

養生方法の違いがジオポリマーモルタルの強度発現に与える影響に関する一考察

松江工業高等専門学校 生産・建設システム工学専攻 学生会員 ○三代龍之輔
松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 正会員 周藤 将司

1. はじめに

ジオポリマー（以下、GP ; Geopolymer）コンクリートは、セメントを一切使用しないコンクリートであり、一般的なセメントコンクリートと比べ環境負荷が少ないという利点を有している。既往の研究では、GP は高温で養生することで強度発現を促すことができるとされている¹⁾。しかし、GP に関して、養生方法の違いと強度発現の関係性について詳細に検討された例は少ない。そこで本文では、GP ペースト及び GP モルタルを用いて、養生時に異なる温度履歴を与えた場合に圧縮強度にどのような影響が現れるのかを検討した結果を示す。

2. 養生方法の違いによる検討

(1) 実験概要

本実験では、GP モルタルを用いて養生条件が異なる場合の強度発現の違いについて検討する。配合を表 1 の上段に示す。作製する

表 1 配合表

配合名	FA (g)	BFS (g)	WG (g)	NaOH (g)	W (g)	S (g)
GP モルタル	434.0	140.0	232.0	52.0	64.0	1297.0
GP ペースト	244.4	0.0	55.0	55.0	0.0	0.0

る GP モルタルは、既往の委員会報告²⁾を参考に、アルミナシリカ粉末としてフライアッシュ (FA)、混和材として高炉スラグ微粉末 (BFS)、細骨材としてセメント強さ試験用標準砂 (S) をそれぞれ用いる。また、アルカリ溶液は、10mol/L の水酸化ナトリウム (NaOH) と 1 号水ガラス (WG) を所定量混ぜ合わせ、そこへ水 (W) を添加した混合液を利用する。配合表は、1L 作製するために必要な量を示している。GP モルタルは、カルシウム分を多分に含む BFS を使用しているため、初期の強度発現が期待できる配合となっている。

上記の配合で作製した GP モルタルを $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の円柱型枠 (ソノモールド) に詰め、表面をラップで封緘し、3 パターンの養生条件で養生を行う。まず、屋内環境下 (実験室内) で気中養生を行うパターン (以下、AC ; air curing) である。次に、 20°C 、40%R.H.程度に管理された恒温恒湿室内で気中養生を行うパターン (以下、CAC ; controlled air curing) である。最後に、初期に蒸気養生を行い、その後気中養生を行うパターン (以下、SC ; steam curing) である。SC は、温度上昇勾配 20°C/h で昇温し、 60°C 、95%R.H.で 24 時間保持し、その後は CAC と同条件で養生を行う。

作製した供試体については、材齢 1 (CAC, SC のみ実施)、3, 7, 14, 28 日で圧縮強度試験 (JIS A 1108 に準拠) を行う。供試体は各水準について 3 本作製し、脱型は試験直前に行うこととする。

(2) 結果と考察

試験結果を図 1 に示す。AC と CAC では、CAC の方が良好な強度発現が得られた。また、SC は、初期強度が大きく、その後の強度発現は鈍いことが分かる。AC は、実験期間が 11 月から 12 月であったことから、養生時の気温が恒温恒湿室より低かったことが影響していると言え、SC については初期の蒸気養生が効いていると言える。

これらの傾向は、セメントコンクリートの場合と同様である。BFS はカルシウム分を多く含んでいる材料であるため、セメントコンクリートの水和反応と同様な反応によって C-S-H が形成されていることが考えられる。

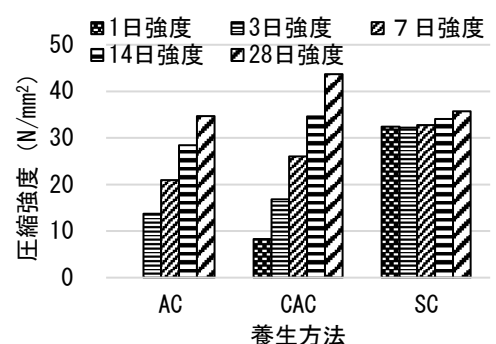


図 1 圧縮強度試験結果 (養生方法)

キーワード ジオポリマー, 蒸気養生, 養生時間, 等温保持時間, 最高温度, 圧縮強度

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 環境・建設工学科 周藤研究室

3. BFS 不使用の場合の強度発現性

(1) 概要

ここでは、GP 反応のみの場合の強度発現性の特徴を確認するため、BFS を使用しない GP ペーストの供試体を作製する。なお、配合・養生条件以外の試験方法は、2 章と同様である。

GP ペーストの配合を表 1 下段に示す。アルミナシリカ粉末は FA、アルカリ溶液は、NaOH と WG を 1:1 で混ぜ合わせた混合液をそれぞれ用いる。配合表では、 $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の円柱型枠 1 本に打設するために必要な量を示している。GP ペースト打設後は、条件の異なる二つの蒸気養生を施して圧縮強度試験を行う。

一つ目は、等温保持時間が異なる場合（以下、IHT；Isothermal holding time）である。IHT では、温度上昇勾配 20°C/h で昇温し、 60°C 、95%R.H.で等温保持する。等温保持時間が、1, 3, 5, 10, 12, 24, 48, 72, 144h となった段階で蒸気養生を終了し、その後実験室内で気中養生を行う。

二つ目は、最高温度が異なる場合（以下、MT；Maximum temperature）である。MT では、95%R.H.の元で温度上昇勾配 20°C/h で昇温し、任意に定めた最高温度到達後に 3h の等温保持を行う。

最高温度は、40, 50, 60, 70, 80, 90°C の 6 段階とし、設定時間経過後は実験室内で気中養生を行う。

(2) 結果と考察

IHT の結果を図 2 に示す。図 2 より、等温保持時間が長くなるほど強度が大きくなる傾向を示した。本研究の範疇では、圧縮強度のピークは等温保持時間が最も長かった 144h であった。ここで、既往研究³⁾において、GP モルタルに対して蒸気養生を施した場合、24 時間までは養生時間が長くなるほど強度が増進するが、それ以降は蒸気養生を続けても強度の増進に寄与しないことが示されている。しかし、これは BFS を 10%混合した配合であり、初期の強度発現性を高めた配合における結果である。本実験のように GP 反応のみによって強度発現性を確認した場合、蒸気養生時間が長いほど GP 反応による強度発現が得られることが確認された。

MT の結果を図 3 に示す。図 3 より、最高温度 40°C では、他の温度と比較して強度が小さくなる傾向が確認された。また、最高温度 50°C 以上では、最高温度の違いによる圧縮強度の変化は、ほとんどないと言える。このことより、GP 反応を促進するという観点から考えると、最高温度は 50°C 程度に設定することが適切であると考えられる。

4. まとめ

本研究で明らかになった項目を以下に示す。

- (1) 高炉スラグを用いた GP モルタルに対して、蒸気養生を行った場合の強度発現性は、セメントコンクリートと同様な傾向を示す。
 - (2) 高炉スラグを用いない GP ペーストでは、蒸気養生時の等温保持時間を長くするほど圧縮強度も大きくなる。
- また、養生温度は、 50°C 程度に設定するのが望ましく、それ以上の温度では強度発現にあまり差がない。

参考文献

- 1) 渡辺勝ら:石炭灰を活性フィラーとして用いたジオポリマーの養生温度と強度特性の関係について、土木学会中国支部第 67 回研究発表会資料, pp.361-362 (2015)
- 2) 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: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報告書, 公益社団法人 日本コンクリート工学会, pp.197-205 (2017)
- 3) 一宮ら:ジオポリマーモルタルの配合ならびに製造法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, pp575-580 (2011)

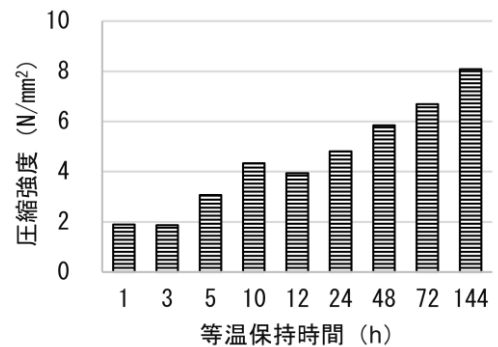


図 2 圧縮強度試験結果 (IHT)

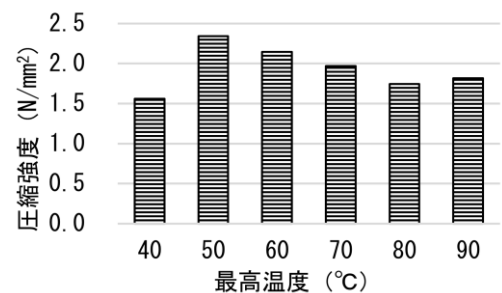


図 3 圧縮強度試験結果 (MT)