

クリンカとごみ溶融スラグの地盤改良材としての利用性について

秋田高専 正会員 ○花田 智秋

秋田高専 正会員 対馬 雅己

1. はじめに

日本全国における石炭灰の発生量は平成 22 年度で約 1000 万トンであり、石炭火力発電施設によるものが 75%を占めている。石炭灰はフライアッシュとクリンカに大別されるが、クリンカについては従来舗装材料やコンクリート製品の一部に使用されている。今後発電量の増大に伴い石炭利用の増加が予測されるため石炭灰の再生利用は重要な課題となる。本研究では石炭火力発電施設から排出されるクリンカの有効利用を図るため、クリンカと秋田市のごみ溶融施設から排出される溶融スラグを混合し、地盤材料としての強度特性を調べるとともに、この材料の有効利用の可能性についても検討する。

2. 試料および実験方法

用いた試料はクリンカとスラグである。クリンカは石炭を燃焼させ炉底部で回収される溶結状の灰であり、スラグは秋田市総合環境センターの溶融施設から排出されたものである。表-1, 2 はそれぞれの試料の物理的および化学的組成である。クリンカはスラグとの結合向上の観点から粉砕し粒径 $250\mu\text{m}$ とした。また、スラグは粉砕することによって水硬性が期待できるため混合材料となるその粒径は $250\mu\text{m}$ として粒径調整した。実施した試験はすべて一軸圧縮試験であって、以下の 3 種類の実験条件に基づいて行った。なお、供試体は所定の条件で締固めた直径 50mm, 高さ 100mm である。1)クリンカのみによる圧縮試験。2)クリンカとスラグの混合土のみによる圧縮試験。クリンカとスラグの混合割合はそれぞれ乾燥重量比で 25, 50, 75%とした。3)クリンカとスラグの混合土に安定材として消石灰を添加し、所定の養生期間後の圧縮試験。クリンカとスラグの混合割合はそれぞれ乾燥重量比で 25, 50, 75%とした。また、消石灰の添加率は 5, 10, 15%とし、これらの混合土に対して養生期間を 3, 7, 10, 28, 90 日に設定した。なお、1)～3)の試験材料の含水比はそれぞれの最適含水比によるものとした。

表-1 試料の物理的性質

試料	密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	粒径 (mm)
クリンカ	2.27	29.0	5.00 以下
スラグ	2.87	0.60	2.36～0.15

表-2 試料の化学的組成

試料	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe
クリンカ	57.6	21.6	4.7	7.1
スラグ	35.9	14.1	39.2	0.19

軸圧縮試験であって、以下の 3 種類の実験条件に基づいて行った。なお、供試体は所定の条件で締固めた直径 50mm, 高さ 100mm である。1)クリンカのみによる圧縮試験。2)クリンカとスラグの混合土のみによる圧縮試験。クリンカとスラグの混合割合はそれぞれ乾燥重量比で 25, 50, 75%とした。3)クリンカとスラグの混合土に安定材として消石灰を添加し、所定の養生期間後の圧縮試験。クリンカとスラグの混合割合はそれぞれ乾燥重量比で 25, 50, 75%とした。また、消石灰の添加率は 5, 10, 15%とし、これらの混合土に対して養生期間を 3, 7, 10, 28, 90 日に設定した。なお、1)～3)の試験材料の含水比はそれぞれの最適含水比によるものとした。

3. 実験結果および考察

図-1, 2 は粉砕したクリンカおよび混合土について、消石灰 5, 15% 添加し、さらに養生期間 3, 7, 28 日毎にクリンカの一軸圧縮強度(q_u)_c を基準とした一軸強度比 $q_u/(q_u)_c$ と混合土のスラグ混合割合の関係を示したものである（以下、スラグ 25, 50, 75%の混合土を混合土 25, 50, 75%と呼称する）。図-1 から分かるように、混合土のスラグ混合割合が増加するに伴って一軸強度比が増大することが認められる。混合土 75%においては養生期間によって一軸強度比の増加割合が顕著である。これはクリンカとスラグが消石灰添加によって結合し、粉砕したスラグの水硬性が複合的に発揮され圧縮性に強い骨格構造が形成されたものと考えられる。図-2 は、図-1 と同じ条件下で消石灰 15%添加したものであり、消石灰 5%添加と同様の傾向を示し、一軸強度比の増加

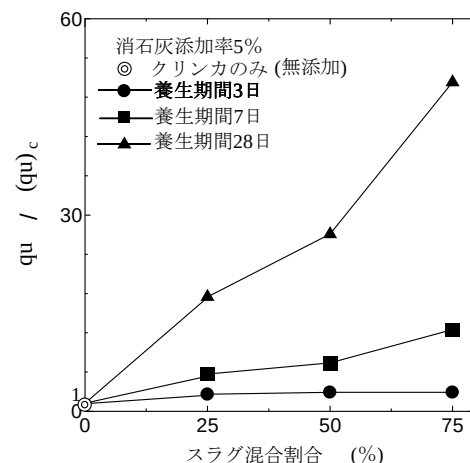


図-1 一軸強度比～スラグ混合割合

割合は消石灰 5%添加に比べて顕著である。このようにクリンカの有効利用の観点からクリンカとスラグを混合し、安定材の消石灰添加によって新たな地盤改良材として強度向上を得ることが認められた。図-3 は混合土 50%の一軸圧縮強度 q_u と消石灰添加率の関係を、養生期間をパラメータとして示したものである。全ての条件下において一軸圧縮強度は消石灰の添加率の増加に伴って増大する傾向を示す。また、一軸圧縮強度と消石灰添加率にはほぼ線形関係が認められた。図-4, 5 は消石灰添加率をパラメータとした混合土 25, 75%について長期養生期間が強度に及ぼす影響を検討したものである。図-4 から分かるように、混合土 25%に消石灰添加を増大するほど強度増加が顕著であり、全ての条件下において初期の強度発現が大きく、長期にわたり改良効果が継続することが認められる。また、養生期間が長期ほど消石灰添加率 5%に比べて添加率 10, 15%の方が顕著な増大する傾向が認められる。養生期間 7 日まで消石灰添加率によって若干ばらつくが、それ以降はほぼ直線的に強度増大の傾向を示し 28 日以降は緩やかに推移していることが分かる。これは水和反応が減速し最終強度に達するものと推測される。また要求される路盤材の強度を検討すると、混合土 25%に消石灰 5%添加し養生期間 10 日程度で下層路盤材の強度(700kN/m²)、さらに上層路盤材の強度(980kN/m²) を検討すると、消石灰 10%添加し、養生期間 10 日で確保できることが認められた。図-5 の混合土 75%では混合土 25%と同様な傾向が認められ、さらに下層路盤材の強度を検討すると、消石灰 5%添加し養生期間 7 日程度、さらに上層路盤材の強度を検討すると、消石灰 10%添加し、養生期間 7 日程度、または経済性の観点から消石灰 5%添加し、養生期間 10 日程度でいずれも必要強度を十分に確保できることが認められた。表-3 に環境評価としてスラグ単体と粉砕した混合土の含有量試験および溶出量試験の結果を示す。循環資源の利用に当たり石炭灰(クリンカ)およびスラグについて土壌環境基準値が適用されており、含有量試験(環告 19 号, 1M 塩酸抽出)は直接摂取のリスク判定, 溶出量試験(環告 46 号, 純水への溶出)は土壌や水系汚染を評価対象とするが、鉛とカドミウムについては環境基準に合格できることが確認された。

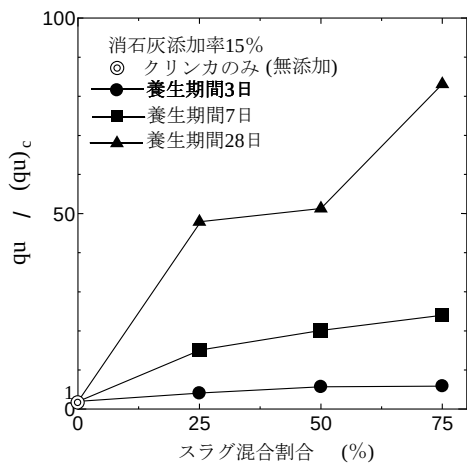


図-2 一軸強度比～スラグ混合割合

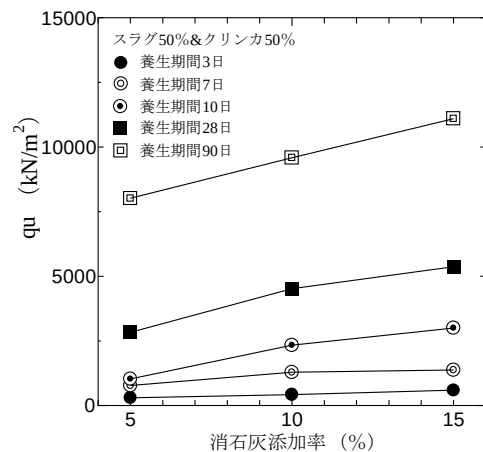


図-3 q_u ～消石灰添加率関係

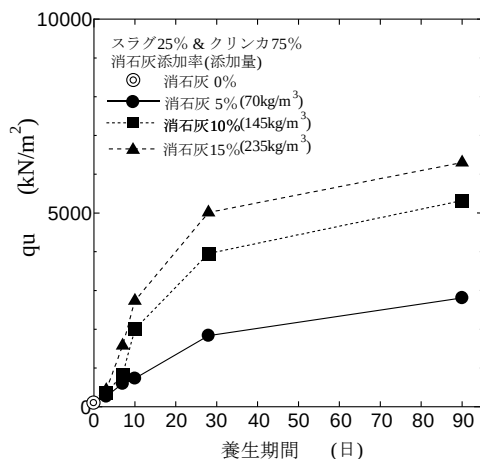


図-4 q_u ～養生期間関係

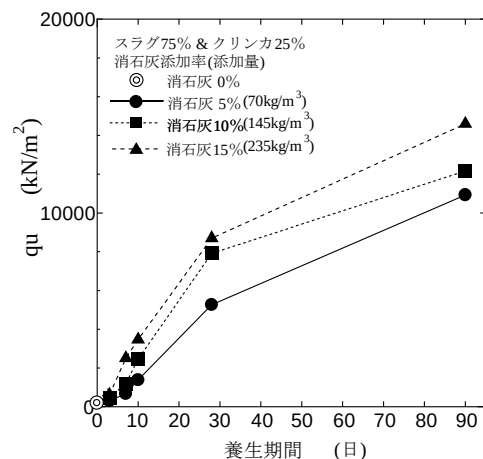


図-5 q_u ～養生期間関係

表-3 環境試験結果

試料	消石灰添加率 (%)	含有量試験(環告19号) 単位: mg/kg		溶出量試験(環告46号) 単位: mg/L	
		鉛	カドミウム	鉛	カドミウム
スラグ		17.0	<0.1	<0.005	<0.001
クリンカ75%&スラグ25%	15	13.0	<2.0	<0.005	<0.001
クリンカ50%&スラグ50%	15	16.0	<2.0	<0.005	<0.001
クリンカ25%&スラグ75%	15	17.0	<2.0	<0.005	<0.001
環境基準		150	150	0.01	0.01