

地盤応答の非線形性を考慮した地震時損傷確率評価の簡便法 ー適用性の検討ー

株式会社篠塚研究所 正会員 ○静間 俊郎

株式会社篠塚研究所 正会員 望月 智也

株式会社篠塚研究所 正会員 中村 孝明

1. はじめに

工学的基盤面の応答スペクトルを確率的に定めた上で、表層地盤の非線形応答を考慮した構造物の損傷確率の評価方法を前報(手法の提案)¹⁾において提案した。

本報は実地盤を用い、地盤増幅率を線形と仮定した場合と非線形性を考慮した場合を比較し、提案手法の適用性を検討する。

2. 地表面の応答加速度の評価

地盤増幅評価は、等価線形化法による一次元波動伝搬解析(SHAKE)により、工学的基盤面から地表面までの応答スペクトル比(地盤増幅率)を算出した。応答スペクトル比は、周期毎に工学的基盤面の応答加速度に対する地表面のその比をとったものである。

図1は、対象地盤の土質構成と諸物性値である。なお、 V_s については太田・後藤式²⁾より求め、単位重量については、土質区分により標準的な値を用いた。また、地盤応答の非線形性に関する諸パラメータ(G/G_0 、 γ 、 h 、 γ)は、建設省告示第1457号(平成12年)³⁾に基づいて設定した。工学的基盤面は V_s を参照し、GL-29mとした。

工学的基盤面に入力する地震波は、国土交通省の告示スペクトル⁴⁾に適合する模擬地震波を用いた。図2に最大加速度で基準化した告示スペクトル(以降、基準化加速度応答スペクトル)を示す。応答スペクトル比は、基準化加速度応答スペクトルに当該加速度値を乗じた応答スペクトルに適合する地震波を10波作成し、この10波による伝播解析から応答スペクトル比をそれぞれ求め、それらを平均化して算出した。本解析では、100~1000 cm/sec^2 の10の加速度レベルに応じた応答スペクトル比を算出した。

算出した応答スペクトル比を図3に示す(100~700 cm/sec^2 まで図示)。対象地盤は軟弱であり、地盤増幅が長周期側で卓越し、非線形性が強いことが分かる。

なお、本解析において、500 cm/sec^2 の地震動レベルでの対象地盤のせん断ひずみは最大0.8%程度と大きい。本来は、R-Oモデル等の逐次非線形応答解析を要するが、本報の目的が地盤の非線形応答を考慮した損傷確率の評価方法の提案にあることから、等価線形化法に止める。

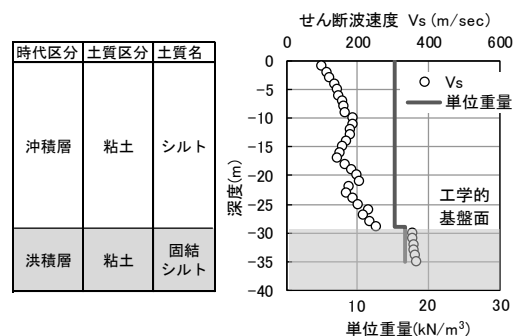


図1 対象地盤の土質構成と諸物性値

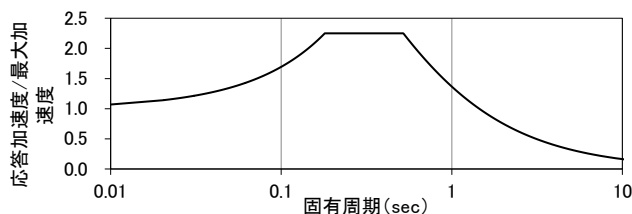


図2 最大加速度で基準化した告示スペクトル

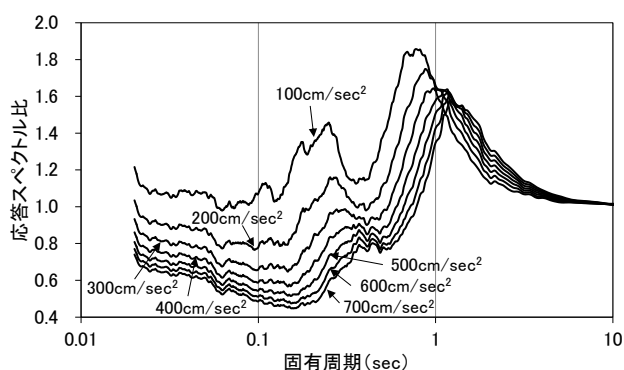


図3 対象地盤の応答スペクトル比(地盤増幅率)

地表面の応答加速度は、周期毎の応答スペクトル比(以降、地盤増幅率)と基準化加速度応答スペクトル値に工学的基盤面の最大加速度を乗じて算出した。図4に0.02, 0.2, 1.0, 2.0secの応答加速度を取り上げ、関数

キーワード 損傷確率, 地盤増幅, 地盤応答の非線形性, 応答スペクトル, 応答加速度

連絡先 〒160-0023 東京都新宿区西新宿4丁目5-1 幸伸ビル3F 株式会社篠塚研究所 TEL: 03-5351-3781

$y=ax^b$ の回帰を行った (x : 工学的基盤面の最大加速度, y : 地表面の応答加速度, a, b : 回帰係数). 最小二乗法により回帰係数 a, b を推定し, 図4に各周期 (0.02, 0.2, 1.0, 2.0sec) の関数を示す.

3. 地盤応答の非線形性を考慮した損傷確率の算出

構造物の損傷確率は, 前報で提案された評価式¹⁾を用いて算出する. 以下に示す.

$$F_X(x_m) = \int_0^{ax_m^b} f_X \left(\ln x | \ln(s_m), \sqrt{b^2 \zeta_X^2 + \zeta_S^2} \right) dx \quad (1)$$

ここに, a, b は2. で求めた回帰係数, s_m は構造物の応答加速度換算の耐力の中央値, ζ_S は耐力の対数標準偏差, x_m は工学的基盤面の最大加速度の中央値, ζ_X は工学的基盤面の最大加速度の対数標準偏差である.

工学的基盤面の最大加速度 (中央値) x_m を変化させ, 対象地盤の構造物の損傷確率を評価した結果を図5に示す. 同図では, 地盤応答の非線形性を考慮する提案手法を用いた場合 ((1)式を使用) と地盤増幅率を線形とした場合の損傷確率を比較している. 線形仮定の地盤増幅率 (図5では倍率と表示) は, 工学的基盤面の最大加速度が 200cm/sec² 時の値とした. また, 構造物の耐力中央値 s_m は応答加速度換算で 500cm/sec², 対数標準偏差 ζ_S は 0.3, 工学的基盤面の最大加速度の対数標準偏差 ζ_X は 0.45 とした.

図5より, 地盤応答の非線形性を考慮した場合とそうでない場合の損傷確率には乖離がある. 0.02, 0.2, 1.0sec では非線形性を考慮していない損傷確率は概ね過大に評価されているが, 2.0sec では逆転する. また, 0.02, 0.2sec は双方の確率の乖離が顕著である.

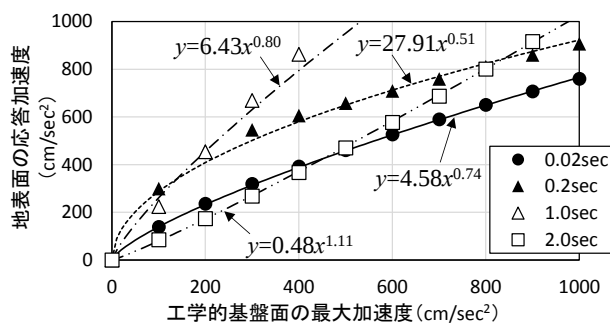
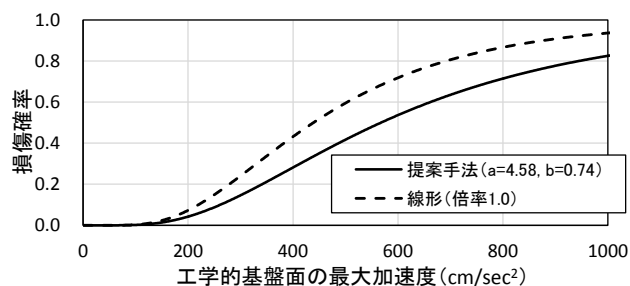


図4 各周期の地表面の応答加速度と回帰した関数

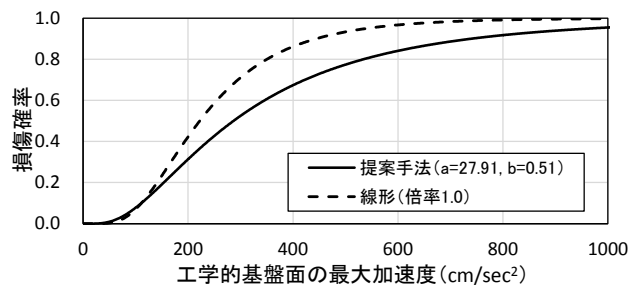
4. 結語

地盤応答の非線形性を考慮するか否かで損傷確率は乖離する. 非線形性を考慮しない場合, 使用する地盤増幅率次第で構造物の損傷可能性を過大もしくは過小

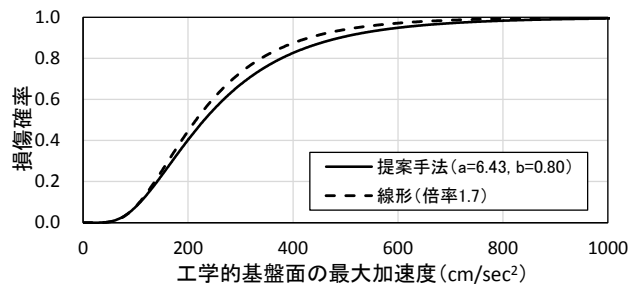
評価してしまうこともある. この点, 地盤応答の非線形性を考慮した損傷確率を評価できる本提案手法は有用である.



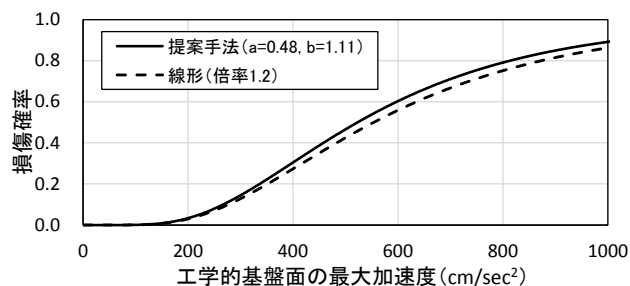
(a)0.02sec



(b)0.2sec



(c)1.0sec



(d)2.0sec

図5 地盤応答の非線形性を考慮した損傷確率

参考文献

- 1) 望月智也, 静間俊郎, 中村孝明: 地盤応答の非線形性を考慮した地震時損傷確率評価の簡便法—手法の提案—, 土木学会第71回年次学術講演会講演集 (投稿中), 2016.
- 2) 太田裕, 後藤典俊: 横波速度を推定するための実験式とその物理的背景, 物理探査, 第31巻, 第1号, pp.8-17, 1978.
- 3) 建設省告示第1457号: 損傷限界変位, T_d, B_d , 層間変位, 安全限界変位, T_s, B_s, F_h 及び G_s を計算する方法並びに屋根ふき材等及び外壁等の構造耐力上の安全を確かめるための構造計算の規準を定める件, 平成12年5月31日
- 4) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 建築物の構造関係技術基準解説書, 日本建築防災協会, 日本建築センター, 全国官報販売協同組合, 2007.