

砂質土の年代効果に対する土質の影響

茨城大学大学院 学生会員 ○根本 崇生
 茨城大学大学院 正会員 榎本 忠夫

1. はじめに

砂質土の液状化強度は粒度や密度の影響を受けることが知られているが、それ以外にも液状化強度に強く影響を及ぼす要因は存在する。その典型例の一つとして挙げられるのが年代効果である。年代効果は造成された年代によって地盤の液状化強度に影響を与えることが知られている。年代効果については以下のような研究が行われてきた。東畑らは、2011年の東北地方太平洋沖地震における液状化事例を中心に、ボーリングデータを用いて液状化強度を推定した。その結果、地盤の造成年代とともに液状化強度が増加することを明らかにした¹⁾。年代効果はセメンテーションによる土粒子固着が主要因とされているが、後藤らは凍結サンプリングの不攪乱試料と再構成した供試体を比較し、粘着力 c や内部摩擦角 ϕ に大きな差が見られないことを示した²⁾。これにより、そのほかの要因も存在することが明らかになった。加えて後藤らは、土の微視的な骨格構造の相違に影響を受けるとし、排水条件下でのせん断履歴および高温環境下での圧密の2つの手法で、供試体に年代効果を付与できることを示した³⁾。以上のように、これまで液状化強度に及ぼす年代効果の影響に関する研究は多数行われ、年代効果の主要因および年代効果を付与する手法が示されてきた。しかしながら、年代効果に及ぼす土質の影響に関しては断片的な研究成果のみであり、どのような土質であれば年代効果を期待できるのかは明らかになっていない。本研究では、様々な粒度分布を有する砂質土を対象に系統的な三軸試験を行うことで、年代効果に及ぼす砂質土の土質特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験試料

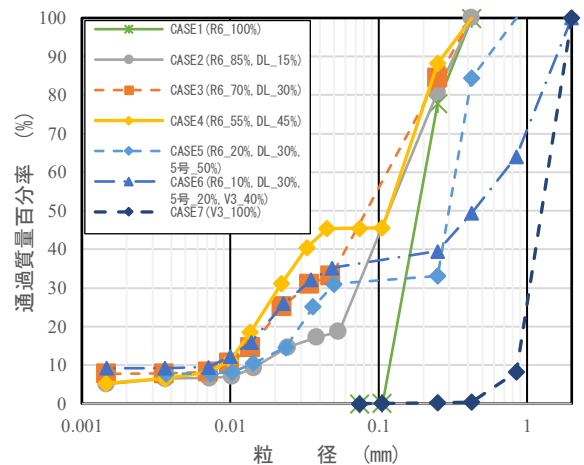
試料には性質がバッチ毎に大きく変化しないDLクレーを細粒分として用い、砂成分にそれぞれ粒度分布の異なる三河珪砂R6号、5号、V3号を用いた。実験試料として使用する際は、表—1に示すような重量比で混ぜ合わせた。実験試料の粒径加積曲線を図—1に、表—2には粒度試験で得られた最大粒径 D_{max} 、平均粒径 D_{50} 、均等係数 U_c 、細粒分含有率 F_c に加えて、土粒子密度 ρ_s 、最大間隙比 e_{max} 、最小間隙比 e_{min} を示す。なお、最大間隙比および最小間隙比は砂の最大密度、最小密度試験 (JIS A 1224) を参考にした。しかし、細粒分を含む実験 CASE については、モールドに加える打撃回数では最小間隙比が頭打ちにならないため、最小値が出るまで打撃回数を増やした。

キーワード：砂質土、液状化強度、剛性、年代効果、三軸試験

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 榎本研究室 TEL：0294-38-5004 E-mail：22nm830y@vc.ibaraki.ac.jp

表—1 実験に用いた試料

	DL クレー	R6 号	5 号	V3 号
CASE 1	-	100 %	-	-
CASE 2	15 %	85 %	-	-
CASE 3	30 %	70 %	-	-
CASE 4	45 %	55 %	-	-
CASE 5	30 %	20 %	50 %	-
CASE 6	30 %	10 %	20 %	40 %
CASE 7	-	-	-	100 %



図—1 実験試料の粒径加積曲線

表—2 実験試料の物理特性

	D_{max} (mm)	D_{50} (mm)	U_c	F_c (%)	ρ_s (Mg/m^3)	e_{max}	e_{min}
CASE 1	0.25	0.190	1.75	0	2.653	0.955	0.596
CASE 2	0.25	0.115	9.41	15.3	2.654	0.872	0.451
CASE 3	0.25	0.082	12.10	30.4	2.655	0.857	0.343
CASE 4	0.25	0.115	9.37	45.5	2.655	0.956	0.364
CASE 5	0.425	0.300	24.62	30.2	2.652	0.795	0.331
CASE 6	0.85	0.420	97.40	30.4	2.653	0.739	0.288
CASE 7	2	1.350	1.72	0	2.657	0.957	0.682

図—2には各実験試料の最大間隙比および最小間隙比の推移を示す。

2.2 実験手順

供試体は含水比 $w = 5\%$ に調整した試料を各々の相対密度 $Dr = 30\%$ で5層に分けてモールド内で締固め、直径7cm、高さ15.5cmになるように作製した。また、本研究では地盤の年代効果を調査するべく、供試体に所定の期間圧密をかける実験装置を作製した。概要を図—3に示す。図—3正面図のように供試体が入ったモールドを設置し、上部に鉄製の重りを載せることで50kPaでの圧密を行った。この実験装置では計6つの供試体を並行して圧密することが可能である。圧密を行う期間については、10、25、50、100日の期間で行うことにした。これは東畑らの研究によって、4~64日程度の短期間の圧密でも年代効果が確認されていることを参考にしている⁴⁾。

繰返し圧密非排水三軸試験においては、圧密終了後のモールドから取り出した供試体を三軸試験機にセットし、等方圧力 $\sigma_c = 20\text{kPa}$ にて飽和化（間隙圧係数 $B \geq 0.95$ ）を行った。 $\sigma_c = 50\text{kPa}$ にて圧密後、供試体側面に設置した加速度計により供試体内を伝播するS波速度 V_s を計測した。 V_s と圧密後の湿潤密度 ρ_t を用いて、微小ひずみ領域における初期せん断剛性率 $G_d (= \rho_t \cdot (V_s)^2)$ を算出した。さらに、同じ等方状態にて、LDTにより計測した軸ひずみ両振幅0.001%程度の微小な繰返し载荷を加え、繰返し载荷時の軸差応力—軸ひずみ関係の傾きから初期ヤング率 E_s を求めた。その後、非排水状態での繰返し载荷を実施した。年代効果を与えない供試体についても、同様な手順で実験を行った。

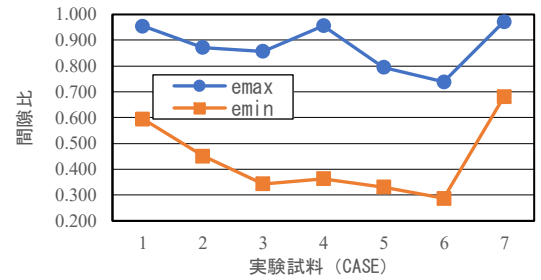
3. 実験結果

本論文では、年代効果を付与しない場合の試料 CASE7 ($Dr = 40\%$, $\sigma_c = 80\text{kPa}$) に関する予備実験の結果を示す。図—4は、液状化試験時における軸差応力と軸ひずみの関係である。ある一定の繰返し载荷を行ったところで、急激に軸ひずみが増加していることがわかる。図—5は、液状化試験時における有効応力経路である。载荷が繰返されている中で、応力経路が左側に移動し、液状化とともに破壊基準に達しているのが見て取れる。以上の験結果を参考に、前節で述べた液状化強度及び剛性評価の実験を行っていく。

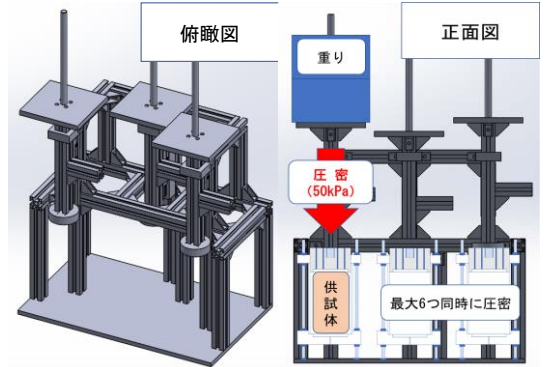
謝辞 本研究は、JSPS 科研費 JP22K04305 の助成を受けたものである。ここに感謝の意を表する。

参考文献

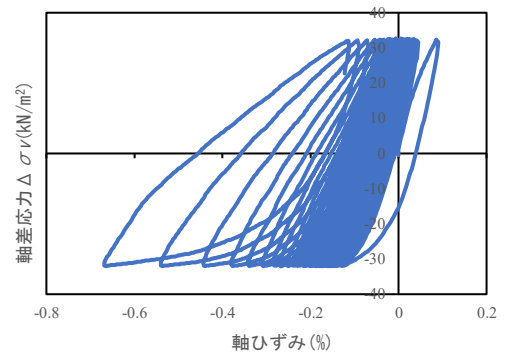
1) 東畑郁生, 田口雄一, 林田敏彦, 濱田悠貴, 青山翔吾, 後藤 茂: 砂の液状化抵抗が年代とともに増加する現象 日本地震工学会論文集 第15巻, 第7号(特集号), 2015 2) 後藤茂: 地盤凍結による不攪乱試料に基づく砂礫地盤の原位置 液状化強度の評価方法に関する研究, 東京工業大学博士論文, 236p., 1996. 3) 後藤 茂, 東畑郁生: 排水条件下の繰返しせん断履歴や高温環境での圧密によって 年代効果を付与した砂質土試料の液状化特性 地盤工学ジャーナル Vol.9, No.4, 707-719 4) Towhata, Y. Yaguchi, T. Hyashida, S. Goto, Y. Shintaku, Y. Yamada and S. Aoyama : Liquefaction perspective of soil ageing (2017). Géotechnique 67, No. 6, 467-478 [http://dx.doi.org/10.1680/jgeot.15.P.046] 5) 榎本忠夫「非塑性シルト質砂の液状化と液状化後の強度変形特性」土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 72, No. 2, 149-154, 2016



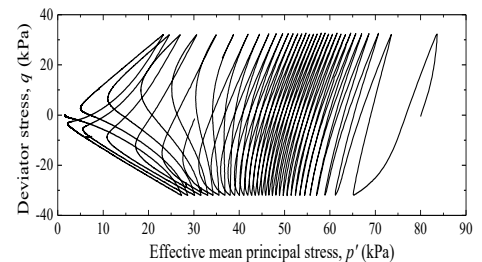
図—2 実験試料ごとの e_{max} および e_{min} の推移



図—3 年代効果を付与する実験装置



図—4 液状化試験時における有効応力経路



図—5 液状化試験時における有効応力経路