大地震における地震応答解析手法の精度評価のための地震動指標

東北学院大学　学生会員　市川　康宏　矢吹　匠
東北学院大学　正会員　吉田　望

1　はじめに

地盤の地震応答解析の精度は，観測記録との比較でも，波形が似ているなどの曖昧な評価で行われてきた。定量化が行われている場合でも，最大加速度の一致がせいぜいであった。しかし，地盤の地震応答解析はその後構造物の設計，さらには床応答を通して設備機器の設計などにも用いられ，それぞれについて影響のある地震動指標が異なるので，既往の評価法は不十分といえる。

地震応答解析手法は，等価線形解析と逐次積分法に基づく非線形解析があり，等価線形解析は適用範囲があまり大きいひずみ領域の解析には適用できないといわれてきた（たとえば文献1)）。しかし，上記の事情を考えると，一概にこの説を受け入れて良いのか疑問も生じる。そこで，本論では，特に大ひずみ領域の応答を発生する，大地震の記録を用いて等価線形地盤適用性を検討する。

解析に用いたのは，文献2)に示される 268 の地盤で，作用させる地震動は，過去の内陸型，海溝型地震の観測記録（内陸型：1995 年兵庫県南部地震 Port Island GL-33m NS, 1995 年兵庫県南部地震 JMA 神戸海洋気象台 NS，1999 年鳥取県西部地震 伯太 NS，2004 年新潟県中越地震 JMA 川口町 EW，2007 年新潟県中越沖地震 東電柏崎刈羽 サービスホール SG1-NS，2008 年岩手宮城内陸地震 一関西 EW；海溝型：1978 宮城県沖地震 開北橋 EW，1983 年日本海中部地震 秋田港 EW，1994 年三陸はるか沖地震 八戸事務所 EW，1994 年北海道東方沖地震 花咲港 EW，2003 年十勝沖地震 大樹 EW）である。また，地震動指標として最大加速度、最大絶対速度、最大相対変位、継続時間、*SI* 値、最大ひずみ、震度用加速度、計測震度、アリアス強度、PSI（スペクトル強度)、パワーの計 11 種類を用いた。ここで，加速度用震度は，計測震度を求める基準となる加速度（この加速度より大きい加速度の継続時間の和が 0.3 秒）である。各種の指標についてはたとえば，文献3)を参照されたい。また，地盤モデル化の方法は文献4)に示されている。

2　解析結果と考察

計算で得られた加速度時刻歴より，各種の指標を求めて図 1～図 11 に比較して示す。図のシンボルマークは図 12 に示すように，各地震に対応している。また，縦軸は等価線形法，横軸は逐次積分法の結果である。いずれの図でも，1:1 の線が示される他，場合によっては他の比率も示されている。

図 1 の最大加速度は等価線形法の方がかなり大きく，図示した 1.5:1 の線を中心として分布している。等価線形法が加速度を過大評価することは，文献5)でも指摘されているが，このメカニズムによれば過大評価は応力－ひずみ関係が完全塑性を示すときで，1/0.65=1.54 倍が最大となる。大ひずみ域では最大応力はせん断強度に近いと考えられるので，このメカニズムが妥当であることを示している。同様に，等価線形法が大きな値を示しているのは，パワーであるがこれは加速度の積分値であることから同じ特性を持っていても不思議ではない。スペクトル強度が逐次積分側に出た原因については分からない。

速度は，二つの地震を除き，等価線形解析の方が大きめとはいえ，ほぼ同じ値となっている。二つの例外的な地震は，文献 4)に示されるように，入力地震動の積分法が原因である。

加速度以外に地震被害の程度を表す指標として計測震度，SI 値，PSI などがあるが,これらも，最大速度と同様，等価線形法の方がやや大きめであるが，ほぼ同じ程度である。一方，最大変位や最大ひずみは等価線形法の方がかなり小さな値となっている。最後に地震の継続時間（エネルギーが 5%と 95%の時間）は等価線形解析の方がやや大きめであるが，小さい震動での揺れがあるためと考えられる。

3　まとめ

色々な地震動で比較したところ，地震被害を表すような指標では，等価線形法と逐次積分法で差が小

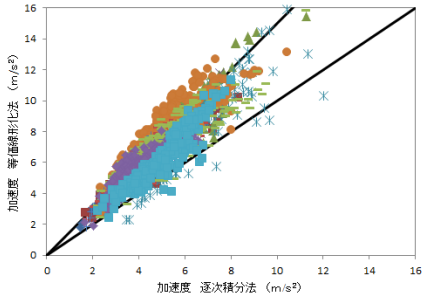

図 1　最大加速度の比較

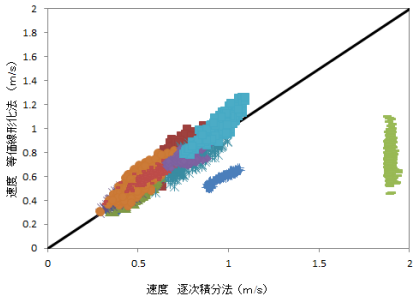

図 2　最大速度の比較

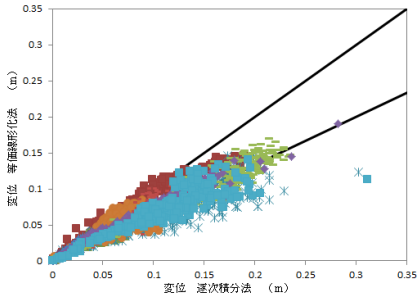

図 3　最大変位の比較

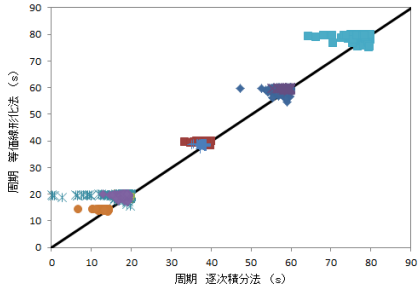

図 4　継続時間の比較

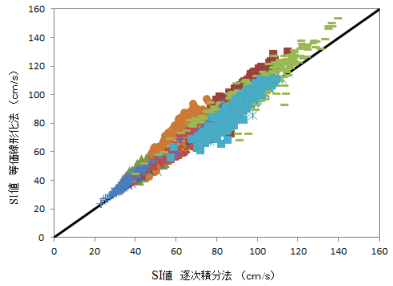

図 5　*SI* 値の比較

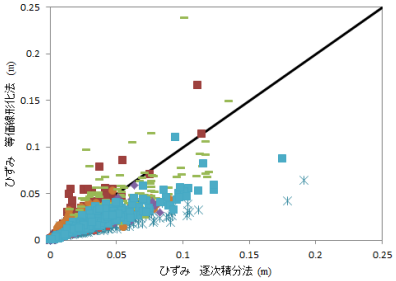

図 6　最大ひずみの比較

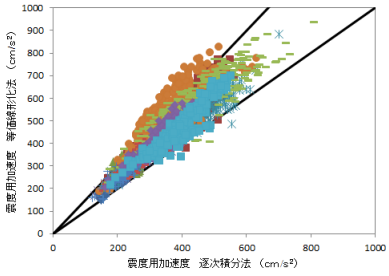

図 7　震度用加速度の比較

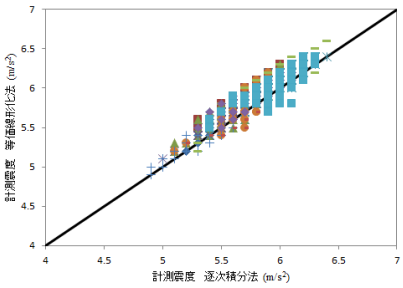

図 8　計測震度の比較

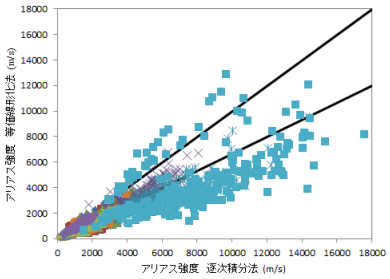

図 9　アリアス強度

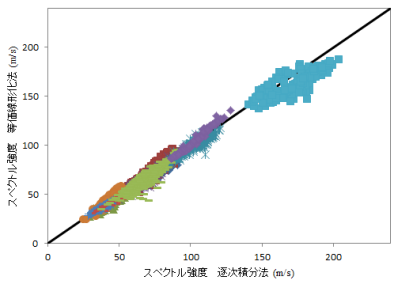

図 10　PSI の比較

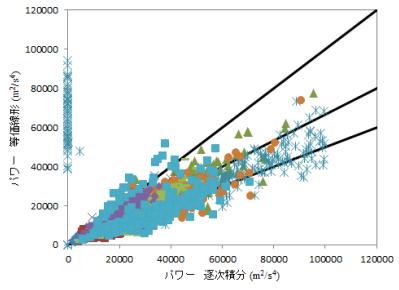

図 11　パワーの比較

図 12　判例

さかった。また，加速度の過大評価は設計では安全側である。これらを考えると，等価線形解析の適用性は従来考えられているより広いと考えられる。一方，変位は過小評価されているので，変位が問題となるケースでは適用性は低い。

参考文献

1) Ishihara, K.: Evaluation of soil properties for use in earthquake response analysis, Proc., 9th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics, Zurich, pp. 237-259，1982

2) 土木研究所，国土開発研究センター：兵庫県南部地震における液状化・非液状化事例に基づいた液状化判定法の妥当性に関する調査報告書，1996

3) 吉田望：地震応答解析の精度評価の方法 ，大ひずみを考慮した土の繰返しせん断特性に関するシンポジウム，pp.38-43，2013

4) 吉田望：等価線形化法の適用性に関するケーススタディ，大ひずみを考慮した土の繰返しせん断特性に関するシンポジウム，pp.57-62，2013

5) 吉田望（1994）：実用プログラム SHAKE の適用性，軟弱地盤における地震動増幅シンポジウム発表論文集，土質工学会，pp. 14-31