

2つの地震動強度指標による損傷度曲面に関する基礎研究

武蔵工業大学 学生会員 ○寺西 達郎
武蔵工業大学 正会員 吉田 郁政

1. はじめに

構造物の安全性を確率的に定量化することの重要性が認められるようになりつつある。地震に対する被害想定や重要構造物の PSA (Probabilistic Safety Assessment)において、地震危険度解析と損傷度解析を行い、それぞれ地震危険度曲線、損傷度曲線を算定してから損傷確率を求めることがよく行われる。従来方法では基盤最大加速度などひとつの地震動強度指標に注目してそれぞれの曲線を求めるため精度に限界があった。そこで、本研究では2つの指標に関する損傷度曲面の算定法について提案を行う。

2. 限界地震動指標による損傷度曲線の算定法

損傷度曲線を算定する場合、多くの地震動レベルに対して信頼性解析を実施し、条件付き確率を求める方法が一般的である。それに対して限界地震動指標を用いた算定法も提案されている¹⁾。限界地震動指標とは、限界状態を損なう最小の地震動に関する指標と定義する。図1は限界地震動指標（ここでは最大加速度）を用いた損傷度曲線算定の概念を示している。入力最大加速度に応じた安全率を多数算定し（図中では一本の点線）、安全率が1.0となる最大加速度を限界加速度として算定する。安全率が不連続になり1.0となる最大加速度が求まらない場合には、1.0以下となる最小の加速度とする。モンテカルロシミュレーション（以下、MCSと記す）により限界加速度のばらつきを算定し、その累積関数を求めると損傷度曲線を得ることができる。

3. 損傷度解析の高精度化

算定される損傷度曲線は、用いる入力地震動によって大きく異なる場合がある。例として地中埋設構造物を対象とした簡易な限界状態関数を用いた場合の損傷度曲線を示す。限界状態を、応答変位法を想定して構造物の上下端に相当する地盤の相対変位をもとに設定した。マグニチュードや震央距離の異なる地震観測記録26波を用いて26本の損傷度曲線を算定した。不確定要因は地盤のせん断波速度とし、変動係数を0.3とした。上述の限界地震動指標に対するMCS（サンプル数30）により計算を行った。図3から図5に地震動強度指標として、最大加速度PGA、最大速度PGV、スペクトル強度SIを選んだ場合の損傷度曲線をそれぞれ示す。図に示されているように地震波形によって算定される損傷度曲線が大きく異なることがわかる。

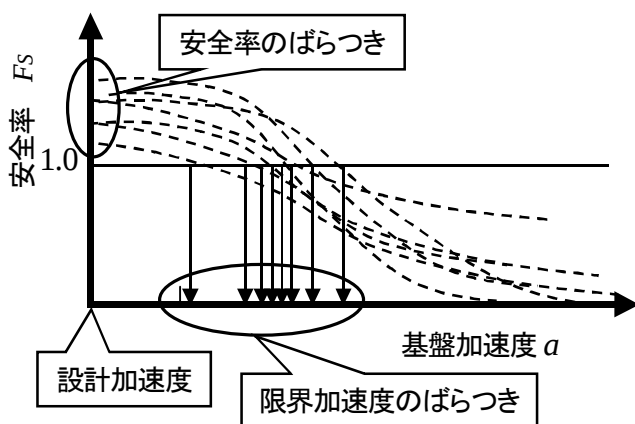


図1 損傷度曲線の算定¹⁾

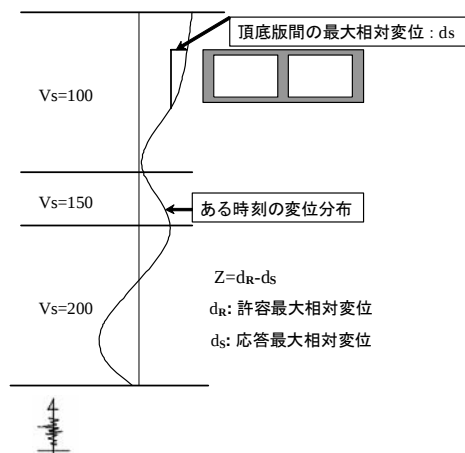


図2 地中構造物を対象とした限界状態の概念図

キーワード 地震危険度曲線、損傷度曲線、損傷度曲面、PSA

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 都市基盤工学科 TEL03-3703-3111

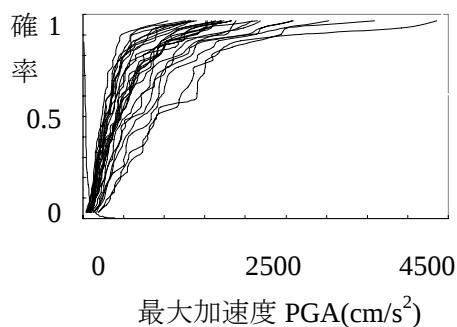


図3 最大加速度に関する損傷度曲線

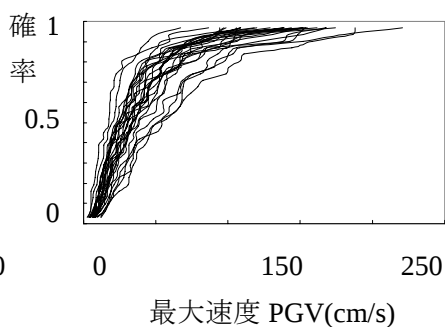
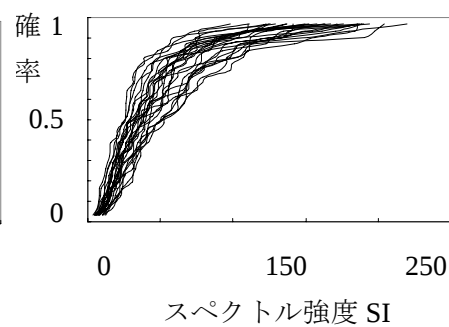
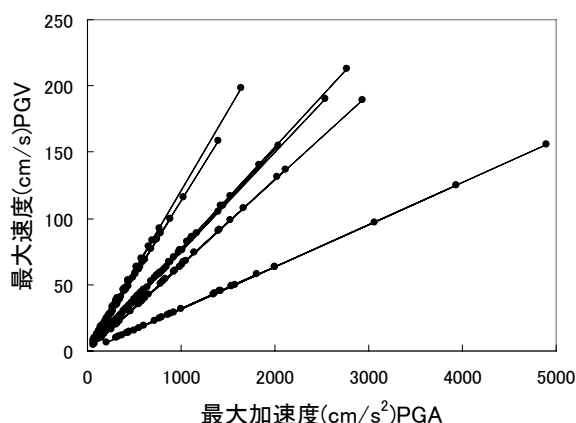
図4 最大速度に関する
損傷度曲線図5 スペクトル強度に関
する損傷度曲線

図6 MCSによる限界地震指標の分布

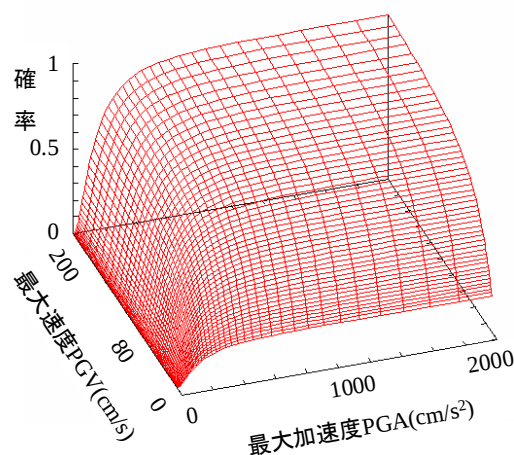


図7 対数正規分布で近似された損傷度曲面

つぎに、複数の地震動強度指標に注目した損傷度曲面の算定を行う。ひとつの地震波形に対しては地震動強度指標間の比率は固定されるので、図6に示すように同一波形に対する限界地震動指標は一直線上に分布する。これらの線上に損傷度曲線が作られることになる。2つの地震動強度指標の対数が以下の式(1)で表される正規分布に従うと仮定し、最小二乗法により5つパラメタ、すなわち、2つの平均値、2つの標準偏差、相関係数を決める。最小化には遺伝的アルゴリズムを用いた。

$$f_{X,Y}(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma_X\sigma_Y\sqrt{1-\rho^2}} \exp \left[\frac{-1}{2(1-\rho^2)} \left\{ \left(\frac{x-\mu_X}{\sigma_X} \right)^2 - 2\rho \left(\frac{x-\mu_X}{\sigma_X} \right) \left(\frac{y-\mu_Y}{\sigma_Y} \right) + \left(\frac{y-\mu_Y}{\sigma_Y} \right)^2 \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、 μ_X 、 μ_Y ：平均値、 σ_X 、 σ_Y ：標準偏差、 ρ ：相関係数 $-\infty < x < \infty$ ； $-\infty < y < \infty$ ；

損傷度曲面の算定は、地震動強度指標(最大加速度 PGA、最大速度 PGV、スペクトル強度 SI)に関する3つの組みに対して行った。例として図7に最大加速度、最大速度を用いた場合の損傷度曲面を示す。

4. 今後の課題

本報告では2次元損傷度曲面の算定方法について示した。地震動強度指標の適切な選択、組み合わせについては現在、別途検討中である。また、損傷度曲面に対応して地震危険度曲面も算定する必要がある。これについても今後の課題であり、これら両曲面を用いて損傷確率を算定し、従来の方よりも高精度であることを確認していきたい。

参考文献

- 1) 吉田郁政，鈴木修一：限界地震動指標を用いた損傷確率の効率的な算定方法，構造工学論文集，Vol.49A，pp.201-202，2003.3.