

混合フライアッシュを使用したジオポリマーの圧縮、引張、曲げ強度について

Compressive, tensile and bending strengths of geopolymers using mixed fly ash

○近藤文義* ト部大輔** 森山尚純** 甲本達也***

○KONDO Fumiyoshi*, URABE Daisuke**, MORIYAMA Naozumi** and KOUMOTO Tatsuya***

I. はじめに ジオポリマーは、近年、ポルトランドセメントの代替材料としての利用が注目され始めている新しい材料であり（池田，1998；上原，2008），特に火力発電所から排出されるフライアッシュ（石炭灰）の資源としての有効利用という点において期待されている。しかし、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、その結果、ジオポリマーとしての硬化特性にも顕著な差が生じる結果となる（Nishida et al., 2008；趙ら，2010）。また、フライアッシュの排出状況は火力発電所によっては必ずしも時期的に一定ではなく、ジオポリマーを現場施工に用いる場合は異なるフライアッシュを混合して使用せざるを得ないこともある。本報は、化学成分の異なる2種類のフライアッシュを混合したジオポリマーの圧縮、引張、曲げ強度について実験的に検討したものである。

II. ジオポリマーの配合と実験方法 使用したフライアッシュは、九州電力荻田発電所（福岡県）産および同松浦発電所（長崎県）産の2種類である。フライアッシュの混合比は、重量比でそれぞれ荻田100%，荻田75%松浦25%，荻田50%松浦50%，荻田25%松浦75%，松浦100%とした。また、アクティベーター（活性材）として安価なメタ珪酸ソーダ粉末をフライアッシュの重量比1/15にて使用した。本実験においては、ジオポリマーとしてのワーカビリティを一定にするため、モルタル用のフロー試験器を用いて落下回数15回時でのフロー値が200mmとなるように練り混ぜ水量を調整した。練り混ぜて作製したジオポリマーを内径50mm，高さ100mmのプラスチック製の型枠に充填して供試体を作成後、底部に水を張った湿潤箱に室温で養生した。供試体個数は各実験の各材齢毎に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。これらのうち、材齢7日と28日の供試体について引張試験と曲げ試験を行った。圧縮強度は通常の土質試験の一軸圧縮試験から、引張強度は一軸圧縮試験の供試体を利用した割裂試験から、曲げ強度はモルタル3連型枠にて作成した角柱供試体を利用した2等分点載荷試験からそれぞれ求めた。

III. 実験結果および考察 Table 1は、使用した2種類のフライアッシュの化学組成を示したものである。荻田産フライアッシュは原粉、松浦産フライアッシュはJIS灰であるため、SiO₂の含有量に違いがある。また、荻田産フライアッシュは松浦産フライアッシュと比較してCaOとSO₃が非常に多いのが特徴である。このことから、荻田産フライアッシュにおいてはジオポリマーとしての脱水縮重合反応に加えて、フライアッシュ自体のポゾラン反応による強度発現（山本・金津，2007）もあると予想される。Fig.1は、両フライアッシュをそれぞれ単独で使用した場合のジオポリマーの圧縮強度 (f_c) と材齢 (t) との関係である。松浦灰を使用した場合に強度のばらつきは大きく、何れのジオポリマーにおいても材齢28日以降の強度増加は見られないが、荻田産フライアッシュを使用した場合の方が約2～3倍の圧縮強度を示している。Fig.2,3は、混合フライアッシュを使用したジオポリマーの圧縮強度と引張強

*佐賀大学農学部 (Faculty of Agriculture, Saga University) **佐賀大学大学院農学研究科 (Graduate School of Agricultural Sciences, Saga University) ***佐賀大学名誉教授 (Professor Emeritus, Saga University)

キーワード：フライアッシュ，ジオポリマー，強度特性

Table 1 Chemical components of fly ash

| Component | % by weight | |
|--------------------------------|-------------|----------------|
| | Kanda | Matsuura (JIS) |
| SiO ₂ | 38.76 | 63.31 |
| CaO | 19.45 | 3.76 |
| Al ₂ O ₃ | 24.25 | 22.84 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.62 | 3.67 |
| SO ₃ | 6.62 | 0.50 |
| K ₂ O | 0.05 | 1.00 |
| MgO | 0.54 | 0.79 |
| TiO ₂ | 0.74 | 0.76 |
| MnO ₂ | 0.03 | 0.12 |
| V ₂ O ₅ | — | 0.11 |
| ZnO | 0.29 | 0.30 |
| Cl | 0.13 | 0.03 |
| Others | 7.52 | 2.81 |

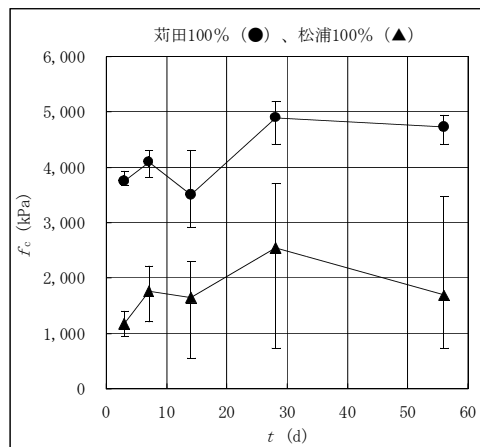


Fig.1 Relationship between f_c and t

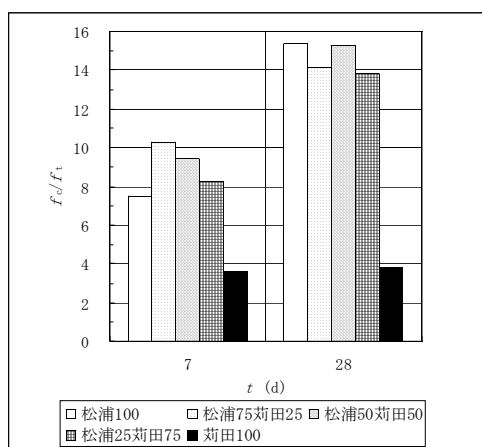


Fig.2 Relationship between f_c/f_t and t

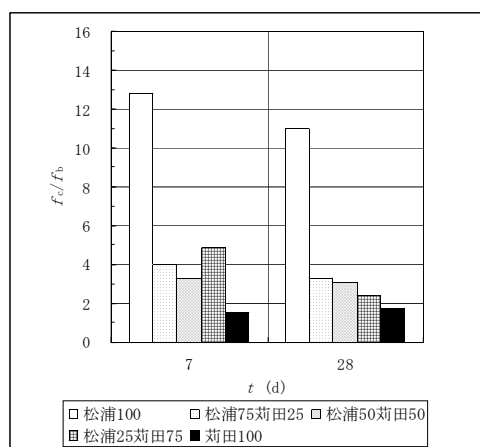


Fig.3 Relationship between f_c/f_b and t

さ (f_t) との比, 圧縮強度と曲げ強度 (f_b) との比をそれぞれ示したものである. 材齢の経過に伴い, 引張強度比は増加するが, 曲げ強度比はほぼ同等である. 一般に, コンクリートの圧縮強度の引張強度比は約10~13程度であり, 曲げ強度比は約6~7程度であることが知られている. このことと比較すれば, 荻田産フライアッシュのみを使用したジオポリマーは引張および曲げ強度の両面に優れている反面, 松浦産フライアッシュを使用したジオポリマーの引張強度比はコンクリートと同等であるが, 曲げ強度比は非常に劣っていることが分かる. また, 荻田灰の25%を松浦灰に置き換えただけで引張強度比は松浦灰単独の場合とほぼ等しくなるが, 曲げ強度比は荻田灰単独の場合とさほど変化していない結果となった.

引用文献 1) 池田 功 (1998): 資源と素材, **114**(7), 497-500. 2) Nishida, K. et al. (2008): *Proceedings of the 2nd TISD Conference, Khon Kaen*, 164-167. 3) 上原元樹 (2008): 鉄道総研報告, **22**(4), 41-46. 4) 森 宏介ら (2004): 第39回地盤工学研究発表会発表講演集, 583-584. 5) 山本武志, 金津 努 (2004): 土木学会論文集E, **63**(1), 52-65. 6) 趙ら (2010): 農業農村工学会論文集, **270**, 1-7.