

地盤の空間的不均質性を考慮した地震時盛土の安定性評価に関する研究 — 地盤種別の違いによる検討 —

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○田中 博文
神戸大学都市安全研究センター 正会員 沖村 孝
神戸大学都市安全研究センター 正会員 鳥居 宣之

1. はじめに

地盤は本来不均質性を有しているにも関わらず、現行の設計手法では均質であるとの仮定に基づき、その不均質性について詳細に考慮されることは無い。しかしながら、設計手法としての解析精度の向上もさることながら、設計に用いる入力物性値に対する検討も重要であると考えられる。そこで、著者らは盛土構造物を対象に、本来地盤が有している空間的不均質性について考慮した場合に、残留変位量および応答加速度に与える影響についてモンテカルロシミュレーションによる信頼性解析を用いて検討を行った¹⁾。その結果、地盤の空間的不均質性が残留変位量に与える影響が非常に大きく、しかも残留変位量を増大させる傾向にあることがわかった。しかしながら、これはある一つの地盤条件での検討であったため、異なる地盤条件でも同様の傾向が得られるかを確認する必要があると考えられる。そこで、本研究では複数の地盤条件に対して同様の検討を行い、空間的不均質性が地震時盛土の安定性に与える影響について検討する。

2. 解析モデルおよび条件

地盤の空間的不均質性は、2次元正規確率場²⁾によりモデル化を行った。不均質性を考慮するパラメーターとしては、強度定数 c, ϕ およびせん断波速度 V_s とし、これらの不均質パラメーターは正の相関関係にあると考え、2次元正規乱数を用いて関係付けた¹⁾。

地震応答解析手法には、弾塑性有限要素法を用いた。解析モデルには図-1に示す左右対称な両盛りの盛土を用い、基礎地盤としては3ケース設定した。ケース1として上層に沖積砂層1、下層に沖積粘土層を配置した互層モデル、ケース2として全層が沖積砂層1のモデル、ケース3として全層が沖積砂層2のモデルである。モデルの境界条件については、底面は完全固定、側面は水平固定・鉛直自由とした。地盤の入力物性値は、表-1に示すものとした。ここで、 COV_G は地盤の変動係数である。入力地震動には、図-2に示す鉄道構造物等設計標準の設計地震動（L2地震動スペクトルⅠおよびⅡ、G1地盤用）³⁾を用いた。Rayleigh減衰は、周期帯0.2~2.0secで3%の減衰を与える値に設定した。信頼性解析におけるモンテカルロシミュレーションの試行回数は300回とした。

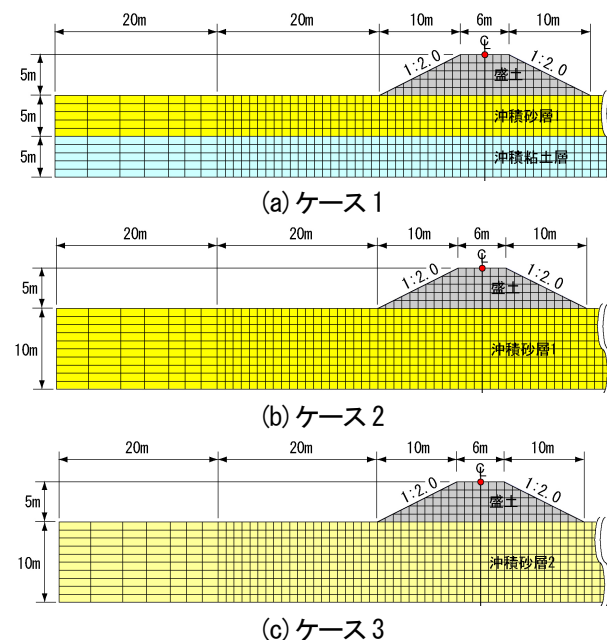
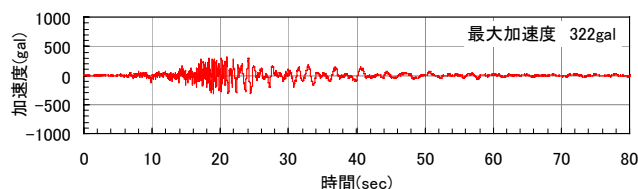
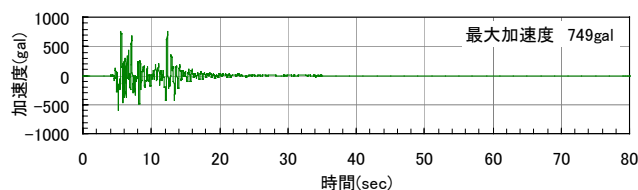


図-1 解析モデル



(a) L2地震動(スペクトルⅠ)



(b) L2地震動(スペクトルⅡ)

図-2 入力地震動

表-1 入力物性値および不均質地盤モデルのパラメーター

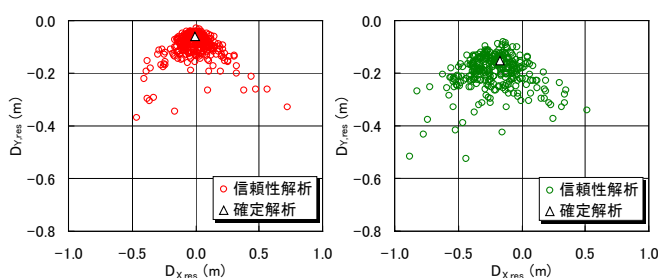
地盤種別	単位体積重量 $\gamma_s(\text{kN/m}^3)$	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	ポアソン比 ν	せん断波速度 $V_s(\text{m/sec})$	変動係数 COV_G	相関係数 ρ	相関長さ bx(m) bz(m)
盛土	18.5	5	25	0.30	160	0.15	0.75	10 2
沖積砂層1	17.5	0	35	0.25	190	0.20	0.75	25 2
沖積砂層2	17.0	0	30	0.20	140	0.25	0.75	15 2
沖積粘土層	16.5	60	0	0.40	200	0.10	0.75	50 2

キーワード 盛土, 空間的不均質性, 信頼性解析, 残留変位量, 地盤種別, 有限要素法

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台 1-1 神戸大学都市安全研究センター TEL 078-803-6431

3. 解析結果

図-3には、信頼性解析を行った結果得られた一例として、ケース1の互層モデルにおける盛土天端中央における残留変位量に着目し、縦軸に鉛直方向、横軸に水平方向の残留変位量を示している。これより、信頼性解析値は確定解析値に近い値を多くとりながらも、確定解析値を大きく上回る値を得るケースも見受けられる。さらに、鉛直方向のみでなく、水平方向にも大きな残留変位量が生じていることから、空間的な地盤の不均質性を考慮することにより、左右対称な盛土形状においても、どちらかに卓越したすべり面が形成される傾向にあることがわかる。ケース2およびケース3の単層で構成された地盤モデルにおいても、同様の傾向が得られていた。



(a) L2 地震動(スペクトル I) (b) L2 地震動(スペクトル II)
図-3 盛土天端の残留変位量

つぎに、地盤の不均質性の影響をより定量的に評価するため、信頼性解析値の変動係数 COV_R ならびに変化率 R_C を算定した。信頼性解析値の変動係数 COV_R とは、信頼性解析値の標準偏差 σ_R を信頼性解析値の平均値 μ_R で除したもので、変化率 R_C とは、信頼性解析値の平均値 μ_R を確定解析値 μ_D で除したものととして、それぞれ定義される値である。

図-4には、各ケースにおける盛土天端での最大水平応答加速度ならびに残留変位量の変動係数 COV_R を示している。入力地震動や地盤ケースによらず最大水平応答加速度の変動係数 $COV_{R,AX,max}$ は0.1程度であり、地盤の変動係数 COV_G と比較して同程度であるので、地盤の空間的不均質性の影響は小さいといえる。一方、残留変位量の変動係数 $COV_{R,DY,res}$ はL2地震動スペクトルIの方が若干大きく得られる傾向にある。また、ケース1、ケース3、ケース2の順に大きく得られており、その絶対値も0.36~0.71となっていることから、残留変位量は地盤の空間的不均質性の影響を非常に大きく受けるといえる。

図-5には、各ケースにおける盛土天端での最大水平応答加速度ならびに残留変位量の変化率 R_C を示している。最大水平応答加速度の変化率 $R_{C,AX,max}$ についても、入力地震動や地盤ケースによらず、1.0よりも小さい値が得られているものの、0.82~0.96程度とその低下傾向は若干であり、地盤の空間的不均質性の影響は小さいといえる。一方、残留変位量の

変化率 $R_{C,DY,res}$ については、入力地震動による明確な差異はないものの、全ての検討ケースにおいて1.0以上となっており、特にケース2のL2地震動スペクトルIIにおいては2.5を示している。すなわち、地盤の空間的不均質性を考慮することにより、残留変位量は増大する傾向にあることがわかり、その増大割合も数十%と非常に大きなものである。

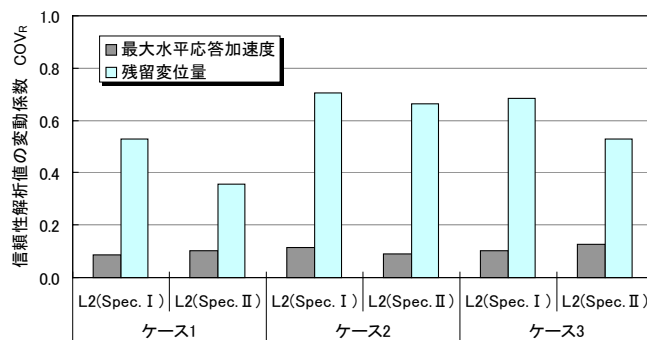


図-4 信頼性解析値の変動係数

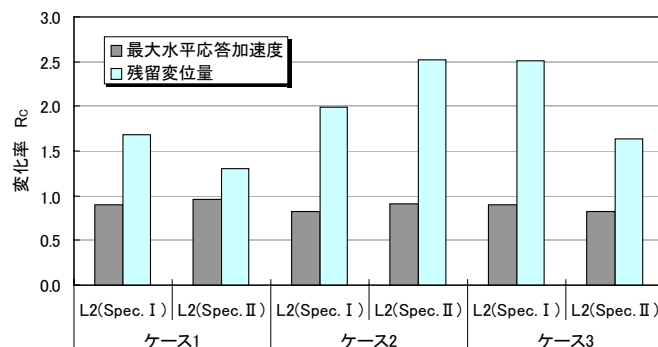


図-5 変化率

4. まとめ

地盤の種別の違いにより、盛土の動的応答特性に地盤の空間的な不均質性が与える影響を検討するため、モンテカルロシミュレーションによる信頼性解析を行い、信頼性解析値の変動係数および変化率を算定した。その結果、地盤種別が異なっても、最大水平応答加速度に与える影響は比較的小さなものであったが、盛土の耐震性能として非常に重要である残留変位量に与える影響は非常に大きく、残留変位量を増大させる傾向にあることがわかった。このことは、残留変位量によって盛土の性能設計を行う場合、地盤の空間的不均質性を考慮する必要があることを示していると思われる。

参考文献

- 1) 田中博文, 沖村孝, 鳥居宣之: 地盤の空間的不均質性を考慮した地震時盛土の安定性評価に関する研究, 第49回地盤工学会概要集, 2005 (投稿中)。
- 2) Shinozuka, M.: Digital simulation of random processes in engineering mechanics with the aid of FFT techniques, *Stochastic problems in mechanics*, pp.277-286, 1974.
- 3) (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説, 耐震設計, pp.64-70, 1999.