

熊本県益城町から採取した火山灰質土の物理・力学特性
～平成 28 年熊本地震における宅地被害の考察～

前橋工科大学 学生会員 ○正谷智希
前橋工科大学 正会員 森 友宏

1. 研究の背景と目的

平成 28 年熊本地震における、益城町の家屋の全半壊被害の 3 割程度は地盤変状が原因によるものであった。これは、益城町一帯に厚く堆積している(厚さ 10~20m)阿蘇山由来の火山灰質土(黒ボク土)に本質的原因があるのではないかと考えられる。本研究の目的は、黒ボク土の物理・力学的特性を調べることで地震による宅地被害との関係性を示すことである。

2. 黒ボク土の物理・力学特性

調査範囲における宅地地盤の被害を分析するにあたり、表層地盤の黒ボク土のサンプルを採取し、物理・力学的特性を求めた。既往の研究によると、黒ボク土をはじめとする有機質火山灰土は、乾燥によって土に含まれる腐植が不可逆的に変化するとともに団粒化がすすみ、物理・力学的特性が大きく変化してしまうことがわかっている。このことより、土のサンプルの採取位置と試験時の処理方法が重要となる。

本研究では、宅地地盤や宅地擁壁の被害に黒ボク土の物理・力学特性がどのように関わったのかを議論する。調査範囲の宅地は、整地・敷き均し、盛土、擁壁築造時の掘削・埋戻しなどが行われており、また宅地に利用される以前には耕作地として利用されてきた歴史があることから、地表面付近や擁壁近傍の黒ボク土は「乾燥や乱れを受けた黒ボク土」であるとみなせる。

このことから本研究では、宅地に隣接した耕作地の地表面下 0.3m から採取した黒ボク土(以降、乾燥黒ボク土と呼ぶ)と、自然地盤(掘削・埋戻しを受けていない)の地表面下 2.5m から採取した黒ボク土(以降、非乾燥黒ボク土と呼ぶ)の 2 種類のサンプルを採取した。但し、非乾燥黒ボク土は黒ボク土層をトレンチカットして作られた道路脇の黒ボク土斜面を水平方向に 0.8m 掘り込んだ位置から採取している。黒ボク土層が水平に堆積している地点で鉛直方向に 2.5m 掘削して採取しているわけではない。そのため、本論文における非乾燥黒ボク土は、構造の乱れはそれほど受けていないものの、本来の深度 2.5m の黒ボク土よりも若干乾燥している可能性はある。

表 1 に黒ボク土の物理特性、図 1 に粒度分布、図 2 に締固め曲線を示す。試料の含水比は、非乾燥黒ボク土、乾燥黒ボク土ともに、自然含水比から徐々に気中

乾燥もしくは加水して調整を行った。非乾燥黒ボク土の現位置 (G.L. -2.5m) における乾燥密度は 0.96g/cm³、自然含水比は 63.5%、液性限界は 62.1%、塑性限界は 49.5%、一方の乾燥黒ボク土の現位置 (G.L. -0.3m) における乾燥密度は 0.98g/cm³、自然含水比は 58.9%、液性限界は 55.1%、塑性限界は 44.8%であった。非乾燥黒ボク土、乾燥黒ボク土ともに、自然含水比はそれぞれの液性限界よりも大きい値であった。

図 2 の締固め曲線において、非乾燥黒ボク土を徐々に気中乾燥させて得られた締固め曲線には乾燥密度のピークが見られないが、含水比 41%まで気中乾燥させ

表 1 黒ボク土の物理・力学特性

項 目			非乾燥 黒ボク土	乾燥 黒ボク土
土粒子密度	G_s	g / cm ³	2.485	2.485
有機物含有率	—	%	18.1	18.1
原位置乾燥密度	ρ_d	g / cm ³	0.96	0.98
最大乾燥密度	ρ_{dmax}	g / cm ³	0.95	1.08
最適含水比	w_{opt}	%	55.0	41.5
自然含水比	w_n	%	63.5	58.9
液性限界	w_l	%	62.1	55.1
塑性限界	w_p	%	49.5	44.8
塑性指数	I_p	—	12.6	10.3
原位置間隙比	e	—	1.59	1.54
原位置飽和度	S_r	%	99.2	95.0
内部摩擦角	ϕ	degree	21	30
粘着力	c	kN / m ²	30	5

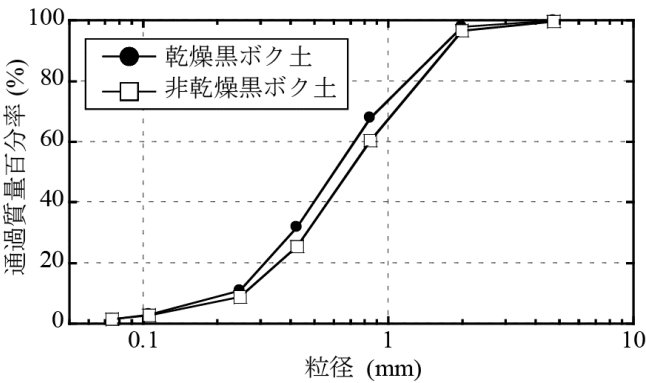


図 1 黒ボク土の粒径加積曲線

キーワード 熊本地震、黒ボク土、物理・力学特性、液状化強度

連絡先 〒371-0816 群馬県前橋市上佐鳥町 460 番地 1 前橋工科大学 TEL. 027-265-7308 E-mail : mori@maebashi-it.ac.jp

た後、加水しながら求めた締固め曲線では緩やかながらピークが存在する。一方、乾燥黒ボク土の締固め曲線には明確なピークが現れた。宅地の造成や擁壁の築造時には、黒ボク土をカラカラになるまで気中乾燥を行うことはしないため、自然含水比の 50~60% で敷き均し、転圧を行うこととなる。そのため、非乾燥黒ボク土（黒ボク土の地山）を用いた宅地の造成や擁壁の築造時の締固め作業後には、乾燥密度 $0.90 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$ 程度の地盤が出来上がり、その後、地表面付近では曝気による乾燥や車両等による転圧、深度の深い部分では土の上載圧による圧密により、乾燥密度が増加するものと考えられる。

この事を確かめるために、緩詰めめの飽和試料に所定の圧密圧力を載荷し、圧密終了後の乾燥密度を計測した。その結果、非乾燥黒ボク土、乾燥黒ボク土ともに、圧密圧力 50 kN/m^2 で乾燥密度 $0.98 \sim 1.00 \text{ g/cm}^3$ 、圧密圧

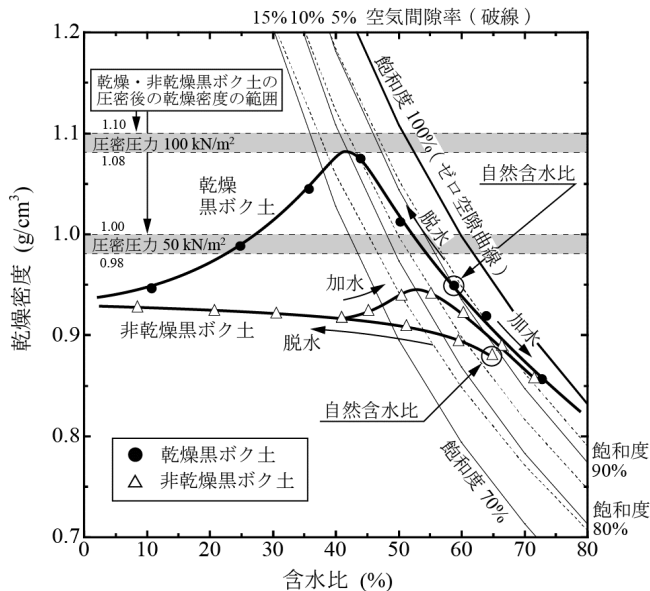


図2 黒ボク土の締固め曲線

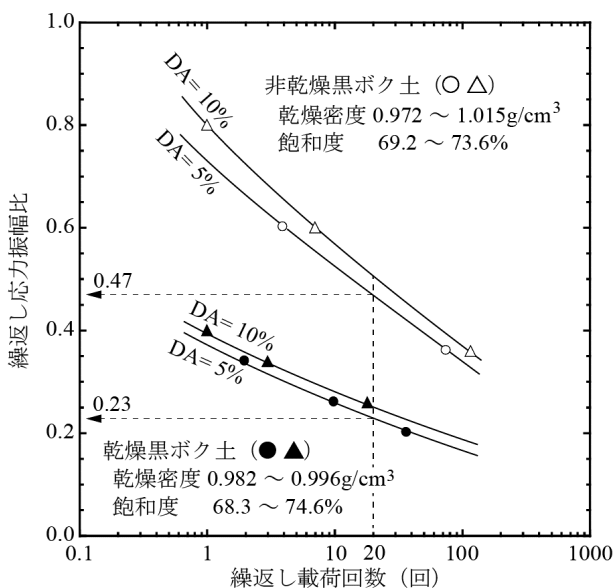


図3 黒ボク土の液状化強度

力 100 kN/m^2 で乾燥密度 $1.08 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ となった。

再構成の黒ボク土を用いた定圧一面せん断試験（CD試験）の結果を表1に示す。非乾燥黒ボク土の供試体は自然含水比の土をせん断箱の中に投入して軽く押さえ、飽和させた後に圧密を行って作製した。せん断速度は 0.1 mm/分 とした。非乾燥黒ボク土の粘着力は約 30 kN/m^2 、内部摩擦角は約 21° 、乾燥黒ボク土の粘着力は約 5 kN/m^2 、内部摩擦角は約 30° となった。これより、益城町の表層地盤の黒ボク土は、乾燥を受けると砂質土に近い性質へ変化することがわかる。益城町の宅地は、もともと耕作地であった場所を転用しているため、表層の土は耕起により曝気・乾燥の履歴を受けている。また、擁壁の裏込め土に関しても水抜き孔により大気にさらされる事から、相応の乾燥を受けていると考えられる。これより、宅地の表層土や擁壁の裏込め土、切土斜面の表面などは「乾燥黒ボク土」、それ以外の黒ボク土は「非乾燥黒ボク土」として考えていく必要がある。

再構成の黒ボク土を用いた非排水繰返し三軸試験の結果を図3に示す。宅地地盤の液状化強度を考えるため、原位置の状態を再現した不飽和土の液状化強度を求めた。非乾燥黒ボク土の供試体は自然土を乾燥(24時間)させたものを、最適含水比まで加水し作製した。また、乾燥黒ボク土の供試体は繰返し乾燥し劣化した自然土を最適含水比まで加水し作製した。試験中は地表面下 $2 \sim 3 \text{ m}$ の状態を模擬するため、有効拘束圧は 50 kN/m^2 とした。液状化強度試験の結果、繰返し載荷回数20回で破壊する繰返し応力振幅比は、非乾燥黒ボク土で 0.47 、乾燥黒ボク土で 0.23 となった。非乾燥状態と乾燥状態の繰返し応力振幅比の値が倍程度違うことから、黒ボク土の液状化強度は乾燥によって大幅に低下することがわかる。

3. 熊本地震における宅地被害の要因

以上の結果より、熊本県益城町において宅地地盤に大きな変形が生じた主な要因をまとめると、以下のようになる。

- (1) 締固めが困難で乾燥密度が小さく、現位置地盤の乾燥密度は $0.96 \sim 0.98 \text{ g/cm}^3$ 程度であった。自然地盤の黒ボク土を材料して用いる場合、転圧・締固めにより達成される乾燥密度は $0.90 \sim 0.95 \text{ g/cm}^3$ 程度と見積もられる。現況の地盤の乾燥密度は、締固めではなく土の自重による圧密によってもたらされる。
- (2) 自然状態の黒ボク土が耕起、開削などにより大気に曝され乾燥履歴を受けると、土の物理特性、静的・動的力学特性が粘性土的特性から砂質土の特性に変化する。
- (3) 乾燥履歴により特性が砂質土的に変化した「乾燥黒ボク土」は、液状化強度が 0.23 程度と小さい。また、自然含水比が液性限界以上であるため、地下水面で浅い地盤であっても、地震動によって容易に泥濁化する。