

## 現場加温養生を施した実物大ジオポリマーの施工実験に関する報告

前田建設工業（株） 正会員 ○吉丸 将司  
前田建設工業（株） 正会員 南 浩輔

## 1. はじめに

石炭火力発電所から排出される石炭灰の量は年々増加傾向<sup>1)</sup>にあり、かつ石炭灰埋立処分場の確保が困難となってきたことから、近年、新しい石炭灰の有効利用用途としてジオポリマー（以下、GP と略す）が注目されている。

GP とは、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの鉱物質微粉末（活性フィラー）とケイ酸アルカリ溶液を混合することにより固化する現象を利用した硬化体である。製造にポルトランドセメントを使用しないため、普通コンクリートに比べ製造時のCO<sub>2</sub>排出量を80%低減でき、かつ石炭火力発電所で排出されるフライアッシュや製鉄の際に発生する高炉スラグなどの産業副産物を使用できる<sup>2)</sup>。そのため、GP の普及は資源の循環利用による環境負荷低減の観点からも社会的貢献度が非常に大きいと言える。

GP は、配合条件により強度や耐久性を調整することが可能である。GP としての性能を効果的に発揮するためには、加温養生を施すことが好ましいが、国内では実物大かつ現場で打設した GP に対して加温養生を実施した実績はない。また、一般的に GP はアルカリ刺激により強度を上げると、可使時間が短くなり、ハンドリング性能を確保することが困難であった。

そこで、新たに開発した混和剤の適用や配合の検討を行い、補修・補強材を想定した施工実験を実施した。施工実験では、以下3項目について確認を行った。

- 1) 施工性の確認（打込み、脱型、仕上がり）
- 2) 現場加温養生による強度発現性および品質安定性
- 3) 加温の有無による強度の確認

以下、これらの結果について報告する。

## 2. 施工実験概要

施工実験における GP の打設位置図を図-1 に示す。本実験は、RC 柱（W : D : h）= 1.0m : 1.0m : 2.0m）に GP モルタルによる増打ち（W : D : h = 1.0m : 0.1m :

1.8m）を2面（GP①、GP②とする）行い、加温養生を施すものである。ここで、GP①は水酸化カリウム、GP②は水酸化ナトリウムをアルカリ溶液として用いた。また、GP の増打ちに際し補強筋（D13、SD345）として井桁（縦筋5本200mmピッチ、横筋6本300mmピッチ）に組み、一段配筋とした。型枠はメタルフォーム（鋼製型枠）を使用した。

GP の練混ぜには強制2軸式ミキサ（容量100リットル）を用いた。各配合で3バッチ（1バッチ0.1m<sup>3</sup>）練混ぜ、バッチ毎にフレッシュ試験を実施し品質を確認した。ここで、フレッシュ試験は、スランプフロー（JIS A 1150）とテーブルフロー（JIS A 6201 附随書 C）と空気量（JIS A 1128）の3試験であり、スランプフローの管理値は60cm以上（目標65±5cm）とした。

強度発現性の確認として圧縮強度試験（JSCE-G505）を実施した。圧縮強度の確認には、試験打設した GP 壁のコア（上部、中部、下部各4本）、施工実験時に採取したテストピース（現場練り）、室内試験時に採取したテストピース（室内練り）を用いた。

配合設計に関しては、事前に実施した室内試験において管理値以上のスランプフローが得られるものとした（参考として、GP①の配合比を示すと、W/B = 43.2%，B/S = 78.1%。ここで、W：ケイ酸アルカリ溶液、B：活性フィラー、S：細骨材とする）。また、打設時の GP のハンドリング性能の向上を目的とした、GP 専用の混和剤を開発し、本実験で初適用した。

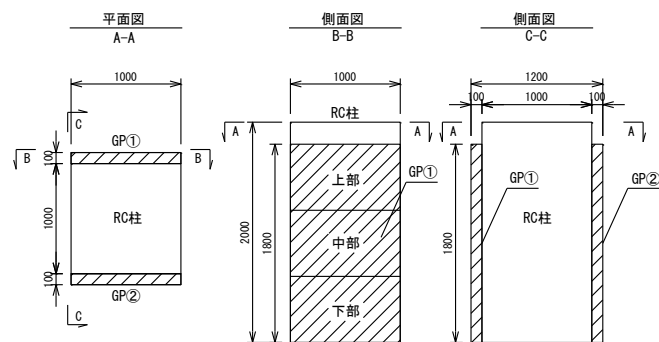


図-1 GP 打設位置図

キーワード ジオポリマー、加温養生、現場打ち、実物大、高強度、増し壁

連絡先 〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16 前田建設工業（株）技術研究所 TEL 03-3977-2242

3. 施工実験結果

3.1 施工性の確認

本実験では、10cmの厚さに鉄筋を一段配筋しており、パイプレータによる締固めが施せないため、自己充填性を有するGPの配合を用いた。表-1にスランプフローの試験結果を、写真-1にスランプフロー試験の様子を示す。試験結果より、全バッチにおいて、管理値以上となる結果となり、目標の流動性が得られていることを確認できた。練混ぜから打設終了までGPの流動性は低下せずに、問題なく打込みを完了した。また、脱型時にGPの未充填箇所が無いことを確認した。

脱型性および仕上りの把握を目的として、GP専用の剥離剤を塗布した面と、型枠にビニール性のフィルムを貼り付けた面を用いて比較した。その結果、どちらの面も離型性は良く、フィルム貼付面のGP表面がより緻密になっていたことを目視により確認した。以上より、現場打設におけるGPの施工性が良好であったことを確認できた。

表-1 バッチ毎のスランプフロー

| 配合  | バッチ数 | スランプフロー(2min)<br>(cm) |
|-----|------|-----------------------|
| GP① | 1    | 60.5×60.0             |
|     | 2    | 64.2×62.6             |
|     | 3    | 62.0×61.8             |
| GP② | 1    | 65.0×63.9             |
|     | 2    | 70.8×66.6             |
|     | 3    | 65.0×64.9             |



写真-1 スランプフロー試験状況

3.2 加温養生と強度の関係

表-2に圧縮試験に使用した供試体の一覧表を、図-2に圧縮強度と変動係数を示す。ここで、供試体寸法は全てφ50×100mmであり、圧縮強度は4本の平均値を示している。

試験結果より、コアの圧縮強度は90N/mm<sup>2</sup>以上の強度を発現し、加温養生後の室内および現場で採取したテストピースと同等以上の強度が得られた。また、図-2に示す通り、今回得られた圧縮強度の変動係数は、セメント系材料と同程度<sup>3)</sup>の10%以内に収まっており、供試体間の変動係数は小さく、現場加温養生により安定した品質を得ることが可能であることを確認した。

強度発現に対する加温の効果を検証するため、同じ材齢(σ28)において常温養生を施したテストピースの圧縮強度は50N/mm<sup>2</sup>程度であった。このことから、GPは配合を調整することで常温養生においても高強度域を得ることが可能ではあるが、GPのポテンシャルを効果的に引き出す為には、加温養生が重要な要因とな

ることが判る。

表-2 圧縮試験に使用した供試体の一覧表

| ケースNo | 項目               | 配合  | 場所 | 養生方法 | 供試体本数 | 平均圧縮強度<br>(N/mm2) | 変動係数<br>(%) |  |
|-------|------------------|-----|----|------|-------|-------------------|-------------|--|
| 1     | コア               | GP① | 上部 | 加温   | 4本    | 94.4              | 2.48        |  |
| 2     |                  |     | 中部 |      |       | 102.2             | 1.86        |  |
| 3     |                  |     | 下部 |      |       | 93.5              | 6.45        |  |
| 4     |                  | GP② | 上部 |      |       | 91.7              | 7.57        |  |
| 5     |                  |     | 中部 |      |       | 105.6             | 7.71        |  |
| 6     |                  |     | 下部 |      |       | 93.5              | 6.85        |  |
| 7     | テストピース<br>(現場練り) | GP① | —  | 加温   |       | 94.6              | 8.42        |  |
| 8     | テストピース<br>(現場練り) | GP② |    |      |       | 89.5              | 3.31        |  |
| 9     | テストピース<br>(室内練り) | GP① |    |      |       | 84.4              | 1.12        |  |
| 10    | テストピース<br>(室内練り) | GP② | —  |      |       | 84.3              | 2.83        |  |
| 11    | テストピース<br>(現場練り) | GP① | —  | 常温   |       | 52.5              | 2.02        |  |
| 12    | テストピース<br>(現場練り) | GP② |    |      |       | 51.9              | 1.85        |  |

※テストピース(室内練り)のみσ1の結果を記載

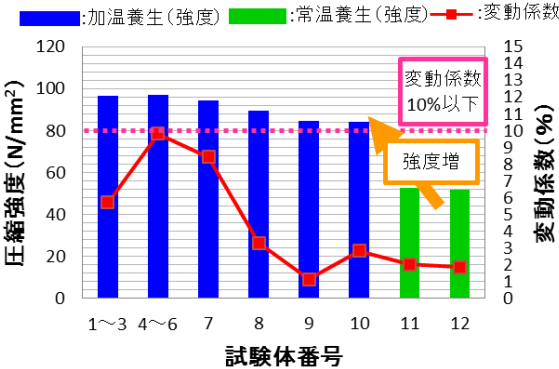


図-2 圧縮強度と変動係数

4. まとめ

得られた知見を以下に示す。

- (1) 練混ぜから打設終了までGPの流動性は低下せずに、問題なく打込みを完了した。また、脱型時にGPの未充填箇所が無いことを確認した。
- (2) 現場加温養生を施した実物大のGP施工実験において、圧縮強度90N/mm<sup>2</sup>以上、変動係数が10%以下と、セメント系材料と比べても遜色ない安定した品質を得ることができた。
- (3) 常温養生においても、高強度域となる50N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を得ることが可能ではあるが、GPのポテンシャルを効果的に引き出すには加温養生が重要な要因となる。

参考文献

- 1) 一般財団法人石炭エネルギーセンター：石炭灰全国実態調査報告書、2016
- 2) 南浩輔 他:GP硬化体の諸物性に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, 2013
- 3) 鈴木澄江 他:高強度コンクリートのコア供試体における高さ直径比が圧縮強度の試験結果に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, 2009