

III-71 真砂土の液状化発生条件について

神戸大学工学部 正員 谷本喜一
神戸大学大学院 学生員 菅 好徳
神戸大学大学院 学生員 大浦 智

1. まえがき

近年、衝撃または振動を受けた飽和砂の液状化に関する研究が活発に実施され、その機構とともに液状化に影響する要因およびそれらの相関関係がかなり明らかとなっている。この液状化現象を生じるのは粒径が小さくて比較的均等なゆるい砂地盤と考えられるが、真砂土のような比較的配合のよい砂質土に対してもこの現象の危険性が十分考えられる。

本研究は阪神地区の臨海埋立地で使用されている六甲山系の真砂土を試料として周期載荷（圧縮、引張）繰返し三軸試験装置により、その液状化におよぼす相対密度、拘束圧、軸差応力および繰返し載荷回数の影響を定量的に調べたものである。同時に、数多く発表されているいろいろの試験方法による砂の試験結果との比較を行い、実際面への応用を考えてみたものである。

2. 実験概要

実験方法についてはこれまでに発表した^{1), 2), 3)}ので省略するが、実験に使用した試料は神戸市鶴甲台地で採取した真砂土で、その基本的性質としては比重 2.64、有効径 0.22 mm、均等係数 6.36、最大間ゲキ比 0.85、最小間ゲキ比 0.40 である。

3. 実験結果および考察

本実験で得られた実測記録は飽和砂の場合³⁾とほぼ同様の記録を示し、これから初期液状化を生じる時点における拘束圧、軸差応力、相対密度および繰返し載荷回数の関係を求めると図-1 のようになる。図より一定相対密度および拘束圧の

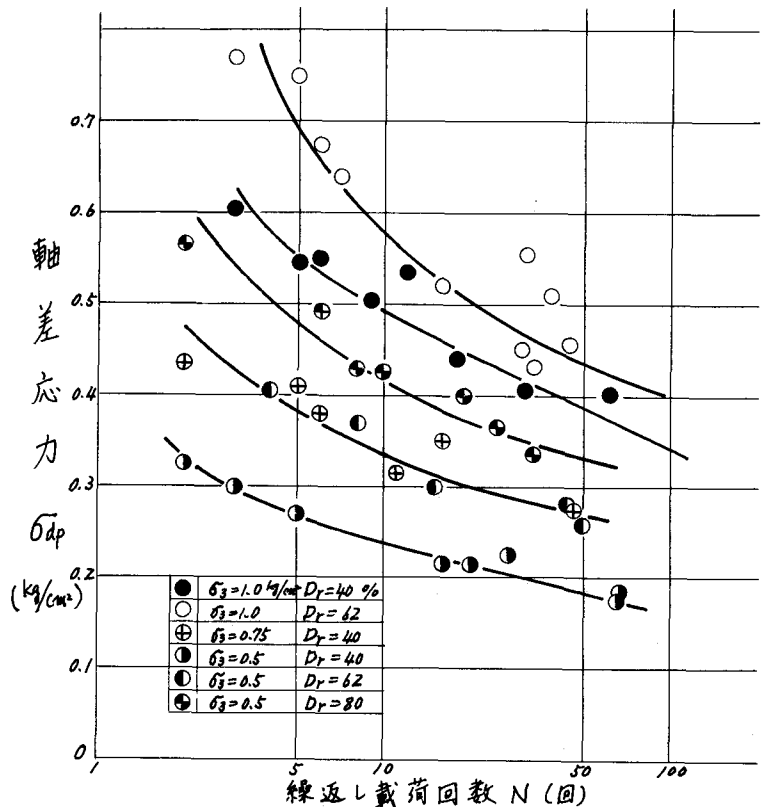


図-1. 初期液状化を生じるのに必要な軸差応力と繰返し載荷回数の関係

あとでは、軸差応力の大きいほど液状化を生じる繰返し載荷回数が少ないことがわかる。また、相対密度が一定であれば拘束圧が大きいほどある繰返し載荷回数で液状化を生じるのに必要な軸差応力は大きいという傾向がある。

つぎに、真砂土の液状化条件と川砂の液状化条件との比較を行なう。図-2に比較を行なった真砂土、川砂の粒度分布を示し、図-3に相対密度 $D_r = 65\%$ 、拘束圧 $\sigma_v = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の状態におけるいろいろな試験方法による試験結果を示す。

この図は参考文献3), 4), 5), 6), 7)より内容によって求めたものである。まず第一に、筆者ら、Lee & Seed および小川らが行ったそれぞれの三軸試験結果を比較する。この三者の結果はほぼ近似している。つぎに、三軸試験と単純せん断試験についての比較においては、すでにPeacockらによりSeedらの三軸試験結果の約35%の値のせん断応力で液状化することが示されている⁶⁾。また、吉見らが行ったネジリせん断試験の結果は、すべての他の試験結果より液状化しにくいことを示している。このよ

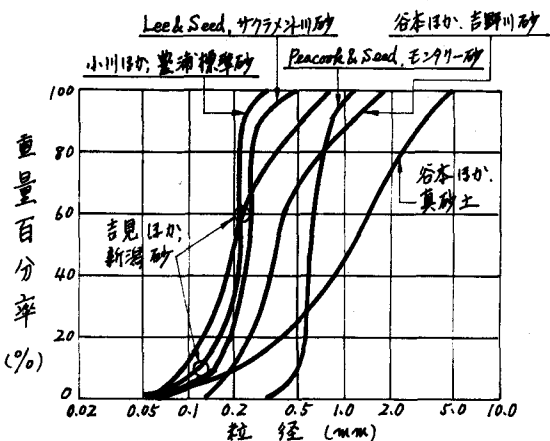


図-2. 粒度分布

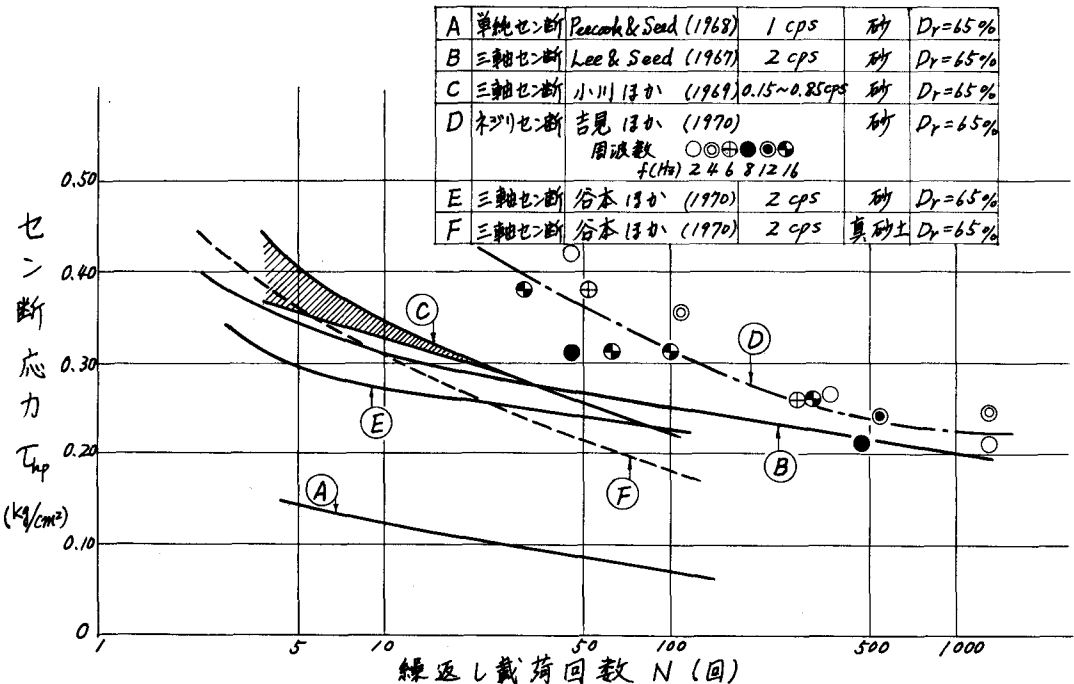


図-3. 各種試験方法による液状化条件

うに各試験によって液状化を生じるせん断応力には差が認められ、どの試験方法が液状化条件の判定に対して最適であるかどうかは判定しにくい。この問題に対して大崎¹²⁾は、液状化を生じるせん断応力の値は砂地盤の場合、三軸圧縮試験で求められた値より40~50%小さく、純粋せん断試験装置を用いた場合より50~60%程度大きいものであると提案している。しかしながら、このことについては現在なお正確にはつかめていないと考える方が妥当であろう。真砂土と川砂の液状化条件の比較についてであるが、同じ三軸試験で比較すれば真砂土の方が繰返し載荷回数に対するせん断応力の低下の割合は川砂より大きいことがわかる。筆者らの実験においては繰返し載荷回数 $N \approx 20$ 回までは真砂土の方が液状化しにくく、 $N \approx 20$ 回を越えると反対に液状化しやすくなるというような結果が得られている。この真砂土粒子の方が繰返し載荷回数に対して影響を受けやすいのは、真砂土粒子の方が川砂粒子に比べて、繰返し荷重によってこわれやすいという特性に基づいているからであろう。

つぎに、液状化条件について述べれば、新潟地震¹³⁾において地表面下15m程度まで液状化したことより拘束圧 σ_3 を求めれば $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 、また相対密度 D_r は $D_r = 40\%$ 程度であることを考え合わせれば実験範囲はそれほど広範に取ることなくこの近辺で行なうのが妥当ではないかと考える。

液状化条件の実験への応用を少し試みると、このことに関しこれは地盤状態に対してもいろいろ問題があるだろうが、筆者らの行なった真砂土と川砂の実験結果を適用してみる。まず、繰返し載荷回数に対してであるが、Seed¹⁴⁾によればTAF¹⁵⁾Tの記象より繰返し載荷回数 N は $N = 10$ 回程度を取るのが妥当であろうと述べているので、今 $N = 10$ 回に対して室内三軸試験結果をもとにして液状化条件を、真砂土、川砂それぞれについて書けば軸差応力 σ_{dp} 、拘束圧 σ_3 、相対密度 D_r の関係は図-4のようになる。実際地盤にお

いては、相対密度は標準貫入試験の N 値より推定され、拘束圧は有効土かぶり圧を計算することによって求められる。ここで図-4を利用すれば、どの程度の軸差応力(あるいはせん断応力)が作用すれば液状化に対して危険であるかがわかる。実際地盤においては、せん断応力の値は地震記録から直接には与えられないので、たとえばPenzienら¹⁶⁾の方法によって地盤のモデル化から計算される。この計算においてもせん断弾性係数、履歴減衰定数の決定に対し

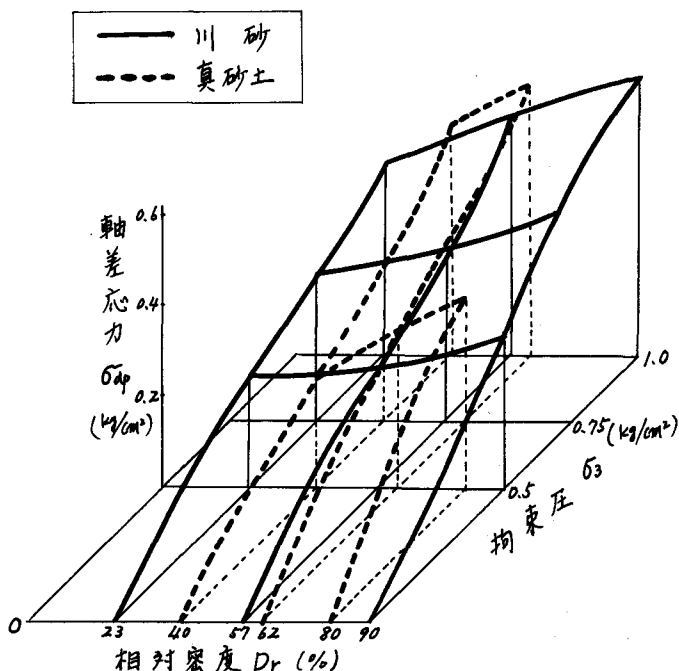


図-4. 繰返し載荷回数 $N = 10$ 回における液状化条件

ては容易ではなく、より簡単な方法が開発されることが望まれる。先にも述べたように液状化が起こりやすいと考えられる地盤状態 ($\sigma_v \leq 1.0 \text{ kg/cm}^2$, $D_r \leq 40\%$) に対しては図-4からわかるように、かなり相抵抗した危険性をもつものと思われる。

4. 結論

以上の結果を要約すれば、つぎのとおりである。

- (1). 真砂土に対しても液状化を生じ、液状化に影響する要因としては相対密度、拘束圧、軸差応力および繰返し載荷回数があげられる。
- (2). 一定相対密度、一定繰返し載荷回数のもとでは拘束圧が大なるほど液状化は生じにくく、また一定拘束圧、一定繰返し載荷回数のもとでは相対密度が大なるほど液状化は生じにくい。
- (3). 真砂土の方が川砂に比して繰返し載荷回数に対するせん断応力の低下の割合は大きい。
- (4). 液状化が起こりやすいと考えられる地盤状態 ($\sigma_v \leq 1.0 \text{ kg/cm}^2$, $D_r \leq 40\%$) に対しては真砂土、川砂の液状化への危険性は相抵抗している。

参考文献

- 1). 谷本・西；砂の流動化における繰返し応力、側圧および間ギャ比の影響について、土と基礎 134 Vol. 17, No 4, pp. 19-24, 1969.
- 2). 谷本・西・植村・金沢；飽和した真砂土の流動化について、第4回土質工学研究発表会講演集, pp. 83-86, 1969.
- 3). 谷本・植村・菅；繰返し載荷を受ける飽和砂の挙動について、土木学会関西支部学術講演会講演概要, III-31, 1970.
- 4). K. L. Lee and H. B. Seed ; Cyclic Stress Conditions Causing Liquefaction of Sand, Proc. ASCE, SM1, 1967, pp. 47-70.
- 5). 小川・柳沢・長池；振動応力を受ける飽和砂の液状化機構について、第4回土質工学研究発表会講演集, 1969, pp. 79-81.
- 6). W. H. Peacock and H. B. Seed ; Sand Liquefaction Under Cyclic Loading Simple Shear Conditions, Proc. ASCE, SM3, 1968, pp. 689-708.
- 7). 吉見・大岡・河合・桑原；動的ネジリせん断試験機による液状化実験, 第5回土質工学研究発表会講演集, 1970, pp. 109-112.
- 8). 大崎；地盤条件と震害, 第5回土質工学研究発表会特別講演概要集, 1970, pp. 24-29.
- 9). 土木学会新潟震災調査委員会；昭和39年新潟地震震害調査報告, 1964.
- 10). H. B. Seed and A. M. Idriss ; Analysis of Soil Liquefaction: Niigata Earthquake, Proc. ASCE, SM3, 1967, pp. 83-108.
- 11). J. Penzien et al ; Seismic Effects on Structures Supported on Piles Extending through Deep Sensitive Clays, Institute of Engineering Research, University of California, 1964.