

高炉セメント B 種を用いたコンクリートの研究支援

—FA 混和材利用高炉セメントコンクリートの低温下における強度発現—

友田祐一^{A)}，戸田善統^{A)}，池崎智美^{A)}，重石光弘^{B)}

A) 環境建設技術系（構造解析ワーキンググループ）

B) 工学部社会環境工学科

1. はじめに

近年，高炉セメント B 種（以下 BB セメント）を用いたコンクリート（BB コンクリート）が多く利用されている。従来 BB セメントには水和熱の低減効果があった。しかし，現場の要望から初期強度を向上させたことで，本来あった水和熱の低減効果が抑えられ，さらに乾燥収縮ひび割れによって長期強度が低下する結果となった。そこで，フライアッシュ（以下 FA）を混和材として利用した FA 混和材利用高炉セメントコンクリート（以下 FA+BB コンクリート）が注目されている¹⁾。FA を混和剤として利用することで，長期強度の向上のほか流動性の改善等も期待できる。また一昨年発生した震災の影響により火力発電の需要が高まっており，石炭灰から生産される FA の利用は環境負荷低減の観点からも，今後ますます増えていくと考えられる。特に，石炭火力発電により発生する FA を貴重な資源と認識し，地産地消の観点より，利用の拡大が望まれる。

しかし FA+BB コンクリートの普及に際し，現場での適切な利用方法が確立されていないのが現状である。特に低温下における利用については，その事例が少なく十分な知見が得られていない。よって本研究では，FA 混和材利用高炉セメントコンクリートの低温化における強度発現について検証する。

2. 凝結時間測定

凝結時間測定の方法として，貫入針を用いた貫入試験²⁾を実施した。コンクリートから粗骨材を取り除いて得られたモルタルに対し，針を貫入させ，そのときの荷重を針の断面積で除することで得られる貫入抵抗値と，経過時間を計測した。貫入抵抗値が 3.5N/mm^2

表 - 1 配合表

FA 置換率 (%)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水結合材比		単位量 (kg/m^3)				空気量 (%)
		W/B(B=C+FA) (%)	水 W	BB セメント C	FA	細骨材 S	粗骨材 G	
0	20	55	165	300	0	784.4439	1125.991	6
5	20	55	164.087	283.4229	14.917	784.4439	1125.991	6
10	20	55	163.184	267.0283	29.66981	784.4439	1125.991	6

になるまでの時間を始発時間， 28.0N/mm^2 になるまでの時間を終結時間という。この試験によって，FA 混和材利用高炉セメントコンクリートの凝結特性を把握し，低温下における初期材齢時の養生が凝結に与える影響を観察した。

3. 実験概要

3.1 配合

本実験では FA を内割り 0%，5%，10% で BB セメントと置換した配合を考えた。その際，強度発現の影響を与える要因が限りなく FA の添加量のみとし，骨材の体積と空気量はいずれも一定とし，残りの体積内における水結合剤比，FA 置換率が一定として，水，セメント，FA の量を調節した。よって今回は示方配合として扱わず，各素材量の小数点以下は省略していない。また，試験練りによるスランプ，空気量の調節も行わない。以上のようにして決定した配合を表-1 に示す。各素材の密度は表-2 に示す。

表-2 素材密度

材料	密度 (g/cm^3)
BB セメント	3.02
FA	2.33
細骨材（表乾）	2.58
粗骨材（表乾）	3.03

3.2 低温気中養生

一般に，日中平均気温が 4°C 以下となる場合は寒中コンクリートとして扱う³⁾。そこで養生温度を 4°C 以下とするが， 0°C 近い低温にすると凝結不良を起こす可能性が考えられるため，本研究では養生温度を 4°C とした。温度を一定に保つため養生には環境試験機を用いるが，

その際、環境試験機内では、急激な感想を防ぐため相対湿度は95%とした。

また、養生温度による圧縮強度・凝結時間への影響をより明確にするため、使用する材料は練り混ぜ前日から20±2℃の恒温室内で保管した。

4. 試験結果と考察

4.1 スランプと空気量

練り混ぜにはオムニミキサを使用した。練り混ぜ後のスランプと空気量を表-3に示す。練り混ぜは20℃養生の供試体用に1回、4℃養生の供試体用に1回の計2回行った。結果として十分なスランプは得られなかったが、FA添加による向上は見られた。空気量の減少は、FAが微細粒かつ球状であるため、より密実性が増したためと考えられる。

表-3 スランプ，空気量

FA 置換率	20℃		4℃	
	スランプ	空気量	スランプ	空気量
0%	1.3	1.9	1.5	1.8
5%	2.5	1.8	1.9	1.6
10%	2.8	1.7	2.4	1.3

4.2 圧縮強度試験

試験に用いる供試体は、直径10cm、高さ20cmの円柱供試体で、置換率0%、5%、10%に対して圧縮強度を求めた供試体3本の平均値を図-1に示す。

図より置換率0%では20℃と4℃で約半分の強度となっている。ここで、20℃ではFAの置換率を上げると強度が減少していることがわかる。これは、FAと水和生成物によるポズラン反応がまだ十分でないことから、水セメント比の上昇が原因であると考えられる。逆に4℃養生では、置換率に影響されていない。空気量の減少に見られるように、粒子による密実性の向上が、若干の強度の上昇に表れたと考えられる。

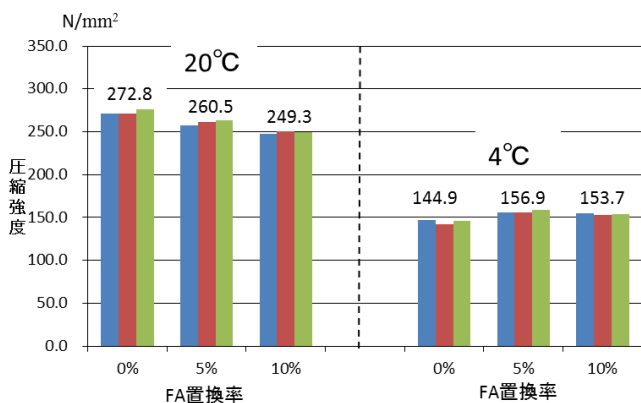


図-1 28日圧縮強度

4.3 貫入試験

貫入試験用の供試体は、直径16cm、高さ16cmの鋼製の容器で、各置換率に対し1本ずつ作成した。試験結果を図-2、表-4に示す。

図-2より、20℃では貫入抵抗値18N/mm²あたりから急激な上昇をみせているが、4℃では23N/mm²あたりから上昇を見せている。それ以前ではどちらも緩やかな曲線を描いている。また20℃では、すべての置換率で抵抗値の減少または停滞する時間帯がみられるが、4℃では確認できなかった。

表-4より、20℃と4℃では置換率ごとに、始発まで約2倍、終結まで約3倍の時間を要した。ここで、4℃ではFA置換率5%と10%において大きな差異は認められなかった。

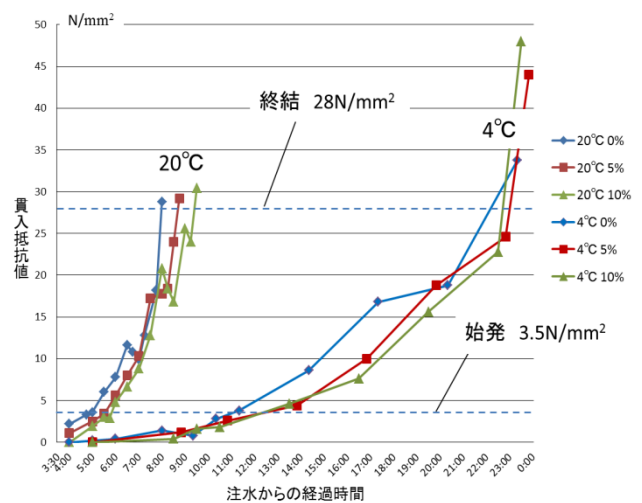


図-2 養生温度20℃、4℃の凝結比較

表-4 始発時間，終結時間

養生温度	FA 置換率	始発時間	終結時間
20℃	0%	4:55	7:59
	5%	5:31	8:42
	10%	5:50	9:24
4℃	0%	11:02	22:10
	5%	12:20	23:01
	10%	12:19	22:42

参考文献

- 1) 高炉セメントを用いたコンクリートの施工初期に発生するひび割れに対するフライアッシュの効果に関する実験的研究
コンクリート工学年次論文集, Vol.31.No.1(2009)
- 2) JIS A 1147 「コンクリートの凝結時間試験方法」
- 3) コンクリート標準示方書 [施工編], 2008, 土木学会