

まさ土の物性と液状化特性

中山義久¹・西田一彦²・西形達明³・井上啓司⁴

¹正会員 工修 協同組合 関西土質研究センター 課長 (〒566-0042 大阪府摂津市東別府 1 丁目 3-3)

²正会員 工博 関西大学 教授 工学部土木工学科 (〒564-0073 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3-1)

³正会員 工博 関西大学 助教授 工学部土木工学科 (〒564-0073 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3-1)

⁴正会員 協同組合 関西土質研究センター 専務理事 (〒566-0042 大阪府摂津市東別府 1 丁目 3-3)

非常に幅広い物理・強度特性を有するまさ土の液状化特性を総合的に把握することを目的として、関西地区で産する複数のまさ土を対象として繰返し三軸試験機で液状化試験を実施した。液状化強度に及ぼすまさ土の物性値として粒度特性（細粒分含有率、50%通過粒径、均等係数）、風化度（強熱減量）、コンシステンシー特性（流動限界）を選び、それぞれの物性値と液状化強度との関連を調べた。その結果、まさ土の液状化特性はその採取場所によって大きく異なるが、コンシステンシー特性（流動限界）と圧密後の間隙比を用いて簡易的に液状化強度を推定できることが明らかになった。

Key Words: decomposed granite soil, liquefaction, void ratio, grain size, consistency

1. はじめに

まさ土は花崗岩系岩石の風化残積土であり、母岩の性質により物理・強度特性はかなり大きく変化するのは周知のとおりである。従来から、まさ土は液状化に対する抵抗が大きい材料とみなされ、建設材料、とくに埋立て土として多く用いられてきた。しかし、阪神・淡路大震災において、広範囲なまさ土地盤で大規模な液状化が発生するとともに、噴砂現象を呈した。そして、これを契機にまさ土の液状化に関する研究が再度活発に行われるようになった。

砂質土の粒度特性と液状化強度特性について、森ら¹⁾はまさ土以外の地盤において過去の地震で生じた噴砂の諸性質、とくにコンシステンシーを調べている。その結果、地盤の噴砂のほとんどが低塑性土であり、噴砂を呈した地盤の液状化強度は細粒分の量にかかわらず変化しないことを報告している。

まさ土の粒度特性と液状化強度に関し、後藤ら²⁾は神戸地区の埋立て地盤より採取したまさ土について粒度分析を実施し、粒度分布は液状化強度にほとんど影響を与えないと報告している。一方、佐藤ら³⁾は粒度調整した標準砂およびポートアイランドより採取し、粒度調整したまさ土について、一連の液状化強度試験を実施した。その結果、細粒分含有率が増加すると乾燥密度も増加するにもかかわらず液状化強度が大きく低下する現象が

生じ、この現象を明らかにするために顕微鏡写真や砂の骨格間隙比および細粒分の間隙比等による検討を行っている。

まさ土の粒子破碎と液状化強度の影響について、永瀬ら⁴⁾は繰返し時の粒子破碎の影響で正のダイレイタンスーが減少するため、相対密度を増加させても液状化強度はそれほど増加しないことを報告している。粒子破碎の問題はまさ土の液状化特性を論じる上で、避けて通れない点であり、まさ土の強度の重要な支配要因である風化度とも密接な関係を有している。

風化度と液状化強度について、荒牧ら⁵⁾は風化度の指標である強熱減量と液状化強度の関係を調べ、強熱減量が増加すると液状化強度が増加すると報告している。

供試体の作製方法および密度、拘束圧が液状化強度に及ぼす影響について、安田ら⁶⁾は供試体の作製方法の違いによるまさ土の液状化強度を、締固めた供試体とポートアイランドで採取した不攪乱まさ土を用いて比較検討している。その結果、 $Dr=50\%$ 程度では試料の作製方法による液状化強度の差はほとんどないが、 $Dr=50\% \sim 120\%$ では湿潤状態の締固め試料が層状作製のものより大きく、かつ層状作製のものは水中落下法試料に近くなることを明らかにしている。兵動ら⁷⁾は六甲アイランドで採取したまさ土について非排水繰返し三軸試験を実施し、液状化強度は相対密度や拘束圧の影響をほとんど受けないことを報告している。一方、望月ら⁸⁾はポートア

表-1 まさ土試料の特徴

タイプ	産地	記号	特徴
領家型 花崗岩	生駒山地 (交野)	B	石英、カリ長石、斜長石、黒雲母、角閃石、ハロサイトなどを含み、細粒で有色鉱物が多く黒色を呈する。
		W	石英、カリ長石、斜長石が多く、有色鉱物が少なく、中粒で灰白色を呈する。
		Y	BとWの中間的性質で黄灰色を呈する
	淡路島	AW	有色鉱物が少し多く、極端に風化が進み土粒子は脆弱で細粒分が多く、黄褐色を呈す。
六甲 花崗岩	六甲山系 (鶴甲山)	RA	石英、ピンクのカリ長石が目立ち、有色鉱物は少ない。細粒分が少なく、土粒子が角ばっている。
		RB	RAと同様であるが、少し破砕を受けて細粒化している。土粒子の風化度は低い
	六甲山系 (鷹取)	TK	石英、ピンクのカリ長石が目立ち、数ミリメートルの大きな結晶が含まれる。土粒子は角ばっていて、細粒分は少なく、有色鉱物は目立たない。

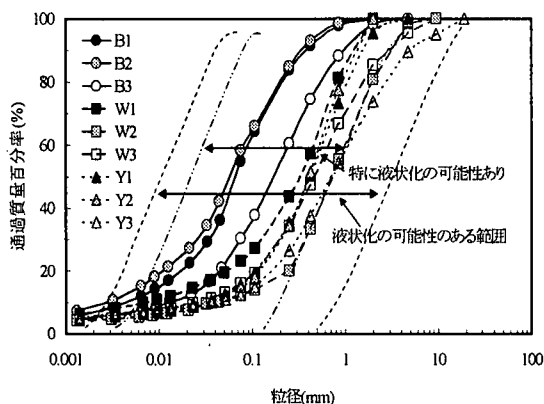


図-1 生駒山地のまさ土の
粒径加積曲線

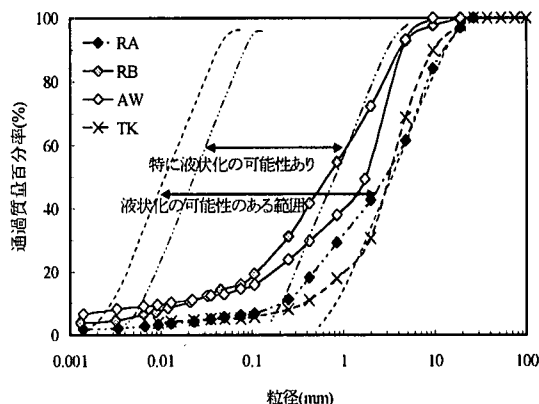


図-2 淡路島、六甲山系のまさ土の
粒径加積曲線

イランドと六甲アイランドで採取したまさ土を用いて圧密圧力（拘束圧）と液状化強度の関係を調べ、圧密時の密度増加により液状化強度が大きくなると報告している。

このように、まさ土の液状化強度特性については、さまざまな評価がなされているが今なお不明な点が多々残されていると言えよう。とくに、物性値（粒度組成たとえば細粒分含有率）と液状化強度の関係や液状化強度の圧密圧力（拘束圧）依存性などについての解明が不十分であると思われる。また、多くの研究例では対象とする試料が特定のまさ土に限定されており、風化度や採取場所によって大きく異なる性質を有するまさ土の液状化強度特性を普遍的に表し得ているとは言い難い。そこで本研究では関西地区において複数個のまさ土試料を採取し、そのコンシステンシーと液状化強度の関係について考察した。これを基に液状化特性に対して統一的な整理、検討を試みるとともに、まさ土の液状化強度の簡易的な推定法を提案する。

2. 用いた試料の特徴

試料は生駒山地1地点、3種類（B、W、Y試料）と六甲山2地点、3種類（RA、RB試料、TK試料）および淡路島1地点、1種類（AW試料）で採取した。中でも生駒山地の採取地は規模の大きい切土斜面で、斜面上部は主に細粒土、下部は風化軟岩で構成され、深さ方向に連続的に風化している。さらに、この斜面には物性値の大きく異なる3種類のまさ土が存在し、それぞれについて異なる風化度の試料を自由に採取できるのが特徴である。

用いた試料の特徴を表-1に示す。これによるとB試料は黒雲母を主体とした扁平な粒子が多く、暗褐色を呈する。W試料は石英・長石を主体としており、粒子も大きく堅固である。また、Y試料はB試料とW試料の中間的性質を示す。B、Y、W試料の順に後のものほど粒径が大きくなり、かつ粒子強度が大きくなる傾向にある。また、個々の1~3の添え字は風化度（採取深度）を表しており、数字が小さいほど風化度が大きいことを示している。

六甲山系のRA試料は比較的風化が進んでいるが、石

表-2 試料の物性値

試料名	ρ_s (g/cm ³)	Li (%)	W (%)	Uc	D ₅₀ (mm)	Fc (%)	W _l (%)
B1	2.779	1.86	18.0	20.0	0.06	55.0	40.5
B2	2.774	1.59	20.0	29.0	0.05	58.0	41.5
B3	2.769	1.25	8.50	19.0	0.17	31.0	28.0
W1	2.657	3.27	10.0	64.0	0.33	23.0	23.0
W2	2.680	1.90	5.60	24.0	0.38	12.0	21.0
W3	2.645	3.20	4.70	26.0	0.46	16.0	18.2
Y1	2.663	3.11	8.50	17.0	1.20	16.0	28.5
Y2	2.663	3.02	7.60	19.0	0.21	15.0	24.0
Y3	2.640	2.11	6.30	28.0	0.71	12.0	22.6
AW	2.778	2.25	4.10	16.0	2.00	14.0	35.8
RA	2.638	1.09	6.70	16.7	2.60	6.90	18.0
RB	2.666	1.46	9.80	32.0	0.55	16.0	19.1
TK	2.588	1.39	18.2	10.5	3.02	5.0	18.0

ρ_s : 土粒子密度, Li : 強熱減量, W : 自然含水比, Uc : 均等係数, D₅₀ : 50%通過粒径, Fc : 細粒分含有率, W_l : 流動限界

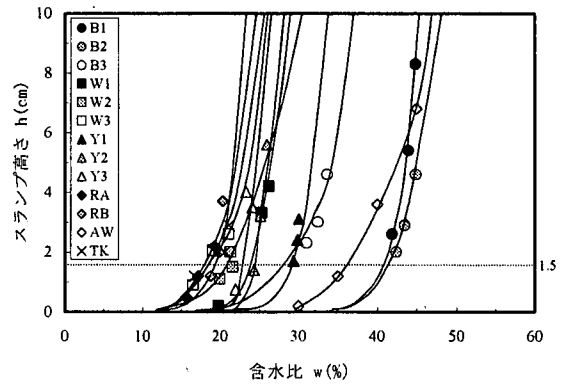


図-3 流動曲線

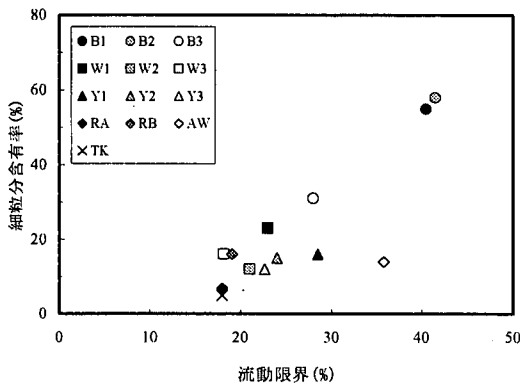


図-4 流動限界と細粒分含有率

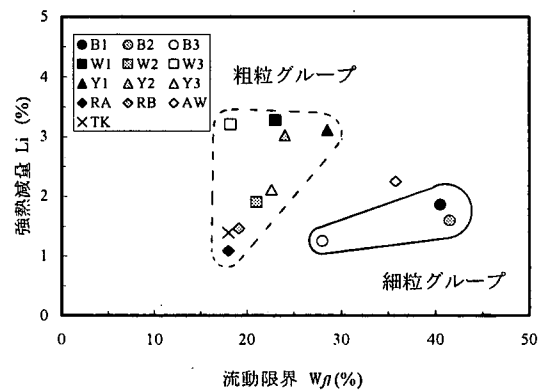


図-5 流動限界と強熱減量

英, 長石を主とする粗粒のまさ土である。一方, RB 試料は粒子破碎を受け, 細粒分がかなり多く含まれている。TK 試料では, その粒子自体は硬質であるが全体として粒界面の分離が見られる。淡路島の切り取り斜面で採取した AW 試料は粒子を容易に指でつぶすことができるほど風化したものである。表-2 に本研究で使用したまさ土試料の物性値を示す。

(1) 粒度特性

図-1, 図-2 はまさ土の調整法⁹⁾にしたがい, 試料を 1.5m の高さから 30 回落下させた後, 粒度試験を実施した結果である。図より, ほとんどの試料の均等係数 (表-2 参照) は大きく, 粒度の良い土であることが分かる。そして, いずれの試料も図中に示した液状化の可能性のある範囲内¹⁰⁾に位置している。生駒山地の B 試料は細粒分含有率が高く, とくに B1, B2 試料では 50% を越えることから細粒土の分類となる。その他の試料の細粒分含有率は 10~30% 程度で砂質土に分類される。

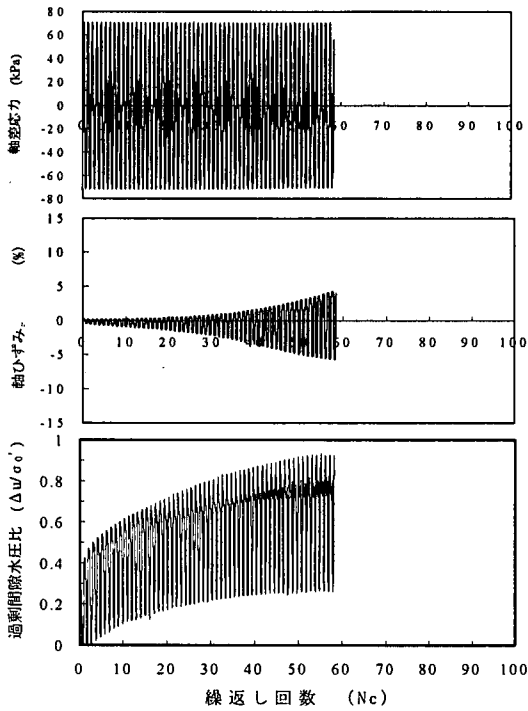
以上のように, 本研究で用いたまさ土試料では鉱物組

成とともに粒度も細粒から粗粒まで幅広く変化するように選定した。

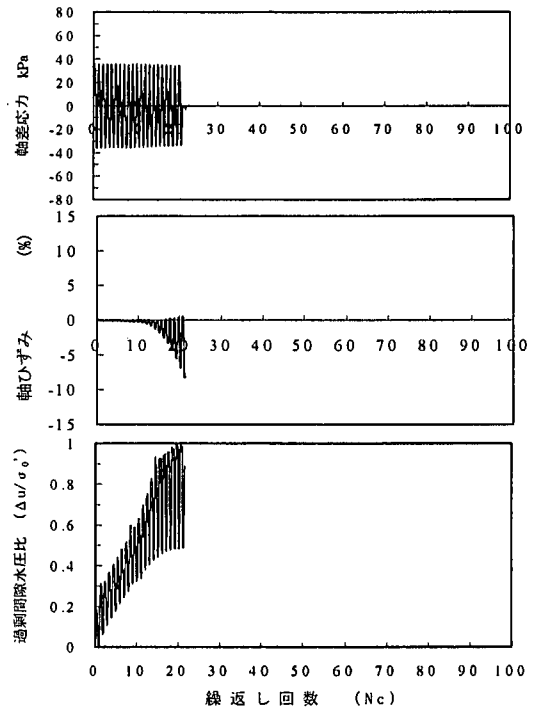
(2) コンシステンシー特性

まさ土の基本物性は風化度と母岩の鉱物組成に支配される。その質的变化や粒度を総合的に表す指標としてコンシステンシー特性(液性限界)が有効とされている¹¹⁾。コンシステンシーは主に a) 母岩の種類, b) 細粒分含有率, c) 粒度組成, d) 風化度に支配されると考えられる。しかし, 通常のまさ土では JIS のコンシステンシー試験を適用することができない場合が多い。そこで, まさ土のコンシステンシーをスランプ試験による流動限界¹¹⁾ (W_l) を用いて表現することにした。

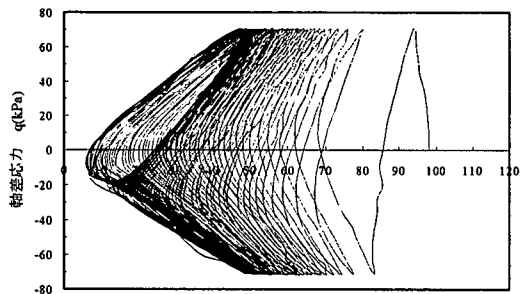
図-3 は 2mm ふるい通過試料に対して, 上部直径 5cm, 下部直径 10cm, 高さ 15cm のスランプコーンを用いて行ったスランプ試験の結果を示している。各流動曲線のスランプ高さ 1.5cm に相当する含水比をもって流動限界と定義している。この流動限界はまさ土の含水比を増加させたときの自重による変形抵抗を測定するもので, 変形



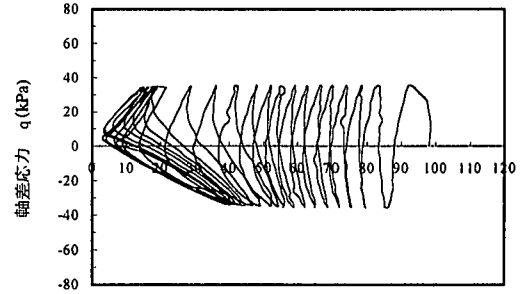
(a) 供試体の経時変化



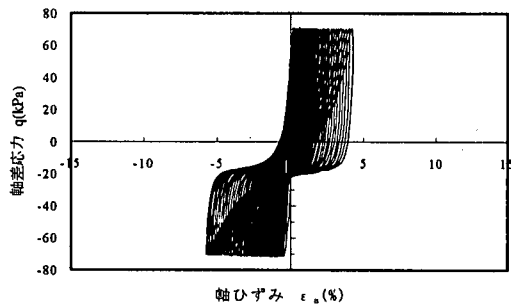
(a) 供試体の経時変化



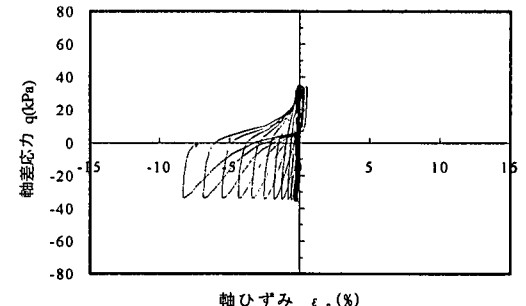
(b) 有効応力経路



(b) 有効応力経路



(c) 応力～ひずみ関係



(c) 応力～ひずみ関係

図-6 B3 試料の実験結果

図-7 TK 試料の実験結果

表-3 各試料の間隙比

試料名	最大間隙比	最小間隙比	不攪乱状態の間隙比
B1	1.895	1.206	1.116
B2	1.593	0.837	0.945
B3	1.251	0.753	0.522
Y1	1.256	0.645	0.517
Y2	1.046	0.576	0.558
Y3	0.931	0.486	0.365
W1	1.165	0.707	0.699
W2	1.122	0.729	0.430
W3	1.015	0.620	0.336
AW	1.491	0.900	1.170
RA	0.982	0.670	0.871
RB	1.292	0.780	1.083
TK	1.428	0.904	1.074

抵抗が急に減少するとき、すなわち流動が始まるときの含水比と考えてよく、JISの液性限界に相当するものである。この図より、各試料ごとに流動曲線の勾配および大きく流動し始める含水比がそれぞれ異なっていることが分かる。全体的に細粒分を多く含む試料は流動曲線の立ち上がり勾配が緩く、流動し始める含水比が高い。一方、W3試料やY1試料のように粒度組成に大差がないにもかかわらず、流動曲線および流動限界が大きく異なるものもある。すなわち、流動限界は粒度以外の物理・力学的性質に関係していると考えられる。また、生駒山地の試料についてみると、B、W、Y試料の順に流動限界が小さくなることが分かる。

図-4は流動限界と細粒分含有率の関係を表したものである。まさ土の種類にかかわらず流動限界と細粒分含有率の間にはほぼ右上がりの関係がある。このことはまさ土では風化に伴い粒子の細粒化と長石や雲母の粘土化が進み、その結果、流動限界が増加すると考えられる。

図-5は流動限界と強熱減量の関係を示している。この図では表-2の結果より便宜上、細粒のグループ(B1, B2, B3試料)と粗粒のグループ(W1, W2, W3, Y1, Y2, Y3, RA, RB, TK試料)に区別した。細粒のグループでは流動限界の変化に対する強熱減量の変化は比較的小さく、これに対して粗粒のグループは流動限界が増加すると強熱減量も増加する。

以上のことから、流動限界はまさ土の粒度、粒形や強熱減量のみならず鉱物組成や風化に伴う土粒子表面吸着水、土粒子表面の物理、化学的性質¹³⁾などの質的变化を総合して表す指標として用いることができるものと考えられる。

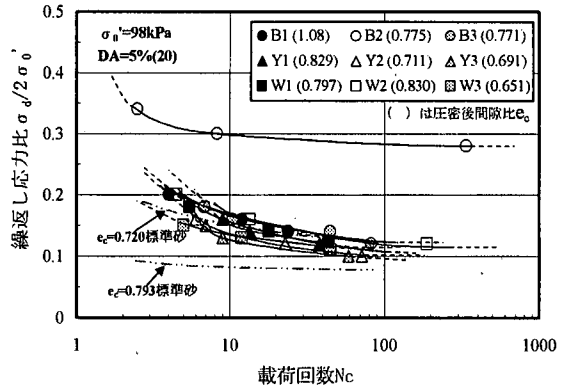


図-8 液状化強度曲線

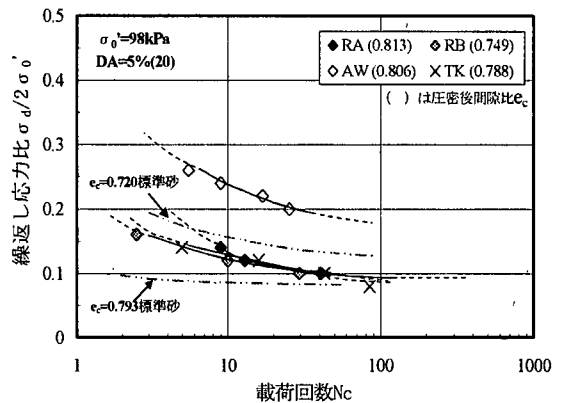


図-9 液状化強度曲線

3. 繰返し三軸試験方法

供試体の作製に先立ち、各試料ごとに2mmふるい通過試料を用いて、地盤工学会の試験法(JGS T161)にしたがって最大、最小密度試験を行った。得られた最大間隙比と最小間隙比および不攪乱状態の間隙比の値を表-3に示した。供試体の作製条件はこれらの値を参考に、密詰めは過度に粒子を破碎しない程度、緩詰めは極端に緩くなく、通常に作製できる程度とし、3通りの間隙比を設定した。供試体は2mmふるい通過試料を用い所定の含水比に調整後、不飽和状態で静的に3層に締固めて作製した。自立しない供試体は凍結した後、三軸セル内で4時間以上かけて解凍した。そして、CO₂通気と脱気水通水後、196kPaの背圧を負荷した。B値が0.95以上になったことを確認し、98kPaで等方圧密を行った。本研究では繰返し载荷前の圧密圧力をすべて98kPaに統一している。これは、液状化の生じやすい比較的浅い深度の飽和地盤における有効土被り圧を想定したこと、および、この土被り圧付近では液状化強度は拘束圧にあまり依

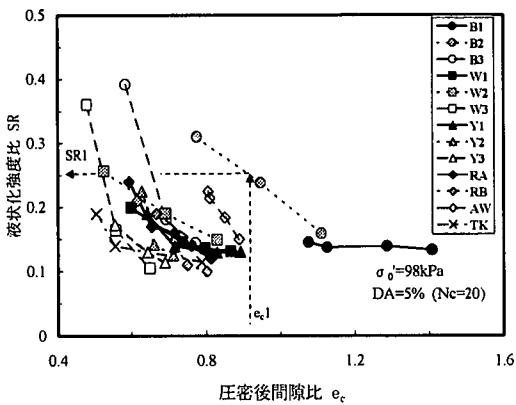


図-10 圧密後間隙比と液状化強度

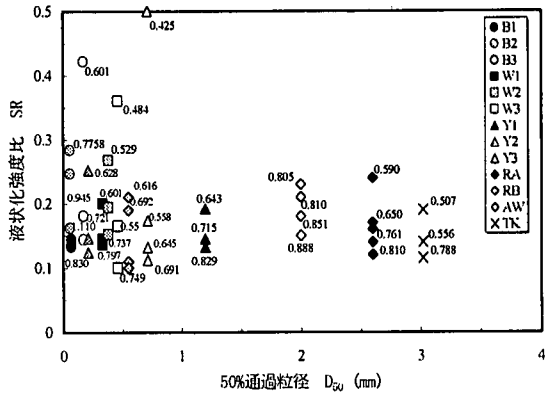


図-11 50%通過粒径と液状化強度

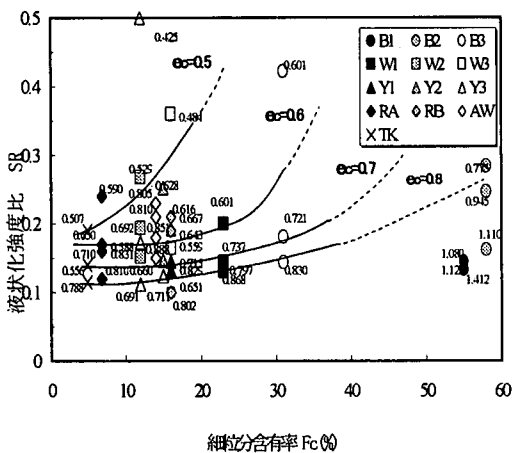


図-12 細粒分含有率と液状化強度

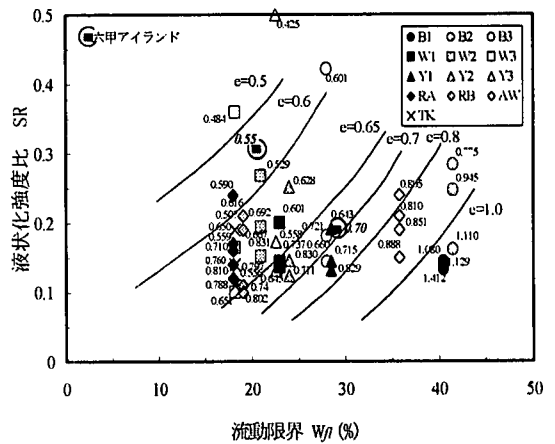


図-13 流動限界と液状化強度

存しないという結果¹²⁾に基づいている。繰返し載荷は荷重制御による0.1Hzのサイン波とし、側圧一定の非排水条件で行った。

4. 繰返し載荷中の挙動

図-6(a), (b), (c)はB3試料における密詰め供試体($e=0.771$)の繰返し載荷中の挙動を示しており、上から順に繰返し応力、軸ひずみ、間隙水圧、有効応力経路、応力～ひずみ関係を表している。図より、繰返し載荷初期から軸ひずみが徐々に圧縮・伸張側の両側に増大して液状化に至っていることがわかる。すなわち、軸ひずみの発生パターンは均等型といえる。生駒山地のB系統の試料では黒雲母などの粒子形状が扁平なものが多く含まれているため、軸ひずみが圧縮・伸張に発生しやすいものと考えられる。液状化に至るまでの間隙水圧の発生

挙動についても圧縮・伸張時の振幅にともなう変動が大きく、粘性土の挙動に類似しているようである。

図-7(a), (b), (c)は同様にTK試料における密詰め供試体($e=0.599$)の結果である。過剰間隙水圧比が約0.8程度から軸ひずみが急激に伸張側に増大しながら液状化に至る。したがって、軸ひずみ発生パターンは伸張型であるといえる。間隙水圧の発生挙動はB試料と同様に振幅が比較的大きくなっている。TK試料は石英・長石など粒子自体が堅固であることや角張った形状の粒子が混ざり合っているために圧縮に対して強い抵抗を示すとともに、液状化に至っても伸張側に卓越した軸ひずみを呈するものと考えられる。

5. まさ土の液状化強度特性

まさ土の液状化強度は各供試体ごとに軸ひずみ振幅

DA=5%となる繰返し載荷回数を求め、繰返し応力比と繰返し載荷回数の関係から、繰返し載荷回数 20 回に相当する繰返し応力比をもって決定した。

各試料の実験結果の中から、圧密後の間隙比が比較的近いものを選び、生駒山地試料の液状化強度試験の結果を図-8 に示し、その他の試料の結果を図-9 に示す。また図中に別途実施した標準砂の液状化試験の結果も併せて記した。両図の結果から、液状化強度に粒度や粒子強度が少なからず影響を及ぼしているものと考えられる。すなわち、材料特性が異なると圧密後の間隙比がほぼ同じ場合でも液状化強度が異なることが明らかである。

6. まさ土の液状化強度に及ぼす要因

(1) 圧密後の間隙比と液状化強度

圧密後の間隙比と液状化強度の関係を調べると図-10 のようになる。図中の左側に位置する試料は細粒分含有率が小さく、右側ものは細粒分含有率大きい。ほとんどの試料は間隙比が増加すると、液状化強度は急激に減少する。この傾向は標準砂においても見られる⁹⁾。しかし、B1 試料、B2 試料については間隙比の変化にもかかわらず液状化強度はあまり変化しない。これは粒子形状が扁平であることが原因しているものと考えられる。

またこの図より同一試料については圧密後の間隙比から液状化強度を求めることが可能である。たとえば圧密後の間隙比 e_{c1} が決まれば液状化強度 SR_1 が求まる。しかし、圧密後の間隙比が同じ場合でも試料が異なると液状化強度が異なる。すなわち、物性値の異なる試料に対して、この図より圧密後の間隙比と液状化強度の一義的な関係を求めることは少し難しい。

(2) 50%通過粒径と液状化強度

図-11 は用いた試料の50%通過粒径 (D_{50}) と液状化強度の関係をプロットしたものである。図中の数字は各供試体の圧密後の間隙比である。図より、 D_{50} が 1mm 未満では D_{50} の増加とともに液状化強度は低下傾向にあり、少なくとも $D_{50}=3\text{mm}$ までは低い液状化強度となっている。これ以上の D_{50} の範囲においても、顕著な強度増加はないものと思われる。現行の道路橋示方書¹³⁾によると、液状化の判定を行う必要のある土層の D_{50} の上限値が 2mm から 10mm に変更されている。本実験結果は、この示方書の変更が各種のまさ土に対して適用可能なものであることを裏づけている。

(3) 細粒分含有率と液状化強度

図-11 の結果からも $D_{50}=1\text{mm}$ を境に液状化強度が大きく変化する傾向にあり、細粒分含有率が液状化強度の重要な指標となることを伺い知ることができる。そこで、図-12 は試料の細粒分含有率と液状化強度の関係を示したものである。図中の数字は同様に圧密後の間隙比である。図-11 や図-12 を作成すると D_{50} や細粒分含有率と間隙比の値から液状化強度を推定することが可能となる。しかし、とくに図-12 から、間隙比の大きいまさ土、たとえば細粒分含有率が50%を越えるB1、B2 試料では細粒分含有率が液状化強度に大きく影響を与えないことや、また細粒分含有率が20%以下になると間隙比が異なっても液状化強度に大差が見られないなど、液状化強度を評価する上で不都合な点が見られる。

一般に砂質土の場合、低塑性の細粒分が一定割合以上増加すると供試体の液状化強度は低下し¹⁴⁾、高塑性の細粒分が増加すれば液状化強度は大きくなるといわれている¹⁵⁾。今回使用したまさ土について、細粒分含有率と液状化強度との関係は圧密後の間隙比がほぼ同一の場合、細粒分含有率の増加に伴い、液状化強度の増加傾向が見られる。この実験結果から実験に用いたまさ土に含まれる細粒分は沖積層のシルトなどと異なり高塑性であると考えられる。

また、道路橋示方書では細粒分含有率については35%以下の土層で液状化の危険性があることを示している。本実験結果においても、細粒分含有率が35%以下になると液状化強度が低下し、かつ圧密後の間隙比の値による差も明確ではなくなる。しかし、図-12 は圧密後の間隙比をパラメータとしてまさ土材料の液状化強度の概略値を把握できるという点で実用上、意義あるものと考えられる。

(4) 流動限界と液状化強度¹⁶⁾

道路橋示方書では、細粒分含有率とともに、砂質土の塑性指数が液状化しやすい土層の判定基準に使用されている。しかし、一般にまさ土ではこの塑性指数を求めることが難しい場合が多い。

そこで、まさ土のコンシステンシーとして前述の流動限界を使用し、これと液状化強度の関係について、圧密後の間隙比をパラメータとして表したものが図-13 である。なお、図中には本研究で使用した全てのまさ土の試験結果がプロットされている。さらに、六甲アイランドで採取された試料の流動限界と液状化強度も参考のために併せて記してある。先に示した D_{50} や細粒分含有率をパラメータとした場合に比べて図中の圧密後の間隙比の差によるバラツキがやや小さくなる。

図-12 と図-13 について少し詳しく検討を加える。たとえば、図-12 を用いて細粒分含有率が同程度で流動限界

が異なる試料〔①W3 ($F_c=16.0\%$, $W_f=18.2\%$)とY1 ($F_c=16.0\%$, $W_f=28.5\%$), および ② RB ($F_c=16.0\%$, $W_f=19.1\%$)とAW ($F_c=14.0\%$, $W_f=35.8\%$)〕の液状化強度を比較してみると, ①のW1とY1試料の液状化強度はほぼ等しいが, ②のRBとAW試料では両者の液状化強度は全く異なっている。同様の比較を図-13を用いて行くと, ①, ②の試料ともにほぼ等しい液状化強度を与えることがわかる。したがって, 図-12の細粒分含有率だけで液状化強度をうまく評価し得ない領域がある。

以上のことから, 液状化強度の推定には粒度組成(細粒分含有率), 風化度(強熱減量), コンシステンシーなどの質的要因を考慮する必要がある。とくに, 流動限界は広範囲なまさ土に対して容易に求めることが可能であることや, 粒度特性, 鉱物組成, 風化度などの総合した工学的な性質の指標となりうることから, まさ土を含む砂質土の液状化強度の判定材料に適しているものと考えられる。

7. 結論

まさ土の工学的特性は有色鉱物量, 細粒分含有率, 粒度組成, 風化度, 母岩の種類の影響を受ける。そこで, これらが液状化強度にも関係するものとして材料特性の異なる複数のまさ土を用いて液状化強度と個々の物理的特性との関係を考察した。その結果, 以下のことが明らかとなった。

- 1) 粒子の形状により繰返し载荷中の軸ひずみの発生挙動が異なる。雲母片を多く含む生駒山地のB試料はゆる詰め, 密詰め試料とも液状化近くになると, 軸ひずみは圧縮・伸張にほぼ対称に発生する。一方, 六甲山系のTK試料のように粒子形状が角張っている試料では, 伸張側に卓越して液状化に至る。
- 2) 50%通過粒径が1mm以上になると液状化強度は急激に小さくなる。細粒分含有率の増加に伴い液状化強度は増加の傾向にある。また, 液状化強度には間隙比も関係する。
- 3) 圧密後の間隙比をパラメータとし, 流動限界を用いることにより材料特性の異なるまさ土の液状化強度を統一的に評価できる。

参考文献

- 1) 森伸一郎, 沼田淳紀, 境野典夫, 長谷川昌弘: 埋立地の液状化で生じた噴砂の諸性質, 土と基礎, Vol. 39, pp. 17-22, 1978.
- 2) 後藤聡, 森井慶行, 谷澤房郎, 末岡徹: 大型三軸試験機

を用いたまさ土の液状化特性, 第31回地盤工学研究発表会講演集, pp. 965-966, 1996.

- 3) 佐藤正行, 小瀬木克己, 小田匡覚, 風間秀彦: 細粒分が埋立地盤の液状化特性に及ぼす影響に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 561/III-38, pp. 271-282, 1997.
- 4) 永瀬英生, 池田直樹, 久保田武実: 破砕性まさ土の繰返し非排水三軸試験, 第23回土質工学研究発表会講演集, pp. 683-686, 1988.
- 5) 荒巻憲陸, 兵動正幸, 村田秀一, 中田幸男, 松下純子: 破砕性土としてのまさ土の液状化ポテンシャル, 土木学会第51回年次学術講演会講演集, pp. 210-211, 1996.
- 6) 安田進, 西川修, 岡崎修, 平井哲, 福島康弘: ポートアイランドのまさ土の液状化強度と地盤密度の関係, 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 土木学会, pp. 107-112, 1997.
- 7) 兵動正幸, 荒巻憲陸, 徳原裕輝, 菊池慎二, 中田幸男, 村田秀一: 六甲アイランド埋立てまさ土の非排水繰返しせん断特性, 土木学会論文集, No. 582/III-41, pp. 87-98, 1997.
- 8) 望月美登志, 福島伸二: 埋め立て地盤のまさ土の液状化特性, 第31回地盤工学研究発表会講演集, pp. 971-972, 1996.
- 9) 土質試験法: 土質工学会 (第2回改訂版), 7-3-15~7-3-17, 1979.
- 10) 運輸省港湾局監修: 港湾の施設の設計上の基準・同解説, 日本港湾協会, 上巻, pp. 204-209, 1997.
- 11) Matsuo, S., Fukuda, M., and Nishida, K.: Consistency of Decomposed Granite Soils and its Relation to Engineering Properties, *Soils and Foundations*, Vol. 10, No. 4, pp. 1-9, 1970.
- 12) 兵動正幸, 山本陽一, 安福規之, 丸山浩史, 村田秀一: まさ土の液状化に及ぼす拘束圧の影響, 第26回地盤工学研究発表会講演集, pp. 841-842, 1991.
- 13) 道路橋示方書・同解説: (社)日本道路協会, 橋梁設計編, pp. 83-97, 1996.
- 14) 足立雅樹, 安原一哉, 島袋淳: 塑性のない細粒分を含む砂質土の液状化とそれに伴う体積変化, 土木学会論文集, No. 596/III-43, pp. 29-38, 1998.
- 15) 永瀬英生, 廣岡明彦, 柳畑亨, 井上孝則: 液状化したコンシステンシーの異なる緩い粘土混じり砂の流動特性試験, 第32回地盤工学研究発表会講演集, pp. 761-762, 1997.
- 16) 中山義久, 西田一彦, 西形達明, 井上啓司: まさ土の物性値と液状化強度特性の関係, 土木学会第53回年次学術講演会概要集, 3-A, pp. 138-139, 1998.

(1999. 1. 7 受付)

LIQUEFACTION CHARACTERISTICS AND PHYSICAL PROPERTIES OF DECOMPOSED GRANITE SOILS

Yoshihisa NAKAYAMA, Kazuhiko NISHIDA, Tatsuaki NISHIGATA
and Keiji INOUE

In order to study the liquefaction characteristics of decomposed granite soils, a series of cyclic triaxial tests was carried out. Decomposed granite soils in Kansai area have a variety of grain size distribution as well as mineral composition and therefore, their engineering properties are also diverse. The liquefaction characteristics of the decomposed granite soils are influenced by the characteristics of soil particles themselves (amount of fine particles , the average grain diameter, coefficient of uniformity), the degree of weathering (ignition loss) and the consistency characteristic (flow limit).

The test results indicate that the liquefaction characteristics of decomposed granite soils differ remarkably each other depending upon geographical conditions, and those characteristics are closely related to the consistency of the soils. The liquefaction strength can easily be estimated by two factors i.e. the consistency(W/I) and the void ratio after consolidation.