

フライアッシュを混入した AE コンクリートの自己修復効果の検討

自己修復 フライアッシュ 中性化速度
AE コンクリート 耐凍害性 繰返し載荷

正会員 ○村井 洋公 1* 同 谷口 円 2*
同 桂 修 3* 同 佐川 孝広 4*
同 濱 幸雄 5*

1. はじめに

著者らは鉱物組成を調整したセメントとフライアッシュを適切に配合することで、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マイクロクラックを反応生成物で埋める自己修復コンクリートについての研究を行ってきた。既報¹⁾²⁾では、フライアッシュを用いたモルタルおよびコンクリート実験において、フライアッシュ混合による高い潜在的な自己修復性能を有することを確認している。しかし、既往の研究ではフライアッシュの自己修復効果を検討することを目的としていたため、その対象は凍害劣化を受けやすい non-AE のモルタルとコンクリートによる実験に限定されていた。

そこで本研究では、AE コンクリートも実験の対象に加えて、フライアッシュを外割り混合したコンクリート耐凍害性の検討を行うとともに、凍害劣化後の修復養生による自己修復効果を、相対動弾性係数と中性化速度係数の変化によって評価した。また、凍害劣化によるマイクロクラックを生じにくい耐凍害性に優れたコンクリートでの自己修復効果を評価する促進試験方法についても検討した。

2. 実験計画および実験方法

コンクリートの調合表および練り上がり性状を表-1 に示す。比較用試験体(記号 N, NA)は普通ポルトランドセメント(密度 3.16 g/cm³、ブレン比表面積 3270cm²/g)を使用し、自己修復コンクリートとして、普通セメントにフライアッシュを混入した試験体(記号 F, FA)の計 4 種類とした。NA および FA には AE 剤を使用した。フライアッシュは JISII 種灰に相当する WA を用い、セメントの質量比の 15%を細骨材の一部として置換した。細骨材は表乾密度 2.69g/cm³、粗粒率 2.74 の陸砂を、粗骨材は表乾密度 2.71g/cm³、粗粒率 6.61 の碎石をそれぞれ用いた。混和剤は AE 剤、フライアッシュ用 AE 剤およびナフタレン系高性能減水剤をそれぞれ用いた。

耐凍害性の評価は、7.5×7.5×40cm の角柱供試体を用いて、JIS A 1148 A 法に準拠した水中凍結融解試験を行い、30 サイクル毎に質量変化、長さ変化およびたわみ振動による一次共鳴振動数の測定を行った。自己修復性能の評価には、7.5×7.5×40cm の角柱供試体を用いて、初期、劣化後および修

復養生後における相対動弾性係数および中性化速度係数の変化によって評価した。促進中性化試験は JIS A 1153 に準拠した。修復養生条件は、40℃4 週水中養生および、実環境を想定した劣化-修復の繰返し条件として、30 サイクルの凍結融解と 40℃水中・3 日養生を 3 サイクル繰返す条件で検討を行うこととした。

促進凍結融解試験によって劣化を与えようとする場合、耐凍害性に優れたコンクリートでは劣化が生じず、修復効果を評価することができない。本研究では、修復性状を検討するにあたり、劣化後性状を相対動弾性係数 80~90%程度と設定した。しかし、AE コンクリートでは凍結融解 300 サイクル経過時においても目標の劣化程度に達しない可能性があった。そこで、凍結融解作用で生じるコンクリート内部のマイクロクラックを力学的な手法により導入し、その修復効果を検討することとした。試験体は、φ10×20cm の円柱供試体を用い、打込みから 20℃水中養生 1 年後のものとした。劣化条件は最大圧縮荷重の 85%の繰返し載荷を行い、相対動弾性係数を 90%まで低下させた。その後は 20℃水中で修復養生を行い、50 日まで継続的に一時共鳴周波数を測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 耐凍害性

凍結融解試験における相対動弾性係数の変化を図-1 に示す。non-AE コンクリートは耐凍害性が低く、特にフライアッシュを混合した試験体 F の耐凍害性がきわめて劣る結果となった。しかし、AE コンクリートは、フライアッシュの有無によらず耐久性指数は 80 程度となり、フライアッシュ混合による耐凍害性の低下は認められなかった。

3. 2 自己修復性能の評価

初期および劣化後、修復後の相対動弾性係数を図-2 に示す。いずれのコンクリートにおいても、劣化後の修復養生で相対動弾性係数が回復しているが、フライアッシュの混合の有無による明確な差は認められない。中性化速度係数の変化を図-3 に示す。いずれのコンクリートにおいても、劣化後に中性化速度係数が大きくなり、その後の修復養生で中性化速度

表-1 コンクリート調合表および練り上がり性状

試験体 記号	W/C %	SL cm	Air %	s/a %	単位量(kg/m ³)					絶対容積(L/m ³)					練り上がり性状					
					W	C	FA	S	G	C	FA	S	G	高性能 減水剤	AE剤	FA用	温度 ℃	SL cm	Air %	塩化物量 kg/m ³
N	51	18	1.0	47	151	296	—	955	1084	94	—	355	400	3.85	—	—	23.0	16.5	4.0	0.029
NA			4.0	46	151	296	—	880	1038	94	—	327	383	3.26	0.067	—	23.0	17.5	5.5	0.028
F			1.0	48	150	295	44	926	1060	93	21	344	391	3.84	—	—	20.0	18.0	2.6	0.036
FA			4.0	46	150	295	44	832	1033	93	21	309	381	3.25	—	0.288	20.5	19.0	5.1	0.034

Study on Self-Healing of ability AE Concrete using Fly Ash

MURAI Hiromasa, TANIGUCI Madoka, KATSURA Osamu,
SAGAWA Takahiro and HAMA Yukio

係数が初期性状時と同等程度まで小さくなる傾向がみられる。特にフライアッシュを混合したnon-AEコンクリートでの劣化後および修復養生後の中性化速度係数の変化が大きい。また、フライアッシュを混合したAEコンクリートでは、修復養生後の中性化速度係数が初期性状時よりも小さくなっている。凍結融解による劣化と修復養生を繰り返した場合の相対動弾性係数の変化を図-4に示す。最初の30サイクルの凍結融解で比較的大きく相対動弾性係数が低下したのち、修復と劣化を繰り返しながら徐々に劣化が進行していく傾向が認められた。3サイクルの劣化-修復履歴後の最終的な劣化程度は、図-1に示したそれぞれのコンクリートの耐凍害性と対応したものとなっている。すなわち、フライアッシュによる潜在的な自己修復効果が大きいコンクリートでも、その耐凍害性が劣る場合には有効な耐久性向上策とはならないことを示唆している。自己修復コンクリートとして実環境でその修復性能を発揮させるには、1年間に受ける劣化程度より修復効果の方が大きくなければならず、通常のコンクリートと同様にAEコンクリートとして耐凍害性を確保することが前提となる。

これまでの検討結果から昨年度同様に初期、劣化後および修復後の各中性化速度係数をI、D、S(mm/√週)とした式(1)を用いて自己修復効果を検討した。

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

ここに、 E_s ：自己修復効果
 P_s ：潜在的自己修復性能(=D-S)
 D_i ：劣化指数(=D-I)

式(1)による自己修復効果の評価結果を図-5に示す。 E_s が1.0以上であれば、自己修復によって初期性状以上の中性化速度係数の回復が期待できることを意味する。普通ポルトランドセメントのAEコンクリートNAをみると、NAの E_s は1.11であった。それに対してフライアッシュを混合したAEコンクリートFAの E_s は、3.87とNAを大きく上回る自己修復効果を有するものとして評価できた。

3.3 繰返し载荷による自己修復効果の評価

繰返し载荷によりマイクロクラックを導入した場合の劣化および修復養生による相対動弾性係数の変化を図-6に示す。N、NA、Fでは载荷回数5回で、FAでは载荷回数8回で相対動弾性係数が90%を下回り、すべてのコンクリートにおいてその後の20℃水中養生の修復養生で相対動弾性係数の回復が見られた。相対動弾性係数の回復は、コンクリート種類によらず修復養生期間16日程度で一定となり、その修復程度はFA、F、N、NAの順に大きくなっていった。

この繰返し载荷法は、凍害劣化の生じにくいAEコンクリートの自己修復効果を評価するための促進試験方法として適用可

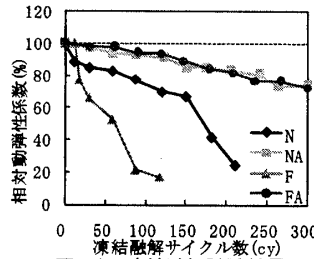


図-1 凍結融解試験結果

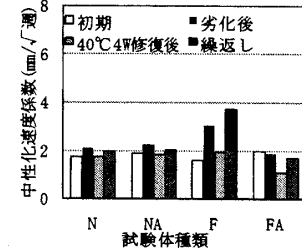


図-3 中性化速度係数の変化

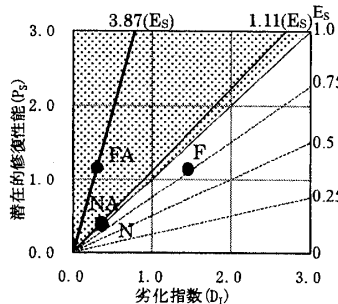


図-5 自己修復効果の評価結果

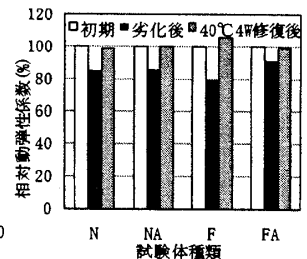


図-2 相対動弾性係数の変化

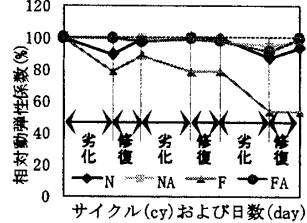


図-4 劣化と修復を繰り返した場合の相対動弾性係数の変化

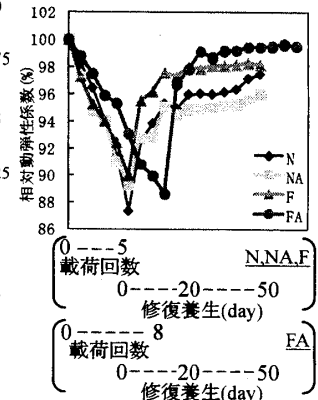


図-6 繰返し载荷による自己修復効果の評価

能である。

4. まとめ

- 1) フライアッシュ外割り混合の non-AE コンクリートの耐凍害性は材齢 28 日では大きく劣る傾向にあるが、空気連行によって普通コンクリートと同等の耐凍害性となる。
- 2) フライアッシュ外割り混合の AE コンクリートでは、劣化程度と修復効果のバランスの良い優れた自己修復効果を有することが確認された。
- 3) 繰返し载荷法は、耐凍害性に優れた AE コンクリートのように凍結融解による劣化を与えるのが困難な場合の自己修復効果を評価するための促進試験方法として適用可能である。

【参考文献】
 1) 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, pp.303-308, 2007
 2) 村井洋ら：フライアッシュを用いたコンクリートの自己修復コンクリートに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、pp.977-978 2008.9

*1 室蘭工業大学大学院
 *2 北海道立北方建築総合研究所 工修
 *3 北海道立北方建築総合研究所 博士(工学)
 *4 日鐵セメント株式会社 研究開発部 博士(工学)
 *5 室蘭工業大学准教授・博士(工学)

*1 Graduate School, Muroran Institute of Technology
 *2 Hokkaido Northern Regional Building Research Inst., M. Eng.
 *3 Hokkaido Northern Regional Building Research Inst., Dr. Eng.
 *4 Nittetsu Cement Co. Ltd., Dr. Eng.
 *5 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng