高炉スラグ微粉末を高混入したモルタルのひび割れ閉塞状況の観察

東京都市大学　学生会員　○渡邉和貴　福田和世
東京都市大学　正会員　栗原哲彦

1.　はじめに

コンクリートへの産業廃棄物の利用は, コンクリートの性能向上および資源の有効利用の観点から, 様々な用途で実施されてきた. 特に我が国では, 高炉スラグ微粉末等の混和材の発生量が極めて多く, 混合セメントや混和材としての JIS 化もあり, 利用が促されてきた. 高炉スラグ微粉末などを適切に利用することによって, コンクリートのワーカビリティーの改善等の効果が期待でき, コンクリートの各種性能の改善に貢献してきた [1]. 本研究では, 2013 年に JIS 化されたブレーン値 3000cm^2/g の高炉スラグ微粉末を対象に, それを高混入したモルタルを用いてひび割れ閉塞状況について実験的に検討した.

2.　実験概要

2.1 供試体概要

モルタルの配合を**表 1** に示す. この配合表は, 粗骨材を含めたコンクリートの配合を示しているが, これより粗骨材を除いた配合によりモルタルを作製した. 高炉スラグ微粉末には, ブレーン値 3000cm^2/g のものを使用し, セメントに対する置換率を 0, 40, 60, 80% とした. 作製した供試体は, 寸法 40×40×160mm の角柱供試体とした. 各置換率で 3 本ずつ打設し, 脱型後, 28 日間の水中養生を実施した.

2.2 ひび割れ作製方法および観察方法

28 日間の水中養生後, 一点集中載荷による曲げ破断させた. その後, 破断した供試体を復元し, 輪ゴムで固定した. これにより微細なひび割れを再現した. なお, ひび割れ幅の計測を容易にするため, 観察部分の供試体表面を青色に着色した.

ひび割れ再現後の水中養生(自己治癒)では, 水の循環を定期的に行い, 養生温度を 20℃に保った. 供試体を観察する際は, ひび割れ幅を大きくしないように慎重に取り出し, マイクロスコープと画像解析ソフトを用いて, 0, 1, 3, 7, 28 日後にひび割れ閉塞状況を観察した.

表 1　モルタルの配合

置換率(%)	単位量(kg/m^3)							空気量(%)
	W	C	BFS3000	S	G	Ad1	Ad2	
置換率0%	167	330	0	750	1034	3.3	3.3	5%
置換率40%	167	198	132	750	1034	3.3	3.3	5%
置換率60%	167	132	198	750	1034	3.3	3.3	5%
置換率80%	167	66	264	750	1034	3.3	3.3	5%

Ad_1:：ポゾリス No.70　Ad_2：マイクロエア 303A

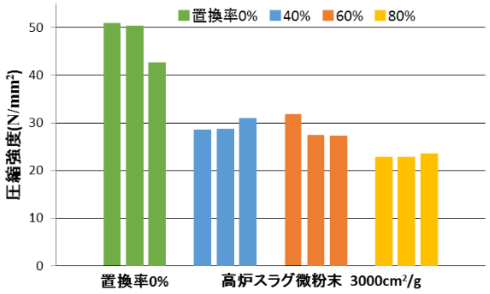

図 1 圧縮試験結果

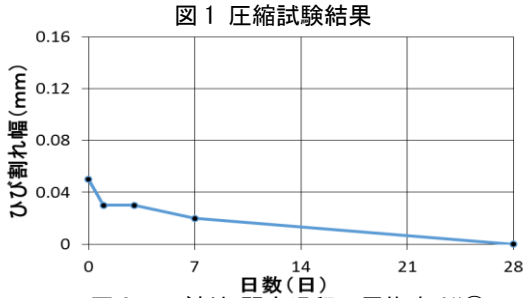

図 2 ひび割れ閉塞過程　置換率 0%②

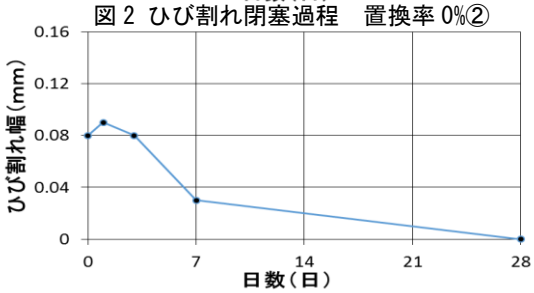

図 3 ひび割れ閉塞過程　BFS 3000 80%③

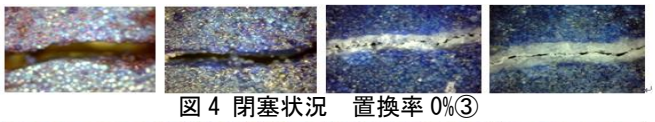

図 4 閉塞状況　置換率 0%③

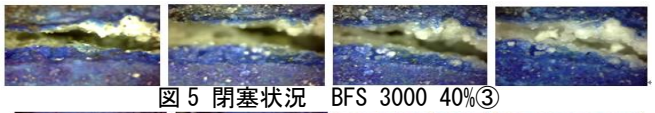

図 5 閉塞状況　BFS 3000 40%③

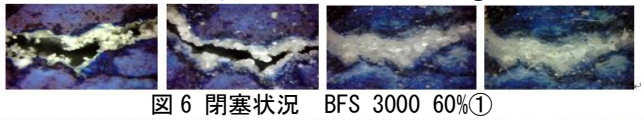

図 6 閉塞状況　BFS 3000 60%①

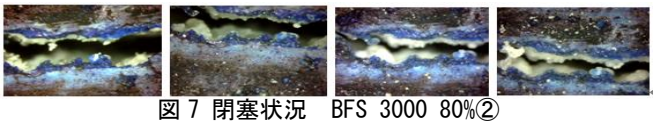

図 7 閉塞状況　BFS 3000 80%②

キーワード　自己治癒　ひび割れ閉塞　高炉スラグ微粉末 3000　置換率
連絡先　〒158-8557　東京都世田谷区玉堤 1-28-1　東京都市大学　栗原研究室　TEL:03-5707-0104（代）nkuri@tcu.ac.jp

3. 実験結果および考察

圧縮試験結果を**図 1** に示す. 高炉スラグ微粉末の置換率を大きくするほど, 圧縮強度が低下した.

置換率 0%, 80%のひび割れ閉塞状況の一例を**図 2～3** に示す. 水中養生（自己治癒）が進むにつれ, ひび割れ幅が減少し, 28 日後にはほぼ閉塞した. これは閉塞した他の供試体においても同様の減少を確認できた.

各ケースで再現したひび割れ幅の初期値が最大となった供試体を例に, そのひび割れ閉塞状況を**図 4～7** に示し,全供試体のひび割れ閉塞状況を**表 2** に示す. 図より最大ひび割れ幅を生じた供試体においては, 置換率 0%でほぼ閉塞, 置換率 40%, 80%では閉塞せず, 置換率 60%では閉塞した. **表 2** に示すひび割れ閉塞状況より, 0.1mm 以下の場合, 置換率 60%③を除き全ての供試体でひび割れが閉塞している. 羅らの研究[2)]と同様に, 置換率の変化で自己治癒効果の差は認められず, 高混入した場合でも同様のことが確認できた.

ひび割れ部を再度割裂し自己治癒部を削り出し X 線回折分析を行なった. 分析結果を**図 8～9** に示す（比較対象としてコンクリートの主成分である炭酸カルシウムと水酸化カルシウムの分析結果を併記する）. **図 8** より, 自己治癒部の成分は炭酸カルシウムで形成されていることが確認された. **図 9** より炭酸カルシウムの含有量は置換率が大きくなるほど相対的に減少しているが, 置換率の差によるひび割れ閉塞への影響は認められなかった. 以上より, 置換率に関係なく, 高炉スラグ微粉末（ブレーン値 3000cm^2/g）を高混入した場合においても自己治癒によるひび割れ閉塞を期待できることがわかった.

4. まとめ

(1) 水中養生(自己治癒)が進むにつれて, ひび割れ幅が減少し, 0.1mm 以下の場合は,置換率 60%③を除き全ての供試体でひび割れ幅が閉塞した.

(2) X 線回折分析結果より, 置換率が高くなるにつれ炭酸カルシウムの含有量が相対的に減少するが, 自己治癒への影響は認められない.

(3) 今回の実験結果からは, 各供試体にばらつきがあり閉塞速度の差異は認められなかった.

(4) 置換率に関係なく, 高炉スラグ微粉末を高混入した場合においても, 自己治癒によるひび割れ閉塞を期待できる.

表 2 各供試体のひび割れ閉塞状況

置換率(%)	No.	ひび割れ幅(mm) 導入時	7日後	28日後	閉塞状況
0	①	0.03	0.00	0.01	△
	②	0.05	0.02	0.00	○
	③	0.07	0.01	0.006	△
40	①	0.08	0.00	0.00	○
	②	0.09	0.04	0.04	△
	③	0.15	0.10	0.07	×
60	①	0.15	0.00	0.00	○
	②	0.07	0.10	0.00	○
	③	0.03	0.10	0.10	×
80	①	0.06	0.04	0.00	○
	②	0.13	0.07	0.05	×
	③	0.08	0.03	0.00	○

○：閉塞している △：見掛け上閉塞している×：閉塞していない

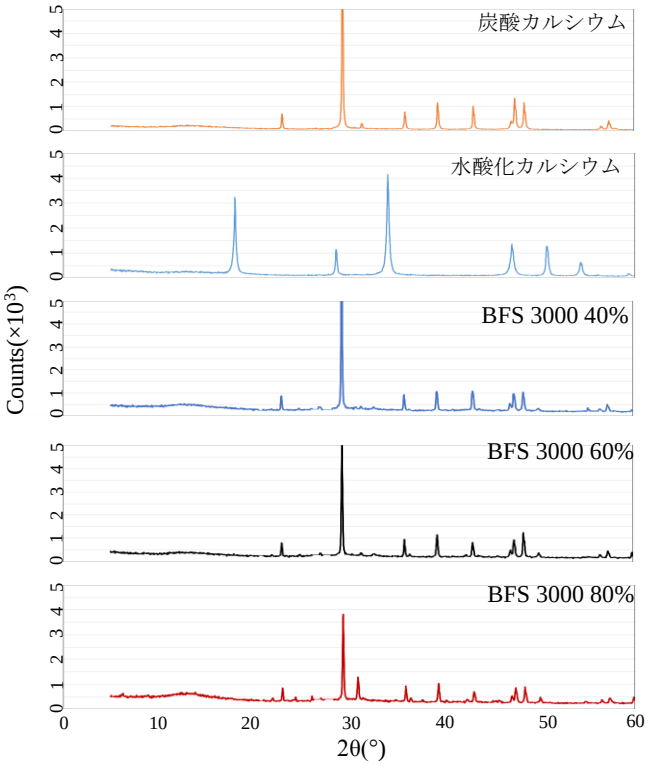

図 8 X 線回折分析結果

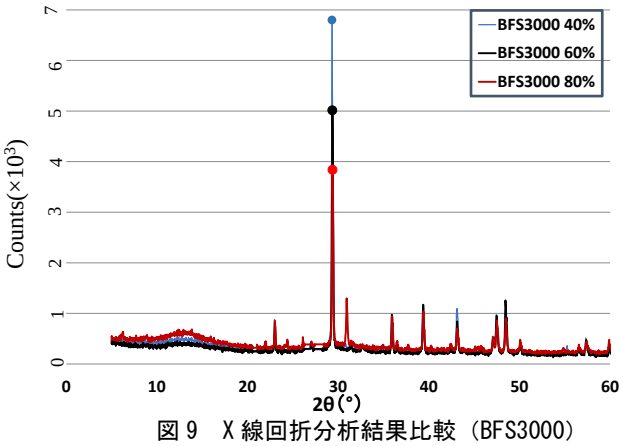

図 9 X 線回折分析結果比較（BFS3000）

参考文献

1) 日本コンクリート工学会:混和材積極利用によるコンクリート性能への影響評価と施工に関する研究委員会, p1,2013

2) 羅承賢・濱幸雄・谷口円・佐川孝広:フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの自己修復効果の比較,コンクリート工学年次論文集, vol.34, No.1, pp.1402-1407, 2012