

高炉セメントの初期強度改善に関する研究

前橋工科大学 学生会員 ○勝野 太市
前橋工科大学 正会員 佐川 孝広

1. 研究背景・目的

高炉セメントは普通ポルトランドセメントに比べ、CO₂ 排出量低減などの利点がある。しかし、初期強度が小さいという欠点がある。初期強度を上げるためには、反応速度の向上が必要であるが、一つの方法は硬化促進剤の適用が挙げられる。促進剤による初期強度の改善に関しては、これまでにポルトランドセメントを対象として数多くの研究が行われてきた。アミン類や亜硝酸系の促進剤は、高炉セメントに有効という結果が報告されている¹⁾²⁾。

本研究では、既往の研究を参考に高炉セメントに有効な促進剤を見出し、初期の強度発現とセメント水和反応、空隙構造との関係について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、普通ポルトランドセメント(OPC)、無水石こう入りの高炉スラグ微粉末(BFS)を用いて、高炉セメントB種相当のスラグ置換率(BB)を対象とした。促進剤はトリイソプロパノールアミン(TIPA)、ジエタノールアミン(DEA)、ジエタノールイソプロパノールアミン(DEIPA)、亜硝酸カルシウム(CN)の4種類を選定した。

2.2 モルタル圧縮強度試験

モルタルはN(OPC100%)、BBを用いて、水結合材比50%、5号珪砂を質量比1:2として配合した。促進剤の添加率はCNを双方に2.0%、アミン類3種をNに0.1%、BBに0.05%、0.1%、0.2%とした。また、N、BBそれぞれにCNを2.0%、アミン類3種を0.1%併用して添加した試験体も作製した。試験体の形状はφ5×10cmの円柱とし、養生方法は20°C封緘養生、材齢は1、3、7、28日とした。

2.3 強熱減量試験

セメントペーストは研究用普通ポルトランドセメント、BBを用いて水結合材比50%とした。促進剤は

表1 BBの圧縮強度、圧縮強度比

BB	添加率 (%)	圧縮強度(N/mm ²)			
		1d	3d	7d	28d
Base	-	4.8	13.5	22.0	41.0
BB	添加率 (%)	圧縮強度比(%)			
		1d	3d	7d	28d
TIPA	0.05	80	82	81	84
	0.1	86	83	96	105
	0.2	75	78	97	128
DEA	0.05	90	91	92	93
	0.1	87	95	99	106
	0.2	53	87	97	101
DEIPA	0.05	74	81	78	87
	0.1	77	83	99	117
	0.2	59	81	103	109
CN	2.0	100	121	125	116
CN+TIPA	2.0+0.1	89	97	105	106
CN+DEA	2.0+0.1	87	107	114	113
CN+DEIPA	2.0+0.1	74	98	114	118

表2 Nの圧縮強度、圧縮強度比

OPC	添加率 (%)	圧縮強度(N/mm ²)			
		1d	3d	7d	28d
Base	-	8.6	21.8	34.5	49.1
OPC	添加率 (%)	圧縮強度比(%)			
		1d	3d	7d	28d
TIPA	0.1	89	113	103	95
DEA	0.1	98	114	89	101
DEIPA	0.1	74	105	102	89
CN	2.0	90	117	99	94
CN+TIPA	2.0+0.1	93	121	108	94
CN+DEA	2.0+0.1	100	123	111	99
CN+DEIPA	2.0+0.1	88	120	106	96

DEAを添加率0.1%(ND, BBD)、CNを添加率2.0%(NCN, BBCN)で使用した。ペーストの混練はハンドミキサーにて2分間行い、チャック付きポリ袋に厚さ3mm程度に成型し、20°Cで1日間封緘養生を行った。脱型後20°C水中にて所定の材齢まで養生した。材齢はモルタル供試体と同様とした。

水和試料は多量のイソプロパノールにて3時間水和停止し、30分の真空脱気を行った後、40°C24時間の乾燥を行った。乾燥後の試料は遊星ミルにて粉碎した。粉碎後の試料をNは950°Cで30分、BBは900°Cで30分間加熱し、強熱後の質量に対する減量を強熱減量とした。

キーワード 高炉セメント、初期強度、促進剤、毛管空隙率

2.4 空隙率の算定

ペースト試料の表乾質量から40°C24時間乾燥質量の減量を吸水率とし、ペーストの理論配合と強熱減量より空隙率を算定した³⁾。ここで、毛管空隙は40°C乾燥による逸散水のもつ空隙と定義した。

3. 実験結果および考察

表1, 表2にBB, Nそれぞれのモルタル圧縮強度および圧縮強度比を示す。圧縮強度比は促進剤を添加していないものをBaseとし、圧縮強度を100としてそれぞれ比較したものである。表1より、BBにCNを添加した場合は材齢3日以降で強度の増大が認められた。一方でアミン類については、いずれの種類とともに初期強度の改善は認められず、むしろ初期強度は低下した。また、アミン類3種類で比較すると、DEAを添加したものは初期強度の低下が小さかった。アミン類の添加率の影響については、添加率0.2%での初期強度が極端に低下していた。促進剤は過剰に添加すると遅延剤として作用することが報告されており⁴⁾、この結果はそれに該当すると考えられる。また、添加率0.05%では、全般に添加率0.1%よりも強度が低くなった。また、CNとアミン類を併用した場合、併用の効果は認められず、CNの単独添加と比較して強度は低くなった。

表2より、NについてもBBと概ね同様の傾向であり、アミン類の添加による初期強度の顕著な改善は認められなかった。ただし、BBで認められたCNの添加による強度の増大は、Nにおいては認められなかった。また、CNとアミン類を併用した場合には、BBと比較するとやや効果があり、単独の添加よりも強度はやや大きくなった。

図1にはペースト試料から求めたBB, Nの毛管空隙率の経時変化をそれぞれ示す。全般に、材齢の経過によりセメント水和反応が進行し、毛管空隙率が低下する傾向があった。DEAを添加したBB, Nのペーストの毛管空隙率は無添加のセメントと同程度であるが、CNを添加した場合は毛管空隙率の減少が認められ、セメント水和反応の促進が示唆された。

図2はBB, Nのペースト硬化体の毛管空隙率とモルタル圧縮強度の関係を示す。いずれのセメントも毛管空隙率の減少に伴い圧縮強度が増大する傾向が認められ、特にBBにおいては両者の相関が高かつ

た。したがって、BBでのCN添加による強度の改善は、セメント水和反応が促進し、毛管空隙率が減少したためと考えられる。

一方でNについては、毛管空隙率と圧縮強度との関係はBBと比較するとややバラつきがあり、CNの添加によりペースト試料は毛管空隙率が減少しているものの、モルタル圧縮強度の増大は認められなかった。この原因は明らかでないが、ペースト試料は水中養生を行ったのに対し、モルタル試験体は封緘養生であり、養生条件の差異がモルタルの強度発現に影響したと考えられる。

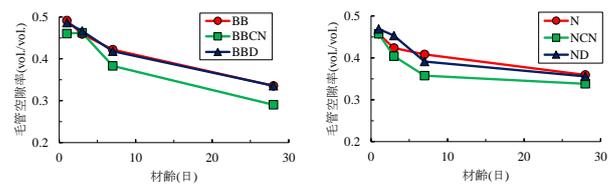


図1 BBとNの毛管空隙率

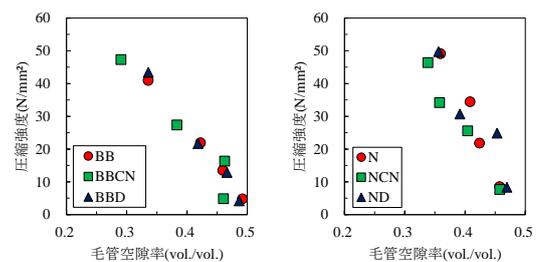


図2 BBとNの毛管空隙率と圧縮強度の関係

参考文献

- 1) Kyle Riding, Denise A. Silva, Karen Scrivener. : Early Age strength enhancement of blended cement systems by CaCl₂ and diethanol-isopropanolamine, Cement and Concrete Research, 40, 935-946, 2010
- 2) 坂井悦郎, 植田由紀子, 相川豊, 二戸信和: 亜硝酸カルシウムを添加した高炉スラグ高含有セメントの水和, Cement Science and Concrete Technology, Vol.71, pp.62-66, 2017
- 3) 佐川孝広, 名和豊春: ポルトランドセメント-高炉スラグ系の水和反応-微細構造形成と乾燥収縮, 日本建築学会構造系論文集, Vol.75, No.652, pp.1029-1037, 2010
- 4) Z. Heren and H. Olmez. : The influence of ethanalamines on the hydration and mechanical properties of Portland cement, Cement and Concrete Research, Vol.26, No.5, pp.701-705, 1996