# ③-9 液状化判定法の高精度化に関する研究

研究予算:運営費交付金(一般勘定) 研究期間:平24~平27 担当チーム:地質・地盤研究グループ(土質・振動,地質,特命 上席),寒地基礎技術研究グループ(寒地地盤) 研究担当者:佐々木哲也,佐々木靖人,阿南修司,西本聡,石原 雅規,谷本俊輔,日外勝仁,冨澤幸一,福島宏文,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。

平成24年度は、細粒分を含む砂の液状化特性を調べるための原位置試料採取および室内土質試験、特殊土(火山灰 質土)の液状化履歴および液状化特性に関する文献調査を実施した。

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。

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。

平成24年度は、細粒分を含む砂質土の液状化特性の検 討,特殊土(火山灰質土)の液状化履歴および液状化特 性に関する文献調査を実施した。

# 2. 細粒分を含む砂の液状化特性に関する検討

### 2.1. はじめに



図-2.1 調査位置図 (国土地理院電子国土地図に加筆)



図-2.2 試料の細粒分含有率 FC

兵庫県南部地震後、凍結サンプリングを基にした液状 化試験データが数多く蓄積され、レベル2地震動に対応 可能な液状化強度評価式が提案された.しかし、当時の 調査は密な砂、砂れきの液状化強度の評価に主眼が置か れていたため、細粒分を含む砂に関するデータが少ない. また、凍結時の膨張によって土の骨格構造に乱れが生じ ていた可能性があることから、液状化特性に及ぼす細粒 分の影響の評価方法は課題として残されている<sup>2)</sup>. 平成 24 年度は、図-2.1 に示す関東地方の沖積平野 14 地点に おいて原位置調査、室内土質試験を実施し、様々な土質 (砂質土〜粘性土)を対象に、土質のばらつき、採取試料 の品質の評価を行うとともに、その液状化特性の把握を 試みた. 図-2.2 には、松尾が過去に収集したデータ 3の うち、洪積土、改良土およびれき質土を除外した試料数 を示しているが、細粒分含有率FCが20%を超えるもの が少ない。これに対して、本研究で収集したデータは、 FC について広い範囲をカバーしており、液状化強度に 及ぼす細粒分の影響の評価方法について、精度の向上が 期待される.

## 2.2. 調査方法

各地点で実施した調査・試験の項目を表-2.1 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。標準貫入試験の1 試料中 において土質が変化する場合は,その試験区間において 代表的な土質のみを選択的に採取して物理試験(粒度, 土粒子密度,含水比,液性限界,塑性限界)に供した. 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) を実施した。

液状化試験に用いる乱れの少ない試料は、ボーリング 孔に近接する別孔において、いわゆるチューブサンプリ

表-2.1 調査項目

調査項目	仕様
機械ボーリング	φ86 SPT と併用 一部地点
	はオールコアを追加
標準貫入試験(SPT)	
PS 検層	サスペンション方式
電気式静的コーン	三成分測定(先端抵抗,周面
貫入試験 (CPT)	抵抗, 間隙水圧)
乱れの少ない試料の採	固定ピストン式または
取	ロータリー式三重管
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

ング (シンウォールサンプラー,トリプルサンプラー) により採取したものである.細粒分含有率 FC が 30%以 下であると現地で判断される場合は,その場で重力によ り水抜きを行い,試料チューブの下端から 1/3 程度ずつ ドライアイスを用いて凍結することにより,試料の品質 が保たれるよう留意した.

液状化試験に用いる4体程度の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.ただし、凍結試料は その表面が観察しがたい状態であることが多く、また、 スライムが残存し表面の観察が困難であったことから、 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.

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、孔内起震受震方式(サスペンション方式) 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,各供試体に微小な繰返しせん断履歴を与え ( $\gamma \leq 10-5$ ,非排水条件),その応力-ひずみ関係から初期せん断剛性 $G_0$ を算出した.液状化試験としては、非排水繰返し三軸試験を行い、両振幅軸ひずみ $\epsilon_{DA} = 10%$ あるいは繰返し回数が 500回に達するまで試験を行った。載荷速度は土質によらず 0.1Hz とした。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。

### 2.3. 細粒分含有率 FC と形成環境の関係

液状化試験供試体と、これに対比される標準貫入試験 試料の細粒分含有率FCの関係を図-3に示す.同図には、 対象地点のコア観察に加えて、地層の空間的分布から推 定した各試料の形成環境ごとに区別してプロットした. その際、沖積の自然地盤に対しては、"内湾"、"デルタ"、

"河道および自然堤防", "後背湿地"に, また, 人工地 盤に対しては, サンドポンプによる埋め立て土を"浚渫 土", それ以外の施工方法 (主に人力) による埋め立て土 を"埋土", 河川堤防や道路盛土を"盛土"に区分した.



# 図-2.3 SPT 試料と液状化試験供試体の 細粒分含有率 FC の比較



なお,区分"デルタ"は、デルタ平野とデルタフロント を総称するものとした.

その結果,液状化試験の供試体ごとに FC のばらつき があり,さらに,人工地盤の浚渫土や,自然地盤の特に デルタ堆積物は,液状化試験供試体と標準貫入試験試料 に FC の差異が生じていることが認められた.

#### 2.4. 深さ方向の土質の不均質性

とである.

オールコア試料を半裁し観察することにより,深さ方 向の層相変化を cm オーダーで把握した.その結果の例 を粒度試験結果および電気式静的コーン貫入試験結果と あわせて図4 に示す.ここで,CPT による FC は, Robertson & Wride<sup>40</sup>の方法に基づいて推定した値である。 浚渫土およびデルタ堆積物は数 cm~数 10 cm オーダーで 層相が変化しており,それに対し,標準貫入試験試料は およそ 30 cm,また,液状化試験供試体は高さ 10 cm であ るため、これらの FC にばらつきが生じるのは当然のこ

標準貫入試験の試験間隔は標準的には 1m で行われて おり,それに対し,この例のように数 cm~数 10cm オー ダーで層相が変化する場合,調査方法自体に精度上の課 題が内在している.細粒分を含む砂はこのように深さ方 向に土質が大きく変化する区間に分布することが多いと 考えられるため,液状化試験の前に供試体を観察するこ とにより類似した土質のみを選別し,さらに,液状化試 験後も全供試体に対して物理試験(特に粒度試験)を行 うことで,土質の異なる供試体の試験値は除外し,液状 化試験の信憑性を担保しておく必要がある.

# 2.5. 原位置と室内での物理・力学特性のばらつきの扱 いについて

本研究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,採取試料の品質の面で2つの問題がある.1つは前述のとおり,細粒分を含む砂の場合,原位置と液状化試験に供した1試料4供試体で 土質に著しい相違,ばらつきが存在することが多いことである.もう1つは,本研究における原位置試料採取方法であるチューブサンプリングでは,試料採取時の乱れにより液状化強度が変化している可能性があることである.液状化強度とN値,粒度に関するよい相関関係を得るためには,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.

原位置と室内でのばらつきと採取試料の品質を評価す るにあたり、ここでは、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 $\rho_{dr}$  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 とする. FC を粒度の指標としたのは、今回、礫分をほ とんど含まない砂質土〜粘性土を分析対象としているた めである.原位置の乾燥密度 $\rho_{dr}$  はペネ試料の土粒子密 度 $\rho_s$ ,自然含水比  $w_n$  および飽和度  $S_r$ (100% と仮定) から 次式により算出したものである。

$$\rho_{dF} = \frac{\rho_s}{1 + G_s w_n / S_r} \tag{2.1}$$

室内の乾燥密度 $\rho_{dL}$  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微小繰返し載荷により求めた. なお, 添え字のF は 原位置, L は室内を示している.

原位置と液状化試験供試体のFC, paおよびG0 を図 -2.5 に比較する. 同図には、既往の凍結試料の試験デー タ<sup>2</sup>のうち,洪積土,改良土および礫質土を除いたデー タをあわせて示している. 原位置と室内を比べると、 pa および $G_0$ のばらつきもさることながら, FC のばらつ きが特に顕著である.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<sup>5)</sup>(JGS0541-2009) では土の繰返し非 排水三軸試験の結果として圧密後の乾燥密度を報告する こととされており、p1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  $|\rho_{dF} - \rho_{dI}| \leq 0.2 \text{g/cm}^3$ の供試体とそれ以 外の供試体で分けてプロットしてみた. □ ρ<sub>dF</sub> と ρ<sub>dL</sub> の差 が大きなデータを除外した場合,  $FC_F$ と  $FC_L$  の差が大き なデータの一部は取り除かれるが、それでもFC には大 きなばらつきが残る. また,  $G_{0F} \geq G_{0L}$  のばらつきはさ ほど改善されず, ρ<sub>a</sub> との相関はほとんどなさそうである. したがって、 $\rho_{l}$ は指標の一つとなりうるものの、これだ けでは粒度や微視構造の違いを十分に把握することがで きず、試料の品質評価としては不十分であると考えられ る.

# 2.6. R<sub>L</sub>• M 関係

液状化試験は非排水繰返し三軸試験により行った.各 供試体が $\epsilon_{DA} = 5\%$ に達したときの繰返し応力比R・繰返し回数 $N_c$ の関係を,次式で近似することで繰返し三軸 強度比 $R_L$ を求めた.

 $R = R_L (N_c / 20)^{-b}$  (2.2) ここに、 b は液状化強度曲線の勾配を表すパラメータである.

原位置と室内におけるばらつきと供試体の品質を評価 するにあたり、ここでは、原位置に対して液状化試験供 試体の FC が±20%、 $\rho_a$  が±0.2g/cm<sup>3</sup>、 $G_0$ が0.5~1.5倍 の範囲 (図-2.5 (a)~(c)の破線)を超えるデータを除外す ることとした.この範囲内にある比較的ばらつきが小さ い供試体を、ここではグループAと呼ぶ.このようなば らつき・品質の評価方法の妥当性を確認するため、全デ ータから原位置に対して液状化試験供試体の $\rho_a$  が±0.2  $g/cm^3$ を超えるもののみを除外したグループ B, ばらつき の大小によらない全てのデータをグループ C として分類 した. 個々の試料について, グループ A~C における  $R_L$ を求めるにあたっては,  $R \cdot N_c$  関係にばらつきが認めら れる場合でも主観的に異常値を選定・排除することはせ ず, 各グループの条件に合致する全ての供試体の $R \cdot N_c$ 関係に対して最小二乗法により式(2.2)で近似した.

得られた繰返し三軸強度比 $R_L$ と,有効上載 $E\sigma_r$ '=100 kN/m<sup>2</sup>相当に換算したN 値 $N_1$ の関係を、ペネ試料の細粒 分含有率FC,塑性指数IPごとに区分して図-2.6 に示す.



図-2.5 原位置と液状化試験供試体の比較

IP により区分したのは、細粒分の量 (FC) だけでなく質 も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、液状化判定を行う必要がある土質の範囲を 超える粘性土であっても、非排水条件下で大きな繰返し せん断履歴を与えると試験上は繰返し軟化により GDA = 5%に達する. 同図には、このような材料に対する試験結 果も含めて示したが、これらの扱いについては液状化発 生の工学的定義も含めて今後検討していく必要がある.

原位置と室内でのばらつきが小さなデータに絞り込ん でいくと、データ数は少なくなるが、FC に応じて R<sub>1</sub> が 増加する傾向がより明瞭となる様子が見て取れる.特に, グループAに着目すると、IP に応じてRL が大きくなる 傾向があるように見える. この状況から, 原位置と室内 での物理・力学特性のばらつき・品質の評価方法は一定 の妥当性を有していたものと考えられる. グループAの うち, FC=0~15%, R<sub>L</sub><0.2の範囲のデータは全てチュ ーブサンプリング試料であるが、凍結サンプリング試料 のデータから回帰された FC=0~10%の  $R_L \cdot N_1$  曲線 (以 下,基本曲線と呼ぶ)に比べて RL が非常に小さいもの があり、試料採取時の微視構造の乱れが影響した可能性 が考えられる. 細粒分の少ない砂については、チューブ 試料の品質評価をより厳しい条件で行うか、凍結サンプ リング等のより高品質なデータのみを使うことが必要で あると考えられる.

同図にあわせて示す既往の液状化強度式は、特にFC が 35%以上の領域でR<sub>L</sub>を小さめに評価しており、改善の余地があることが分かる.

既往の液状化強度式は、基本曲線を FC に応じて補正 することで、細粒分の影響を考慮するものであるが、基 本曲線は $N_1$  が小さくなり0付近に近づくと $R_L$  が急激に 減少する特性を有するため、 $N_1$  が小さな場合に $R_L$  を過 小評価しやすく、FC が大きくても $R_L$  が大きくなりに くい. この点を改善するため、基本曲線自体についても 見直しを行うことが、今後の改良の方向性の一つとして 考えられる.

# 特殊土(火山灰質土)の液状化特性に関する事例分 析

# 3.1. はじめに

我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-3.1 に日本の第四紀火山カタログのに示される火山の 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



松尾<sup>1)</sup>の液状化強度式

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。 関東ロームとシラス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<sup>7899</sup>,道路橋示書同解説V耐震設計編<sup>9</sup>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」に該当しな いため、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。

本研究では、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 判定法の確立を目的とし、火山灰質土の液状化特性の把 握、過去の液状化履歴等について文献調査から情報を収

光行元	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	
	Soil and Foundation	
	Soil and Foundation	
	Soil and Foundation           地盤(土質)工学研究発表会発表講演集	
日本建築学会	Soil and Foundation 地盤(土質)工学研究発表会発表講演集 日本建築学会学術講演梗概集	
日本建築学会	Soil and Foundation 地盤(土質)工学研究発表会発表講演集 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	
日本建築学会	Soil and Foundation 地盤(土質)工学研究発表会発表講演集 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 農業土木学会全国大会講演要旨集	
日本建築学会 農業土木学会 応用地質学会	Soil and Foundation           地盤(土質)工学研究発表会発表講演集           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           農業土木学会全国大会講演要旨集           応用地質	

表-3.1 調査対象の文献

集した。

## 3.2. 調査方法

我国の特殊土である火山灰質土の液状化特性の把握, 過去の液状化履歴等について,国立情報学研究所論文情 報ナビゲータ(CiNii),JST 文献検索システム(JDream) 等を用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。表-3.1 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

#### 3.3. 調査結果

献について調査を行った。

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。

### 3.3.1. 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-3.2 および図-3.2 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-3.2 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	



3.3.2. 火山灰質土の液状化特性

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-3.3 に一例として、参考文献 12)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。



(参考文献 12)の図-1 より抜粋)

図-3.4 に参考文献 13)に示される火山灰質土と砂質土 の N 値と内部摩擦角( $\phi$ )の関係を示す。N 値と $\phi$ 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 $\phi$ が高くなるものとされ ている。さらに、図-3.5 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-3.6 に参考文献 14)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-3.7(参考文献 13)) 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



図-3.8 不撹乱試料と再構成試料の液状化強度<sup>15)</sup>

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-3.8 に参考文献 15)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 16) では平均粒径 D<sub>50</sub> 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-3.9)。 参考文献 17)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。

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18)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19)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-3.10)や、参考文献20)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-3.11)。

### 3.3.3. 既往の液状化判定法の火山灰質土への適用性

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。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 21)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 18)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。

### 4. 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,平成24年度は, 細粒分を含む砂の液状化特性を調べるための原位置試料 採取および室内土質試験,特殊土の液状化履歴および液 状化特性に関する文献調査を行った。

細粒分を含む砂の液状化特性に関する検討の結果としては、以下のことが明らかとなった。

- 細粒分を含む砂質土は、堆積環境の違い等によって は極めて不均質性が高く、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、密度が大きく異なる場合 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.また、不均質性の高い地盤に おいては原位置調査手法や、地盤の評価および設計 時のモデル化手法に課題がある.
- 原位置と室内での物理・力学特性のばらつきをよく
   吟味することで、FC に応じて液状化強度が増加する傾向が明瞭となり、IP に応じて液状化強度が増加



図-3.9 火山灰質土の液状化強度と D<sub>50</sub>の関係<sup>16</sup>



図-3.10 初期有効拘束圧と細粒分含有率の変化量<sup>19</sup>





する傾向も見られた.また,既往の液状化強度式で はFC が大きい場合に液状化強度を小さめに評価し ていることから,改善の余地があることを明らかに した.なお,本報では液状化判定を行う必要のある 土質の範囲を超えた粘性土も含めて検討したが,今 後,液状化発生の工学的定義も含めた検討が必要で ある.

特殊土 (火山灰質土)の液状化履歴および液状化特性 について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。

### 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.
- 2) 松尾修:道路橋示方書における地盤の液状化判定法の現状 と今後の課題,土木学会論文集,No.757/III-66, pp.1-20, 2004.
- 3) 松尾修,東拓生:液状化の判定法,土木技術資料, No.39, Vol.2, pp.20-25, 1997.
- Robertson, P. K. & C. E. Wride, Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, No. 3, pp.442-459, 1998.
- 5) (社)地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説, 2009.
- 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
- 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.
- 8) 日本建築学会:1968年十勝沖地震調査報告書, pp.463~494, 1968.
- 9) 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.
- 10) 日本道路協会:道路橋示方書同解説 V 耐震設計編, 2012.
- 11) 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.
- 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.
- 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.

- 14) 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.
- 15) 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.
- 16) 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.
- 17) 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.
- 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.
- 千田隆行、山本哲郎、鈴木素之、吉森亜由美、岡林巧:不 攪乱シラス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.
- 20) 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.
- 21) 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.

### RESEARCH ON A HIGH-PRECISION ASSESSMENT METHOD OF SOIL LIQUEFACTION

Budged : Grants for operating expenses General account
Research Period : FY2012-2016
Research Team : Geology and Geotechnical Engineering Research
Group, Cold-Region Construction Engineering Research Group
Author : Tetsuya SASAKI, Yasuhito SASAKI, Shuji ANAN, Satoshi
NISHIMOTO, Masanori ISHIHARA, Shunsuke TANIMOTO,
Katsuhito AGUI, Kouichi TOMISAWA, Hirofumi FUKUSHIMA,
Takuya, EGAWA

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. In FY 2012, we performed Sampling in-situ undisturbed samples and undrained cyclic triaxial tests to investigate liquefaction properties of fine contained sand, and collecting information from documents to understand the liquefaction characteristics and past liquefaction events of volcanic ash soil.

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