

広域山体危険度予測のための有限差分法による地震応答解析

(株)地層科学研究所 大阪事務所 正会員 ○中川 光雄
 国土防災技術(株) 技術本部 正会員 山田 正雄
 和歌山県庁 農林水産部 小山 幸司

1. はじめに

山体をそのまま広域にモデル化して地山の材料非線形性を考慮する大規模モデルの三次元地震応答解析が試みられるようになってきた。しかし、FEMでは連立一次方程式の計算処理や材料非線形性に起因した解の収束が困難な場合もある。著者らは先に陽解法で定式化した有限差分法により大規模モデルを用いた三次元弾塑性地震応答解析の例を公表している¹⁾。本報では、地質構造の複雑さに対応して解析モデルに四面体要素を使用した山体の地震応答解析例を報告する。

2. 解析手法・モデル化の概要

2.1. 有限差分法とは

ここで適用した解析手法は、FLACの名称で公表されているP. A. Cundallらが開発した有限差分法コード²⁾である。本手法は陽解法で定式化されているため連立一次方程式の解法処理が不要である。因って、節点数・要素数が解析手法に起因して制約を受けることは無い。また、塑性流動が発生・拡大しても安定してシミュレートすることができる。故に、本手法は塑性による変形運動が持続して発生する、いわゆる斜面の崩壊現象を表現できる解析手法であると言える。

2.2. 解析領域と解析モデルのサイズ

広域の崩壊危険度予測の観点から、解析領域としては数km四方の山全体を一括してモデル化することが望ましく、これは防災における社会的要請でもある。同時に、崩壊危険箇所を精度よく抽出する観点から山体の比高、幅、非対称性などの微地形、さらには、地質調査に基づく崩積土層厚などを適切に表現できる要素分割とすることも重要である。解析モデルが必然的に大規模となるこのような数値解析に対しては、PCが安価でかつ性能が飛躍的に向上している今日、節点数・要素数の限界がPCのメモリ容量のみに依存する本手法の有効性が期待される。

2.3. 四面体要素の適用

山地における崩積土や弱風化層の層厚は、山頂付近、山麓、谷底部など場所によりかなりの差が見られる場合がある。特に、図-1に示すように崩積土層の層厚変化が顕著な場合、六面体要素でのモデル化が困難となることもある。このような場合、図-2に示す四面体要素でモデル化の方が妥当である。本手法では両要素タイプの塑性崩壊荷重が同精度で得られることが検証されており³⁾、弾塑性解析にFEMでは避ける傾向にある四面体要素を適用することは何ら問題無いと考える。

2.4. 動的変形・強度の力学モデル

本報では、動的変形試験から得られる地山の動的変形特性($G/G_0-\gamma$)とせん断強度(c, ϕ)に基づく弾塑性モデルを組合せた図-3に示す力学モデルを用いる。骨格曲線は、($G/G_0-\gamma$)を適切にフィッティングできる任意の連続関数とし、履歴曲線はMasing ruleに従う。しかし、Masing ruleでは骨格曲線から除荷して再載荷すると最初の除荷点に戻る規約があり、斜面の残留変形や塑性崩壊を十分に表現することは困難であると思われる。因って、山体を対象とした地震応答解析には本力学モデルの適用が有用であると考えられる。



図-1 地質断面 (地表付近を拡大)

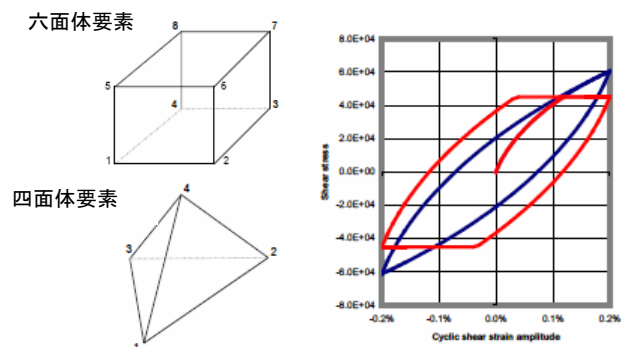


図-2 要素タイプ

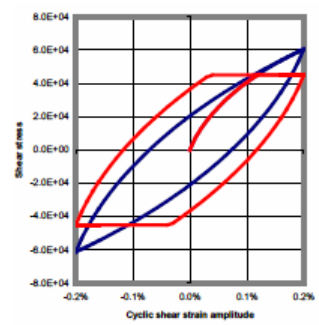


図-3 力学モデル²⁾

キーワード：広域山体、地震応答解析、有限差分法、弾塑性解析、四面体要素

連絡先：〒532-0011 大阪市淀川区西中島5-7-19 第7新大阪ビル301号 Tel. 06-6886-7774 nakagawa@geolab.jp

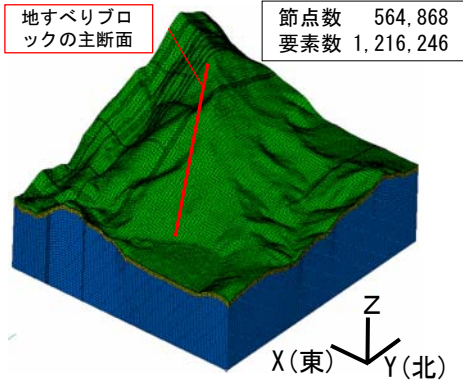


図-4 解析モデル

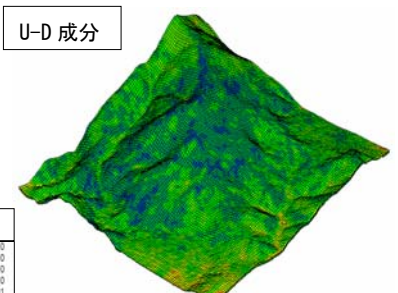
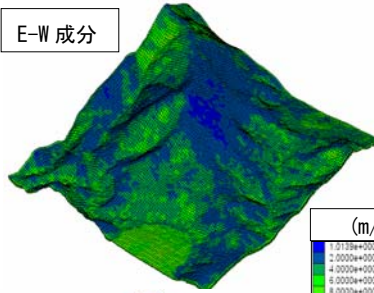


図-7 地表付近の応答加速度の時刻歴中の最大値

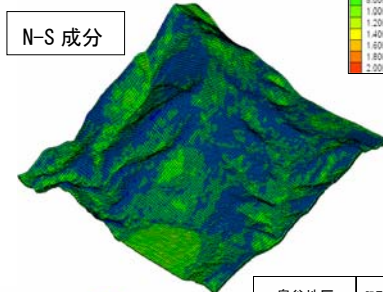


表-1 物性値

奥谷地区	記号	力学モデル	弾性波速度 Vs (m/s)	動的せん断弾性係数 Go (MPa)	動的ポアソン比 νd	密度 ρ (kg/m³)	粘着力 c (MPa)	せん断抵抗角 φ (°)
崩積土(れき混り土)	dt	Mohr-Coulomb 弾塑性体	250.0	112.5	0.40	1800.0	0.03	30.0
風化花岩	Ms1	弾塑性体	500.0	525.0	0.40	2100.0	0.10	35.0
砂岩	Ss1	弾性体	1000.0	2200.0	0.40	2200.0	5.00	45.0

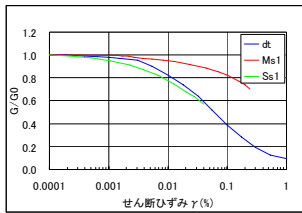


図-5 G/Go-γの関係

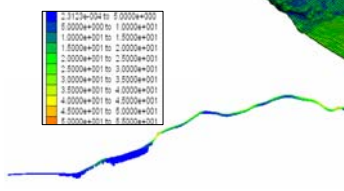


図-8 崩積土層の最大せん断ひずみの分布

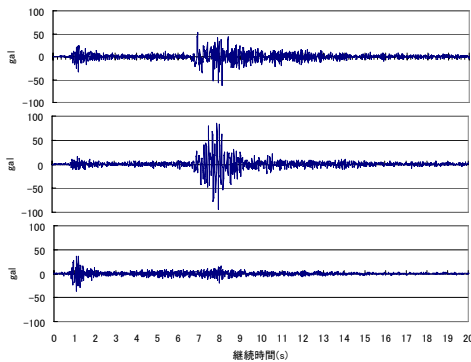


図-6 入力地震波形 (内陸直下型)

3. 実際現場への適用例

前章で述べた解析手法を音無川層群に代表される和歌山県田辺市中辺路一里石地区の山体(1.2km×1.1km)に適用した。本現場は紀伊半島南部に分布し、北を御坊一萩構造線、南を本宮断層によって境されている。解析モデルを図-4に示す。地質は地表より崩積土層、風化岩層、基盤層の3層で構成され、北傾斜北上位の緩い構造をなしており地層の不整合は無いと考えられる。解析モデルは、平均寸法11mの四面体要素でメッシュ分割し、総節点数は564868、総要素数は1216246である。境界条件は、地表面からおよそ300mの深度にある基盤面を固定とし、側面は、自重解析では鉛直ローラー、動的解析では自由地盤境界を定義した。各層の物性値を表-1に、G/Go-γを図-5にそれぞれ示す。図-6に示す入力地震動は、1999年8月21日に和歌山県内で発生したM5.4直下型地震((独)防災科学技術研

K-NET)から得られた波形に対して新潟県中越地震で得られている基盤入力地震波形に合致するよう振幅調整した。図-7に地表付近の応答加速度の時刻歴中の最大値を、図-8に崩積土層の主断面における最大せん断ひずみ分布をそれぞれ示す。これより、地表付近の加速度は入力地震動の3~5倍程度増幅されている。また、主断面の山頂や急崖付近ですべり発生の兆候が伺える。

4. おわりに

本報は、地すべりブロックを含む山間地での最大加速度分布を得て崩壊危険度予測を行う業務の一環として実施したものである。大変形解析を実施すれば崩壊現象のシミュレーションも可能であり、残留変形や崩壊の部位・範囲などの予測に適用できると考える。

参考文献

- 1)中川光雄, 山田正雄, 小山 幸司:山間地広域斜面の危険度予測のための有限差分法による地震応答解析, 第42回地盤工学研究発表会講演集, 2007. (投稿中)
- 2)Cundall, P.A. and Board, M.:A microcomputer program for modelling large-strain plasticity problems, Proc. 6th Int Conf on Numerical Methods in Geomechanics, Innsbruck, Austria, pp. 2101-2108, 1988.
- 3)Detournay, C., and E. Dzik :Nodal Mixed Discretization for tetrahedral elements in FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics - 2006. Proceedings of the 4th International FLAC Symposium, Madrid, Spain, May 2006.