

令和5年度 研究成果の概要(1/2)

研究テーマ:「副産物・廃棄物のみを主原料とする持続可能なジオポリマーコンクリートによる建設分野の脱炭素への取組」
研究代表者 ・氏名(ふりがな): 藤山 知加子(ふじやま ちかこ) ・所属、役職: 横浜国立大学大学院・教授
研究期間: 令和4年10月～令和7年3月
研究参加メンバー(所属団体名のみ) 横浜国立大学, 東京工業大学
研究の背景・目的 石炭灰や高炉スラグといった産業副産物でつくる「ジオポリマーコンクリート」がセメントコンクリートよりも耐酸性や放射性物質の固定性能に優れることは、2000年頃より、学術的には示されてきた。しかし、比較的新しい材料であることから、長期的性能に関する知見が蓄積されておらず、実用化に必要な基準類が十分整備されているとは言えない。よって本研究では、ジオポリマーコンクリートの技術開発により実環境下で実物大の構造部材施工を行うことで、長期的な構造性能検証に資することを、一つ目の目的とした。同時に、世界的なCO ₂ 排出削減の潮流から、今後石炭火力発電や製鉄高炉の利用減少とともにそれらの副産物である石炭灰や高炉スラグの量も減少が見込まれることを念頭に、新たなジオポリマーコンクリート材料として汚泥焼却灰の利用可能性を検討することを、二つ目の目的とした。
研究内容(研究の方法・項目等) 本研究では、以下A～Dの4項目の検討を実施する。このうち、令和5年度は、主に項目AおよびCに取り組んだ。
<u>A. 高吸水性粉体のジオポリマー固化技術の開発:</u> 高吸水粉体として汚泥焼却灰を用いたジオポリマー製造に適した配合および養生条件を、実験により決定する。期間内に、目標圧縮強度 30MPa を達成することを目標とする。
<u>B. プレパックド方式ジオポリマーコンクリートの開発:</u> 粗骨材の実積率と、モルタルの流動性を確保し、プレパックド方式で十分な充填性を実現可能な配合を実験にて確定する。目標実積率は 40%以上、モルタルフローは 300mm とする。
<u>C. クリープ試験, 疲労試験:</u> 上記 A, B にて得られた材料に対し、含水比と応力比をパラメータとして、クリープ試験および疲労試験を実施する。クリープ試験は本研究期間終了後も 5 年以上継続する。
<u>D. 実環境における部材の長期計測およびシミュレーション:</u> 実構造物スケールを想定した支間 3m 程度のジオポリマーコンクリート梁を作成し、負荷を与えた状態で屋外での温度湿度とともに長期の変形計測を行う。計測は本研究期間終了後も 5 年以上継続する。C の室内試験結果およびシミュレーションとあわせて、ジオポリマーコンクリートのクリープ算出式を提案する。
研究成果の概要 <u>A. 高吸水性粉体のジオポリマー固化技術の開発:</u> 前年度、汚泥焼却灰を用いて、石炭灰を用いた場合と同様のアルカリ溶液を用いた通常法によるジオポリマー製造を、様々な配合パターンおよび養生条件にて試みた。結果、適切な混和材を用いた場合、一定の養生条件下で、ジオポリマー硬化体を得られることを確認したが、目標としていた圧縮強度 30MPa には至らなかった。このため、今年度は汚泥灰と同様に吸水性の高い火山性泥で実積のある「乾式混合法」を適用した。しかしながら、本手法においても、アルカリ源であるメタケイ酸ナトリウム 9 水和物溶解後に汚泥焼却灰の水分吸収を均一に制御することが困難であり、目標強度を達成する試験体は得られなかった。

令和5年度 研究成果の概要(2/2)

研究成果の概要

次に今年度新たに、高炉スラグ微粉末をバインダーとした固化実験を実施した。結果、一軸圧縮強度が 30MPa を超える固化体を得た。ただし、これはシリカの縮重合反応によるジオポリマー固化体ではなく高炉スラグの水硬性(他の化学反応)による固化体である。学術的な定義ではジオポリマーとは異なるが、汚泥焼却灰を用いてかつ副産物をバインダーとした固化体で目標とする圧縮強度 30MPa は達成できた。本成果の一部は国際会議で発表予定である。

B. プレパックド方式ジオポリマーコンクリートの開発：

本項目は昨年度既に石炭灰を原料として目標達成していたが、今年度はさらに実用化に向けて、材料の温度管理値の把握と養生温度抑制に向けて、「材料保管温度および練り混ぜ時温度がフレッシュ性状に及ぼす影響」および「石炭灰の一部を高炉スラグに置換がフレッシュ性状と硬化後特性に及ぼす影響」の把握を目標に、追加の検討を行った(図-1)。

この結果、練り混ぜ時の気温が低いと SCGM の粘性が高くなり、自己充填性に悪影響を及ぼすが、粘性の改善には事前の材料の加温が最も効果的であることを確認した。また、練り上がり後の一定時間自己充填性を保つためには石炭灰の高炉スラグ置換率は 15%程度が上限と考えられ、その中で置換率は高いほど流動性が減少するが、置換により打設直後の養生温度を低減できる効果は確認することができた。本成果の一部は国内学会に投稿済みである。

C. クリープ試験、疲労試験：

複数のジオポリマーコンクリートの配合について、クリープ試験(図-2(a))および乾燥収縮測定を開始した。無応力状態での乾燥収縮測定は、実験室内だけでなく屋外(降雨や日照条件の異なる複数地点)にて実施し、ジオポリマーコンクリートの実用化に向けた基礎データを取得中である。

また、本研究助成で開発した様々な材料のジオポリマーコンクリートおよびセメントを用いた基準供試体について、曲げ疲労試験の予備実験を実施した(図-2(b))。

項目 C の試験はいずれもデータ取得に時間がかかるため現段階で結論を示すことはできないが、国内外でこれまで不足していた貴重なデータを得つつある。

D. 実環境における部材の長期計測およびシミュレーション：

実構造物スケールを想定したジオポリマーコンクリート梁の配合設計および構造設計を行った。屋外での温度湿度とともに長期の変形計測を行う予定地の視察を行い、必要な特注治具の設計および計測装置の選定・試験計測を実施した。



図-1 自己充填ジオポリマーモルタルの実用化に向けた配合検討



(a) 室内クリープ試験



(b) 曲げ疲労試験(温湿度制御)

図-2 項目 C の試験実施例