

フライアッシュ原粉を用いたコンクリートの強度発現性に 及ぼす養生温度の影響

○福岡大学大学院 学生会員 崔林 福岡大学 正会員 樋原弘貴
福岡大学大学院 正会員 添田政司 福岡大学 正会員 大和竹史

1.はじめに

循環型社会に向けて、副産物の1つであるフライアッシュ(以下、FAと称す)はJIS A 6201にJIS化され、コンクリートへの利用及び研究が進められているが¹⁾、JIS規格外とされるFA原粉に関しては、品質が大きく変動するため、コンクリート混和材としての利用は極めて少なく、再利用されずに最終処分場に埋め立て処分されているのが現状である。また、一般土木構造物においては、主に高炉セメントB種(以下、BBと称す)を使用されているため、本研究では、JIS規格外の分級される前のFA原粉とBBを用いて、セメントあるいは細骨材の一部にFA原粉を置換したコンクリートの強度発現性に養生温度が及ぼす影響について検討を行った。

2.実験概要

表-1にコンクリートの配合を示す。表-2に使用材料及び物性を示す。表-3にFA原粉の化学的・物理的性質を示す。今回用いたFA原粉の化学的・物理的物性においてJIS規格値を満足するものとなっているが、品質管理項目であるメチレンブルー吸着試験において規格外となったため、FA原粉として処理されている。表-1に示す配合3種は、FA原粉無混和のBB、細骨材の容積にFA原粉を10%置換したもの(外割)をFA原粉10EX、セメントの質量にFA原粉を20%置換したもの(内割)をFA原粉(20)である。いずれの配合も目標スランプは $8\pm1\text{cm}$ 、空気量を $4\pm1\%$ とした。なお、FA原粉を混和したものにはマイクロエアー785を使用した。

圧縮強度試験は、 $\phi 100\times 200\text{mm}$ の円柱供試体を作製し、 10°C 、 20°C 、 30°C の水中養生を行い、材齢7、28、56、91日でJIS A1108に準じて行った。

3.実験結果

図-1に養生温度ごとの圧縮強度の試験結果を示す。いずれの配合においても、養生条件に拘わらず材齢の経過に伴って強度は増加しているが、強度発現性は養生温度によって異なる。FA原粉(20)の場合、いずれの温度においても、初期材齢の圧縮強度は小さく、 20°C 水中養生を除き材齢91日でBBを下回る結果となった。これは、セメントにFAを置換したことで、セメント単位量が少なくなったことが影響したと考えられる。一方、FA原粉10EXの 10°C 、 20°C 水中養生での圧縮強度は、材齢7日では、BBよりも小さいが、材齢91日でそれ以上になる傾向にあった。 30°C の水中養生では、初期強度はBBよりも大きい、材齢91日になると同程度となった。

表-1 配合表

配合名	W/(C+F) (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)							sl	air
			W	C	F	S	G	AE剤	AE減水剤	(cm)	(%)
BB	55%	45	162	295	—	807	1021	0.012	5.66	9	3.8
BB-FA原粉 10EX		40	156	284	64	651	1147	0.096	3.52	8.9	3.2
BB-FA原粉 (20)		42	153	223	56	768	1098	0.089	2.67	7.1	3.4

表-2 使用材料

略語	材料	物理的性質
BB	高炉セメントB種4000プレーン	密度(3.02g/cm^3) 比表面積($3.82\text{cm}^2/\text{g}$)
FA原粉	フライアッシュ原粉	密度(2.29g/cm^3) 比表面積($4.21\text{cm}^2/\text{g}$)
S	細骨材(海砂)	表乾密度(2.58g/cm^3) 吸水率(1.61%)
G	粗骨材(碎石)	表乾密度(2.67g/cm^3) 吸水率(1.14%)

表-3 FA原粉の化学的・物理的性質

試験項目	FA原粉	JIS規格値 (FAⅡ種)
密度(g/cm^3)	2.29	1.95以上
比表面積(cm^2/g)	4213	2500以上
$45\mu\text{m}$ ふるい残分(%)	13.7	40以下
強熱減量(%)	2.2	5.0以下
湿分(%)	0.1	1.0以下

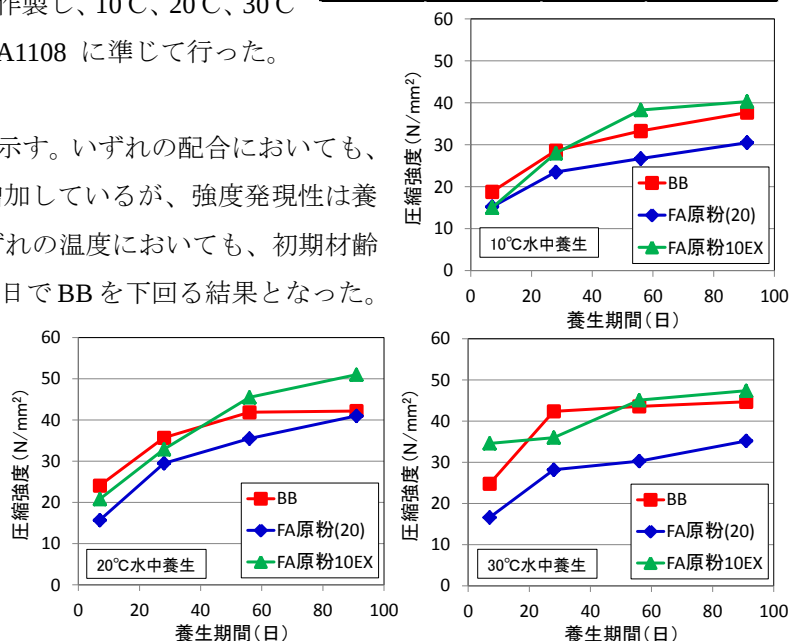


図-1 養生温度と圧縮強度の関係

図-2 に、材齢ごとの 20℃水中養生に対する圧縮強度比を示す。BB における 20℃養生に対する強度発現性は、10℃の低温養生より 30℃の高温養生方が大きい結果となった。FA 原粉 (20)においては、10℃、30℃養生共に初期材齢での強度発現性は 20℃とあまり差はないが、材齢の経過に伴って小さくなった。FA 原粉 10EX の場合は、10℃養生では、いずれの材齢でも小さく、30℃養生では、初期材齢で顕著に大きくなっている。以上のことから、いずれの配合においても、低温養生になると強度発現性が遅延され、FA 原粉 10EX の場合には、高温養生になると強度発現が顕著に現れることが分かった。

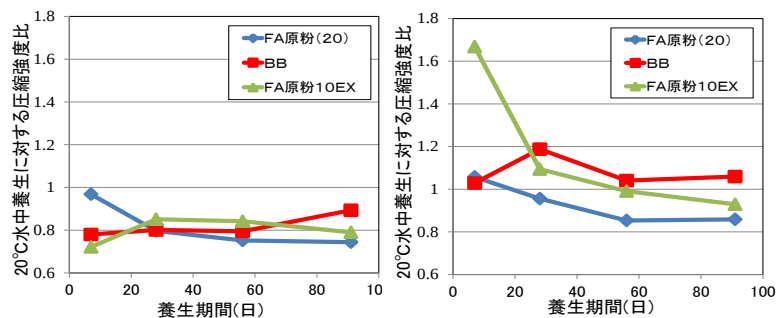


図-2 養生温度の違いと圧縮強度比の関係

$$M = \sum_{Z=1}^n (\theta_Z + 10) \times Z \quad (1)$$

$$F'c = aM / (M + b) \quad (2)$$

圧縮強度試験の結果を基に、式(1)を用いて積算温度を算出した²⁾。また強度発現性に対して式(2)の分数関数で近似曲線を与えた。ここに、M:積算温度(℃・日)、Z:材齢(日)、 θ_Z :材齢 Z におけるコンクリートの温度(℃)、 $F'c$:圧縮強度(N/mm²)、a,b:各配合に対して決定される係数であり、係数 a は終局的な強度を示す係数であり、係数 b は強度発現速度を表す係数である。図-3 に配合別の積算温度と圧縮強度の関係を示す。積算温度と圧縮強度の関係は、配合の種類によりばらつきはあるが、概ね分数関数による近似曲線上にあることから、積算温度より圧縮強度を示すことができた。

各配合に対する近似曲線の係数を表-4に示す。係数aは、FA原粉10EXが最も大きく、BB、FA原粉(20)の順になった。係数bは、BB配合、FA原粉配合で著しく異なっており、強度発現が大きい順にBB、FA原粉10EX、FA原粉(20)となった。また、コンクリート標準示方書に示されるBBの配合の

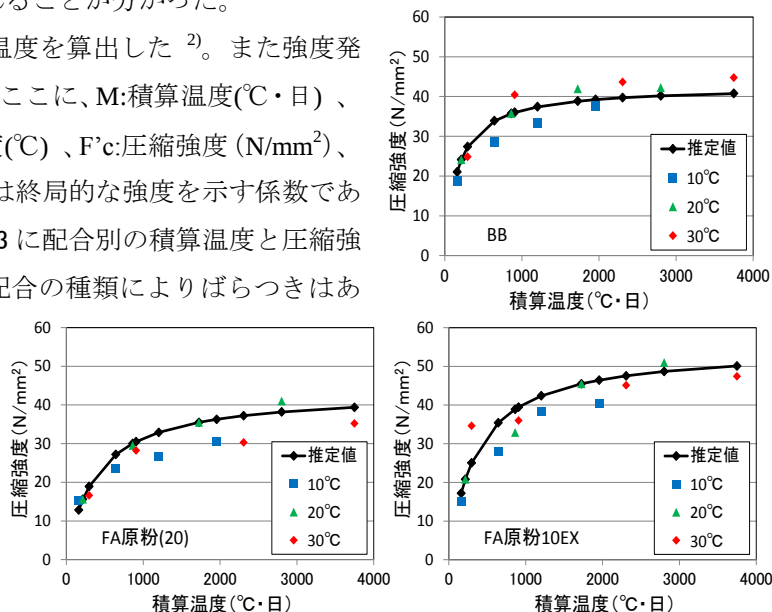


図-3 積算温度と圧縮強度の関係

表-4 各配合に対する近似曲線の係数

	BB	FA原粉10EX	FA原粉(20)
係数a	45.8	50.8	39.1
係数b	238.7	321.1	349.1

表-5 コンクリート示方書養生期間の標準

日平均温度	普通ポルトランドセメント	混和セメント B種	早強ポルトランドセメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	6日

表-6 FA 原粉コンクリートの養生日数

	FA原粉10EX	FA原粉(20)
20℃	9日	18日
5℃	13日	24日

表-5に示される養生期間の標準日数から強度を求めた。そのBB配合と同等の強度になるために必要なFA原粉配合の養生日数を式(2)と各配合の近似曲線の係数から求めた結果を表-6に示す。この結果から、BBおよびFA原粉10EXは同程度の養生日数になるのに対して、FA原粉(20)においては、約2倍の養生日数となることが分かった。

4.まとめ

- (1) 低温養生になると強度発現が遅延するが、FA 原粉 10EX の場合には、高温養生になると顕著な強度発現性が得られた。
- (2) 積算温度と圧縮強度は養生温度が異なっても、高い相関性があるため、積算温度による強度管理は可能である。
- (3) BB 配合と比べて必要な養生期間は、FA 原粉をセメントに置換した場合には2倍になるものの、細骨材に置換した場合には同程度となることが分かった。

<参考文献>

- 1) 土木学会：循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術 2009
- 2) 久我龍一郎ら：高炉セメントコンクリートの強度発現性に及ぼす養生条件の影響 コンクリート工学年次論文集 Vol. 28, No1, 2006