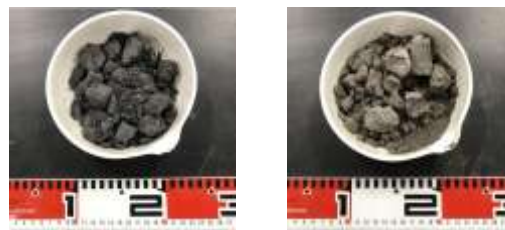


ポストミックス方式による石炭灰破碎材・製鋼スラグ混合材料の上層路盤材への適用

福岡大学工学部 学生会員 大原 史稔 嶋村 淳平
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣
 福島エコクリート(株) 堀川 剛利 門馬 怜史
 日鉄スラグ製品(株) 柴崎 徹

1. はじめに 石炭火力発電所から副次的に発生する石炭灰は、年間約 1,300 万トン発生しており、石炭灰の定常的な有効利用を推進する必要がある¹⁾。現在、石炭灰の有効利用技術の 1 つに、石炭灰混合破碎材(以下、破碎材)があり、主に下層路盤材として利用が進められている。しかしながら、利用用途の拡大に向け、今後は上層路盤材への適用など更なる検討が求められている。そこで本研究では、破碎材を作製する混合方式に着目し、①石炭灰と製鋼スラグ(4.75mm 以下)を混ぜ合わせ固化させた後に破碎して作製する方法(プレミックス方式)と、②破碎材に RC-40 に粒度調整した製鋼スラグを混合して作製する方法(ポストミックス方式)の 2 つの検討を行っている。本報告では、ポストミックス方式に着目し、製鋼スラグの混合割合が路盤材としての性能(CBR、すりへり抵抗、溶出特性等)に与える影響について報告する。



(a) 破碎材 (b) 製鋼スラグ

写真-1 試料の外観

表-1 配合条件

配合試料	石炭灰	高炉セメントB種	水	消石灰
配合割合(%)	100	25	27.5	3

表-2 物理特性

実験試料	自然含水比 W_n (%)	最適含水比 W_{opt} (%)	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'
破碎材	25.9	20.0	1.821	6.3	1.7
製鋼スラグ	1.5	8.0	3.320	5.9	2.0

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験では破碎材と製鋼スラグを使用した。

写真-1 に試料の外観、表-1 に破碎材の配合条件を示す。破碎材は表中に示す割合で試料を混合し 48 時間 50℃ の加熱加湿養生後に破碎して、28 日間経過したものを使用している。

製鋼スラグは、材料の膨張性を配慮して、蒸気エージング処理を施し、RC-40 相当の粒度に調整したものを使用している。表-2 に物理特性、図-1 に粒径加積曲線を示す。

2-2 実験方法 表-3 に実験条件を示す。混合割合は破碎材と製鋼スラグを質量比で 10:0、7:3、5:5、3:7、0:10 の 5 条件に設定し、路盤材としての性能を評価するために修正 CBR 試験(JIS A 1211)及び粗骨材のすりへり試験(JIS A 1121)、周辺環境の安全性を評価するために利用有姿による試験(JIS K 0058-1)を実施した。また試料に限りがあるため、今回は締固め試験を行わず既往の研究^{2), 3)}により得られた各材料の最適含水比(破碎材: $w_{opt}=20\%$ 、製鋼スラグ: $w_{opt}=8\%$)を用いて試験を行った。修正 CBR 試験は、それぞれの試料を最適含水比に調整後、よく混合し突き固めて供試体を作製し、4 日間の水浸養生を行った後に貫入試験を行った。図-2 に修正 CBR 値の算出方法を示す。今回は締固め試験を実施していないため、突き固め回数 92 回の際に得られた供試体の乾燥密度を最大乾燥密度 ρ_{dmax} と定義し、そこから締固め度 90%及び 95%における修正 CBR 値を算出した。

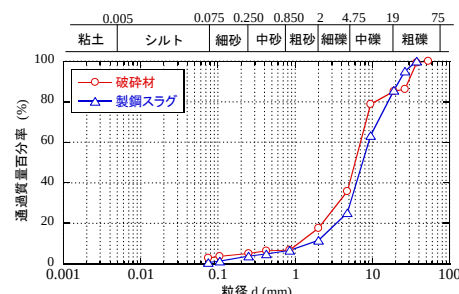


図-1 粒径加積曲線

表-3 実験条件

実験試料	混合割合 (破碎材:製鋼スラグ)	含水比 w (%)	検討方法
破碎材	10:0		
製鋼スラグ	7:3		
	5:5	最適含水比	修正 CBR 試験(JIS A 1211)
	3:7		すりへり試験(JIS A 1121)
	0:10		利用有姿による試験(JIS K 0058-1)

4 日間の水浸養生を行った後に貫入試験を行った。図-2 に修正 CBR 値の算出方法を示す。今回は締固め試験を実施していないため、突き固め回数 92 回の際に得られた供試体の乾燥密度を最大乾燥密度 ρ_{dmax} と定義し、そこから締固め度 90%及び 95%における修正 CBR 値を算出した。

次に、破碎材のすりへり減量の把握を行うため、ロサンゼルス試験機にて粗骨材のすりへり試験を行った。表-4 に粒度区分における試料の質量を示す。表中に示す粒径の範囲にて準備した試料と鋼球 12 個を試験機に投入し、毎分 30~33 回の回転数で



図-2 修正 CBR の算出方法

試験機を 500 回転させ、回転終了後、1.7mm ふり通過重量を求めすり減り損失重量とし、これを試験前の試料重量で除し、百分率にてすり減り減量を算出した。また、周辺環境への安全性を評価するため、再生路盤材の粒度範囲に調整した破碎材を用い、利用有姿による試験を実施した。pH5.8～6.3 に調整した純水を液固比 10 の割合で混合する。本検討では試料を 300g、純水 3L で実施している。混合液をプロペラ攪拌(200rpm)で 6 時間攪拌後、混合液を遠心分離機にて分離を 20 分間行い、ろ過し検液とする。フッ素(F)はイオンクロマトグラフィー(ICS-1000:ダイオネクス社製)、カドミウム(Cd)、セレン(Se)、ホウ素(B)は ICP プラズマ発光分析装置(ICP7000-Ver.2:島津製作所製)、六価クロム(Cr(VI))は分光光度計(UVmini-1240:SHIMAZU 社製)を用いて定量した。

3. 実験結果及び考察 図-3 に水温 20℃で行った混合材料の吸水膨張試験結果を示す。いずれの条件においても僅かながら膨張が見られたものの、製鋼スラグの混合による急激な膨張はほとんど見られなかった。

これは、蒸気エージング処理された製鋼スラグを利用したことが大きいと言える。図-4 に締固め度 90%と 95%における修正 CBR 値を示す。破碎材と同等量以上の製鋼スラグを混合することで上層路盤材の品質基準である 80%を満たし、上層路盤材として利用可能であることが示唆された。また、破碎材：製鋼スラグ=7:3 の場合でも、製鋼スラグの有する自硬性の効果²⁾により養生日数を増加させることで、上層路盤材としての利用が期待できる。

図-5 にすりへり試験の結果を示す。製鋼スラグ混合割合の増加に伴い、すりへり減量値も減少傾向を示し、いずれの条件においても上層路盤材の規定値である 50%以下を満足する結果が得られた。

これは単粒子強度が大きい製鋼スラグの混合に伴い、鋼球による粒子破碎量が減少したことが要因と言える。

表-5 に利用有姿による試験を用いた混合材料の環境安全性評価を示す。破碎材に製鋼スラグを混合した混合材料は、いずれの混合割合においても重金属等の溶出は見られなかったことから周辺環境に対して安全な材料であることが分かる。

4. まとめ 1) 破碎材単体では上層路盤材としての使用が難しいものの、ポストミックス方式により製鋼スラグを 50%混合することで修正 CBR 値、すりへり抵抗は改善され上層路盤材の品質基準を満足する。2) 破碎材に製鋼スラグを混合した場合、いずれの混合割合においても重金属等の溶出は見られず周辺環境に対して安全な材料である。

【参考文献】 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書(平成 29 年度実績), pp.5-10, 2019. 2) 嶋村ら：エージング処理及びロットの違いが製鋼スラグ路盤材の要求品質に与える影響, 平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会 III-056, pp.389-390, 2015. 3) 永見ら：石炭灰混合破碎材の路盤材への適用性, 平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会 III-056, pp.387-388, 2015.

表-4 粒度区分における全質量

ふるい予備寸法で区分した粒径の範囲 (mm)	試料の質量 (g)	試料の全質量 (g)
9.5～16	1250±10	5000±10
16～19	1250±10	
19～26.5	1250±10	
26.5～37.5	1250±10	

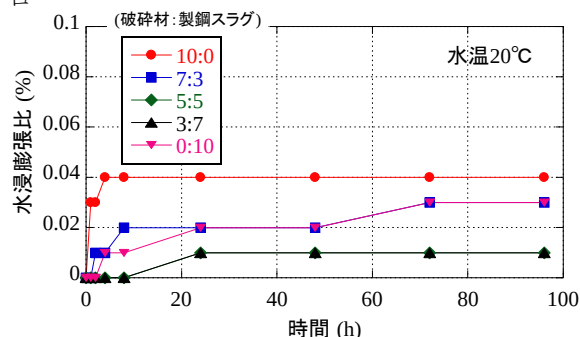


図-3 吸水膨張試験結果

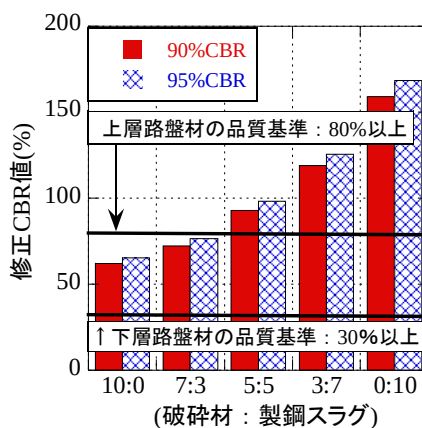


図-4 修正 CBR 試験結果

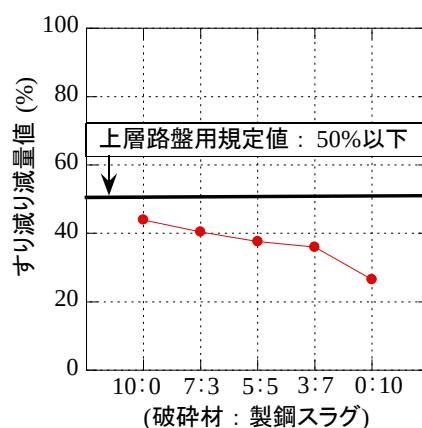


図-5 すりへり試験結果

表-5 混合材料の環境安全性評価

試料 (破碎材:製鋼スラグ)	Cd	Pb	Cr(VI)	Se	F	B
単位	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
土壤環境基準	0.01	0.01	0.05	0.01	0.8	1
10:0	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.12
7:3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05
5:5	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
3:7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.02
0:10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.06