ジオポリマーに関する調査研究

渡邉　亮*　栁　和彦*　森田　渉*　毛利　敦雄**　岡田　英樹***

Report of Market and Technology Trends of Geopolymer Technology

WATANABE Ryo*,　YANAGI Kazuhiko*,　MORITA Wataru*,　MOURI Atsuo** and HIDEKI Okada***

1. 緒　　言

メタカオリンやフライアッシュなどのアルミナシリカ粉末とアルカリ性溶液との反応により生成する非晶質のアルミノケイ酸塩硬化体をDavidovitsが「ジオポリマー」と呼称した[1]。このジオポリマーとは通常のセメントと同程度の機械的強度を持ち，かつ優れた耐酸性を持つ。そして，フライアッシュなどの産業副産物を原料に利用できるため CO_2 排出を抑制できる低環境負荷な構造材料として検討されている。また，ゼオライトに類似した構造を持ち，イオン交換能があるとともに，細孔を持つため吸着材としても注目されている。

そこで，本調査研究では，これら様々な特徴を持つジオポリマーについてコンクリート二次製品への適用や新規機能性材料の開発の可能性を探るため，セミナーを開催するとともにアンケートによる聞き取り調査を行い，技術動向の調査，県内企業と大学・高専への訪問調査，さらには，種々の試験によりジオポリマーの特性把握を行った。

2.　活動概要

2.1　セミナー開催

ジオポリマーに関してその基礎から応用事例についてセミナーを開催し，企業などから29名の参加があった。セミナー開催時の様子を図 1 に示す。アンケート調査の結果では，コンクリート材料に望む性能として，耐酸性，耐塩害，耐凍害性などの項目で要望が挙がっていた。セミナー概要は以下のとおり。

図 1 セミナーの様子

・「ジオポリマー研究会」セミナー（平成29年1月 26 日，会場：新潟県工業技術総合研究所講堂）

講演 1：「ジオポリマー硬化体：基礎から応用まで」（(公財)鉄道総合技術研究所材料技術研究部コンクリート材料研究室　上席研究員 GL 上原元樹氏）

様々な配合・養生条件のもとジオポリマー硬化体を作製し，機械的強度や乾燥収縮率，塩化物イオンの浸透性，細孔分布などを調べ，鉄道部材のまくらぎへの適用を行っていた。また，ジオポリマー硬化体の配合方法の統一的記述方法の提案，新たな作製方法の提案，補修材への適用，壁材・床材の開発，重金属吸着材の例など多岐にわたる応用を紹介いただいた。さらに，

*　下越技術支援センター
**　県央技術支援センター
***　研究開発センター

ジオポリマーの配合領域ごとに適した目的製品の例示があった。

講演 2:「三重県工業研究所におけるジオポリマー技術に関する取り組み＜ポーラスコンクリートに関する話題を中心に＞」（三重県工業研究所ものづくり研究課　主幹研究員　前川明弘氏）

ポーラスコンクリートの利用目的やその製造に必要な材料特性について基礎的なところから説明いただき，作製したポーラスコンクリート漁礁の設置の様子の紹介があった。その後，セメントをジオポリマーに置き換えたジオポリマーポーラスコンクリートの具体的な開発方法について講演いただいた。

2.2　技術動向の調査

（公財）日本コンクリート工学会がジオポリマーに関する「建設分野へのジオポリマー技術の適用に関する研究委員会」を立ち上げた。その目的は技術に関する国内外の既往の知見をとりまとめてジオポリマーの体系と期待できる品質を示すことなどが上げられている。その研究委員会が開催する「建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題」に関するシンポジウムに参加し技術動向の調査を行った。

豪州では空港舗装をジオポリマーの現場打設で実施し，大分の酸性温泉地ではジオポリマー製の道路縁石で施工が行われたことが紹介され，ジオポリマーが利用され始めていることがわかった。ジオポリマーコンクリートの環境影響に関する定量的考察，乾燥収縮による体積変化を抑制するための添加剤の開発や化学的浸食抵抗に関する報告などがあった。ジオポリマーの標準配合例示を目指し活動している研究委員会から標準配合が例示されれば，コンクリート二次製品へジオポリマーの適用が容易になると思われる。ただ，フライアッシュや高炉スラグは排出場所や季節により組成が異なるため，地域ごとのローカル配合を考えるのが良いとの意見があった。

2.3　大学・高専及び県内企業への訪問調査

2.3.1　大学・高専への訪問調査

ジオポリマーのコンクリート二次製品への適用に関して大学・高専に対し訪問調査を行った。

ジオポリマーコンクリートはセメントコンクリートに比べ費用が 1.5~2 倍程度と試算されているため，低環境負荷材料という特徴だけではセメントコンクリートの代替は困難である。ただ，セメントコンクリート材料は技術的に成熟した材料であるが，耐酸性に関してはいまだ大きな弱点として存在している。そのため，耐酸性を必要とする部分にジオポリマーの適用可能性があることがわかった。

2.3.2　県内企業への訪問調査

ジオポリマーのコンクリート二次製品への適用の可能性を探るためにコンクリート二次製品製造企業を訪問した。

下水道施設のコンクリート二次製品において耐酸性に課題があり，各社，ジオポリマーの持つ耐酸性には興味があるようだった。加えて，プレミックスされた状態で供給され，設備投資を伴わないような材料や，耐塩害性や耐凍害性に優れた材料が望まれていた。

コンクリート二次製品以外への適用を探るために環境保全資材製造企業を訪問した。

産業副産物を高付加価値製品にする技術にニーズがあり，産業副産物から骨材や吸着材などにする技術の一つとしてジオポリマー技術を適用する可能性があることがわかった。

2.4　工業技術総合研究所の取り組み

ジオポリマー硬化体がセメント系硬化体と同程度の機械的強度を持つのかを調べるため，ジオポリマーモルタル試験体を調製し，圧縮強度試験を行った。また，ガス吸着材としての可能性を検討するため，ジオポリマーによる粉体試料を調製し，硫化水素吸着試験を行った。

表 1　ジオポリマーモルタル試験体の配合条件

試料名	単位量（g/L）			
	フライアッシュ	水ガラス	水酸化ナトリウム水溶液	細骨材
ジオポリマーモルタル試験体	750	203	174	1056

表 2　使用した材料

材料名	種類（密度）
フライアッシュ	2 種相当（2.26g/cm^3）
水ガラス	1 号相当（1.67g/cm^3）
水酸化ナトリウム水溶液	5mol/L（1.19g/cm^3）
細骨材	標準砂（2.64g/cm^3）

2.4.1　圧縮強度試験

既存の研究結果を参考に [2]，表 1 の配合条件及び表 2 の材料で試験体を作製した。試験体の作製方法は以下のとおり。

① 水ガラスと水酸化ナトリウム水溶液を混合しバケツに投入した。
② フライアッシュを投入し，ハンドミキサーで 30 秒間練り混ぜた。
③ 細骨材を投入し，ハンドミキサーで 90 秒間練り混ぜた。
④ 紙製型枠（φ50×100mm）に二層打ち込みし，振とう器で固締めした。
⑤ 型枠上面を養生フィルムとビニールテープで封緘，初め 6 時間は 80℃，その後養生開始後 48 時間まで室温で養生した。
⑥ 脱枠を行い，圧縮強度試験前に圧縮面に対し研磨を行った。

圧縮強度試験の結果を図 2 に示す。材齢 3 日で圧縮強度が 30N/mm^2 に達し，材齢 28 日では 45N/mm^2 に達した。図中に付記したセメントモルタルの材齢 28 日における圧縮強度の範囲と比較して、同程度の圧縮強度が出ていることがわかる。

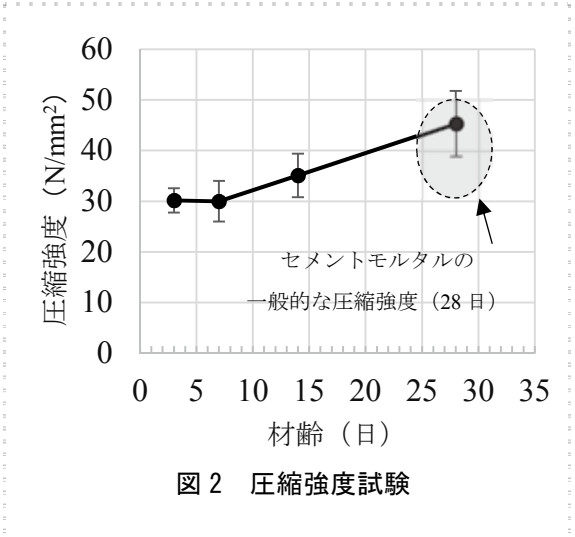

図 2　圧縮強度試験

2.4.2　硫化水素吸着試験

表 3 の配合及び養生条件で混合作製し，粉砕して調製した試料について硫化水素吸着試験を行った。使用したフライアッシュ，水ガラス，水酸化ナトリウム水溶液は表 2 と同じものである。対照試料として一般的な吸着材である活性

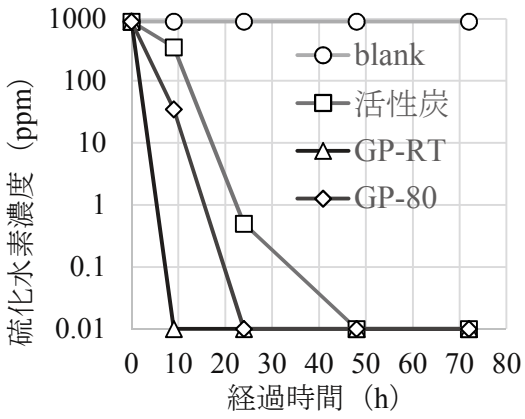

図 3　硫化水素吸着試験

表 3　硫化水素吸着試験試料の配合及び養生条件

硫化水素吸着試料	フライアッシュ（g）	水ガラス（g）	水酸化ナトリウム水溶液（g）	養生条件
GP-RT	124	34	29	室温
GP-80	124	34	29	80℃で 24 時間封緘

炭を用いた。テドラーバッグに各種試料 0.5g を入れ，硫化水素濃度 900ppm のガスを 4L 導入し，所定の時間ごとに硫化水素用ガス検知管を用いてテドラーバッグ内の硫化水素濃度を測定した。

硫化水素濃度の経時変化を図 3 に示す。活性炭と比べ，ジオポリマーは硫化水素をよく吸着することが分かった。今回の条件では特に室温下で養生したもので硫化水素吸着能が優れていた。

3. 結　　言

(1) ジオポリマーについて基礎から応用に関するセミナーを開催し，企業などから 29 名の参加があった。

(2) 下水道施設のコンクリート二次製品において耐酸材料のニーズがあり，ジオポリマーの適用可能性があることがわかった。

(3) 産業副産物を高付加価値製品にする技術にニーズがあり，その一つとしてジオポリマー技術の適用可能性があることが分かった。

(4) 圧縮強度試験においてジオポリマーモルタルは通常のセメントを用いたモルタルと同程度の強度を示した。また，硫化水素吸着試験において，ジオポリマーが硫化水素に対して優れた吸着能がある可能性が示唆された。

参考文献

1) Joseph Davidovits，*GEOPOLYMER Chemistry & Applications 4th edition*, 2015，pp. 11-14.

2) 前川　明弘，“ジオポリマーコンクリートの乾燥収縮特性に関する基礎的研究”，「建設分野におけるジオポリマー技術の現状と課題」に関するシンポジウム，2016，pp. 75-80.