

混合セメントモルタル中のフライアッシュの ガラス質組成と圧縮強度との相関性

日大生産工(院) ○増田 翔平 日大生産工 鶴澤 正美

1 緒言

フライアッシュ(石炭灰、以下FAと略記)は石炭火力発電所で排出された燃焼灰であり、セメント分野などで再利用されている資源である。現在、東日本大震災の影響により原子力発電所の稼働率が大幅に低下しており、それを補うため火力発電所の稼働率が上昇している。加えて石炭は天然ガスに比べて安価なため石炭火力発電が多く使用されている。ゆえにFAの排出量が急増しており、近年の年間排出量は約959万t¹⁾を上回っている²⁾。FAの使用用途は大きく2通りで、セメントの原料として500万t、セメント・コンクリート用混和材として65万tが建設資源として有効利用されている。しかし、埋め立て資源として利用されるものも多く、未だに資源として生かし切れていない面もある。その要因としてボゾラン反応が起こる時期が材齢1ヵ月以降からと非常に遅く、さらに各発電所によってFAに含まれる成分比が異なることから強度増進に差異が発生してしまう。一方、高炉スラグはFA同様、コンクリートの強度を高めることができるが、強度増進の時期が養生1ヵ月以内とかなり早い。早期の緻密化ができるため一般用途から海水域に使用できるなど用途が広く、セメント分野の材料としてはFAよりも優位な位置づけにある。これまでアルカリ刺激を与えたペーストの比抵抗を計測することで、材齢28日の活性度指数を迅速に推定する方法³⁾やFAの材齢28日における活性度指数を初期材齢での積算温度を考慮することで、早期に推定する方法⁴⁾に着目した研究はあるが、ガラス質に着目した研究例は少ない。本研究では、FAを添加したセメントの圧縮強度をFAの組成や構造から、そのガラス質に着目し強度推定ができないか可能性を探った。すなわちFAのガラス質組成を検討し、FAを混合したモルタルの強度を測定することによって、組成と強度の関係を導き、試験をすることなく化学組成

と鉱物組成から計算された経験式によって圧縮強度を推定することを目的とした。

2 実験方法および測定方法

本研究では普通ポルトランドセメントの質量25%をFAに置換したモルタルの圧縮強度を測定した。FAは全部で7種類(Ⅱ種又は原粉)、含有成分の種類は同じで成分比は異なる。使用材料は水道水(W)・普通ポルトランドセメント(C)・7種類のFA・JIS標準砂(S)とし、Table-1に配合表を示す。型枠にはφ50×100 mmのスチール製円柱型枠を使用した。圧縮強度試験はJIS A 6201 附属書2に準拠して測定した。荷重速度は0.2 N/secで行い、供試体は規格条件に合うよう、研磨機で形成した。なお供試体は4本ずつ測定し、その平均を測定値とした。

Table-1 Composition of FA mortar

FA/(C+FA)(%)	(kg/m ³)			
	W	C	FA	S
0	225.0	450.0	0.0	1350.0
25	225.0	337.5	112.5	1350.0

3 実験結果および検討

モルタルを水中養生し、材齢が1ヵ月と3ヵ月になったものを圧縮試験機で測定した。FAが未混入の供試体をFA0、各FAを25%置換させたものをFA1~7とした。FAの化学組成は結晶質とガラス質に分かれており、その中で反応に寄与するのはガラス質であると考えている。そこでガラス質と圧縮強度との相関性を確認したが相関係数R²は0.379と低かった。そのため材齢1ヵ月の圧縮強度と全成分をモル換算したもので再計算し、さらに酸素と元素の比、すなわちO/M比(M=Ca+Si+Al+Fe+Mg+Na+K)と表記した場合の図がFig-1である。比較的高い相関のあるグラフを作成することができた。

Correlativity between Glassy Composition of Fly Ash in Blended Cement Mortar and Compressive Strength

Shohei MASUDA, Masami UZAWA

同様に横軸に材齢3カ月の圧縮強度でも検討した。その結果、相関係数が0.144と明らかに異なる。材齢1ヵ月強度の相関係数が0.5以上も高い要因としては1ヵ月強度では、化学成分が異なることで反応の差異つまり強度増進の速さに影響を及ぼすが、3ヵ月ともなると全てのFAがポズラン反応による強度増進を起こしてしまい圧縮強度差が小さく、化学成分の差異による影響があまりないためであると考えている。この結果より相関係数を比較する場合においては材齢1ヵ月の圧縮強度で比較することが最適であると確認できた。次に圧縮強度とアルカリ金属に属するNaとKのみに着目しNaとKがマイナスの挙動を示すことを検討した

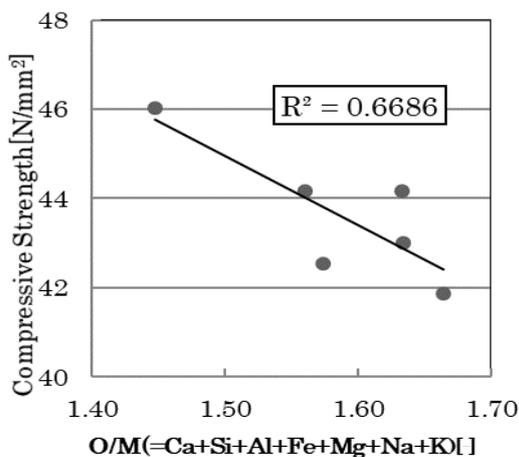


Fig-1 Relationship between Compressive Strength of One Month Age and Glassy Composition1

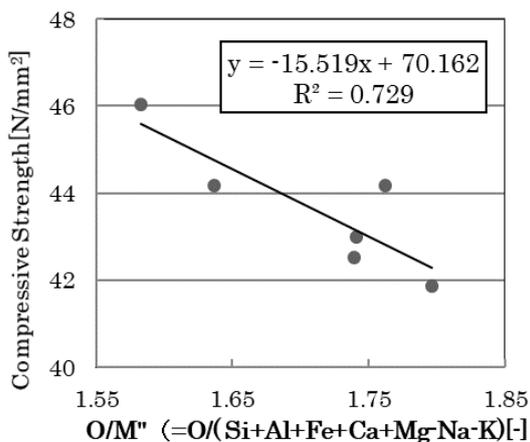


Fig-2 Relationship between Compressive Strength of One Month Age and Glassy Composition2

比を横軸にした図をFig-2に示した。結果としては0.7290とより高い相関を得ることができた。以上のことから、本実験の範囲並びに考察の範囲では、FAを混合したモルタルの材齢1ヵ月の圧縮強度は、ガラス質のモル比すなわち $O/(Si+Al+Fe+Ca+Mg+Na+K)$ と相関が高く、この式を用いることによりおおよその圧縮強度が推定できることが判明した。

4 まとめ

- 1) FAは結晶質とガラス質が含まれており、ガラス質組成が強度増進を起こすポズラン反応に影響を及ぼす。
- 2) FA混合モルタルの圧縮強度とガラス質組成の相関性は材齢1ヵ月の供試体のものが適している。
- 3) ガラス質成分は酸素／元素比で示すのがよく、相関係数 R^2 が最も高い場合が0.7290であった。この時の横軸は酸素と元素比を $O/(Ca+Si+Al+Fe+Mg+Na+K)$ としたときであり、得られた回帰式は、以下の式で示される。

$$y = -15.519x + 70.162, R^2 = 0.7032$$

$$y: \text{材齢1ヵ月の圧縮強度 [N/mm}^2\text{]}$$

$$x: O/(Ca+Si+Al+Fe+Mg+Na+K)$$
- 4) 材齢3ヵ月ではフライアッシュ混合モルタルの強度差が少ないため、相関係数は低かった。このことから圧縮強度の推定を化学組成から推定する場合は、ポズラン活性の反応途中の適切な材齢で行うことが好ましい。

「参考文献」

- 1) 日本フライアッシュ協会:石炭灰ハンドブック-Coal Ash Handbook-(第6版), p.I-14
- 2) 加賀谷侑杜, 黒岩拓馬:セメントをフライアッシュで置換したモルタルの低熱オートクレーブ養生による圧縮強度特性に関する研究, 環境安全工学科卒業研究概要集, pp55-58 (2016).
- 3) 佐藤道生ほか, 比抵抗に着目したフライアッシュの活性度指数の推定方法, 土木学会第66回年次学術講演会, pp631-632 (2011)
- 4) 石川嘉嵩, コンクリート用フライアッシュのJISにおける活性度指数に関する-考察, 日本建築学会技術報告書, Vol.18, No. 40, pp.819-822 (2012)