

フライアッシュを用いたコンクリートの自己修復効果に関する研究

正会員 ○村井 洋公1*
同 濱 幸雄2*

自己修復
細孔構造

フライアッシュ
耐凍害性

中性化速度
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の確保が求められているが、経年劣化によって供用期間中に発生するマイクロクラックが耐凍害性の低下や中性化促進の原因となっている。著者らは、既往の研究でフライアッシュを用いたモルタル実験において、凍結融解作用による劣化後に修復養生を行うことで、高いポテンシャルの自己修復性能を確認している¹⁾²⁾。

本研究では、フライアッシュを用いたコンクリートの耐凍害性の評価および自己修復性能を検討することを目的とした実験を行った。

2. 実験計画および実験方法

本実験の調査表および練上がり性状を表1に示す。NはOPC($\rho=3.16 \text{ g/cm}^3$ 、比表面積 $3250 \text{ cm}^2/\text{g}$)を使用した比較用試験体とし、FANはOPCを使用し、フライアッシュはJIS規格II種に相当するものを細骨材の一部として10vol.%置換した。FAHLは早強セメント($\rho=3.13 \text{ g/cm}^3$ 、比表面積 $4650 \text{ cm}^2/\text{g}$)と低熱セメント($\rho=3.24 \text{ g/cm}^3$ 、比表面積 $3330 \text{ cm}^2/\text{g}$)を質量比7:3の割合で混合し、フライアッシュをFANと同様に置換した。細骨材は登別産陸砂($\rho=2.69 \text{ g/cm}^3$ 、粗粒率 2.70)、粗骨材は白老産砕石($\rho=2.67 \text{ g/cm}^3$ 、粗粒率 6.64)を使用した。

耐凍害性の評価はJIS A 1148法に準拠した水中凍結融解試験を30サイクル行う毎に質量、一次共鳴振動数および長さを測定した。

自己修復性能の評価には7.5×7.5×40cmの角柱試験体を用いた。打設から20℃・4週水中養生後に初期性状試験を行い、凍結融解を30サイクル行った後、劣化後性状試験を行った。その後、40℃・2週水中養生後に修復後性状試験を行う条件と、凍結融解を30サイクル行い40℃・3日水中養生を3サイクル繰返した後に修復後性状試験を行う条件で修復性能を検討した。性状試験は、一次共鳴振動数、中性化深さ、ひび割れ本数および細孔構造の測定を行った。凍結融解試験はJIS A 1148法に準拠した。

表1 コンクリート調査表および練上がり性状

試験体記号	W/C %	SL cm	Air %	細骨材率 %	単位量(kg/m ³)							練上がり性状		
					W	セメントC			FA	S	G	温度 °C	SL cm	Air %
						OPC	H	L						
N	55	18	1.0	47	191	348	—	—	—	879	998	11.0	18.0	2.3
FAN				46	191	348	—	—	34	829	998	10.0	20.1	1.1
FAHL				46	191	—	241	107	34	829	998	11.0	20.3	0.9

Study on Self-Healing of Concrete Using Fly Ash

MURAI Hiromasa, HAMA Yukio

促進中性化試験はJIS A 1153法に準拠した。ひび割れ観察は、松村ら³⁾の方法に準じ、顕微鏡を用いて側線上を横切るひび割れ本数を測定した。細孔構造の測定は水銀圧入ポロシメータを用い、細孔直径6~5000nmの範囲で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 耐凍害性の評価

凍結融解試験による相対動弾性係数の変化を図1に示す。FANおよびFAHLはNに比べて相対動弾性係数の低下が著しく、87サイクルまでに崩壊した。本研究では自己修復性能の評価を行うために試験体を劣化させる必要があり、non-AEコンクリートを用いているが、FANおよびFAHLの練上がり時の空気量が、Nに比べて1%程度少ないため、この結果が耐凍害性に影響を及ぼしている可能性がある。

3.2 劣化および修復による各種物性の変化

1)相対動弾性係数の変化

相対動弾性係数の変化を図2に示す。劣化および修復程度は異なるが、すべての試験体で凍結融解により相対動弾性係数は低下し、40℃・2週の修復養生後に回復がみられる。フライアッシュを用いた場合、修復効果が高くなる傾向を示し、既報¹⁾²⁾と同様にフライアッシュの混入が修復効果を向上させることが確認された。また、劣化と修復を繰返した場合はFAHLが劣化に対する修復程度が小さく、相対動弾性係数の低下が顕著である。したが

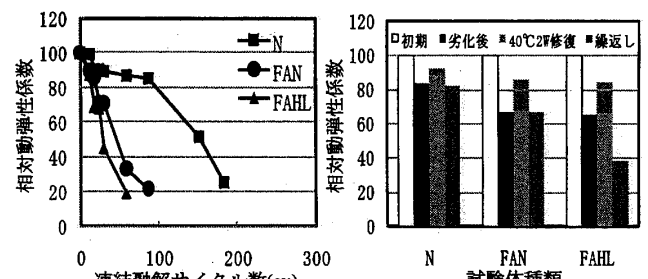


図1 相対動弾性係数の変化

図2 各性状時の相対動弾性係数の変化

って、劣化と修復がくり返される実環境の条件では劣化抵抗性と修復効果のバランスが重要である。

2) 中性化速度係数の変化

中性化速度係数の変化を図3に示す。FAN および FAHL は劣化後に中性化速度係数は増大するが、40℃・2週の修復養生によって中性化速度係数の低下がみられ、フライアッシュを用いることによって中性化抵抗性は向上することが認められる。また、劣化と修復を繰り返した場合は、フライアッシュを用いた試験体は劣化程度に対して修復効果が小さいため最終的に劣化が進行している。

3) ひび割れ本数の変化

ひび割れ本数の変化を図4に示す。FAN および FAHL は 40℃・2週修復養生によってひび割れ本数が減少した。また、劣化と修復を繰り返した場合、FAHL は劣化後にひび割れ本数が著しく増加している。これは劣化によって微細なひび割れが多く発生し、表面からの浸水が促進され、その後の凍結融解時に凍害による影響を多く受けたためと推察される。

4) 細孔構造の変化

細孔直径を 6~50nm、50~1000nm、1000~5000nm の3区分の範囲に分け、初期を 100%とした細孔範囲ごとの相対細孔容積の変化を図5に示す。N および FAN は劣化後に 50nm 以上の細孔が増加している。その後、40℃・2週修復養生によって 50~1000nm の範囲で細孔の減少が認められ、劣化後に発生したマイクロクラックが反応生成物で充填されたことを示している。また、フライアッシュを用いた FAN は劣化と修復を繰り返した場合、1000nm 以上の粗大な細孔の増大が顕著であり、モルタル実験と同様に劣化が進行していることが認められた。

3.3 自己修復効果の評価方法の提案

これまでの検討結果から、自己修復効果は、劣化抵抗性と修復効果のバランスを考慮して評価すべきであることを示した。そこで、初期性状時、劣化後性状時およびその後の 40℃・2週修復性状時のそれぞれの中性化速度係数を I、D、S(mm/√週)とし、自己修復効果を表す指標を式(1)で定義することとする。

$$E_s = \frac{P_s}{D_I} \quad (1)$$

E_s : 自己修復効果

P_s : 潜在的修復性能 (= D-S)

D_I : 劣化指数 (= D-I)

各コンクリートの自己修復効果の評価結果を図6に示す。普通コンクリートは $E_s=0.61$ であり、 E_s がそれ以上であれば自己修復効果ありと評価できる。本研究で評価した FAN は $E_s=0.66$ で N を若干上回ってはいるが、十分な修復効果とは言い難い。一方、FAHL は $E_s=0.26$ と小さく、自己修復効果は期待できないと評価できる。しかしながら、AE コンクリートとすると耐凍害性は向上し、劣化指

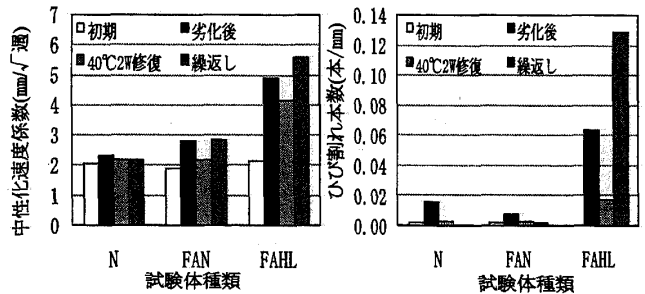


図3 中性化速度係数の変化

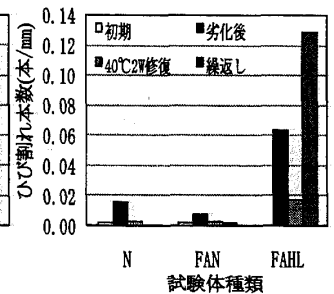


図4 コンクリートのひび割れ本数の変化

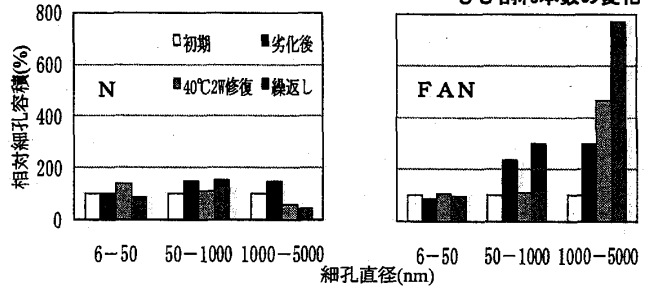


図5 細孔容積比の変化

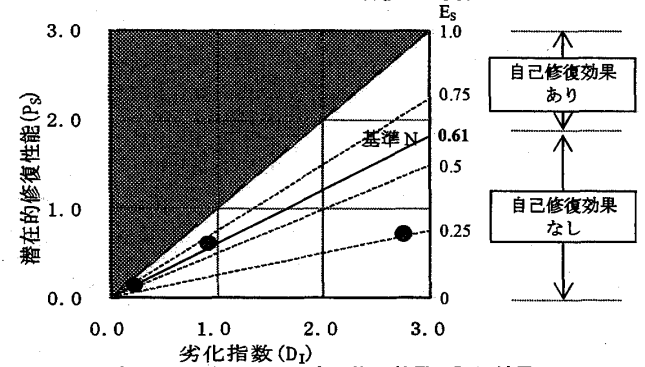


図6 コンクリートの自己修復効果の評価結果

数 D_s は小さくなるため、フライアッシュの持つ潜在的修復性能 P_s が一定であると仮定すると、 E_s は向上することになる。

4. まとめ

- 1) 本研究で評価した自己修復コンクリートは普通コンクリートと同等以上の強度発現を示し、実用上の問題はないことが確認された。
- 2) コンクリートにおいてもモルタル同様、劣化と修復によって変化する細孔直径の範囲は 50nm 以上の細孔である。
- 3) 実環境下では、劣化程度より修復効果が上回ることが必要となり、双方のバランスを表わす自己修復効果の評価指標を示した。

【謝辞】

本研究は北海道立北方建築総合研究所、北海道電力、日鐵セメント、北海道大学、室蘭工業大学卒業生・田中章仁氏、同大学院卒業生・藤原佑美氏との共同研究として実施したものである。関係諸氏に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 藤原佑美ら：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、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp1241-1242、2007.9
- 2) 藤原佑美ら：フライアッシュを用いたモルタルの自己修復効果、コンクリート工学年次論文集、vol.29 No.1、2007
- 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 室蘭工業大学大学院

*2 室蘭工業大学准教授・博(工)

*1 Graduate School, Muroran Institute of Technology

*2 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng