

海面埋立てにより形成される分級堆積構造に着目した都市ゴミ焼却灰の液状化実験

福岡大学 学生会員 麻生茂樹 本村毅
福岡大学 正会員 山田正太郎 佐藤研一

1.はじめに 急峻で国土の狭い我が国では、近年、最終処分場の確保が非常に困難な状況にある。そこで、大阪湾フェニックス計画¹⁾のように、一般廃棄物焼却灰を海洋投棄した後、これにより形成された地盤を利用し、広域港湾整備事業を行っていくような取り組みは、今後、全国に広がっていくものと考えられる。しかし、海面埋立て処分場でも地震時には、兵庫県南部地震（1995年1月17日）の際、ポートアイランド、六甲アイランドで見受けられたような大規模な液状化被害²⁾を引き起こす可能性がある。

そこで本研究では、非排水繰返し三軸試験を用い、焼却灰の液状化特性の把握をまさ土および豊浦砂と比較することで行った。実験方法およびまさ土と豊浦砂の液状化試験結果については、別報³⁾に詳しく示しているの、こちらも参照されたい。

2.実験試料 図-1に本研究で使用した焼却灰の粒径加積曲線を示す。

焼却灰は、2007年6月にF市の清掃処理工場から採取したものをを用いた。また比較試料として大宰府まさ土と豊浦砂を用いた。焼却灰とまさ土は、三軸供試体の大きさの制約から、4.75mm以下にふるい分けしたものをを用いた。焼却灰とまさ土は粒径幅が広く、粒度がほぼ等しい。また、豊浦砂は粒径幅が狭い材料である。

3.焼却灰の液状化挙動の特徴 焼却灰の液状化挙動を図-2に示す。焼却灰は、繰返し荷重を受けるにつれ有効応力が減少し、サイクリックモビリティを示し液状化に至っていることがわかる。図-3に1回の繰返し载荷中に発生する最大の過剰間隙水圧比 $(u/p_c')_{\max}$ と両振幅軸ひずみ $\varepsilon_{DA}=5\%$ に達したときの繰返し回数 $N_{f,5\%}$ で正規化した繰返し回数 $N/N_{f,5\%}$ の関係を、図-4に両振幅軸ひずみと正規化繰返し回数 $N/N_{f,5\%}$ の関係を示す。豊浦砂は最大間隙水圧比が0.6を過ぎたあたりで、間隙水圧が急激に上昇することが図-3から分かる。また、間隙水圧の急増と同時に、急激にひずみが発生し液状化に至っていることが図-4から読み取れる。一方、焼却灰は、まさ土と同様に繰返し初期の段階から軸ひずみと間隙水圧を緩やかに増加させながら液状化に至っている。図-5に両振幅軸ひずみ $\varepsilon_{DA}=5\%$ を液状化発生としてまとめた各試料の液状化強度曲線を示す。図には参考のため、兵動ら⁴⁾による豊浦砂の試験結果についても示している。焼却灰は、まさ土と粒度がほぼ等しく(図-1)、液状化挙動の特徴もまさ土とよく似ている(図-3, 4)が、一方で液状化強度は焼却灰の方が明らかに大きいことが分かる。

4.焼却灰の分級特性 次に、焼却灰の水中沈降時の分級特性について調べる。焼却灰の沈降終了時の堆積状況と採取した試料の様子を図-6に示す。この図から分かるように、焼却灰は沈降時に著しい分級を生じることが分かる。次に、堆積した試料を最上層、上層、中層、下層の4層に分け採取し物理特性を調べた。各層の粒径加積曲線を図-7に、物理特性を表-1に示す。図-7より、分級させていない状態では粒径幅が広いのに対し、分級後は4層とも粒径幅が狭くなっていることがわかる。また、表-1より、堆積後の焼却灰粒子密度は各層ともに明らかな違いが見られた。

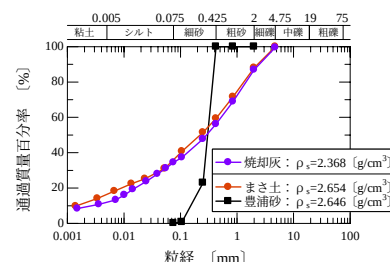


図-1 粒径加積曲線

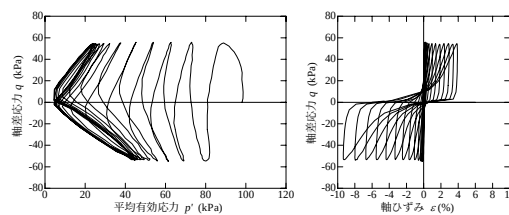


図-2 焼却灰の液状化挙動

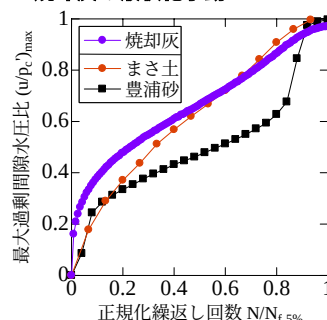


図-3 正規化繰返し回数-最大過剰間隙水圧比関係

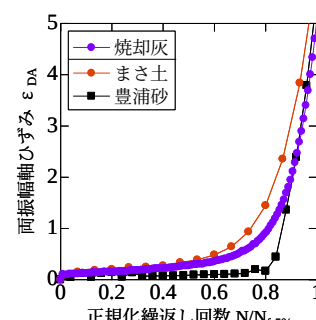


図-4 正規化繰返し回数-両振幅軸ひずみ関係

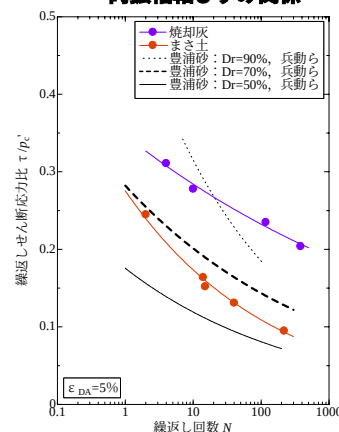


図-5 液状化強度曲線

5. 分級された焼却灰の液状化特性

最後に、分級が液状化挙動に与える影響について示す。分級され4層に分けた試料のうち、シルト分が大半を占める最上層を除く3層に対し液状化試験(繰返し非排水三軸試験)を行った。図-8に、分級された焼却灰の各層の液状化挙動を示す。これらは、すべてほぼ等しい繰返しせん断応力比(焼却灰: $q_{cyc}/p_c' = 0.45$)を与えた場合の結果である。また、分級

の影響について見るため、粒径4.75mm以下の分級させていない焼却灰についても示している。どの試料も繰返し回数の増加に対し有効応力が徐々に低下し、サイクリックモビリティを示し液状化に至っていることが分かる。分級させていない焼却灰に比べ、分級させた試料は容易に液状化を示している。間隙比に着目してみると、分級されていない焼却灰だけが、他の供試体と比べて明らかに間隙比が小さいことに気づく。粒径幅の広い試料は容易にゆるい状態を保てず、このことが液状化強度を大きくしている。次に、焼却灰の各層の繰返し载荷に対する間隙水圧・軸ひずみの発生形態について比較する。 $N/N_{f,5\%} - (u/p_c')_{max}$ 関係および $N/N_{f,5\%} - \epsilon_{DA}$ 関係を図-9、図-10にそれぞれ示す。焼却灰は、分級の影響が液状化強度に表れたにも関わらず、間隙水圧・軸ひずみの発生挙動には殆んど違いが見られず、分級なしのものと同様に緩やかな変化を示した。図-11に液状化強度曲線を示す。分級させていない焼却灰と比べ、分級された焼却灰は、いずれの層も液状化強度が低下していることがこの図からも分かる。なお、分級された各層の液状化強度は粒径の小さいものほど若干大きくなる傾向を示したが、大きな差は生じなかった。なお、まさ土は分級によって液状化挙動が変化する一方で、液状化強度が低下しない³⁾。この点においては焼却灰とまさ土は対照的である。また、焼却灰は分級され液状化強度が低下するものの、まさ土と比較しても以前大きな強度を保持したままであることがわかる。

図-8 分級堆積した焼却灰各層の液状化挙動

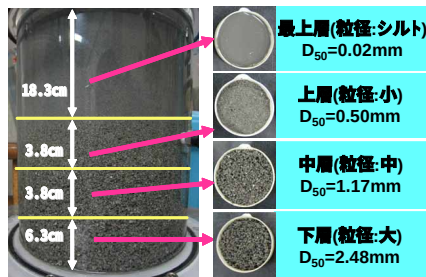
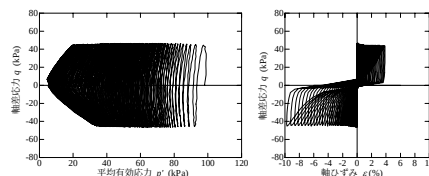


図-6 焼却灰の沈降終了時の堆積状況

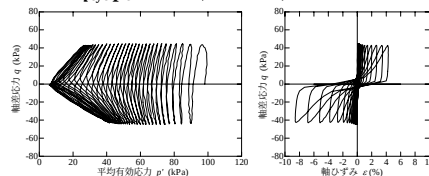
表-1 分級堆積した焼却灰の物理特性

試料名	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	細粒分含有率 F_c (%)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	平均粒径 D_{50}
分級なし	2.368	34.5	264	2.37	0.29
最上層(シルト)	2.043	74.5	—	—	0.02
上層(粒径:小)	2.140	7.1	4.29	1.38	0.50
中層(粒径:中)	2.209	0	2.98	1.07	1.17
下層(粒径:大)	2.455	0	2.69	1.09	2.48

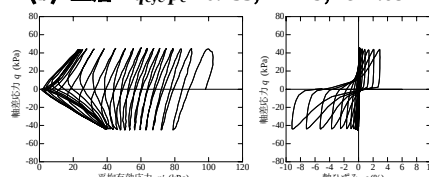


(a) 分級なし:

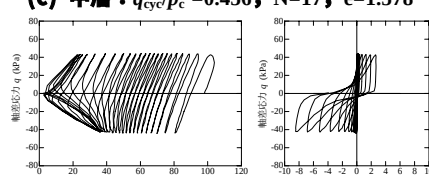
$q_{cyc}/p_c' = 0.470$, $N = 117$, $e = 1.277$



(b) 上層: $q_{cyc}/p_c' = 0.453$, $N = 29$, $e = 1.682$



(c) 中層: $q_{cyc}/p_c' = 0.456$, $N = 17$, $e = 1.578$



(d) 下層: $q_{cyc}/p_c' = 0.449$, $N = 22$, $e = 1.455$

図-8 分級堆積した焼却灰各層の液状化挙動

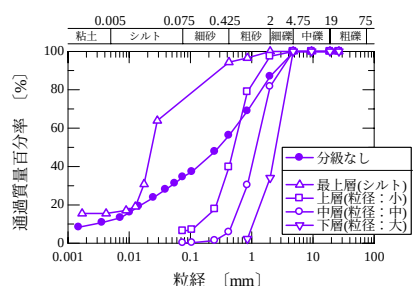


図-7 分級堆積した焼却灰各層の粒径加積曲線

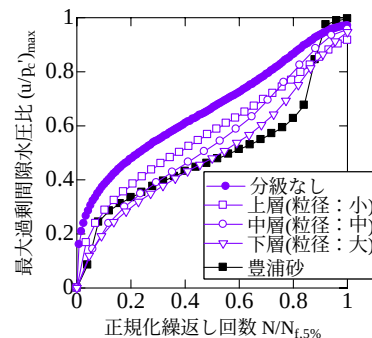


図-9 正規化繰返し回数-最大過剰間隙水圧比関係

—最大過剰間隙水圧比関係

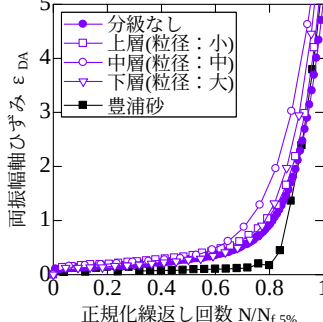


図-10 正規化繰返し回数-両振幅軸ひずみ関係

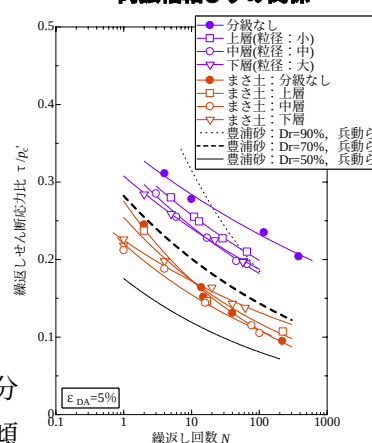


図-11 液状化強度に及ぼす分級の影響

6. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。1) 焼却灰とまさ土の液状化挙動は同じような特徴を有している一方で、液状化強度は焼却灰の方が明らかに大きい。2) 焼却灰は、分級され、粒度が著しく変わっているにもかかわらず、液状化挙動の特徴は大きく変化しない。3) 焼却灰は分級されると液状化強度が低下するが、その影響は比較的小さく、分級が生じても比較的液状化強度の大きい材料であると言える。

【参考文献】1) 大阪湾広域臨海環境整備センター: <http://www.osakawan-center.or.jp/index.html>. 2) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会: 阪神・淡路大震災調査報告. 3) 本村ら: 海面埋立てにより形成される分級堆積構造に着目したまさ土の液状化実験: 平成20年度土木学会西部支部研究発表会概要集, 2009年. 4) 兵動ら: 破碎性土の定常状態と液状化強度, 土木学会論文集, No.554/III-37, pp197-209, 1996年12月.