

レベル2地震動下の液状化に関する基礎的考察

応用地質 正会員 吉田 望 東京電機大学 正会員 安田 進
 関東学院大学 正会員 規矩大義 京都大学 正会員 澤田純男

1 はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、設計用の地震動が大きくなり、これに伴うように性能設計の考えが導入されてきた。砂地盤についてみると、 N 値20程度の地盤でも液状化の発生が懸念され、これを液状化が発生しないように対策するのは困難であったり高コストであったりすることから、液状化の発生が避けがたいケースもあり、液状化の発生を許容した設計が視野に入れる必要が出てきている。この様な設計を行おうとすれば液状化の発生までのみならず、液状化以後の挙動も把握する必要があるが、現在砂の動的な性質を求めている標準的な試験法である動的変形特性試験や液状化強度試験では十分に把握しているとはいえず¹⁾、新しい試験法が必要である。

現在行われている液状化強度試験は4つの供試体が必要とし、新しい試験法といっても実用性から考えてもこれ以上の供試体を用意することは困難である。供試体を有効に利用するには、必要な挙動の範囲のみを試験することが必要であるが、その範囲は明らかとはいえない。ここではその範囲を把握するために一つの考え方を紹介する。

2 基本的な考え方

図-1は液状化強度試験のデータ整理法と同様にせん断応力比と繰返し回数の関係を模式的に示したものである。三軸試験では動的強度は軸ひずみ両振幅で表現されることが多いが、図-1ではせん断ひずみ片振幅で表現している。この図の中に土要素の挙動を書くことができれば最初に述べた課題を解決できると考えられる。

動的変形特性試験では10サイクルの繰返しにおけるせん断定数比が求められているので、これを

せん断応力比に変換すると黒丸で示した点列となる。これらが実験で求められている挙動であるので、これをもとに等ひずみ曲線を書くことを考える。

液状化強度曲線の部分はすでに等ひずみ曲線が与えられているので、この下のみに着目する。まず、動的変形特性試験では10サイクルの載荷で履歴曲線が定常化していると考えられるので、これより大きい繰返し数側では等ひずみ線は横軸に平行である。小さい繰返し数側では動的強度等ひずみ線の一番小さいひずみに対応する線から10サイクルの応力比に比例するように等ひずみ線を設定する。また、動的変形特性試験と液状化強度試験で得られるひずみの間の領域では動的変形特性試験の結果に漸近するように等ひずみ線を引く。このようにすれば、図-1の

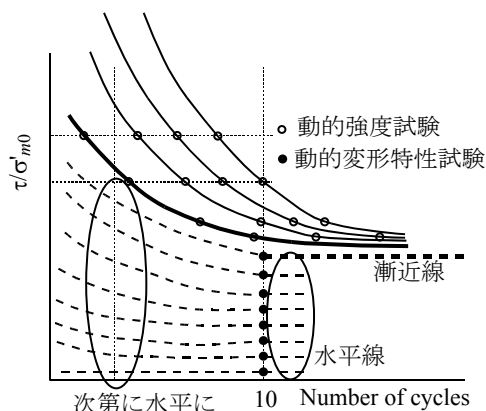


図-1 等ひずみ線の求め方のイメージ

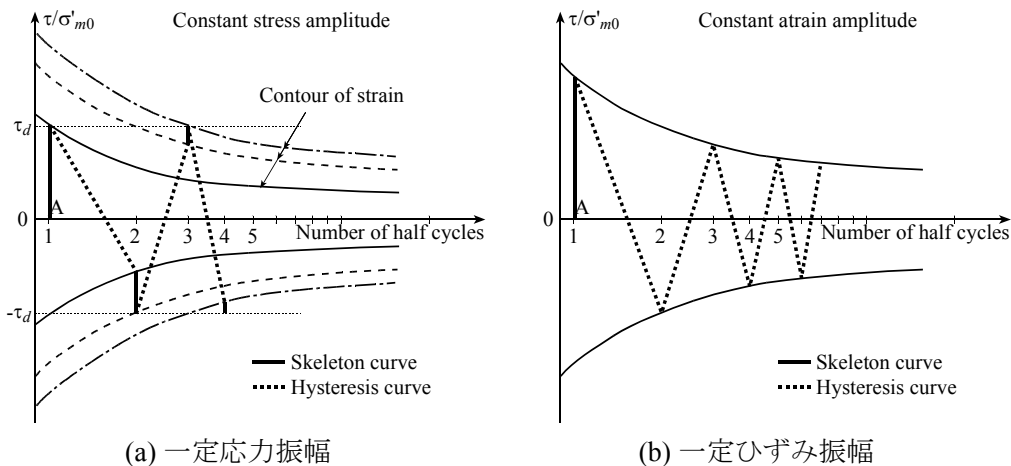


図-2 代表的な試験による状態点の移動

キーワード 液状化, レベル2地震動, 有効繰返し数

連絡先 〒330-8632 さいたま市北区土呂町2-61-5 応用地質(株)技術本部 Tel. 048-667-9141

面上ですべてのひずみに対して等ひずみ線が引ける。

次にこの等ひずみ線は履歴によらないと仮定する。水平成層で地震動のような繰返し载荷を受けることを考えると、その挙動は図-2に示すように等ひずみ線を正負の両側に書くことによって追跡することができる。図-2(a)は一定応力振幅载荷の場合の挙動を示しており、図の実線が応力-ひずみモデルでいう骨格曲線、波線が履歴曲線（除荷曲線）に対応している。繰返しとともにひずみが増加していく様子が追跡できる。一方、図-2(b)は一定ひずみ振幅繰返し载荷の例であるが、せん断応力が次第に低下していく様子が追跡できる。なお、図-2では横軸は半サイクル数としている。

次に、除荷の途中で再载荷が起こったときには図-3の様に考える。図では Q→B と動いてきた状態点が A 点で反転し C 点を目指している途中に P 点で再度反転した時を表している。B、C 点は骨格曲線にたどり着く点である。あた、E 点は次に骨格曲線に行き着く C 点で除荷したときの行き先であり、その繰返し数は B 点より半サイクル数多い。

ここで、N を繰返し数、添え字を図-2の各状態に対応させるものとし、P 点から除荷したときに向かう骨格曲線状の点 D における繰返し数を

$$\frac{N_P - N_A}{N_C - N_A} = \frac{N_D - N_B}{N_E - N_B}$$

という比例関係から決めることにする。

これらのルールによりひずみ履歴を与えれば状態点の動きを追跡することができる。

3 計算例と考察

1995年兵庫県南部地震の際、ポートアイランドで観測されたアレーサイトおよびその近傍の地盤改良地域に対して以前行った解析²⁾で得られたひずみ時刻歴の内大きいひずみ時刻歴を作用させる。液状化強度はアレーサイトについては文献3)、改良地盤については文献4)によった。なお、改良地盤では地表に大きな地盤変状はみられなかったが深部では液状化が発生したとの計算結果となっている。図-4

に結果を示すが、軌跡は従来の液状化強度試験で得られている範囲より外側に出ていること、一方繰返し数はそれほど多くないことがわかる。

4 まとめ

液状化後の挙動を求める試験法確立のために液状化後前後の挙動を表示することのできる手法を提案した。このような事例を収集することで、必要な領域が明らかになってくると考えられる。

なお、本研究は科学技術振興調整費「地震災害軽減のための強震動予測に関するマスターモデルに関する研究」に基づいて実施したものである。

参考文献 1) 吉田望 (2003) : 性能設計に向けた土の動的性質と地震時挙動, 土と基礎, Vol. 51, No. 2, pp. 2-7 2) Yoshida, N. and Ito, K. (1999): Liquefaction of improved ground at Port Island, Japan, during the 1995 Hyogoken-nanbu earthquake, Proc., 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, Portugal, pp. 531-536 3) Hatanaka, M., Uchida, A. and Ohara, J (1997): Liquefaction characteristics of a gravelly fill liquefied during the 1995 Hyogo-ken nanbu earthquake, Soils and Foundations, Vol. 37, No. 3, pp. 107-115 4) Ito, K., Goto, Y., Ishihara, K., Yasuda, S. and Yoshida, N. (1999): Detailed in-situ and laboratory tests on the improved ground in Port Island, Proc., 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Lisboa, Portugal, pp. 47-52

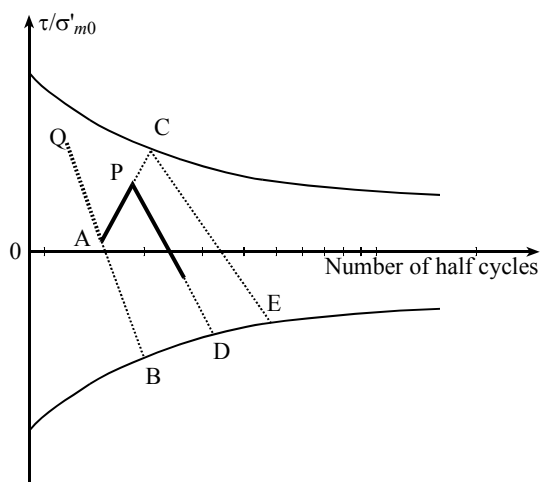


図-3 除荷，再载荷時の挙動

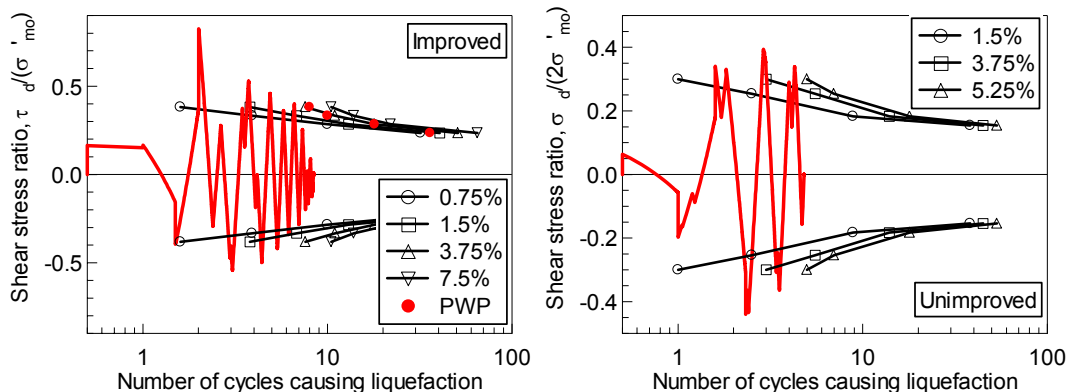


図-4 状態点の軌跡