

直接せん断試験における固結土のせん断特性

山口大学大学院 正 鈴木素之

山口大学大学院 学 高原宏吏 学○遠藤 了

1. はじめに 新潟県中越地震や中越沖地震では、砂岩や砂質泥岩からなる斜面で多くの地すべりが発生した。この理由として、固結した砂が地震動による繰返しせん断によって固結力（セメンテーション）を失って破壊に至ったことが考えられる。本研究では、このメカニズムを解明するために、自然状態と同じセメンテーション特性を有す固結砂を人工的に再構成し、固結砂供試体に対する圧密定圧一面せん断試験および定体積繰返しリングせん断試験を行った。本文では、その結果と考察について述べる。

2. 試料の作製 本研究で用いた試料は、豊浦標準砂（以下、豊浦砂と略す）である。豊浦砂に粘着性を持たせるために、ベントナイトを少量添加した（以下、この粒度調整された試料を豊浦調整砂と称す）。さらに、この豊浦調整砂にセメンテーション特性を持たせるために、セメント系固化材を添加した。なお、比較のために、カオリンおよび同固化材を添加したカオリンを用いた。表-1 に各試料の物理特性を示す。

2.1 非固結状態の豊浦調整砂の作製方法 乾燥した豊浦砂とベントナイトを混合した後、蒸留水を加え、一様になるまで攪拌・混合した。この混合試料を用いて、予圧密法で再構成試料を作製した。

2.2 固結豊浦調整砂の作製方法 乾燥した豊浦砂、ベントナイト、セメント（豊浦砂およびベントナイトに対する質量比 2.5%）を十分に混合し、蒸留水を加え、均一になるまで攪拌混合した。この混合試料を CBR 試験用モールドに投入し、各層 50 回、3 層に分けて、一定の力で突き固め、再構成試料を作製した。養生日数は 3 日から 28 日の範囲で変化させた。

2.3 固結砂供試体の土壌硬度の測定 図-1 に山中式土壌硬度計による固結砂供試体の土壌硬度の時間変化を示す。地すべり現場（長岡市檜木）で計測した土壌硬度は 26.3 mm であった。これより、養生日数が 3 日経った供試体が現場とほぼ同じ強度をもつ状態であることが分かった。

表-1 試料の物理特性

試料	土粒子の密度 (g/cm^3)	液性限界 (%)	塑性限界 (%)
豊浦砂	2.639	NP	NP
非固結豊浦調整砂	2.641	NP	NP
固結豊浦調整砂	2.649	NP	NP
カオリン	2.603	81.1	41.4
固結カオリン	2.645	100.0	39.6

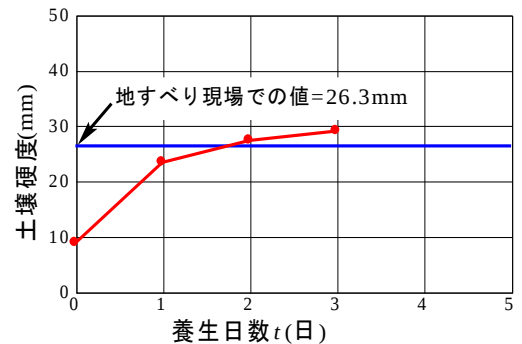


図-1 土壌硬度計による供試体硬度の変化

3. 一面せん断試験

3.1 試験手順

前述の方法で作成した試料からトリミング法により直径 6cm、高さ 2cm の供試体を作製した。所定の圧密応力 σ_c で圧密し、せん断箱の隙間 d を 0.2mm にセットし、せん断速度 δ を 0.02mm/min に設定し、せん断変位 δ が 7 mm に達するまで定圧せん断を行った。その他の条件としては、過圧密比 OCR を 1.0、垂直応力 σ_N を 98kPa から 294kPa の範囲で変化させた。

3.2 試験結果と考察

a) 一面せん断挙動 図-2 に固結した豊浦調整砂の養生日数 3 日および 28 日の結果を示す。垂直応力が大きいほど、最大せん断応力が増加している。また、セメンテーションを持った土の特徴としてひずみ軟化挙動があらわれている。養生日数が長くなるほど、最大せん断応力が大きくなる。

b) 強度定数 図-3 に砂質土および粘性土試料の強度定数の時間変化を示す。粘着力は養生日数が増加するにつれて増加している。一方、せん断抵抗角はほぼ一定の値を示している。これは、従来から指摘されてい

る傾向と一致する。今回の方法において、セメンテーションによる効果が表れていることを確認した。

4. 定体積繰返しリングせん断試験

4.1 試験方法 前述の方法で作成した試料からトリミング法により内径 6cm, 外径 10cm, 高さ 2cm の環状の供試体を作製した。供試体をリングせん断箱にセットし, 所定の圧密応力 σ_c で圧密し, 圧密時間は 3t 法により決定した。圧密終了後, 上下部リングの間に隙間を設定し, 周波数 0.5Hz のせん断応力制御で, 定体積条件で繰返しせん断を開始した。測定項目はせん断荷重, 垂直荷重, せん断変位, 垂直変位, リング周面摩擦荷重である。なお, 上記の結果を考慮して, 供試体は養生日数 3 日のものを用いた。

4.2 試験結果と考察 図-4 に固結の有無別に非排水繰返しせん断時の応力経路を示す。また, 同一の試料に対して別途実施した圧密定圧リングせん断試験から得られた定常状態強度線を示している。せん断変位 δ が 2 mm に達した時点繰返しせん断破壊と定義した。いずれのケースにおいても, 繰返しせん断破壊した時点は, 応力経路が強度線に達した時点と一致する。固結した豊浦調整砂の粘着力は, セメンテーションの効果によって, 非固結の豊浦調整砂のそれよりも増加し, せん断抵抗角はほぼ同じであった。養生日数 3 日の固結砂の結果から, すべり面の応力状態が強度線に達するような地震動によって, 地すべりが発生したと推定できる。ただし, 実際の地すべりは, 今回測定した土壌硬度値よりも低いゾーンで発生した可能性が考えられる。

5. まとめ

1) 今回採用した試料作製法により, どちらの直接せん断試験結果においてもセメンテーション効果が再現されていることがわかった。2) 養生日数 3 日の試料が実際の地すべり現場の土壌硬度と同等の強度を有していることがわかった。3) 繰返しリングせん断試験の結果から, 地震動に伴う繰返しせん断によってせん断面の応力状態が固結試料の強度線に達することにより, 地すべりが発生したと推定できる。

謝辞: 本研究は科研費・基盤研究(C) (課題番号: 20560464, 代表者: 鈴木素之)として遂行したものである。ここに記して, 関係各位に謝意を表す。

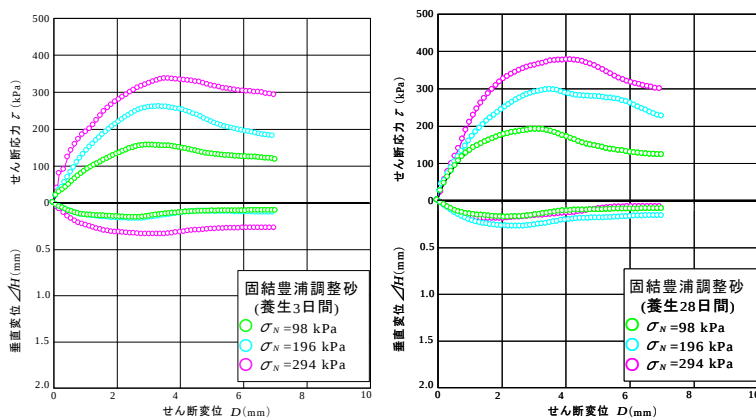


図-2 固結豊浦調整砂(養生 3, 28 日間)のせん断挙動

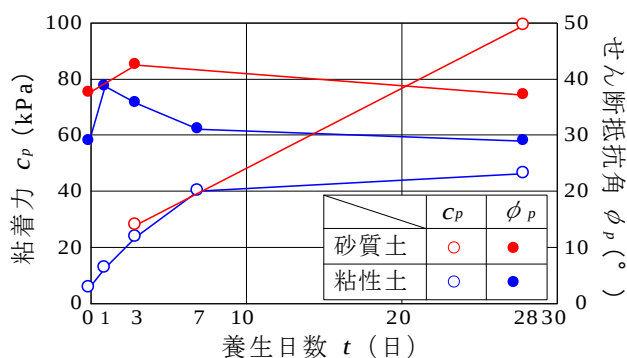


図-3 養生日数と粘着力とせん断抵抗角の関係

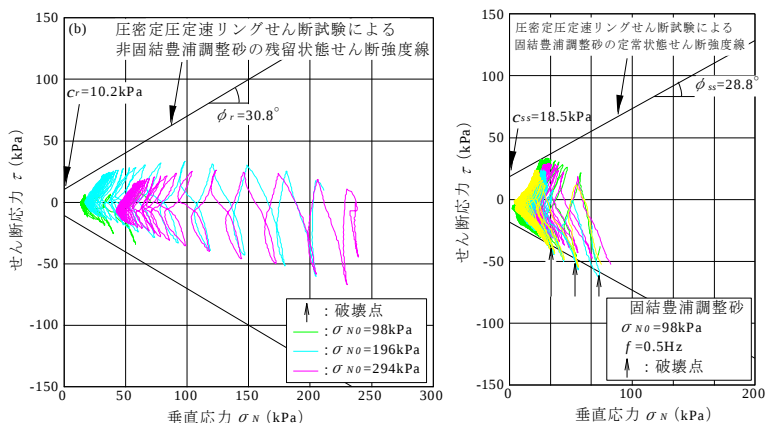


図-4 リングせん断試験における固結の有無によるせん断強度線の比較