

液状化に伴う側方流動の個別要素法シミュレーション

筑波大学大学院 学生会員 松本 優明
 筑波大学大学院 学生会員 岩田 直泰
 筑波大学 正会員 松島 亘志
 筑波大学 正会員 山田 恭央

1. 序論

流動化する地盤が埋設管や杭などの地中構造物に及ぼす外力の推定や被害予測を行うためには、液状化後の砂の変形特性を把握する必要がある。中空ねじり試験などによる、液状化した地盤材料の単調載荷試験ではあるせん断ひずみ量(剛性回復ひずみ)を境にせん断剛性が急激に変化することが知られており、剛性回復ひずみの評価は流動量の予測に重要な役割を果たす。

このような剛性回復後のメカニズムを把握するためには、「微視的状态量がどのように変化していくか」を知ることが重要である。この観点から本研究では、液状化後の単調載荷によって剛性が回復する過程で、骨格の再形成がどのように進展してゆくのかを個別要素法 (DEM) によって調べることを目的としている。

2. 解析方法

供試体は正4角形から正12角形までの正多角形要素を1,100個用いた。その平均形状は正8角形、平均粒径2mmである。この要素の取り得る間隙比は、0.19~0.30程度であり、等しい粒径分布を持つ、円形要素(0.19~0.26)よりもゆる詰になり易い性質を有する。境界条件は、左右は周期境界、上下は拘束壁とした。供試体は等方圧縮により、異なる間隙比のものを3パターン作製し、それぞれに対し Fig.1 に示す載荷方法により、試験を行った。まず、定体積条件下で繰返し載荷を行い、有効拘束圧がゼロになった時点を液状化とし、その後定体積条件のまま単調載荷をする。

本シミュレーションでは、間隙水を考慮しておらず、定体積条件における有効拘束圧の変化分で過剰間隙水圧の変化に対応するものとして解析を行っている。

Table.1 に本研究に用いたパラメータを示す。

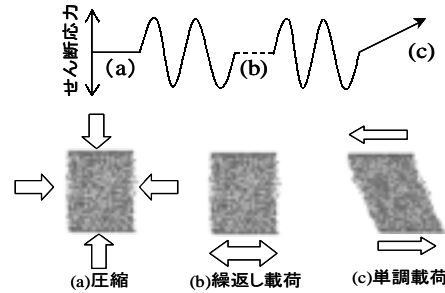


Fig.1 載荷方法

Table. 1 本研究で用いたパラメータ

粒子密度	2.5 (g/cm ³)
法線方向のバネ定数	9.6 × 10 ⁵ (N/m)
接線方向のバネ定数	2.4 × 10 ⁵ (N/m)
法線方向のダッシュポット	2.0 (kg/s)
接線方向のダッシュポット	1.0 (kg/s)
粒子間摩擦係数	φ = 26.6° (tan φ = 0.5)
時間刻み	2.0 × 10 ⁻⁶ (sec)

3. 解析結果

Fig.2 (a) は繰返し載荷をしたときの応力経路の例、Fig.2 (b) は繰返し載荷後の単調載荷したときの応力-ひずみ関係である。単調載荷を始めた初期段階において、応力がほとんど生じない微小抵抗領域が存在しており、これは、既往の実験結果と定性的に一致している¹⁾。また、剛性回復がみられるせん断ひずみ量は、初期間隙比が大きく、ゆる詰のものほど大きく、もっとも緩いケースでは、20%程度の大きな値となった。また、剛性の立ち上がり後の発揮される剛性はほぼ等しい。

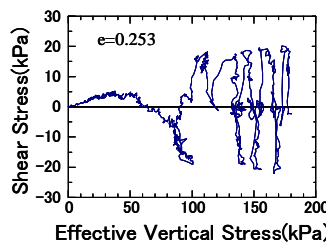


Fig.2(a) 繰返し載荷時の応力経路

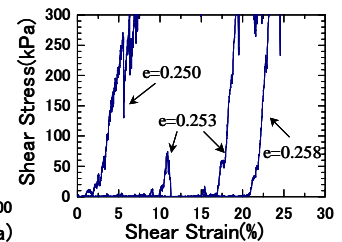


Fig.2(b) 単調載荷による応力-ひずみ関係

キーワード：個別要素法 液状化 側方流動 剛性回復

連絡先：〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 機能工学系 tel 0298-53-5146

Fig.3 は、繰返し载荷から単調载荷までの過程における粒子の平均配位数の変化と有効拘束圧の変化を示したものである。どの供試体でも平均配位数があるしきい値(1.8 程度)を超えると有効拘束圧及びせん断抵抗が回復した。これは、接触点が少ないうちは、供試体があるしきい値以上でないと、全体にわたって柱構造が形成されないことを示唆している。

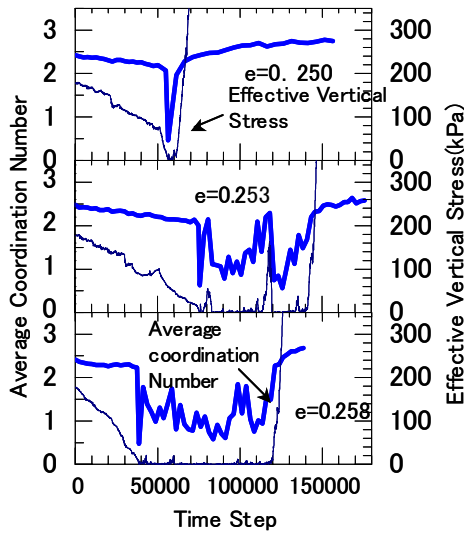


Fig.3 平均配位数と有効拘束圧の変化

Fig.4 は、方向角ごとの接触点数の値を示している。接触点の重複を避けるため、接触点の方向角は -90° から 90° としている。Fig.4より、液状化中の接触点数は、全方向で少なくなることが分かる。また、剛性回復過程では、接触点の方向角は 0° から 90° までの範囲では接触点数が全体的に増加していく。

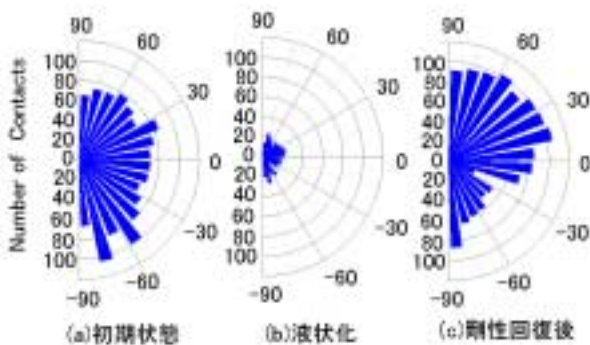


Fig.4 接触点数とその方向角の関係の例

接触方向角についてはファブリックテンソル \mathbf{F} を用いて、評価を行うが、テンソル \mathbf{F} の主軸のひとつはベクトル \mathbf{n} の集中方向を表わし、偏差テンソルの第2不変量は配向

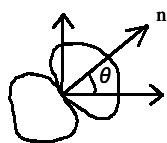


Fig.5 接触点の方向角とベクトル

度の指標である。繰返し载荷過程においてはせん断方向が変化するため、主軸の方向も時々刻々

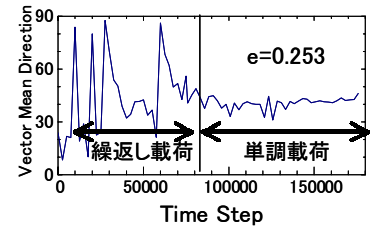


Fig.6 主軸の方向の変化

変化するが、その後の単調载荷過程においては 45° 方向に収束する。しかし、Fig.4 から分かるように、 45° 方向の接触点が卓越するのではなく、 0° から 90° までの接触点の増加によって、全体として 45° 方向へ主軸が向いていくことが分かる。

Fig.7 は間隙比と偏差テンソルの第2不変量の関係をプロットしたものである。第2不変量が大きくなるほど、異方性が強いと言えるので、図より、等方圧縮過程で作製された供試体の液状化前の異方性に比べて、剛性回復時の異方性はかなり大きくなっていることが分かる。このため、一度流動した緩い地盤は、強い誘導異方性を持ち、再液状化しやすくなることが推測できる。更に、間隙比が大きいものほど、剛性回復した時の異方性は大きくなる傾向が見られる。

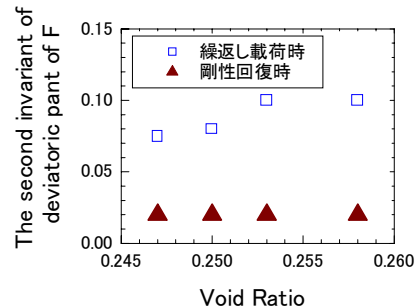


Fig.7 間隙比と偏差成分の第2不変量の関係

4. 結論

- 1) 流動に対する剛性回復には、平均配位数の増加が剛性回復の開始時点において大きく寄与している。
- 2) 流動した地盤は強い構造異方性を有し、再液状化しやすいことが推測できる。

参考文献

- 1) 安田・吉田・安達・規矩・五瀬・増田：液状化に伴う簡易評価法，土木学会論文集，No.638/III-49，pp71-89，1999.12.
- 2) 吉田望：側方流動のメカニズム，地震時の地盤・土構造物の流動性および永久変形に関するシンポジウム，地盤工学会，pp53-70，1998.