

Ⅲ - A 156 有効応力解析法による盛土の動的遠心模型実験のシミュレーション

建設省土木研究所 正員 岡村 未対  
正員 松尾 修

はじめに

今日では盛土のような土構造物についても地震時の変形量を定量的に評価することが求められるようになってきた。本研究では、近年精力的に開発が進められている有効応力に基づく動的

解析法の解析コード LIQCA<sup>1)</sup>を用い、基礎地盤の液状化により盛土が大きく沈下した遠心模型実験のシミュレーションを行い、その適用性を検討した。

実験の概要とパラメータの設定

本研究で解析の対象としたのは、原型寸法で層厚 8m の緩い飽和砂地盤と、高さ 5m、法面勾配 1:2 の盛土からなる地盤の動的遠心模型実験である。同一の地盤条件の模型に対し、入力加速度レベルを変えて行った 2 ケース (Case 5、6) の実験をシミュレートした。それぞれのケースでの入力加速度の時刻歴を図 4 (a)(b) に示す。実験では液状化層は江戸崎砂を一樣な緩い状態(乾燥密度  $\rho_d=1.35\text{g/cm}^3$ ) に締め固めて作成した。遠心加速度を所定のレベル(50G)まで上昇させる間に、地盤表面は 3~12mm 沈下し、加振直前での  $\rho_d$  はおよそ  $1.35\sim 1.47\text{g/cm}^3$  であったものと考えられる。図 1 は 2 種類の密度( $\rho_d=1.38、1.45\text{g/cm}^3$ ) に調節した江戸崎砂の非排水繰返し三軸試験から得られた液状化強度曲線である。DA=5% と 20% の曲線はほとんど一致しており、液状化後に軸ひずみが急激に増加する材料であることがわかる。なお実験の詳細は岡村ら(1999)を参照されたい。

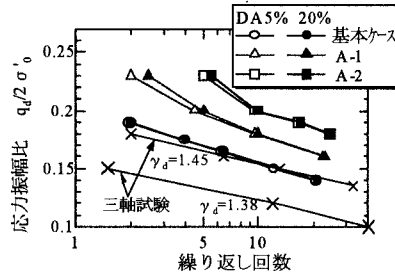


図1 液状化強度曲線

表1 入力パラメータ

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| 圧縮指数 $\lambda$         | 0.138              |
| 膨潤指数 $\kappa$          | 0.014              |
| 過圧密比 OCR               | 1.0                |
| 破壊応力比 $M_f$            | 1.02               |
| 変相応力比 $M_m$            | 0.85               |
| 硬化パラメータ $B_0$          | 70.0               |
| $B_1$                  | $=B_0/50$          |
| $C_r$                  | 0                  |
| ダイレタンシー係数 $n$          | 5.0                |
| $D_0$                  | 1.0                |
| 基準ひずみ $\gamma_{ref}^p$ | 0.028              |
| $\gamma_{ref}^e$       | $=5\gamma_{ref}^p$ |

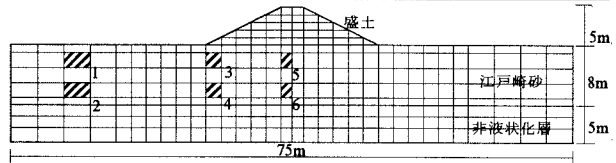


図2 有限要素メッシュ

解析で用いた有限要素メッシュを図2に、また LIQCA の繰返し弾塑性モデルのパラメータを表1に示す。解析では、液状化層の地盤密度が場所によって異なることは考慮せず、実験での平均的な密度を有する一樣な砂層とし、各パラメータを以下のように設定した。圧縮・膨潤指数( $\lambda、\kappa$ )については、三軸試験の等方圧縮過程での  $e\text{-}lmp'$  関係から  $\lambda$  を決め、 $\kappa$  はその 1/10 とした。破壊角、変相角( $M_f、M_m$ )は三軸試験結果から得たものを用いた。また硬化パラメータ  $B$ 、ダイレタンシー係数  $D_0、n$  は試験で得られた DA=5% の液状化強度曲線にフィッティングすることによって設定し、基準ひずみ  $\gamma_{ref}^p$  は液状化後のひずみの増加が試験結果と合うように決定した。以上のようにパラメータを設定し、要素試験のシミュレーションを行って得た液状化強度曲線を図2中に“基本ケース”として示す。解析では、弾完全塑性モデルを用いた初期応力解析により初期応力を設定した後に、実験で計測した振動台の加速度波形を解析底面に入力した。

解析で用いた有限要素メッシュを図2に、また LIQCA の繰返し弾塑性モデルのパラメータを表1に示す。解析では、液状化層の地盤密度が場所によって異なることは考慮せず、実験での平均的な密度を有する一樣な砂層とし、各パラメータを以下のように設定した。圧縮・膨潤指数( $\lambda、\kappa$ )については、三軸試験の等方圧縮過程での  $e\text{-}lmp'$  関係から  $\lambda$  を決め、 $\kappa$  はその 1/10 とした。破壊角、変相角( $M_f、M_m$ )は三軸試験結果から得たものを用いた。また硬化パラメータ  $B$ 、ダイレタンシー係数  $D_0、n$  は試験で得られた DA=5% の液状化強度曲線にフィッティングすることによって設定し、基準ひずみ  $\gamma_{ref}^p$  は液状化後のひずみの増加が試験結果と合うように決定した。以上のようにパラメータを設定し、要素試験のシミュレーションを行って得た液状化強度曲線を図2中に“基本ケース”として示す。解析では、弾完全塑性モデルを用いた初期応力解析により初期応力を設定した後に、実験で計測した振動台の加速度波形を解析底面に入力した。

解析結果と考察

Case 6 の解析から得られた水平地盤部、盛土法先下及び盛土天端下(図2のハッチした 6 要素)における過剰間隙水圧比の時刻歴を実験結果と共に図3に示す。ここでの過剰間隙水圧比は、直上の土被り厚さから求めた有効上載圧で過剰間隙水圧を除いたものである。解析結果は、実験結果と比較して水平地盤部では間隙水圧がやや早まにく上がりきり、また盛土直下の地盤浅部での水圧が低くなっているが、全体的には実験での間隙水圧挙動をよく捉えている。盛土天端の沈下量を図4に示す。解析では入力加速度が大きいほど沈下速度が大き

く、また加振が止まると同時に沈下もほぼ停止し、実験で得られた沈下曲線と同様の曲線形状が解析でも得られたが、解析では沈下量を約 2.5~3 倍過大評価した。図5は実験での天端沈下速度を盛土正味荷重(盛土荷重から沈下して地下水水面以下となった部分が受ける浮力を引いたもの)に対してプロットしたものである。実験では加振加速度が一定の間にも沈下速度が正味荷重と共にほぼ直線的に減少してゆくのに対し、解析では微小変形を仮定しているために速度の急減は見られない。そこで、盛土荷重で除した盛土天端の沈下速度を入力加速度に対してプロットしたのが図6である。沈下速度は入力加速度の増加と共に増大し、盛土正味荷重を考慮した沈下速度で比較すると、解析と実験は良い対応を示していることがわかる。

続いて盛土の沈下量に及ぼす地盤の力学特性の影響を調べるために、地盤の液状化強度、及び液状化後のひずみの伸び方を変えてパラメトリックに解析を行った。解析は、Case6 をシミュレーションし、液状化後のひずみの伸び方をほぼ一定のまま液状化強度(DA5%、N=20 回)を大きく設定したケース A-1、A-2、及び液状化強度をほぼ一定のまま液状化後のひずみの伸び方を変えたケース B-1 について行った。これらのケースの要素シミュレーション結果から得た液状化強度曲線を図1と6に、また基本ケースから変更した繰返し弾塑性モデルのパラメータを表2に示す。

解析から得られた盛土底面沈下量を図8に示す。A-1、A-2 では沈下量は基本ケースよりも若干小さくなっており、DA5%で定義した液状化強度は沈下量に大きな影響を及ぼしていない。これは、液状化強度を増加させた A-1、A-2 においても、入力加速度が地盤を液状化させるのに十分大きかったため、液状化強度の差が天端沈下量に与える影響が小さかったものと考えられる。またケース B-1 では基本ケースと比較して天端沈下量が小さくなっている。これより盛土沈下量の予測には、例えば DA5%の液状化強度曲線だけでなく、液状化後のひずみの増加傾向を合わせるようにパラメータを設定することが重要であるとえられる。

おわりに 本研究を行うにあたり理研・フロンティア研究センターの 渦岡良介氏には貴重な助言を頂いた。記して謝意を表す。

参考文献 (1)Oka et al.(1994):FEM-DEM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Science Research, 52, 209-245 (2)岡村ら(1999):液状化性地盤上の盛土の動的遠心模型実験、第34回地盤工学研究発表会(投稿中)

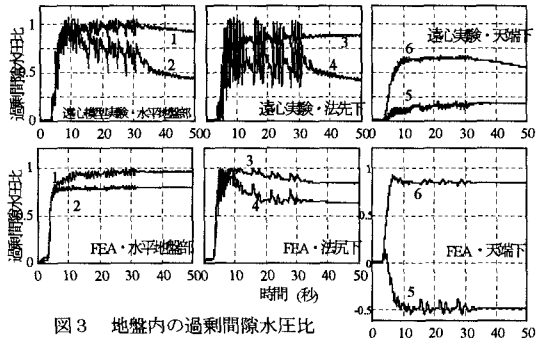


図3 地盤内の過剰間隙水圧比

表2 パラメトリックスタディで変更したパラメータ

| ケース                    | 基本ケース | A-1  | A-2    | B-1  |
|------------------------|-------|------|--------|------|
| 硬化パラメータ $B_0$          | 70.0  | 200  | 800    | 200  |
| 基準ひずみ $\gamma_{ref}^p$ | 0028  | 0.01 | 0.0045 | 0.04 |

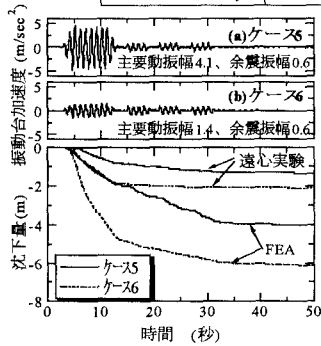


図4 天端の沈下と時間の関係

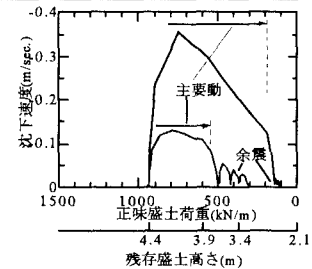


図5 盛土荷重と沈下速度の関係

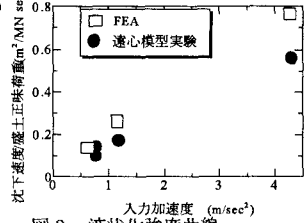


図6 液状化強度曲線

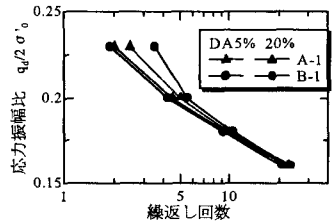


図7 盛土正味荷重を考慮した沈下速度

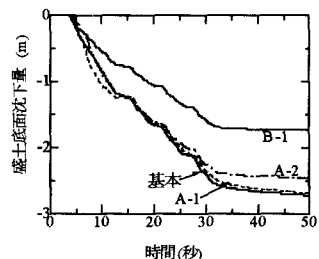


図8 各ケースでの天端沈下量