

不均質盛土地盤の地震応答に関する基礎的研究
— 物性値の統計的ばらつきについての検討 —

群馬大学 学生会員 ○佐竹 亮一郎
群馬大学 学生会員 山本 優介
群馬大学 正会員 若井 明彦

1. はじめに

地質学的に同種と判断される地層内においても土の物性は一様ではなく、不均質性を有することが知られている。しかし、従来の設計法では、材料を均質と仮定して設計が行われてきた。今後は、このような不均質性を確率論に基づいて定量的に評価する信頼性設計法のような考え方が重要である。そこで本検討では、その基礎的研究として、信頼性理論に基づく有限要素解析を実施し、各材料定数の不均質性が地震時における地盤の応答値の不確実性に与える影響を検討する。

2. 検討対象

検討対象の盛土地盤を図 1 に示す。盛土と基礎部分は同種の材料で構成されている。この対象地盤の材料定数を表 1 に示す。

3. 不均質性のモデル化

不均質性を考慮する材料定数は正規分布に従う確率変数であると仮定する。また、地盤内では材料定数の値は互いに相関性を有しており、空間的な距離の増加に応じて相関性が低下していく性質がある。このような距離に応じた相関性の低減を近似した関数として、指数型の自己相関関数を仮定した。本検討では、式(1)を2次元に拡張した式(2)を使用した。ここで、 ρ は距離 r だけ離れた地点における物性値の自己相関係数であり、 L は自己相関距離という定数である。また、 L と r の添字 x と y は水平方向と鉛直方向を表す。本研究では、 $Lx=5[m]$ 、 $Ly=1[m]$ と仮定した。

$$\rho = \exp \left[-\frac{r}{L} \right] \tag{1}$$

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

4. 有限要素法

地震応答解析の手法としては、2次元弾塑性有限要素法を使用し、対象地盤を図 1 のような有限要素に分割した。要素の標準サイズは1[m]×1[m]である。また、8節点アイソパラメトリック要素を使用し、土の構成則には UW モデル¹⁾を用いた。

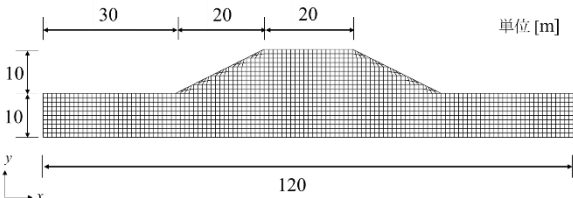


図 1 対象盛土地盤

表 2 検討ケース

ケース名	確率変数	変動係数(V)	入力加速度振幅(A) [m/s ²]
均質	-	-	3
E	ヤング率	0.1, 0.3, 0.5	3
tan φ	内部摩擦角	0.1, 0.3, 0.5	3
γ	単位重量	0.03, 0.10, 0.17	3
c	粘着力	0.1, 0.3, 0.5	3

5. 検討概要

検討ケースを表 2 に示す。不均質性を考慮した場合との比較のため、材料定数に表 1 の一定値を用いた均質ケースについても検討した。不均質ケースについては、盛土の残留変位量に与える影響が比較的大きいと考えられるヤング率、内部摩擦角、単位重量、粘着力をそれぞれ確率変数とする。その際、例えばケース E では、ヤング率のみを確率変数とし、対象地盤全体におけるヤング率の平均値が均質ケースと同じ 42000[kN/m²]になるよう設定した。他のケースについても同様である。材料定数のばらつきを表す指標として、標準偏差を

表 1 材料定数

ヤング率	ポアソン比	粘着力	内部摩擦角	ダイレイタン シー角	履歴減衰パラメータ		レイリー減衰パラメータ		単位重量
E [kN/m ²]	ν	c [kN/m ²]	ϕ [deg]	ψ [deg]	$b \cdot \gamma_{G0}$	n	α	β	γ [kN/m ³]
42000	0.35	5	30	0	9	1.47	0.251	0.00357	18

キーワード 不均質性, FEM, 地震応答解析, モンテカルロ・シミュレーション, 信頼性設計法
連絡先 〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1 群馬大学大学院理工学府 TEL 0277-30-1621

平均値で除して正規化した変動係数を用いる。また、本研究の目的である、材料定数の不均質性が地震時における地盤の応答値の不確実性に与える影響について検討するため、文献²⁾を参考に変動係数(V)を各ケース3通りずつ想定した。次に、入力地震波を図2に示す。特定の地震波を使用した場合、その地震波特有の傾向が応答値の不確実性に影響を及ぼすことが考えられるため、本検討では正弦波を用いた。加速度振幅は $A=3$ [m/s^2] である。また、対象地盤の1次固有周期帯は約 0.8 [s] であることが予備解析の結果から得られており、入力地震波の周期についても 0.8 [s] とした。

6. 均質ケース

均質ケースの結果を示す。図3と図4は、図2の地震波を対象地盤の底面に入力した時の残留変位図と残留せん断ひずみ分布である。これらの図より、斜面法尻から天端にかけて、円弧状に塑性化領域が生じていることが確認できる。この時の残留沈下量は、天端両端で共に 1.57 [m] であり、天端中央で 1.22 [m] であった。

7. 各不均質ケースのMCS結果

モンテカルロ・シミュレーション(MCS)の試行回数は、各不均質ケースの変動係数(V)ごとにそれぞれ300回とした。ケースE、変動係数 $V=0.5$ の場合の天端左端残留沈下量の分布を図5に示す。図中の点線が残留沈下量の平均値であり、実線が均質ケースの残留沈下量である。この図の場合では、試行回数300回のうちの約70%の試行で残留沈下量が均質ケースの残留沈下量を上回る結果となった。また、図6は変動係数(V)に対する天端左端残留沈下量の標準偏差をまとめたものである。

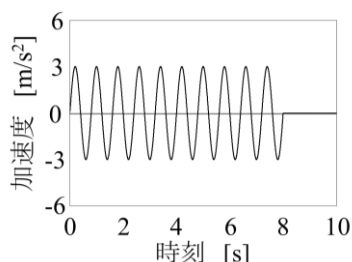


図2 入力地震波

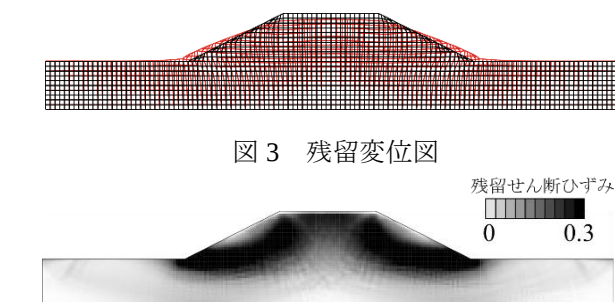


図3 残留変位図

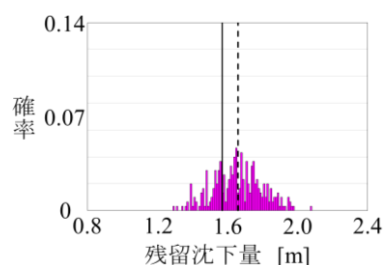


図5 ケースE, $V=0.5$ の天端左端残留沈下量の確率分布

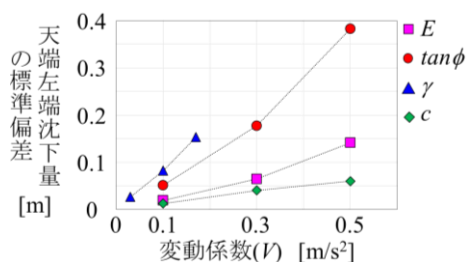


図6 天端左端残留沈下量の標準偏差

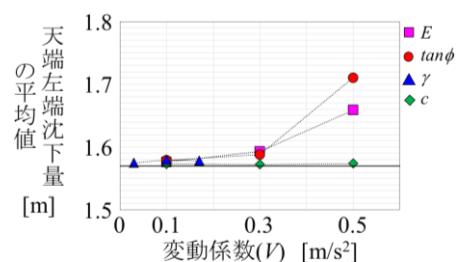


図7 天端左端残留沈下量の平均値

いずれの不均質ケースにおいても、変動係数(V)の増加、すなわち不均質性の増加に伴い、残留沈下量の不確実性も増加しており、特に本検討の範囲内では、内部摩擦角($\tan\phi$)の不均質性が残留沈下量の不確実性に顕著な影響を及ぼしている。最後に、図7は変動係数(V)に対する残留沈下量の平均値を示したものである。図中の実線は均質ケースの残留沈下量を表す。ケースEやケース $\tan\phi$ に関しては、変動係数(V)が 0.5 のように比較的大きい場合、残留沈下量の平均値が均質ケースよりも危険側にあることが分かる。

8. まとめ

今回検討を実施した、いずれの材料定数についても、不均質性の増加に伴い、残留沈下量の不確実性が増加した。そのうち、内部摩擦角やヤング率のように強度や剛性に強い影響を与えるパラメータに関しては、材料定数のばらつきが著しい場合、残留沈下量が均質地盤の場合よりも全体的に危険側に分布する結果となった。したがって、均質材料を仮定した従来の解析手法では残留沈下量を過小評価する可能性があり、性能照査上危険であると考えられる。

参考文献

- 1) Wakai, A., Ugai, K. (2004): A Simple Constitutive Model for The Seismic Analysis of Slopes and Its Applications, Soils and Foundations, Vol.44, No.4, pp.83-97.
- 2) Phoon, K. K. and Kulhawy, F. H. (1999): Characterization of geotechnical variability, Canadian Geotechnical Journal, Vol.36, pp.612-624.