

養生方法とジオポリマーの硬化時に生じる生成物に関する実験的検討 Experimental Study on Relationship between Curing Method and Product in Cured Geopolymer

○周藤 将司*, 三代 龍之輔**

SUTO Masashi and MISHIRO Ryunosuke

1. はじめに

近年、新たな建設材料としてジオポリマー（以下、GP）が注目されている。GPは、「セメントクリンカーを使用せず、非晶質のケイ酸アルミニウムを主成分とした原料（活性フィラー）とアルカリ金属のケイ酸塩、炭酸塩、水酸化物の水溶液（アルカリ溶液）の少なくとも1種類を用いて固化させたもの¹⁾」と定義されている。

活性フィラーにフライアッシュ（以下、FA）を単独で用いる場合は、硬化までに長時間を有することが明らかになっている。そこで、建設材料としては、活性フィラーに高炉スラグ微粉末（以下、BFS）を用いてC-S-H系の物質を生じさせることで、早期に強度発現が得られるような配合が主流となっている。しかし、C-S-H系の生成物は、GP反応による生成物とは別の物質である。そこで本研究では、養生方法を変化させた場合の、C-S-H系生成物とGP反応生成物の生成過程について実験的に検討した。

2. 蒸気養生によるC-S-H系生成物の生成

2.1 概要

ここでは、活性フィラーとしてBFSをFAに対して20%置換したGPモルタル（GP-M）を作製し、養生方法の違いが圧縮強度に与える影響について検討した。配合はTable 1上段に示すとおりであり、GP-Mを1L作製するために必要な量を示している。養生方法は、気中養生（20℃、40%R.H.程度に管理）と蒸気養生とした。蒸気養生では、温度上昇勾配20℃/hで昇温し、60℃、95%R.H.で24時間保持した。なお、温度設定は、予備試験によって強度発現が良好

Table 1 配合
Mix proportion

	FA	BFS	WG	NH	W	S
GP-M	434.0	140.0	232.0	52.0	64.0	1297.0
GP-P	244.4	0	55.0	55.0	0	0

（単位：g）

FA：JIS II種フライアッシュ，BFS：高炉スラグ微粉末（粉末度4000，石こう無し），WG：1号水ガラス，NH：水酸化ナトリウム水溶液（10mol/L），W：水，S：セメント強さ試験用標準砂

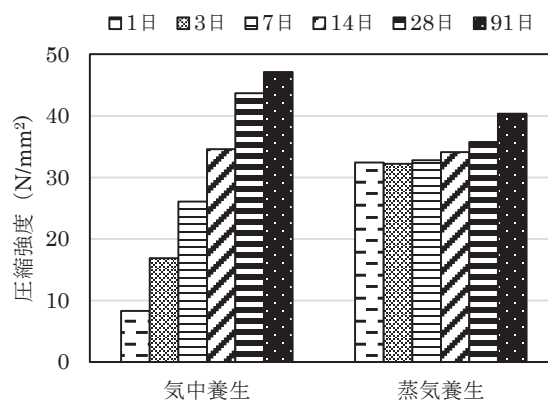


Fig.1 圧縮強度（養生方法による違い）
Compressive Strength
(Difference in curing method)

な温度帯が50～60℃程度であったことから60℃と決定している。蒸気養生終了後は、試験材齢まで気中養生を行った。

試験項目は圧縮強度であり、φ5×10cmの円柱供試体を用いて材齢1、3、7、14、28、91日で試験を行った。

2.2 結果と考察

圧縮強度試験結果をFig.1に示す。気中養生では、材齢の進行と共に強度が増進していることが分かる。また、蒸気養生では、初期の強度

*松江工業高等専門学校 環境・建設工学科, Department of Civil and Environmental Engineering, National Institute of Technology, Matsue College, **松江工業高等専門学校専攻科 生産・建設システム工学専攻, Advanced Production and Construction Systems, National Institute of Technology, Matsue College, キーワード：ジオポリマー, 蒸気養生, 圧縮強度

発現が良好であるものの、材齢の経過に伴う強度増進は気中養生と比較して小さいものであった。両者は材齢 14 日で同等の値となり、その後は気中養生の方が高い値を示すことが確認された。これは、セメントコンクリートの強度発現と類似する結果といえる。したがって、ここでは C-S-H 系生成物が強度発現を支配していると推察される。しかし、僅かながら脱水縮重合反応による GP 反応生成物も生成されているはずであり、特に長期材齢においては、GP 反応生成物も強度発現に寄与していると考えられる。この点について、次章で検討を行う。

3. BFS 不使用時の強度発現特性

3.1 概要

一宮らは、GP モルタルによる蒸気養生時間と強度発現についての検討から、養生時間が 24 時間以上となると、養生時間に係わらず強度がほぼ一定になることを示している²⁾。しかし、これは FA を BFS に 10% 置換した配合による検討結果であり、C-S-H 系生成物が強度発現に寄与していることが考えられる。そこで、ここでは、BFS を使用せず GP 反応生成物単独での強度発現特性の確認を GP ペースト (GP-P) によって試みた。配合は Table 1 下段に示すとおりであり、GP-P 供試体 (φ5×10cm) を 1 本作製するために必要な量を示している。

蒸気養生は、温度上昇勾配 20℃/h で昇温し、60℃、95%R.H.の条件で行った。60℃における等温保持時間は、1、3、5、10、12、24、48、72、144h とし、その後は材齢 14 日まで気中養生を行い、圧縮強度試験に供した。

3.2 結果と考察

圧縮強度試験結果を Fig.2 に示す。この結果からは、等温保持時間が 24h を超えても緩やかに強度の増進は続くことが確認された。一宮らの研究結果とは異なる結果を示したが、これは硬化に寄与した生成物が異なったためである。C-S-H 系生成物と GP 反応生成物の違いである。

したがって、前述のとおり長期材齢の強度発現には GP 反応生成物も寄与していることが実

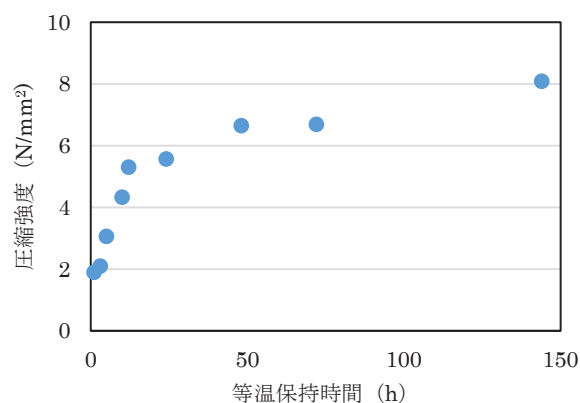


Fig.2 圧縮強度 (等温保持時間による違い)
Compressive Strength
(Difference in curing duration)

験的に示されたといえる。詳細については XRD 分析を行うことで明らかにすることが可能になり、実験と分析の双方から確認することができる。

ここで、本研究では 60℃の条件で試験を行ったが、実環境では更に緩やかに GP 反応が進行することが予想される。配合設計を行う場合には、初期の強度を C-S-H 系生成物によって担保し、その後の強度増進は GP 生成物に委ねるという構図になる。要求性能に応じて配合を設計していくことになるが、要求性能を満足する適切な配合を見出すためには、今後更なる検討を重ねていく必要があるといえる。

4. まとめ

本研究では、ジオポリマーの硬化時の生成物の生成過程について養生方法を変化させて検討を行った。今後は、分析と重ね合わせて更に検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 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, p.6, 2017
- 2) 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