

クリンカアッシュの混合による建設発生土の圧密・せん断特性の改質

山口大学大学院創成科学研究科	学生会員	○中村 圭吾
山口大学大学院創成科学研究科	正会員	吉本 憲正
中国高压コンクリート工業(株)	正会員	中下 明文
中国高压コンクリート工業(株)	非会員	大本 尚樹

1. 研究の背景と目的

クリンカアッシュは軽量でせん断強度が高く、透水性が高いという土木材料として優れた性能を有することが明らかとなっている。これらの優れた特性は粒子形状が複雑なことや、粒子が多孔質であることなど微視的な特性から発揮されていると考えられる。

近年、クリンカアッシュは様々な地盤材料として有効活用され始めているが、その発生割合は概ねクリンカアッシュが10%程度であり、フライアッシュが約90%の産出量であることと比較して少ない。そのため、優れた性能を活用した有効活用が、供給量の問題から制約を受けるという現状がある。

本研究では、クリンカアッシュの有効利用をより拡大するために、建設発生土と混合した際の物理特性や締固め特性、力学特性について検討を行い、クリンカアッシュの低品質な建設発生土に対する改質効果について検討することを目的とする。

2. 物理特性

本研究では、建設現場より発生した残土 CGS.SF-G ( $\rho_s=2.626\text{g/cm}^3$ ) と石炭火力発電所より発生したクリンカアッシュ CA. Mi 2021 ( $\rho_s=2.209\text{g/cm}^3$ ) を用いて実験を行った。CGS.SF-G は細粒分含有率の割合を大きくして低品質な土を表現するために粒径を4.75mm以下に調整して作製している。また、CGS.SF-G はわずかであるが塑性指数を有しており、地盤材料の工学的分類により分類したところ、礫まじり細粒分質砂であった。CA Mi 2021 は非液性、非塑性であった。混合試料はCGS.SF-G とクリンカアッシュを質量比0:10, 1:9, 2:8, 5:5, 10:0の割合で混合した。(以下、クリンカアッシュの混合率は、CA10%, CA20%, CA50%, CA100%と表記する。)

図-1にCGS.SF-GとCA. Mi 2021の粒径加積曲線を示す。図よりクリンカアッシュの混合率に対応して変化していることが確認できる。CGS.SF-Gとクリンカアッシュの混合土はCA. Mi 2021の割合が大きいほど細粒分含有率は小さく、平均粒径は大きくなる。

図-2にCGS.SF-GとCA混合土の締固め曲線を示す。締固め曲線より、クリンカアッシュの締固め曲線は建設

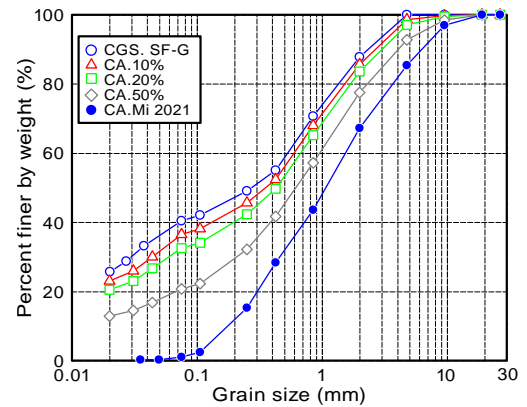


図-1 CGS.SF-G とクリンカアッシュの粒径加積曲線

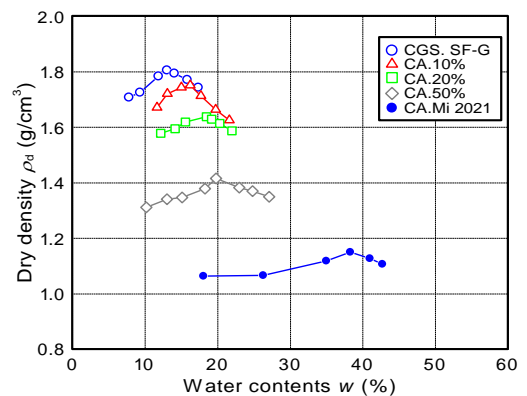


図-2 CGS.SF-G と CA Mi 2021 混合試料の締固め曲線

キーワード クリンカアッシュ, 建設発生土, 混合

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学 工学部 社会建設工学科

TEL 0836-85-9344

発生土のように鋭く立ち上がることはなく、広い含水比範囲でなだらかな曲線となっている。また、建設発生土と混合した際には、クリンカアッシュの混合率が增加することで緩やかな曲線へと推移している。これは、クリンカアッシュの粒子形状が複雑であることから、締固め時に粒子の再配列がされにくい材料であるためと考えられる。このことから、クリンカアッシュの締固めが含水比に大きく影響されないことがわかる。

図-3にCGS.SF-GとCA Mi 2021混合土の最大乾燥密度、最適含水比とクリンカアッシュ混合率の関係を示す。最適含水比はクリンカアッシュの混合割合が増加するに伴い高くなっている。これはクリンカアッシュが多孔質で、吸水性に優れていることが原因と考えられる。一方、最大乾燥密度はクリンカアッシュの混合割合が高くなると、低下していることがわかる。これにより、クリンカアッシュの混合により軽量材料としての適応性が高くなることがわかる。

3. 実験方法

本研究では、混合土としての力学特性を解明するため、圧密排水条件とCGS.SF-Gにおいては圧密非排水条件でも三軸圧縮試験を行った。CGS.SF-Gのみの供試体は、乾燥試料を5層に分けて投入し、1層あたり9回ずつランマーで突き固めて作製した。CA. Mi 2021およびCGS. SF-GとCA. Mi 2021の混合土の供試体は、クリンカアッシュを水に浸し真空状態で脱気したのち、湿潤状態の試料を5層に分けて投入し、1層ずつ所定の回数ランマーで突き固めて作製した。

圧縮試験時の有効拘束圧は $\sigma_c' = 50, 100, 200\text{kPa}$ の3種類、圧密条件は等方圧密、ひずみ速度一定(0.1%/min)、供試体高さ20cm、直径10cm、供試体の締固め度は $D_c = 90\%$ を目標に作製した。また、圧密終了時間の判定には3t法を用いた。

4. 圧密特性

図-4にクリンカアッシュ混合率と圧密終了時間の関係を示す。図より、クリンカアッシュ混合率が大きくなると圧密終了時間は大幅に短縮されることがわかる。CGS. SF-Gのみでは圧密が終了するまでにかなりの時間を要するが、クリンカアッシュを20%混合するだけで、いずれの拘束圧においても圧密終了時間は大きく短縮されていることが確認できる。

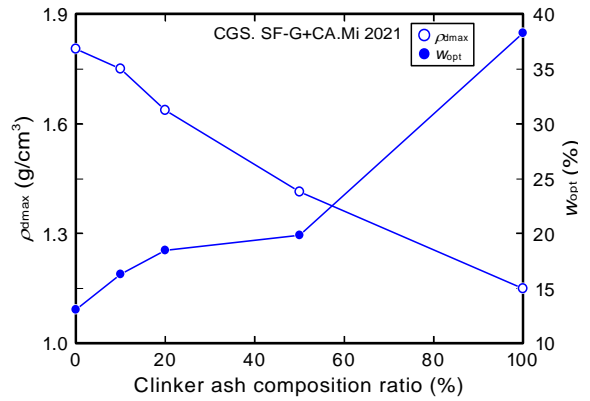


図-3 CGS.SF-GとCA混合土の最大乾燥密度、最適含水比とCA混合率の関係

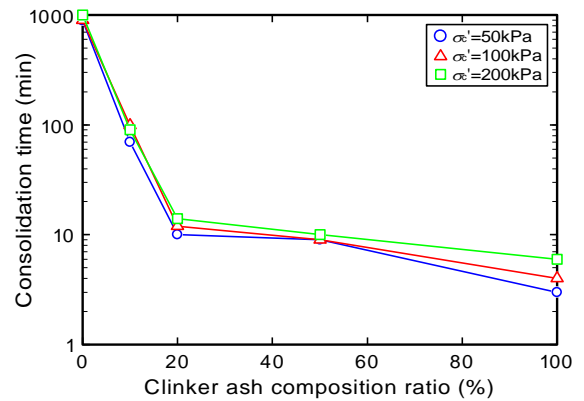


図-4 CA混合率と圧密終了時間の関係

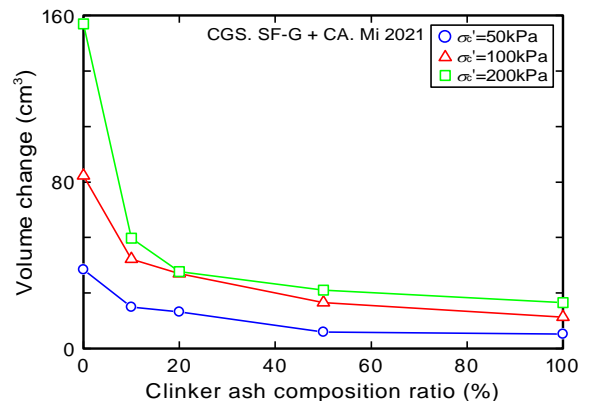


図-5 CA混合率と最終圧密沈下量の関係

これより、建設発生土にクリンカアッシュを混合することで透水性が大幅に改善されたことがわかる。また、このことから、実施工においても、クリンカアッシュを混合することで工期の短縮につながることを期待できる。

図-5 にクリンカアッシュ混合率と最終圧密沈下量の関係を示す。図より、クリンカアッシュの混合が大きくなると最終圧密沈下量は小さくなることをわかる。また、有効拘束圧が大きくなるほど最終圧密変化量は大きくなることを確認できる。

5. せん断特性

図-6 に CGS.SF-G と CA. Mi-2021 の拘束圧 100kPa における軸差応力  $q$  および体積ひずみ  $\varepsilon_v$  と軸ひずみ  $\varepsilon_a$  の関係を示す。軸差応力について、クリンカアッシュ混合率が大きくなると、最大軸差応力も大きくなることをわかる。これは、クリンカアッシュの複雑な粒子形状により、粒子同士が噛み合うことで発揮されるインターロッキングなどの影響を受けるためであると考えられる。一方、体積ひずみについては、クリンカアッシュ以外は収縮挙動を示している。

6. せん断強度

本研究では、粘着力を考慮せず、原点とモール円との接点の関係から得られるセカント角度  $\phi_s$

( $=\sin^{-1}((\sigma_1' - \sigma_3') / (\sigma_1' + \sigma_3'))$ ) によって、せん断強度の検討を行った。

図-7 にクリンカアッシュ混合率とセカント角度の関係を示す。図より、いずれの拘束圧においてもクリンカアッシュ混合率が増加するとセカント角度も増加していることが確認できる。拘束圧によっては、クリンカアッシュの混合率が 20%程度で混合率 50%の場合に匹敵するせん断強度を発揮するケースも存在する。このことから、建設発生土にクリンカアッシュを混合することによりせん断強度が改善されることが明らかとなった。また、いずれの混合率においても拘束圧が大きくなると、粒子破碎の影響を受けて若干セカント角度が低下することが確認できる。

CGS.SF-G (クリンカアッシュ混合率 0%) においては圧密非排水条件においても試験を行った。その際の有効応力で結果を整理し、得られたセカント角度を図中に併せて示している。結果から、圧密排水条件の場合より

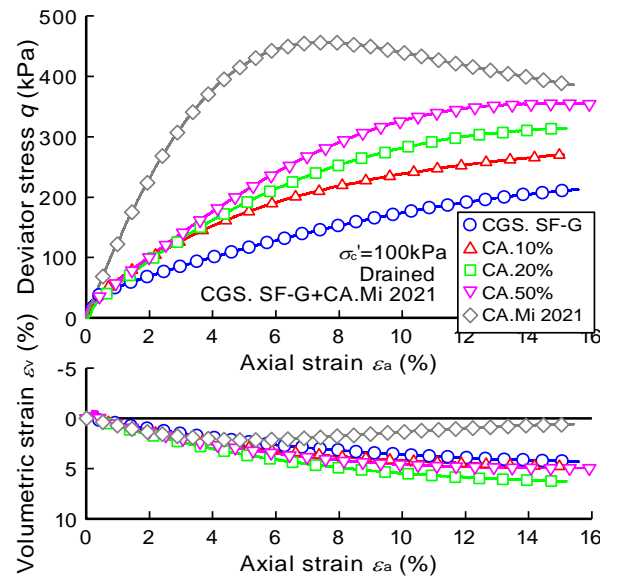


図-6 有効拘束圧 100kPa におけるせん断挙動

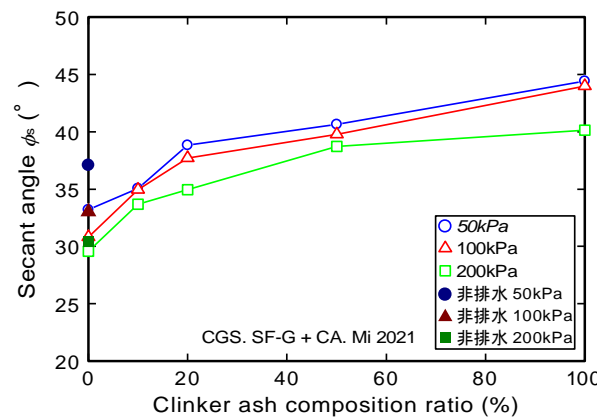


図-7 クリンカアッシュの混合率とセカント角度の関係

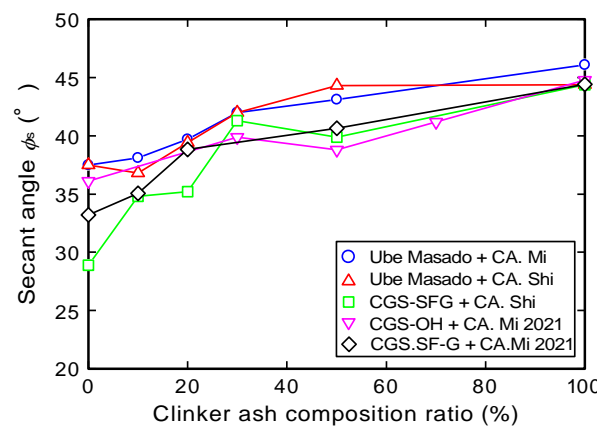


図-8 既往研究との比較(50kPa)

も非排水条件において、セカントアングルが大きくなったことがわかる。この結果は、圧密排水条件で実験をした際に、装置のバルブを開けて排水条件で圧縮試験を行っているが、供試体の透水性が低いために、排水が十分にされていないことが原因と考えられる。

図-8に拘束圧 50kPa におけるクリンカアッシュの混合率とセカントアングルの関係について、既往研究<sup>1)</sup>の結果との比較を示す。この図より、いずれの自然土においてもクリンカアッシュの混合率が大きくなるとセカントアングルも大きくなり、せん断強度が増加していることがわかる。また、今回用いた CGS.SF-G は混合率 20%の時点でせん断強度が大きく改善されたことが確認できる。

## 7. まとめ

締固め特性について、クリンカアッシュの混合割合が増加することで、最適含水比が高くなり、最大乾燥密度が低下し、軽量材料としての適用性が高くなることがわかった。

圧密特性について、クリンカアッシュを混合することで、圧密終了時間は短縮されることがわかった。このことから、実施工においても工期の短縮が期待できる。また、最終圧密沈下量に関しては、クリンカアッシュの混合率が大きくなると最終圧密沈下量は小さくなることがわかった。このことから、実際にクリンカアッシュを混合して施工をする際に、沈下量を抑制することが期待できる。

せん断特性については、クリンカアッシュの混合率が増加するとせん断強度が大きくなることがわかった。建設発生土とクリンカアッシュを混合することにより、せん断特性を改善する効果が明らかであり、クリンカアッシュの有効利用の拡大に繋がると考えられる。

## 参考文献

- 1) 吉本憲正, 多岐涼太, 中下明文, 大本尚樹: 様々な自然土とクリンカアッシュ混合土の圧密排水条件下の力学特性, 第 15 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.339-344, 2022.