

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートの
温度ひび割れ抵抗性に関する一考察

ハザマ 正会員 ○齋藤淳 福留和人 坂本守
香川大学 フェロー会員 堺孝司
住友大阪セメント（株） 正会員 鈴木康範 齋藤尚

1. はじめに

セメントの置換材料としてフライアッシュおよび高炉スラグ微粉末（以下、高炉スラグと略記）を併用し、「力学・耐久性能」と「ローカーボン」を最適化した汎用的な三成分セメントの研究を進めている¹⁾。
本論では、普通ポルトランドセメントの質量の 40%をフライアッシュおよび高炉スラグを併用して置換したコンクリートの「基本性能」を実験によって確認し、その結果を用いて温度応力解析を行い「温度ひび割れ抵抗性」について考察する。

2. 実験概要

本論において検討対象とする混和材料の置換率の組み合わせは、表-1 に示す 3 種類である。コンクリートの製造に使用した材料を表-2 に、配合を表-3 に示す。セメント単体の配合（以下、FA0%-BS0%と略記）と比較して、フライアッシュおよび高炉スラグを混入した配合（以下、FA20%-BS20%あるいはFA10%-BS30%と略記）は単位水量が減少しており、その減少量はフライアッシュの置換率が高い方が大きい。これは、フライアッシュのボールベアリング効果と、フライアッシュおよび高炉スラグの比表面積がセメントよりも大きいことに起因して、良好な粒度分布を構成したことが流動性に寄与したものと考えられる。

3. 実験結果

圧縮強度の試験結果を図-1 に示す。セメント単体配合に対する混和材を混入した配合の圧縮強度比は、材齢 3 日で 60%程度、材齢 7 日で 70%程度と小さい。しかしながら、材齢 28 日においては、FA20%-BS20%で 89.1%、FA10%-BS30%で 98.8%となり、セメント単体配合とほぼ同等の圧縮強度が得られた。

表-1 セメントに対する混和材料の置換率

混和材料	フライアッシュ			
	置換率	0%	10%	20%
高炉スラグ 微粉末	0%	○	—	—
	20%	—	—	○
	30%	—	○	—

表-2 使用材料の品質

種類	記号	品質
普通ポルトランドセメント	C	密度：3.15g/cm ³ 比表面積：3270cm ² /g
フライアッシュ II 種	FA	密度：2.25g/cm ³ 比表面積：4150cm ² /g
高炉スラグ微粉末 4000	BS	密度：2.88g/cm ³ 比表面積：4250cm ² /g
細骨材 (川砂)	S	表乾密度：2.62g/cm ³ 吸水率：1.35%
粗骨材 (碎石)	G1 (2015)	表乾密度：2.71g/cm ³ 吸水率：0.69%
	G2 (1505)	表乾密度：2.71g/cm ³ 吸水率：0.77%
高性能 AE 減水剤	—	ポリカルボン酸 エーテル系化合物
AE 剤	—	変性ロジン酸化合物系 陰イオン界面活性剤

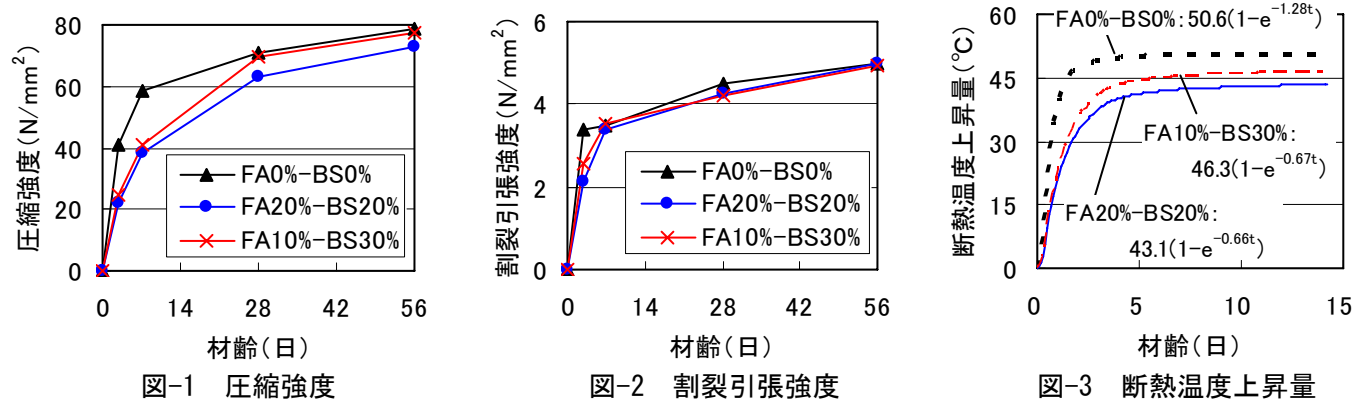
表-3 コンクリートの配合

配合名	W/B (%)	s/a (%)	スランプ ^o (cm)	空気量 (%)	混和剤		単位量 (kg/m ³)						
					減水剤 (C×%)	AE 剤 (C×%)	水 W	結合材		細骨材 S	粗骨材		
								C	FA		BS	G1	G2
FA0%-BS0%	40.0	46.0	12.0 ±2.5	4.5 ±1.5	0.80	0.0010	140	350	0	0	849	618	412
FA20%-BS20%						0.0080	129	193	65	65	859	626	417
FA10%-BS30%						0.0040	131	197	33	98	859	624	416

キーワード フライアッシュ、高炉スラグ微粉末、CO₂排出量、温度応力、ひび割れ
連絡先 〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1 ハザマ 技術研究所 TEL 029-858-8813

割裂引張強度の試験結果を図-2 に示す．混和材を混入した場合には，材齢 3 日ではセメント単体の場合の 70%程度の強度しか得られていないが，材齢 7 日以降はセメント単体配合と同等の強度が得られた．よって，割裂引張強度は圧縮強度よりも混和材混入の影響が小さいと考えられる．

断熱温度上昇量の試験結果と土木学会コンクリート標準示方書設計編の断熱温度上昇式への近似値を併せて図-3 に示す．混和材置換率 40%中のフライアッシュの割合が増えるにつれて，終局断熱温度上昇量，温度上昇速度ともに低減した．したがって，本論で使用した比表面積が 4000cm²/gクラスの高炉スラグの断熱温度上昇量の低減効果は，フライアッシュよりも小さいと考えられる．



4. 温度応力解析による温度ひび割れ抵抗性の考察

厚さ 1.0m，高さ 5.0m，延長 10.0m の壁部材を対象として，本実験結果を解析条件に反映した 3 次元 F E M 温度応力解析を行い，各配合の温度ひび割れ抵抗性を考察した．解析結果を表-4 に，各要素の最小ひび割れ指数の分布図を図-4 に示す．ひび割れ発生確率は FA0%-BS0% の 92% に対し，FA10%-BS30% では 45%，FA20%-BS20% では 28% に改善した．この要因は以下のように考えられる．

- ・ 圧縮強度の発現が遅い→弾性係数の発現も遅い→収縮に起因して部材に生じる引張応力が小さい
- ・ 引張強度の発現は圧縮強度より早い→ひび割れ抵抗性が向上
- ・ 水和熱による温度上昇量が低下→収縮量が少ない

表-4 温度応力解析結果

配合	最大温度 (°C)	最大応力 (N/mm ²)	最小ひび割れ指数 (ひび割れ発生確率)	最小指数時の材齢
FA0%-BS0%	55.3	4.3	0.89 (92%)	12 日
FA20%-BS20%	43.7	2.6	1.42 (28%)	15 日
FA10%-BS30%	45.6	2.9	1.30 (45%)	15 日

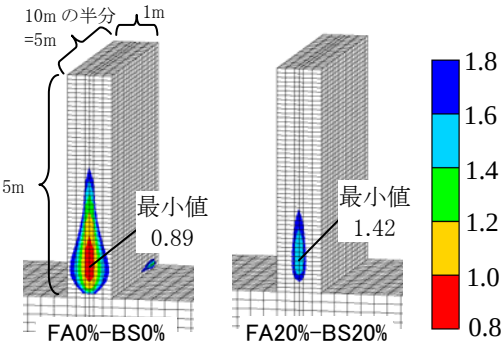


図-4 最小ひび割れ指数の分布

5. まとめ

セメント単体配合と比較して，フライアッシュおよび高炉スラグを併用して混入した配合では，圧縮強度は材齢初期には低下し，材齢 28 日ではほぼ同等となる．これに対し，割裂引張強度は材齢 7 日で同等となるため，材齢初期の収縮に起因して生じる引張応力に対する抵抗性が向上している．さらに，水和熱による温度上昇量も低減されるため，部材に生じる引張応力がより小さくなる．これらを考慮して温度応力解析を行うと，FA10%-BS30% よりも FA20%-BS20% の方が温度ひび割れ抵抗性は大きく改善する．また，先の研究¹⁾ で示した通り FA20%-BS20%，FA10%-BS30% の CO₂ 削減量は同等である．以上のことから総合的に判断すると，FA20%-BS20% は「力学・耐久性能」と「ローカーボン」をバランスよく得られる置換率のひとつであると考えられる．

参考文献

1) 例えば，松家武樹ほか：フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートに関する基礎的研究，セメント・コンクリート論文集，No. 64，pp. 295-302 (2010)