

締固めたクリンカアッシュとまさ土の非排水繰返しせん断強度

山口大学大学院 学生会員 ○松井貫太 Michael James Winter
山口大学大学院 正会員 兵動正幸 吉本憲正
中国電力（株） 正会員 中下明文 佃勝二 中本健二

1. はじめに

現代、日本のエネルギーは年々石炭への依存が高まっている¹⁾。それに伴い、石炭灰の発生量も増加し、埋立処分地の確保が困難になっている。このような状況から、石炭灰は「特に再生資源として有効利用を促進しなければならない指定副産物」に位置づけられている²⁾。

東日本大震災では、谷埋め盛土や若年埋立地の液状化により多くの被害を受けた³⁾。その対策として、地下水位を低下させることや液状化し難い地盤材料を用いることが挙げられる。そこで、せん断強度が高く²⁾、地震時の大きな変形を抑制できると思われるクリンカアッシュを利用することが考えられる。本研究では、中国地方に多く分布し、盛土材料としてよく用いられる「まさ土」と非排水繰返しせん断特性の比較を行うことで、クリンカアッシュの盛土材料への有効利用の有用性について検討する。

2. 用いた試料の物理特性

用いた試料は、全国 3 ヶ所の発電所から採取されたクリンカアッシュ (C.He, C.Ta, C.Shi の 3 種類) と宇部まさ土である。それぞれの試料の物理的性質を表 1 に示す。土粒子密度に着目すると、宇部まさ土に比べてクリンカアッシュは低い値を示している。このことから、クリンカアッシュは粒子内部に多くの空隙が存在することがわかる。図 1 にクリンカアッシュと宇部まさ土の粒度分布を示す。この図より、クリンカアッシュは各発電所により粒度に違いが見られる。これは、各発電所における燃焼方法、製造過程などの違いによるものだと考えられる。

3. 非排水繰返しせん断特性

3-1. 宇部まさ土の非排水繰返し三軸試験

宇部まさ土の非排水繰返し三軸試験は、中型繰返し三軸試験機（供試体サイズ直径 10cm, 高さ 20cm）を用いて行った。締固め度 $D_r=85\%$ 、100%を目標とし、試験条件は背圧を 200kPa, 有効拘束圧を 100kPa とし、せん断時の周波数は 0.1Hz とし、軸ひずみ両振幅 5%に達した時点で破壊したとみなした。

3-2. クリンカアッシュの非排水繰返し三軸試験

クリンカアッシュの非排水繰返し三軸試験は、大型繰返し三軸試験機（供試体サイズ直径 15cm, 高さ 30cm）を用いて行った。クリンカアッシュも締固め度 $D_r=85\%$ 、100%を目標とし、試験条件は宇部ま

表 1 物理的性質

	ρ_s (g/cm ³)	ρ_{dmax} (g/cm ³)	ρ_{dmin} (g/cm ³)
C.He	2.173	1.154	0.830
C.Ta	2.132	1.130	0.857
C.Shi	2.151	1.228	0.888
宇部 まさ土	2.583	1.971	1.587

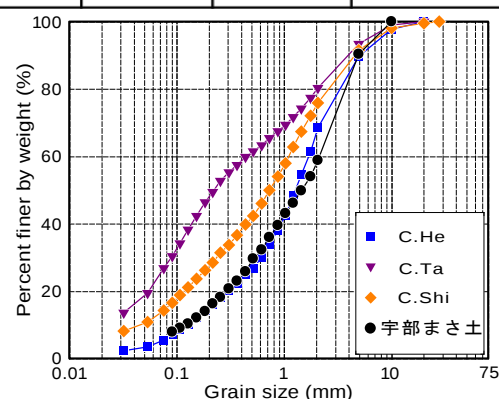


図 1 粒度分布

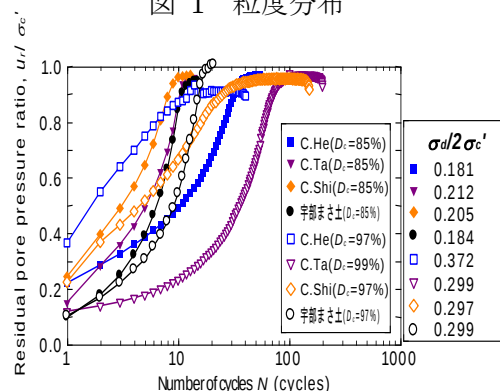


図 2 残留過剰間隙水圧比 u_r/σ'_c と繰返し回数 N の関係

キーワード クリンカアッシュ, 締固め度, 非排水繰返しせん断強度

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学創成科学研究科建設環境系専攻

TEL (0836)85-9011

さ土と同じで、せん断時の周波数は 0.02Hz とした。

3-3. 非排水繰返しせん断特性の評価

図 2 に残留過剰間隙水圧比 u_r/σ_c' と繰返し回数 N の関係を示す。宇部まさ土はいずれの締固め度でも残留過剰間隙水圧比 u_r/σ_c' は上昇し、最終的に液状化に至る。また、繰返し応力比がほぼ同じである C.He の緩詰めとと比較すると、载荷初期の過剰間隙水圧の発生はクリンカアッシュの方が早いとその後の発達は緩やかとなり、挙動の違いが見て取れる。図 3 に軸ひずみ両振幅 DA と繰返し回数 N の関係を示す。宇部まさ土の緩詰めは軸ひずみが徐々に発達し、あるところで急激にひずみが発達していることがわかる。一方、ほぼ同じ応力比の結果であるクリンカアッシュの C.He では、宇部まさ土と同様に徐々に軸ひずみの発達が生じ破壊に至るまで緩やかなひずみの発達が認められる。宇部まさ土の密詰めは緩詰めより若干軸ひずみの発達が緩やかであるが最終的に破壊に至る。クリンカアッシュの密詰めは $DA=2\%$ に達するまでは徐々に軸ひずみが発達しているが、 $DA=2\%$ の辺りで一度定常に至り、その後急に軸ひずみが発達し、ネッキング破壊に至っている様子が認められる。図 4 に宇部まさ土とクリンカアッシュの両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ に至るのに必要な繰返し応力比と繰返し回数の関係を示す。低締固め度の時は C.He において高く、その他のクリンカアッシュにおいてあまり強度に差は見られないが、高締固め度の時は、宇部まさ土に比べてクリンカアッシュはかなり高い強度を示すことが分かる。また、同じクリンカアッシュでも強度に差が出る理由として、クリンカアッシュの粒子形状や粒子強度、粒度分布の違いによるものだと考えられる。図 5 に締固め度 D_c と繰返しせん断強度 $R_{20}=\sigma_d/2\sigma_c'$ の関係を示す。締固め度が高くなるにつれて、繰返しせん断強度が上昇し、宇部まさ土の密詰めは緩詰めに比べて繰返しせん断強度が約 1.5 倍高くなるのに対して、クリンカアッシュの密詰めは緩詰めにくらべて強度が 2~3 倍程度高くなり、クリンカアッシュにおいて締固めの効果が高くなると考えられる。

4. まとめ

締固めたクリンカアッシュは残留過剰間隙水圧比が上昇しにくく、早い段階で定常に至り完全液状化に至らない様子が見られた。また、軸ひずみが 5% に達する前に一度軸ひずみが定常に至った後に軸ひずみが 5% に達する様子から液状化による破壊を起こしにくいと考えられる。クリンカアッシュは締固めることで繰返しせん断強度が顕著に増加することが明らかとなった。これらのことから、締固めることで高いせん断強度を発揮するクリンカアッシュを締固めて利用する盛土材料に用いることは有効な手段であるといえる。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 (エネルギー白書 2015)
<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/> (参照年月日 : 2016/2/2)
- 2) 若槻好孝, 兵動正幸, 吉本憲正, 穴井隆太郎, 吉永祐二, 吉岡一郎, 中下明文 : クリンカアッシュの粒子特性と緩詰め状態の強度・変形特性, 土木学会論文集 C Vol.65, No.4, 897-914, 2009.11
- 3) 学会提言の検証と評価に関する委員会 : 地震時における地盤災害の課題と対策, 公益社団法人地盤工学会 2011.6

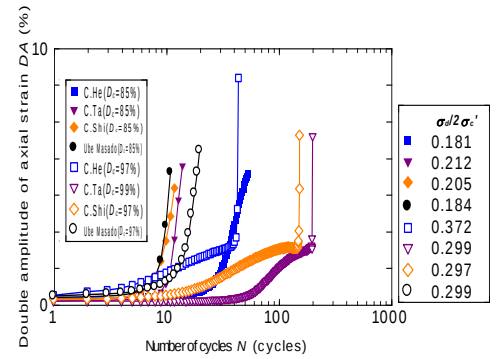


図 3 軸ひずみ両振幅 DA と繰返し回数 N の関係

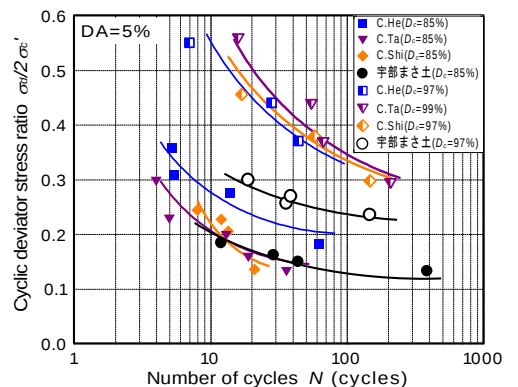


図 4 宇部まさ土とクリンカアッシュの繰返しせん断強度曲線

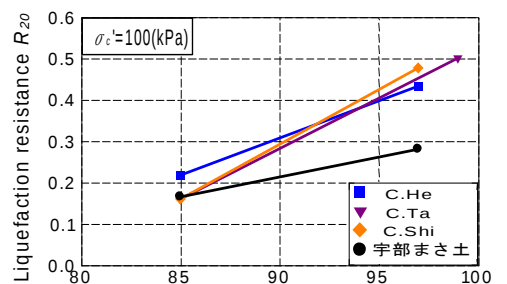


図 5 繰返しせん断応力比と締固め度 D_c の関係