

メタカオリンジオポリマーの耐火性に関する検討

九州工業大学大学院 学生会員 ○加来 綾夏
九州工業大学大学院 正会員 合田 寛基
群馬大学大学院 正会員 小澤 満津雄

1. はじめに

近年、トンネルでの大規模火災へのリスク対応に関心が寄せられている。トンネル等の閉鎖空間では、火災発生時に覆工コンクリートの表面が高温に晒され、かぶり部の剥離や、露出鉄筋の損傷等の被害発生が想定される。そのため、トンネルに使用されるコンクリートは優れた耐火性が求められる。

ジオポリマー(GP)は、アルカリ溶液(AS)と活性フィラーの縮重合反応によりアルミノケイ酸塩を生成し硬化するため、硬化体中に水和生成物が少なく耐火性に優れるとされている。活性フィラーとして、フライアッシュ(FA)、メタカオリン(MK)等がある。活性フィラーの一部を高炉スラグ微粉末(BFS)で置換することで CASH, CSH が生成され強度が増加するとされる。そこで、本実験では活性フィラーに MK, FA, BFS を使用した GP の耐火性を検討した。

2. 実験概要

表 1 に使用材料を、表 2 に本実験の配合を示す。練混ぜは、ミキサーに細骨材と粉体を投入し 30 秒間空練りした後、溶液を投入し 2 分間練り混ぜた。供試体は 160mm×40mm×40mm の角柱、φ 150mm×75mm の円柱の 2 種類を作製した。供試体は打込み直後に封緘処理し、前置き 20℃:3 時間、最高温度 70℃:12 時間の加温養生を行った。円柱供試体は打込み時に、供試体外縁から 10mm, 40mm, 75mm に熱電対を挿入した。加熱試験は表 3 に示す条件で、マuffle 炉を使用した。

3. 実験結果および考察

3.1. 膨張率

角柱供試体を加熱し、加熱前と加熱後常温まで冷却した供試体の長さを測定した。角柱供試体の膨張率を図 1 に示す。同図より、MK を使用した配合では、20℃から 500℃の範囲では、膨張率はほとんど変化しないが、500℃から 700℃にかけて大きく増加し、1000℃になると減少した。一方、FA+BFS では、20℃から 500℃にか

表 1 使用材料

使用材料	備考
アルカリ溶液(AS)	1.40 g/cm ³ アルカリ水比=0.11
フライアッシュ(FA)	2.27 g/cm ³ II種
高炉スラグ微粉末(BFS)	2.91 g/cm ³ 石こう無し
メタカオリン(MK)	2.54 g/cm ³ 造粒タイプ
細骨材(S)	2.56 g/cm ³ 海砂

表 2 配合

	AS	FA	BFS	MK	S
	g/L				
FA+BFS	331	330	141	-	1414
MK	358	-	-	396	1414
MK+BFS	350	-	129	308	1414

表 3 加熱条件 (角柱供試体)

加熱温度(℃)	300	500	700	1000	1150
最高温度					
到達時間(s)	500	860	1400	4000	4000

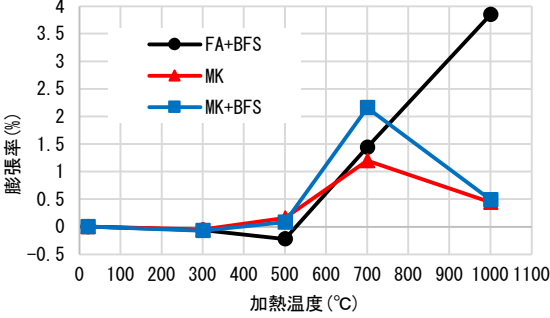


図 1 膨張率(%)

けては MK と同様にほぼ変化しないが、500℃を超えると大きく増加した。MKGP と FAGP では、膨張率の特徴が異なることから、硬化体の種類および、高温時における硬化体の構成物質の変質方法および変質後の物質が異なると考えられる。

3.2. 圧縮強度

加熱後の角柱供試体について、上下を40mm×40mmの鉄板で挟み、圧縮強度試験を行った。図2に試験結果を示す。同図より、全ての配合において供試体を加熱すると圧縮強度が低下することが確認された。BFSが使用した配合では、加熱温度1000℃時点で、圧縮強度は約50N/mm²低下した。一方、MKのみの配合では、加熱していない状態の圧縮強度は低いものの、加熱後の圧縮強度は、約25N/mm²の低下となった。加熱温度が低い場合、BFSを使用した配合はMKのみを使用した配合より高強度となるが、加熱温度が高温になるにつれ、BFSを使用した配合の方が顕著な強度減少を示す。供試体が高温になることで水和物が脱水し、強度を担保するCASHが分解され強度が低下したと考えられる。BFSを使用したGPにはBFS由来のCASHが多く存在するため、加熱前は強度が高く、加熱後はCASHが分解され強度が低下したと考えられる。一方で、MKジオポリマー中には水和物が少ないため、強度低下率が小さくなったと考えられる。また、MK、MK+BFSでは1150℃で加熱すると圧縮強度が増加した。これは、1150℃に加熱することで供試体が溶融し、冷却過程で固化したことで組織が密になり強度が増加したと考えられる。図3に加熱後の供試体の外観を示す。

3.3. XRD 分析

本実験では、MKGPモルタルの加熱試験後のXRD分析を行った。加熱は20℃、500℃、600℃、800℃、900℃で行った。表4に確認された結晶相の化学式を示す。同表より温度が900℃になるとそれまで確認されていたCaCO₃が無くなり、Caが含まれる物質としてCaOが確認された。このことから、加熱によりCaCO₃からCO₂が発生し、CaOに変質するとともに組織が疎になると考えられる。また、温度によってMK由来と考えられるNaを含む物質が異なることから、この物質の相違が、加熱前後の材料特性の変化に関係すると考えられる。

4. まとめ

以上の実験より得られた知見を示す。

- (1) 供試体は加熱することにより膨張するが、MKジオポリマーとFAジオポリマーでは膨張率の推移が異なり、MKジオポリマーは700℃以上で膨張率が減少する。

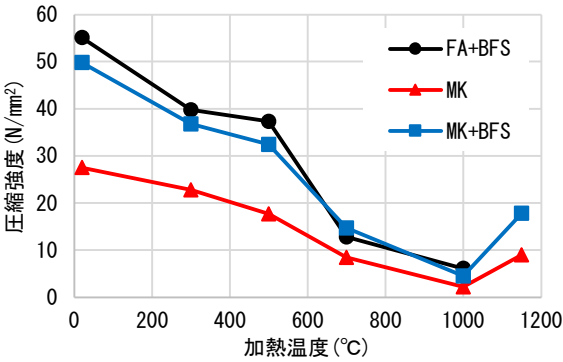


図 2 圧縮強度試験結果



図 3 供試体外観(1150℃加熱後)

表 4 XRD 分析結果 (MK ジオポリマー)

温度	化学式
20℃	CaCO ₃ , SiO ₂ , Na(AlSi ₃ O ₈)
500℃	CaCO ₃ , SiO ₂ , SiC, Na _{4.99} Ca _{4.91} (Al _{1.488} Si _{2.506} O ₈)
600℃	CaCO ₃ , SiO ₂ , C, Na(Si ₃ Al)O ₈
800℃	CaCO ₃ , CaO, C, SiO ₂ , Na ₄ Ca ₄ (Si ₆ O ₁₈), Na ₂ CO ₃ , K ₂ Ca(CO ₃) ₂
900℃	CaO, SiO ₂ , Na ₂ O, Na ₈ (Al ₈ Si ₈ O ₃₂), Na(Si ₃ Al)O ₈

- (2) 全ての供試体で、加熱により圧縮強度は低下し、減少率はBFSの使用有無で変化する。
- (3) XRD 分析より、MK ジオポリマーは加熱すると硬化体の物質が変化する。

謝辞

本研究の実施にあたり、令和4年度 前田工学振興財団 研究助成(代表:小澤)の補助を受けた。ここに謝意を表する。