高エーライトセメントを用いた高炉コンクリートの特性

法政大学大学院　学生会員　○橋本　亮良
(株)デイ・シイ　正会員　二戸　信和
法政大学　大川　裕
法政大学　正会員　溝渕　利明

１．目的

環境負荷低減の観点から、高炉スラグ等の混和材を使用する手段が有効であると考えられている。これまで高炉セメントは初期強度発現が小さいことなどが課題とされてきた。そこで、本報では高炉セメントの性能改善を目的とし、初期強度及び中性化抵抗性の向上のため、エーライト量を約 70%まで高含有させ、f-CaO を増加させた高エーライトセメントの高炉スラグ微粉末との併用、N と BB との比較検討を行なった。

２．研究方法

２．１　使用材料

実験は、高エーライトセメント(No.1)と高エーライトセメントに高炉スラグ微粉末を 25、50、63%内割添加したセメント(No.2、No.3、No.4)について検討した。また、比較用として普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメント B 種(BB)の検討を行なった。**表 - １**に使用セメントの化学成分について示す。

表 - １　使用セメントの化学成分

水準	ブレーン cm^2/g	化学成分(%)										
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5	MnO
N	3390	21.09	5.51	3.16	63.52	2.05	2.35	0.41	0.35	0.28	0.17	0.07
No.1	4780	19.24	5.37	3.42	64.82	1.91	2.80	0.41	0.33	0.28	0.17	0.05
No.2	4790	21.83	7.36	2.46	58.45	2.81	3.35	0.33	0.32	0.36	0.12	0.19
No.3	4610	25.26	9.59	1.66	52.63	3.79	3.69	0.27	0.33	0.44	0.08	0.32
No.4	4530	27.93	11.10	1.28	50.53	4.44	4.07	0.25	0.35	0.50	0.06	0.41
BB	4100	25.79	9.28	1.88	53.90	3.79	2.42	0.28	0.35	0.42	0.13	0.21

２．２　検討方法

試験はフレッシュコンクリート、硬化コンクリート、および熱的特性について行なった。**表 - ２**に試験内容を示す。また、配合条件は目標スランプを 15±2.5cm、目標空気量を 4.5±1.0%とした。コンクリートの配合について**表 - ３**に示す。

表 - ２　試験内容

検討特性	試験項目	計測材齢
フレッシュ性状	スランプ試験(JIS A 1101)	
	ブリーディング試験(JIS A 1123)	
	凝結試験(JIS A 1147)	
力学的特性	圧縮強度試験(JIS A 1108)	3, 7, 14, 28, 56, 91(日)
	割裂引張試験(JIS A 1113)	3, 7, 14, 28, 56, 91(日)
	曲げ強度試験(JIS A 1106)	3, 7, 28(日)
熱的特性	断熱温度上昇試験	10 日間
収縮特性	乾燥収縮(JIS A 1129-3)	26 週まで
耐久性	凍結融解試験(JIS A 1148)	300 サイクル

３．試験結果及び考察

３．１　フレッシュコンクリートの性状

目標のスランプを得るための単位水量はスラグ置換率とともに減少し、その減少率はスラグ置換率 10%につき 2.4 kg/m^3 であった。また、No.3 では BB と同等な 163 kg/m^3 となった。

スラグ置換率と凝結時間の関係について、**図 - 1** に示す。スラグ置換率の増加に伴い凝結時間は長くなっていく傾向にあり、No.3 と No.4 においては BB と同等な性状であることを示した。

表 - ３　コンクリートの配合

水準	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3) W	C	S	G	混和剤 AE 減水剤*1	AE 剤*2
N	55	45	168	305	805	1008	250	0.003
No.1			175	318	793	992	250	0.005
No.2			170	309	798	1000	250	0.0045
No.3			163	296	808	1016	250	0.005
No.4			160	291	813	1019	250	0.0045
BB			163	296	811	1016	250	0.003

*1 ml/c=100kg　*2 C×%

キーワード　高エーライトセメント，フレッシュ，力学的特性，熱的特性，乾燥収縮，凍結融解
連絡先　〒184－8584　東京都東小金井市 3 丁目 7－2 法政大学大学院デザイン工学研究科　ＴＥＬ042－387－6286

３．２　圧縮強度試験

材齢 91 日までの圧縮強度試験結果を図 - 2 に示す。No.1 は、初期強度発現が大きく、3 日強度は N を上回る結果となった。材齢 7 日以降の強度発現は小さく、28 日以降の強度は N とほぼ同等であった。一方、No.2ーNo.4 においては、BB 相当となる No.3 と BB を比較した場合、各材齢とも No.3 が BB を上回る結果となり、91 日強度において最も大きかったのは No.3 であった。また、No.2 は、材齢 3 日において N とほぼ同等な強度を示し、7 日以降の強度では N を上回り、91 日強度は N より 12 N/mm² 大きかった。

３．３　熱的特性試験

高炉スラグを使用した 4 ケースの断熱温度上昇の結果を図 - 3 に示す。断熱温度上昇量は、No.2 では 43.8℃を示し、BB の 41.9℃を上回ったが、BB 相当の No.3 ではそれを下回る結果となり 39.6℃を示した。No.4 では、14 日間の計測を行なったが、高炉スラグの活性化の影響で 14 日以降も上昇を続ける傾向が見られ 39℃まで上昇した。また、温度上昇速度については、高エーライトセメントの 3 ケースはすべて BB よりも大きい結果となった。高エーライトセメントを用いたコンクリートでは、材齢 3 日程度で終局断熱温度上昇量に収れんする傾向がみられた。

３．４　乾燥収縮試験

BB と No.3 の乾燥収縮試験結果について図 - 4 に示す。乾燥材齢 26 週まで 2 ケースの長さ変化率に大きな差異はみられず、26 週における長さ変化率は各ケースとも約-650×10⁻⁶ であった。

３．５　凍結融解試験

N と BB、No.3 の 300 サイクルまでの相対動弾性係数を図 - 5 に示す。300 サイクルにおける相対動弾性係数は、今回比較した 3 ケースにおいて No.3 が最も大きく BB が最も小さい結果となり、高エーライトセメントを用いることで対凍害性が若干ではあるが改善される結果となった。

４．まとめ

本検討の試験結果から以下の特性が得られた。

1) フレッシュコンクリートの性状は、No.3 と No.4 で BB とほぼ同等な性状を示した。
2) 高エーライトセメントは、材齢 7 日までの強度発現に寄与し高炉セメントでの問題点であった初期強度に対して改善された。
3) 高エーライトセメントを用いたコンクリートの断熱温度上昇は上昇速度が速く、50%以上スラグを置換することにより、BB よりも終局断熱温度上昇量を抑えることができた。
4) 収縮特性は BB とほぼ同等な性状を示し、凍害に対する抵抗性は N、BB とほぼ同等であると思われる。

謝辞　本研究は、低炭素型汎用セメント技術研究会の一環として行ったもので、セメントの製造を担当していただいた株式会社デイ・シイをはじめとする関係各位に感謝致します。

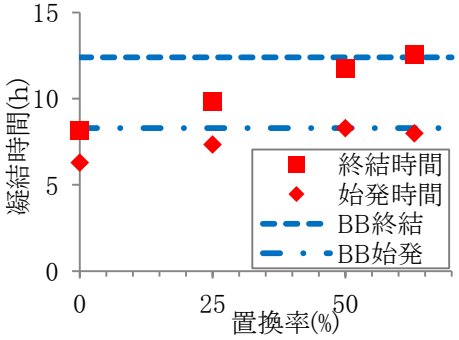

図 - 1　凝結試験結果

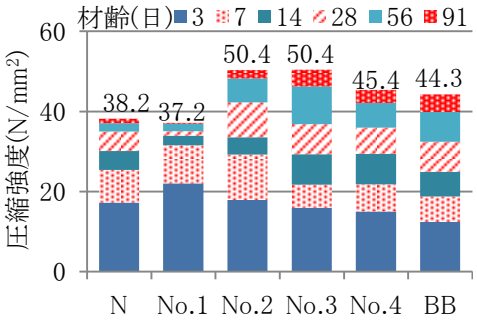

図 - 2　圧縮強度試験結果

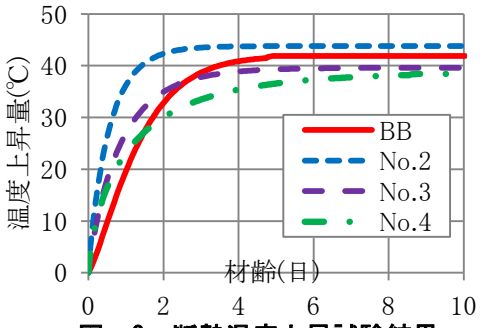

図 - 3　断熱温度上昇試験結果

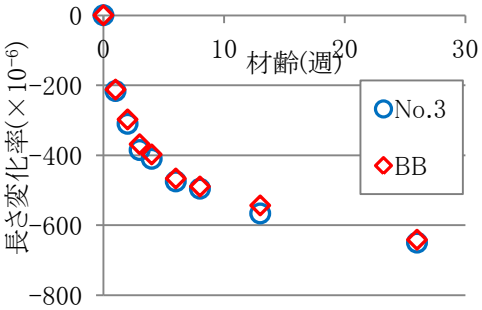

図 - 4　乾燥収縮試験結果

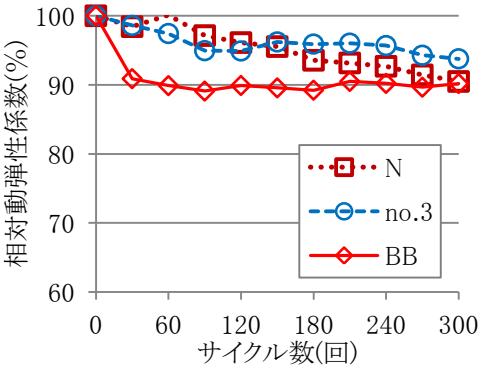

図 - 5　凍結融解試験結果