

東電設計株式会社 ○正会員 中瀬 仁

東京電力株式会社 正会員 石川 博之 武田 智吉

1 まえがき 液状化現象のメカニズムには不明な点が多い。粒子レベルからモデル化する個別要素法を用いて、液状化現象をシミュレーションすることができれば、この問題に対して直接的な貢献ができると考えられる。筆者らは、Hakuno *et. al.*<sup>1)</sup>による液状化解析手法を改良し<sup>2)</sup>、室内液状化試験のシミュレーションを行ったのでその結果を報告する。

2 非排水中空ねじりせん断試験のモデル化 シミュレーション対象とする液状化試験は、非排水繰り返し中空ねじりせん断試験である<sup>3)</sup>。中空ねじりせん断試験をモデル化するために、解析領域の左右の境界を連結するいわゆる周期境界を用いた<sup>4)</sup>。解析のモデルを図-1に示す。要素3000個を用いて直径14cm高さ14cmの供試体を作成した。左右が周期境界により仕切られた供試体モデルをせん断することは、図-1のようなモデルにトルクを加えることと等価である。

計算時間を短縮するため、荷重は、実際(0.1Hz)の20倍速く載荷を繰り返す2Hzの正弦波を用いた。ただし、高速載荷によって供試体に生じる慣性力は、強制的に減衰させた。また、水の体積圧縮率は、実際の2.3倍とした。これらの操作が解析結果に与える影響は、小さいことを確認してある。透水係数は、豊浦砂相当(0.02cm/秒程度)を用いた。

供試体の密度は、パッキングの際に、要素間の摩擦係数を操作することにより調整できる。本研究では、相対密度26%,30%,37%および50%の供試体を作成した。相対密度を定義する際、要素間摩擦を0として初期拘束圧(98kPa)をかけてパッキングした供試体の間隙比を最小間隙比、重力場において要素間摩擦を与え、自重によりパッキングした供試体の間隙比を最大間隙比とした。こうして定めた相対密度は、一般に用いられる相対密度とは異なる指標なので、 $Dr^*$ と表示する。供試体のせん断強度を実際の砂相当に合わせるため、要素の回転自由度は拘束した。

3 繰り返しねじりせん断試験のシミュレーション 繰り返しねじりの載荷は、上の境界に接する要素に対して、正弦波形の荷重を加えることにより行った。図-2に $Dr^*50\%$ の供試体に対して応力比0.4、図-3に $Dr^*26\%$ の供試体に対して応力比0.25の繰り返し荷重を加えたシミュレーション結果をそれぞれ示す。上から、下端の境界に接する要素に加わるせん断応力の時刻歴、上端の境界に接する要素の水平変位から計算した供試体の平均的なせん断ひずみの時刻歴、上端の境界で観測された間隙水圧の時刻歴および応力経路図である。間隙水圧および有効拘束圧は初期拘束圧で除して基準化した。応力経路図のせん断応力は、下端の境界に接する要素に加わるせん断応力を用いた。

$Dr^*50\%$ の供試体は、応力比が大きいにもかかわらず、間隙水圧増加の程度は緩慢である。基準化間隙水圧が0.5を越えたあたりで、平均せん断ひずみの増加が顕著になることから、液状化が始まったと判断される。供試体に強い「ねばり」があり、応力経路図においてはサイクリックモビリティが観察される点で、実際の砂を密詰めにした供試体の特徴が現れている。これに対して、 $Dr^*26\%$ の供試体は、載荷開始直後から急速に間隙水圧が上昇し、繰り返し載荷3波目においてひずみが急激に大きくなっている。図-4に両者をせん断応力-平均せん断ひずみ関係について比較する。相対密度の違いによる液状化特性の差違が顕著に再現されている。

キーワード：液状化強度、相対密度、非排水中空ねじりせん断試験

連絡先：〒110 東京都台東区東上野3丁目3番3号、東電設計上野センター技術開発本部、中瀬仁

TEL:03-5818-7791,FAX:03-5818-7608,E-mail:nakase@aed.tepsco.co.jp

5あとがき 液状化試験を対象に個別要素法を適用した結果、サイクリックモビリティ、せん断剛性の急激な低下などの挙動を再現することができ、定量的にも、砂の液状化強度を再現できそうであることを示した。個別要素法のプログラムは、京都大学澤田純男氏のDEMSを用いた。

参考文献 1) Hakuno et. al.:A granular assembly simulation for the seismic liquefaction of sand, Proc. of JSCE No.398/I-10, pp129-138 2) 藤谷昌弘他:個別要素法による液状化現象のシミュレーション,第31回地盤工学研究発表会,pp997-998 3) 小瀬木他:砂の非排水繰り返し線断試験のシミュレーション,土木学会第51回年次学術講演会,pp332-333 4) 澤田他:楕円要素を用いた個別要素法による砂の液状化発生機構の解析,第40回地盤工学シンポジウム,pp131-138

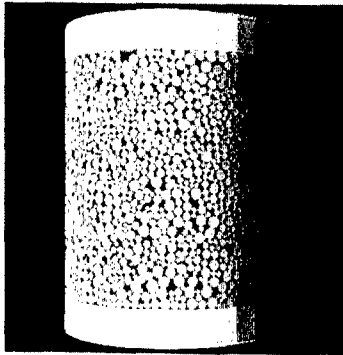


図-1 解析モデル

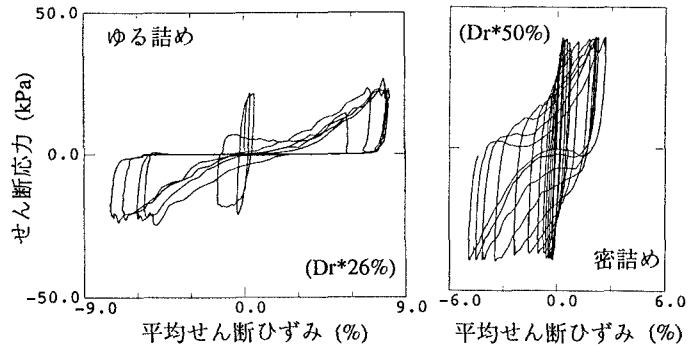


図-4 せん断応力-平均せん断ひずみ関係

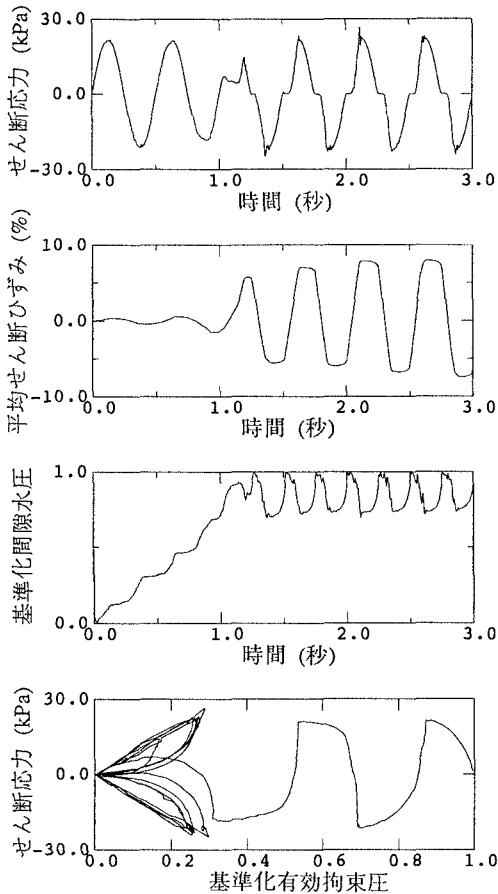


図-2 液状化試験のシミュレーション結果(Dr\*26%)

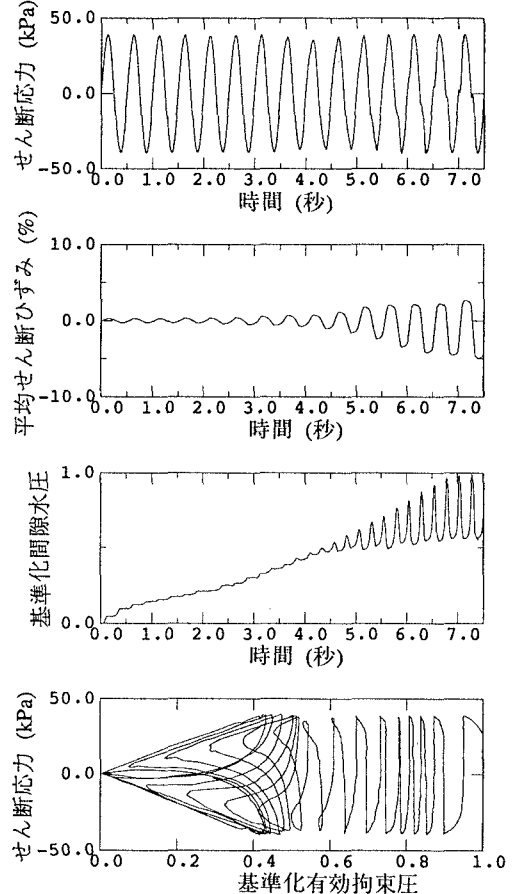


図-3 液状化試験のシミュレーション結果(Dr\*50%)