

地震時に生じる盛土の円弧すべり面に関する検討

東海旅客鉄道 正会員 ○大木 基裕
東海旅客鉄道 フェロー 関 雅樹
名古屋大学 正会員 中野 正樹
名古屋大学 正会員 酒井 崇之

1. はじめに

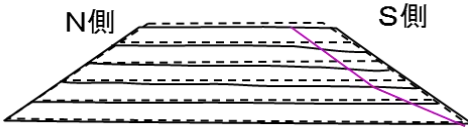
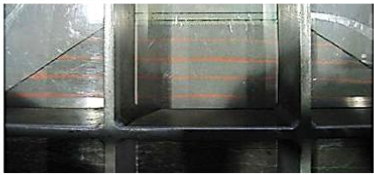
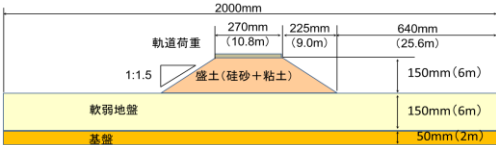
近年、盛土の設計においても性能規定化が導入され、評価指標として沈下量が目安となり、沈下量を算出する方法として Newmark 法が適用されている。Newmark 法では安定計算に基づく剛塑性的な挙動を想定し抵抗モーメントを上回る滑動モーメントを積分し変形量を求めるものであり、簡便な手法である一方、円弧すべり面の設定には経験的要素が多いといわれている。本稿では、動的遠心模型実験および、土の構成式に骨格構造の働きを記述する SYS カムクレイモデル¹⁾を搭載した、動的／静的水～土連成有限変形解析プログラム GEOASIA (All Soils All States All Round Geo-Analysis Integration)²⁾³⁾により盛土の変形挙動を再現し、せん断ひずみ分布及び有限要素の変形挙動から、円弧すべり面を設定する際の着眼点について考察する。

2. 動的遠心模型実験結果

筆者らは、動的遠心模型等による実験的検証に基づき大規模地震時における盛土の破壊形態を 5 つに分類し、盛土の円弧すべりを C 型としている。C 型を再現した動的遠心模型実験の模型概況 (1/40 スケール) および残留状況を図 1 に示す。実験条件は、盛土高さ 6m、地盤は粘土地盤 (N 値=6 相当)、入力地震動は想定東海地震動である。これより、のり肩からのり尻にかけてメッシュの乱れが確認され、円弧すべりが生じている⁴⁾。

3. 解析条件と結果

実験後に地盤および盛土から採取した試料を用いた三軸試験の結果から、解析に用いるパラメータを設定した。表 1 に材料定数を示す。地盤、盛土については、模型実験終了後に試料を採取し室内力学試験を実施している。粘土地盤、砂質地盤、基礎の碎石層のパラメータについては阪本ら⁵⁾が示したように、SYS カムクレイモデルで応答を再現することにより材料定数を決定した。盛土の材料定数については、模型実験における地震動を作用させる直前の状態 (初期状態) における土被り圧を考慮した密度に換算し、値を設定した。解析に用いた盛土－地盤連成モデルの有限要素メッシュと境界条件を図 2 に示す。遠心模型実験と同サイズ (縦 20cm×横 200cm) の全断面を解析領域とした。盛土、地盤ともに 2 次元の平面ひずみ条件で完全飽和とし、水～土 2 層系の弾塑性有限要素で表現した。1 要素は 1.25cm×1.25cm である。地盤と盛土の上面は水压を常にゼロ (大気圧条件) に保ち、地盤の側面と底面は非排水境界、盛土底面と地盤の境界は排水境界としている。



粘土地盤N=6 盛土高さ6m

図 1 実験結果

表 1 材料定数

定数	盛土	地盤 (粘土)	地盤 (砂)	基礎 (碎石)
弾塑性パラメータ				
圧縮指数 λ	0.052	0.06	0.04	0.05
膨潤指数 κ	0.008	0.025	0.006	0.012
限界状態定数 M	1.15	1.10	1.25	1.00
NCL の切片 Γ	1.88	1.61	1.86	2.00
ポアソン比 ν	0.2	0.3	0.1	0.3
発展側パラメータ				
正規圧密土化指数 m	0.04	1.2	0.02	0.06
構造劣化指数 a	3.0	0.66	0.001	2.2
構造劣化指数 b	1.0	1.0	1.0	1.0
構造劣化指数 c_s	0.8	1.0	1.0	1.0
回転硬化指数 b_r	0.001	0.001	1.0	3.5
回転硬化限界定数 m_b	0.4	1.0	0.2	0.7

キーワード 盛土, 円弧すべり, 動的遠心模型実験, 有限変形解析

連絡先 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545-33 J R 東海 総合技術本部技術開発部 TEL 0568-47-5375

図3に地震動終了直後の盛土-地盤モデルに生じたせん断ひずみ分布を示す。盛土のり尻底部でせん断ひずみが卓越している。また、地盤においては、盛土のり尻直下でせん断ひずみが発現している。一方、のり面におけるせん断ひずみの分布は、のり肩からのり面中腹にかけて、せん断ひずみが生じていない領域が形成されている。

4. 考察(メッシュ要素の応力ひずみ関係)

解析結果をもとに、メッシュ要素の挙動を検討する。図4に着目したメッシュ要素の幾何学的な概要を示す。盛土底部から高さ1.5mの5つの連続する要素(1032~1144)は、のり面からの水平距離が3.4~5.0m、のり面直行方向の距離は1.9m~2.8mに位置する。また、盛土底部から高さ3.0mの5つの連続する要素(1007~1119)は、のり面からの水平距離が2.4~3.7m、のり面直行方向の距離は1.4m~2.1mの位置にある。図5に各要素における、加振中の応力~ひずみ関係を示す。高さ1.5mの連続要素(1032~1144)では、要素1116まではせん断ひずみが増加傾向にあるが、要素1144では、せん断ひずみが減少している。要素1116は、のり面直行方向に対し、約2.6m程度の深さにある。同様に、高さ3.0mの連続要素(1007~1119)では、のり面から3つ目の要素(1063)までは、加振中のせん断ひずみが約3%でとどまっているのに対し、これより深い要素ではせん断ひずみが急激に増加していることがわかる。これより、のり面直行方向2m程度の範囲は、せん断ひずみが顕著に発現せず、土塊として挙動する範囲であるとみなせる。これは、模型実験においてメッシュが変形した範囲と対応しており、定性的に実験結果を説明している。

5. まとめ

今回検討した地盤や盛土高さの条件においては、のり尻におけるせん断ひずみが顕著に発現していることから、のり尻を通過する円弧すべり面を規定することが実際の破壊機構と合致すると考えられる。また、のり肩からのり面にかけて土塊として挙動する領域(せん断ひずみコンターの青い部分)が確認され、その範囲は深さ2m程度であった。この結果は地山補強土工法等の仕様決定の目安となると考えられる。

参考文献

- 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K., Nakano, M.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.5, pp.47-57, 2002.
- 2) Asaoka, A. and Noda, T.: All soils all states all round geo-analysis integration, *International Workshop on Constitutive Modelling -Development, Implementation, Evaluation, and Application*, HongKong, China, pp.11-27, 2007.
- 3) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, *Soils and Foundations*, vol.48, No.6, pp.771-790, 2008.
- 4) 関ら：地震時における盛土の破壊と対策の有効性に関する実験検証，第21回中部シンポジウム論文集，No.12, 2009.
- 5) 阪本ら：地震時の不整形地盤・盛土の連成系の数値解析的検討，第21回中部シンポジウム論文集，No.13, 2009.

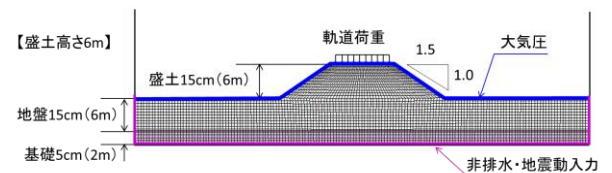


図2 解析モデル

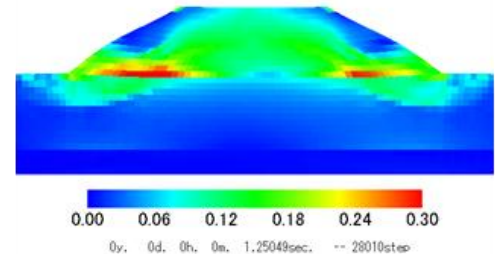


図3 せん断ひずみ分布

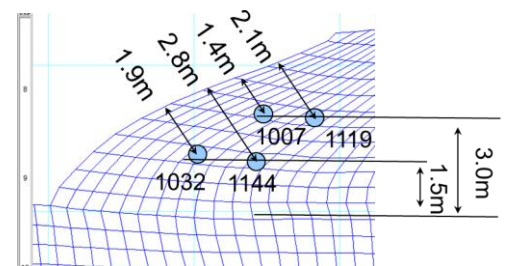


図4 着目したメッシュの位置

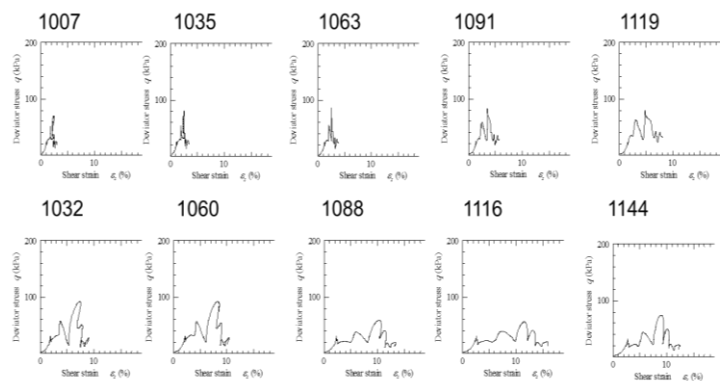


図5 要素の応力ひずみ関係