

超ゆる詰め砂の流動化特性

㈩大林組(元京大院)正会員 角谷雄大
 京都大学工学部 正会員 柴田 徹
 京都大学工学部 正会員 関口秀雄
 京都大学工学部 正会員 小林俊一

1. はじめに

河川や臨海部に、未圧密状態の非常に緩い砂が堆積していると、その不安定性のために液状化しやすくなることが指摘されている¹⁾。本研究では、Wet tamping 法により作製した超ゆる詰め供試体を対象に、非排水静的三軸試験および繰返し三軸試験を行い、その流動化特性を検討する。

2. 試料および実験概要

試験に用いた試料は、豊浦標準砂($G_s=2.637, e_{max}=0.973, e_{min}=0.609$)である。供試体作製には、初期含水比約 5 %程度で湿らせた砂をばらまいて、必要に応じて締め固めるWet tamping 法を用いた。静的試験では等方圧 $p'=0.3\sim 1.5\text{kgf/cm}^2$ で予圧密し、載荷速度 $0.05\%/min$ のひずみ制御非排水試験を、動的試験では等方圧 $p'=1.0\text{kgf/cm}^2$ 、載荷周波数 1.0Hz の応力制御非排水試験をそれぞれ行った。供試体密度は、主に3通りとし、相対密度10%以下を超ゆる詰め、30%程度をゆる詰め、70%程度を密詰めとそれぞれ呼ぶことにする。

3. 実験結果と考察

(1)静的三軸試験結果

予圧密 $p'=1.0\text{kgf/cm}^2$ からせん断を行った試料の有効応力径路の例を図-1に示す。図中の間隙比は予圧密後の値である。この図から、間隙比の違いによって砂質材料の非排水挙動は大きく異なり、静的な液状化に至る"流動型"、準定常状態を経て強度が増加する"限定流動型"、せん断応力が減少しない"非流動型"の3つに大別されること²⁾が確認できる。流動型および限定流動型の有効応力径路では、偏差応力はせん断とともに初期の段階では増加するが、ピークを経て減少する曲線を描く。このピーク時の応力比 q/p' をCritical Stress Ratio (CSR)と定義する³⁾。応力平面上に流動型および限定流動型の有効応力径路のピーク値と限定流動型および非流動型の変相点(PT)を図示したものが図-2である。流動型の試料の場合、若干のばらつきはあるがほぼ一定の線上にデータがまとまることが読み取れる。これは流動の場合、ほぼ同一のCSRとなることを意味している。それに対して限定流動では、流動の場合よりも大きなCSRとなる。また変相角はほぼ

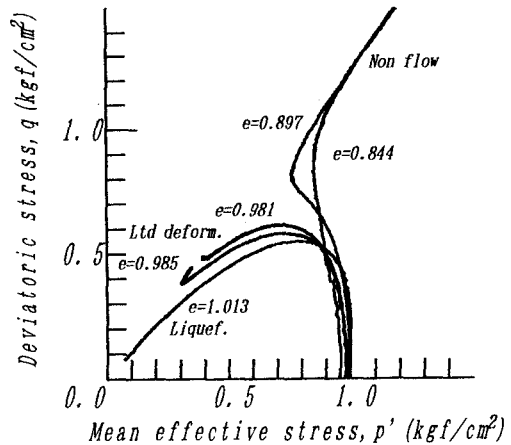


図-1 代表的な応力径路

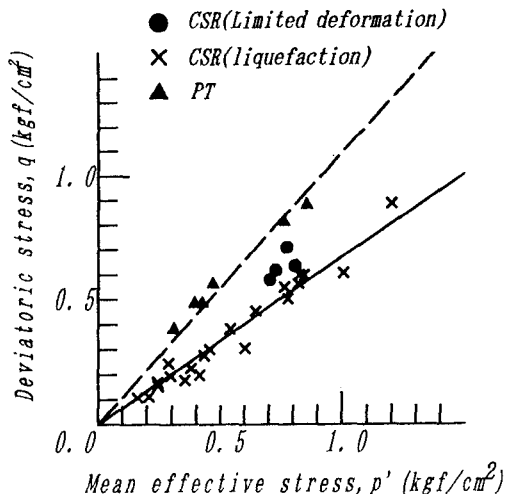


図-2 ピークせん断強度と変相線

36.7° となる。なお、ここでは軸ひずみが最大約15%までの実験しか行っておらず、残留状態に達した試料はなかった。同じ実験結果を e - $\log p'$ 面で整理したのが図-3である。データ数が十分ではないが、変形挙動の特性によって e - $\log p'$ 面上に境界線が存在しうるのである。せん断時の体積変化特性を特徴づけるため、収縮性（流動、限定流動）と膨張性（非流動）の境界線(ID-線)²⁾を導入して実験結果を整理すると $p'=1.0\text{kgf/cm}^2$ のとき、境界はおおよそ $e=0.92\sim 0.95$ の範囲に収まることが分かった。

(2) 繰返し三軸試験結果

初期液状化に達するまでの繰返し回数と応力比の関係を図-4に示す。図-4をもとに、地震時のような10回程度の繰返しせん断負荷を受ける場合を想定し、10波で初期液状化に達するような応力比と相対密度の関係を求めたのが図-5である。図-5にはSeedらによるMonterey #0 砂による結果⁴⁾を併せて示している。Seedらはゆる詰め領域の液状化強度を外挿によって、 $Dr=0\%$ のとき液状化強度がゼロになると工学的に評価している。しかし本研究におけるWet Tamping法にて作成した供試体では、相対密度の減少とともに液状化強度が低下し、応力比0.12程度のほぼ一定値となる。したがって超ゆる詰め状態の豊浦砂では、10波で初期液状化する応力比は0.12程度の一定値をとると考えられる。

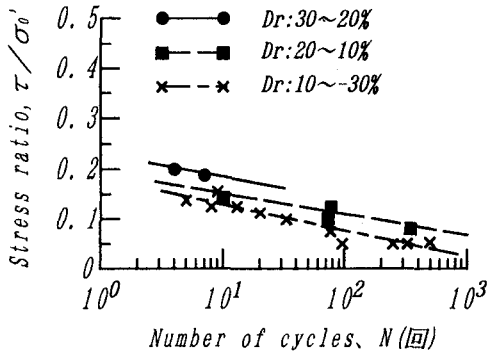


図-4 液状化強度曲線

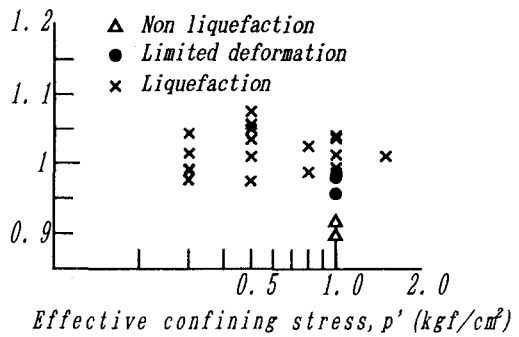


図-3 e - $\log p'$ と変形パターンとの関係

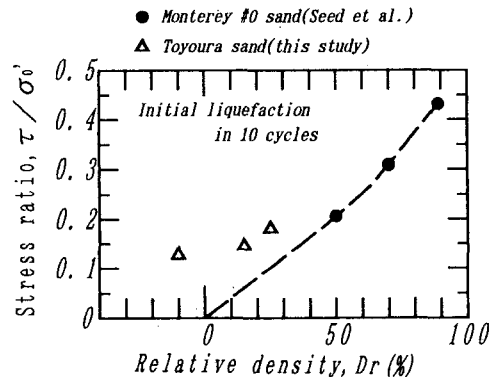


図-5 液状化強度と相対密度の関係

4. 結論

- (1) 豊浦砂に対する静的三軸試験によると、CSR値は「流動型」の場合、ほぼ一定値となる。しかし「限定流動型」の場合は、より大きなCSRとなる。従ってCSRは流動化挙動を特徴づける指標であると考えられる。
- (2) 繰返し三軸試験から、相対密度の減少とともに初期液状化強度は低下していくが、「超ゆる詰め状態」ではほぼ一定値をとる。10波で初期液状化に達するような場合、超ゆる詰め状態の液状化強度は応力比0.12程度の一定値となる。

5. 参考文献

- 1) Seed, H.B. et al. : Report University of California Berkeley No. EERC-88/10, 1988.
- 2) Ishihara, K. : Geotechnique, Vol. 43, No. 3, pp. 351-415, 1993.
- 3) Vaid, Y.P. et al. : ASCE, Conf., Detroit, pp. 120-147, 1985.
- 4) Seed, H.B. et al. : Report University of California Berkeley No. EERC-75/14, 1975.