

1. はじめに

地球温暖化等の気候変動に伴い、多くの地域で大雨の頻度の増加が問題となっている。特に沖縄県では、他県と比べて雨の強度が大きく、土壌（赤土）が流出しやすい条件にあり、生態系や産業に大きな影響を与えている。赤土の流出は地盤表面を流れる表流水によって粒子が運搬されることで起こる。すなわち、地盤表面の抵抗性を調べることは、赤土流出のメカニズムを明らかにする上で非常に重要だと考えられる。そこで本研究では、地盤表面の抵抗性を締固め度や含水比に関連付けて評価するための表層せん断試験装置を工夫して作製し、その装置の機能と精度を検証した。

2. 表層せん断試験の概要

2-1. 試験装置の概要

赤土の流出は表流水の掃流力によって引き起こされるので、その抵抗力として地盤表面のせん断強さを求めることが重要である。しかし、土のせん断強さを測定する一般的な方法としての一面せん断試験や三軸圧縮試験では、供試体内部のせん断強さを測定することはできるが、地盤表面のせん断強さを測定することはできない。そこで、図-1 に示すような室内表層せん断試験装置を試作した。この装置は栗原ら¹⁾が開発した表層せん断試験装置の改良版である。これまでは現場での試験を想定していたため、スクリージャッキを用いて手動で水平方向の引張を行っていた。しかし、今回は室内での基礎実験を想定しているので、より精度の高い実験を行えるようにモーター付き载荷装置を用いて自動で水平方向の引張を行えるようにした。せん断速度は 0.1mm/min から 1.0mm/min まで測定可能である。試験装置は土槽 (30cm×30cm×7.5cm)、载荷板 (10cm×10cm)、せん断強さ測定用ロードセル、せん断変位測定用の変位計から構成される。载荷板には先端が尖った 10 枚のせん断刃 (刃厚 1mm, 刃長 3mm) が並行に等間隔に取り付けられている。

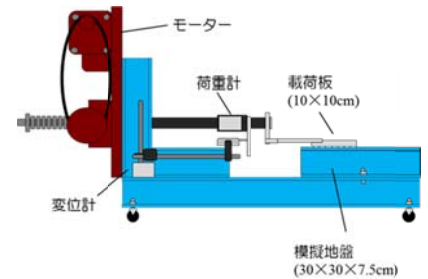


図-1 室内表層せん断試験装置

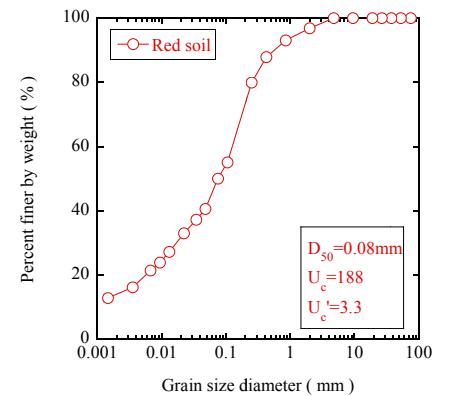


図-2 粒度分布

試験には、沖縄県国頭郡宜野座村の農地より採取した国頭マージ（以下、赤土と称す）を用いることとした。図-2 に赤土の粒度分布を示す。最大粒径は 4mm であった。図-3 に実験土槽で行った赤土の締固め曲線を示す。

2-2. 試験方法

模擬地盤はある含水比に設定した赤土をランマー(2.12kg)を用いて落下高さ 70cm, 突き固め層数 3 層で充填して作成した。表-1 に模擬地盤の条件を示す。

以下に、表層せん断試験の具体的な測定手順を示す。

- 1) 载荷板を模擬地盤に水平に直接設置する。モーターを稼働させ、载荷板を水平方向に引っ張る。せん断速度は 1.0mm/min の急速せん断で行う。
- 2) 地盤表面の抵抗力をロードセルにより測定し、記録する。測定範囲は抵抗力がピーク値を示すか、せん断変位 10mm までとする。
- 3) 上記工程を载荷板の荷重を $\sigma=0.46, 0.94, 1.4, 1.9\text{kN}$ と 4 段階変化させ行う。
- 4) 粘着力の求め方は、「土の圧密低圧一面せん断試験方法」に準拠する。

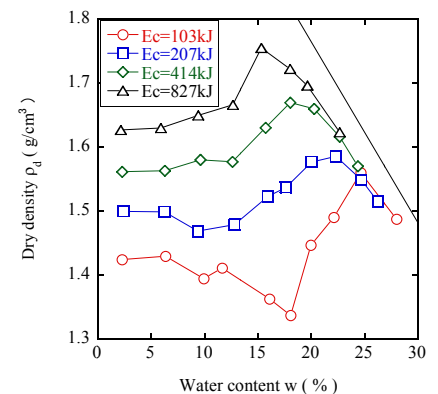


図-3 締固め曲線

3. 試験結果および考察

図-4に Case1~Case4におけるせん断変位-せん断応力関係を示す。グラフより、すべての条件においてせん断変位が 10mm に達するまでにせん断応力がピーク値を取ることが分かった。しかし、Case1 や Case3 のように地盤が軟らかい状態の時は滑らかな曲線を描くのに対し、Case2 や Case4 のように締固めを行い、表面が固くなった地盤ではせん断応力がピーク値を取り、その後は不規則な挙動を示した。これらは、一面せん断試験におけるゆる詰めと密詰めの供試体のせん断変位-せん断応力関係と同じような結果である。

図-5に Case1~Case4における垂直応力-せん断応力関係を示す。グラフより、垂直応力とせん断応力の関係は線形的であることが分かった。したがって、グラフの近似線から強度定数 c と ϕ を求めた。表層せん断試験ではここで得られた c の値を表層粘着力としている。しかし、Case4 では最大せん断応力の結果にばらつきが大きく表れた。これは、せん断刃の地面への差し込み具合が影響していると考えられる。本実験のように小さい拘束圧で実験行う場合、Case4 のように地盤表面が固い条件においては、せん断刃を差し込むことが困難で、拘束圧ごとに差し込み具合の違いが生まれてしまう。その結果が最大せん断応力のばらつきに表れたと考えられる。今後、多様な地盤条件においても精度の高い実験が行えるようにせん断刃に改良を加える

必要があるが、降雨時の地盤表面のように含水比が非常に高い条件においては、現在のせん断刃でも地盤に刃を差し込むことが可能で、精度の高い実験は行えると推測できる。

今回の試験では、同じ含水比なら締固めエネルギーが大きいほど、同じ締固めエネルギーなら含水比が高いほど表層粘着力は大きな値を示した。このことから、地盤の締固めや含水比が表層粘着力の増加に影響を及ぼすと考えられる。

4. おわりに

本研究は、室内表層せん断試験装置を用いて、含水比を設定して締固めた模擬地盤の表層粘着力を求め、装置の機能と精度を検証した。地盤表面が固い状態では、試験結果にばらつきが生じたが、多様な地盤条件で表層粘着力を求めることができた。今後、あるエネルギーで締固めた模擬地盤に加水、乾燥などの履歴を与えることで表層粘着力がどのように変化するか調べ、降雨装置を用いた土砂流出実験の考察につなげる予定である。

(謝辞) 本研究の一部は、環境省の環境研究総合推進費 (S8-2 (2)) (研究代表者: 小松利光)、JSPS 科研費 24760381、九州大学工学研究院若手研究者育成研究助成、(社) 九州建設技術管理協会の建設技術研究開発助成の助成を受けたものです。また、沖縄県、宜野座村の関係者の方々、藤田智康氏、青木憲氏、富坂峰人氏、橋本幹博氏、下村幸男氏はじめ多くの方に多大なご支援をいただきました。ここに深甚の謝意を表します。

(参考文献) 1) 栗原淳一・桜井亘・田方智・下村幸男・島田政好・小林豊・富坂峰人: 粘性土の侵食を評価する表層粘着力に関する一つの実験的考察, pp. 205-206. 2007.

表-1 模擬地盤の条件

	Case1	Case2	Case3	Case4
突き固め回数 (回/層)	0×16	4×16	0×16	4×16
締固めエネルギー (kJ)		414		414
含水比(%)	1.5	1.5	12.0	12.0

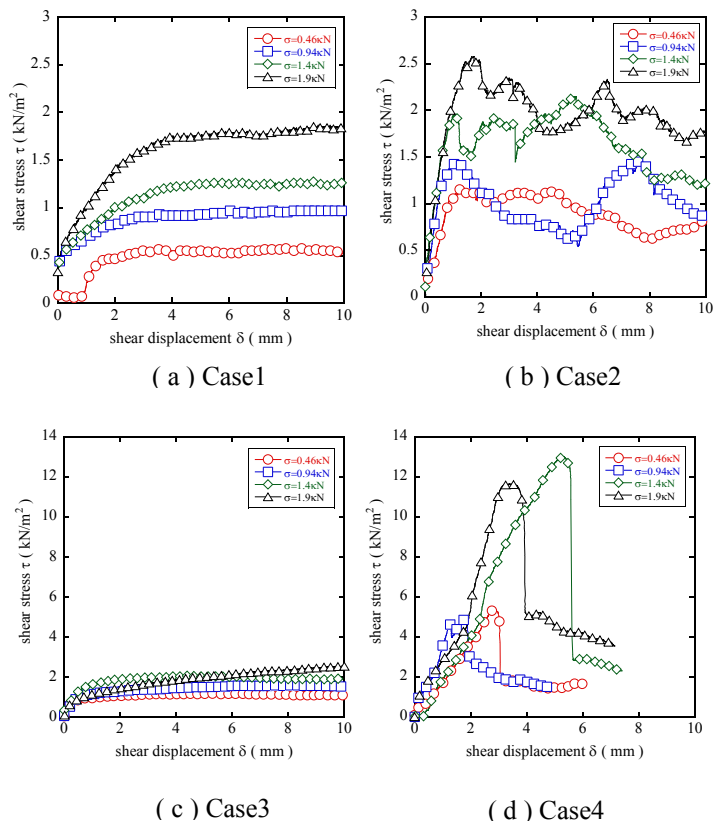


図-4 せん断変位-せん断応力関係

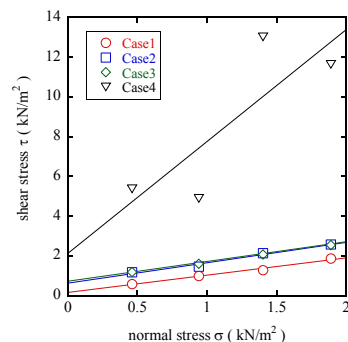


図-5 垂直応力-せん断応力関係