

フライアッシュコンクリートの低温強度発現性

北電総合設計(株) 正会員 ○齋藤 敏樹

北海道電力(株) 正会員 中井 雅司

北電興業(株) 正会員 高橋 昌之

1. はじめに

近年、資源の有効利用および環境問題の観点から産業副産物の利用が推進されてきている。電力業界においても石炭火力発電所から副産されるフライアッシュの有効利用が進められているが、海外炭を使用することによるフライアッシュの品質変動、強度発現性および耐久性などが懸念され、コンクリート混和材としての利用は進んでいない現状にある。本報告は、市場に流通している品質管理された海外炭フライアッシュを使用したコンクリートの低温強度発現性を把握した。

2. 実験概要

使用材料を表-1に、実験ケースを表-2に示す。コンクリートの配合は、水結合材比を3水準、フライアッシュ置換率を15%および25%の2水準とした。練混ぜは、二軸強制練りミキサ(容量55L)を使用し、4分間練混ぜた。圧縮強度試験はJIS A 1108に準拠し、養生方法は材齢1日までは封緘養生し、その後所定材齢まで水中養生した。養生温度は20℃および5℃の2水準とし、コンクリートの練上がり温度も養生温度と同一になるように調整した。なお、普通セメントコンクリートをN、高炉セメントB種コンクリートをBB、フライアッシュコンクリートのうちフライアッシュ置換率15%をFB、フライアッシュ置換率25%をFCという。

3. 実験結果および考察

3.1 圧縮強度

圧縮強度試験結果を図-1に示す。養生温度20℃の場合、FBはNより水結合材比を5%減少させると材齢28日までの圧縮強度はNと同程度か若干低いが、材齢91日以降の圧縮強度はNより高い。また、BBより水結合材比を5%減少させると材齢28日までの圧縮強度はFBの方がBBより高いが、それ以降材齢364日まではBBの方が高い圧縮強度であった。他方、FCはNより水結合材比を5%減少させても材齢182日までの圧縮強度はNより低いことが分かる。養生温度5℃の場合、FBおよびFCの材齢91日までの圧縮強度はNより低い。他方、BBの圧縮強度はNより低く、養生温度20℃の場合と異なる傾向であった。

実験結果から材齢および養生温度ごとに結合材水比と圧縮強度の関係を求め、水結合材比40~63%における圧縮強度を算出し、養生温度20℃の圧縮強度と養生温度5℃の圧縮強度の20℃との強度比の関係を図-2に示す。圧縮強度が十分に発現していない材齢7日では全ての配合ケースにおいて、養生温度5℃の圧縮強度の20℃との強度比は小さいことが分かる。材齢28日では、Nの養生温度5℃の圧縮強度は20℃の83%程度であるが、FBおよびFCはNより若干小さく温度依存性があることが分かる。他方、BBの養生温度5℃の圧縮強度の20℃との強度比はN、FBおよびFCの関係と乖離しており、強度発現が遅延し小さいことが認められる。

表-1 使用材料

種 類		諸 元
セメント	普通	密度:3.16g/cm ³ 、比表面積:3,340cm ² /g
	高炉B種	密度:3.05g/cm ³ 、比表面積:3,880cm ² /g
フライアッシュ (JIS II種灰)		強熟減量:1.2%、SiO ₂ :71.4%、MB吸着量:0.47%、湿分:0.14% 密度:2.15g/cm ³ 、比表面積:3,830cm ² /g、45μm残分:17% フロー値比:106%、活性度28日:86%、活性度91日:95%
細骨材 (陸砂)		粗粒率:2.62、単位容積質量:1.781kg/L、実積率:67.3% 密度:2.69g/cm ³ 、吸水率:1.71%、安定性損失量:2.6%
粗骨材 (砕石2505)		粗粒率:6.96、単位容積質量:1.622kg/L、実積率:62.1% 密度:2.68g/cm ³ 、吸水率:1.90%、安定性損失量:5.3%
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体
	AE剤	樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤
練混ぜ水		上水道水

表-2 実験ケース

配合 ケー ス	略号	セメント 種類	粗骨材 最大寸 法 (mm)	スラン プ (cm)	空気量 (%)	フライッシュ 置換率 F/(C+F) (%)	水結合材 比 W/(C+F) (%)	実験項目			
								養生 温度 (℃)	配合 試験	圧縮 強度 試験	
N	N65 N55 N45	普通	25	8 ±1.5	5 ±0.5	—	65 55 45	5	○	○	
BB	BB65 BB55 BB45	高炉 B種				—		20	○	○	
						FB	FB60 FB50 FB40	普通	5	○	○
									20	○	○
5	○	○									
20	○	○									
FC	FC60 FC50 FC40	普通				25	60 50 40	5	○	○	
						20		○	○		

※ 略号の数字は水結合材比を示す。

キーワード フライアッシュ、強度発現、低温養生、積算温度

連絡先 〒060-0031 札幌市中央区北1条東3丁目1 北電総合設計(株)技術研究所材料研究室 TEL 011-222-4420

また、養生温度 20℃の圧縮強度が低いほど、すなわち水結合材比が大きいほど 20℃との強度比は小さくなり、養生温度の影響を受けやすいことが分かる。

3.2 積算温度と圧縮強度

積算温度と圧縮強度の関係を図-3に示す。養生温度 5℃の場合、全ての配合ケースにおいて養生温度 20℃の積算温度と圧縮強度の関係と乖離していることが認められる。そこで、養生温度による反応速度を考慮した係数を配合ケースごとに与えた修正積算温度を算出した。

$$M = \sum_{z=1}^n k \cdot (\theta_z + 10) \quad (1)$$

ここに、 M ：修正積算温度(° D・D)， z ：材齢(日)， θ_z ：材齢 z 日における養生温度(°C)， k ：反応速度を考慮した係数(20℃を 1 とした)

式(1)により算出した修正積算温度と圧縮強度の関係を図-4に示す。修正積算温度と圧縮強度は養生温度に拘わらず同一線上にあることが分かる。また、修正積算温度と圧縮強度の関係を配合ケースごとにゴンペルツ曲線を応用した式(2)により近似すると相関係数が 0.99 と良く対応しており、実用的に適用可能と考えられる。

$$F = F_{\infty} \cdot e^{\left(-a\left(\frac{1}{M}\right)^b\right)} \quad (2)$$

ここに、 F ：圧縮強度(N/mm²)， F_{∞} ：最終到達強度(N/mm²)， M ：修正積算温度(° D・D)， a ， b ：実験係数

4. まとめ

- (1) 本実験の範囲において、養生温度 5℃の FB および FC の強度発現性は材齢 7 日までは N と同傾向であるが、それ以降は若干小さく温度依存性が認められた。BB との比較では、FB および FC の方が温度依存性は小さいことが明らかになった。
- (2) 圧縮強度は修正積算温度を使用したゴンペルツ曲線を応用した式により、実用的に適用可能と考えられた。

参考文献

- 1) 須藤由美子，桂修，吉野利幸，三森敏司，濱幸雄：凍結および乾燥を受けたセメント硬化体の水和反応速度と強度増進，日本建築学会構造系論文集，第 542 号，pp.17-22，2001.4

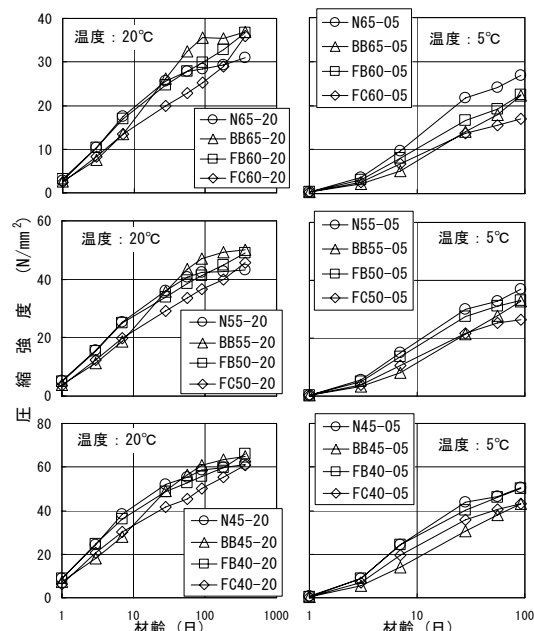


図-1 材齢と圧縮強度の関係

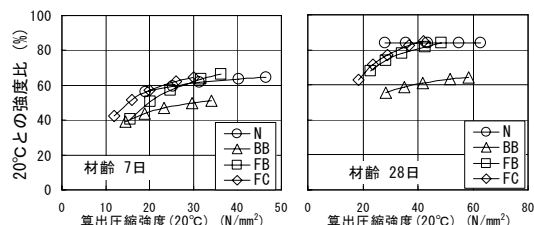


図-2 算出圧縮強度 (20℃) と算出圧縮強度 (5℃) の 20℃との強度比の関係

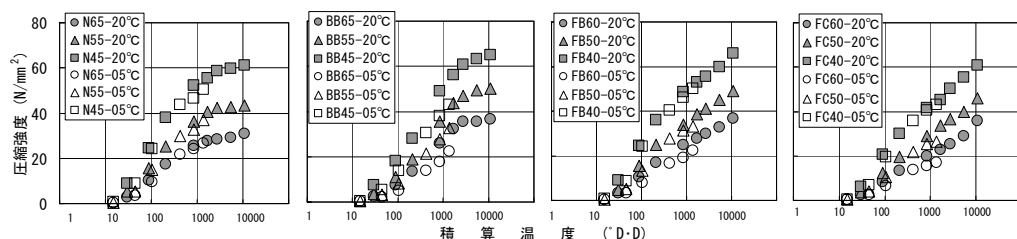


図-3 積算温度と圧縮強度の関係

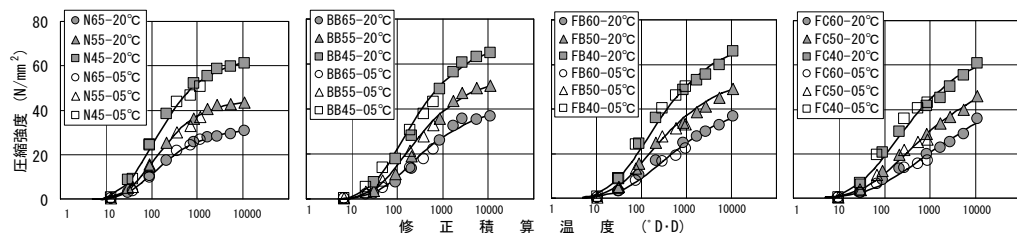


図-4 修正積算温度と圧縮強度の関係