

(97) 液状化対策セメント安定処理工法の有効な土の粒度の実験的検討

山口大学工学部 正会員 ○山本 哲朗
山口大学大学院 学生会員 山内 智也
山口大学名誉教授 正会員 大原 資生

1. まえがき

筆者らは飽和砂質土の液状化対策としてのセメント安定処理工法の有効性を実験的に明らかにし、セメントの添加による液状化抵抗の増加比RLは土の10%径 D_{10} と良い相関があることを示した¹⁾。実験には繰返し三軸圧縮試験機を用い、砂～シルトの4種類の土にポルトランドセメントあるいはセメント系土質安定材UKC-Hを添加した供試体の液状化実験を行った。

本文では粒度分布の良いまさ土および海底から浚渫した酸性の強いシルト質砂の2種類の土に対して同様の実験および結果の整理を行い、セメントの添加による供試体のRLを D_{10} との関係および間隙水の水素イオン濃度指数pHとの関係から調べた結果を述べる。

2. 土およびセメント

実験には宇部まさ土および宇部岬シルト質砂を用いた。まさ土は宇部市郊外の丘陵地に分布する広島型花崗岩の風化したまさ土層の表層部から採取した土を4.75mmふるいを通過したものを実験に供した。シルト質砂は宇部岬港で浚渫した海底土であり、酸性の強い土である。

両方の土の物理定数を表-1に示す。粒度分布曲線を図-1に示す。この図、表からわかるように、まさ土の均等係数 U_c は55.0であり、粒度はかなり良い。また、粘土分含有率 F_{clay} は5%である。シルト質砂の U_c は3.5であり、粒度分布は悪い。

セメントには普通ポルトランドセメント（以下、OPCという）、セメント系土質安定材UKC-H（以下、UKC-Hという）を用いた。後者は軟弱地盤の安定処理に用いられている。

3. 実験方法

応力制御方式の繰返し三軸試験機を用い、以下にのべる方法でセメントを添加した土供試体の液状化実験を行った。

まず所定量の土を計量した後、2時間湯煎煮沸する。その後、セメント添加率 $C=2\%$ あるいは 5% となるようにそれにセメントを加える。このセメント添加率は土の乾燥重量に対するセメント重量の百分率で与えたものである。

次に、このようにして準備したセメントを添加した土試料を脱気水を満たしたゴムスリーブ内に水中落下法で詰めて所定の単位重量をもつ飽和供試体を作製した。この時のまさ土の乾燥単位重量は $15.4\sim 15.6\text{kN/m}^3$ 、シルト質砂のそれは $14.2\sim 14.3\text{kN/m}^3$ であった。セメント添加前のまさ土供試体の間隙水のpHは5.2であり、前回の実験^{1), 2)}に用いた土のpH値とそれほど変わらない。一方、シルト質砂供試体のそれは $\text{pH}=2.8$ で、pH値の低いことが他の土と大きく異なる。

その後、拘束圧 $\sigma_{30}=98\text{kPa}$ および背圧 $\sigma_b=49$

表-1 実験に用いた土の物理定数

	Ube decomposed granite soil	Ubemisaki silty sand
G_s	2.635	2.665
U_c	55.0	3.46
D_{10} (mm)	0.020	0.052
D_{50} (mm)	0.775	0.150
D_{max} (mm)	4.75	2.00
W_L (%)	28.8	NP
W_P (%)	NP	NP
I_P	NP	NP
e_{max}	0.950	1.027
e_{min}	0.673	0.658
F_{clay} (%)	5.0	0.0
FC (%)	16.4	13.3

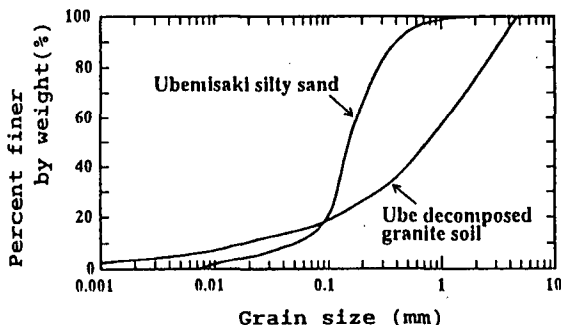


図-1 実験に用いた土の粒度曲線

kPaを供試体に与えて、有効拘束圧 $\sigma'_{30}=49\text{kPa}$ の下で1日間圧密した。両方の供試体とも間隙圧係数 B 値は0.94程度であった。圧密終了後、周期2秒で振幅一定の繰返し軸差応力 σ_a を供試体に液状化が生じるまで与えた。実験時にはこの軸差応力、供試体に発生する間隙水圧および軸方向変位振幅を測定して、パソコンを用いてそのデータを収録した。

4. 結果および考察

4.1 実験記録の一例

図-2(a)、(b)はそれぞれまさ土、それにOPC(C=2%)を添加した供試体の実験記録波形を示す。図-2(a)のまさ土の場合、応力比 $\sigma_a/2\sigma'_{30}=0.155$ で実験が行われ、液状化までの繰返し回数 $n_L=60$ 回で液状化が生じている。これに対して図-2(b)のセメントを添加したまさ土の場合には $\sigma_a/2\sigma'_{30}=0.355$ で実験が行われ、 n_L は76回である。また、間隙水圧の波形にはサイクリックモビリティの現象が見られる。このようにOPCを僅か2%ほど添加した場合でも、間隙水圧の発生が抑えられてまさ土は液状化し難くなっていることがわかる。本文では液状化は供試体に生じる軸ひずみ両振幅が5%に達した時と定義した。

4.2 セメントを添加した供試体の $\sigma_a/2\sigma'_{30} \sim n_L$ 関係

図-3(a)、(b)はそれぞれまさ土、シルト質砂にセメントを添加した供試体の $\sigma_a/2\sigma'_{30}$ と n_L の関係をセメントの添加率ごとに示した図である。同図にはセメントを添加していない供試体の結果も示す。

図-3(a)のまさ土の結果からセメントの添加率が多くなるほど液状化による破壊を生じる応力比は増加することがわかる。また図-3(b)のシルト質砂の結果から間隙水の $\text{pH}=2.8$ の供試体の場合にはセメントを添加した供試体の応力比はセメントを添加しない供試体のそれと全く同じであって、このように間隙水の pH 値が低い土の場合にはセメントの添加だけによる液状化抵抗の増加は期待できないことがわかった。シ

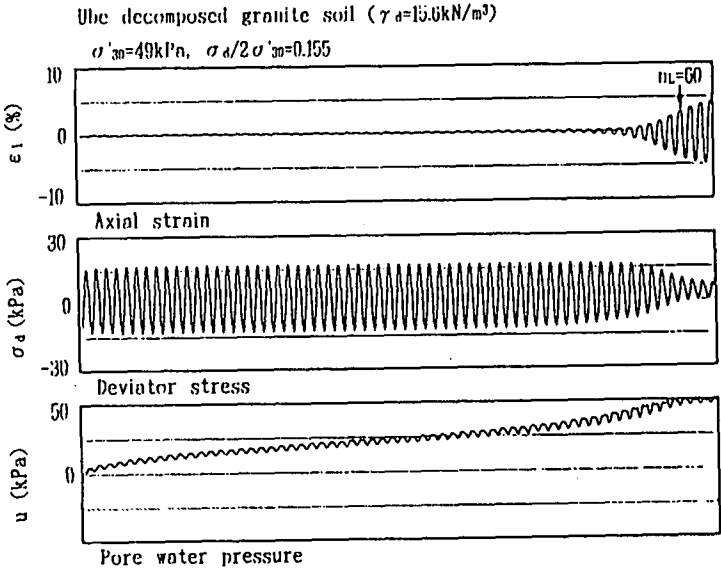


図-2(a) まさ土の実験記録波形の一例

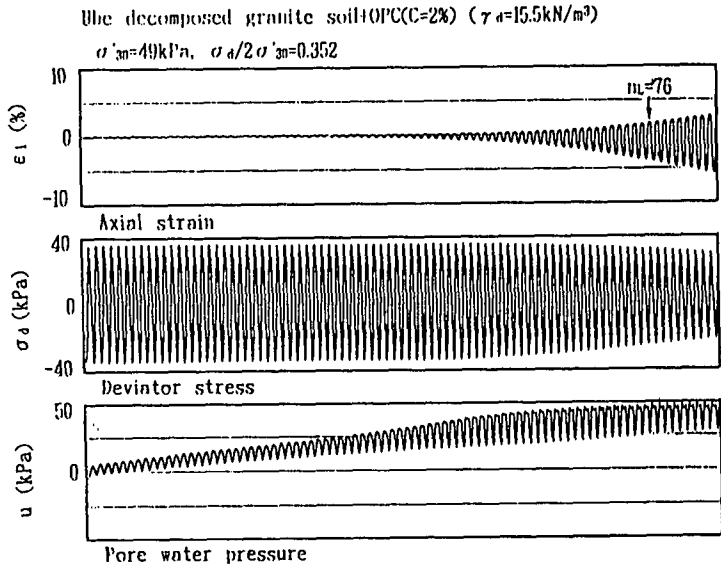


図-2(b) OPC(C=2%)を添加したまさ土の実験記録波形の一例

ルト質砂がかなり強い酸性を示すのは、海水中に含有される硫酸マグネシウムによるものと考えられる。

一方、この酸性状態にあるシルト質砂に水酸化ナトリウムを加え、pH=7.2とした供試体の場合にはセメントの添加によって応力比が著しく増加しているのがわかる。なお、今回の実験に用いたまさ土を含めて先の実験で用いた土の間隙水のpHはすべて5~6の範囲にあった。

先の実験においてセメントとしてOPCよりもUKC-Hを用いた方が液状化抵抗は大きくなるという結果が得られているが、図-3 (b) のシルト質砂の場合にはそれと逆の結果が得られた。

通常の軟弱地盤のセメント安定処理において酸性土の場合にはその効果は小さいと言われており³⁾、本実験で検討した液状化対策としてのセメント安定処理の効果でも、それと軌を一にする結果が得られたわけである。

4.3 セメントの添加による土の

液状化抵抗増加比RLとD₁₀の関係

先に定義した次式で与えるセメントの添加による液状化抵抗の増加比RLとD₁₀の関係を今回用いた2つの土に対して調べた。先の研究¹⁾においてこのRLは土の粒度の諸定数の内、D₁₀ともっともよい相関をもつことを明らかにした。

$$RL = \frac{(R_{20})_{C} - (R_{20})_{C=0}}{(R_{20})_{C=0}} \quad (1)$$

この式でR₂₀は液状化抵抗を表し、添字C、C=0%はそれぞれセメントを添加、添加しないことを意味する。

図-4は2つの土に対して得られたRLとD₁₀の関係を示す。この図に示す他の記号は先の実験¹⁾で得られたものである。この図から、それぞれのセメント添加率ごとに宇部まさ土および宇部岬シルト質砂ともに他の土と同ようにRLはD₁₀と一義的に関係づけられ、RLはD₁₀が小さいほど大きくなることがわかった。上述したように、今回の実験に用いたシルト質砂の場合にはこれまでの結果とは逆にUKC-Hを用いた場合よりもOPCを用いた場合の方がRL値は大きくなるという結果が得られた。

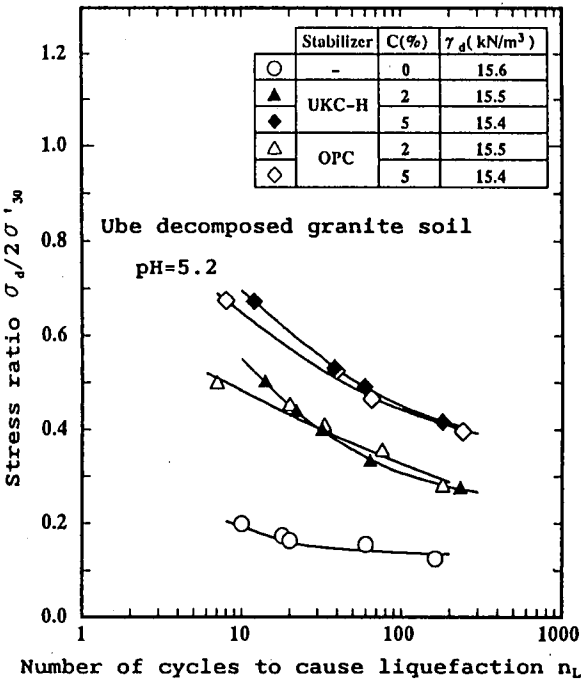


図-3 (a) セメントを添加したまさ土の
 $\sigma_d/2\sigma'_{30} \sim n_L$ 関係

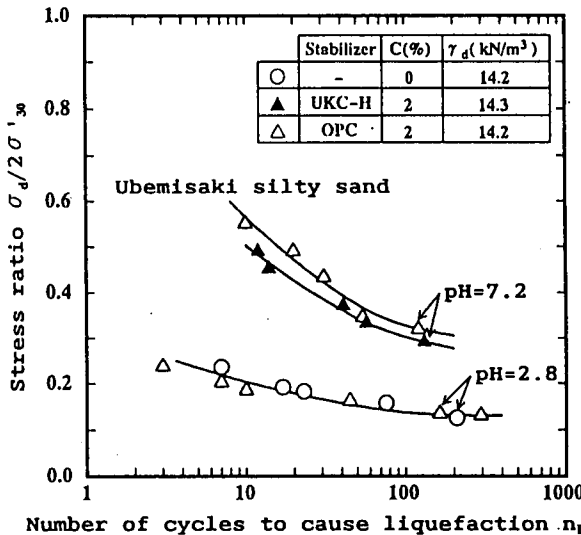


図-3 (b) セメントを添加したシルト質砂の
 $\sigma_d/2\sigma'_{30} \sim n_L$ 関係

今回の実験に用いたシルト質砂の場合にはこれまでの結果とは逆にUKC-Hを用いた場合よりもOPCを用いた場合の方がRL値は大きくなるという結果が得られた。

4. 4 セメントの添加による粒度分布の変化

図-5 (a)、(b) はそれぞれOPC (C=2%) を添加したまさ土、シル質砂供試体の液状化実験後に、3等分した供試体の各部分の粒度曲線を示す。比較のため、図-1に示した両方の土の粒度曲線も同図に再掲されている。図-5 (a)、(b) からOPCを添加した両方の土とも供試体内の粒度分布の差はそれほど見られず、本実験で均質なセメント添加供試体が作製され、さらにセメントの添加によって土粒子が見かけ上大々くなっていることがわかる。

5. まとめ

宇部まさ土および宇部岬シル質砂を対象にして液状化対策としてのセメント安定処理の効果をおもに土の粒度との関係から実験的に検討した。その結果、両方の土ともセメントの添加による液状化抵抗の増加比RLは土の10%径 D_{10} とよい相関関係にあり、先に得た結果を首肯するものであった。なお、宇部岬シル質砂については海底から浚渫した状態での間隙水のpHが2.8の供試体ではセメントの添加によって液状化抵抗の増加は全く認められなかった。セメントの種類による液状化抵抗の増加比の差異については今後、さらに検討したい。

最後に宇部岬シル質砂の採取に際しては宇部セントラルコンサルタント(株)永田洋文氏に種々便宜を図って頂いた。また、本学大学院生畑岡直樹君および学部生北村朋子さんには実験の一部を手伝って頂いた。これらの方々に厚く謝意を表します。

文献

- 1) 山本・大原・堀淵・山内(1994):土の粒度から見たセメント安定処理液状化対策の効果、第29回土質工学研究発表会講演概要集、pp. 1097~1098
- 2) 山本・大原・堀淵・鈴川(1993):シル質砂地盤の液状化対策としてのセメント安定処理、地盤と建設、pp. 83~88
- 3) 土質工学会(1979):地盤改良の調査・設計から施工まで

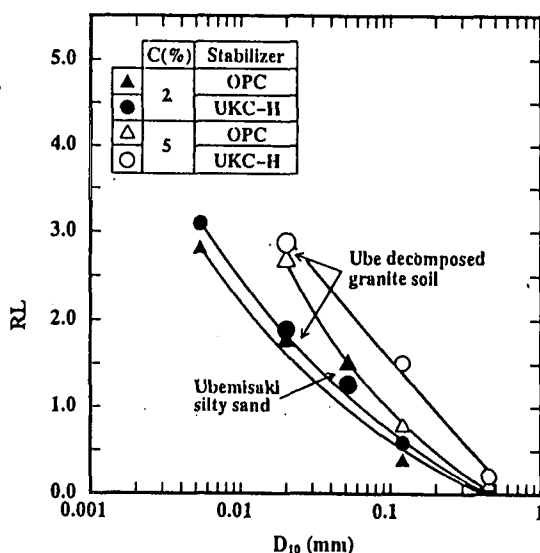


図-4 まさ土およびシル質砂のRL~ D_{10} 関係

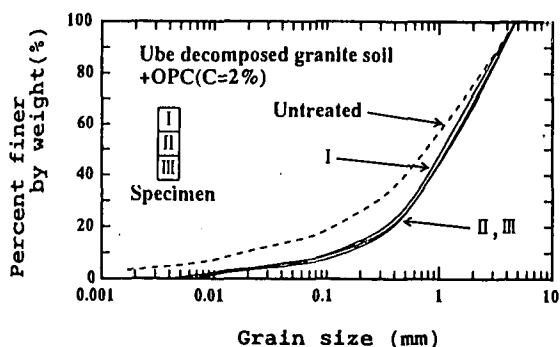


図-5 (a) OPC(C=2%)を添加したまさ土の粒度曲線

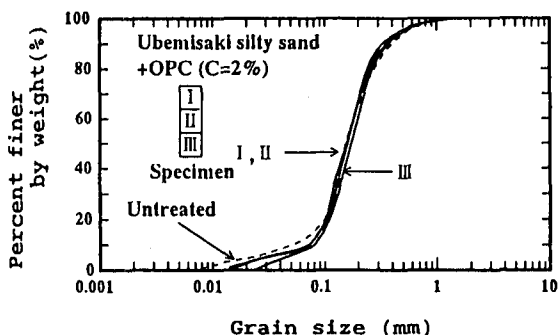


図-5 (b) OPC(C=2%)を添加したシル質砂の粒度曲線