

I-B 259

エネルギー入力を考慮した構造物の弾塑性応答推定に関する一考察

九州大学工学部 正会員 ○松田泰治
九州大学工学部 学生員 山本智弘

1. まえがき

兵庫県南部地震により、土木構造物は甚大な被害を受け、耐震設計法の見直しが進められている。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、構造物の弾塑性変形を考慮する際の応答推定法に関して、速度およびエネルギーを指標とした評価を試みた。

2. 解析方法

2.1 非線形時刻歴応答解析

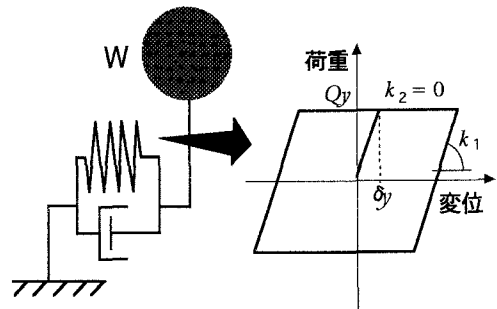
本解析では完全弾塑性バイリニア型の復元力特性を用いた。系の弾性固有周期をパラメータとして第1剛性を定め、粘性減衰定数を5%、降伏荷重を質点の重量の0.4倍、第2剛性をゼロと仮定した。解析モデル、および復元力特性を図・1に示す。地震動は神戸海洋気象台で得られたNS方向の加速度波形を用いた。各解析ケースを表・1に示す。

2.2 エネルギー入力を考慮した推定法

エネルギー入力を考慮した推定法は最大速度を指標とした地震動の主要動部分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構造物の総吸収エネルギーの釣り合いにより最大応答値を推定する方法である。エネルギーの釣り合い式(2)は以下のとおりである。

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

右辺は地震外乱による系へのエネルギー入力の総量Eを表している。左辺の第1項は地震終了時の運動エネルギーを表し、左辺の第2項は粘性減衰による吸収エネルギーを表している。左辺第3項は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、地震荷重として図・2に示すような減衰定数 $h=0.1$ の主要動3波の線形エネルギースペクトル曲線を包絡する設計エネルギースペクトルを用いた。これより右辺のエネルギー入力の総量を読みとり応答推定を行う。ここで、主要動3波とは神戸海洋気象台で得られたNS方向の加速度波形を積分して速度波形(図・3)を求め最大速度点を中心に3波抜き出した波形である。

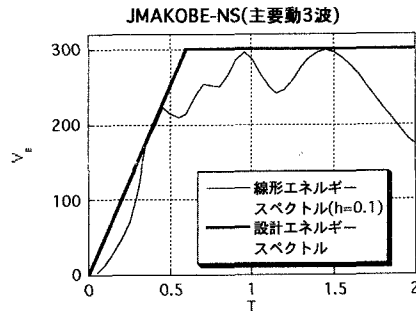


$W=mg=1000$ (tf) , $h=0.05$, $Q_y=0.4W=400$ (tf)
 $k_1=4m \pi^2/T^2$ (tf/cm) , $k_2=0$ (tf/cm) , $g=980$ (cm/sec²)
 m: 質点の質量 Q_y : 降伏荷重
 g: 重力加速度 δ_y : 降伏変位
 h: 粘性減衰定数 k_1 : 第1剛性
 T: 弾性固有周期 k_2 : 第2剛性

図・1 解析モデルと復元力特性

表・1 解析ケース

NO	T(sec)	k_1 (tf/cm)	δ_y (cm)
1	0.2	1007.103	0.199
2	0.3	447.601	0.447
3	0.4	251.776	0.794
4	0.5	161.136	1.241
5	0.6	111.900	1.787
6	0.7	82.212	2.433
7	0.8	62.944	3.177
8	0.9	49.733	4.021
9	1.0	40.284	4.965
10	2.0	10.071	19.859



図・2 エネルギースペクトル

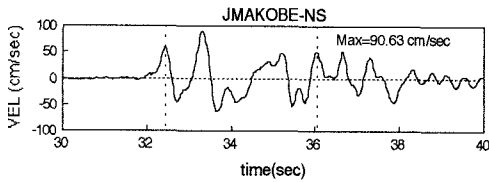
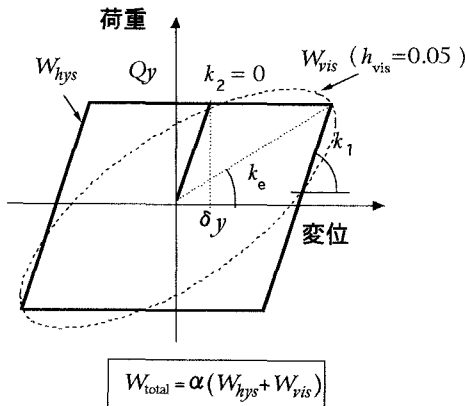


図-3 入力速度波形

履歴型非線形系の変位 δ における総吸収エネルギーについては、既往研究¹⁾の定義を参考に図-4に示すように設定する。本解析における構造物の総吸収エネルギー W_{total} は、1サイクル間の履歴吸収エネルギー W_{hys} (図-4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-4の点線部分の面積、等価剛性に対して粘性減衰5%を考慮したもの)の両者に係数 α をかけたもので定義する。本推定法では等価周期に対して設計エネルギースペクトルより得られるエネルギー入力 E を用いて式(3)を満足する δ_{max} を求める。

$$E = \alpha (W_{hys} + W_{vis}) \quad (3)$$

ここで、係数 α の値は、既往研究¹⁾を参考に $\alpha = 1.0, 2.0, 3.0$ とした。本推定法の計算フローを図-5に示す。



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

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

W_{total} : 構造物の総吸収エネルギー

図-4 構造物の総吸収エネルギー

3. 解析結果

エネルギーの釣り合いによる推定法より求めた塑性率を応答解析結果と併せて図-6に示す。なお、塑性率は1~10の範囲で比較検討を行った。その結果、1サイクルで主要動のエネルギー入力 E の総量を吸収すると考える $\alpha = 1$ の推定値は解析結果をほぼ包絡し安全側の評価となった。平均的には、 $\alpha = 2$ の推定値が解析

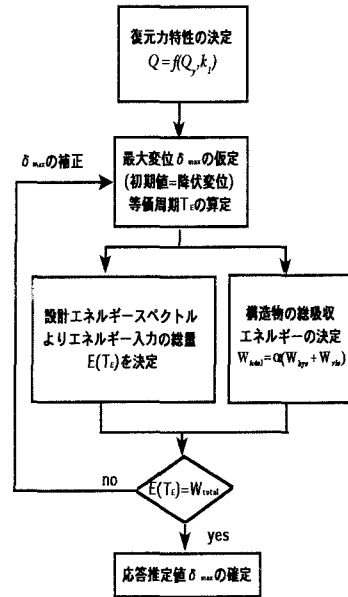


図-5 エネルギーの釣り合いによる推定法の計算フロー

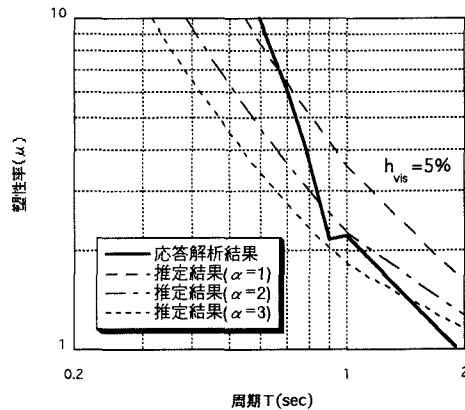


図-6 推定値と応答解析結果の比較 ($Q_y=0.4W$)

結果と相関がよいが短周期側で一致度が良くない。長周期側では、むしろ $\alpha = 3$ の推定値が解析結果と良く一致する。

4. まとめ

弾塑性変形を伴う構造物の応答推定に対してエネルギー入力を考慮することの有効性を示した今後は様々な地震動に対して設計エネルギースペクトルの評価を行うとともに係数 α の合理的設定法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 日本建築学会：免震構造設計指針、1993年12。