

モルタルの自己修復性能に及ぼすフライアッシュの種類・置換率の影響

正会員 ○藤原 佑美*1 同 濱 幸雄*1
同 山城 洋一*2 同 齋藤 敏樹*3

自己修復 フライアッシュ 中性化速度
細孔構造 ひび割れ

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物は長期にわたる高い耐久性と信頼性の確保が求められている。また、産業廃棄物最終処分場の確保の観点からフライアッシュの有効利用が大きな課題となっている。

フライアッシュは外割りで適切な量を混合することで無混合の場合より初期強度が増加し¹⁾、中性化に対する抵抗性が向上²⁾することが知られている。また、セメントとフライアッシュを適切に配合することにより、コンクリート内部で長期にわたって計画的に反応を起こし、供用期間中に生じた微細ひび割れを埋めることでコンクリートの耐久性を高める自己修復効果が期待できる。

本研究では、フライアッシュの種類および置換率を変化させたモルタルの自己修復効果を把握することを目的として検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および実験水準

実験計画表および調合表を表1に示す。本実験では、登別産陸砂(表乾密度 2.69 g/cm³, 粗粒率 2.70)を用い、セメントは普通ポルトランドセメント(記号 N, ρ=3.16

g/cm³)および早強ポルトランドセメント(記号 H, ρ=3.13g/cm³)と低熱ポルトランドセメント(記号 L, ρ=3.24g/cm³)を質量比 7:3 の割合で混合したものを用いた。フライアッシュは JIS II 種灰範囲内の炭種の異なる 4 種類を使用し、細骨材の一部として使用した。表 2 に使用したフライアッシュの品質を示す。

2.2 実験方法

実験は、4×4×16cm のモルタル試験体を用い、打込みから 20℃・4 週水中養生後を初期性状として、凍結融解試験によって相対動弾性係数で 80%または 60%程度まで低下させた状態を劣化後性状として、その後 20℃・1 週および 40℃・4 週水中で修復養生を行ったものを修復後性状とし、各性状時に圧縮・曲げ試験、促進中性化試験、細孔構造の測定、ひび割れ観察を行った。

凍結融解試験は JIS A 1148 A 法に準じて行った。

促進中性化試験は、JIS A 1153 に準じて行い、促進期間 1 週、4 週、13 週で中性化深さの測定を行った。

細孔構造の測定は、水銀圧入法により行った。

ひび割れ観察は、松村らの方法³⁾に準じ、実体顕微鏡を用いて測線長を横切るひび割れ本数を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 強度、相対動弾性係数および促進中性化試験結果

図 1 に曲げ・圧縮強度、相対動弾性係数および中性化速度係数の変化を示す。全ての試験体で、劣化後の修復養生により曲げ・圧縮強度、相対動弾性係数および中性化速度係数ともに回復していることがわかる。フライアッシュを用いた場合には、種類による差は明確ではないが、置換率が高くなるほど回復程度が高く、特に 40℃・4

表 1 実験計画表および調合表

記号	W/C (%)	FA 種類	FA 置換率 (vol%)	劣化程度 (%)	修復養生	単位質量 (kg/m ³)									
						セメント			F	S					
						W	N	H			L				
N	55	A	20	60	20℃1W	342	621	-	-	-	1241				
HL						342	-	434	187	-	1241				
FA20						342	-	434	187	195	994				
FA10						342	-	434	187	97	1119				
FA30						342	-	434	187	293	876				
FAX						45	20	60	40℃4W	316	-	492	211	221	1125
FAY						65				380	-	409	175	183	937
FB						55				342	-	434	187	195	994
FC						55				342	-	434	187	207	994
FD						55				342	-	434	187	205	994

表 2 フライアッシュの品質

	JIS規格 II種	A	B	C	D																																			
						強熱減量(%)	二酸化けい素(%)	AP I (%)	pH	ガラス化率(XRD法) (%)	メチレンブルー発電法	吸着量(mg/g)	セメント協会法	湿分(%)	密度(g/cm ³)	ブレン比表面積(cm ² /g)	45μmふるい残分(%)	BET比表面積(m ² /g)	フロー値比(%)	活性度指数(%)																				
化学成分	5以下	1.5	2.1	1.9	1.7	73.2	59.9	58.7	60.5	-	71.8	72.5	74.6	69.3	-	10.9	11.9	7.8	8.8	-	88.8	86.2	88.4	80.6	-	0.43	0.53	0.52	0.54	-	0.41	0.45	0.51	0.53						
物理性状	1以下	0.16	0.14	0.20	0.11	1.95以上	2.15	2.22	2.26	2.21	2500以上	4090	4040	3160	2830	40以下	17	18	15	17	-	1.63	1.99	1.83	1.63	95以上	105	107	108	105	80以上	87	88	83	79	90以上	97	100	94	99

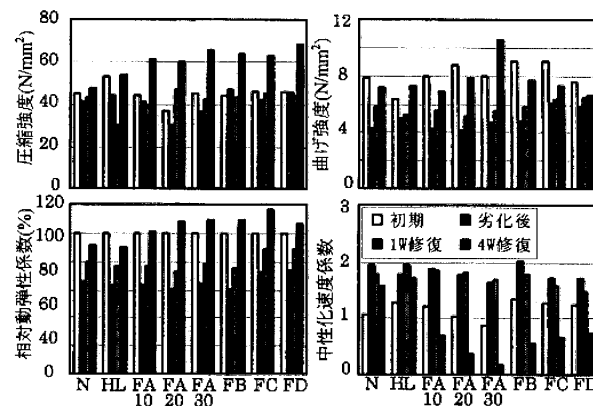


図 1 曲げ・圧縮強度、相対動弾性係数および中性化速度係数の変化

週養生では初期性状を上回る程度まで回復している。

3.2 細孔構造の変化

図 2 に細孔構造の変化を示す。N, FA20 とともに劣化後に総細孔量がやや増加し、修復後には細孔径分布が微細径側にシフトして細孔量が減少する傾向を示している。特に、FA20 では 40℃・4 週養生での細孔の微細化と細孔量の減少が顕著である。

初期性状値を 100%とした細孔範囲ごとの相対細孔量の変化の一例を図 3 に示す。劣化後および修復後に細孔量の変化が大きいのは 0.05~10 μm の細孔径範囲である。これより、凍結融解の劣化により生じるマイクロクラックの大部分は 1 μm 以上であり、修復養生により未水和のセメントおよびフライアッシュが反応して生成される水和物の大部分は、0.05 μm 以上の劣化により生じたマイクロクラックを充填したものと推察される。特に、FA20 の 40℃・4 週修復養生後の 0.05 μm 以上の細孔量の減少率は大きく、フライアッシュの反応による効果が大きいことが要因と考えられる。図 4 に圧縮強度と総細孔量の関係を示す。総細孔量が少ないほど圧縮強度は大きくなっており、劣化後の強度低下と修復養生後の強度回復は細孔構造の変化に起因するものであることがわかる。

以上の結果から、劣化および修復養生による細孔構造の変化は強度特性に影響を及ぼしており、変化する細孔径は 0.05~10 μm の範囲であり、フライアッシュを用いた場合には 40℃・4 週養生での細孔量の減少が顕著であることが明らかとなった。

3.3 ひび割れ本数の変化

図 5 にフライアッシュの種類および置換率の違いによるひび割れ本数の変化を示す。HL およびフライアッシュを用いた試験体は初期性状時では比較的少なく、ひび割れの発生が抑制されている。フライアッシュを使用した試験体では、種類および置換率の影響は明確ではないが、40℃・4 週養生ではひび割れ本数はほとんど 0 に近い値を示し、置換率の小さい FA10 を除いては、各性状時とも全体的にひび割れの発生は少なかった。フライアッシュを使用することによって、ひび割れを抑制しさらに劣化後のひび割れを埋める効果があることが確認された。

3.4 劣化程度の違いによる修復性能の影響

図 6 に劣化程度の違いによる中性化速度係数の変化を示す。N および HL においても、40℃・4 週養生ではわずかに中性化速度係数の低下が見られるが、フライアッシュを用いた場合には劣化後の 1/3 程度まで大幅に低下している。このため、凍結融解試験の劣化の評価基準となっている相対動弾性係数 60%まで低下した場合でも、フライアッシュを使用して適切な修復養生がなされる場合には十分な自己修復効果が期待でき、中性化に対する抵抗性は向上すると考えられる。

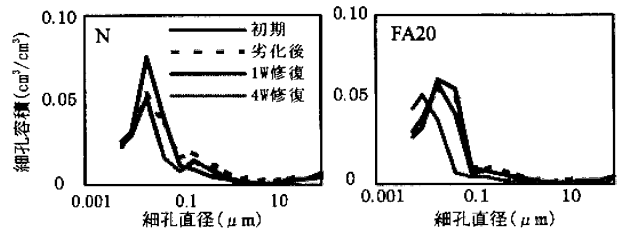


図 2 細孔構造の変化

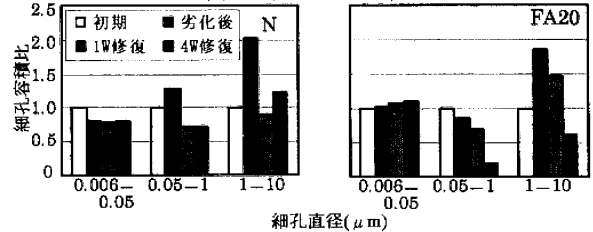


図 3 細孔範囲ごとの相対細孔量の変化

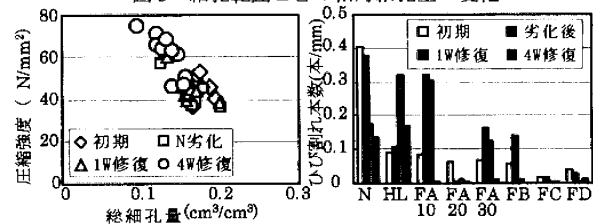


図 4 圧縮強度と細孔構造の関係

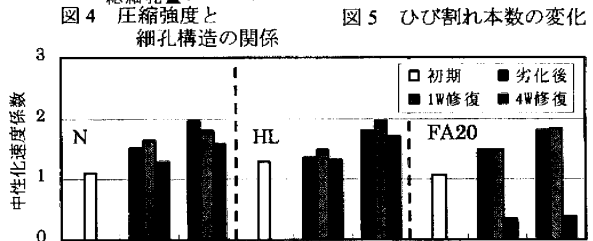


図 5 ひび割れ本数の変化

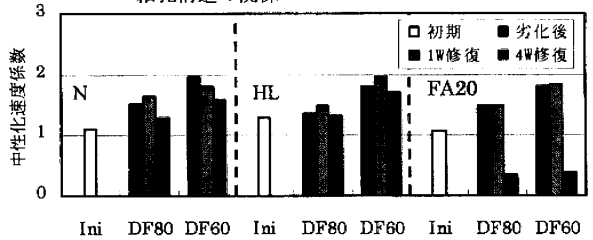


図 6 劣化程度の違いによる中性化速度係数の変化

以上の結果から、フライアッシュを用いたモルタルの高いポテンシャルの自己修復効果が確認されたが、実環境下で考えられる劣化と修復の繰り返しの影響や修復養生条件の評価が今後の課題である。

4. まとめ

- (1) フライアッシュを用いた場合の修復効果は炭種の影響はみられず、置換率が高いほど大きくなる。
- (2) 劣化および修復養生によって細孔径は 0.05~10 μm の範囲で変化し、強度特性に影響を及ぼす。
- (3) 劣化が著しい場合でも、40℃・4 週養生で十分な修復性能がみられる。

【謝辞】

本研究は北海道重点領域研究課題「自己修復コンクリートの開発」の一部として実施したものである。関係各位に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 黄光律ら：フライアッシュを細骨材の一部として使用したコンクリートに関する研究(その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.77~80, 1997.9
- 2) 黄光律ら：フライアッシュを外割混合使用したコンクリートの中性化特性, コンクリート年次論文報告集, vol. 20 No.2, 1998
- 3) 松村宇ら：凍害を受けたコンクリートの劣化度評価法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 563 号, pp.9-13, 2003.1

*1 室蘭工業大学
*2 北海道電力(株) 総合研究所
*3 北電総合設計(株) 技術研究所

*1 Muroran Institute of Technology
*2 Research and Development Dept., Hokkaido Electric Power. Co.
*3 Research and Development Dept., Hokuden General Engineering Design & Consulting Company Inc.