

促進形混和剤を用いた混合セメントコンクリートの低温時の強度と凝結硬化特性

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○山内 稜
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 吉田 行
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 島多 昭典

1. はじめに

CO₂ 排出量抑制の観点から、低炭素材料としてセメントの一部を高炉スラグ微粉末やフライアッシュと置換した混合セメントの普及拡大が求められている。一方、積雪寒冷地の冬期施工では、混合セメントコンクリートの所要の強度を確保するための養生管理やコストの負担から普通ポルトランドセメントに代替されることも多く、混合セメントの普及が進んでいない。そこで、本研究では混合セメントのさらなる利用促進を目的に、促進形混和剤による混合セメントコンクリートの低温時の強度改善効果と凝結硬化特性について検討した。

2. 使用材料およびコンクリートの配合

混合セメントは、高炉セメントB種（密度3.05g/cm³，比表面積3,790cm²/g）とフライアッシュセメントB種（密度2.96g/cm³，比表面積3,360cm²/g）を，比較として普通ポルトランドセメント（密度3.16g/cm³，比表面積3,230cm²/g）を用いた。細骨材は苫小牧樽前産の陸砂（密度2.72g/cm³，吸水率1.01%）を，粗骨材は小樽市見晴産の碎石（密度2.67g/cm³，吸水率1.74%，最大寸法20mm）を用いた。促進形混和剤は，無機系窒素化合物（亜硝酸塩，硝酸塩）（記号a），カルシウムシリケート水和物（記号b），リグニンスルホン酸化合物およびロダン化合物（記号c），有機酸系誘導体と非塩素系特殊無機塩（記号d）をそれぞれ主成分とする計4種類を用いた。なお，aとbは硬化促進剤(I種)，cとdはAE減水剤促進形(I種)に分類される。

コンクリートの配合を表－1に示す。促進形混和剤の添加量は，各メーカーの標準添加量を基本としたが，cとdは減水成分を含むため，標準添加量の範囲内で目標スランプに合わせ調整した。水セメント比は55%の1水準とし，単位水量は全配合155 kg/m³に統一した。目標空気量は4.5±1.0%，目標スランプは12.0±2.5cmとした。表－1には実測のスランプと空気量も示している。なお，空気量の調整は，使用する促進形混和剤のメーカーと合わせて，変性ロジン酸化合物系(AE剤1)と特殊界面活性剤系(AE剤2)の2種類を使用した。また，AE減水剤促進形であるcとdを用いた配合を除き，スランプの調整には，リグニンスルホン酸塩系のAE減水剤標準形を適宜用いた。なお，表－1には後述する凝結時間試験で用いたコンクリートのスランプ（スランプ2）とモルタルのフロー値も併記している。

3. 実験項目と供試体

促進形混和剤が低温養生時の圧縮強度発現に及ぼす影響を把握するため，5℃環境下で水中養生を行ったφ10×20 cm 円柱供試体を用いて，材齢 3，7，14，28，91 日に圧縮強度試験を実施した。なお，コンクリートの練混ぜは 20℃

表－1 配合表

凡例 記号	セメン ト	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)			促進形混和剤			スランプ1	スランプ2	空気量	モルタルフロー
		(%)	(%)	W	C	S	G	AE減水剤	AE剤1	AE剤2	記号	(ℓ/C=100kg)	C質量%	(cm)	(cm)	(%)	(mm)
N-n	NP	55	45.0	155	282	845	1048	1.4	1.50	-	n	-	-	9.6	-	5.2	177
BB-n	BB					841	1044	1.4	2.50	-	n	-	-	9.7	12.5	5.3	181
BB-a								1.70	1.70	-	a	3.0	-	12.4	11.5	4.5	167
BB-b								1.5	4.10	-	b	-	3.0	13.5	-	5.5	223
BB-c								-	1.90	-	c	1.0	-	10.0	-	4.8	224
BB-d								-	-	10.0	d	-	0.6	10.5	-	4.4	212
FB-n	FB					836	1038	0.40	10.0	-	n	-	-	11.0	12.7	4.8	181
FB-a								0.90	8.0	-	a	3.0	-	11.0	12.8	4.4	181
FB-b								0.2	10.5	-	b	-	3.0	18.7	-	5.3	242
FB-c								-	6.5	-	c	1.0	-	12.0	-	5.0	236
FB-d								-	-	22.0	d	-	0.6	16.5	-	4.8	217

キーワード 混合セメント，促進形混和剤，凝結硬化特性，圧縮強度
連絡先 〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 ー 3 4 寒地土木研究所耐寒材料チーム TEL:011-841-1719

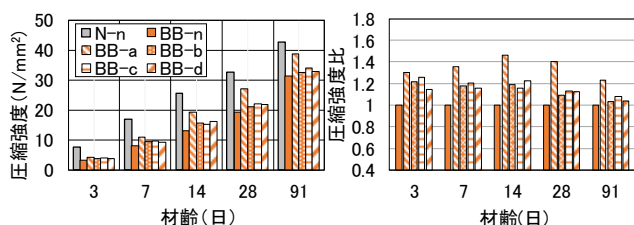


図-1 圧縮強度と強度比 (5°C養生-BB)

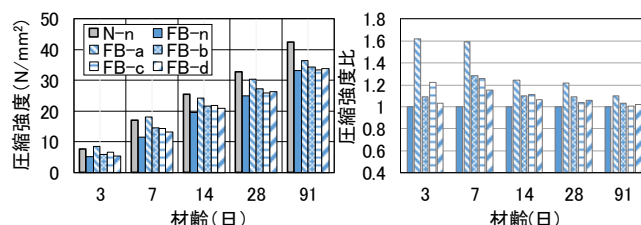


図-2 圧縮強度と強度比 (5°C養生-FB)

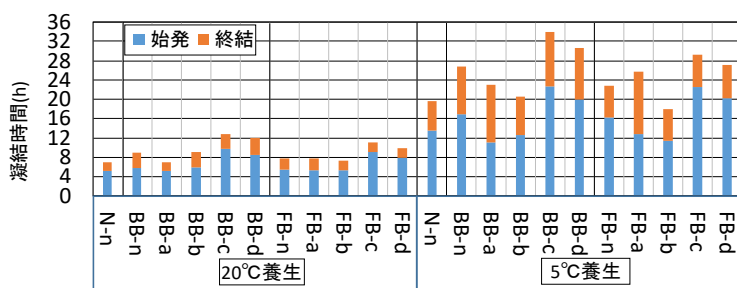


図-3 モルタルの凝結時間

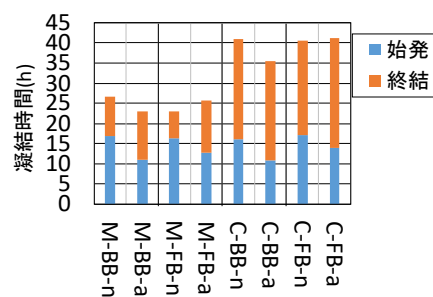


図-4 コンクリートの凝結時間 (5°C)

環境下で実施した。また、促進形混和剤による凝結硬化特性への影響を把握するため JIS A 1147 により凝結時間試験を行った。なお、本研究では、促進形混和剤の影響を明確にするため、表-1 の配合からモルタル部分を抽出し、促進形混和剤以外の混和剤を使用しないモルタル（以下、モルタル試料と記述）を別練りして 20°C と 5°C の 2 条件で凝結時間試験を実施した。

4. 圧縮強度

図-1 および図-2 に、各コンクリートの圧縮強度と促進形混和剤を用いない場合を基準とした圧縮強度比を示す。圧縮強度は、いずれも材齢の経過に伴い増加し、促進形混和剤を添加した場合、混和剤の種類により効果は異なるものの、BB と FB のそれぞれにおいて、ベース配合よりも強度発現が改善した。特に、亜硝酸塩、硫酸塩を主成分とする混和剤 a は初期の改善効果が高く、FB-a の材齢 7 日までの圧縮強度は N-n と同程度だった。

5. 凝結時間

図-3に、20°Cと5°Cそれぞれの条件で実施した各配合のモルタルの凝結時間を示す。20°C環境下では、N-nに比べて、BB-nやFB-nは凝結時間が遅延したが、硬化促進剤を添加したBB-aとFB-bは凝結が促進されN-nと同程度となった。他方、5°C環境下では、どの配合も20°C環境下に比べ凝結時間が長くなったが、全体の傾向は20°C環境下と同様となり、硬化促進剤を添加した配合のBB-a、BB-b、FB-bがそれぞれベース配合より凝結が促進された。なお、混和剤cとdを添加した場合、凝結が大きく遅延したが、混和剤cとdには減水成分が含まれているため、その作用により凝結時間が遅延したと考えられる。このため、最も凝結が促進された促進形混和剤aを用いたケースについて、減水剤も含めたコンクリート配合での凝結時間を確認するため、コンクリートを練混ぜウェットスクリーニングした試料（以下、コンクリート試料と記述）について再度試験を行った。

図-4にコンクリート試料により5°C条件で実施した凝結時間を示す。なお、横軸の凡例記号の頭文字Mはモルタル試料を、Cはコンクリート試料を示している。モルタル試料とコンクリート試料の始発時間は同程度だったが、終結時間はコンクリート試料の方が大きく遅延しており、コンクリート試料に含まれる減水成分が終結時間に影響することを確認した。一方、コンクリート材料のC-BB-nとC-BB-a、C-FB-nとC-FB-aを比較すると、促進形混和剤を用いることで凝結始発時間はどちらの場合も短縮され、C-BB-aは終結時間も短縮したが、C-FB-aは同程度であった。以上から、本試験で確認した範囲では、促進形混和剤を添加した場合でも凝結始発時間は10時間以上であり施工への影響は小さいと考えられる。

6. まとめ

混合セメントと促進形混和剤を用いたコンクリートは、促進形混和剤の種類により効果は異なるものの、初期強度の改善が可能であり、凝結時間の過度な短縮は無く施工への影響は小さいことを確認した。