平成 30 年北海道胆振東部地震で被災した火山灰造成宅地の液状化特性 — 2003 年十勝沖地震で被災した火山灰造成農地との比較 —

山下 聡¹, 小川かける², 川尻峻三¹, 川口貴之¹, 渡邊達也¹

1 北見工業大学・工学部社会環境系

2 北見工業大学・大学院工学研究科

概 要

平成 30 年北海道胆振東部地震では、札幌市清田区里塚地区の火山灰造成宅地において液状化による大規模な地盤災害が発生した。液状化した火山灰質土は、緩勾配の地盤中を流動し、造成地末端部から噴出し、地表では最大 4 m 程度沈下した。同様な現象は、2003 年十勝沖地震で北見市近郊の端野町協和地区においても発生している。本報告では、液状化土が傾斜地末端部から流出するという特異な液状化被害が発生したメカニズムを探るために、両地点の地形や流出・盛土材料の物理的性質、液状化特性等の比較を行った。その結果、両地点の旧地形や被災状況は非常に類似していることがわかった。また、里塚地区で盛土された火山灰質土の液状化抵抗は、北海道内の他の火山灰質土に比較しても非常に低く、液状化しやすい材料であることがわかった。

キーワード：液状化，S 波速度，火山灰質土，物理的性質，盛土

1. はじめに

2018 年 9 月 6 日午前 3 時 7 分に発生した平成 30 年北海道胆振東部地震（M6.7）では、震央距離 56 km に位置する札幌市清田区里塚地区の火山灰造成宅地において液状化による大規模な地盤災害が発生した。この地点は昭和 50 年代に農地として利用されていた谷底平野を周辺に堆積している火山灰質土で盛土し、宅地として造成されたところである。谷地形に盛土された火山灰質土は、液状化によって緩勾配の地盤中を流動し、造成地末端部から噴出した。地表部はほとんど移動せずに、地下水位以下の液状化土の流出によって地表では最大 4 m 程度沈下し、多数の戸建て住宅に沈下・傾斜の被害が生じた。傾斜地で液状化した土砂が噴砂をほとんど起こさずに傾斜地末端部から大量に噴出する同様な現象は、2003 年十勝沖地震で端野町（現北見市）協和地区においても発生している¹⁾²⁾。

火山灰質土が広域に堆積している日本においては、火山灰質土の液状化被害例が数多く報告されている³⁾。しかし、砂質土地盤も含めて、地表部は移動せずに大量の液状化土のみが地中を流動し流出する現象は、著者が知る限り上記 2 例以外に見当たらない。

本報告では、液状化土が傾斜地末端部から流出するという特異な液状化被害が発生したメカニズムを探るために、上記 2 地点の地形や流出・盛土材料の物理的性質、液状化特性等の比較を行った。

図 1 札幌市清田区里塚地区の被災状況

図 2 被災地点の縦断面図

図3 被災地付近の地形復元図(地形分類図)(文献4)に加筆

図4 1976年撮影空中写真(国土地理院)(一部加筆)

図5 水路の埋設状況⁵⁾

2. 被災地の概要

2.1 札幌市清田区里塚地区

図1は、液状化による被災が最も大きかった里塚1条1

丁目付近の被災(変状・沈下・噴出・流出)範囲を示したもので、図2は図1に示す測線の縦断面図を国土地理院地図(電子国土 Web)によって描いたものである。また、図3は国土地理院が1961年撮影の空中写真を判読し作成した被災地周辺の地形復元図(地形分類図)⁴⁾である。この地点は昭和54年(1979年)に宅地化される以前は、図4に示すように谷底平野を水田や畑地として利用しており、宅地造成の際に周辺の支笏火砕流堆積物からなる丘陵部を切土し谷部に盛土造成したものである。また、図5に示すように宅地化の際に三里川を暗渠化するとともに、旧水路を暗渠管によって三里川に連結している⁵⁾。三里川ボックスは最大で11mの深さに設置されていることから、谷部の盛土高さは最大で10m程度と推定される。地下水位は、図1に示した変状範囲内において1~4m程度である。

地震によって、地下水以下の盛土部分が液状化し、旧地形の谷筋に沿って液状化土が流動し、末端部付近の複数の噴出口から流出した。

2.2 端野町協和地区

2003年十勝沖地震で被災した端野町協和地区の農地では、大小含めて5箇所で液状化に起因する斜面崩壊や陥没などの被害の発生が確認された²⁾。図6に示す地点は、その中でも最大の被害面積を有する地点で、長さ約190m、幅35~62mにわたって最大3.4m沈下した。図7は、1977年と2003年に撮影された空中写真²⁾で、畑地への造成前は丘陵地を刻む狭い谷底平野であり、水田として利用されていた。その後、約35年前に周辺丘陵地から切土した火山灰質土(屈斜路火砕流堆積物)を谷底部に盛土して畑地として造成したものである。十勝沖地震によって液状化した火山灰質土は、図6,8に示すように沈下域下端部の複数の

図6 2003年十勝沖地震による端野町協和地区の被災状況¹⁾

図7 端野町協和地区の農地造成前と被災後の空中写真²⁾

図8 端野町協和地区の液状化域の平面図，断面図²⁾

の噴出口から流出し、農地、道路、明渠に埋設しさらに小河川に流れ込んだ。

2.3 両地点の被災比較

表1は、両地点の被災状況を比較したものである。また、図9は図2に示した里塚被災地点の縦断面図に図6に示す端野被災地点における測線の縦断面を重ねたものである。なお、端野縦断面図において測線の始点標高を里塚の測線始点の標高に一致させている。また、端野の縦断面においては、電子国土 Web から求めたものと十勝沖地震後に実際に水準測量を行った結果¹⁾を示している。

両地点の被災状況を比較すると、表1に示したように、沈下面積や沈下量、盛土高さは里塚の被災地点の方がやや大きい程度である。また、傾斜勾配は里塚の末端部でやや急になっているが、主たる沈下範囲では同程度の傾斜となっている。このように、液状化した土砂が傾斜地末端部から大量に流出する稀な現象ではあるが、両地点での被災規模や地形は非常に類似しているといえる。

表1 里塚と端野の沈下域の比較

項目	里 塚	端 野
沈下範囲幅	40～70 m	35～62 m
沈下範囲長	250 m	190 m
最大沈下量	4 m 程度	3.4 m
傾斜角	1～3.6° (1.7～6.4%)	1.6° (3%)

図9 里塚と端野の沈下域断面の比較

3. 液状化土の土質特性

里塚地区においては、図1に示す地点から流出した土砂を採取し、各種土質試験を行った。図10に粒度試験結果、図11に締固め試験結果、表2に物理的性質等を端野試料と比較して示している。なお、後述する液状化強度との比較で用いた清田火山灰質土⁶⁾と豊浦砂⁷⁾の結果も併せて示している。

ここで、図10に示した粒度試験結果において、端野盛土試料は図6に示す上流側の滑落崖において0.5～1.0 mの深さの地盤から採取したもので、端野流出土は、図6に示すように液状化により流出した噴出口付近から採取したものである。

図より、里塚試料と端野試料の粒度は類似していることがわかる。また、里塚試料と端野試料の細粒分 F_c はそれぞれ36%と30%であり、比較的細粒分が多い試料である。なお、両試料とも液性・塑性限界試験結果はNPであり、細粒分は多いが非塑性の材料である。

また、表2に示した物理的性質のうち、特徴的なのは両試料とも火山灰質土であるため土粒子の密度 ρ_s が低いことである。特に、里塚試料の土粒子の密度は 2.2 g/cm^3 程度と非常に低い値となっている。北海道内の火山灰質土の中でも、支笏火砕流堆積物は最も土粒子の密度が低い火山

図10 粒度試験結果

図11 締固め試験結果

表2 里塚流出土と端野盛土・流出土の物理的性質等

試料	ρ_s (g/cm ³)	D_{50} (mm)	U_c	F_c (%)	$\rho_{d\max}$ (g/cm ³)	$\rho_{d\min}$ (g/cm ³)	$\rho_{d\text{ in-situ}}$ (g/cm ³)	$D_r\text{ in-situ}$ (%)
里塚流出土	2.20	0.13	11.1	36.3	-	-	-	-
里塚流出土(2mm以下)	2.29	0.11	10.6	40.3	1.055	0.748	-	-
端野盛土 ¹⁾	2.493	0.20	28	30.3	-	-	0.984	55
端野盛土(2mm以下) ¹⁾	-	-	-	-	1.190	0.811	-	-
端野流出土 ¹⁾	2.497	0.19	26	30.0	-	-	-	-
清田火山灰質土 ⁶⁾	2.275	0.25	-	20	1.050	0.786	0.984~1.022	80~91.8
豊浦砂 ⁷⁾	2.635	0.19	1.22	0	1.634	1.341	-	-

灰の一つであるとされており⁸⁾、このことが今回の流動現象が生じた一因と思われる。

図11は、里塚流出土と端野盛土試料¹⁾で行った締め固め試験結果(A-c法)を示したものである。締め固め特性においても、土粒子の密度の低さを反映して、里塚試料、端野試料ともに最大乾燥密度 $\rho_{d\max}$ が低くなっている。特に、里塚試料の最大乾燥密度は1.02 g/cm³と非常に低く、また最適含水比も端野試料よりも高くなっている。したがって、里塚地区は締め固められていたとしても土被り圧が端野地区よりも低く、液状化抵抗が低かったことが考えられる。

4. 液状化試験とベンダーエレメント試験

4.1 試験方法

里塚地区で液状化により流出した土砂を用いて、繰返し非排水三軸試験(液状化試験)とベンダーエレメントを用いたせん断波速度測定試験(BE試験)を行った。なお、両試験とも地盤工学会基準に従って行っている。

供試体の作製は、乾燥試料を漏斗を用いて落下高さゼロでモールド内に堆積させた後、電動パイプレータによってモールド側面から締め固めて作製した⁹⁾。密度の調整は、所定の質量の試料をカラーを取り付けたモールド内に注いだ後、試料の上端が所定の位置まで締め固められるまで振動を加えることによって行った。供試体は、直径70 mm、高さ150 mmで、供試体の圧密後の平均相対密度 D_r は74%と95%の2種である。

供試体作製後、拘束圧30 kPaのもとでCO₂および脱気水により飽和させ、液状化試験では有効拘束圧 $\sigma'_c=100$ kPa(背圧100 kPa)で等方圧密を行い、载荷周波数0.1 Hzの正弦波荷重を与えて試験を行った。さらに、液状化試験後に再圧密を行い再液状化試験も行った。再圧密は、最初の液状化試験(以下では初期液状化)で、両振幅軸ひずみ DA が10%に達した後に軸差応力がゼロの状態状態で载荷を止め、再液状化試験時の供試体の状態を統一するために軸変位を初期液状化前の状態に戻し、等方応力状態でゆっくりと排水バルブを開けて再圧密を行った。再液状化試験時の応力比は、初期液状化試験と同じ応力比で行った。

BE試験は、初期液状化前の有効拘束圧 $\sigma'_c=30$ および100 kPaの圧密時と初期液状化後の再圧密時(100 kPa)に行っている。試験は、2~20 kHzの正弦波を用いてせん断波を発生させ、複数の周波数における平均値をせん断波速度 V_s とした。

なお、試験は試料の最大粒径が19 mmと大きいことと相対密度に基づいて液状化強度の評価を行うため、粒径2 mm以下の試料に対して行った。また、表2に示した最小

図12 液状化試験結果；(a)里塚試料と端野試料の比較，(b)緩め他試料との比較，(c)里塚試料の再液状化試験結果

密度・最大密度も 2 mm 以下の試料に対して求めたものである。なお、砂の最小密度・最大密度試験の適用範囲は、細粒分 5% 以下、最大粒径 2 mm 未満の土質であるが、細粒分が 5% を超える砂やその他の非粘性土の相対密度の評価にも適用できるとされている¹⁰⁾。

4.2 液状化試験結果

図 12(a)は、相対密度 74% と 95% の再構成里塚流出土と端野盛土不攪乱試料および再構成試料の液状化試験結果を比較したものである。図から、 $D_r=74\%$ の里塚流出土の液状化強度は相対密度が端野試料よりも高いにもかかわらず低くなっている。また、 $D_r=95\%$ の試験結果においても相対密度の増加による液状化強度の増加は低い。

図 12(b)は、相対密度が比較的低い再構成試料での結果を比較したもので、相対密度 $D_r=60\%$ の豊浦砂⁷⁾と札幌市清田区清田地区で採取された再構成火山灰質土 ($D_r=60\%$) の結果⁹⁾も示している。なお、清田火山灰質土は、清田地区の宅地造成地の切土面から採取した試料である。図より、里塚流出土の液状化強度は比較した試料の中では最も低くなっている。また、里塚試料と同じ支笏火砕流堆積物からなる清田火山灰質土の液状化強度も低い値となっている。今回の地震では、清田地区でも液状化による被害が報告されており、その原因の一つは盛土した支笏火砕流堆積物の液状化強度の低さであろう。

図 12(c)は、再液状化試験結果を示したものである。初期液状化後の再圧密によって密度が増加したため、再液状化強度は初期液状化時よりも高くなっているものの、大きな増加は認められない。なお、再圧密による密度増加は、液状化試験前の相対密度が $D_r=74\%$ の場合は、平均で 18% 増加し $D_{rRE}=92\%$ に、 $D_r=95\%$ の場合には 10% 増加し $D_{rRE}=105\%$ となった。この増加量は、体積ひずみで表すと $D_r=74\%$ の供試体の場合は 6.7%， $D_r=95\%$ の供試体では 4.0% に相当する。

図 13(a)には、繰返し載荷回数 20 回での繰返し応力比から求めた液状化強度比 R_{L20} と相対密度 D_r との関係を示している。図中には細粒分含有率 F_c が 5% 以下であるきれいな砂に対する液状化強度と相対密度の関係式 ($R_L=0.0042D_r$)¹¹⁾も示している。火山灰質土の液状化強度は、この関係式よりも低く、特に里塚試料の液状化強度が最も低くなっている。

火山灰質土の液状化被害については、平成 28 年熊本地震においても確認されている。熊本地震では、熊本平野において広範囲で液状化被害が生じた。村上ら¹²⁾は、液状化地点で採取された噴砂の多くは、火山性由来の土質と思われる火山灰質砂質土であったと報告している。また、村上らは熊本市南区近見で採取した噴砂と豊浦砂を用いて、水中落下法により締固め作用を与えずに緩い状態で作製した供試体に対して、繰返し中空ねじり試験装置を用いて液状化試験を行っている。両試料の液状化強度比 R_{L20} は、噴砂 ($D_r=26\%$, $R_{L20}=0.190$) の方が豊浦砂 ($D_r=40\%$, $R_{L20}=0.172$) に比べてやや高くなったと報告している。図 13(a)

には、この値も示しているが噴砂の液状化強度は里塚試料や端野試料よりも高い値となっている。

図 13(b)は、液状化強度と締固め度 D_c の関係で比較したものである。締固め度で比較した場合でも、実験を行った密度での里塚試料の締固め度が高いにもかかわらず液状化強度は低くなっている。また、里塚試料の再液状化強度は、再圧密によって密度が増加しているが、初期液状化強度に対する液状化強度と相対密度や締固め度との関係よりもわずかではあるが低くなっている。また、相対密度が高いにもかかわらず、密度の低い清田試料や端野試料と同程度の液状化強度を示している。このことは、再液状化の危険性があることも示唆している。

図 13 液状化強度比と(a)相対密度の関係、(b)締固め度

図 14 には相対密度と締固め度の関係を里塚試料、端野試料、豊浦砂に対して示したものである。同じ相対密度(または締固め度)であっても、試料によって締固め度(または相対密度)は大きく異なる。例えば、里塚試料において締固め度を 90% としても相対密度は 65% 程度であり、液状化強度は非常に低い値となる。したがって、十分な締固めを行って盛土が造成されたとしても、液状化に対する抵抗値は低くなった可能性がある。なお、液状化試験は粒径が 2 mm 以下の試料に対して行っており、原粒度の液状化強度を表すものではないが、屈斜路火山灰質土に対して、原粒度と 2 mm 以下の試料で行った液状化試験結果はほとんど等しい結果となっている¹³⁾。

図 14 相対密度と締固め度の関係

図 16 G と e の関係 図 15 BE 試験結果 ; (a) V_s と拘束圧の関係, (b) G と拘束圧の関係

4.3 ベンダーエレメント試験結果

図 15(a), (b)は、里塚流出土の液状化試験において、有効拘束圧 $\sigma'_c=30$ および 100 kPa の等方圧密状態のもとで鉛直方向に伝播するせん断波速度 V_s と V_s から求めたせん断弾性係数 $G (= \rho V_s^2)$ を示したものである。図中には、 $\sigma'_c=50, 100, 200, 400 \text{ kPa}$ の等方圧密状態のもとで求めた豊浦砂¹⁴⁾と端野試料¹⁾の V_s と G も併せて示している。

液状化試験結果と同様に、里塚流出土のせん断波速度およびせん断弾性係数は他の試料よりも非常に低いことがわかる。里塚地区での地下水位を 3 m と仮定し(地下水位より上での湿潤密度を飽和密度と同じと仮定)、深度 10 m での有効土被り圧を求めると、締固め度 D_c を 90% ($D_r=65\%$)とした場合、 80 kPa 程度であり、図 15(a)から $V_s=130 \text{ m/sec}$ 程度となる。したがって、原地盤においてもせん断波速度が低く、軟弱な地盤条件にあったと推察される。

図 16 は、有効拘束圧 100 kPa でのせん断弾性係数 G と間隙比 e の関係を示したものである。図中には式(1)に示す Iwasaki・Tatsuoka¹⁵⁾が細粒分を含まなくて均等係数 U_c の小さなきれいな砂に対して共振法試験で求めたせん断ひずみ $\gamma=10^{-6}$ での G と e の関係式と、式(2)に示す阿曾沼ら¹⁶⁾が鹿児島で採取したしらす試料の再構成供試体に対して繰返し三軸試験で求めた 10^{-6} レベルでの関係式も示している。

$$G = 14100 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} \sigma_v^{0.4} \quad (\text{kPa}) \quad (1)$$

$$G = 10276 e^{-2.48} \sigma_c^{0.52} \quad (\text{kPa}) \quad (2)$$

図より、火山灰質土の G と e の関係は、砂に対するものよりもやや上に位置する。端野試料については、しらすの関係式と同様な値を示しているが、里塚試料はそれよりも低い。また、初期液状化後の再圧密時の G は、再圧密によって間隙比が低下しているにもかかわらず、 G の増加が

図 17 里塚地区での SPT 実施地点⁵⁾ 図 18 里塚地区⁵⁾と端野町協和地区¹⁾での原位置試験結果の比較

認められない。このことは、初期液状化によって密度は増加しているが、液状化による構造の弱化によって G の増加が認められなかったものと考えられる。

5. 原位置試験と流動化メカニズム

里塚地区では、被災メカニズムの解明や対策工法の選定等のために、札幌市によって標準貫入試験 (SPT) などの原位置試験が数多く行われている。図 17 は、里塚地区での SPT の試験地点⁵⁾を示したもので、その数は 30 か所以上に及ぶ。一方、2003 年十勝沖地震で液状化被害が発生した端野町協和地区においても、被災後に各種の原位置試験を行っている。図 18 は、里塚で行われた SPT による N 値⁵⁾と端野で行ったミニラム試験による換算 N_d 値¹⁾を比較したものである。里塚の試験結果は、図 17 に示す B-2, 11, 7, 34 地点の結果で、沈下が顕著な地点である。一方、端野の試験地点は、図 6 に示すように沈下が生じた範囲近傍の顕著な沈下が生じていない盛土地点と切土地点である。

両地点による試験値を比較すると、端野の切土地盤で行ったミニラム試験による N_d 値は、深さとともに急激に増加しているが、里塚および端野の盛土地盤で行った結果では、深度 2~8 m 程度の範囲において N (N_d) 値がゼロの深度が多くあり、両地点とも非常に緩い状態で盛土されていることがわかる。

このように、今回里塚地区において 2003 年十勝沖地震で端野町協和地区において発生した液状化被災と同様な現象が生じた要因として、以下のことが推察される。

- 1) 集水地形の傾斜した谷部に液状化強度の低い火山灰質土が盛土されていた。
- 2) 盛土された火山灰質土は、土粒子の密度や最大乾燥密度が一般の砂質土に比較して非常に低い。また、北海道内の他の火山灰質土と比較しても土粒子の密度が低い。
- 3) 細粒分が多いため透水性が低いと考えられ、液状化した際に間隙水圧の消散が遅く、液状化状態の持続時間が長かったと推定される。
- 4) 間隙比が大きく、一般の砂質土に比較して水分の割合が高いために、せん断変形に伴う強度回復がほとんど生じずに泥流状になったと考えられる。
- 5) 液状化土が傾斜地末端部から流出するという特異な現象は、盛土材料の間隙が大きく、土粒子の密度が低く、細粒分が多いため、流動しやすいと推察される火山灰質土特有の性質に依存したものと考えられる。

なお、上記の推察は、定性的な現象の解明に留まっており、今後は定量的な被災メカニズムを明らかにする必要がある。

6. 結 論

平成 30 年北海道胆振東部地震によって札幌市清田区里塚地区の火山灰造成宅地において、液状化した土砂が緩勾配の地盤中を流動し、造成地末端部から噴出した。同様な被害形態が 2003 年十勝沖地震で端野町協和地区においても発生している。両地点での地形や液状化土の土質特性を比較したところ、以下のような結果が得られた。

- 1) 両地点とも造成される以前は、集水地形の傾斜した谷底平野で農地として利用されていた。造成の際に周辺の丘陵部から火山灰質土を切土し、谷部に盛土造成したものである。両地点の被災状況を比較すると、沈下面積や盛土高さはやや里塚の被災地点の方が大きい程度でほぼ同様であった。また、主たる沈下範囲での傾斜も同程度で、両地点の旧地形や被災状況は非常に類似していた。
- 2) 盛土された火山灰土の液状化抵抗やせん断波速度は、他の北海道内の火山灰質土に比較しても非常に低く、液状化しやすい材料であったことがわかった。また、里塚地区で盛土された材料の方が端野地区の盛土よりも液状化強度が低いと推察された。
- 3) 液状化土が傾斜地末端部から流出するという特異な現

象は、盛土材料の間隙が大きく、土粒子の密度が低く、細粒分が多いという火山灰質土特有の性質に依存しているものと推定された。

謝 辞

調査にあたって、札幌建設局土木部道路課の皆様にご協力を頂いた。記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 山下聡, 堀智仁, 伊藤陽司, 村田芳信, 林宏一, 鈴木輝之: 十勝沖地震で被災した火山灰造成農地の液状化特性, 地盤工学会北海道支部技術報告集, No. 44, pp. 197-206, 2004.
- 2) Ito, Y., Yamashita, S., Suzuki, T. and Hirata, H.: Gentle slope movements induced by the 2003 Tokachi-Oki Earthquake, in the Kyowa area of Tanno Town, Hokkaido, Japan, Journal of the Japan Landslide Society, Vol. 42, No. 2, pp. 103-111, 2005.
- 3) 風間基樹, 三浦清一, 八木一善, 海野寿康, 鈴木輝之, 伊藤陽司: 「講座」火山灰質土—その性質と設計施工— 6.火山灰質地盤の被害事例, 土と基礎, Vol. 54, No. 2, pp. 45-54, 2006.
- 4) 国土地理院: 札幌市清田区の地形復元図 (地形分類図), <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#9>, (参照2019年5月).
- 5) 札幌市: 第2回清田区里塚地区の市街地復旧に向けた地元説明会配布資料, 平成30年10月18日, <https://www.city.sapporo.jp/kensetsu/stn/documents/dai2kaisetsumei-kaisiryō2.pdf>, (参照2019年5月).
- 6) 青野哲茂, 土岐祥介, 三浦均也: 2, 3 の火山灰の液状化特性, 土質工学会北海道支部技術報告集, No. 29, pp. 1-8, 1989.
- 7) 山下聡, 大城英嗣, 成田純, 鈴木輝之: 粒度調整火山灰質土の液状化特性と相対密度依存性, 地盤工学会北海道支部技術報告集, No. 39, pp. 127-132, 1999.
- 8) 地盤工学会北海道支部「北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会」: 実務家のための火山灰質土〜特徴と設計・施工, 被災事例〜, p. 29, 2010.
- 9) Yamashita, S. and Toki, S.: Effects of fabric anisotropy of sand on cyclic undrained triaxial and torsional strengths, Soils and Foundations, Vol. 33, No. 3, pp. 92-104, 1993.
- 10) 地盤工学会: 地盤調査の方法と解説 第3編 第10章 最小密度・最大密度試験, pp. 195-225, 2013.
- 11) Ishihara, K.: Simple method of analysis for liquefaction of sand deposits during earthquakes, Soils and Foundations, Vol. 17, No. 3, pp. 1-8, 1973.
- 12) 村上哲, 永瀬英生, 大里重人, 矢ヶ部秀美: 平成28年熊本地震地盤災害調査報告書 5. 液状化・地盤陥没災害, 地盤工学会, pp. 115-141, 2017.
- 13) 山下聡, 大城英嗣, 鈴木輝之: 火山灰質土の繰返しせん断特性に及ぼす粒度分布の影響, 地盤工学会北海道支部技術報告集, No. 40, pp. 129-134, 2000.
- 14) Yamashita, S., Kawaguchi, T., Nakata, Y., Mikami, T., Fujiwara, T. and Shibuya, S.: Interpretation of international parallel test on the measurement of Gmax using bender elements, Soils and Foundations, Vol. 49, No. 4, pp. 631-650, 2009, (Lab. No. 22).
- 15) Iwasaki, T. and Tatsuoka, F.: Effect of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands, Soils and Foundations, Vol. 17, No.3, pp. 19-35, 1977.
- 16) 阿曾沼剛, 三浦清一, 八木一善, 田中洋行: 火山性粗粒土の動的変形特性とその評価法, 土木学会論文集, No.708/III-59, pp. 161-173, 2002.

(2019. 5. 22 受付)

Liquefaction characteristics of residential volcanic soil ground suffered by
2018 Hokkaido Iburi Tobu Earthquake
- Comparison with agricultural volcanic soil ground suffered by
2003 Tokachi-oki Earthquake -

Satoshi YAMASHITA¹, Kakeru OGAWA², Shunzo KAWAJIRI¹,
Takayuki KAWAGUCHI¹ and Tatsuya WATANABE¹

1 Faculty of Engineering, Kitami Institute of Technology

2 Graduate School of Engineering, Kitami Institute of Technology

Abstract

In the 2018 Hokkaido Iburi Tobu Earthquake, a large-scale ground disaster caused by liquefaction occurred on embankments filled with volcanic ash soil in the Satozuka area of Sapporo City. Liquefied volcanic ash soil flowed through the ground with a gentle slope, spouted from the end of the slope, and the ground sank up to about 4 m deep. A similar phenomenon has occurred in the 2003 Tokachi-oki earthquake in the Kyowa area, Tanno Town close to Kitami City. In this report, in order to investigate the mechanism of the unique liquefaction damage occurred that the liquefied soil flowed out from the end of the sloping land, the comparison of the landform, the physical properties of the runoff and embankment material, the liquefaction characteristics, etc. of both sites were performed. As a result, it found that the old landform and the damage situation of both sites are very similar. In addition, it was found that the liquefaction resistance of the volcanic ash soil filled in the Satozuka area was very low compared to other volcanic ash soils in Hokkaido.

Key words: embankment, liquefaction, physical properties, velocity of shear wave, volcanic ash soil