

# 平成 28 年熊本地震における 火山灰質砂の液状化強度評価

小合 克弥<sup>1</sup>・Hemanta HAZARIKA<sup>2</sup>・國生 剛治<sup>3</sup>・松本 大輔<sup>4</sup>  
・石橋 慎一郎<sup>5</sup>・Wa Ode SUMARTINI<sup>6</sup>

<sup>1</sup>九州大学工学府 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)  
E-mail:katsuyasukt@gmail.com

<sup>2</sup>九州大学教授 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)  
E-mail: hazarika@civil.kyushu-u.ac.jp

<sup>3</sup>中央大学名誉教授 中央大学理工学部 (〒192-0393 東京都八王子市東中野 742-1) .  
E-mail:koktak@ad.email.ne.jp

<sup>4</sup>日本基礎技術株式会社九州支店 (〒815-0075 福岡県福岡市南区長丘 5 丁目 28 番 6 号) .  
E-mail:daisuke\_matsumoto@jafec.co.jp

<sup>5</sup>日本地研株式会社 (〒816-0094 福岡県福岡市博多区師岡 5 丁目 25-25) .  
E-mail:ishibasi@chiken.co.jp

<sup>6</sup>九州大学工学府 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地)  
E-mail:waode\_sumartini@yahoo.co.id

2016 年 4 月 14 日、16 日に熊本県を中心に最大震度 7 を記録する大きな地震が発生し、九州の広い地域で強い揺れが観測された。この地震により熊本平野や八代地方などにおいて広く液状化の被害が発生したが、その被害は地震のマグニチュードなどから考えてもそれほど大規模ではなかった。噴砂は主に河川付近や自然堤防上などに集中して見られた。

過去の地震でも、震度 5 強以上においての液状化被害が報告されているが、その程度は地盤の状況により様々で、特に古い自然体積地盤での液状化事例は少ない。今回の地震によって熊本平野の多くの地点において黒色の火山灰質砂が噴砂として観測されている。本研究では、この火山灰質砂の特性に焦点を当て、周辺状況を踏まえた力学特性について考察した。

**Key Words:** Volcanic ash soil, Cyclic triaxial test, Liquefaction, SEM

## 1. はじめに

火山の周辺では、火山砕屑物を主体とする火山灰質土を含んだ地盤が形成されている。そのため、火山の場所や噴出時期によって火山砕屑物の化学組成は異なり、またその地域によって堆積条件がさまざまであることから、火山灰質土の塑性特性や力学的特性はその種類によって異なる。しかしながら、既往の液状化の判定において、火山灰質砂は特殊土でありながら特別な取り扱いがなされていない。過去の地震の経験から我が国では多数の液状化判定方が提案されており、特に N 値との相関によってボーリング情報からその液状化安全率を評価する方法が道路橋示方書では用いられているが、火山灰質砂ではその N 値との強度の相関関係が通常の砂と異なる、という指摘がある。<sup>1)</sup> (江川他、2016)

また、液状化判定一般において、地盤が年代とともに液状化強度を増す年代効果があることが指摘されている。

(東畑他、2015) 過去の地震においても古い地盤上では液状化が殆ど発生していない一方で、埋立地や旧河道、自然堤防上での液状化被害は多数発生している。

以上のことから、火山灰質砂の液状化特性を考察していく上で、その力学的特性のみでなく、周辺の堆積環境や年代的背景にも着目する必要があると言える。

## 2. 熊本地震の液状化被害の概要

図-1 に熊本平野において観測された噴砂の分布図を示す。噴砂のプロットが帯状に多く連なった様子が多く観測される。中島・中原・土河原地区もその 1 つであるが、



表-1 繰返し三軸試験の供試体に関して

供試体番号	No.1	No.2	No.3	No.4	
供試体条件	直径(cm)	4.979	4.987	4.989	4.979
		4.977	4.984	4.977	4.978
		4.976	4.981	4.987	4.972
	直径平均	4.977	4.984	4.984	4.976
	高さ(cm)	10.088	10.109	10.05	10.081
		10.091	10.111	10.055	10.083
		10.092	10.11	10.051	10.078
	高さ平均	10.090	10.110	10.052	10.081
	体積(cm <sup>3</sup> )	196.33	197.24	196.14	196.06
	質量(g)	252.6	252.5	255.2	255.5
含水比(%)	30	30	30	30	
湿潤密度(g/cm <sup>3</sup> )	1.287	1.280	1.301	1.303	
乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )	0.990	0.985	1.001	1.002	
間隙比 e	254.230	255.515	251.379	250.990	
B 値	セル圧変化(kN/m <sup>2</sup> )	39.7	38.8	39.5	38.8
	間隙水圧変化(kN/m <sup>2</sup> )	38.1	37	38.5	37.9
	B 値	0.960	0.954	0.975	0.977

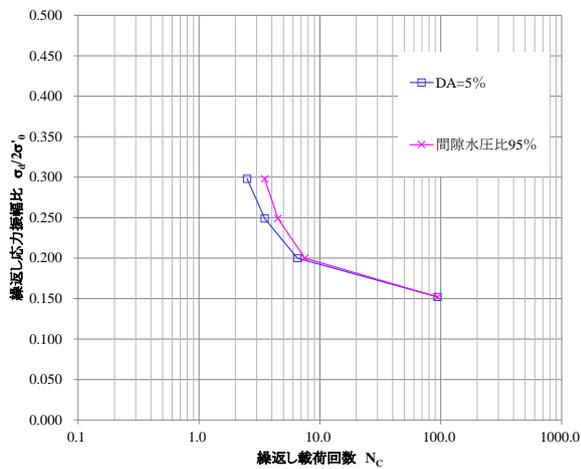


図-6 繰返し三軸試験結果

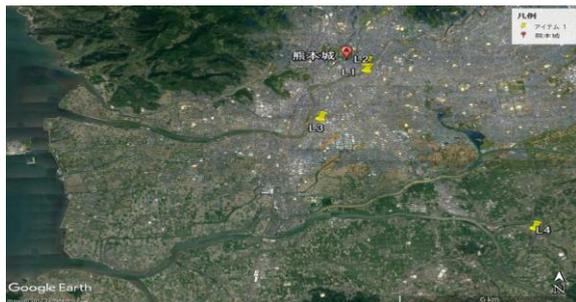


図-7 ボーリングの位置図

#### 4. 繰返し非排水三軸試験

採取した試料の液状化強度を求めるために、モールド内で締固め法によって作成した供試体により繰返し非排水三軸試験を行い、その液状化強度曲線を求めた。表 1 に供試体の寸法等を示す。初期圧密応力は 50kPa とし、圧密終了後、所定の応力比によって载荷を開始した。図 7 にその試験結果を示す。ここで、液状化強度  $R_L$  を繰

返し回数 20 回における応力振幅比として定義すると、 $R_L$  の値は 0.179 となる。ゆる詰め液状化しやすい砂質土の  $R_L$  値は一般に 0.2 以下である<sup>4)</sup>ことから、対象試料の液状化強度は弱いものであったといえる。

#### 5. 道路橋示方書に基づく液状化判定<sup>4)</sup>

道路橋示方書の液状化強度比  $R$  とせん断応力比  $L$  から液状化の安全率  $F_L$  を求める方法を用いて、熊本市内の地震時の地盤状況を推定する。液状化強度比  $R$  は地盤の  $N$  値や細粒分含有率から計算する方法<sup>1)</sup>と繰返し三軸試験で求めた  $R_L$  を用いる方法とがある<sup>6)</sup>ので、の両者を比較する。

根拠とする地盤条件としては国土交通省<sup>3)</sup>公開<sup>4)</sup>するボーリングデータを用いた<sup>5)</sup>。表-2、図-8 に示した 4 地点について判定を行う。それぞれ、L1, L2: 熊本市中心部に近く噴砂を生じなかった地点、L3: 旧河道付近の液状化

表-2 ボーリング情報 (L1~L4)

L1		地下水位: 122cm		
土質名	下端深度(cm)	N値	R	
1 表土	80	-	-	
2 粘土質砂	300	-	-	
3 シルト質砂	810	-	-	
4 火山灰質砂	980	6	0.22	
5 火山灰質砂	1320	25	0.83	

L2		地下水位: 740cm		
土質名	下端深度(cm)	N値	R	
1 埋土	115	-	-	
2 シルト混り火山灰質砂	250	10	-	
3 火山灰質砂	450	10	-	
4 砂質シルト	480	16	-	
5 シルト混り火山灰質砂	550	15	-	
6 砂質シルト	590	13	-	
7 火山灰質砂	650	11	-	
8 砂質シルト	880	6	-	
9 シルト混り火山灰質砂	990	6	0.2	
10 砂質粘土	1000	5	-	

L3		地下水位: 550cm		
土質名	下端深度(cm)	N値	R	
1 盛土	495	-	-	
2 砂混り粘土	700	2	-	
3 シルト混り砂	750	10	0.26	
4 火山灰質砂	990	14	0.27	
5 火山灰混り粘土	1020	6	-	
6 火山灰質砂	1100	40	5.1	

L4		地下水位: 610cm		
土質名	下端深度(cm)	N値	R	
1 埋土	380	-	-	
2 砂質シルト	480	-	-	
3 火山灰質砂	935	7	0.2	
4 有機質砂	1340	-	-	

地点、L4: 内陸部であるが液状化を生じた地点として選定されている。

計算結果を図-8 に示す。R 値をボーリングデータからの推定値で計算した結果に関しては噴砂を生じなかった L1 において安全率  $F_L$  が 1 を下回り、逆に噴砂が観測された L3 では逆に 1 を上回った。噴砂を生じなかったから液状化を生じなかったとは言えないが、L3 に関しては明らかに事実と異なる結果であった。次に、R 値に実験値を用いた  $R=0.9 \times R_L$  の関係を用いて、火山灰質砂の R 値を変更し(N 値が 40 のものは除く)、L3, L4 を再計算した。その計算結果では、 $F_L$  が 1 を下回っているため、液状化層であるとの結果が得られた。以上の結果から、緩い沖積地盤では本研究で試験したような緩詰の状態に近い状態で地盤が存在しており、それは一般の砂質土に対する評価方法では予測しきれないと考えられる。また、L1, L2 のような洪積地盤においては、一般的な方法で推定される強度よりも高い液状化強度を有している可能性が示唆された。確証を得るためには、沈下の有無などの実地確認が必要である。

## 6. おわりに

本研究により、火山灰質砂は液状化に対して脆弱な物理特性を有していることが判明した。また、この度の繰返し三軸試験ではかなり乾燥密度の小さい供試体に対する試験を行ったが、地中の高い土圧の下での堆積環境を考慮するため、異なる密度や圧密応力かでの実験も引き続き行う予定である。

最後に、ボーリングデータを用いた液状化範囲の推定においては、一般的な砂質土に対する推定方法によって

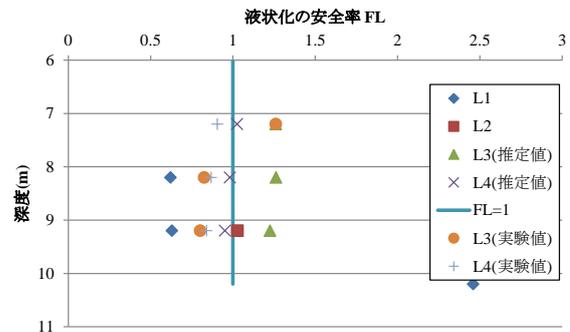


図-9 液状化安全率の計算結果

求められた安全率よりも、実験から得られた小さい R 値を用いた方が現実に即した結果が得られたことから、N 値以外の強度に関する因子の解明を今後の課題としたい。

謝辞：なお、本研究は平成 28 年熊本地震 国際緊急共同研究・調査支援 (J-RAPID) の補助を受けています。

## 参考文献

- 1) 江川拓也, 山梨高裕, 富澤幸一: 火山灰質土の液状化特性に関する検討, 日本地震工学会論文集第 16 巻第 1 号(特集号), 2016
- 2) 先名重樹: 平成 28 年 (2016 年) 熊本地震の液状化被害, 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」報告会, 2016
- 3) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp. 385-389, 2007
- 4) 石原研而: 地盤の液状化, 朝倉書店, 2017.
- 5) 国土交通省: 国土地盤情報検索サイト KuniJiban, <http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/>, 2017-8

(2017.9.1 受付)

## EVALUATING LIQUEFACTION RESISTANCE OF VOLCANIC ASH SOIL DURING THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Katsuya OGO, Hemanta HAZARIKA, Takaji KOKUSHO, Daisuke MATSUMOTO, Shinichiro ISHIBASHI and Wa Ode SUMARTINI

During the 2016 Kumamoto Earthquake, many liquefaction was observed all over Kumamoto Plain. However, considering its magnitude, the damage was not so huge, and the distribution of sand boiling is very limited where liquefaction is likely to occur topographically. Black volcanic ash soil was observed in many places as sand boiling. Therefore, we focus on this soil to reveal its characteristics of liquefaction with cyclic triaxial tests and several physical tests.

Though a lot of methods to evaluate liquefaction potential are proposed in Japan, volcanic ash soil does not seem to be treated properly while its characteristics is different from other soils. Since volcanic ash soil consists of volcanoclastic materials, the chemical components differs if the location of volcano or the period of eruption are different. It is also reported that the relationship between N value and liquefaction strength is different from other normal soils. Therefore, we carry out some investigations to find out the factor that effects the liquefaction strength and understand the mechanism of liquefaction of the volcanic ash soil.