

2003 年宮城県北部地震で崩壊した築館の火山灰性砂質土の残留強度特性

東京理科大学大学院 学生会員 ○田村 勇二
 東京理科大学 正会員 石原 研而
 東京理科大学 正会員 塚本 良道
 東京理科大学 正会員 平川 大貴

1. はじめに

2003 年 5 月 26 日午後 6 時 24 分頃に宮城県沖を震源とするマグニチュード 7.0 の三陸南地震が発生した。この地震により宮城県栗原郡築館町の斜面で「高速長距離地すべり」と称される斜面崩壊が発生した。この斜面は傾斜が約 7 度と極めて緩い勾配であり、崩壊前は無降雨の日が続いており地表は乾燥状態であった。このような火山性堆積物で構成された地盤の崩壊事例は過去の地震災害でも数多く報告されている¹⁾が、何故このような崩壊が起こったかについて十分に解明されておらず、現在盛んに研究され予測的な見解が数多く出されている。本研究では、築館町の崩壊斜面を構成していた火山灰性砂質土試料を用いて等方圧密・異方圧密状態にある砂の非排水三軸圧縮試験を行い、残留強度特性を把握することを目的とした。

2. 実験概要

実験には築館町で斜面崩壊を起こした地盤より採取した試料（以下築館砂）を用いた。図-1 に築館砂の物性値及び粒径加積曲線を示す。本研究では直径 6 cm、高さ 12 cm の三軸円筒供試体を作成した。供試体作成法は、乾燥した砂に所定の含水比になるよう水とよく混合した後、モールドの中に入れ、一層 2 cm になるようにタンピング・ロッドを用いた突き固めを 6 層に分けて行う湿潤締固め法で作成した。初期相対密度 D_r は 10~90 % と変化させた。その後、供試体に 4 時間以上 CO_2 を通し、通水を 4 時間以上行った。B 値が 0.96 以上であることを確認し、拘束圧 20,49,98 kPa で等方圧密・異方圧密を行い、載荷速度 0.1 % のひずみ制御で非排水三軸圧縮試験を行った。異方圧密時の応力比は、圧密時の水平応力 σ'_{3c} と圧密時の鉛直応力 σ'_{1c} の比 $Kc = \sigma'_{3c} / \sigma'_{1c}$ で表される。本研究では、Kc 値を 1.0, 0.8, 0.7, 0.6 と変化させて実験を行った。

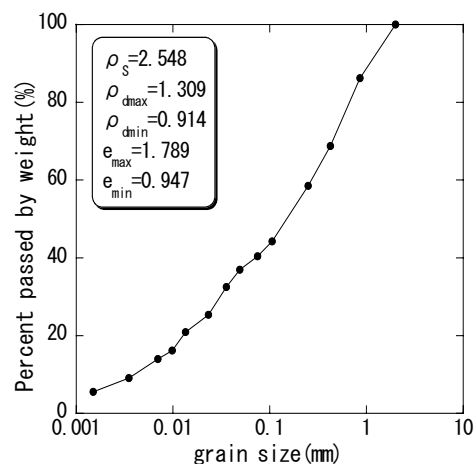


図-1 築館砂の物性値及び粒径加積曲線

3. 実験結果と考察

3-1 定常状態線・変相線

応力状態が変化せずに等体積で変形が生じている状態を定常状態といい、定常状態に至った点を定常状態点(Steady state point)という。また、変相状態とは平均有効主応力が極小になり間隙水圧の増加が減少に転じる状態をいい、変相状態に至った点を変相点(Phase transformation point)という。非排水せん断挙動より得た定常状態点と変相点を平均有効主応力に対してプロットしたグラフを図-2 に示す。このグラフより、定常状態及び変相状態は一本の直線で示すことができるのが分かる。定常状態のせん断抵抗角 ϕ'_{ss} は 36.870° 、変相状態のせん断抵抗角 ϕ'_{ph} は 35.267° となっている。これより定常状態と変相状態のせん断抵抗角が非常に近い値であることが分かる。

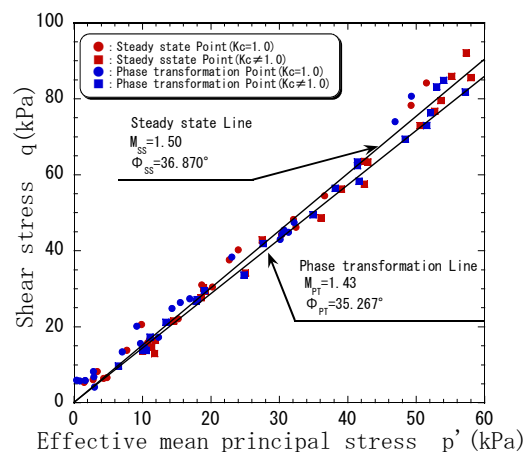


図-2 定常状態線と変相線

キーワード 火山灰性砂質土、高速長距離地すべり、三軸試験、初期状態比、残留強度比

連絡先 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科土質研究室 TEL04-7124-1501

3-2 初期状態比

圧密時の最大有効主応力 σ'_{1c} と変相時の最大有効主応力 σ'_{1s} の比である初期状態比 $r'_c = \sigma'_{1c} / \sigma'_{1s}$ と圧密時の応力比である Kc 値との関係を図-3 に示す。この図より、 Kc 値が小さくなるにつれて膨張的挙動と収縮的挙動の境界を表す初期状態比の値は明確に現れていることが分かる。また、膨張的挙動と収縮的挙動の境界を表す初期状態比の値は、 Kc 値に関係なく一定値 $r'_c = 1.31$ で決定できる。

3-3 残留強度比

非排水状態の土が流動変形する時の非排水せん断強度を残留強度 Sus という。この残留強度 Sus と圧密時の有効主応力との比を残留強度比という²⁾。圧密時の最大有効主応力 σ'_{1c} を用いた残留強度比は、変相時の軸差応力 q と変相時のせん断抵抗角 ϕ'_{PH} を用いて、

$$\frac{Sus}{\sigma'_{1c}} = \frac{q}{2} \cos \phi'_{PH} \cdot \frac{1}{\sigma'_{1c}} \quad \dots (1)$$

と定義されている。式(1)を変相線の傾き M_{PH} と初期状態比 r'_c を用いて変形すると、

$$\frac{Sus}{\sigma'_{1c}} = \frac{M_{PH}}{6} \cos \phi'_{PH} \frac{1}{r'_c} \left(\frac{3 - \sin \phi'_{PH}}{1 + \sin \phi'_{PH}} \right) \quad \dots (2)$$

となる。ここで、膨張的挙動と収縮的挙動の境界を表す r'_c 値は上述のとおり $r'_c = 1.31$ と一定であり、 M_{PH} と ϕ'_{PH} の値も一定値であるから、膨張的挙動と収縮的挙動の境界を表す残留強度比 Sus / σ'_{1c} は一定値となることが分かる。式(2)及び残留強度比と Kc 値との関係を示した図-4 より、膨張的挙動と収縮的挙動の境界を表す残留強度比 Sus / σ'_{1c} は、 Kc 値に関係なく一定値 $Sus / \sigma'_{1c} = 0.24$ に決定することができる。また、残留強度比と間隙比の関係を図-5 に示す。この図より、膨張的挙動と収縮的挙動の境界値である $Sus / \sigma'_{1c} = 0.24$ という直線と間隙比の減少を示す曲線が $Dr=105\%$ で交差していることが分かる。これより、収縮的挙動を示す初期相対密度は 100% 以上にまで至るということが分かる。

4. まとめ

- (1) 初期状態比と残留強度比を最大有効主応力を用いて定義することにより、膨張的挙動と収縮的挙動の境界が、等方圧密・異方圧密・ Kc 値によらず固有の値で決定することができる。
- (2) 最大有効主応力を用いて定義した残留強度比と間隙比の関係を調べると、収縮的挙動を示す相対密度が 100% 以上にまで達し、築館の斜面崩壊土は非常に流動を起こしやすい性質の土であることがわかった。

【謝辞】

本研究の実験の遂行にあたり、東京理科大学学部4年鈴木聡氏に多大な協力を得た。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) Konagai, K. et al. "Lascolinas landslide caused by the January 13, 2001 off the coast of El Salvador earthquake" Journal of Japan Association for Earthquake Engineering, Vol.2, No.1, 2002.
- 2) 石原研而(1994)「地震時の地盤の液状と流動性破壊」, 日建設計 中瀬土質研究所報告 NNGI Report No.3.

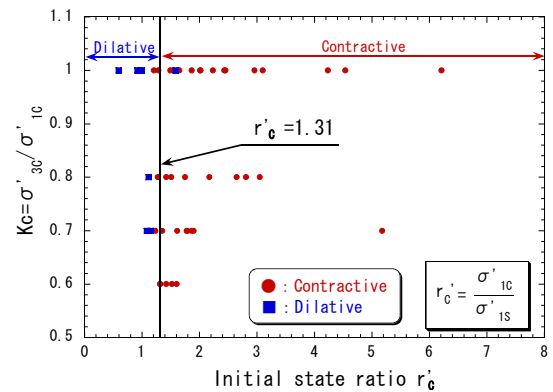


図-3 初期状態比 r'_c と Kc の関係

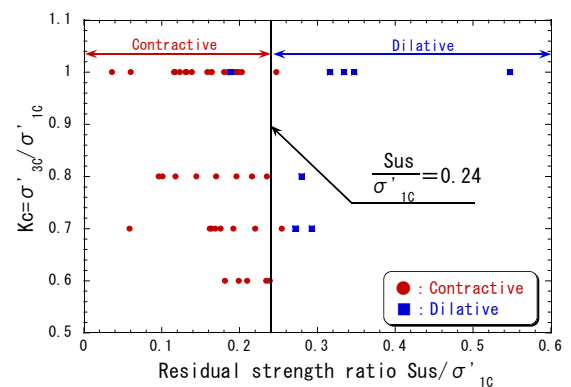


図-4 残留強度比 Sus / σ'_{1c} と Kc の関係

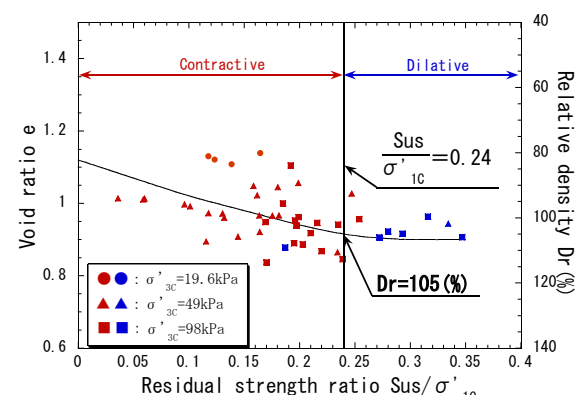


図-5 残留強度比 Sus / σ'_{1c} と間隙比 e の関係