

フライアッシュのCaO含有量がジオポリマーの圧縮強度に及ぼす影響

Effects of CaO content in fly ash on the compressive strength of geopolymer

趙 宇清* 甲本達也** 近藤文義**

ZHAO Yuqing*, KOUMOTO Tatsuya** and KONDO Fumiyoshi**

はじめに ジオポリマーは、一般にアルカリシリカ溶液（アクティベーター）とアルミノシリカ粉末（フィラー）との反応によって形成された非晶質の縮重合体（ポリマー）の総称^{1,2)}であり、近年は特にポルトランドセメントの代替物としての利用が注目されている新しい材料である。通常は、アルカリシリカ溶液として市販の珪酸ナトリウム溶液、アルミノシリカ粉末として火力発電所から排出される石炭灰（フライアッシュ）が使用されている^{3,4)}。しかし、珪酸ナトリウムと比較してフライアッシュの化学成分は原産地によって大きく異なり⁵⁾、化学成分の違いがジオポリマーの力学性や流動性に及ぼす影響についてはほとんど検討されていないのが現状である。本報は、フライアッシュのCaO含有量の違いがジオポリマーの圧縮強度に及ぼす影響について実験的に検討したものである。

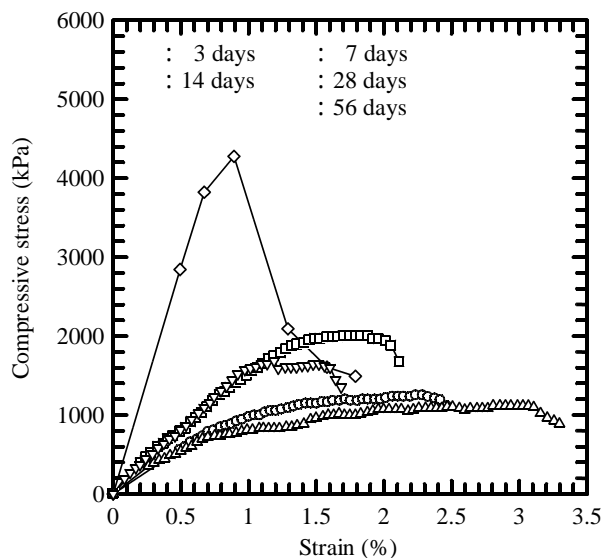
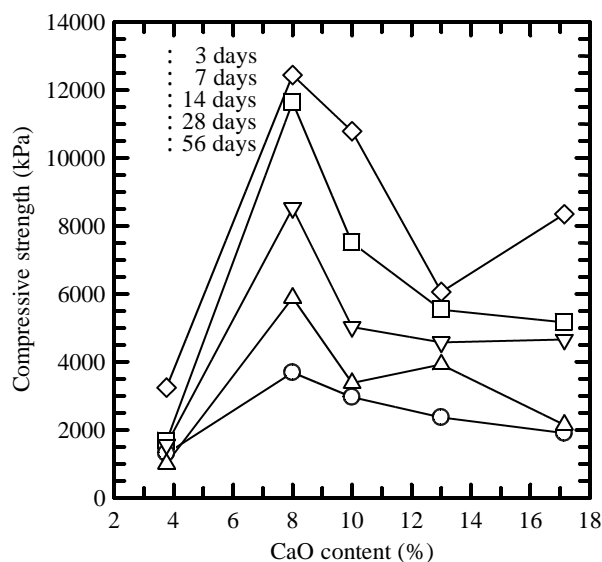
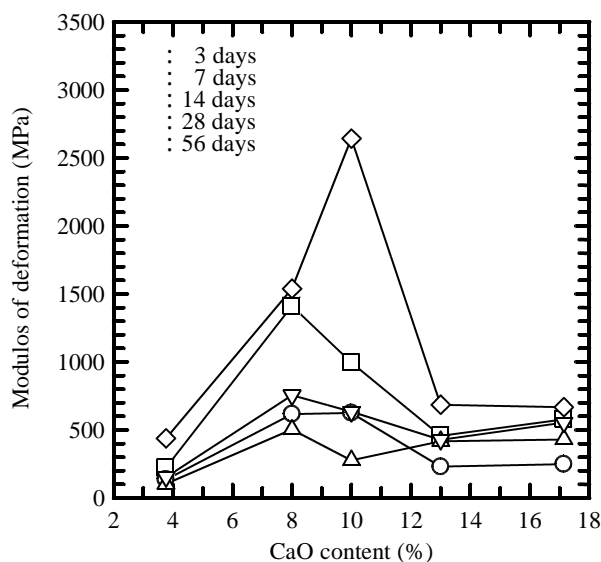
ジオポリマーの配合と実験方法 ジオポリマーは、アクティベーター（活性剤）として1号の珪酸ナトリウム溶液と水道水とを重量比で1:1に混合した溶液を使用し、フィラー（充填剤）としてフライアッシュ使用し、両者を重量比で2:3に配合して作製した。Table 1は、Nishidaら³⁾が使用したタイ産のフライアッシュおよび本研究で使用した松浦産のフライアッシュの化学組成を示したものである。ジオポリマーの硬化過程に関わりがあると推定される因子の中で、両フライアッシュにおいて最も大きな違いが認められるのは酸化カルシウム（CaO）の含有量である。そこで本研究では、松浦産フライアッシュに市販のCaO粉末を添加し、CaO含有量を3.76%（無調整）、8%、10%、13%、17.14%（タイ産相当）に調整した。練り混ぜて作製したジオポリマーを内径50mm、高さ100mmのプラスチックまたはプリキ製の型枠に充填して供試体を作製後、底部に水を張った湿潤箱に室温で養生した。供試体個数は各材齢毎に3個とし、養生期間（材齢）は3日、7日、14日、28日、56日の5段階とした。一軸圧縮試験は通常の土質試験の方法に準拠し、圧縮応力-ひずみ曲線から圧縮強度と変形係数を求めた。

実験結果および考察 Fig.1は、CaO含有量が3.76%（無調整）の場合におけるジオポリマーの各材齢毎の圧縮応力-ひずみ曲線の一例を示したものである。全ての材齢において、応力はひずみの増加と共に増加し、若材齢の場合は明瞭なピークを示さないが、材齢が経過するに連れて応力とひずみの関係は軟らかい土の性質から硬いコンクリートの性質へ変化し明瞭なピークを示すようになった。また、材齢が経過するに連れて圧縮強度の増加が顕著になり、最大圧縮応力時のひずみは小さくなった。Figs.2,3は、フライアッシュのCaO含有量を3.76%から17.14%に順次増加させた場合における各材齢毎の圧縮強度と変形係数の変化を示したものである。CaO含有量に拘わらず材齢の経過と共に圧縮強度と変形係数は増加し、CaO含有量が8~10%の場合に最大値を示しているのが特徴である。ジオポリマー供試体そのものの硬化現象は脱水を伴う縮重合反応^{1,2)}であるが、CaO含有量

* 佐賀大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Science, Saga University) ** 佐賀大学農学部 (Faculty of Agriculture, Saga University) キーワード：ジオポリマー、フライアッシュ、酸化カルシウム

Table 1 Chemical components of fly ash

Component	% by weight	
	Thai	Matsuura (JIS)
SiO ₂	48.07	63.31
CaO	17.14	3.76
Al ₂ O ₃	13.26	22.84
Fe ₂ O ₃	12.66	3.67
SO ₃	2.72	0.50
K ₂ O	2.43	1.00
MgO	1.58	0.79
TiO ₂	-	0.76
P ₂ O ₅	0.12	-
MnO ₂	0.11	0.12
V ₂ O ₅	-	0.11
ZnO	0.05	0.30
Cl	0.03	0.03
Cr ₂ O ₃	0.02	-
Others	1.81	2.68

**Fig.1** Example of stress-strain relationship**Fig.2** Relationship between compressive strength and CaO content**Fig.3** Relationship between modulus of deformation and CaO content

が多くなるに連れて膨張および発熱反応が顕著に観察され、また硬化速度は早く硬化後の供試体は著しい脆性を示すようになった。CaOは、本来強い吸水作用 ($\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$) を有しているため、不均一性の欠点はあるが浚渫粘土のような高含水比の軟弱粘土に対する短時間での固化処理材として一般に使用されている。このことから、本実験の結果はジオポリマーの脱水過程とCaOの吸水過程とが釣り合った状態で最大の強度特性が発揮されたことによるものと推定される。

引用文献 1) 池田 功 (1998) : 資源と素材, **114**(7), 497-500. 2) 甲本達也 (2009) : 佐賀大農彙, **94**, 15-22. 3) Nishida, K. et al. (2008) : *Proc. of the 2nd TISD Conference, Khon Kaen*, 164-167. 4) Sinolungan, M. T. M. et al. (2008) : *Trans. JSIDRE*, **257**, 35-41. 5) 趙 宇清他 (2008) : 第89回農業農村工学会九州支部講演集, 156-159.