

不均質盛土地盤の地震応答に関する基礎的研究

— 地震動入力レベルについての検討 —

群馬大学 学生会員 ○山本 優介
 群馬大学 学生会員 佐竹 亮一郎
 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、地震動入力レベルが不均質地盤の応答値の不確か性に与える影響について検討する。

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。

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

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

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。

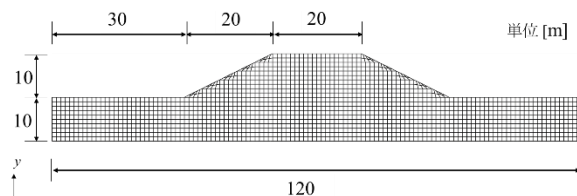


図1 対象盛土地盤

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	-	-	1, 3, 5
E	ヤング率	0.3	1, 3, 5
tan φ	内部摩擦角	0.3	1, 3, 5
γ	単位重量	0.1	1, 3, 5
c	粘着力	0.3	1, 3, 5

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、標準偏差を平均値で除して正規化した変動係数を用いる。各ケー

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部 TEL 0277-30-1621

スの変動係数は既往の研究から値を決定した²⁾。また、本研究の目的である、地震動入力レベルを変えた場合について検討するため、各ケースにおいて加速度振幅(A)を変えた3種類の地震波を用いてモンテカルロ・シミュレーションを行った。入力地震波の1つを図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結果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使用した。加速度振幅は $A=1, 3, 5[\text{m/s}^2]$ である。また、対象地盤の1次固有周期帯は約 $0.8[\text{s}]$ 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 $0.8[\text{s}]$ と設定した。いずれの地震波についても、加速度振幅(A)以外は全て同じ条件である。

6. 均質ケース

均質ケースの結果を示す。図3および図4は、加速度振幅 $A=5[\text{m/s}^2]$ の地震波を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。加速度振幅 $A=1[\text{m/s}^2]$ と $3[\text{m/s}^2]$ についても同様の傾向であった。この時の天端の左端と中央および右端の残留沈下量を表3に示す。

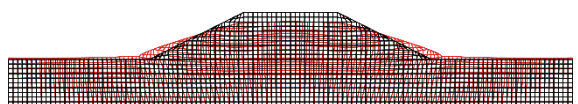


図3 残留変位図

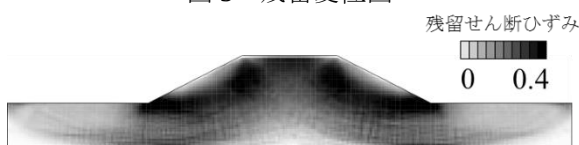


図4 残留せん断ひずみ分布

表3 均質ケースの残留沈下量

入力加速度振幅(A) [m/s^2]	天端残留沈下量 [m]		
	左端	中央	右端
1	0.62	0.35	0.61
3	1.57	1.22	1.57
5	2.31	1.93	2.31

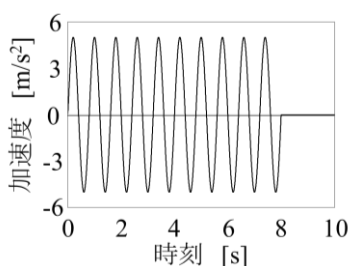


図2 入力地震波(加速度振幅 $A=5[\text{m/s}^2]$)

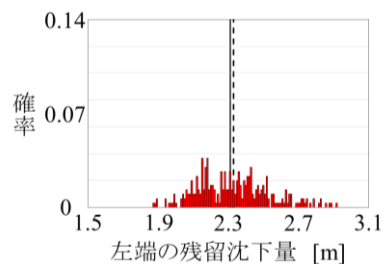


図5 ケース $\tan\phi$, $A=5[\text{m/s}^2]$ の天端左端残留沈下量の分布

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入力加速度振幅(A)ごとにそれぞれ300回とした。ケース $\tan\phi$, 加速度振幅 $A=5[\text{m/s}^2]$ 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。このケースでは、残留沈下量の分布の裾(残留沈下量が多い側)が対数正規分布のように設計上の危険側に伸びている。また、試行回数300回のうちの半数近く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。次に、図6は入力加速度振幅(A)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。いずれの不均質ケースにおいても、入力加速度振幅(A)の増加に伴い、残留沈下量の不確実性が増加しており、特に内部摩擦角($\tan\phi$)が残留沈下量の不確実性に顕著な影響を与えることがわかる。この要因として、せん断強度を支配する内部摩擦角と粘着力のうち、今回対象とした地盤が内部摩擦角の優勢な地盤であるため、内部摩擦角が残留沈下量の不確実性に大きな影響を与えたと考えられる。

8. まとめ

検討を実施した、いずれの材料定数についても、地震動の規模の増加に伴い、残留沈下量の不確実性が増加した。そのうち、内部摩擦角に不均質性を与えた場合については、残留沈下量の分布の裾が常に危険側に伸びる傾向を示したことから、材料に均質を仮定する従来の解析では、沈下量を過小評価してしまう可能性があり、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.

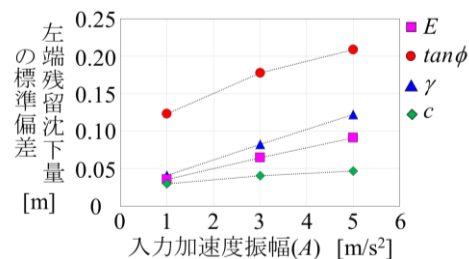


図6 天端左端残留沈下量の標準偏差