

(V-21) 高炉スラグ微粉末およびフライアッシュを大量に混入した低発熱コンクリートの性質

大成建設技術研究所 正会員 大友 健
同 上 正会員 松岡 康訓

1. はじめに

マスコンクリート施工の大規模化・急速連続施工による合理化の気運を反映して、コンクリートの水和熱による温度ひびわれの抑制を目的とした超低発熱セメントの研究が盛んに進められてきている。この場合、低発熱化の要求に応じて、結合材中のポルトランドセメント量を減らし高炉スラグ微粉末やフライアッシュの混合比率を大きくすること、あるいは中熟熱ポルトランドセメントを用いること等が行なわれている。

このような超低発熱セメントの強度・発熱特性あるいはフレッシュコンクリートの性質については、詳細な報告も数多くなされているが、コンクリートとしての耐久性、品質の長期安定性に関する報告は未だ少ないのが現状である。

本報告では、この種のコンクリートが大規模マスコンクリートに使用されることを考慮して、長期強度の発現に及ぼす養生

表-1 試験ケース

試験 ケース	記号	結合材の混合比率 (%)				
		OP	MP	BS	Gy	FA
1	OB50	50	-	50	-	-
2	OB70	30	-	70	-	-
3	OB90	10	-	90	-	-
4*2	OB90S	10	-	85.4	4.6*1	-
5	O25BF	25	-	45	-	30
6	M25BF	-	25	45	-	30
7	M25BFS	-	25	40.6	4.4*1	30
8	M15BF	-	15	45	-	30

*1: 無水セッコウの添加量: 結合材のSO₃が3%
*2: ケース4については圧縮強度試験のみ実施

温度の影響について調査するとともに、中性化および塩分浸透に対する抵抗性を評価し、セメント素材とくにポルトランドセメントの混合比率がこれらの特性に及ぼす影響について検討した。ここで対象とした配合は、水中不分離性コンクリートである。

表-2 配合

粗骨材 最大 寸法 (cm)	水 結合材 比 (%)	細骨材 率 (%)	単位数 (kg/m ³)					単位数 (l/m ³)	
			水	結合材	細骨材	粗骨材	種不分離 性混和剤	A E 減水剤	高性能 減水剤
20	65	40	208	320	655	1030	2.3	0.74	3.20

*本配合はOB50配合の場合、各結合材に対して、W/C S/a, W および混和剤量は一定である。
使用材料 結合材: 表-2に示す。
粗骨材: 大瀬産海砂 比重 2.54, 吸水率 2.08%, F.M. 2.56
粗骨材: 西島砂石 2005 比重 2.66, 吸水率 0.89%, F.M. 6.56
水中不分離性混和剤: 水溶性セルロースエーテル (S社製)
A E減水剤: リグニンスルホン酸化合物ポリオール複合体 (N社製)
高性能減水剤: 高縮合トリアジン系化合物 (N社製)

2. 配合および使用材料

表-1に本実験で使用したセメントの種類を示す。ポルトランドセメント-高炉スラグ微粉末の二成分系およびフライアッシュの混合比率を30%とした三成分系について、セメントと高炉スラグ微粉末の混合比率を変えた場合について検討した。ケース4, 7では、結合材のSO₃が3%となるように無水石こう粉末を添加した。配合および使用材料を表-2, 3に示す。

表-3 使用材料

結合材の種類	比重	ブレン 比表面積 (cm ² /g)	強熱 減量 (%)	湿分 (%)	不溶 残分 (%)	化学成分 (%)						
						SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
普通ポルトランドセメント	OP	3.15	3220	1.1	-	0.3	21.4	5.5	2.7	63.2	1.8	2.1
中熟熱ポルトランドセメント	MP	3.20	3090	0.4	-	0.1	22.9	3.6	4.3	63.6	1.6	1.9
高炉スラグ微粉末	BS	2.90	3890	+0.3	-	0.2	33.8	14.6	0.8	40.4	7.1	-
フライアッシュ	FA	2.12	3730	0.9	0.1	-	61.6	27.3	4.0	2.2	2.3	-
無水石こう	Gy	-	-	-	-	-	-	-	0.1	40.7	-	57.7

3. 試験方法

- ①強度試験; 20℃恒温条件下で成型・養生した供試体(φ10x20cm)を材令4日で脱型し、3日間20℃水中養生した後、材令7日から20, 40, 60℃の水中で養生し所定材令で圧縮強度を測定した。
- ②中性化促進試験; 30℃, 湿度60%R.H., 炭酸ガス濃度 5%の雰囲気下で中性化促進試験を行ない、2週, 1か月, 2か月, 3か月後の中性化深さをフェノールフタレイン1%アルコール溶液により測定した。
- ③塩分浸透試験; 供試体(20cm立方体)を飽和食塩水に9日間浸漬後、表面から深さ方向へ1cmごとに試料を採取し可溶性塩分量を測定した。試験②, ③では、試験前の中水養生材令を28日と91日の2種類とした。

4. 強度試験結果

各々の結合材における強度発現状況を図-1に示す。高炉B種セメントOB50においては、高温養生になるほど標準養生と比較して強度の発現が悪くなる。二成分系で、高炉スラグ微粉末の混合比率を大きくした場合には、混合比率が大きいくほど高温養生による初期強度の増進が進み、OB90では材令91日でもほぼ標準養生と同等の強度を維持している。三成分系O25BF, M25BFにおいても同様の傾向にあるが、二成分系と比べて、高温養生による初期の強度増進の程度が大きい。しかしポルトランドセメントの量が少ないM15BFにおいて

は、高温養生下における初期の強度増進の程度が小さく、材令91日の強度が標準養生を下まわっている。石こうを添加した場合は、20℃養生では、初期強度が増大し56日以降の強度が小さくなる。高温養生時は石こうを添加しない場合と異なり、長期強度発現の頭打ちが生ぜず、強度の増大が継続する傾向にある。

5. 耐久性試験結果

中性化促進試験、塩分浸透試験結果を表-4に示す。また、結合材中のポルトランドセメント量と中性化深さ、塩素イオンの拡散係数の関係を図-2、3に示す。拡散係数は可溶性塩分量の深さ方向の分布から求めた¹⁾ものである。

中性化深さは、セメントの種類に関わりなく結合材中のポルトランドセメント量に影響を受けるものと推察される。前養生の期間が中性化深さに及ぼす影響はほとんどない。

塩素イオンの拡散係数は、中性化の傾向とは逆にポルトランドセメント量が少ないほど小さくなる傾向にある。三成分系は二成分系と比較して、前養生期間が短い場合には拡散係数の改善の程度は小さいが、養生が十分行なわれた場合には、高スラグ添加型の二成分系セメントと同様の拡散係数となっている。

6. まとめ

水中不分離性コンクリートという限定された範囲ではあるが、高炉スラグ微粉末またはフライアッシュを大量に添加した低発熱セメントコンクリートの特性に関して以下の知見が得られた。

- ①高温養生による強度の増進の程度は混合比率により影響を受けるばかりでなく、石こうを添加することによっても変化が生ずる。
- ②中性化深さは結合材中のポルトランドセメントの量が少なくなるほど大きくなる。
- ③塩分の浸透性は高炉B種に比べて改善される。

[参考文献]

- 1) 永野 塩分汚染コンクリート構造物の診断方法の提案 大成建設技術研究所報 No. 18, March, 1986

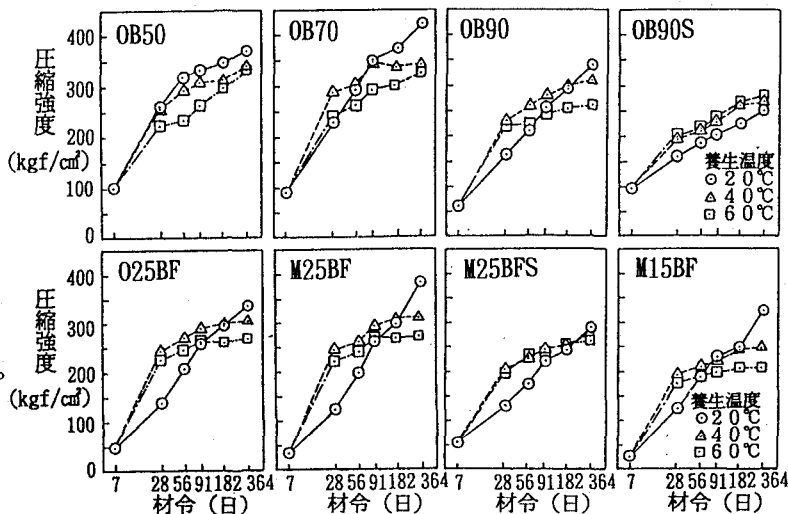


図-1 各種結合材における強度の発現状況

表-4 耐久性試験結果

試験 ケース	記号	中性化深さ (mm)				可溶性塩分量 C# (%)			
		上段: 前養生 28 日 下段: 前養生 91 日				上段: 前養生 28 日 下段: 前養生 91 日			
		暴露経時	2週	1期	2期	3期	0.5mm	1.5mm	2.5mm
1	OB50		6.8 7.9	13.8 12.9	19.8 19.2	35.8 24.8	0.755 0.616	0.285 0.117	0.056 0.004
2	OB70		9.4 9.0	17.0 16.6	25.6 23.7	39.6 34.6	0.954 0.669	0.224 0.060	0.007 0.002
3	OB90		14.6 13.5	28.2 20.6	48.6 49.3	>50 >50	0.692 0.622	0.066 0.023	0.002 0.002
5	O25BF		12.7 11.5	22.2 18.5	37.2 38.6	>50 48.2	0.787 0.553	0.124 0.025	0.016 0.001
6	M25BF		12.2 8.0	21.6 17.4	36.6 30.0	49.6 43.0	0.952 0.611	0.224 0.069	0.041 0.002
7	M25BFS		8.1 6.3	19.4 14.4	41.3 31.9	>50 45.7	0.712 0.375	0.164 0.042	0.011 0.001
8	M15BF		12.9 13.2	28.2 24.6	45.6 46.2	>50 >50	0.928 0.788	0.180 0.051	0.015 0.002

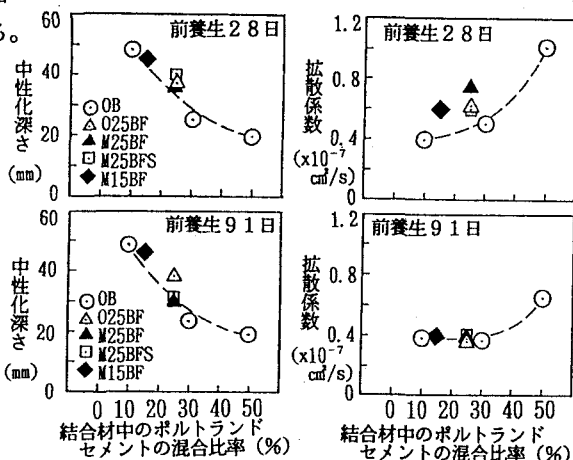


図-2 結合材の種類と中性化深さの関係 (試験期間2か月)

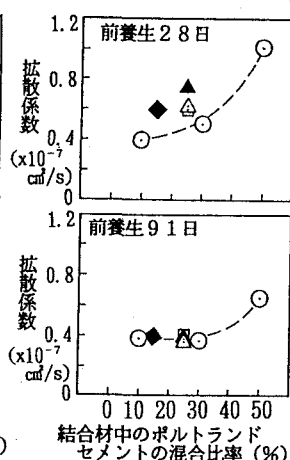


図-3 結合材の種類と塩素イオンの拡散係数の関係