3.8 液状化判定法の高精度化に関する研究③

研究予算:運営費交付金(一般勘定) 研究期間: 平成 24 年度~27 年度 担当チーム: 寒地基礎技術研究グループ (寒地地盤) 研究担当者:山梨高裕,福島宏文,冨澤幸一,江川拓也

【要旨】

東北地方太平洋沖地震により発生した広域的かつ多大な液状化被害は、社会に大きな影響を与えた。次なる大地震 による液状化被害の軽減に向け、社会資本の液状化対策を進めていくことが喫緊の課題である。本研究は、我が国に おける多様な土質、地質構造を有する地盤を対象に、液状化に対する各種構造物の耐震性能をより合理的に評価し、 真に危険性の高い構造物の的確な抽出に寄与すべく、液状化判定法の高精度化を図ることを目的として実施するもの である。

ここでは、特殊十でありながら既往の液状化判定法では特別な取り扱いがされていない火山灰質十の液状化判定法 を検討することを目的としており、本報では、火山灰質土の液状化履歴および液状化特性に関する事例分析ならびに 液状化特性を調べるための原位置調査および室内土質試験を実施した。 キーワード:液状化,液状化判定法,細粒分,火山灰質土,特殊土

1. はじめに

これまで、産官学の各方面において液状化対策に関す る様々な技術開発がなされてきたものの、一般に多大な コストを要することから、液状化対策はほとんど進んで いない。また、液状化対策の実施が必要とされる箇所に ついて十分な対策効果を得るためには、地中の広い範囲 にわたる地盤改良等が必要となることから、対策コスト の縮減にも限界がある。

このような状況の下、東北地方太平洋沖地震により発 生した広域的かつ多大な液状化被害が、社会に大きな影 響を与えた。東北地方太平洋沖地震による液状化被害を 踏まえ、国土交通省は「液状化対策技術検討会議」にお いて、液状化被害の実態把握、現行の液状化発生の予測 手法 (液状化判定法) の検証を行った。その結果, 現在 の液状化判定法が今回の地震による液状化の発生を見逃 した事例は確認されなかった。一方で、実際には噴砂等 の液状化の痕跡が確認されないにもかかわらず液状化す ると判定される箇所が多く確認されたことから、地震動 の継続時間の影響、細粒分の影響、造成年代の影響等の 評価について継続的に検討する必要があると結論付けら れたり。

次なる大地震による液状化被害の軽減に向け、社会資 本の液状化対策を進めていくことが喫緊の課題である。 そこで、本研究は、我が国における多様な土質、地質構 造を有する地盤を対象に, 液状化に対する各種構造物の 耐震性能をより合理的に評価し、真に危険性の高い構造 物の的確な抽出に寄与すべく、液状化判定法の高精度化 を図ることを目的として実施するものである。

本報では、特殊土でありながら既往の液状化判定法で は特別な取り扱いがされていない火山灰質土の液状化特 性の把握を目的に,過去の液状化履歴および液状化特性 に関する事例分析ならびに原位置調査および室内土質試 験結果から考察を行った。

火山灰質土の液状化特性に関する検討 2.

我が国は環太平洋火山帯に位置しており、日本列島を 囲む4つのプレート境界に沿って火山が多数存在してい る。図-1 に、日本の第四紀火山カタログ²に示される火 山の分布を示す。火山の近傍では、火山砕屑物を主体と する火山灰質土を含む地盤が形成されている。火山砕屑 物は火山の場所や噴出時期により化学組成が異なること, 地域によって堆積条件が異なること等の理由から、火山 灰質土の組成特性や力学的特性はその種類により異なる。 関東ロームとしらすはどちらとも火山灰質土であるが、 前者は火山灰質細粒土、後者は火山灰質粗粒土という違 いがある。

既往の地震において火山灰質土での液状化も確認され てはいるが^{3,4,5},道路橋示書同解説V耐震設計編⁹等の 設計指針や設計基準では、火山灰質土は液状化の判定を 行う必要がある地層条件の「沖積層の砂質土」に該当し ていなかったため、火山灰質土の液状化判定に必要な力 学的特性については十分明らかになっていない。

ここでは、火山灰質土の過去の液状化履歴および液状 化特性についての文献調査,過去に火山灰質土の液状化 が確認された地点における原位置調査,室内土質試験を 実施し、その液状化特性の把握を試みた。



図-1 我が国の火山の分布²⁾

2.1. 火山灰質土の液状化履歴および液状化特性に関 する事例分析

2.1.1. 調査方法

我が国の特殊土である火山灰質土の過去の液状化履歴, 液状化特性に関する検討事例について,日本国内で刊行 された論文集や報告書を調査した。

キーワードは「火山灰質土」,「液状化」,「液状化特性」 を基本とし、1981年以降の文献を中心に検索した。

発行元	文献名称				
土木学会	年次学術講演会講演集				
	論文集				
	地震工学論文集				
地盤工学会	地盤工学ジャーナル				
	地盤工学会誌(土と基礎を含む)				
	地盤工学会論文報告集				
	Soils and Foundations				
	地盤(土質)工学研究発表会発表講演集				
日本建築学会	日本建築学会学術講演梗概集				
	日本建築学会構造系論文集				
農業土木学会	農業土木学会全国大会講演要旨集				
応用地質学会	応用地質				
その他	各種地震被害調査報告書, 大学・高専報告書等				

表-1 調査対象の文献

表-1 に検索した対象文献を示す。また、過去の地震にお ける火山灰質土の液状化履歴については、1968 年十勝沖 地震(Mj7.9)および同年に九州南部で発生したえびの地 震(Mj6.1)以降の地震を対象とし、地震被害調査関連の 文献について調査を行った。

2.1.2. 調査結果

上記の条件で文献調査を行った結果,57 編の文献を抽 出した。文献の内訳は、土木学会論文集が15 編、土木学 会年次学術講演会講演集が3 編、「土と基礎」を含む地盤 工学会誌が9 編、地盤(土質)工学研究発表会発表講演集 が8編、各種地震被害調査報告書が6編、他16編である。

抽出した文献において調査研究の対象とされた火山灰 質土は限定される傾向にあり,南九州に分布するしらす と北海道・東北地方の火山灰質土が多い。

1) 既往の地震による火山灰質土の液状化履歴

これまでに発生した多くの地震により火山灰質土の液状化が確認されている。表-2および図-2に火山灰質土の液状化が確認された地震の一覧を示す。

表−2	既往の地震による火山灰質土の液状化履歴
-----	---------------------

No.	地震名称	液状化地点
1	1968年えびの地震	宮崎県えびの町
2	1968年十勝沖地震	札幌市, 八戸市
3	1993年釧路沖地震	釧路市他
4	1993年北海道南西沖地震	北海道森町,道南地区
5	1997年鹿児島県北西部地震	鹿児島県入来町
6	2003年十勝沖地震	札幌市, 道東地区



図-2 既往の地震による火山灰質土の液状化履歴 (参考文献 7)の図-6.1 に加筆)

2) 火山灰質土の液状化特性に関する事例分析

論文中に北海道および鹿児島における地盤調査結果が いくつか示されており, 概ね N 値 20 以下の地盤を対象 に調査が行われている。図-3 に一例として,参考文献 8) に示される北海道ウトナイ地点と鹿児島大学地点におけ る N 値分布を示す。

σv' (kPa

CU



図-4に参考文献9)に示される火山灰質土と砂質土のN値と内部摩擦角(ϕ)の関係を示す。N 値と ϕ の関係につ いては、降下火砕堆積物では砂質土と大きな違いが見ら れず、その理由として三軸圧縮試験と標準貫入試験の際 に粒子破砕が生じ、両者に及ぼす影響が低減されている ためと考えられている。一方、軽石流堆積物では、N 値 が低くなると砂質土よりも ϕ が高くなるものとされてい る。さらに、図-5 に示すN 値と見かけの粘着力(C)との 関係においても、低いN値でCが大きく評価されており、 粒子破砕によってCの過大評価が生ずるためと考えられ ている。したがって、火山灰質土の力学特性を評価する うえで、粒子破砕の影響を考慮する必要があるものと考 える。

既往の研究において、火山灰質土の液状化強度と相対 密度の関係について報告されている。図-6 に参考文献 10)に示される火山灰質土と豊浦砂および利根川砂の液 状化強度曲線を示す。この図からわかるように、火山灰 質土の液状化強度は、同程度の相対密度の砂質土に比べ 低く、相対密度が40%以下の試料では液状化強度は豊浦 砂の約半分程度になっている。また、図-7(参考文献 9)) に示すように、相対密度が高くなるに従い火山灰質土の 液状化強度は上昇し、豊浦砂の液状化強度との差異が小 さくなる。

再構成試料についても同様の傾向がみられる。図-8 に 参考文献 11)に示される再構成試料と不撹乱試料との液 状化強度を示す。一般的な結果と同様に再構成試料の液 状化強度は不撹乱試料よりも低い。

火山灰土の粒径は様々であることから、参考文献 12)



図-6 火山灰質土と砂質土の液状化強度曲線¹⁰⁾





図-9 火山灰質土の液状化強度と D₅₀の関係¹²⁾

では平均粒径 D₅₀ と液状化強度(Nc=20 回)の関係を示し ており,明確な関係が認められるとされている(図-9)。 参考文献 13)では,火山灰質土の液状化強度は密度や拘 束圧の影響よりも粒子形状やメンブレンペネトレーショ ンの影響を示している。いずれの論文でも,火山灰土の 液状化強度を評価する場合,粒子破砕の影響について述 べており,火山灰質土の液状化強度に及ぼす粒子破砕の 影響に関し,さらなるデータ収集・蓄積の必要性を示唆 している。



図-10 初期有効拘束圧と細粒分含有率の変化量¹⁵⁾



図-11 破砕細粒分を含む火山灰質土の液状化強度¹⁶

既往の研究では、N値や原位置との比較がなされているが、そのデータは広く公開されているものではない。 参考文献14)では、二次しらすの液状化強度をN値から推定する場合、N値を実測値の2倍にして評価すると良い一致が見られるとしている。また、参考文献15)では、液状化試験後に供試体内の細粒分が増加しているとの報告(図-10)や、参考文献16)では破砕細粒分を増加させると正規圧密状態では液状化強度が低下すると報告されている(図-11)。

3) 既往の液状化判定法の火山灰質土への適用に関す る事例分析

既往の液状化判定法の火山灰質土への適用性を直接評価した文献は限定されている。既往の液状化判定法では、 基本的にN値と細粒分含有率から液状化強度を推定するため、N値と液状化強度の関係について検討された文献より、既往の液状化判定法の適用性について考察した。

参考文献 17)では、普通の砂層は締め固まるに従い液 状化強度が高まるが、八戸軽石(軽石質火山灰)は、密に 詰めても液状化強度があまり高まらず、また、軽石質火 山灰が砂層中にわずかに混入しただけで、砂層の液状化 強度は大きく減少することが指摘されている。そのため, 同じN値でも砂質土よりも液状化強度が低い可能性があ り,N値から液状化強度を推定すると大きめとなり,危 険側の判定結果を与える可能性がある。一方,前述のよ うに参考文献14)では,二次しらすの液状化強度をN値 から推定する場合,N値を2倍にして評価すると良い一 致が見られるという,相反した結果もある。

また,火山灰質土には粒子破砕の影響もあり,既往の 液状化判定法を用いることは難しいと思われ,これまで の調査研究データを総合して検討し,新たな係数,補正 値を設ける等の改良が必要と考えられる。

2.2. 火山灰質土の液状化特性に関する原位置および 室内土質試験結果からの考察

過去の地震において火山灰質土の液状化が確認された 地点で原位置調査,室内土質試験を実施し,その液状化 特性の把握を試みた。

ここでは, **表-2** および図-2 に示した 1993 年北海道南 西沖地震で火山灰質土の液状化が確認された北海道森町 (**表-2**の No.4)で実施した調査・試験結果の考察を行う。

2.2.1. 調査概要

図-12 に調査箇所図を示したが、森町では液状化が確認された地点とその近傍の非液状化地点の2 地点で調査・試験を行った。各地点で実施した調査・試験項目を表-3 に示す。

標準貫入試験は深さ1m間隔で行い,落下方法は半自動型とした。標準貫入試験により採取した試料は,全て物理試験に供することとした。また,調査地点における深さ方向のわずかな層相変化の状況を把握するため,電気式静的コーン貫入試験(CPT)の実施を試みたが,当該地盤には粗石が点在しており,CPTの貫入および正確な計測が困難と判断されたため実施していない。

液状化試験に用いる4供試体を選定する際には、チュ ーブから取り出した試料を観察し、それぞれが類似した 土質となるよう留意したが、この時点で全供試体の土質 が類似することを十分に確認できたわけではない。



図-12 調査箇所図 (参考文献 18)の図 付 39 の一部を抜粋,加筆)

表--3 調査項目

調査項目	仕様
機械ボーリング	φ86 SPT, PS 検層と併用
	φ116 サンプリング用
標準貫入試験(SPT)	
PS 検層	サスペンション方式
	ダウンホール方式 (地下水位以浅)
乱れの少ない試料	ロータリー式三重管サンプリング
の採取	GP サンプリング
液状化試験	繰返し非排水三軸試験
物理試験	粒度,土粒子密度,含水比,
	液性限界,塑性限界



図-13 火山灰質土の粒子内間隙の模式図¹⁹⁾

PS 検層は、乱れの少ない試料の品質評価を目的とした ものであり、サスペンション方式と地下水位以浅ではダ ウンホール方式を採用した。深さ方向に 0.5m 間隔 (測定 区間長 1m) で測定することにより、乱れの少ない試料の 採取区間に最も近い測定区間を対比区間として後に選定 できるようにした。

液状化試験に先立ち,各供試体に微小なP波とS波を 与え,得られたP波速度とS波速度から各供試体の初期 せん断剛性 G_0 を算出した。液状化試験は、非排水繰返し 三軸試験とし、載荷速度は0.1Hz としている。各供試体 の液状化強度比 R_L は、両振幅軸ひずみDA=5%、繰返し 回数Nc=20回に対応する繰返し応力振幅比 $\sigma_d / 2\sigma_0$ とし ている。液状化試験後の供試体については、全供試体を 物理試験に供した。

2.2.2. 地盤特性の影響による評価

北海道森町における調査・試験結果から得られた地質 断面図を図-14 に示す。当該箇所は、北海道駒ケ岳の山 麓北西に位置し、工学的基盤と思われる尾白内層(Ot)の 上位に第四紀の駒ケ岳火山噴出物(As, Ag)が厚く堆積し ており、この層は、更新世後期から現在まで活動を続け ている駒ケ岳の噴出物で、溶岩、火山礫、軽石および火 山灰からなり、礫をわずかに伴う岩屑なだれ堆積物の二 次堆積物とされている。1993年の北海道南西沖地震では、 この地域に広く堆積する As 層が液状化し、家屋や道路 に被害をもたらしたとされている²⁰⁾。その上位に沖積堆 積物とされる駒ケ岳の降下軽石(Av)や砂質礫(Bk)が分布 している。

液状化の発生の有無と地盤強度との関係を検討するため、地下水位以深に堆積するAs層、Ag層を対象に、深度 Im間隔で実施した標準貫入試験によるN値と各種物理試験結果から、道路橋示方書における現行の液状化判定法²¹⁾で用いられる換算N値N₁と地震時せん断応力比L との関係として液状化箇所と非液状化箇所をあわせて 図-15 に示す。地震時せん断応力比Lを求める際の地盤 面の設計水平深度 k_{hgL}は、1993 年北海道南西沖地震で当該箇所近傍の橋梁地盤面に設置された強震計での観測記 録²²⁾の水平 2 方向のうちの最大加速度(241gal)を重力加 速度(980gal)で除し、深さ方向の低減を行い求めた。

図には、同様の液状化判定法で用いられる液状化強度 比推定式を細粒分含有率 FC 別に設定されている曲線で 示した。なお、地震動特性による補正係数 Cwは1.0 とし ている。この曲線よりも上側の範囲は「液状化する」と 判定され、この曲線よりも下側の範囲は「液状化しない」 と判定されることになる。

図-15は、深度 1m 毎に把握した FC からその範囲別に

時代	地質	土層	記号	層厚 (m)	N值	土質·岩質
第四紀	盛土	盛土	Bk	0.65~ 1.60	I	粘性土質砂質礫
	駒ヶ岳火山噴出物 (降下軽石:Ko-d)	火山灰	Av	1.10	0	軽石まじり火山灰
	駒ヶ岳火山噴出物 (岩屑なだれ堆積物 の二次堆積物)	砂質土	As	6.25~ 13.25	1~14	粘性土質礫質砂 粘性土まじり礫質砂
		礫質土	Ag	6.25	2~20	粘性土質砂質礫 粘性土まじり砂質礫
新第三紀	尾白内層	岩 盤	Ot	3.29~ 3.80	>50	凝灰角礫岩



図-14 調査・試験箇所の地質断面図



分けて示したものであるが、それぞれ対応する曲線より も上側の範囲にプロットされ、現行の液状化判定法から は、非液状化地点も全て液状化すると判定される。また、 これらのデータ数からでは FC の範囲別による明瞭な傾 向の違いは確認されない。 しかし,非液状化地点では,液状化発生の痕跡は確認 されておらず,「液状化対策技術検討会議」検討成果¹⁾ では,この様な箇所の特徴として,液状化判定上は,同 じ液状化するとの結果であるが,非液状化箇所は,液状 化発生箇所と比べ相対的に現行の液状化判定法による

「 F_L 値が大きい」「 $F_L \leq 1$ となる層厚が薄い」という傾向 があり、周辺地域と比較すると相対的に液状化しにくい 地盤であったことが要因の1つとして考えられている。

当該箇所の非液状化地点において, As 層の下位に堆積 する Ag 層が液状化を生じない土質であった場合,液状 化する層厚(As 層)が液状化地点と比較すると薄く,相対 的に液状化しにくい地盤であったことが考えられる。

これらのことから,当該箇所における液状化の発生の 有無は,現行の液状化判定法からでは適切に表現されず, 地盤特性,地質構造,地震動応答特性を適切に評価する 必要があることが示唆された。

2.2.3. 火山灰質土の液状化強度比 R_Lの評価

1993 年北海道南西沖地震において,火山灰質土の液状 化が確認された北海道森町の液状化地点とその近傍の非 液状化地点の地盤の液状化強度特性を把握する目的で, 各地点で採取した試料の液状化試験(非排水繰返し三軸 試験)を実施した。液状化試験に供した試料のサンプリン グ位置を図-14 にあわせて示した。

本調査で収集したデータから液状化強度とN値, 粒度の相関関係を検討するにあたり,良い相関を得るためには採取試料の品質として,原位置と室内で粒度が一致し,かつ,原位置での密度や微視構造が室内試験においても保存されていることが必要である。

ここでは、まず、原位置と室内でのばらつきと採取試料の品質を、粒度を代表するものとして細粒分含有率*FC*, 密度を代表するものとして乾燥密度 ρ_d 、微視構造を代表するものとして初期せん断剛性 G_0 を指標として評価した。*FC*を粒度の指標としたのは、我が国の火山灰質土の多くが粒子破砕性の特徴を有するためである。また、サンプリング方法の違いによる影響も比較した。原位置の乾燥密度 ρ_{dr} は、地下水位以深の採取試料を対象とし、標準貫入試験試料の土粒子密度 ρ_s 、自然含水比 w_n および飽和度 $S_r(100\%$ と仮定)から、次式²³⁾により算出したものである(水の密度 ρ_w は1.0とした)。

$$\rho_{dF} = \frac{\rho_w}{\rho_w/\rho_s + w_n/S_r} \tag{1}$$

室内の乾燥密度*p*_{dl} は液状化試験供試体の圧密後の値である。原位置の初期せん断剛性 *G*_{0F} は PS 検層により, 室内の初期せん断剛性 *G*_{0L} は液状化試験に先立って行った P 波速度と S 波速度の計測値から算出した。なお, 添字のF は原位置, L は室内を示している。

図-16 に、原位置と液状化試験供試体の FC, ρ_d および G₀の関係を、サンプリング方法別に示した。図より、 液状化試験供試体の各指標は、いずれのサンプリング方 法においても原位置に対しばらつきを有していることが わかる。一般に、液状化試験に供した1試料4供試体の 全てについて粒度試験を行うことは少ないが、地盤工学 会基準では土の繰返し非排水三軸試験の結果として圧密 後の ρ_d を報告することとされており²⁴, ρ_d の相対的な違 いを指標に試料の品質を評価(異常値の除外)すること はよく行われる。そこで、同図では、 $|\rho_{dF} - \rho_{dL}| \leq$ 0.2g/cm³の供試体とそれ以外の供試体で分けての評価 を試みた。図では、それ以外のデータが強調されて見え



● |p_{dr} - p_{dL}|≤0.2g/cm³
 ● 液状化地点 添字 F:標準貫入試験による試料
 ● (p_{dr} - p_{dL})=0.2g/cm³ または不明
 ● 非液状化地点 添字 L:液状化試験に用いた試料

図-16 原位置と液状化供試体の比較

るが、*ρ_uがあるばらつきの範囲内にある試料は、他の指標のばらつきもある程度の範囲内に概ね収束している。 ただし、全てのデータが必ずしも合致してはおらず、<i>ρ_u*は指標の一つとなり得るものの、これだけでは粒度や微視構造の違いを十分に把握できないものと考える。なお、 同図では、液状化、非液状化の地点別に分けて示したが、 少ないデータ数ではあるが非液状化地点では、*FC*が大きく、*ρ_u*が小さい傾向が窺われる。

採取試料の品質の評価から、各液状化試験供試体に原 位置とのばらつきが確認されたものの、1 試料4供試体 の平均が、各地点各深度の液状化強度比 R_L および各種物 性を代表するものと評価し、**図-17** に各地点で採取した 全ての液状化試験試料の R_L を、道路橋示方書における現 行の R_L 推定式²¹⁾で用いられる換算N 值 N_1 との関係とし て示した。同図では、液状化試験供試体のFC、塑性指 数 *IP* 毎に区分し、サンプリング方法別に示したが、*IP* により区分したのは、細粒分(FC)の量だけではなく、地 盤を構成する土の質も地盤の液状化強度に影響を与える 可能性が考えられるためである。なお、同図には現行の R_L 推定式をFC別に設定されている曲線で示した。

図より, トリプルサンプリング試料では, FC に応じ て RL が増加する傾向が確認されるが、IP との明瞭な関 係は見受けられない。いずれのサンプリングデータも、 それぞれ対応する FC の曲線よりも上側の範囲にプロッ トされ、現行の R₁ 推定式よりも大きな値を示している。 また、現行の R_L推定式は、N₁が小さくなり 0 付近に近 づくと R₁ が急激に減少する特性を有するが, N₁ が小さ いまたは0においても大きなR₁を有していることがわか る。同じサンプリング方法による同一深度(同一N値)の 採取試料では、ボーリング孔が異なることにより R_Iの値 が異なるものの、同図に示した非液状化地点のRLは液状 化地点よりも大きい傾向にある。トリプルサンプリング 試料では、図-15 に示した地震時せん断応力比Lとの比 $(F_I = R/L, ここでは R = R_I)$ で評価すると、液状化発生 の有無($F_L \leq 1.0$ の場合,「液状化する」と判定²¹⁾。)と 概ね対応している。GP サンプリング試料は、トリプル サンプリング試料よりもRLの値が大きく、また、FC、IP との明瞭な関係も見受けられない。

これらのことから、北海道森町における火山灰質土の R_L は大きく、トリプルサンプリング試料による R_L から液状化発生の有無を概ね表現できるが、現行の R_L 推定式は R_L を過小評価しており、現行の R_L 推定式への新たな係数や補正値、または、火山灰質土特有の R_L 推定法が必要と考えられる。







図-17 換算 N 値 N₁ と液状化強度比 R_Lの FC, IP 区分によるサンプリング方法別の関係

3. まとめ

本研究は、我が国における多様な土質、地質構造を有 する地盤を対象に、液状化に対する各種構造物の耐震性 能をより合理的に評価し、真に危険性の高い構造物の的 確な抽出に寄与すべく、液状化判定法の高精度化を図る ことを目的として実施するものであり、本報では、特殊 土でありながら既往の液状化判定法では特別な取り扱い がされていない火山灰質土の液状化特性の把握を目的に、 過去の液状化履歴および液状化特性に関する事例分析 ならびに原位置調査および室内土質試験結果から考察を 行った。 ①火山灰質土の液状化履歴および液状化特性に関する事 例分析から得られた知見は次のとおりである。

- 1968 年えびの地震,1968 年十勝沖地震,1993 年釧
 路沖地震,1993 年北海道南西沖地震,1997 年鹿児島
 県北西部地震,2003 年十勝沖地震の6 地震において
 火山灰質土の液状化が確認された。
- 火山灰質土の液状化強度は同程度の相対密度の砂質 土に比べ小さい。また、液状化強度の大きさは密度 に依存し、密度が小さい場合は砂質土の半分程度で あるが、密度が大きくなるに従いその差は小さくな る。火山灰質土の液状化強度に及ぼす粒子破砕や破 砕細粒分の影響に関し、さらなる知見が必要である と考えられる。
- N値から液状化強度を推定すると大きめに評価し、 危険側の判定結果を与える場合がある。一方、特定 の火山灰質土では、逆の傾向も指摘されており、種 類別の検討が必要であると考えられる。
- ②過去の地震において火山灰質土の液状化が確認された 地点で実施した、原位置調査および室内土質試験結果 から得られた知見は次のとおりである。
- ・北海道森町における 1993 年北海道南西沖地震での 液状化地点と近傍の非液状化地点において、N 値と 近傍で観測された地表面加速度から液状化の発生の 有無を検証した結果,非液状化地点も全て液状化す ると判定され,現行の液状化判定法では適切に表現 できなかった。非液状化地点では、 $F_L \leq 1$ となる層 厚が薄く,相対的に液状化しにくい地盤」であった とも考えられ,地盤特性,地質構造,地震動応答特 性を適切に評価する必要があることが示唆された。
 - 北海道森町における火山灰質土では、標準貫入試験 試料と液状化試験供試体、あるいは液状化試験の 1 試料を構成する各供試体では、粒度、密度が異なる 場合がある。このような場合、液状化試験データと N 値の相関関係を分析していく上でデータをよく吟 味することが必要である。液状化試験供試体に原位 置とのばらつきが確認されたものの、1 試料 4 供試 体の平均が、対象土層の液状化強度比 R_L 、各種物性 を代表するものと評価し整理した結果、トリプルサ ンプリング試料による R_L から液状化発生の有無を 概ね表現できるが、現行の R_L 推定式は R_L を過小評 価しており、現行の R_L 推定式への新たな係数や補正 値、または、火山灰質土特有の R_L 推定法が必要であ ると考えられる。

参考文献

- 国土交通省,液状化対策技術検討会議:「液状化対策技術 検討会議」検討成果,2011.8.
- 第四紀火山カタログ委員会:日本の第四紀火山カタログ, http://www.geo.chs.nihon-u.ac.jp/tchiba/volcano/index.htm
- 3) 土質工学会シラス研究委員会:えびの地震と地盤災害,土 と基礎, Vol.16, No.9, pp.47-59, 1968.
- 北郷茂, 土岐祥介: 地震による火山灰および砂地盤の沈下 に関する土質工学的研究, 1968 年十勝沖地震調査報告, pp.463~494, 1968.
- 5) 三浦清一,安田進,山下聡,規矩大義:2003年十勝沖地震 による地盤災害について,土木学会2003年十勝沖地震調 査団調査報告書,2003.
- 6) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, 2012.
- 7) 風間基樹,三浦清一,八木一善,海野寿康,鈴木輝之,伊 藤陽司: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.
- 8) 阿曽沼剛,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.
- 9) 三浦清一,八木一善:北海道火山灰土の地盤工学的特性, 土と基礎, Vol.53, No.5, pp.5-7, 2005.
- 10) 森戸義裕,國生剛治,原忠,西依尚士:2003年十勝沖地震 で崩壊した農地火山灰土の液状化特性,第40回地盤工学 研究発表会,pp.2213-2214,2005.
- 八木一善,三浦清一,志比川清史:2003年十勝沖地震によって液状化した火山灰土の動的力学特性,土木学会第59回年次学術講演会,pp.485-486,2004.
- 八木一善,三浦清一:破砕性を有する火山灰土の力学特性 とその評価法 -北海道の火山灰地盤における検討-,応用地 質,第44巻,第3号, pp.142-153, 2003.
- 山崎雅仁,三浦清一,松田正大:火山灰質土の液状化強度 を支配する要因とその評価方法,第37回地盤工学研究発 表会,pp.537-538,2002.
- 14) 高田誠,北村良介,北田貴光,冨山貴史:二次しらす地盤の動的力学特性と液状化ポテンシャル,土木学会論文集No.631/III-48, pp.61-69, 1999.
- 15) 千田隆行,山本哲郎,鈴木素之,吉森亜由美,岡林巧:不 攪乱しらすの液状化及び再液状化強度特性,第37回地盤 工学研究発表会,pp.545-546,2002.
- 16) 八木一善,三浦清一:火山性粗粒土の繰返し非排水せん断 特性に及ぼす破砕細粒分の影響,土木学会論文集 No.694/ Ⅲ-57, pp.305-317, 2001.
- 風岡 修,楠田隆,香村一夫,楡井久:軽石質火山灰の混 入が砂層の液状化強度に与える影響,日本地質学会学術大

会講演要旨, 巻107th, p.193, 2000.

- 1993 年地震災害調査委員会: 1993 年北海道南西沖地震災 害調査報告書, 地盤工学会, p.474, 1997.
- 19) 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~,地盤工学会, p.31, 2010.
- 20) 電力中央研究所: 1993 年北海道南西沖地震における礫地盤 液状化の原因解明(その1) - 地盤調査・試験と液状化判定 - , 電力中央研究所報告・研究報告: U94007, 1994.
- 21) 日本道路協会:道路橋示方書·同解説 V 耐震設計編, pp.134-141, 2012.
- 22) 1993 年地震災害調査委員会: 1993 年北海道南西沖地震災 害調査報告書, 地盤工学会, pp.16-19, 1997.
- 23) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説,第3編,第2章, 土粒子の密度試験, pp.97-103, 2009.
- 24) 地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説,第7編,第6章, 土の液状化強度特性を求めるための繰返し非排水三軸試 験,pp.730-749,2009.

RESEARCH ON A HIGH-PRECISION ASSESSMENT METHOD OF SOIL LIQUEFACTION

Abstract: In The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, Great liquefaction damage occurred over a very wide area, and had large influence on society. It is the urgent subject to advance the countermeasure of infrastructures against liquefaction for mitigation of the damage caused by next large earthquake. The purpose of this study is to establish a high-precision assessment method of soil liquefaction for the ground which has various soil properties and geological structure in Japan. The purpose of this part is to study a method for assessing the liquefaction potential of volcanic ash soil, which is an unusual type of soil and one that has been improperly treated by conventional assessments. In this study, we performed collecting information from documents to understand the liquefaction properties and past liquefaction events, and sampling in-situ undisturbed samples and undrained cyclic triaxial tests to investigate liquefaction properties of volcanic ash soil.

Key Words : Liquefaction, assessment of soil liquefaction, fine contents, volcanic ash soil, unusual soils