

まさ土の液状化後の変形特性

東京電機大学大学院 学生会員 ○寺内哲也
 東京電機大学理工学部 正会員 安田 進 小林利雄
 星野勝俊 物井浩二

1. はじめに

阪神・淡路大震災で液状化した“まさ土”について繰り返しねじりせん断試験より液状化後の変形特性を調べた。また、豊浦標準砂で同様の試験を行い、液状化後の変形特性の比較検討をするとともに、従来の方法と新しい方法での妥当性を検討した。

2. 実験装置及び方法

試験装置には、単調載荷用の電動モーターを有した繰り返しねじりせん断試験装置を用いた。供試体は外径10cm、内径6cm、高さ10cmである。試料にはポートアイランド北部の港島トンネルの工事現場で採取したまさ土を用いた。ただし、実験に用いたまさ土は26.5mmふるいを通したもののみ($\rho_s=2.65, D_{50}=3.10\text{mm}, e_{\text{max}}=1.057, e_{\text{min}}=0.537$)とした。まさ土の相対密度は50%、80%とし、湿潤状態でモールドの中に5層に分けて試料を詰めて作成した。また、標準砂は空中落下法を用いて、相対密度50%となるように作成した。両試料とも背圧 2kgf/cm^2 、有効拘束圧 1kgf/cm^2 のもとで等方圧密した後に、非排水状態において、所定の回数だけ繰り返しねじり荷重を行った。繰り返しねじり荷重は、周波数0.1Hzの正弦波とし繰り返し回数 $N_c=20$ 回で丁度液状化($DA=7.5\%$ で定義)する場合を液状化に対する安全率 $F_L=1.0$ とした。また、その時の応力比を R_L と定義する。その後、非排水状態を保ったままで、静的単調載荷を行った。ただし、静的単調載荷はひずみ制御で行い、載荷速度は $10\%/\text{min}$ とした。

今回の実験では2通りの方法で液状化の激しさを変えてみた。まず、一つ目は、従来の方法で繰り返しせん断力 R_L を一定にし、繰り返し回数 N を変えた方法(方法1)である。この場合の F_L は $F_L=(N/20)^p$ で求めることにする¹⁾。また、2つ目の方法は繰り返し回数を一定の20波として繰り返しせん断力 L を変えた方法(方法2)である。この場合の F_L は $F_L=R_L/L$ となる。そこで両方法でいくつかの F_L について実験を行った。そして、この静的単調載荷時のせん断ひずみとせん断力、間隙水圧の関係を整理した。ただし、まさ土は方法2のみで行った。

3. 実験結果

(a)液状化に伴う応力~ひずみ関係の変化(方法2、まさ土)

まさ土の代表的な例として図1(a)~(c)に $Dr=80\%$ の実験結果を示す。まさ土の特徴として液状化した供試体でも、せん断ひずみが約1%程度まで、わずかな抵抗力を発揮し、そこから徐々に剛性が回復していく傾向を示した。それに対し、標準砂は載荷直後のせん断ひずみ~せん断応力曲線の勾配は非常に小さく、殆ど強度を持たない。両者ともに、この初期接線勾配は F_L の値が小さいほど徐々に小さくなっている。また、せん断抵抗力が殆ど発生しない低剛性の区間が大きくなっている。この低剛性の区間を拡大して示したのが(b)である。(c)は間隙水圧であり、剛性回復とともに次第に低下した。

(b)せん断剛性の低下率 $G_1/G_{0.1}$ と F_L の関係

図2に示すように各ケースにおける液状化後の単調載荷時のせん断応力~せん断ひずみ曲線から初期接線勾配を読み取り、液状化に伴う剛性の低下率 $G_1/G_{0.1}$ を求めた。ただし、 $G_{0.1}$ は静的単調載荷のみの供試体で、せん断ひずみが0.1%時の割線剛性とした。

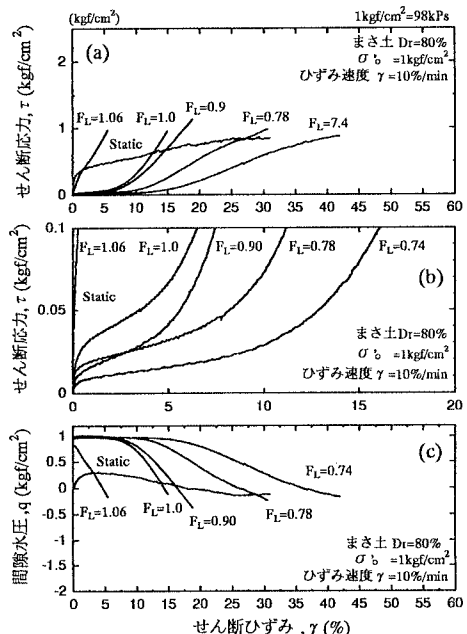


図1 せん断ひずみとせん断応力、間隙水圧の関係 (まさ土, $Dr=80\%$, 方法2, $N=20$)

キーワード: 液状化、まさ土、変形

〒350-03 埼玉県比企郡鳩山町石坂 TEL 0492-96-2911 FAX 0492-96-6501

図3にはまさ土について $G_1/G_{0,i}$ と F_L 、相対密度 D_r (50% : ○, 80% : ▲) の関係を示す。 $F_L=1.0$ での $G_1/G_{0,i}$ は約 1/200~1/300 程度せん断剛性が低下した。完全に液状化していない状態の供試体は粘りを発揮して、せん断剛性の低下が顕著に現れてきていない。 F_L が 1.0 より小さくなると剛性低下率はより大きく低下した。また、密度が低いほど $G_1/G_{0,i}$ は大きくなった。図4に標準砂についての $G_1/G_{0,i}$ と F_L の関係(方法1 : ○, 方法2 : ▲)を示す。 $F_L=1.0$ で $G_1/G_{0,i}$ は約 1/1000~1/2000 程度となり、 F_L が小さくなるほど $G_1/G_{0,i}$ は小さくなる傾向を示した。また、方法1,2を比較した場合、せん断剛性の低下率は、ほぼ一致しているといえる。標準砂とまさ土を比べた場合、まさ土のせん断剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ はかなり小さいことがわかった。

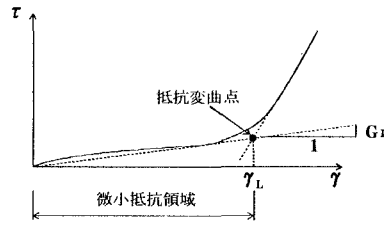


図2 γ_L と G_1 の定義

(c)微小抵抗領域 γ_L と F_L の関係

図2に示すように、供試体の剛性が変曲点をもって急激に回復するまでに要する区間を l と同様に微小抵抗領域 γ_L と定義する。図5にまさ土についての γ_L と F_L 、相対密度 D_r (50% : ○, 80% : ▲) の関係を示す。 γ_L は F_L が小さいほど大きい傾向となり、密度が大きいほど小さくなった。図6に標準砂に対する γ_L と F_L の関係(方法1 : ○, 方法2 : ▲)を示す。 F_L が小さいほど γ_L は大きくなる傾向を示した。また、方法1,2を比較した場合同じ F_L に対して微小抵抗領域 γ_L はあまり大差はなかった。また、 γ_L の値はまさ土の方が小さいことがわかった。したがって、あるせん断力までに回復するひずみ量は標準砂とまさ土ではかなりの違いがある。

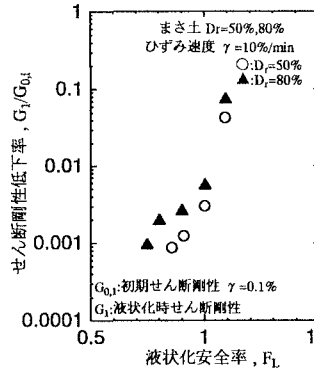


図3 $G_1/G_{0,i}$ と F_L の関係

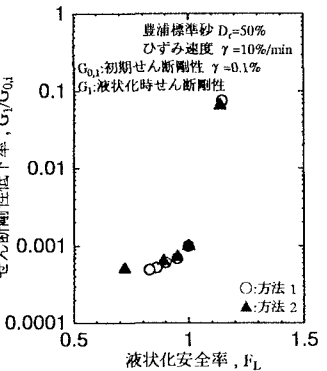


図4 $G_1/G_{0,i}$ と F_L の関係

(d)初期の割線剛性 G_1 と微小抵抗領域 γ_L の関係

図7に初期の割線剛性 G_1 と微小抵抗領域 γ_L の関係を示す。これらは両対数上で直線関係にありそうである。微小抵抗領域 γ_L が小さいほど初期剛性が大きくなることが言える。

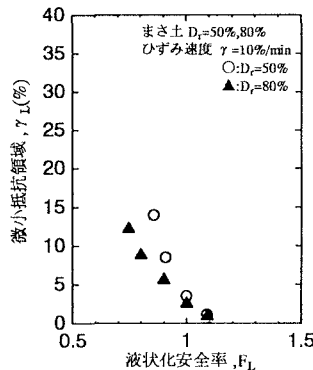


図5 γ_L と F_L の関係

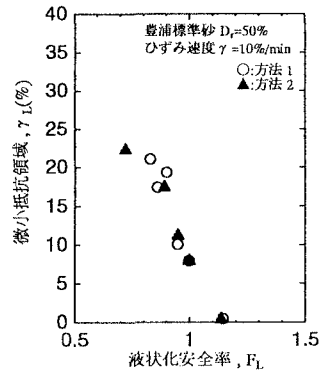


図6 γ_L と F_L の関係

6. まとめ

液状化した砂の供試体の剛性は液状化以前の剛性に比べて大きく低下し、液状化が激しく発生した場合更に大きく低下することがわかった。また、方法1と方法2においての $G_1/G_{0,i}$ 、 γ_L 共にほぼ同じ結果が得られた。まさ土は砂地盤に比べ、液状化後の剛性低下率 $G_1/G_{0,i}$ 、微小抵抗領域 γ_L ともに小さいことがわかった。なお、本研究は東京電機大学総合研究所の研究活動の一環として行った。関係者各位に感謝する次第である。

<参考文献> 1) S. Yasuda, H. Nagase, H. Mine, Y. Uchida: The Mechanism and A Simplified Procedure for the Analysis of Permanent Ground Displacement due to Liquefaction, Soils and Foundations, Vol. 32, No. 1, pp. 149-160, 1992

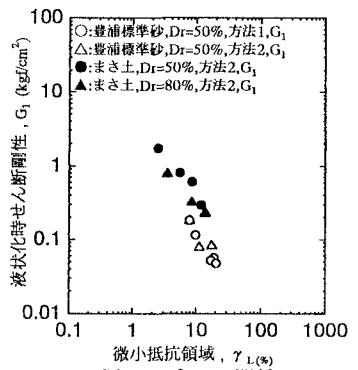


図7 γ_L と G_1 の関係