

繰返し非排水三軸試験による都市ごみ焼却灰の液状化強度の検討

長崎大学工学部 正会員 後藤恵之輔 長崎大学工学部 正会員 山中 稔
 長崎大学大学院 学生員 〇生田 俊裕 長崎大学大学院 学生員 富永恵介

1. はじめに

全国各地のごみ焼却施設から排出される都市ごみ焼却灰は、有効利用される量が少なく、そのほとんどが埋立処分されている。国土の狭い日本では、都市ごみ焼却灰の埋立は埋立用地の不足のため海面埋立が行われつつあるが、海面埋立地盤は陸上埋立地盤に比較して、相対的に地下水位が高く、液状化を起こす可能性が大きい¹⁾と言える。また、陸上埋立においても、雨水等の排水が十分でない場合には、埋立処分地の構造上から地下水位が高いまま推移することが予想される。

そこで本研究では、都市ごみ焼却灰を用いて繰返し非排水三軸試験を行い、一般的な砂質土と比較することにより、都市ごみ焼却灰埋立地盤の液状化強度特性について検討を行った。

2. 都市ごみ焼却灰の粒度分布

図-1 に、都市ごみ焼却灰の粒度分布及び液状化する可能性のある粒度範囲²⁾を示す。用いた都市ごみ焼却灰試料は、実験を考慮し粒径 19mm 以上のものを除去している。粒度構成は、礫分 47%、砂分 50%、シルト分 3.0%であり、用いた都市ごみ焼却灰試料のほとんどが、粗粒分で構成されていることが分かる。一般的に、粒径が均一な細砂や中砂が液状化しやすく、細粒分含有率が多ければ液状化しにくい³⁾と言われている。粒度分布から判断すれば、都市ごみ焼却灰試料は液状化の可能性がある範囲にあることから、液状化特性の検討を行う必要があることが分かる。

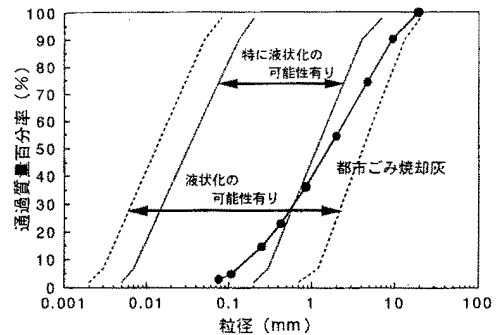


図-1 粒径加積曲線

3. 繰返し非排水三軸試験

(1) 供試体条件及び試験条件

表-1 には、供試体条件を示している。実験に用いた都市ごみ焼却灰試料の最大粒径は、供試体寸法($\phi=5.0\text{cm}$, $h=10.0\text{cm}$)の制約から 2mm とした。また、実験では、都市ごみ焼却灰の液状化強度を検討するために、比較として豊浦標準砂を用いた。都市ごみ焼却

表-1 供試体条件

試料	乾燥密度	相対密度	間隙比
	$\rho_d(\text{g/cm}^3)$	(%)	e
都市ごみ焼却灰	1.01	80	1.24
豊浦標準砂	1.29	83	1.05

灰は、締固めなどによる粒子破碎の発生が考えられるが、実際に埋め立てられる際の状態を考え、突固めによる締固め法により供試体を作製した。試験は、供試体を三軸セル内に設置し、炭酸ガス、脱気水を十分に通した後、背圧 $u_b=147\text{kPa}$ を供給することにより飽和度を高めた。B 値が 95%以上であることを確認した後、有効拘束圧 $\sigma'_c=98\text{kPa}$ において等方圧密を行った。圧密終了後、等方応力状態であることを確認し、空圧式高速デジタルサーボ型動的三軸試験機を用いて、軸差応力振幅一定、載荷周波数 0.1Hz のもとで、繰返し非排水三軸試験を行った。

(2) 実験結果

図-2 に、一例として、繰返し応力振幅比($\sigma_d/2\sigma'_c$)=0.292 における有効応力経路を示す。平均有効応力は、繰返し荷重による急激な低下は見られないが、繰返しとともに徐々に低下してことが分かる。つまり、過剰間隙水圧の上昇が遅いことを示している。また、応力経路は次第に原点に近づいており、しかも伸張側の破壊包絡線に早く近づいていることが分かる。しかし、平均有効応力が 60kPa 付近において、応力経路は向きを変え、破壊包絡線に沿って逆に原点から遠ざかる傾向が表れている。これは、供試体の体積変

体積変化特性が収縮性から膨張性へと変わることを示しており、最大圧縮荷重載荷時における過剰間隙水圧比の波形において、凹型形状が現れる現象と一致している。

図-3 に軸差応力と軸ひずみの関係を示す。繰返し載荷による軸ひずみの急激な増加は見られないが、徐々に軸ひずみが伸張側に増加している。顕著な軸ひずみの増加が確認されたのは、載荷回数 25 回付近である。この時の平均有効主応力は約 50kPa であるが、せん断力に抵抗するには不十分な粒子接点力であったと考えられ、外力に抵抗するほどの摩擦抵抗が生まれず、接点で徐々にすべりが起こり始めて軸ひずみが増加していったものと考えられる。また、緩い砂の場合であれば、平均有効主応力 $p'=0$ に近くなると、軸ひずみが急激に増大し液状化破壊に至る。しかし、本試験で用いた供試体は、相対密度 $Dr=80\%$ と密なものであるため、比較的小さなひずみレベルでも収縮性から膨張性に転じ、その結果有効応力が回復して、せん断に絶えるようになるので、急激な軸ひずみの増加は見られなかったと考えられる。また、圧縮側の軸ひずみに比べ、伸張側の軸ひずみが卓越していることが分かる。前出の有効応力経路において、圧縮側・伸張側とも同じ軸差応力振幅を載荷しても、伸張側の破壊包絡線に早く近づくことから、伸張側におけるひずみが大きくなると判断できる。

(3) 液状化強度特性

図-4 に、繰返し応力振幅比 $(\sigma_d/2\sigma_c)$ と繰返し載荷回数 N_c の関係を示す。図中には、都市ごみ焼却灰の軸ひずみ両振幅 DA が 1%、2%、5% の載荷回数と、豊浦標準砂の $DA=5\%$ の載荷回数を記している。本実験では、軸ひずみ両振幅 $DA=5\%$ において繰返し載荷回数 $N_c=20$ での繰返し応力振幅比 $(\sigma_d/2\sigma_c)$ を液状化強度と判定した。この結果、都市ごみ焼却灰の液状化強度として 0.32 が得られた。同程度の相対密度である豊浦標準砂の液状化強度は 0.09 であり、本実験で用いた都市ごみ焼却灰試料は、豊浦標準砂より液状化強度が約 0.23 大きいことが分かった。都市ごみ焼却灰の液状化強度 0.32 は、中位の液状化強度と判断され、この程度の液状化強度があれば、200~300gal 程度の大きな地震を受けても、大きな液状化は発生しないと考えられる。

4. まとめ

繰返し非排水三軸試験を行った結果、都市ごみ焼却灰は、同程度の相対密度である豊浦標準砂と比べれば、繰返し荷重による平均有効主応力や軸ひずみの急激な低下は見られないことが明らかとなった。さらに、粒度分布から液状化の可能性があると判断されるが、比較的高い液状化強度を呈するという結果が得られた。

参考文献

- 1) 前野祐二・平田登基男・花嶋正孝・柳瀬龍二：地震動が焼却灰の埋地盤に与える影響について，第1回環境地盤工学シンポジウム発表論文集，土質工学会，pp.165-168，1994。
- 2) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.203-209，1989。
- 3) 安田進：液状化の調査から対策工まで，鹿島出版会，pp.78-81，1988。

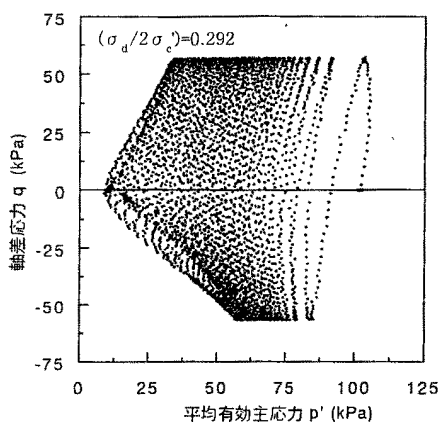


図-2 有効応力経路

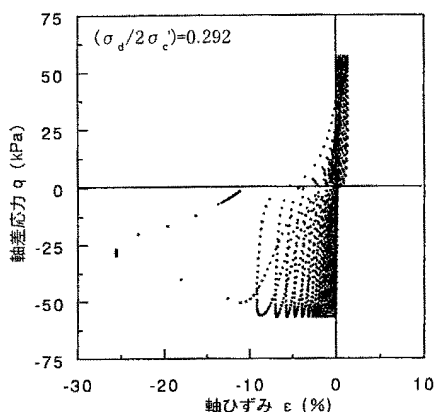


図-3 軸差応力と軸ひずみの関係

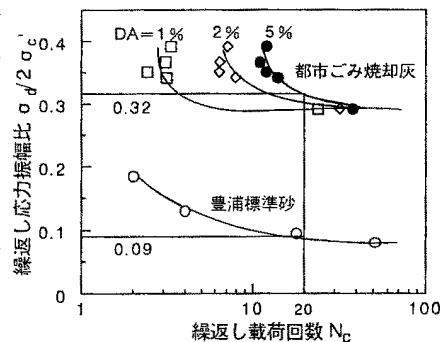


図-4 液状化強度曲線