

### Ⅲ-17 臨界すべり面の時刻歴変化を考慮した地震時永久変位の評価法

徳島大学大学院 学 生 員 〇美和秀邦  
株式会社大林組 正 会 員 黒川尚義  
徳島大学工学部 フェロー 山上拓男

1. はじめに 地震時の斜面の安定性を評価する方法の1つに Newmark 法<sup>1)</sup>がある。Newmark 法は最危険と思しきすべり面を特定し、地震中にこのすべり面に沿って蓄積されるすべり変位量から斜面の安定性を評価するものである。この方法は地震時に生じる永久変位量を比較的容易に求めることができるが、解析する以前にすべり面を特定している点に問題があると指摘せざるを得ない。なぜなら、地震中の臨界すべり面は作用する地震力の影響によりその位置を様々に変化させるものであり、それらすべり面の中でどのすべり面が最大の変位を示すかは事前には分からないからである。そこで著者らは Newmark 法のこのような問題点を克服するため、地震応答解析とそれによって求められる各タイムステップごとの応力場に潜在する任意形状の臨界すべり面ならびに最小安全率を瞬時に探索できる斜面安定解析法の2つを連動させて、地震中の臨界すべり面の時刻歴変化を考慮した永久変位の評価法を開発した。本報告は、提案法と、これをモデル斜面へ適用した結果について述べるものである。

#### 2. 解析方法

本手法は、地震応答解析には Shen らにより開発された地震応答解析プログラム“EFESD”<sup>2)</sup>を、斜面安定解析法には山上らにより開発された“動的計画法に基づく臨界すべり面探索 (DP 法)”<sup>3)</sup>を用い、タイムステップごとの応力場に潜む臨界すべり面をリアルタイムに探索する。そして、求められたすべての臨界すべり面のうちその安全率が一度でも 1.0 を下回った臨界すべり面のみに着目し、それらすべてについて変位量を求める。ここではそうしたすべり面のうちの1つを例に挙げ、すべり変位量の求め方について説明する。まず、このすべり面について安全率の時刻歴 ( $F_{ss}$ ) とすべり面内の平均加速度の時刻歴 ( $A_{cs}$ ) を求める (図-1 参照)。そして安全率の時刻歴 ( $F_{ss}$ ) において安全率が 1.0 を下回っている区間ですべり変位が生じるとして、その区間に対応する平均加速度 (図-1の斜線部分) を2重積分することですべり変位量を求める。同様の作業を着目するすべてのすべり面について行えばそれぞれのすべり面におけるすべり変位量が評価でき、その結果から最大の変位を生じるすべり面とその変位量を見つけることができる。以下にその適用例を示す。

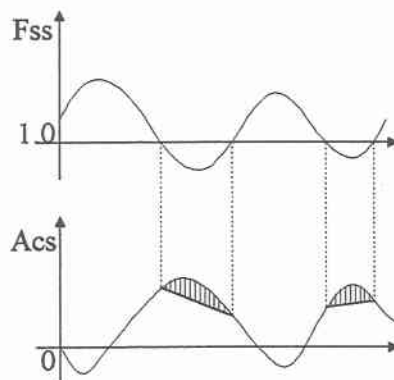


図-1 本研究における変位量解析法

#### 3. 適用例

上述の方法を用いてモデル斜面の安定解析を行った。斜面形状は、図-2に示される均質単純斜面であり、高さ 15m、斜面勾配 1 : 2 である。物性値は、単位重量  $\gamma=16\text{kN/m}^3$ 、粘着力  $c=17.5\text{kPa}$ 、内部摩擦角  $\phi=7.5^\circ$ 、ポアソン比  $\nu=0.4$  である。この斜面の底辺に周期 0.75、最大加速度  $2.0\text{m/s}^2$  の正弦波を作用させた。タイムステップは 0.01 秒とし、主要動部分 7.5 秒間、合計 750 ステップの解析を行った。

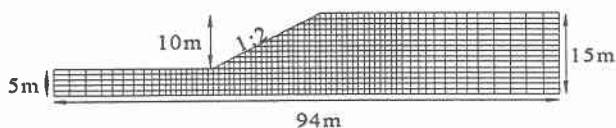


図-2 解析の対象とした斜面のメッシュ分割

図-3 は応答加速度の時刻歴を示したものである。図中実線が斜面法肩部部分のものを、点線が法尻部分のものを示している。斜面法肩部で  $5.0\text{m/s}^2$ 、法尻部で  $3.0\text{m/s}^2$  まで増幅している。

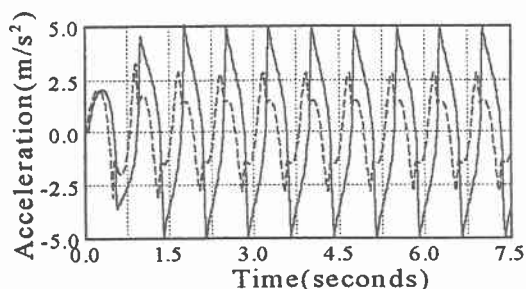


図-3 応答加速度

図-4に、解析により得られた最小安全率の時刻歴を示す。図より安全率は作用する慣性力の方向により大きく増減している様子が分かる。

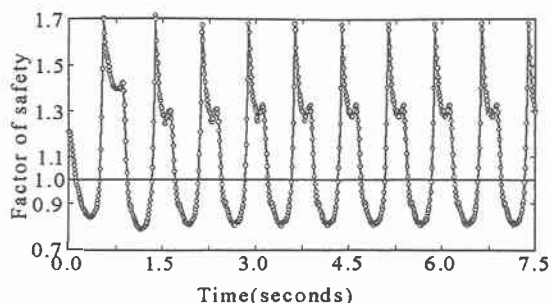


図-4 安全率の時刻歴図

図-5 に地震前の臨界すべり面（点線）と、図-4 において安全率が 1.0 を下回った臨界すべり面をまとめて示した。地震前の安全率は 1.207 である。また、地震中安全率が 1.0 を下回ったときの臨界すべり面は様々に位置を変えていることが分かる。

次に、これら臨界すべり面の内最もすべり変位量が大きかったすべり面を図-6 に示す。図中実線がすべり変位量が最大となったすべり面を表しており、また参考のため地震前のすべり面（点線）も合わせ示した。すべり変位量が最大となったすべり面は、地震前のすべり面とほぼ同じ位置に現れている。この、すべり変位量が最大となったすべり面に沿う安全率の時刻歴とすべり面内の平均加速度の時刻歴をあわせて図-7 に示す。図-8 に安全率の時刻歴と平均加速度（図-7）から得られたすべり変位量の時刻歴を示した。最終的なすべり変位量は 0.58m となった。

#### 4. 結論

本報告では、地震応答解析プログラムと斜面安定解析法を連動させ Newmark 法を発展させた手法を提案した。そして、本手法を用いてモデル斜面の安定解析を行った。その結果、地震中に安全率が 1.0 を下回る臨界すべり面は様々に位置を変えていることが確認できた。また、地震中安全率が 1.0 を下回ったすべてのすべり面についてすべり変位量を求め、その結果として最も大きな変位が生じるすべり面とその変位量を特定することができた。このことは、斜面条件さえ決定すれば変位を求めるべきすべり面が特定できる Newmark 法の問題点を強く浮き彫りにするものであって、慣用的な Newmark 法では、地震時の斜面安定性を正確に評価できないことを明示している。これに対し、提案法は様々なすべり面についてすべり変位量を求めている点で Newmark 法の問題点を克服している。

5 参考文献 1) Newmark, N. M, (1965) : Effects of earthquakes on dams and embankments, *Geotechnique*, Vol.15, No.2, pp.139-160. 2) Shen, Z.J (1980) : EFESD, A computer program using effective stress method to evaluate the seismic response of soil structures by finite elements (in Chinese), *Report No. GT-8018, Nanjing Hydraulic Research Institute*. 3) Yamagami, T. and Y. Ueta: Search for critical slip lines in finite element stress fields by dynamic programming; PROCEEDING OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL METHODS IN GEOMECHANICS/INNSBRUCK/11-15 APRIL 1988

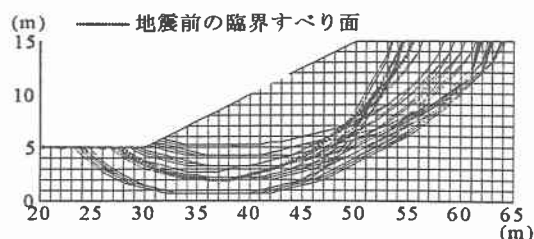


図-5 地震前の臨界すべり面と地震中安全率が 1.0 を下回ったすべり面

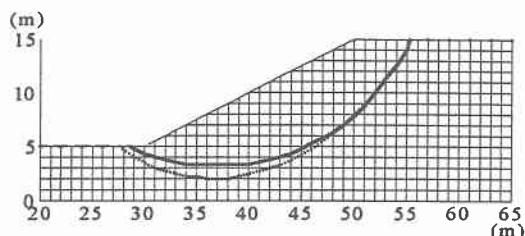


図-6 すべり変位量が最大となったすべり面

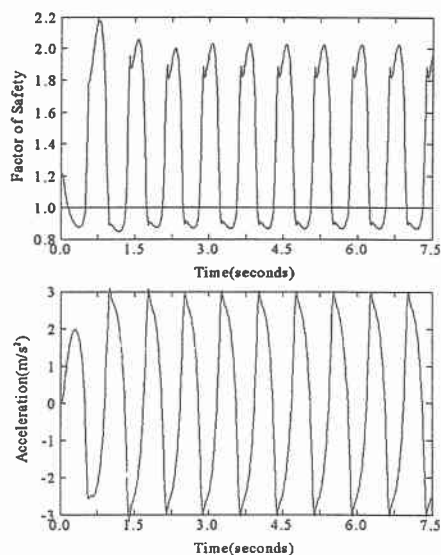


図-7 すべり変位量が最大となったすべり面の安全率と平均加速度の時刻歴

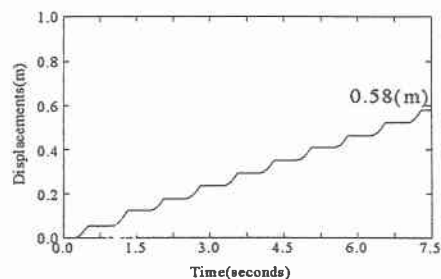


図-8 すべり変位量