

環境に優しい材料「ジオポリマー」の適用事例について

原田 耕司*

Koji Harada

津郷 俊二***

Syunji Tsugo

守山 和成**

Kazuaki Moriyama

松山 哲也***

Tetsuya Matsuyama

1. はじめに

フライアッシュや水ガラス等を材料とするジオポリマーはセメントを使用しないため、セメントにより構造物を建設した場合に比べCO₂を大幅に削減できるなどの大きな特徴がある。

建設分野を対象としたジオポリマーの研究はほとんど行われておらず、また、実際の構造物等に適用された事例の報告もない。今回、平成22～23年度志度小学校校舎改築工事にジオポリマー製の外溝ブロックを適用したので、その概要を述べる。

2. ジオポリマーとは

1988年にフランスのDavidovitsにより提唱されたジオポリマーは、アルカリシリカ溶液とアルミナシリカ粉末（以下、活性フィラーと呼ぶ）との反応によって形成される非晶質の縮重合体（ポリマー）の総称である¹⁾。

コンクリートの分野では、アルカリシリカ溶液として珪酸ナトリウム水溶液（以下、水ガラスと呼ぶ）や水酸化ナトリウム（以下、苛性ソーダと呼ぶ）を、活性フィラーとしてフライアッシュ（以下、FAと呼ぶ）や高炉スラグ微粉末（以下、BSと呼ぶ）などを使用することが多い²⁾。

ジオポリマーで構造物を建設した場合、セメントで建設するより80%程度CO₂を削減できると試算されており³⁾、次世代のコンクリートのバインダーとなりうる可能性を有している。

また、活性フィラーとしては、FAやBS以外にも、都市ゴミ焼却灰溶融スラグ微粉末や下水汚泥溶融スラグ微粉末なども使用でき、産業副産物の有効利用の観点からも優れた技術である。

ジオポリマーの構成元素はセメントコンクリートと異なり、Caの代わりにNaやKを多く含むため、固化体の性状がセメントコンクリートと大きく異なる。著者らの研究でも、ジオポリマーは同圧縮強度レベルのセメント

モルタルに比べ、特に耐アルカリ骨材反応性、耐酸性に優れていることを確認している⁴⁾。

3. ジオポリマー製外溝ブロックの仕様

ジオポリマー製外溝ブロックの仕様を表-1に示す。要求性能としては、材齢14日での圧縮強度が24N/mm²であり、曲げ強度荷重は、歩車道境界ブロックが23KN、地先境界ブロックが6.5KNである。また、色合いは、コンクリートとほぼ同等のものが求められた。

4. ジオポリマー製外溝ブロックの製造方法

(1) 使用材料

ジオポリマー製外溝ブロックの使用材料を表-2に示す。アルカリシリカ溶液としては、水ガラスに苛性ソーダを混合した溶液（以下、GP溶液と呼ぶ）を用いた。なお、活性フィラーの化学成分を表-3に示す。

(2) 配合

ジオポリマー製外溝ブロックに使用した配合を表-4に示す。セメントコンクリートでは、W/Cを変化させることにより目標とする圧縮強度を満足させるが、ジオポ

表-1 ジオポリマー製ブロックの仕様および数量

種類	仕様	数量
歩車道境界ブロック	150×200×600 mm	25.50 m
地先境界ブロック	120×120×600 mm	47.04 m

表-2 使用材料

項目	材料
GP溶液	水ガラス+苛性ソーダ (密度: 1.27g/cm ³)
活性フィラー	①フライアッシュIV種品 (密度: 2.25g/cm ³) ②高炉スラグ微粉末 (密度: 2.91g/cm ³)
粗骨材	香川県産・碎石 (密度: 2.60g/cm ³)
細骨材	高炉スラグ細骨材 (密度: 2.76g/cm ³)

表-3 活性フィラーの化学成分 (%)

項目	FA	BS
MgO	-	5.87
Al ₂ O ₃	31.04	16.84
SiO ₂	58.17	31.11
P ₂ O ₅	0.18	-
SO ₃	0.51	2.84
K ₂ O	0.95	0.83
CaO	2.37	41.44
TiO ₂	1.62	0.51
Fe ₂ O ₃	4.94	0.31
MnO	-	0.26
SrO	0.13	-

* 技術研究所土木技術グループ

** 西日本(支)志度小学校(作)

*** 日本興業(株)

リマーでは、BSの添加率によって圧縮強度を調整する。今回の配合では、BSはFAの容積に対して20%内割り混和した。

(3) 練混ぜ方法および養生方法

練混ぜは、強制2軸ミキサ（容量：100ℓ）を用い、1バッチ60ℓで行った。練混ぜ方法は、砂+FA+BSで空練りを30秒行い、GP溶液を投入後1分間練混ぜ、一度ミキサを止め15秒で掻き落しを行い、最後に2分間練混ぜて排出した。なお、写真-1に練混ぜ直後のジオポリマーを示す。

ジオポリマーは常温では強度発現が遅いため、一般に蒸気養生（加熱）を行う。今回は、二次製品の養生方法と同じ養生条件を設定した。具体的には、型枠にジオポリマーを打設後、3時間かけて温度60℃、湿度90%まで上昇させ、その後3時間その条件で養生し、再び3時間かけて温度20℃、湿度60%まで下げ、材齢1日で脱型し、室温で気中養生を行った。

5. ジオポリマー製外溝ブロックの性能

写真-2に養生後のジオポリマー製外溝ブロックを示す。色合いは、セメントコンクリートほぼ同じである。また、材齢14日で各種試験を実施した。結果は、圧縮強度および曲げ強度荷重ともに要求性能を満足しており、性能的に問題がないことを確認した。

6. 設置状況

写真-3にジオポリマー製外溝ブロックの設置状況を示す。施工性は、普通のセメントコンクリートの製品と同じであり、角欠け等は発生しなかった。

7. おわりに

ジオポリマーを実構造物に適用した事例は我が国では初めてであり、貴重なデータを収集することができた。今後は、経年変化の観察を実施する予定である。

謝辞：ジオポリマー製ブロックの適用については、発注者であるさぬき市の関係者のご理解および多大なご協力を頂きました。ここに記して深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 甲本達也：フライアッシュをベースとしたジオポリマーによるバンコック粘土の固化について、佐賀大学農学部彙報，第94号，pp.15-22,2009.2.
- 2) 上原元樹，東原実，横川勝則：ジオポリマー法による環境負荷低減PCまくらぎの作製，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.64，V-369，pp.735-736,2009.8.
- 3) J.Davidovits：GEOPOLYMERS，JOURNAL OF

- THERMAL ANALYSIS，Vol.37，pp.1633-1656,1991.
- 4) 原田耕司，一宮一夫，津郷俊二，池田攻：ジオポリマーモルタルの耐久性に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp.1937-1942,2011.

表-4 配合表 (Kg/m³)

GP溶液	活性フィラー		細骨材	粗骨材
	FA	BS		
245	418	105	655	852

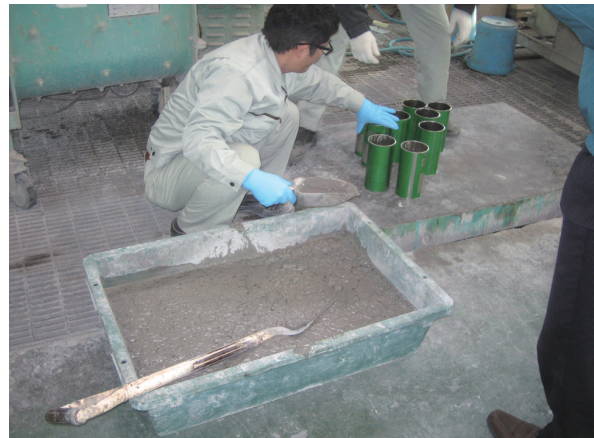


写真-1 練混ぜ直後のジオポリマー

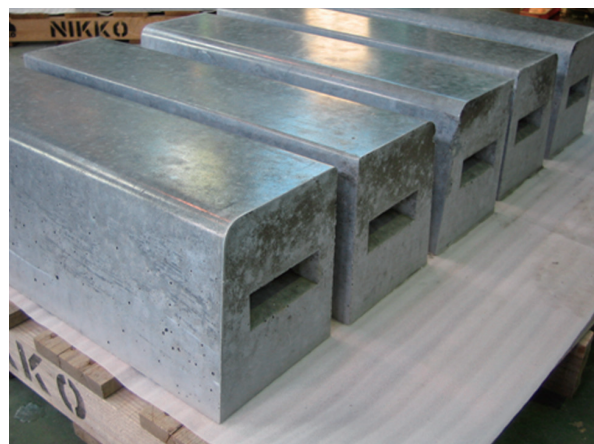


写真-2 ジオポリマー製外溝ブロック



写真-3 設置状況