

MPS 法による地震応答解析の安定限界時間刻み推定式の適用性

東京都市大学大学院工学研究科 学生会員 ○大庭 啓輔
 東京都市大学大学院工学研究科 正会員 吉田 郁政

1. 目的

大変形や破壊挙動を予測できる手法に対するニーズが高まっており、そのため粒子法への期待が高まっている。本研究では粒子法である MPS 法(Moving Particle Simulation)の地震時の斜面安定評価への適用を最終的な目標としている。MPS 法は 1995 年に越塚らによって提案された粒子法の一つであり、波動伝播から破壊挙動までを解析できる方法である¹⁾。MPS 法の欠点としては計算労力が大きいことが挙げられる。著者らは弾性波動伝播問題を対象として安定限界の時間刻みについて検討を行ない、推定式の提案を行った²⁾。ここではせん断波、疎密波の伝播を別途解析して推定式の構築を行っている。本研究では両方が混在する場合の適用について検討を行った。

2. 安定限界の推定式の概要

推定式の構築のために用いたモデルは幅 10m、長さ 100m であり、第 1 層、第 2 層には同じ物性を与えた。下端より変位規定条件でリッカーウェーブレット波を入力して波動伝播の計算を行った。上下動入力に対しては境界粒子の水平方向固定、水平動入力に対しては鉛直方向固定としているためそれぞれ疎密波、せん断波だけが伝播する問題となる。検討モデルを図-1、発散時の様子を図-2 に示す。単位体積重量 1.5kN/m³、ポアソン比 1/3、影響半径 1.5 (粒子直径の 1.5 倍) は固定として、減衰比 h 、粒子半径 R [m]、せん断波速度 V_s [m/s]、疎密波速度 V_p [m/s] を変化させ、表-1 に示す 160 ケースについて発散(安定限界を超えた状態)が生じる限界時間刻みについて二分法を用いて算定した。

算定した 160 個の安定限界時間刻みをもとに、弾性波速度や粒子半径、減衰比に対す推定式を作成した。その推定式を式(1)に示す。

$$dt = a_1 \left(\frac{R}{V} \right)^{a_2} \quad (1)$$

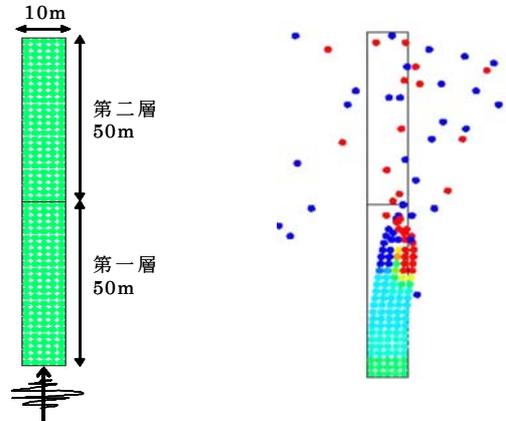


図-1 検討モデル

図-2 発散の様子

表-1 パラメータスタディーのための各条件

弾性波速度 (m/s)	100,200,400,800
減衰比 h	0.001, 0.0022, 0.0048, 0.01, 0.022, 0.048, 0.1, 0.22, 0.48, 1.0
粒子半径 R (m)	0.25, 0.5, 1.0, 1.6
合計	$4 \times 10 \times 4 = 160$ ケース

表-2 せん断波および疎密波に関する推定式の係数

せん断波		疎密波	
b_{11}	0.264375	b_{11}	0.304301
b_{12}	1.621563	b_{12}	1.666102
b_{13}	2.540176	b_{13}	2.614558
b_{21}	0.04089	b_{21}	0.046261
b_{22}	0.262491	b_{22}	0.263985
b_{23}	0.438239	b_{23}	0.392512

a_1, a_2 は式(2)(3)で求める。それぞれの係数 b を表-2 にまとめて示す。

$$a_1 = 10^{\{b_{11}(\log(h))^2 + b_{12}\log(h) + b_{13}\}} \quad (2)$$

$$a_2 = 10^{\{b_{21}(\log(h))^2 + b_{22}\log(h) + b_{23}\}} \quad (3)$$

二分法から算出した時間刻みと以上の推定式から求めた時間刻みの比率は 0.8 から 1.5 倍程度で、相関係数は 0.98 であり推定精度は良好である。

キーワード 粒子法, MPS 法, 安定限界

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104

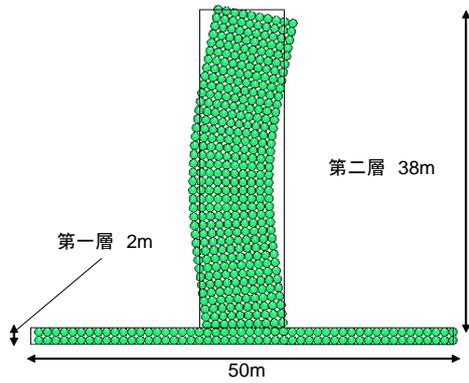


図-3 推定式の精度確認のためのモデル

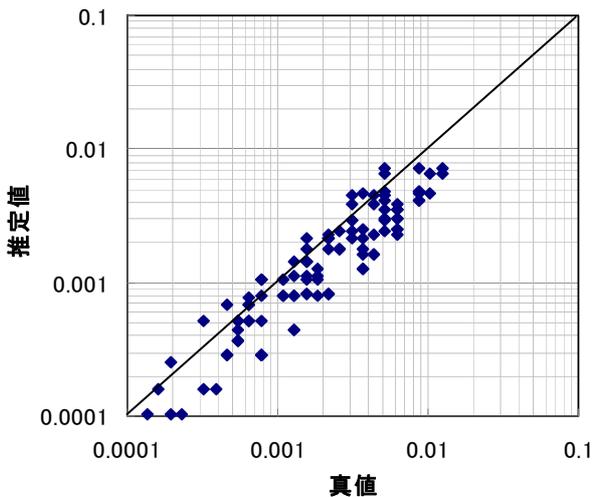


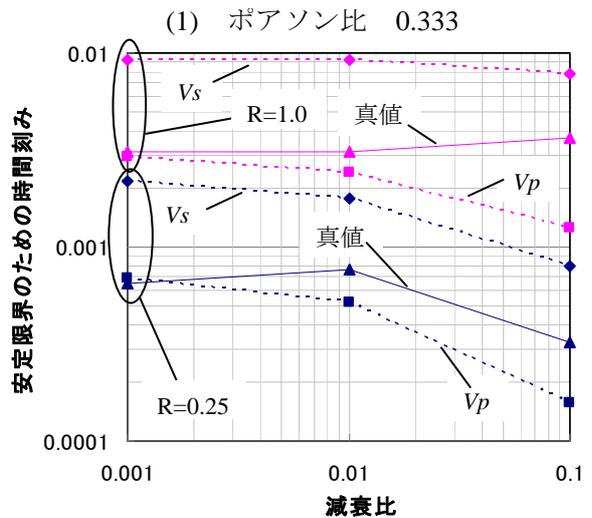
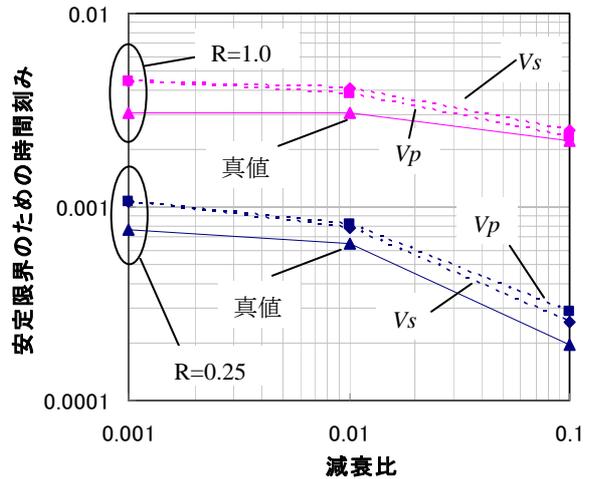
図-4 推定式の精度

3. せん断波と粗密波が混在する場合の推定精度

前節までの弾性波動伝播問題ではせん断波あるいは疎密波のみを対象とした解析であった。そこで、水平動入力に対して側方境界条件を自由として図-3に示すように両方の波動が混在するようにした。ただし、水平動入力としているためせん断波が支配的となる。二分法により算定した限界時間刻み(以下、真値)と前節の推定式から算定した時間刻み(以下、推定値)を比較し、推定式の精度を調べた。その比較を図-4に示す。なお推定値はせん断波、疎密波それぞれの推定時間刻みのうち小さい方を採用している。

45度線より大きい場合、すなわち過小評価となる場合は、せん断波、疎密波別の推定式と同程度の誤差である。しかし、45度線よりも小さい場合(過大評価)の誤差は大変大きい。

図-5は2つの粒子半径($R=0.25, 1.0$)の時のせん断波と疎密波の推定値と真値の関係の図である。ポアソン比が0.333の場合はせん断波と疎密波で推定される限界時間刻みが同程度であり精度は良いが、ポ



(2) ポアソン比 0.486

図-5 限界時間刻みの推定値と真値の関係

アソン比が0.486の場合は両者の差が大きく、真値はほぼその間にある。今回行った計算条件ではせん断波が支配的であるため、粗密波の推定値を用いると過大になったと考えられる。多くのケースにおいて時間刻みをまだ大きくできることを表しているが、実際の斜面などの問題で疎密波の安定限界への寄与の程度を定量化することは困難であろう。

4. まとめ

今回の解析条件ではせん断波が支配的であったが、より実用的なモデルを用い、疎密波とせん断波が混在するモデルでも推定式の適用性について検討を行う予定である。

参考文献 1) 越塚誠一：計算力学レクチャーシリーズ 5 粒子法, 丸善株式会社, 2005, 2) 吉田郁政, 大庭啓輔, 中瀬仁：MPS法による地震応答解析の安定限界となる時間刻みに関する検討, 応用力学論文集 Vol.13, 2010