研究成果報告書

研 究 題 目		石炭ガス化溶融スラグを用いたコンクリートの物質移動抵抗性の評価	実 施 年 度 2021年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学 大学院先進理工系科学研究科 社会基盤環境工学プログラム	
	氏 名	小川 由布子	印
<p>1. 研究の目的・背景</p> <p>従来の石炭火力発電と比べ、発電効率が高く、二酸化炭素排出量を減少できるとされている石炭ガス化複合発電の実用化が進んでいる。この石炭ガス化複合発電の副産物である石炭ガス化溶融スラグの活用は、発電所の実用化に合わせて急務となっており、石炭ガス化溶融スラグのコンクリート用細骨材としての適用性について検討されている。石炭ガス化溶融スラグ自体の環境安全性については問題ないと報告されており、形状については課題があったものの、摩砕処理により細骨材としての物理的性質や化学的性質を有していると報告されている。石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いたコンクリートの特性についても検討され、2020年にJIS化された（JIS A 5011-5 コンクリート用スラグ骨材—第5部：石炭ガス化スラグ骨材）。石炭ガス化溶融スラグを従来の細骨材（砕砂）に置換して使用した場合、置換率が高くなるにつれて凝結時間が遅くなり、ブリーディング量が増加する。このブリーディング量の増加に起因して、凍結融解抵抗性の若干の低下や乾燥収縮の増大が報告されている。これらは、石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いる場合の課題を報告しているものであるが、コンクリートの単位水量を一定として検討している場合が多い。一方、石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いた場合、コンクリートの単位水量を低減することができる、長期強度が高いなどの報告もある。物質移動抵抗性に関する検討では、中性化速度係数が小さくなる、塩分浸透抵抗性が高くなるとの報告がある。コンクリートの物質移動は、コンクリート中のペースト相の細孔を介する。石炭ガス化溶融スラグは、原料が同じ石炭であるフライアッシュと同様の化学組成を有しており、反応性を有する可能性ある。これは、物質移動抵抗性を左右するコンクリート中のペースト組織を緻密する可能性を持つことを意味する。また、単位水量の低減は物質が移動するペースト相自体を減じる。</p> <p>本研究では、物質移動抵抗性として中性化抵抗性および塩分浸透抵抗性に着目し、標準的に養生された普通強度のコンクリートを対象として、石炭ガス化溶融スラグを細骨材の利用がもたらす効果を明らかにする。石炭ガス化溶融スラグ細骨材の使用による物質移動抵抗性向上およびこのメカニズムが解明されることにより、利用促進が図られ、アップサイクルに貢献すると考えられる。</p>			

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本研究は、(1) 石炭ガス化溶融スラグを用いたコンクリートの物質移動抵抗性の把握、(2) 石炭ガス化溶融スラグ細骨材周りの遷移帯性状の把握、(3) 石炭ガス化溶融スラグ細骨材自体の反応性の確認、の3つに大別して実施した。

(1) 石炭ガス化溶融スラグを用いたコンクリートの物質移動抵抗性の把握：セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は砕石を使用した。細骨材は石炭ガス化溶融スラグ（2種）を使用し、標準とするコンクリートには砕砂を使用した。水セメント比は55%とした。標準とするコンクリートを単位水量 175kg/m^3 、細骨材率 45.6%、AE 減水剤をセメントに対して 0.7%（標準使用範囲の下限）の配合で練り混ぜ、スランプの目標値を、12cm、空気量の目標値を 4.5%として、AE 剤にて調整した。石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いたコンクリートは、標準とするコンクリートと同じ配合の単位水量および細骨材率を変化させてスランプを目標値に合わせ、空気量が不足する場合には、AE 剤を用いて調整した。このような工程により、石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いた場合の単位水量の低減効果、最適細骨材率を求めた。目標スランプおよび空気量が得られた配合について、供試体を作製し、材齢 7 日まで封かんし 20°C の恒温室に保管した後、脱型し 20°C 、60%RH の恒温恒湿室に静置した。材齢 28 日および 91 日に圧縮強度試験を行った。また、材齢 28 日より促進中性化槽（ 20°C 、60%RH、5% CO_2 ）に曝露し、所定の材齢にて中性化深さを測定した。さらに円柱供試体の打込み面側の断面 1 面を暴露面として、10%塩化ナトリウム水溶液に浸漬し、所定の材齢にて塩分浸透深さおよび塩化物イオン濃度を測定した。この結果、石炭ガス化溶融スラグを用いた単位水量は低減できる場合と同程度である場合とがあった。圧縮強度は標準コンクリートより若干低くなったが、中性化抵抗性および塩分浸透抵抗性は、単位水量の減少の可否にかかわらず、標準のコンクリートと同程度以上であった。

(2) 石炭ガス化溶融スラグ細骨材周りの遷移帯性状の把握：上記のコンクリートの配合から粗骨材を除いたモルタル供試体を作製し同様の養生を行い、走査電子顕微鏡を用いて細骨材周辺の遷移帯の観察を試みたが、大きな相違は見られなかった。今後、分析方法を含め再考が必要である。

(3) 石炭ガス化溶融スラグ細骨材自体の反応性：石炭ガス化溶融スラグ自体の鉱物組成を粉末 X 線回折法により同定するとともに、ポゾラン反応性をフライアッシュのポゾラン反応性迅速判定法を用いて評価した。粉末 X 線回折解析の結果、非晶質のブロードなピークが観察された。また、石炭ガス化溶融スラグの微粒分および粉砕物を対象としたポゾラン反応性迅速試験の結果、微粒分は 15%~40%、粉砕物は 55%~99%となり、フライアッシュ（65%~85%）と同程度の反応性を有する可能性が示唆された。

石炭ガス化溶融スラグは微粒分に反応性を有する可能性があり、これによりコンクリートの物質移動抵抗性が向上することが示唆された。この効果を明確にするためには長期材齢での検討が必要であることが示された。

以上のとおり、申請時の計画に対する達成度合は 70%程度である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時に供試体作製費用に見込んでいた分析時に使用する消耗品について、分離して支出した。新型コロナウイルス感染拡大に伴い、最新情報の収集に関する旅費の使用は無かった。支出のなかった旅費等を使用して、塩水浸せき試験後の供試体について EPMA 分析を行った。そのほか支出はおおむね申請時の計画のとおりであり、不足分については他の経費でまかなった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究より、石炭ガス化溶融スラグを細骨材として用いた場合の物質移動抵抗性は従来の細骨材を用いた場合と同等以上であり、さらに石炭ガス化溶融スラグ自体が反応性を有する可能性があることが明らかとなった。今後の発展性としては、この反応性を活用することにあると考える。石炭ガス化溶融スラグの微粒分が反応することにより、脆弱であるといわれている骨材周りの遷移帯の緻密化等が期待できる。これにより、コンクリートの強度や物質移動抵抗性の向上が実現できれば、石炭ガス化溶融スラグは付加価値を有する細骨材としてアップサイクルすることができる。実用化のためには、石炭ガス化溶融スラグの微粒分の反応性とコンクリートの物性に与える影響について評価する必要がある。今後は、養生温度や養生期間の影響および長期材齢のコンクリート物性について検討する必要があると考える。さらに、石炭ガス化溶融スラグの物性の変動およびこれに関連して反応性や細骨材としての物性の変動幅を把握する必要がある。このように本検討を発展させ、石炭ガス化溶融スラグを細骨材として使用することにより物質移動抵抗性を向上させたコンクリートの実用化に向けて研究を進めていきたいと考える。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

長期材齢における検討結果を取得し、分析したのちに学術雑誌へ投稿する予定である。