

弱層を有する斜面の限界状態超過確率の効率的な算定方法

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○篠田 昌弘  
 神戸学院大学 正会員 佐藤 忠信  
 (独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 米澤 豊司

1. はじめに

一般的な斜面の設計では、安全率が最小となる単一のすべり線を求めるのが通例だが、地盤のばらつき等により斜面のすべり線は潜在的に複数存在する場合がある。本研究では、超一様分布列と重点サンプリングを用いて計算効率を大幅に改善したモンテカルロ法によって弱層を有する斜面の限界状態超過確率の算定を行い、その有効性を示した。

2. 解析方法

提案手法では、入力値と解析モデルの設定を行った後に、重点サンプリング法で用いる設計点の推定を行う。本検討では、設計点の推定に First-order reliability method (FORM) と Subset Marcov chain Monte Carlo (MCMC)法を用いた。設計点の推定の後に、推定した設計点付近で超一様分布列によりサンプリングを行い、効率的に限界状態超過確率の算定を行った。

本検討で用いた超一様分布列<sup>1)</sup>は準乱数の一つであり、代表的な超一様分布列の一つに Faure 列がある。本検討では、Faure 列に改良を施した一般化 Faure 列<sup>2)</sup>をモンテカルロ法で用いる一様乱数として適用した。

信頼性の高い構造物の限界状態超過確率を効率的に求める手法の一つに重点サンプリング<sup>2)</sup>がある。この手法は、事前に構造物の設計点近傍(安全率が 1.0 近くの点)を予測した後に、その設計点近傍で集中的にサンプリングして限界状態超過確率を算定する手法である。詳細は文献<sup>2)</sup>

を参照されたい。設計点を予測する手法としては、一般的に用いられている FORM により予測する手法と、比較的新しい手法である Subset Marcov Chain Monte Carlo (MCMC) 法により予測する手法が考えられる。本論文では、前述した LDSMC 法に重点サンプリングを取り入れた手法を ISLDSMC 法<sup>2)</sup>と呼ぶ。

解析モデルを図-1 に示す。また、解析に用いた物性値を表-1 に示す。切土斜面は高さ 5 m として、地盤には弱層を仮定している。この弱層の存在により、物性値によっては、限界状態超過確率の算定における性能関数が非線形となる。性能関数の非線形性が強い場合には、一般的に用いられている FORM では限界状態超過確率の算定に大きな誤差を伴うことが知られている。本解析に用いた物性値は比較的ばらつきが大きいと仮定した。

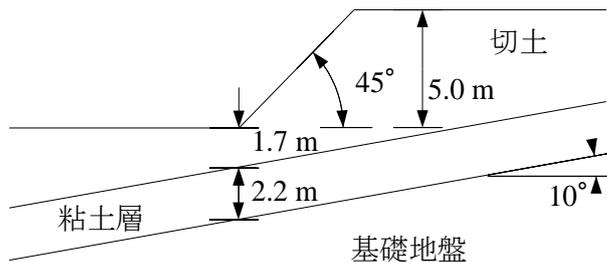


図-1 解析モデル

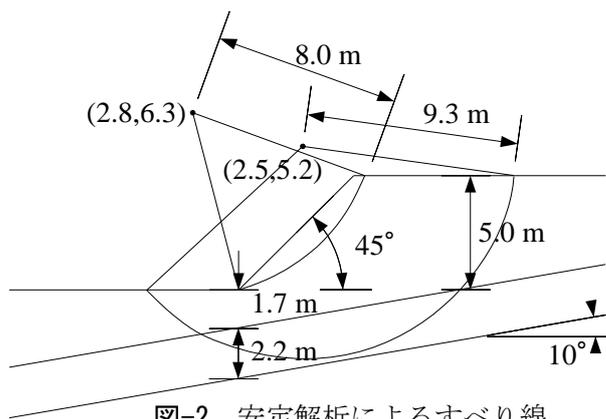


図-2 安定解析によるすべり線

材種	項目	平均値	変動係数
切土材	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	18.0	0.10
	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	3.0	0.15
	内部摩擦角 (度)	45.0	0.15
粘土層	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	15.0	0.10
	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	25.0	0.15
	内部摩擦角 (度)	0.0	0.0

表-1 切土材と粘土層の物性値

キーワード 斜面, 限界状態超過確率, モンテカルロ法, 超一様分布列, 重点サンプリング

連絡先 〒102-0072 東京都千代田区飯田橋 4-6-9 ロックフィールビル 6F (株) 複合技術研究所 TEL 03-5276-5276

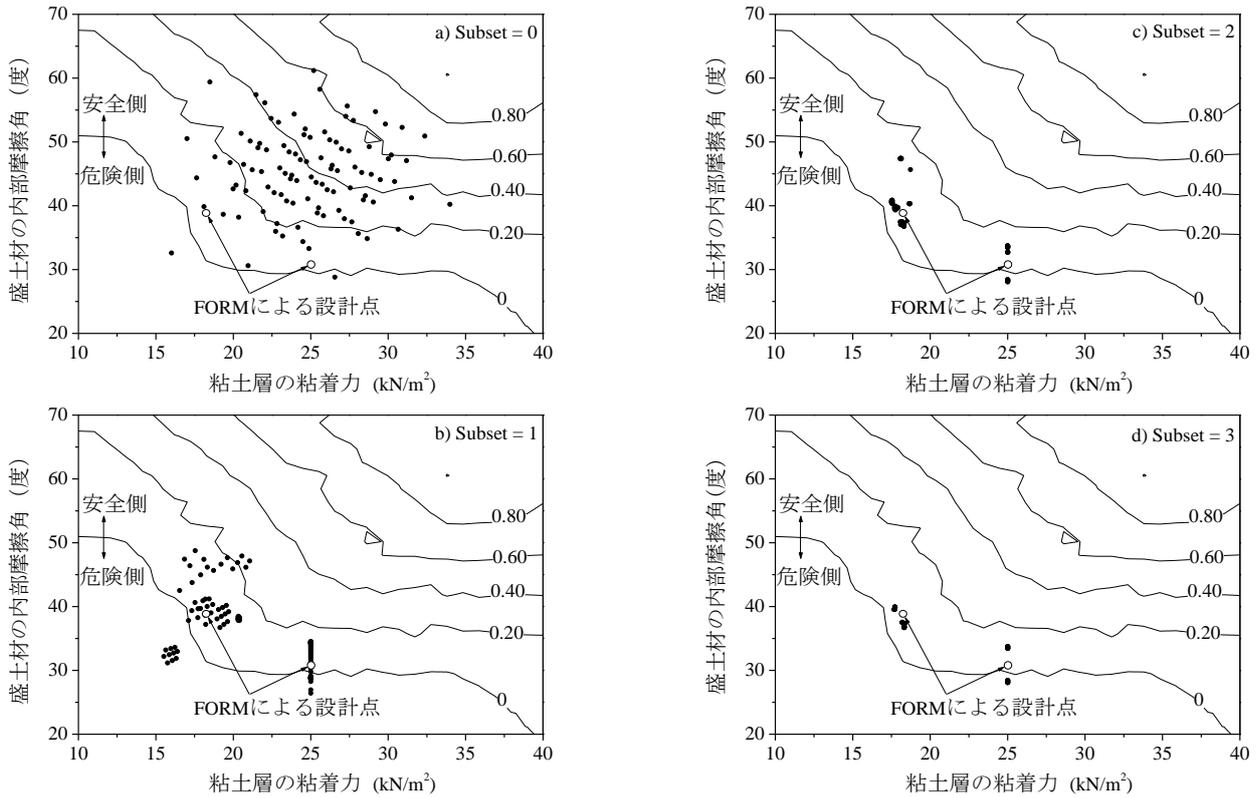


図-3 FORM と Subset MCMC 法による設計点の算出 : a) Subset = 0, b) Subset = 1, c) Subset = 2, d) Subset = 3

3. 解析結果と考察

図-2 に安定計算により得られた円弧すべり線の中心と半径を示す。切土内のすべり線の安全率は 1.50, 粘土層に接するすべり線における安全率は 1.38 であった。

図-3 に Subset MCMC 法による設計点の算出経過を示す。まず, LDSMC 法により 10,000 回サンプリングを行い, 性能関数のコンター図を作成した。図-3 のコンター図から, 本検討で用いた性能関数の非線形性が高いこと, サブセット数が増加するにつれて複数の設計点に収束しており。Subset MCMC 法による設計点と FORM による設計点はほぼ同じ値を示していることが分かる。

図-4 に設計点の推定手法に FORM を用いた場合と

Subset MCMC 法を用いた場合の ISLDSMC 法における収束性の違いを示す。設計点の推定手法に Subset MCMC 法を用いた場合では, 試行回数の初期に解のばらつきが多少あるものの, 得られる限界状態超過確率はほぼ同じ値を示した。試行回数が 1500 回付近において若干の誤差が生じているが, この誤差は実務上無視できるものと考えられる。以上の結果より, 本検討で用いた解析モデルにおける設計点の推定精度においては, FORM と Subset MCMC 法は, ほぼ等価であると言える。しかしながら, 性能関数がより複雑になった場合や潜在的すべり面がより多く存在する場合には, 自動的に設計点を探索できる Subset MCMC 法が優れていると考えられる。

参考文献 : 1) Tezuka, S.: Uniform Random Numbers: Theory and Practice, Boston, Kluwer Academic Publishers, 1995. 2) 篠田昌弘, 佐藤忠信, 米澤豊司: 複数の潜在的すべり線を有する斜面の限界状態超過確率の効率的な算定方法, 土木学会論文集 (投稿中) .

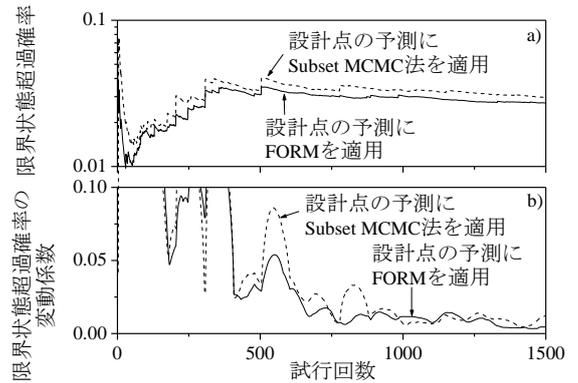


図-4 設計点の推定手法の違いが及ぼす収束性の影響 (FORM と Subset MCMC 法) : a) 限界状態超過確率, b) 限界状態超過確率の変動係数