

石炭灰混合破砕材の路盤材への適応性

福岡大学工学部
福岡大学工学部

学生会員 永見 七斗 堀 哲巳
正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣

1. はじめに 石炭火力発電に伴い副生する石炭灰は年間約 1,200 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。一方、社会資本整備充実のため、土木・建築材料として使用される土砂や碎石は、大量採取による自然環境変化等の問題から開発が制限され、新たな碎石代替材の開発が望まれている。そこで石炭灰の有効利用及び国土の環境保全に寄与するべく、石炭灰混合破砕材(以下、破砕材)を道路路盤材として活用する技術が期待されている。ここで、破砕材とは石炭灰にセメント、水、必要に応じて石膏を混合して一旦固化させた後、掘削・破砕した土砂代替材のことを指す¹⁾²⁾。本研究では破砕材を路盤材として有効利用することに主眼を置き、セメントの種類や添加率、養生温度に着目し、これらが路盤材としての材料特性に与える影響と最適な配合条件について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料及び実験条件 実験には、石炭灰(原粉)及び固化材として高炉セメント B 種(以下 BB)、早強ポルトランドセメント(以下 H)の 2 種類を用いた。図-1 に実験に用いた石炭灰(原粉)の粒径加積曲線、表-1 に物理特性を示す。破砕材は、石炭灰と固化材を混合させ、塑性限界となるまで加水したものをホバートミキサーで攪拌して作製した。攪拌後、直径 $\phi=10\text{cm}$ 、高さ $h=20\text{cm}$ のサミットモールドに $1E_c$ の締固め仕事量で突き固めて打設を行った。その後、サミットモールドを所定の温度で 2 日間、湿度 85% で蒸気養生させ、脱型後、回転式破砕混合混練機及びプラスチックハンマーを用いて粗破砕し、5 日間気中養生を行ったものを破砕材として供した。本実験では、セメントの種類、添加率、養生温度に着目しており、表-2 に示す条件で供試体の作製を行っている。ここで、セメントの添加率は、石炭灰に対するセメントの割合(重量比)である。セメントは破砕材が 7 日間で作製されることを考慮し、BB の他に、H を使用し初期強度の影響について検討を行った。また、マチュリティ(積算温度)の考え³⁾に基づき、セメント改良土の強度は温度と養生日数に比例することから、いずれのセメントにおいても養生温度を 20°C と 60°C の 2 条件で検討を行った。

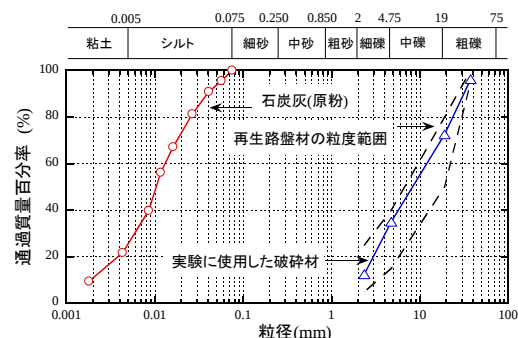


図-1 実験に使用した石炭灰及び破砕材の粒径加積曲線

表-1 物理特性

試料	土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	初期含水比 w (%)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_P (%)	細粒分含有率 F_c (%)
石炭灰	2.211	0	N.P.	N.P.	100

表-2 破砕材の養生・配合条件

セメントの種類	セメント添加率 C (%)	水セメント比 w/c (%)	養生温度 t (°C)	養生日数 t (day)	評価手法
BB	20 25 30	2.2 1.9 2.1	20 60	7	一軸圧縮試験 CBR試験 支持力試験
H					

2-2 実験方法 破砕材の材料特性を把握するため、CBR 試験(JIS A 1211)と簡易支持力測定器を用いた支持力試験を行った。CBR 試験については、あらかじめ破砕材のふるい分けを行い、再生碎石の粒度範囲に収まるように調整した試料(図-1)を用いて設計 CBR を求める試験方法に準拠し、自然含水比つまり粗破砕後に含水比の調整は行わず、4.5kg ランマーを用いて 1 層につき 67 回突き固めて供試体を作製した。CBR 試験とは別に、供試体の破砕前の圧縮強度を把握すべく、直径 $\phi=5\text{cm}$ 、高さ $h=10\text{cm}$ の塩ビ製モールドに $1E_c$ の締固め仕事量で突き固めて供試体を作製し、養生 7 日後に一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。

3. 実験結果及び考察

3-1 種々の影響因子が破砕前の圧縮強度に与える影響 図-2(a), (b) に養生温度の異なる養生 7 日における一軸圧縮試験の結果を示す。養生温度及びセメント添加率の増加に伴い、一軸圧縮強さの増加がみられた。また、養生温度 20°C 、 60°C どちらの条件においても、BB に比べ H を使用した供試体の一軸圧縮強さが大きくなる結果となった。H は、セメント構成化合物のうちエーライト(C_3S)の含有量が多いことや、比表面積が高いことから、セメントの硬化が早く、初期の強度発現が大きいことが明らかとなっている³⁾。これらの要因により、一軸圧縮強さが増加したと考えられる。

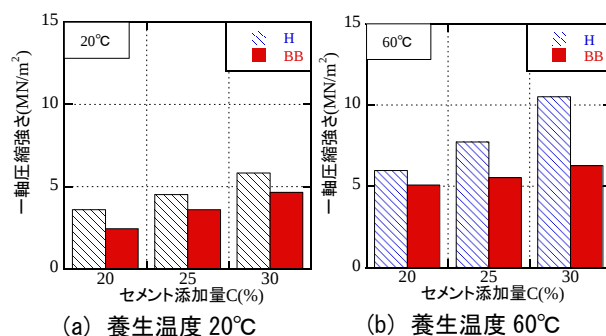


図-2 一軸圧縮試験結果(養生 7 日)

3-2 破碎前の初期強度が破碎後の材料特性に及ぼす影響
前節に於いて破碎前の初期強度は、いずれのセメント添加率においても養生温度が高いほど高く、BB に比べ H を用いた場合に高い傾向を示した。しかしながら、図-3 から分かるように、破碎前の初期強度(図-2)

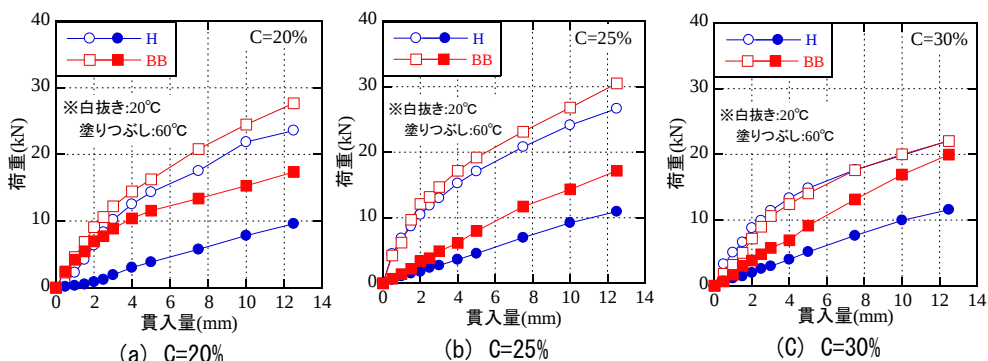
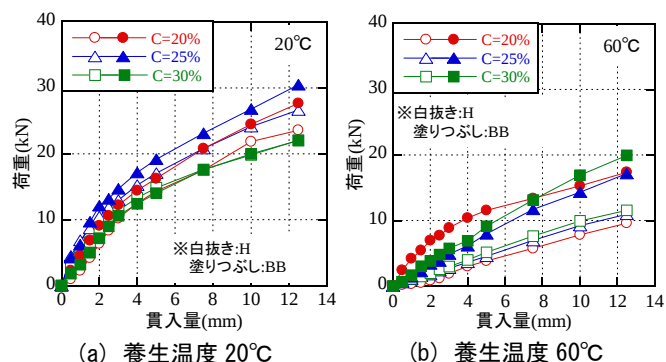


図-3 セメント添加率の違いにおける荷重-貫入量曲線

と異なり、荷重はいずれのセメント添加率においても養生温度 60°C に比べ 20°C の方が高くなる傾向を示した。これは、表-3 の締固め試験後の乾燥密度からも分かるように、養生温度が低いほど破碎後の乾燥密度は高くなり、H に比べて BB を用いた方が乾燥密度が高くなることに起因している。つまり、破碎前の材料の圧縮強度が高いと破砕片の単粒子強度も高くなるため、破砕が生じにくいことから、締固め後の供試体の間隙が大きくなり乾燥密度が低くなったと考えられる。その一方で破碎前の材料の圧縮強度が低い場合、破砕片の単粒子強度も弱いため締固め時に適度な単粒子の破砕が生じ間隙を埋めることになり、結果的に乾燥密度が増加し荷重の増加に寄与したと考えられる。また、図-4 に示す養生温度の違いにおける荷重-貫入量曲線より、養生温度が一定の場合、セメント添加率による荷重への影響は、養生温度の違いによる影響に比べ小さいことが分かった。これらの結果を受け、図-5 に示す CBR 値とセメント添加率の関係においても、養生温度が 20°C でセメントに BB を用いた条件の CBR 値が最も高い値を示す結果となった。しかしながら、路盤材として適用していく上では、すり減り減量値等の影響も考慮する必要があることから、今後、単粒子強度やすり減り減量試験も考慮に入れた検討が必要である。

表-3 締固め試験後の各材料における乾燥密度

	養生温度 $t(^{\circ}\text{C})$	セメント添加率 $C(\%)$		
		$C=20\%$	$C=25\%$	$C=30\%$
H (早強セメント)	20	1.136	1.140	1.141
	60	0.959	0.979	0.975
BB (高炉セメント)	20	1.165	1.157	1.143
	60	1.053	1.093	1.054



(a) 養生温度 20°C

(b) 養生温度 60°C

図-4 養生温度の違いにおける荷重-貫入量曲線

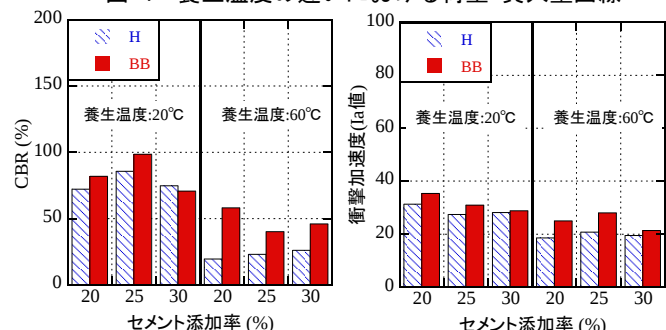


図-5 CBR 値とセメント添加率

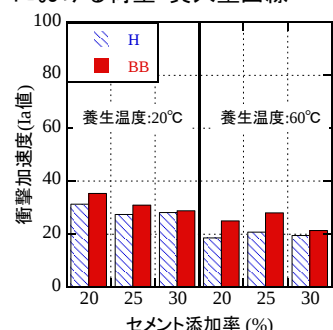


図-6 衝撃加速度とセメント添加率の関係

3-3 簡易支持力測定器を用いた支持力試験

簡易支持力測定器を用いて CBR 試験を行わず養生温度の影響やセメントの種類の影響が適切に評価することができれば、破砕材

の品質管理手法として非常に効率的である。そこで本研究では簡易支持力測定器を用い衝撃加速度(I_a 値)を用いた品質評価の検討を行った。図-6 に示す衝撃加速度とセメント添加率の関係から分かるように、いずれの養生温度条件においてもセメントに BB を用いた方が H を用いた場合よりも衝撃加速度は高い傾向を示し、CBR 試験と同様な傾向が得られることが分かる。しかしながら養生温度の影響については両者の差が CBR 試験結果と比べて小さいことから、適用方法については、今後更にデータを蓄積した上で相関性を調べる等の検討が必要である。

4. まとめ 本検討から得られた知見を以下に示す。1) 破碎前の一軸圧縮強度は、養生温度及びセメント添加率の増加に伴い高くなった。また、固化剤に H を用いることで BB に比べ、早期に高い強度を得られることが明らかになった。2) 破碎前の圧縮強度は、破碎後の締固め特性や CBR に影響を及ぼす重要な因子であることが判明した。今後は、すり減り減量値等の破碎による影響や破碎前の圧縮強度の更なる検討が必要である。3) 簡易支持力試験結果より、破砕材の品質管理手法としての適用性が示唆された。

【参考文献】 1) 一般社団法人石炭エネルギーセンター, 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(高規格道路盛土編), pp.20-21, 2015. 2) 一般社団法人石炭エネルギーセンター, 石炭灰混合材料有効利用ガイドライン(震災復興資材編), pp.82-83, 2014. 3) コンクリート工学(I)施工, p26, p110, 2010.