

大阪大学大学院 学生員 ○谷村 浩輔
 大阪大学大学院 正会員 小田 和広
 大阪大学大学院 正会員 常田 賢一
 大阪大学大学院 学生員 江川 祐輔

1. はじめに

2004 年中越地震の発生以来、道路盛土に対する耐震対策の必要性が指摘されている。経済的な耐震対策工法の開発を進める上で、地震時における盛土の動的変形挙動、特に終局変形状態の推定が必要となっている。土の地震時挙動の推定のために、様々な動的解析手法が開発されているが、現地の発生土を使い、また、不飽和状態で締固められている盛土の動的挙動全般を正確に再現することは難しい。そこで、本研究では、盛土の地震時挙動のうち、特に安定挙動に着目し、それに対する弾塑性有限要素法に基づく静的な極限解析手法の適用性について検討する。

2. 数値解析の概要

数値解析には弾塑性有限要素法を用いた。降伏関数として Drucker-Prager の基準を用い、非関連流れ則を適用した。弾塑性計算においては、解析の安定を図るため、リターンマッピング法¹⁾を用いた。さらに、変位の制御方法として超球面型拘束条件²⁾による弧長増分法を用いた。

解析では、まず、初期状態を決定するために自重解析を行う。その後、盛土内の加速度応答パターンを仮定し、その応答パターンに応じて水平方向に加速度を与える。盛土全体の変位を制御しながら加速度を増加させることで盛土の水平耐力と最終的な変形状態を得る³⁾。

今回の研究では、盛土の動的破壊挙動に関する遠心模型実験⁴⁾を解析対象とした。図 1 は模型盛土と計測器配置を示している。模型盛土はシルトが主成分の含水比 5% の不飽和な DL クレーからなり、高さは約 290mm、幅は約 640mm であった。図中の△は加速度計、□はベンダーエレメントを示している。○が列状に連なっているのは変形を目視するための色砂を示している。更に、矢印は地表面において計測された変位を示している。また、この実験は 30g 場で行われたことからプロトタイプは高さ約 9m、天端の幅 6m および底面の幅 19.5m となる。数値解析ではプロトタイプを対象としてモデル化を行った。図 2 は解析モデルと境界条件を示している。

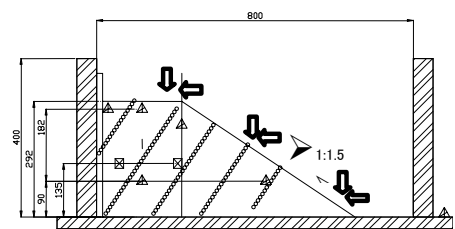


図 1 模型盛土と計測器配置

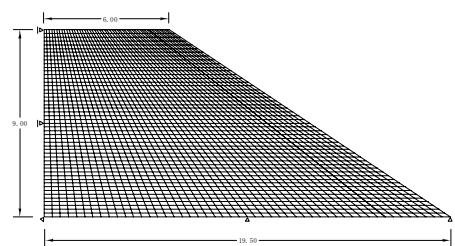


図 2 解析モデルと境界条件

表 1 は三軸試験から得られた DL クレーの強度定数を示している。

表 2 は解析ケースを示している。まず、盛土内の加速度応答が一様であり、ピーク時の強度定数を用いたケースを基準として考え、これを Case-1 とする。次に、加速度応答のパターンを変化させた。その基準ケースから、模型実験により計測された入力加速度の結果⁴⁾より、図 3 に示すように高さに比例して加速度が増加する応答パターンを Case-2、また、動的解析に基づき決定された応答パターン(図 4)を Case-3 とする。Case-2 および Case-3 では、ピーク強度だけではなく、残留強度を用いた解析も行った。

表 1 DL クレーの強度定数

	内部摩擦角 Φ (deg)	粘着力 C (kg/cm ³)
ピーク強度	36.3	0.22
残留強度	31.0	0.20

表 2 解析ケース

Case-1	基本ケース（加速度応答一様、ピーク強度）
Case-2-P	加速度応答が高さに比例して増加（ピーク強度）
Case-2-R	加速度応答が高さに比例して増加（残留強度）
Case-3-P	加速度応答を動的解析を利用して推定（ピーク強度）
Case-3-R	加速度応答を動的解析を利用して推定（残留強度）

3. 解析結果

表 3 は各ケースにおける最大水平震 (K_h) を示している。模型実験では最大入力加速度の値は 350~520(gal), 水平震度に換算して 0.36~0.53 ですべり破壊が生じた⁴⁾。このことから Case-2-P と Case-3-P が K_h を適切に再現できたと考えられる。図 5 は Case-2-P における最終段階でのせん断ひずみの分布を示している。また、図 6 は模型実験におけるすべり破壊形態を示している。解析結果から推察されるすべり線の位置は実験において観察されたものよりもかなり深い。そこで、模型実験において観察されたすべり線に一致させるべく加速度比の分布と強度定数をパラメータとしたパラメトリックスタディーを行った。その結果、図 4 の加速度比の分布に加え、粘着力としてピーク強度におけるその 1/3 程度の値を与えたとき、模型実験におけるすべり線の位置とほぼ一致した(図 7)。ただし、 K_h は 0.15 であり、模型実験の結果と一致しない。

表 3 最大水平震度(K_h)

	Case-1	Case-2	Case-3
ピーク強度	0.54	0.35	0.41
残留強度		0.33	0.35

4. まとめ

1) 盛土内の加速度分布を考慮し、ピーク時の強度定数を用いれば、最大水平震度は模型実験におけるそれを説明できるが、すべり線の位置は再現できない。

2) 盛土内の加速度分布を考慮し、ピーク時の粘着力の 1/3 程度のそれを用いれば、模型実験におけるすべり線の位置を再現できるが、最大水平震度は説明できない。

参考文献

- 1) Simo, J. C. et al, 1986, A return mapping algorithm for plane stress elastoplasticity, Int. J. for Num. Meth. in Eng., Vol. 22, pp.649-670.
- 2) Crisfield, M.A., 1991, Non-linear finite element analysis of solid and structures, Vol.1, John Wiley & Sons.
- 3) 谷村他, 2006, 道路盛土の地震時性能評価に対する弾塑性極限解析手法の適用性,
- 4) 吉野他, 2006, 道路盛土の滑り破壊に関する模型実験, 第 41 回地盤工学研究発表会(投稿中)

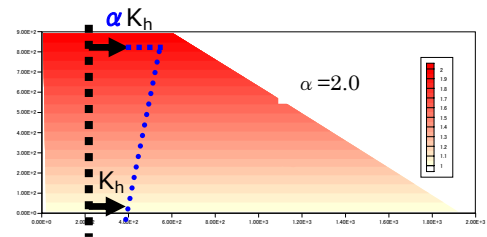


図 3 加速度比の分布(Case-2)

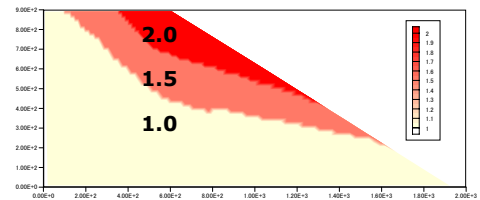


図 4 加速度比の分布(Case-3)

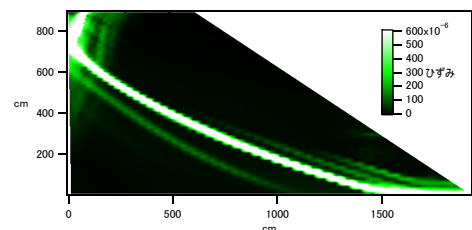


図 5 最終段階でのせん断ひずみ分布 (Case-2-P)

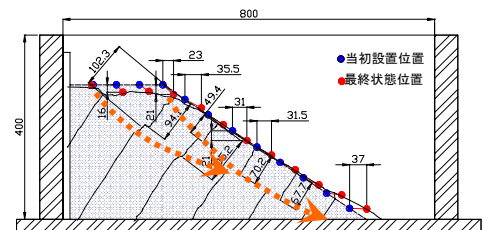
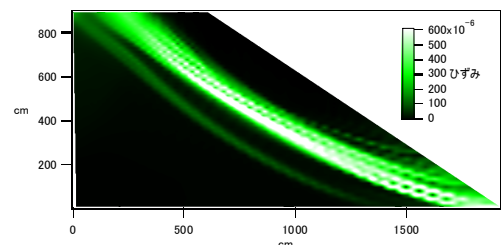
図 6 模型実験におけるすべり破壊形態⁴⁾

図 7 最終段階でのせん断ひずみの分布