

高炉スラグ微粉末を用いたジオポリマーの圧縮強度について

福島工業高等専門学校 学生会員○佐藤翔太郎
 福島工業高等専門学校 フェロー 緑川 猛彦

1. はじめに

一般のコンクリートに用いられるポルトランドセメントは、製造過程において原料である石灰石を高温で燃焼するため、多量のCO₂を排出する。セメント業界が排出する総CO₂量は全排出量の4%程度であり、環境への負荷が大きいことから排出抑制の対策が急務である。本研究は、ポルトランドセメントを一切使用せずに、セメントの代替材料として高炉スラグ微粉末を使用したジオポリマーコンクリートの配合と圧縮強度について検討したものである。

2. 実験方法

2. 1 実験その1

主粉体として高炉スラグ微粉末（ブレン値 8,000 cm²/g, 密度 2.93g/cm³）およびフライアッシュ（密度 2.13 g/cm³）、アルカリ刺激材として無水石膏（密度 2.95 g/cm³）および消石灰（密度 2.23 g/cm³）を用いたジオポリマーモルタルについて、高炉スラグ微粉末とフライアッシュの配合比や無水石膏と消石灰の配合比を変化させた場合について圧縮強度を比較した。表-1 に配合を示す。細骨材として豊浦標準砂（密度 2.64 g/cm³）を用い、細骨材率 s/m=40%、水粉体体積比 w/p=1.5 とした。モルタル製造後、円柱供試体（Φ50×100mm）を作製し、20℃の水中で28日間養生し圧縮強度試験を行った。

表-1 モルタルの配合

記号	水粉体体積比	粉体の配合比(vol.%)				
		無水石膏 CaSO ₄	消石灰 Ca(OH) ₂	高炉スラグ BS	フライアッシュ FA	
BS_10	1.5	10	10	80	0	
BS_08				64	16	
BS_06				48	32	
BS_04				32	48	
BS_02				16	64	
BS_00				0	80	
H_05		10	10	5	85	0
H_10				10	80	0
H_15				15	75	0
H_20				20	70	0
S_10	1.5	15	15	10	75	0
S_15				15	70	0
S_20				20	65	0
S_25				25	60	0
S_30				30	55	0

2. 2 実験その2

高炉スラグ微粉末のみを用いたジオポリマーモルタル供試体を作製し、その配合と圧縮強度について検討した。用いた材料は、粉末度が異なる4種類の高炉スラグ微粉末（ブレン値 3,000cm²/g, 5,000 cm²/g, 7,000 cm²/g, 10,000 cm²/g, 密度 2.93g/cm³）および細骨材としての豊浦標準砂、アルカリ刺激材としての水酸化カリウムとした。水酸化カリウムは予め決められた濃度（0%, 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%）で水に溶かしておき、細骨材率 s/m=40%、水粉体体積比 w/p=1.5 でモルタルを製造した。水酸化カリウムを水に溶解すると多量の熱が発生するが、熱によるモルタルのひび割れを防ぐために発熱した水溶液は十分に冷ましてから使用した。モルタル製造後、円柱供試体（Φ50×100mm）を作製し、20℃の水中で28日間養生し圧縮強度試験を行った。

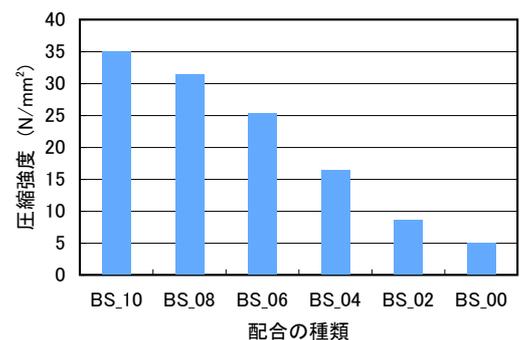


図-1 BS と FA の配合比による圧縮強度

キーワード：ジオポリマー、高炉スラグ微粉末、水酸化カリウム、無水石膏、消石灰

連絡先：〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島高専建設環境工学科 Tel 0246-46-0835

3. 結果および考察

図-1に高炉スラグ微粉末とフライアッシュの配合比と圧縮強度との関係を示す。フライアッシュ混入率を増加するにつれて圧縮強度は比例的に減少しており、高炉スラグ微粉末単味の方が圧縮強度は高くなることが明らかになった。

図-2に高炉スラグ微粉末単味の場合における消石灰量と圧縮強度との関係を示す。消石灰を増加すると圧縮強度も増加するが、それ以上に加えると圧縮強度は低下している。したがって圧縮強度を最大値にする消石灰量が存在するものと推察される。

図-3に高炉スラグ微粉末単味の場合における無水石膏量と圧縮強度との関係を示す。無水石膏量を増加するにつれて圧縮強度は低下しており、無水石膏が少ない方が圧縮強度は増加することが分かる。以上のことより、高炉スラグ微粉末を主としたジオポリマーの圧縮強度は、フライアッシュを使用せず最適な量の消石灰をアルカリ刺激剤として配合することにより最大値となるものと考えられる。

次に、消石灰よりもアルカリ度が高いと考えられる水酸化カリウムをアルカリ刺激剤として用いた高炉スラグ微粉末単味のジオポリマーについて考察する。図-4に高炉スラグ微粉末の粉末度と圧縮強度との関係を示す。水酸化カリウム濃度が10%および30%のケースのどちらにおいても、粉末度が大きい高炉スラグ微粉末を使用した供試体の圧縮強度が高くなった。

図-5にブレン値 $3000\text{cm}^2/\text{g}$ 高炉スラグ微粉末の水酸化カリウム濃度と圧縮強度との関係を示す。水酸化カリウム濃度が0%の時はアルカリ刺激剤が存在しないことから、高炉スラグの潜在水硬性が発揮できずに硬化しなかった。また、水酸化カリウム濃度5%のケースにおいてもアルカリ濃度が低く硬化することができなかった。しかしながら、水酸化カリウム濃度が10%において急激に硬化が始まり、それ以降は水溶液中のアルカリ濃度が異なるにも関わらずモルタルの圧縮強度はほぼ一定だった。

4. 結論

高炉スラグ微粉末を主とするジオポリマーの配合と圧縮強度について、フライアッシュとの配合比やアルカリ刺激剤の種類等の観点から検討した。本実験範囲内で得られた知見を以下に示す。

- (1) 高炉スラグ微粉末を主とするジオポリマーの配合では、フライアッシュや無水石膏を使用せず消石灰を適量使用した配合において圧縮強度の最大値が得られた。
- (2) 消石灰の代わりに水酸化カリウムを使用した場合においては、水酸化カリウム濃度が10%から50%の間では圧縮強度はほぼ同じであった。また、高炉スラグ微粉末の粉末度を増加することにより圧縮強度が増加した。
- (3) 高炉スラグ微粉末単味のジオポリマーモルタルの強度は、アルカリ刺激剤の種類や粉末度を変化させても最大値は $40\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であると推察される。

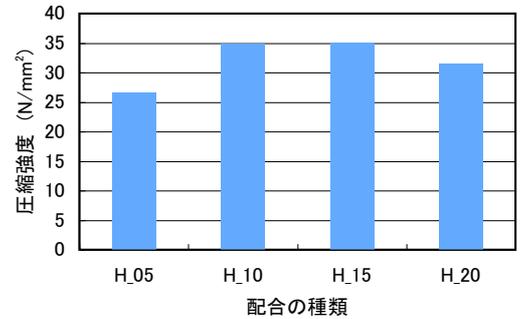


図-2 消石灰量と圧縮強度

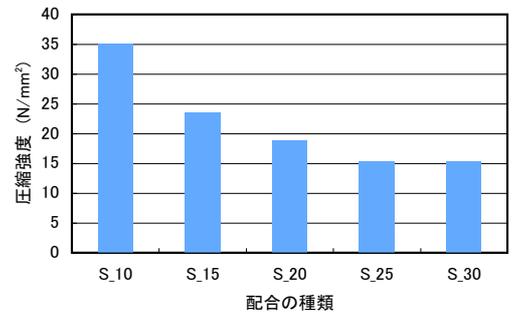


図-3 無水石膏量と圧縮強度

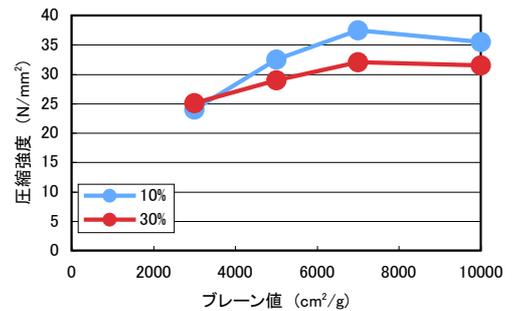


図-4 粉末度と圧縮強度

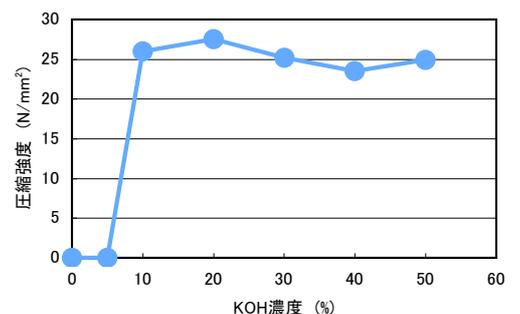


図-5 KOH 濃度と圧縮強度