

神戸市立工業高等専門学校専攻科 学生員 ○田中博文
神戸市立工業高等専門学校 正会員 山下典彦

1. はじめに

近年頻繁に、地盤の不均質性を考慮した種々の信頼性安定解析が行われている¹⁾。斜面の設計については、円弧滑り分割法の中の修正フェレニウス法による安全率が主に用いられているが、地盤の不均質性が考慮されていないという指摘が以前からなされている。さらに、円弧滑り分割法自体の解析精度の低さに対する指摘もなされている。しかしながら、日本道路協会による道路土工に関する指針には、円弧滑り分割法に取って代わる手法は、未だ採用されていない。そこで、本研究では、地盤の強度のばらつきを二次元正規確率変数を用いて表現し、修正フェレニウス法においてモンテカルロシミュレーションを行い斜面の破壊確率を算出するとともに、得られた安全率の分布を検討することにより信頼性安定解析を行う。

2. 信頼性安定解析

信頼性設計法の本来の目的は破壊確率を算出することにあるが、その手法としては、数値積分を行い直接的に破壊確率を計算する手法と、モンテカルロシミュレーションを行い解析的に破壊確率を得る手法の二通りに大別される。筆者らは、後者による手法を用いているが、現行の設計法と比較するため、破壊確率を算出するとともに、得られた安全率の分布を分析することにより信頼性安定解析を行っている。また、筆者らの研究²⁾では、平均強度を用いて求めた臨界円についてモンテカルロシミュレーションを行っているが、この手法では、地盤強度をばらつかせたときに、その滑り面が最小強度を示していない場合がある。前者の手法の場合にも、滑り面を固定しているので同様の問題が生じる。そこで、本研究では、図-1のフローに示すように、地盤強度をばらつかせた後、修正フェレニウス法により最小安全率を与える臨界円を決定するよう改良を加えた。これにより、繰り返し計算において確実に臨界円が通過する滑り面における破壊の判定が行われることになる。また、地盤強度のばらつきは、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ の正接 $\tan \phi$ を負の相関を持つ二次元正規確率乱数として作成した。このとき、鉛直方向には独立した土層が存在していると考えたので、分割法による通常の分割とあわせ、地盤は格子状に強度のばらつきを有していることになる。

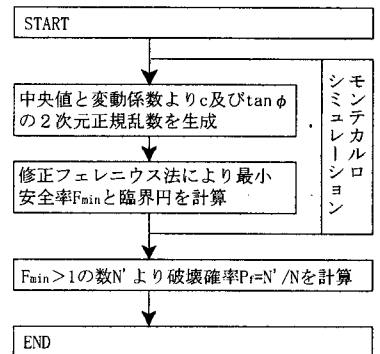


図-1 解析のフロー

3. 解析モデルおよび条件

解析対象とした盛土は、表-1に示すように、のり面勾配を 1:1.8 の単純斜面で、土質定数は一般的な砂質粘性土とした。地盤の強度定数の変動係数は、0.0（通常の安定解析）および 0.1, 0.2, 0.3 の 4 ケースとし、鉛直方向には 1.0m 毎に独立した土層を想定し解析を行った。また、地震時の検討は、震度法により水平震度を 0.15 とし解析を行った。なお、シミュレーションの回数は安定した安全率の分布が得られる 1000 回とした。

表-1 解析条件

Case No.	盛土高 H(m)	斜面勾配 1:x	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	粘着力 c(kN/m ²)	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$
①	10	1:1.8	18	10	20
②	15	1:1.8	16	5	25

4. 解析結果

モンテカルロシミュレーションによって得られた最小安全率のヒストグラムの一例を図-2に示す。最小安全率の分布は、やや右に偏った正規分布様のものが得られ、この傾向は、変動係数が大きくなるにつれて顕著に表れた。これは、安全率を抽出する際、最小値のみを抽出しているために生じた結果である。

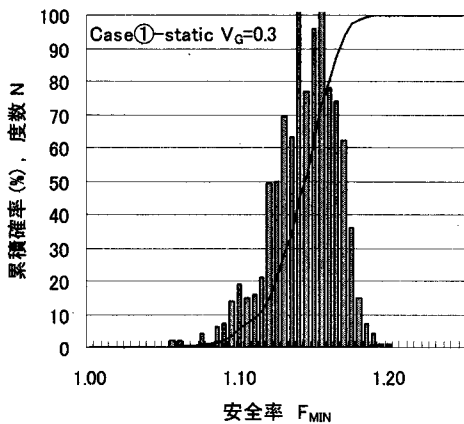


図-2 安全率分布

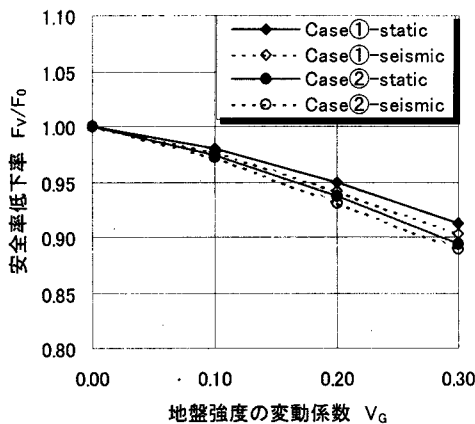


図-3 地盤強度のばらつきによる安全率の低下

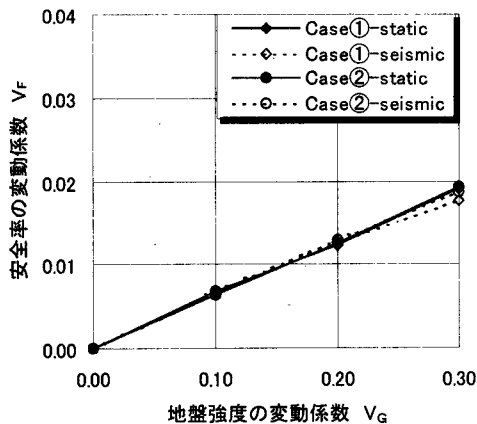


図-4 地盤強度および安全率の変動係数

【参考文献】

- 1) 土田孝, 湯怡新: 港湾構造物における最適な円弧すべりの安全率, 土木学会論文集, No.596/Ⅲ-43, pp.295-306, 1998.
- 2) 山下典彦, 田中博文: 信頼性設計法を用いた斜面安定予測に関する研究, 第 36 回地盤工学研究発表会講演集, pp.2309-2310, 2001.

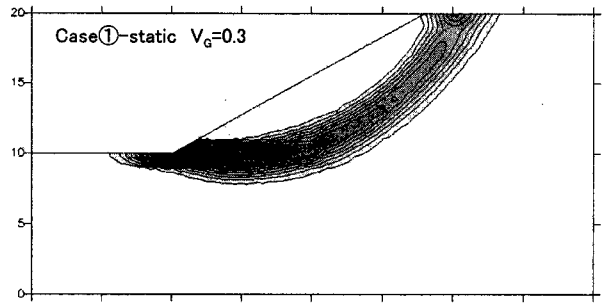


図-5 臨界円の分布

図-3 は地盤強度のばらつきが安全率に与える影響を、図-4 は、地盤強度と安全率の変動係数関係を示したものである。これらより、地盤強度の変動係数が増加するにつれて、安全率の中央値は低下し、変動係数は増加することがわかる。これは、強度定数の変動係数が増加するにつれて、地盤強度の不均質性が顕著に表れ、その結果、臨界滑り面はより強度の低い部分を通過するようになり、最小安全率の平均は減少するためである。また、地盤強度の変動係数の増加に対する安全率の低下率は、常時と地震時、さらに、解析ケース間でも比較的一致している。

図-5 は臨界円の分布を表しており、色の濃い部位ほど高い確率で臨界円が通過し危険であることを示しているが、斜面先を起点とした破壊モードが多く発生し、幅を持った円弧状に危険部位が存在することが見受けられる。

5. まとめ

地盤強度の変動係数に着目してモンテカルロシミュレーションによる盛土の信頼性安定解析を行った結果、変動係数が大きくなるに従って安全率が低下することが確かめられた。これに対して、筆者らの過去の研究では、安全率の変動係数は増加しても、中央値の低下は起こらなかった。つまり、地盤の不均質性が的確に評価されていなかったことになる。次に、この手法の難点として、計算時間が他の手法と比べて多くなることが挙げられるが、安全率の低下率は、地盤の条件が異なってもほぼ一定であるので、地盤強度の変動係数を知ることができれば、安全率の推定が可能となる。したがって、通常の安定解析を行い安全率を求めた後、地盤強度の変動係数による補正係数を乗じれば容易に地盤の不均質性を評価できることがわかった。