

石炭灰混合材料の強度特性に及ぼす固化材・養生温度の影響

福岡大学工学部

学生会員

池田 茄生

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

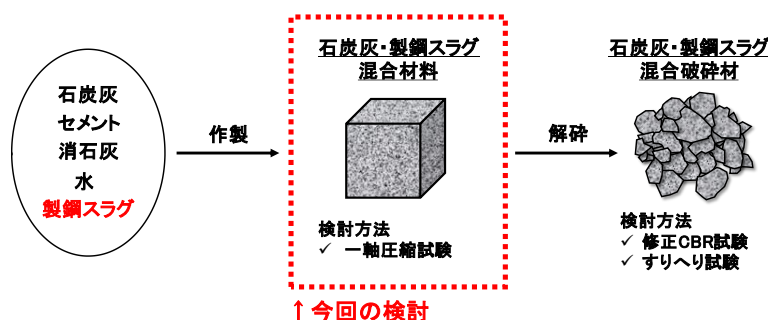
門馬 怜史

太田 竜聖

1. はじめに 石炭火力発電所より発生する石炭灰は、年間約 1,200 万トン発生しており、今後定常的に有効利用していく必要がある産業副産物である。石炭灰を用いたリサイクル材である石炭灰混合破砕材^{1),2)}は、これまでに多くの開発事例があり、主に路盤材や盛土材として利用されている。しかしながら、CBR 値やすりへり減量値の面から下層路盤材としての利用に留まっている。著者らは、石炭灰の利用用途拡大を目指し、石炭灰混合破砕材を上層路盤材として適用するために CBR 値やすりへり減量値の改善に向け、図-1 に示す解砕前の石炭灰混合材料に着目し、破砕材の品質向上の検討を行っている³⁾。本報告では、解砕前の石炭灰混合材料における固化材やセメント添加率、養生温度の違いが解砕前の石炭灰混合材料の一軸圧縮強度特性に及ぼす影響について報告する。

2. 実験概要

2-1 実験試料 本実験では、火力発電所から副次的に発生する石炭灰(原粉)及び固化材として高炉セメント B 種:BB、早強セメント:H、普通ポルトランドセメント:N を用いており、これらを所定の水と消石灰を混ぜ合わせ供試体を作製した。表-1 に石炭灰の物理特性、表-2 に石炭灰混合材料の配合条件を示す。



2-2 実験条件および実験方法 本検討では、固化材の違いが石炭灰混合材料の強度特性に及ぼす影響を検討するために、3 種類の固化材(BB, H, N)を用いて検討を行っている。また、セメント添加率の影響、初期の養生温度の違いによる影響についても検討を行っており、それぞれの実験条件を表-3～表-5 に示す。供試体作製方法は、ホバートミキサーに試料を入れ混合攪拌を行い、直径 D=5cm、高さ H=10cm の塩ビ製モールドに、1E_c となるよう 1.5kg ランマーで 12 回×3 層で突き固めて打設を行った。脱型後、恒温恒湿機にて所定の養生条件のもと加熱加湿養生および気中養生を行っている。その後、規定の養生日数まで 20℃一定の恒温室にて気中養生を行い、一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。

図-1 石炭灰混合材料の製造過程

表-1 物理特性

土質試料	粒子密度 r_s (g/cm ³)	自然含水比 w (%)	細粒分含有率 F _C (%)
石炭灰	2.252	0.1	94.0

表-2 配合条件

石炭灰 (%)	セメント (%)	水 (%)	消石灰 (%)
100	20 25 30	24.2	3

※セメント、消石灰は石炭灰に対する質量比

※水は石炭灰およびセメントに対する質量比

表-3 実験条件(固化材の影響)

固化材	セメント添加率 (%)	初期養生温度 (°C)	養生日数 (日)
BB H N	25	50	2 7 28

表-4 実験条件(セメント添加率の影響)

固化材	セメント添加率 (%)	初期養生温度 (°C)	養生日数 (日)
BB	20 25 30	50	2 7 28

表-5 実験条件(養生温度の影響)

固化材	セメント添加率 (%)	初期養生温度 (°C)	養生日数 (日)
BB	25	20 50 80	2 7 28

3. 実験結果及び考察

3-1 固化材違いによる影響 図-2 に一軸圧縮強度と養生日数の関係を示す。いずれの固化材も養生日数の増加に伴い、一軸圧縮強度も増加し、養生日数 28 日には品質管理強度(目安として 12~15MN/m² としている)より大きな値を示すことが明らかとなった。固化材の違いに着目すると、養生日数 2 日から 28 日にかけて、BB と N の一軸圧縮強度は大きく増加するものの、養生日数 28 日では、H が最も強度発現することが確認された。これは H に含まれるセメント構成化合物のうちエーライト(C₃S)の含有量が多いため、水和反応がより活性化されたことが寄与したと考えられる⁴⁾。

3-2 セメント添加率の違いによる影響 図-3 に一軸圧縮強度と養生日数の関係を示す。セメント添加率および養生日数の増加に伴い、一軸圧縮強度も増加傾向を示すことが確認された。また、セメント添加率 30% では、養生日数 2 日で品質管理強度を満たしていることが分かる。しか

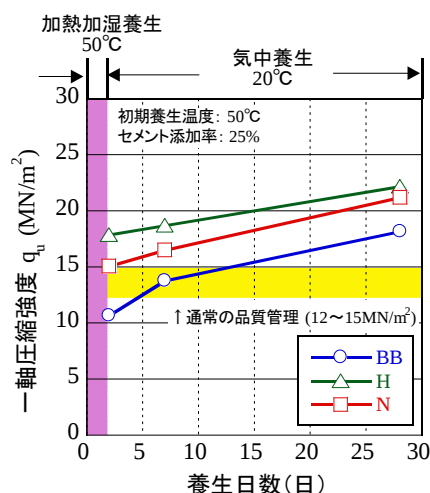


図-2 一軸圧縮強度と養生日数の関係

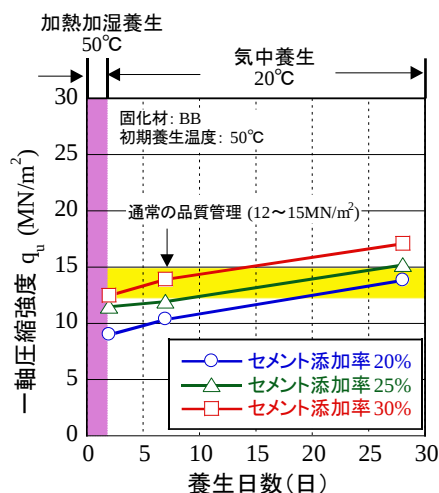


図-3 一軸圧縮強度と養生日数の関係

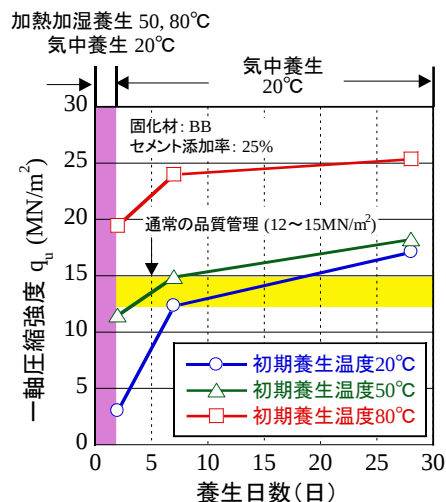


図-4 一軸圧縮強度と養生日数の関係

しながら、いずれのセメント添加率も、圧縮強度は増加傾向を示すものの、図-2と比較すると、強度の増加幅は小さいことが明らかとなった。

3-3 養生温度の違いによる影響 図-4に一軸圧縮強度と養生日数の関係を示す。初期養生温度および養生日数の増加に伴い、一軸圧縮強度も増加傾向を示し、いずれの養生温度も養生日数 28 日には品質管理強度(12~15MN/m²)より大きな値を示すことが確認された。また、初期養生温度 80°Cにおいて最も強度が大きくなることが確認されたが、これは養生温度の増加に伴い、水酸化カルシウム

Ca(OH)₂の結晶が供試体中で増加したことによる水和反応の促進が起因していると考えられる。

前述の実験結果より、養生温度が一軸圧縮強度に及ぼす影響は大きいことが分かる。そこで、積算温度と一軸圧縮強度の関係について検討を行った。図-5に養生温度20, 50, 80°Cの場合の積算温度と一軸圧縮強度の関係を示す。図中の積算温度は以下の式(1)より算出した⁵⁾。

$$M = \Sigma(t + 10) \times T \quad \cdots (1)$$

ここで、M:積算温度(°C・hr), t:養生温度(°C), T:材齢(hr)を表す。

また、積算温度と一軸圧縮強度の関係については、図-5に示す式で近似することができる。このように養生温度の異なる石炭灰混合材料には相関が認められ、強度の推定が可能となる。今後、実験結果を蓄積することで精度を向上させ、所定の一軸圧縮強度を満たす養生温度を決定することができると考えられる。

4. まとめ 1) Hを使用することで養生日数 2 日でも品質管理強度を上回る高強度な石炭灰混合材料となることが明らかとなった。2) セメント添加率の増加に伴い圧縮強度も増加する傾向が示され、セメント添加率 30%では所定の養生日数すべてにおいて品質管理強度を満たす結果が得られた。3) 養生温度が一軸圧縮強度に及ぼす影響は大きく、初期養生温度 80°Cでは、養生日数に関わらず、品質管理強度を上回る高強度な石炭灰混合材料となることが明らかとなった。4) 積算温度と一軸圧縮強度には相関が認められ、所定の一軸圧縮強度を満たす養生温度の推定が可能となることが示唆された。今後は、解砕後の石炭灰混合破砕材における一軸圧縮強度と CBR 値やすり減り減量値との関係について検討していく予定である。

【参考文献】 1) 一般財団法人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(統合改訂版), pp.72-74, 2018. 2) 一般財団法人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.35-40, 2014. 3) 大原ら：石炭灰破砕材・製鋼スラグ混合材料の上層路盤材への適用と品質管理手法の提案, 令和元年度土木学会全国大会, 2020. 4) 國府ら：コンクリート工学(I)施工, p.110, 2010. 5) 橋本ら：異なる養生温度条件下でのセメント改良土の強度発現, 寒地土木研究所 No.705, pp.11-19, 2012.

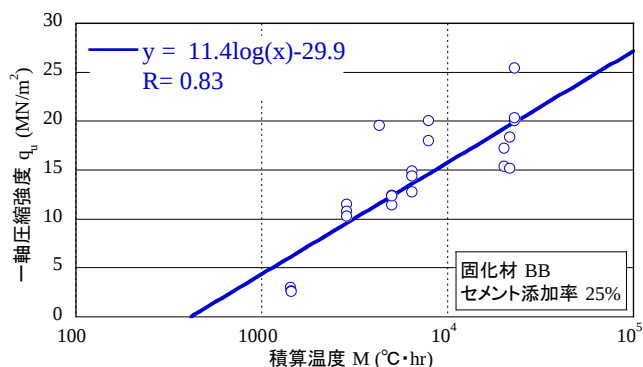


図-5 積算温度 M と一軸圧縮強度の関係