

水砕スラグと石灰水洗ケーキによる混合材料の強度特性に関する実験的研究

岡山大学環境理工学部
岡山大学環境理工学部
（株）フジタ
中央開発（株）
岡山県石灰工業協同組合

フェロー 河野伊一郎
正会員 ○竹下祐二
正会員 塩尻大輔
馬場賢介
田村二郎

1. はじめに

近年、建設工事に必要とされる良質の天然資材は、需要の急激な伸びや環境保全などの問題の為、入手することが困難になってきている。石灰産業においては石灰石を水洗する過程で派生的に多量の石灰水洗ケーキが産出しており、その多くは資源として有効利用されことなく、埋立て投棄されている状況にある。著者らは、産業副産物の活用という観点から、鉄鋼生産の過程で副生される高炉水砕スラグと、この石灰水洗ケーキによる混合材料を地盤材料として有効に利用することを目的として、種々の室内試験を行い、その地盤工学的性質についての検討を行っている。本文では、水砕スラグの短期および長期強度発現を左右するアルカリ刺激剤として石灰水洗ケーキの適用性を吟味した結果を報告する。

2. 配合率と混合材料の物性値

石灰水洗ケーキは、CaO を主成分とした有害な成分を含有しない物理化学的性質の比較的均質な材料であるが、産出時点での含水比は 24～30%程度であり、建設材料として非常に取扱いが困難な状態である。そこで、本研究では石灰水洗ケーキに生石灰処理を施し、密度 2.62g/cm³、含水比 1～2%、pH 値 11～12 の粉体状（粒径区分はシルトが大部分）に加工したものを用いた。表-1 に示すように、水砕スラグと石灰水洗ケーキによる 3 種類の混合材料を作成した。各試料の粒度分布、締固め曲線をそれぞれ図-1、図-2 に示す。また、石灰水洗ケーキに含まれる消石灰の影響で、各混合材料の pH 値は 12 以上で高アルカリ性である。

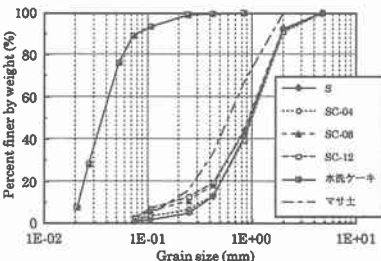


図-1 粒径加積曲線

表-1 配合率と試料密度

(単位: %)				ρ_s (g/cm ³)
Type	水砕スラグ	石灰水洗ケーキ	消石灰含有率	
S	100	0	0	2.74
SC-04	96	4.0	1.0	2.70
SC-08	92	8.0	2.0	2.70
SC-12	88	12.0	3.0	2.69

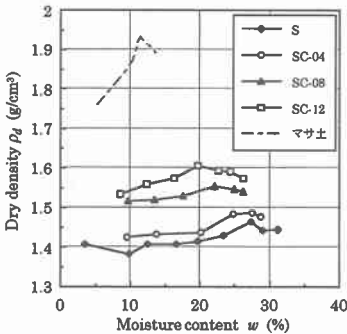


図-2 締固め曲線

3. 混合材料の強度特性

各混合材料は初期含水比 15%にて均一になるように練り混ぜた後、普通ブルドーザの接地圧に相当する鉛直応力 $\sigma_z=1.0\text{kgf/cm}^2$ の静的荷重(78.5kg)を与え、内径 10cm、高さ 20cm のモールドを用いて湿潤密度 1.2～1.35g/cm³の供試体を作製した。所定の養生日数経過後、一軸圧縮試験を行い、4 実験×5 材料×3 供試体=60 データを得た。

3.1 応力-ひずみ曲線

養生日数 14 日、91 日における Type S、SC-08 の応力-ひずみ曲線を図-3 に示す。Type S では、14 日養生では自立こそするものの固結しているとはいえないが、91 日養生になると曲線の勾配が急になり、水砕スラグの粒子間の結合力は強くなっていると思われる。一方、

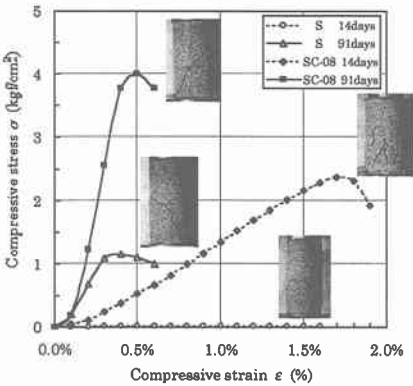


図-3 応力-ひずみ曲線の変化

Type SC-08 は、14 日養生で石灰水洗ケーキのアルカリ刺激剤としての効果により、短期強度の増加が顕著に現れている。しかし、破壊ひずみは大きく、破壊形状も明瞭なせん断面を示していない。91 日養生時には更に圧縮強度は増加し、急激な破壊を生じる脆性的な破壊形状を示している。

3.2 材令と一軸圧縮強度の関係

一軸圧縮強度の経時変化を図-4 に示す。Type S の強度増加に比べて明らかに Type SC-04、SC-08、SC-12 の強度増加が激しく、91 日養生までは、石灰水洗ケーキの添加率が高いほど強度も大きくなっており、アルカリ刺激剤としての有効性が認められた。締固め効果の増大による乾燥密度増加の影響も考えられるが、各試料をエネルギー一定荷重で締固めた場合には、石灰水洗ケーキの添加率が高いほど強度発現が早いといえる。最終的に、150 日養生で 6kgf/cm^2 程度の一軸圧縮強度を得た。

3.3 マイクロスコープによる供試体観察

デジタルマイクロスコープ (KEYENCE (株) 製 VH-6300、可変倍率 25~175 倍) を用いて 120 日養生後の供試体表面を観察した。倍率 100 倍における観察結果を図-5~図-8 に示す。Type S はスラグ粒子同士の硬化反応も見られず、一軸圧縮試験の際、供試体が自立しなかった原因と考えられる。石灰水洗ケーキを添加した SC シリーズは、石灰水洗ケーキがスラグ単体粒子の間隙を満たし硬化している状況が認められる。つまり、石灰水洗ケーキ添加が固化に大きく影響していることが分かる。

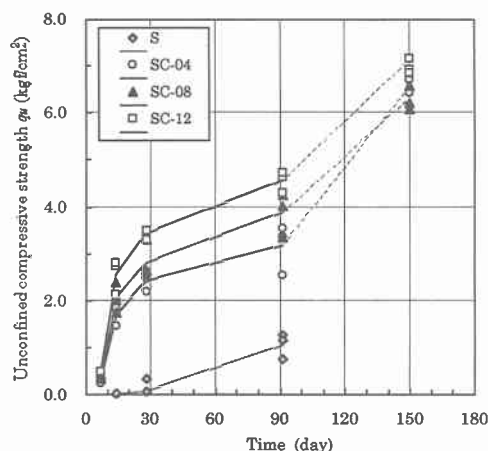


図-4 一軸圧縮強度の経時変化

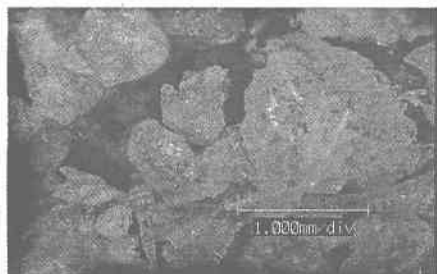


図-5 マイクロスコープによる供試体表面写真 S



図-6 マイクロスコープによる供試体表面写真 SC-04



図-7 マイクロスコープによる供試体表面写真 SC-08

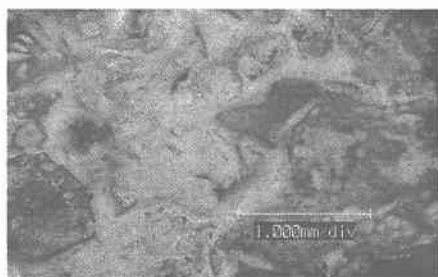


図-8 マイクロスコープによる供試体表面写真 SC-12

4. おわりに

粉体状に加工した石灰水洗ケーキは、水砕スラグへのアルカリ刺激剤として有効に作用し、水砕スラグの強度発現促進効果が認められた。このような産業副産物の混合材料を地盤材料へ適用することは、環境影響の低減に極めて有効である。今後は、実際の施工のための設計指針についての検討を進めていく予定である。