

庄原災害現地における斜面表層の黒色土壌の物理特性に関する考察

広島大学大学院総合科学研究科 ○上森弘樹，海堀正博

1 はじめに

平成 22 年 7 月 16 日の広島県庄原市土砂災害では、短時間強雨が誘因となって約 5km 四方という狭い範囲の中で 1500 箇所を超える崩壊や土石流等が発生した。一方で発生した崩壊や土石流等は、流下部斜面表層の黒色土壌を侵食することなく流れ下っていたこと(写真-1)で、表層土の下位に存在した過去の崩積土層があまり侵食されていなかったことから、流出土砂量が大きくならなかったと考えられている¹⁾。そこで、この特徴的な現象の要因のひとつであるとみられる斜面表層の黒色土壌の影響について、特に黒色土壌の持つ物理的性質に注目して研究を行った。

2 黒色土壌の基本的性質

土壌の構成粒子や吸水時の土の状態変化や経時的な飽和状態の変化など、黒色土壌の基本的な性質についてみるため、現地に堆積していた黒色土壌を採取して、粒度分析試験、コンシステンシー試験、吸水試験を行った。粒度分析試験とコンシステンシー試験については、土質試験法の規格に準じて行い、吸水試験については表層土を乾燥状態から湿潤状態まで所定の初期含水比になるように調整し、現地と同程度の乾燥密度になるように容器に詰め、コンテナに設置した上で水を張り、供試体の下部から吸水させた。

まず、粒度分析試験の結果は図-1、表-1 の通りである。黒色土壌は、細粒分も多く含まれているが、風化し細粒化したとみられる流紋岩質の粗粒分が 50% 以上を占めており、どの粒径も均等の割合で含まれていることが分かった。次にコンシステンシー試験の結果について表-2 に示す。液性限界が 50% を超え、細粒分については液性のやや高い火山灰質粘性土(I 型)に分類できることが分かった。以上の結果から現地の斜面表層に存在する土は、風化流紋岩の砂礫を含んだ火山灰質粘性土で構成されているといえる。また、吸水試験の結果(図-2)では、試料全体に水が浸透する吸水後 30 分から 1 時間までの飽和度に関しては、初期含水比の違いによって大きな差がみられるものの、時間の経過とともに初期含水比による差がみられなくなった。また、最終的にすべての供試体の飽和度が増加し飽和度が 100% を超えることがわかった。そして、1 日以上吸水させても含水比の数値上は目立たないが、飽和度で表現した場合、その変化の幅は小さいものの 100% を超えても確実に増加し続ける結果となった。そのため、現地の表層土は膨潤し、過飽和の状態になっても水を吸水し続けることができる特性を有している可能性が考えられる。

3 黒色土壌の強度特性

表層土壌が豪雨を受けた状況下における強度特性を調べるために一面せん断試験機を用いてせん断試験を行った。試験手順として、現地に堆積していた表層の黒色土壌を採取し、室内で供試体を作成した。なお供試体は、現地の乾燥密度と同じ一定の密度試料になるように詰めることを試みたが、詰め固め時の試料の含水比などの要因で所定の乾燥密度に詰めることが困難な場合もあり、結果的に、初期乾燥密度には違いが生じている。供試体作成後、試験機内に設置し、供試体の下部より水が入り込むように試験機内に水を静かに入れて、所定の時間浸水させた後に、試料箱の下箱をゆっくりずらすことでせん断試験を行った。本試験では、変位はせん断速度 0.1~0.2mm/min を目安とし、



写真-1 土石流流路の状況

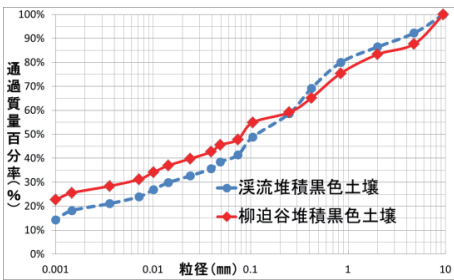


図-1 表層黒色土壌の粒度分析試験結果

表-1 表層黒色土壌の粒度分析試験結果

柳迫谷堆積黒色土壌		溪流堆積黒色土壌	
粘土	30.0%	粘土	23.0%
シルト	17.7%	シルト	18.4%
砂	35.6%	砂	45.0%
礫	16.7%	礫	13.6%

表-2 表層黒色土壌のコンシステンシー試験結果

柳迫谷堆積黒色土壌		溪流堆積黒色土壌	
液性限界	55.20	液性限界	53.72
塑性限界	39.90	塑性限界	30.56
塑性指数	15.30	塑性指数	23.16

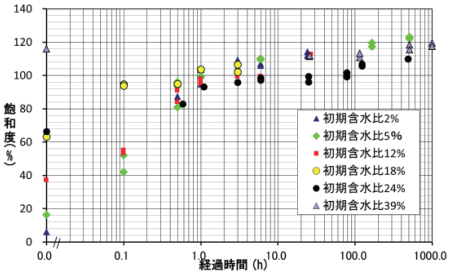


図-2 吸水経過時間と飽和度との関係
(初期乾燥密度 1.18~1.35g/cm3)

0.5mm 進むごとにダイヤルゲージの値が落ちつくのを待って値を読み、供試体の高さ 100mm の約 30%、供試体の水平長 200mm の約 15%にあたる 30mm 程度まで変位を与えた。その間の抵抗力の最大値をピーク強度、変位の最終段階での抵抗力を残留強度とした。本試験では、供試体の浸水時間による強度の違いを調べるための試験と垂直応力の違いによる強度の違いを調べるための試験の 2 種類の試験を行った。浸水時間と強度の違いを調べる一面せん断試験では、垂直応力を表層土が 1m 以内の深さであることを考慮して $\sigma = 9.07 \text{ kN/m}^2$ に設定し、浸水しない場合から最長で 4 日間浸水させた場合まで、浸水時間の条件を変えて試験を行った。また、垂直応力の違いによる強度の違いを調べる一面せん断試験では、浸水時間を 1 日間に設定し、垂直応力を $\sigma = 6.86 \text{ kN/m}^2 \sim 13.07 \text{ kN/m}^2$ の間の 4 段階で载荷して試験を行った。

まず、浸水時間を一定にして垂直応力を変化させた場合におけるピーク強度と残留強度の結果を図-3 に示す。なお含水状態によっては、過飽和試料になった試料は正の間隙水圧を受けて、有効垂直応力が低下するために小さめのせん断強度が出て、不飽和試料では、粒子同士の接触が引き離される際にサクションとして負の間隙水圧が働くために見かけの粘着力が増すために大きめのせん断強度出ると思われる。そのため、一定の密度でかつ、有効応力に変化がなければ、初期乾燥密度とこれらの影響を考慮した結果は図の矢印で示している方向にあったものと考えられる。しかし、その補正量については、はっきりと定量化するまでは至っていない。次に、垂直応力を一定にして、初期乾燥密度と浸水時間を変えたせん断試験の結果を図-4 に示す。まず、同じ浸水時間の条件下における初期乾燥密度ごとのピーク強度の差についてみると、試験中の土の水分状態には差が見られるものの、初期乾燥密度の違いが 0.1 g/cm^3 でもせん断強度の差は、はっきりと出ている。特に初期乾燥密度 1.25 g/cm^3 ・浸水時間 1 日の試料と、初期乾燥密度 1.32 g/cm^3 ・浸水時間 4 日の試料がほぼ同じ挙動を示していることから、局所的に密度が低い場所では、同じ浸水時間でもかなり強度が低下していたと思われ、災害時の雨によって簡単に流された可能性があるものと思われる。次に、現地の初期乾燥密度 1.30 g/cm^3 前後の供試体における浸水時間ごとのせん断強度の違いについてみると、浸水と同時にせん断強度が低下しているといえる。また、初期乾燥密度の違いや土の含水状態による差はあるもののピーク強度は浸水時間とともにだんだん低下し、4 日間浸水させると完全に飽和してピーク強度がはっきりと出なくなることがわかる。しかし、浸水時間 1 日の試験後の試料は、中心部まで水があまり浸透していなかったことから、現地の表層土についても 1 日中水に浸かったような状態でもあまり水が浸透せず、全体が侵食されるほどの強度低下は起きていなかったことが推測される。

4 まとめと考察

斜面表層に存在している黒色土壌は風化流紋岩の砂礫を含んだ火山灰質粘性土であるが、長く浸水させることで過飽和の状態になりうることや、それに伴い強度低下する傾向を持っていた。しかし、現地の密度では 1 日中水に浸かったような状態でもあまり浸透していないことが考えられる。また、現地の密度に比べて緩く作成した供試体は現地の密度で作成した供試体よりも短時間で強度が低下する傾向を示していたが、不飽和時には、現地の密度の供試体に比べて高いせん断強度を示している供試体もみられた。これは、不飽和時のみかけの粘着力が高く出ることが要因であると思われる。これらの性質が、今回の雨量で黒色土壌層の部分が大きな強度低下を引き起こさず、大きく侵食・崩壊するまでに至らなかった要因であると考えられる。

参考文献 1)海堀(2011):平成 22 年 7 月広島県庄原土砂災害と今後の防災上の課題,(社)日本地すべり学会関西支部 p.1-12

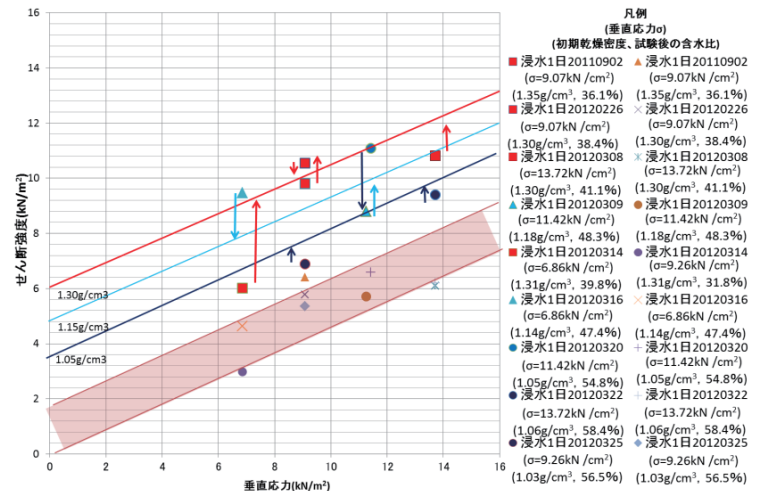


図-3 垂直応力を変えて行ったせん断試験結果

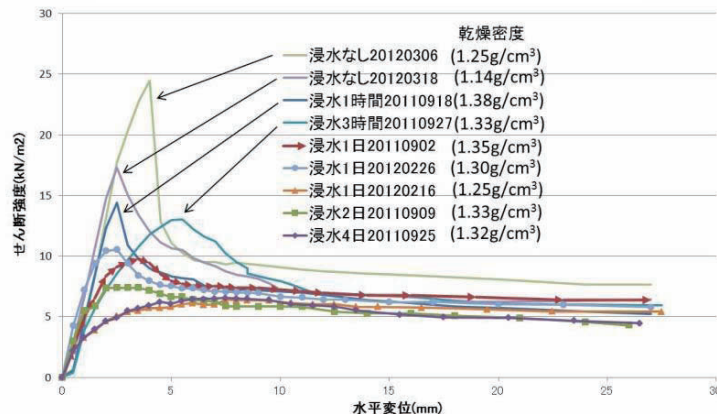


図-4 浸水時間を変えて行ったせん断試験結果