

地震動を受ける斜面の安全率－残留変位関係のばらつきに関する信頼性解析

東急建設株式会社 正会員 〇佐竹 亮一郎
群馬大学大学院 学生会員 山本 優介
群馬大学大学院 国際会員 若井 明彦

1. 目的

近年、地盤工学分野においても性能設計が求められており、斜面を有する土構造物においては、斜面崩壊の抑止という観点から、地震時の残留変位を評価および推定する手法の信頼性向上が課題となっている。斜面の安定性評価方法として、震度法で求められた全体安全率 F_s あるいは降伏震度と、ニューマーク法などにより求められた残留変位量の間の相関関係を利用し、残留変位を推定する手法が検討されている^{例えば1)}。一方で、地盤材料は潜在的に材料物性値の空間的なばらつき（以後これを不均質性と称す）を有する。

本検討では、上記課題に対し信頼性理論に基づき材料物性値の不均質性を確率場としてモデル化する。その上で、不均質性を考慮した数値解析を各試行としたモンテカルロシミュレーション（MCS）を実施し、地震動を受ける斜面の安全率 F_s －残留変位量の関係について、確率論的な評価を試みた。

2. 検討概要

2. 1 不均質性の数値モデル化

本検討ではせん断強さを規定する内部摩擦角 ϕ を確率変数として扱う。ここで確率変数については平均値が一定の正規分布を仮定した。不均質性を表現する自己相関関数について、代表的な関数型である指数型を採用した。

$$\rho = \exp \left[- \sqrt{\left(\frac{r_x}{L_x} \right)^2 + \left(\frac{r_y}{L_y} \right)^2} \right] \tag{1}$$

ここで ρ は自己相関係数、 r は 2 点間の距離、 L は自己相関距離である。 L が大きいほど距離が離れても相関性が低下しにくくなる。添え字 x, y はそれぞれ水平、鉛直方向を示す。水平積層地盤であれば水平方向の相関性が高いと考えられることから、本検討では $L_x=5\text{m}$, $L_y=1\text{m}$ として設定した。

解析の際には、上記のモデル化に基づき乱数アルゴリズムによって有限要素モデル内の各要素に対し異なる材料物性値を割り当てることで、不均質な地盤モデルを作成し、解析を実施した。

2. 2 数値解析概要

検討に用いた数値解析手法は、設計水平震度 K_h を用いた修正 Fellenius 法による斜面安定解析および地震動波形を用いた時刻歴応答解析（以後動的解析と称す）である。2. 1 で示した手順に従い作成した不均質な有限要素モデルに対し、上述の 2 種の数値解析をそれぞれ実施した。この数値解析の実施が MCS の 1 回の試行となる。試行を反復する事によって、斜面安定解析による斜面の全体安全率 F_s および動的解析による天端左端の残留沈下量の確率分布を求めた。なお、MCS の試行回数は 500 回と設定した。

図 1 に解析対象地盤の有限要素モデルを示す。法勾配が 1:2 である斜面を有する仮想盛土地盤である。表 1 に入力物性値を示す。 ϕ は確率変数であり、表内の数値は正規分布の平均値である。本検討では、正規分布の標

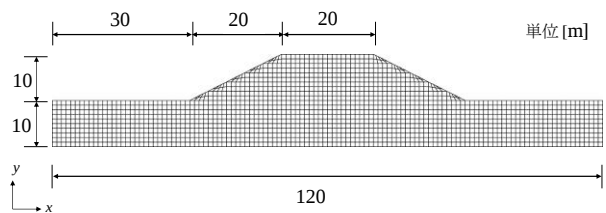


図 1 解析対象地盤

表 1 入力物性値

材料定数	単位	値
ヤング率	E	kN/m ² 42000
ポアソン比	ν	0.35
粘着力	c	kN/m ² 5
内部摩擦角	ϕ	deg 30
ダイレイタンシー角	ψ	deg 0
単位体積重量	γ	kN/m ³ 18

キーワード 信頼性解析, モンテカルロシミュレーション, FEM, 斜面安定

連絡先 〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田名 3062-1 東急建設株式会社 技術研究所 土木構造グループ Tel:042-763-9507

準偏差は9 (deg) とした. 図2に入力地震波形を示す. 周期0.8秒, 加速度振幅 1.0m/s^2 とし, 2.0秒間の無加振時間を設けている. 設計水平震度は, 道路土工—盛土工指針²⁾を参考に, $K_h=0.2$ と設定した.

3. 解析結果

図3に斜面安定解析および動的解析のMCSより得られた斜面の全体安全率 F_s と天端左端の残留沈下量の確率分布を示す. 図内実線は確率分布の平均値, 破線は平均値 $\pm$ 標準偏差の値を示している. 両者ともに設計上危険側となる方向(F_s では左側, 残留沈下量は右側)に分布の裾が伸びる形状を示している.

図4に, 斜面の全体安全率 F_s を横軸に, 天端左端の残留沈下量を縦軸にとったものを示す. 破線は図3に示した平均値 $\pm$ 標準偏差の線と対応している. 図4より, F_s の低下に伴い残留沈下量は増加する傾向にあり, これは既往の研究と矛盾しない. 加えて, F_s の低下に伴い残留沈下量のばらつきが増加する傾向が見受けられる. 特に, F_s の値が平均値-標準偏差の値を下回ると, F_s の値が同程度であっても, 残留沈下量の値は他の領域に比べ大きな幅を伴って分布しており, ばらつきが急激に増加していることがわかる. この傾向を踏まえると, 地震動を受ける斜面の残留変位量の評価に関して, 単に全体安全率 F_s と残留変位量の相関性を検討するだけでなく, 地震時の斜面の全体安全率 F_s の増減に対する残留変位量のばらつきの変化を把握することが今後は重要となると考えられる.

4. まとめ

本検討で得られた主な知見を示す.

- 1) F_s , 残留沈下量の確率分布はともに設計上危険側に裾が伸びる形状を示した.
- 2) 地震動を受ける斜面の残留沈下量のばらつきは F_s の低下に伴い増加する.

参考文献

- 1) 三好忠和, 常田賢一: 盛土の耐震性評価における地震動の影響と残留変位量の簡易推定法について, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.72, No.4, I_733-I_747, 2016.
- 2) 日本道路協会: 道路土工—盛土工指針 (平成22年度版), 2010.

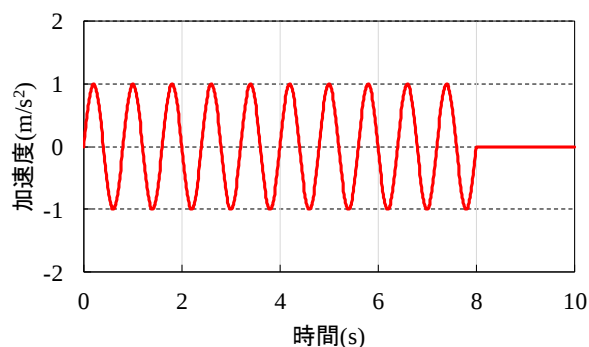


図2 入力地震波形

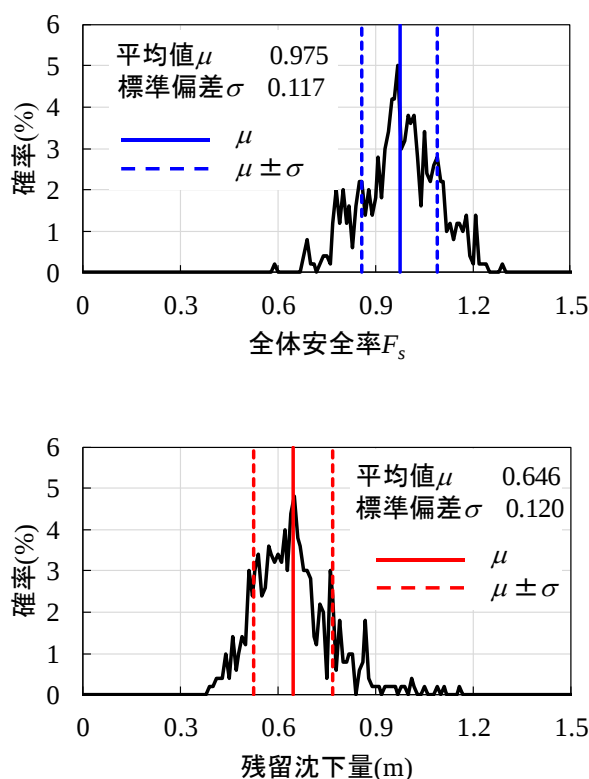


図3 MCSから得られた確率分布
(上: 斜面安定解析による全体安全率 F_s ,
下: 動的解析による天端左端の残留沈下量)

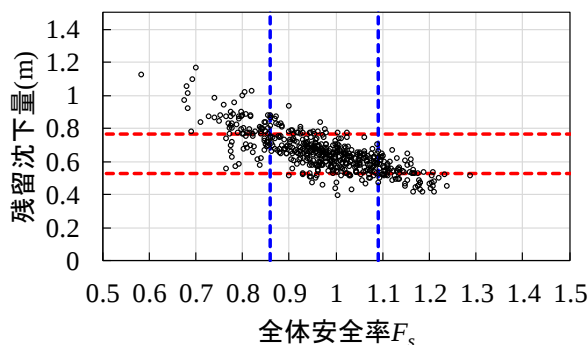


図4 全体安全率 F_s - 残留沈下量関係