2016 年熊本地震による液状化被害調査 一噴砂の粒度特性と液状化被害状況-Investigation of Liquefaction Damage due to the 2016 Kumamoto Earthquake -Grain Size Distribution of Sand Boil and Liquefaction Damage-

○塩入志緒里¹,山田雅一²,五味晃大¹,関根さやか¹

*Shiori Shioiri¹, Masaichi Yamada², Akihiro Gomi¹, Sayaka Sekine¹

Abstract: This paper reports the liquefaction damage due to the 2016 Kumamoto Earthquake and the comparison with liquefaction evaluation by the recommendation for design of building foundations using its ground parameter.

1. はじめに

平成26年4月14日に発生した Mw 6.2 を前震とし、2日後の16日に生じた Mw 7 の本震を観測した熊本地震は、熊本地方から大 分中部に渡り甚大な被害をもたらした.熊本地震は内陸型地震であり、前震・本震の大きな揺れが2度も襲い、阪神淡路大震災、新 潟中越沖地震、東北地方太平洋地震につぐ、特定非常災害に指定された.この地震では熊本平野の低地に広範囲で局所的な地点に液 状化が確認された.本報告では、液状化被害が局所的に集中した熊本市南区と西区周辺及び上益城郡嘉島町と、噴砂の確認された沿 岸部における液状化発生地点で採取した噴砂の粒度特性を調べ、現行の液状化判定法により得られる液状化の程度との関係について 検討する.

2. 噴砂の粒度特性

噴砂は液状化被害が確認された海岸埋立地を含む計 10 地点で採取した.採取した噴砂の物理的性質を求めるために、土粒子の密度試験(JISA1202)、土の粒度試験(JISA1204)を行った¹⁾. Table 1 には噴砂の採取地点の地名、地形区分および物理試験結果を示した.また、Fig 1 には採取した噴砂の粒度分布を示した.

	地名	地形区分 ²⁾	質量百分率(%)			亚坮	10%	拘笑	曲素	+粒子の
No.			砂分	シルト分	粘土分	^{一→33} 粒径 D ₅₀ (mm)	粒径 D ₁₀ (mm)	场寺 係数 U _c	画単 係数 U'c	密度Ps (g/cm ³)
①-a	熊本市西区新港1丁目	埋立地	56	41	3	0.083	0.042	2.3	1.1	2.741
①-b	熊本市西区新港1丁目	埋立地	49	48	3	0.074	0.056	1.5	0.9	2.765
Q	熊本市西区沖新町	干拓地	95	3	2	0.300	0.121	2.6	1.0	2.802
3	熊本市南区南高江2丁目	自然堤防	97	1	2	0.200	0.113	2.0	1.0	2.767
۹	熊本市南区刈草1丁目	海岸平野・三角州	92	6	2	0.181	0.080	2.6	1.1	2.703
6	熊本市南区日吉2丁目	自然堤防	92	3	5	0.200	0.075	3.3	1.4	2.757
6	熊本市南区近見1丁目	自然堤防	78	18	4	0.136	0.050	3.2	1.0	2.744
Ø	熊本市南区近見2丁目	自然堤防	89	9	2	0.201	0.072	3.2	1.4	2.770
8	上益城郡嘉島町大字鯰	海岸平野・三角州	92	4	4	0.199	0.092	2.4	1.1	2.736
a	1.4+主网和同仁町	エセル	95	1	4	0.200	0.059	3.6	1.8	2.675

Table1. Physical property of sand boil

Table 1.より,採取した噴砂は全て礫分はなく,均等係数 Uc は 2~4 の範囲内 であった.細粒分含有率 Fc は埋立地である No.①を除き,3~22%で全体的に低 い.一方,埋立地である No.①の噴砂は,細粒分含有率 Fc は 44%と 51%で高い が,均等係数 Uc は小さく平均粒径 D50 は他の噴砂と比べて小さいことがわかる. また,この No.①の噴砂は非塑性であることを確認している.これは 2011 年東 北地方太平洋沖地震における浦安市(埋立地)の噴砂³と同様の物理的性質を示 すものである.Table 2 に,現行の液状化判定法で液状化の判定を行うことが必 要となる地盤条件を示した.以上のことから Table1 と Fig.1 から Table 2 に示し た現行の液状化判定法を行う地盤条件を満足する土質であることがわかる.



3. 液状化被害状況と液状化判定による液状化の程度

現行の液状化判定法 ⁴⁾⁵により液状化の危険度とその程度を求めた.液状化判定に用いた地震動は噴砂の採取地点に最も近い K-NET⁶⁾の観測点で得られた地表面最大加速度 α_{max} を用いた. 八代市同仁町は α_{max} =210cm/s² (K-NET 八代), その他の地点では α_{max}=843cm/s² (K-NET 熊本)である.地盤情報は公開されている地盤情報データベース²⁾を基に,噴砂の採取地点近傍のボーリン グ柱状図を用いた.この地盤情報は土の単位体積重量 γ,細粒分含有率 Fc が不明であるので,道路橋示方書による概略値⁵⁾を用い 1:日大理工・学部・建築 2:日大理工・教員・建築

Table 2 Ground condition of Liquefaction evaluation

(a)建築基礎構造設計指針
・地表面から20m程度以浅の土層
・沖積層:細粒分含有率Fcが35%以下の土
・埋立地・盛土地盤:粘土分含有率Ccが10%以下,または塑性指数I _P
が15以下
(b)道路橋示方書
・地下水位が地表面から10m以内にあり,かつ,地表面から20m以内の深
さに存在する飽和土層
・細粒分含有率Fcが35%以下の土層,または,Fcが35%を超えても塑性指
数I _P が15以下の土層
 ・平均粒径D₅₀が10mm以下で,かつ,10%粒径D₁₀が1mm以下である土層

Table 3. Relationship between the P_L and degree of liquefaction

P_L	液状化危険度			
P _L =0	かなり低い			
$0 < P_L \leq 5$	低い			
$5 < P_L \leq 15$	高い			
15 <pl< td=""><td>極めて高い</td></pl<>	極めて高い			

Table4. Relationship between D_{cy} and degree of liquefaction

D _{cy} (cm)	液状化の程度
$D_{cy}=0$	なし
$0{\leq}D_{cy}{\leq}5$	軽微
$5 \!\!<\!\! D_{cy} \! \leq \! 10$	۸jv
$10 \!\!<\!\! D_{cy} \! \leq \! 20$	中
$20 < D_{cy} \le 40$	×
40 <d<sub>cy</d<sub>	甚大

た. 液状化の危険度とその程度は、それぞれ液状化指数 P_L と地表面動的 変位 D_{ey} から判定される. Table3 と Table 4 に、それぞれ液状化指数 P_L と 地表面動的変位 D_{ey} の値に応じた区分を示す. Table5 に各地点の P_L と D_{ey} の判定結果を示した. Table5 より建築学会指針の判定結果から得られた P_L は No.①を除くと道路橋示方書から得られた P_L 値とほぼ整合している. 次に、 P_L と D_{ey} による液状化の危険度とその程度と、実際の液状化被害 状況を比較実際の液状化被害状況を比較するために、各採取地点におけ る液状化による被害写真を Fig.2~5 に示す. 地表面動的変位 D_{ey} は液状化 の程度を表す指標の他に、地盤変形量(残留沈下量 S)の予測としても用

Table5. Liquefaction index and ground surface displacement						
No.	採取地点	液状化	地表変位D _{cy}			
		建築学会(2001)	道路橋示方書(2002)	(=S) (cm)		
0	熊本市西区新港1丁目	35	58	15		
0	熊本市西区沖新町付近	7	8	5		
3	熊本市南区南高江2丁目	7	7	5		
۲	熊本市南区刈草1丁目	45	50	29		
6	熊本市南区日吉2丁目	19	23	8		
6	熊本市南区近見1丁目	4	7	3		
Ø	熊本市南区近見2丁目	22	21	15		
8	上益城郡嘉島町大字鯰	13	8	4		
9	八代市昭和同仁町	8	15	6		

いられている. No.①の西区新港と No.⑤の南区日吉の地表面動的変位 D_{ey} (=S) は、それぞれ $D_{ey}=15$ cm、 $D_{ey}=8$ cm であった. しかし、 実際の液状化の程度は Fig.2,3 に示すように約 $1m\sim1.5m$ の地盤沈下が確認されており、実際の液状化被害状況とは対応していない. D_{ey} の判定区分は、No.①は $10 < D_{ey} \le 20$ で液状化の程度は"中"で、No.⑤は $5 < D_{ey} \le 10$ で液状化の程度は"小"と判定され、 D_{ey} は実際の液状化被害状況に比べて過小評価されている.

Fig.4,5 に示したように熊本市南区において,住宅などの小規模建築物では液状化による建物の沈下傾斜や地盤沈下などの被害が確認された.Fig.4,5 に示した液状化被害事例のように,建物が隣接する場合は,多くの傾斜は両者の上部が近づく方向に発生していた. 一方,道路を挟んだ建物では,道路と反対側に傾斜する傾向が見られた.これは,建物荷重の重ね合わせにより隣接建物間の沈下が大きくなりやすいためであると考えられる.これは,2011年の東北地方太平洋沖地震における東京湾沿岸における住宅などの小規模建築物に対する液状化被害と同様の傾向ⁿを示すものである.



Fig .2 Ground settlement at Shinminato①



Fig .3 Large settlement of a Utility pole at Hiyoshi⁽⁵⁾



Fig.4 The building tilted at Chikami⁶



Fig.5 The building tilted at Karikusa④

4. まとめ

本報告を要約すると以下の通りである.

①液状化発生地点で採取した噴砂に対して物理試験を行い粒度特性を調べた.均等係数 Uc は 2~4 の範囲であった.

②採取した噴砂は液状化判定を行う必要のある地盤条件を満足するものであった.

③現行の液状化判定法により液状化指数 Ptと地表面動的変位 Deyを求め,実際の液状化被害状況と比較すると Pt は概ね対応している

が Dcyは過小評価される傾向にあった.

【参考文献】

[1]地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説-二分冊の1-, pp.97-103,115-124, 2009.

[2]全国地質調査業協会連合会:平成 28 年(2016)熊本地震復興支援ボーリング柱状図緊急公開サイト http://genews.zenchiren.or.jp/2016KumamotoEQ/webgis/index.html

[3]森垣大佳 他: 2011 年東北地方太平洋沖地震による液状化被害調査, 第47 回地盤工学研究発表会, pp.113-114,2012

[4]日本建築学会:建築基礎構造設計指針, 2001.

^[5]日本道路協会:道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2002.

^[6]国立研究開発法人防災科学技術研究所:強震観測網(K-NET,KIK-NET)http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/

^[7]日本建築学会:2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報,2011.