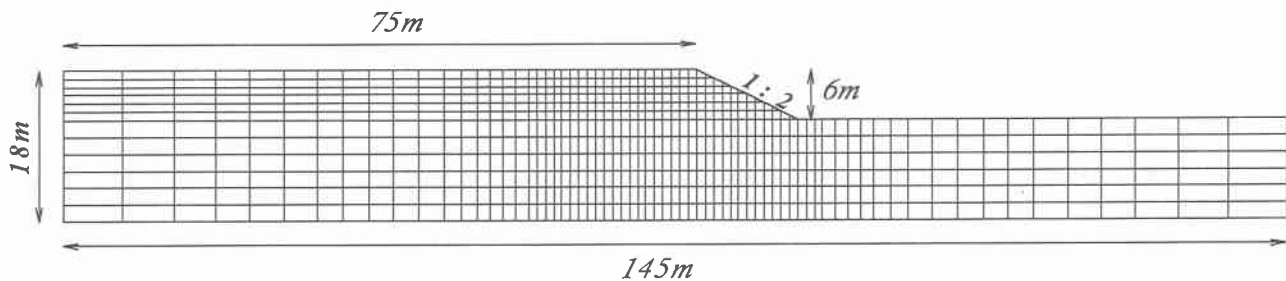


徳島大学大学院 学 生 員○黒川尚義
徳島大学大学院 学 生 員 馮 鉄群
徳島大学工学部 フェロー 山上拓男

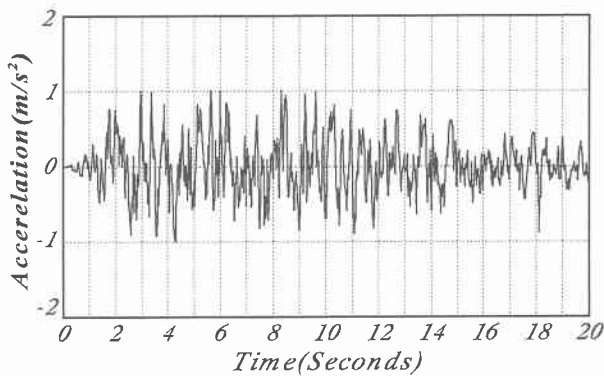
1. はじめに 地震時の斜面安定性は一般に震度法に基づいて解析される場合が多い。しかし、斜面に作用する地震力は時間とともにその大きさと方向が変化するにも関わらず震度法ではこうした動的な力を静的な力に置き換えているため地震の影響をうまく表現できていない。そのため、近年、地震時の斜面安定性を地震応答解析などの数値解析を用いて評価しようとする気運が高まっている。これらの解析プログラムを用いれば、地震中時間とともに変化する斜面の応力状態を比較的容易に求めることができる。そこで著者らは、地震応答解析と、斜面安定解析法を連動させることにより、地震動中時々刻々と変化する斜面の臨界すべり面とその安全率を求める手法を開発した。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. 提案法 本手法は、FEM (Finite Element Method) に基づく地震応答解析プログラム“EFESD”¹⁾と、山上らの“動的計画法に基づく斜面の安定解析法(DP 法)”²⁾を連動させている。EFESD は Shen らにより開発されたもので、地震前の静的解析と地震中の動的応答解析が行える。動的解析の方法は運動方程式を Willson の θ 法により逐次解析する非線形型解法である。動的な応力－ひずみ関係には Shen らが提案する粘弾性モデルを用いている³⁾。DP 法は、各要素の応力状態を元に動的計画法に基づき、せん断応力とせん断強度の比から臨界すべり面とその安全率を効率よく探索する手法である。つまり、EFESD により地震応答解析を行い、各タイムステップ毎の応力場に潜在する任意形状の臨界すべり面と安全率の値を DP 法により探索するものである。

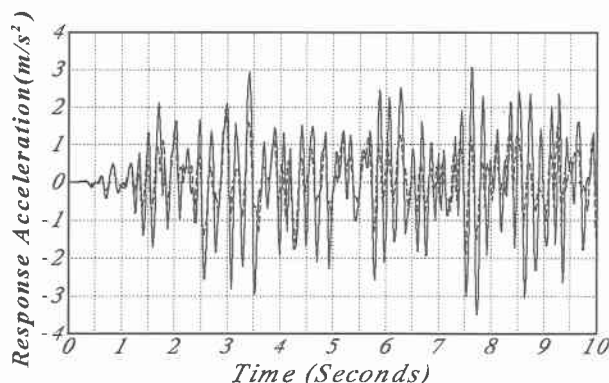


図－１ 解析に用いた斜面のメッシュ分割

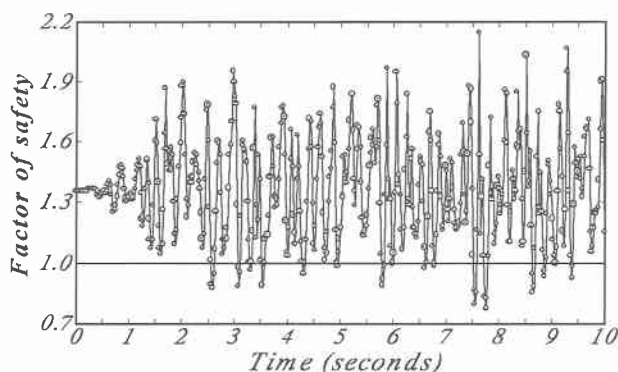
3. 適用例 上述した方法を用いてモデル斜面の安定解析を行った。斜面形状は図－１ に示される単純斜面であり、高さ 6 m、勾配 1 : 2 である。強度定数は盛土部分が粘着力 $c = 5 \text{ kpa}$ 、内部摩擦角 $\phi = 20^\circ$ 、基礎地盤が粘着力 $c = 30 \text{ kpa}$ 、内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 、ポアソン比は共に $\nu = 0.4$ である。この斜面の底辺に図－２ に示される入力地震動を作用させた。最大加速度は 1.0 m/s^2 である。タイムステップ間隔は 0.02 秒とし、主要動部分 10 秒間、500 ステップの解析を行った。図－３ は得られた応答加速度の時刻歴を示したものである。図中の破線は斜面法尻部、実線は斜面法肩部のものを示している。応答加速度は法肩部で 3.5 m/s^2 にまで増幅されている。加速度がプラスのとき慣性力は図－１ の左方に作用する。



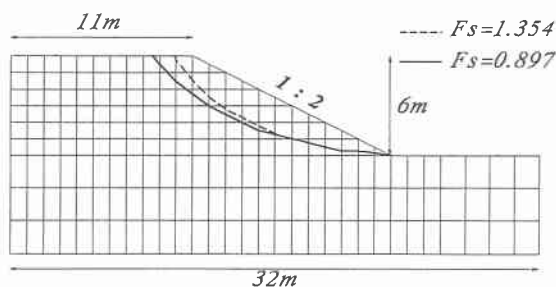
図－２ 入力地震波形



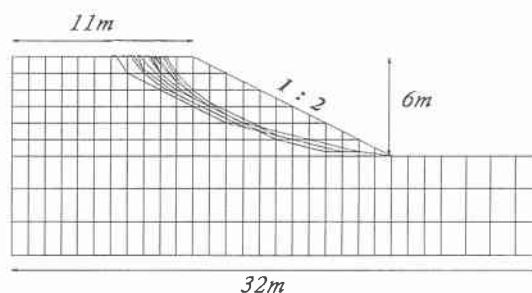
図一 3 応答加速度



図一 4 安全率の時刻歴



図一 5 地震前と地震中のすべり面



図一 6 安全率が1.0を下回るときのすべり面

図一 4は解析により得られた安全率の時刻歴を示したものである。安全率は作用する慣性力の方によって上下に変動しており、1.0 を下回ってもすぐに回復し、そして再び 1.0 を下回るといった挙動を繰り返す。次に、図一 5は地震前及び安全率が初めて 1.0 を下回ったときの斜面の臨界すべり面とその安全率を示したものである。図中破線が前者のものを、実線が後者のものを表している。地震前は、安全率は $F_s = 1.354$ であり、すべり面は比較的浅い位置に現れている。両者のすべり面の位置を比較すると初めて安全率が 1.0 を下回った状態の方が地震前の状態よりも深い位置に現れている。図一 6は、図一 4において安全率が 1.0 を下回ったときのすべり面をまとめて図示したものである。臨界すべり面が様々に位置を変えているのがわかる。換言すれば、安全率が 1.0 を下回るとき臨界すべり面は同じ位置に現れるのではなく、どこに現れるかは解析の結果初めて明らかになるということである。この事実は地震時の斜面安定性を滑り変位量で表す Newmark の方法⁴⁾の問題点を明らかにするものである。

4. 結論 地震応答解析プログラム EFESD と DP 法を連動させ地震中時々刻々と変化する臨界すべり面とその安全率を求める手法を提案した。そして、本手法を用いてモデル斜面の安定解析を行った。得られた結果より本手法の有用性が十分に確かめられた。また、解析結果より斜面の安全率が 1.0 を下回ったときのすべり面は、決して同じ位置に現れるのではなく様々に変化することが確かめられた。すなわち、Newmark 法の問題点を指摘する結果となった。しかし、地震時の斜面安定性を滑り変位量により評価しようとする考え方は大変すばらしく、今後本解析結果を踏まえ、Newmark 法をより発展させた形とし、地震時の斜面安定性を安全率と滑り変位量の両面から評価できる手法を開発する予定である。

<参考文献>

- 1)沈 珠江；土石堰建筑有効応力法地震反応計算程序—EFESD—，南京水利科学研究院土工研究所，1988 年 1 月
- 2)Yamagami,T. and Yueta;Search for critical slip lines in finite element stress fields by dynamic programming,PROCEEDINGS OF THE SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUMERICAL METHODS IN GEOMECHANICS/INNSBRUCK/11-15 APRIL 1998
- 3)Z.J.SHEN;A visco-elastic model for liquefaction of sands,PROCEEDINGS OF THE ELEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING SAN FRANCISCO,vol.2,pp659-662,1985
- 4)Newmark,N,M;Effects of earthquakes on dams and embankments,Geotechnique,vol.15,No.2,pp139-160,1965