弘 九州大学 正 員 松田 泰治
九州大学 フェロー 大塚 久哲 九州大学 学生員 山口 斉

1. はじめに

平成7年に起こった兵庫県南部地震は、今まで日本で観測されてきた比較的繰り返し数が多いプレート境界型の地震ではなく、繰り返し数は少ないが振幅の大きな内陸直下型の地震であった。また、これまでの橋脚の耐震設計では、エネルギー一定則を考慮しているものの地震荷重そのものは加速度応答スペクトルに基づいている。本研究では、兵庫県南部地震で観測された地震動を用いて1自由度モデルによる地震応答解析を行い、地震動によるエネルギー入力の総量と構造物の弾塑性変形に伴う総吸収エネルギーの釣り合いを考慮した応答推定の適用性に検討を行った。

2. 解析方法

弾完全塑性のバイリニア型復元力特性を有する1自由度モデルに対し非線形時刻歴応答解析を行い、地震動によるエネルギー入力と構造物の弾塑性変形によるエネルギー吸収の釣り合いを考慮した推定結果を比較検討する。

(1) 非線形時刻歴応答解析

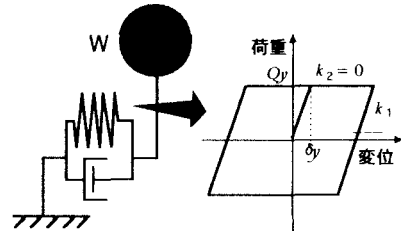
本解析では、Newmark- β 法($\beta=0.25$)を用いて図-1に示す解析モデルおよび復元力特性に対して神戸海洋気象台NS方向、JR西日本鷹取駅EW方向、東神戸大橋橋軸直角方向の地盤面の加速度波形を用い非線形時刻歴応答解析を行った。

(2) エネルギーの釣り合いによる応答推定法

エネルギーの釣り合いによる応答推定法は地震動による解析モデルへのエネルギー入力の総量と粘性減衰および弾塑性変形による吸収エネルギーとの釣り合いにより応答値を推定する方法である。以下に考え方を示す。1自由度モデルの振動方程式の両辺に速度をかけ地震の全継続時間 t_0 にわたって積分すると(1)のエネルギー釣り合い式が導かれる。

$$m \int_0^{t_0} \ddot{y} \dot{y} dt + c \int_0^{t_0} \dot{y}^2 dt + \int_0^{t_0} F(y) \dot{y} dt = - \int_0^{t_0} m \ddot{z}_0 \dot{y} dt \quad (1)$$

右辺は地震動による1自由度モデルへのエネルギー入力の総量を表している。左辺の第1項、第2項、第3項はそれぞれ、地震終了時の運動エネルギー、粘性減衰による吸収エネルギー、バネ系の弾塑性変形による履歴吸収エネルギーと地震終了時の弾性ひずみエネルギーを表す。本推定法では、式(1)で示されるエネルギーの釣り合いを考慮して最大応答値を



$$W=mg=1000(\text{tf}), h=0.05, Q_y=0.6W=600(\text{tf})$$

$$k_1=4m \pi^2/T^2(\text{tf/cm}), k_2=0(\text{tf/cm}), g=980(\text{cm/sec}^2)$$

m : 質点の質量 Q_y : 降伏荷重
 g : 重力加速度 δ_y : 降伏変位
 h : 粘性減衰定数 k_1 : 第一剛性
 T : 弾性固有周期 k_2 : 第二剛性

図-1 解析モデルと復元力特性

推定する。最大変位 $\delta_{\max}$ における総吸収エネルギー W_{total} は、図-2に示すように1サイクル間の履歴吸収エネルギー W_{hys} (図-2の平行四辺形の面積) と1サイクル間の粘性減衰による吸収エネルギー W_{vis} (図-2の点線部分の面積、等価剛性 k_e に対して粘性減衰定数で5%を考慮したもの)の両者に係数 α をかけたもので定義される。本推定法では地震動の最大変位に影響を及ぼすのは、地震動全継続時間におけるエネルギー入力の総量ではなく、ある有効時間におけるエネルギー入力の総量と考え、入力波形の最大速度を中心に3波抜き出した主要動のエネルギー入力の総量と式(2)を満足する $\delta_{\max}$ を収束計算により求めた。

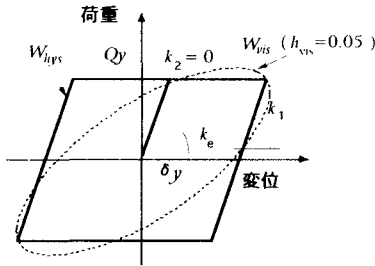
$$E(T) = \alpha(W_{\text{hys}} + W_{\text{vis}}) \quad (2)$$

ここで係数 α の値は、既往研究を参考に $\alpha=1.0.5$ とした。本推定法のフローを図-3に示す。

3. 解析結果

本推定法による結果および非線形時刻歴解析結果を図-4から図-6に示す。

JMAKOBE では $\alpha=0.5$ のケースで解析結果との相関が高くなっているが、ある周期帯で解析結果が推定結果を上回るケースがある。TAKATORI では $\alpha=1$ のケースが解析結果との相関が高くなっているが長周期帯では解析結果が推定結果を大きく上回っている。HIGASHI では $\alpha=0.5$ のケースがほぼ解析結果を上回っている。なお、推定結果と解析結果の値が周期により離れているのは、図-7に示すよ



$$W_{total} = \alpha (W_{hys} + W_{vis})$$

$$W_{hys} = 4Q_y (\delta_{max} - \delta_y)$$

$$W_{vis} = \pi c \omega \delta_{max}^2$$

W_{total} : 構造物の総吸収エネルギー

図-2 構造物の総吸収エネルギー

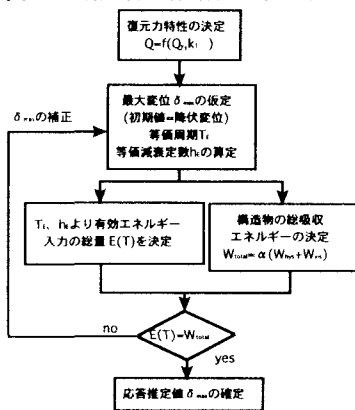


図-3 エネルギーの釣り合いによる
応答推定法の計算フロー

うに振動系の挙動が交番載荷的なものでなく、一方向に変形が累積することがあるためと考えられる。

4. まとめ

本推定法より以下の点が明らかとなった。

1) 主要動3波のエネルギー入力を用いた場合、 $\alpha=0.5$ のケースにおいて、各地盤種別および周期帯ではほぼ時刻歴解析結果を包絡した。

2) 地盤種別ごとに相関の高い α の値が異なる。

今後は α の決定方法、エネルギー入力の総量の評価方法および変形が累積していく場合の評価方法等も検討していく必要がある。

参考文献

- (社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 1990年
- 日本建築学会: 免震構造設計指針, 1993年12月
- 兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様, 1995年
- (社) 日本道路協会: 「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案), 1995年

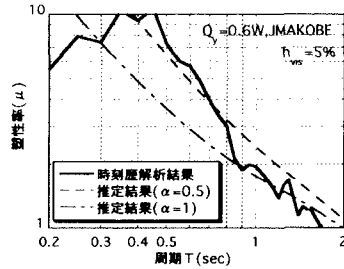


図-4 エネルギーの釣り合いによる推定値と
応答解析結果の比較(JMAKOBE)

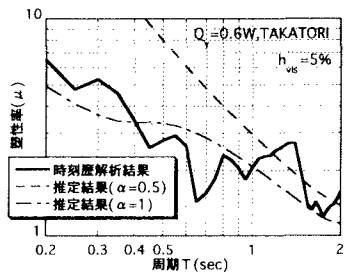


図-5 エネルギーの釣り合いによる推定値と
応答解析結果の比較(TAKATORI)

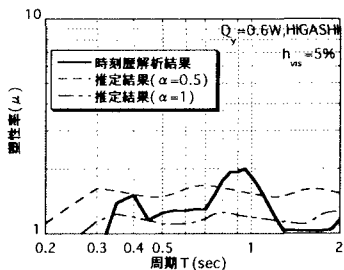


図-6 エネルギーの釣り合いによる推定値と
応答解析結果の比較(HIGASHI)

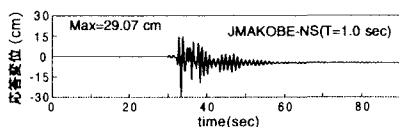
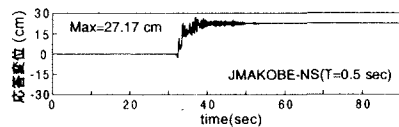


図-7 JMAKOBE に対する振動系の挙動
(T=0.5(上図)、T=1.0(下図))