

地震動特性に基づく最大応答変形の推定法の検討

T O 6 K 6 7 8 G 清水秀則
指導教員 中村友紀子講師

1. 研究の背景と目的

応答スペクトルは、地震動に対して建物を様々な固有周期や減衰定数をもつ1質点・1自由度系の線形弾性として応答解析を行い、その最大応答を固有周期ごとに示したもので、地震動の周波数特性を表すことができる。平成12年の建築基準法施行令改正時に規定された限界耐力計算では、地震力は加速度応答スペクトルの形で与えられ、地震時の建築物の変形を計算し、そこから必要な耐力を求め、耐震性能を検証するというものである。

本研究では、限界耐力計算で行われる応答スペクトルから推定した最大塑性応答変形と履歴減衰系の最大塑性応答変形の比較を様々な地震動に対して行い、その関係性を検討する。また、最大塑性応答変形と等価線形化法による等価周期・等価減衰定数の関係性を検討することを目的とする。

2. 入力地震動

本研究に用いる入力地震動18波のうち、特徴ある8波とその基本特性を表1に示す。入力地震動はK-NET, KiK-net 地表観測記録から用いた南北成分であり、K-NETのユーティリティプログラムで最大速度を求め、50kineで基準化した。また各地震動を150秒で区切り(十勝沖地震は地震動が長いので300秒までとする)、継続時間は加速度二乗和の累積値が総和の5%に達した時間から95%に達する時間までとし、表1に示す。

表1 入力地震動と基本特性

地震ID	地震名	観測点	発生日	最大加速度 (gal)	継続時間 (s)
tkctm	十勝沖地震	苫小牧	2003/9/26	86.68	93.58
nigng	新潟中越地震	長岡	2004/10/23	818.25	8.33
nigod		小千谷		1147.42	10.73
myntw	宮城県南部地震	東和	2005/8/16	267.03	24.42
notsz	能登半島地震	珠洲	2007/3/25	359.31	12.07
ncoks	新潟中越沖地震	柏崎	2007/7/16	667.04	6.56
ncomk		牧		264.11	8.21
iwmnr	岩手・宮城内陸地震	鳴子	2008/6/14	502.92	26.05

3. 研究概要

3.1 解析モデル

解析では建築物をトリリニア型の変位力特性を有す

る質点系にモデル化して、パラメータの値を変化させ、各地震波について時刻歴応答解析を行う。解析モデルはTakedaモデルを用い、解析パラメータは弾性周期 $T=0.3(s)$ 、降伏せん断力係数 $\alpha=0.4$ として、それを基本パラメータとし、それぞれの値を変化させた。

3.2 等価線形化法

建物は弾塑性応答変形であるのに対し、地震応答スペクトルは弾性応答変形であるため、等価線形化法を用いる。等価線形化法を模式的に説明すると、図1のようになる。まず、地震動による弾塑性応答解析が左の図である。この履歴減衰系はある閉じたループを描いており、その中で応答しているように見える。つまり右の図のような、最大変形点と原点を結ぶ直線の勾配を等価剛性 K_e とし、この建物は初期剛性が K_e の弾性応答変形をしているとみなすのが等価線形化法である。このときの等価粘性減衰定数 h_{eq} は、等価ポテンシャルエネルギー W と履歴消費エネルギー ΔW を用いて次式で示される。

$$h_{eq} = (\Delta W / W_e) / 4\pi$$

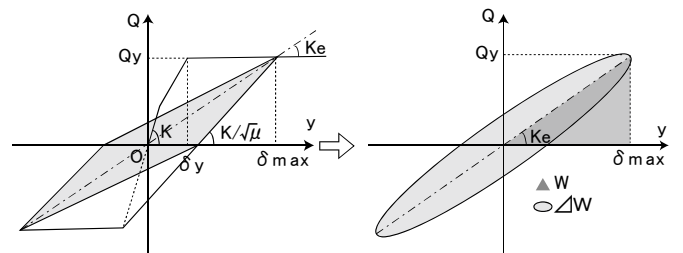


図1 等価線形化法

4. 解析結果

4.1 Sa-Sd 曲線と最大応答値の比較

加速度応答スペクトルの最大加速度応答 S_a を縦軸に、変位応答スペクトルの最大変位応答 S_d を横軸にしたものを、 S_a - S_d 曲線という。そこに降伏せん断力係数と弾性周期をそれぞれ変化させたときの最大応答値の等価粘性減衰定数と減衰定数 $h=0.05, 0.10, 0.30$ の応答スペクトルの比較を行う。

S_a - S_d 曲線と最大応答値のグラフの例として、iwmnr

波と ncomk 波、ncoks 波を図2～図4に示す。図中の数字は等価粘性減衰定数と内部減衰5%を合わせた質点系の減衰で、単位は[%]である。

図2の iwmnr 波は、降伏せん断力係数を変化させた場合、各応答値と各減衰の Sa-Sd 曲線は比較的近い値になったが、弾性周期を変化させた時は、最大応答変位が Sa-Sd 曲線よりも小さい値となった。また、nigng 波は降伏せん断力係数変化時は、比較的近い値をとったが、弾性周期変化時は、Sa-Sd 曲線より大きい値となった。

図3の ncomk 波は、降伏せん断力係数、弾性周期変化のどちらにおいても、Sa-Sd 曲線と各減衰の応答値が大きくずれる結果となった。同様に nigod 波、notsz 波でも Sa-Sd 曲線と応答値にずれが生じた。

図4の ncoks 波は、降伏せん断力係数、弾性周期の変化のどちらにおいても、ほぼ弾性応答を示しており、正確な評価はできない。また、このような横ばいのスペクトルは、どこまで応答するかわからない。tkctm 波も同様である。myntw 波では、変位応答スペクトルが建物の周期付近では、横ばいになっており、そのために Sa-Sd 曲線との差が生じたものと思われる。

4.2 応答スペクトルと最大応答値の比較

4.1 において最大応答値が Sa-Sd 曲線とずれた ncomk 波等について、それぞれ加速度応答スペクトルと変位応答スペクトルで検討する。

解析パラメータを降伏せん断力係数 $\alpha=0.2, 0.8$ 、弾性周期 $T=0.2, 0.6$ (s)のそれぞれを基本パラメータとして解析を行う。図5に弾性周期を変更した解析結果を示す。

図5において、加速度応答スペクトルと最大せん断力を比較してみると、加速度応答スペクトルの値がほかに比べ卓越している所は、等価周期が卓越周期より前に集まり、大きく差がでることがわかる。この変化はどのパラメータ変化のときも同様になった。また変位応答スペクトルとの比較においても同様の結果となった。

5. まとめ

応答スペクトルと等価線形化法による最大応答値の比較を行い、様々な地震動を用い関係性を検討した。

その結果、応答スペクトルと最大応答値は地震動により異なるが、以下の地震動特性によってそれらの関係はある程度推定することが可能だとわかった。

- ・ 最大応答値が応答スペクトルと比較的に近い値になる場合は、Sa-Sd 曲線が比較的なだらかに右下がりになっていて、建物の固有周期付近で応答スペクトルが卓越していないときである。
- ・ 建物の周期付近で応答スペクトルが卓越する場合は、等価周期は卓越周期の前で留まったり、卓越周期後

まで伸びたりし、大きく差が生じた。この差により Sa-Sd 曲線ですれが生じ、卓越周期付近の最大応答値を推定するのは困難である。

- ・ 応答スペクトルが横ばいの場合、どこまで応答するかわからないので、応答値の推測は困難である。応答スペクトルから最大応答値を推定する場合、地震動特性を考慮することが必要といえる。

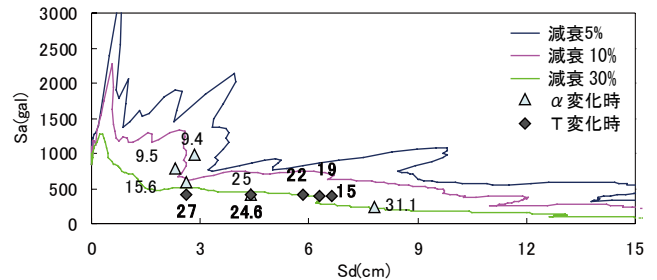


図2 iwmnr 波： Sa-Sd 曲線と最大応答値

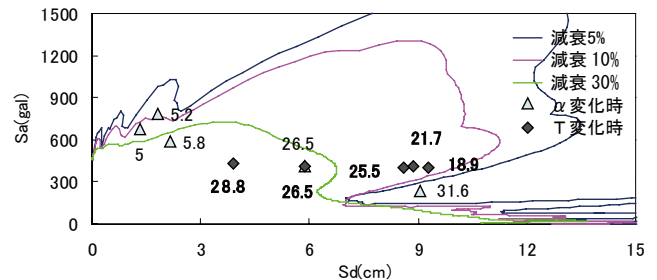


図3 ncomk 波： Sa-Sd 曲線と最大応答値

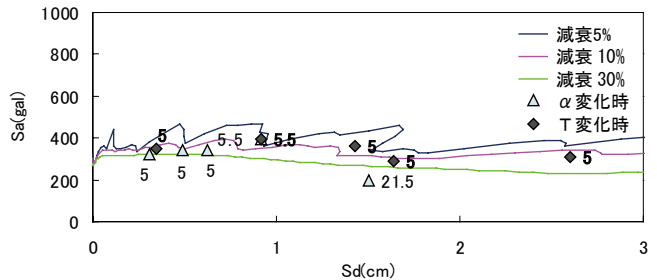


図4 ncoks 波： Sa-Sd 曲線と最大応答値

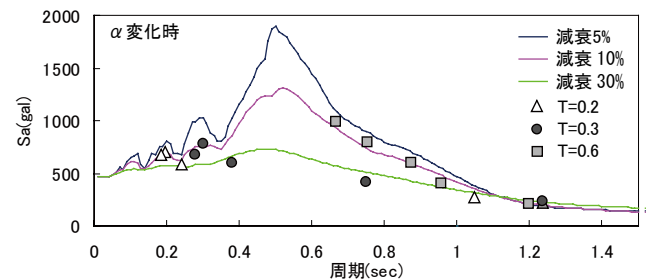


図5 ncomk 波： 応答スペクトルと最大応答値

参考文献

- 1) 大崎順彦著：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，1994
- 2) 柴田明徳著：最新耐震構造設計，森北出版株式会社，1981
- 3) 防災科学技術研究所，強震観測網 <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>