

早強・低熱混合系セメントおよびフライアッシュを用いたコンクリートの自己修復性能

正会員 ○濱 幸雄*
同 上 谷口 円**
同 上 桂 修**

自己修復
フライアッシュ

早強セメント
凍結融解

低熱セメント
中性化

1. はじめに

環境保護や経済性の観点から今後新たに建築される建築物については、優良なストックとして維持していくために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問題から火力発電所から排出されるフライアッシュの有効利用が大きな課題となっている。

本研究は、反応速度の異なるセメントやフライアッシュのポゾラン反応性を利用して、これらを長期にわたって計画的に反応させることにより、凍害などによってコンクリート表面に生じた微細なひび割れをコンクリート自ら修復する自己修復コンクリートの開発を目的として、早強・低熱混合系セメントおよびフライアッシュを外割混合したコンクリートの自己修復性能について検討を行ったものである。

2. 実験計画および方法

実験計画表を表1に示す。使用したコンクリートは、登別産陸砂(表乾密度 2.69 g/cm³, 粗粒率 2.70)、白老産碎石(表乾密度 2.67 g/cm³, 最大寸法 20 mm)を用い、水セメント比 50%、目標スランプ 18 cmの nonAE コンクリートとした。なお、セメントは、N50 および FA50 では普通ポルトランドセメント($\rho=3.16$)を、HL50 では早強ポルトランドセメント($\rho=3.13$)と低熱ポルトランドセメント($\rho=3.24$)を重量比 7:3 の割合で混合して用いた。また、FA50 では細骨材の一部を容積比で 20vol.%フライアッシュに置換した。コンクリートの調合表を表2に示す。

強度増進性状の確認は、 $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体を用いて材齢 3日、7日、28日、91日および 365日で圧縮強度を測定した。なお、養生方法は 20°C封緘養生とした。

凍害劣化後の自己修復性能の検討は、 $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱供試体を用い、初期、劣化後、修復後に各性状試験として促進中性化試験およびひび割れ本数測定を行なった。なお、4週 20°C水中養生後 4週 20°C RH60% 気中養生したものを初期性状、その後に促進試験による凍結融解作用で相対動弾性係数が 75%程度になったものを劣化後性状、さらに 30°C RH60%の恒温恒湿室中においてコンクリート上面に水を滞留した状態で 3ヶ月間養生を行ったものを修復後性状とした。

凍結融解の方法は、RILEM スラブ試験法¹⁾としたが、

凍害劣化の兆候が見られない試験体については、さらに JIS A 1148 に準じた凍結融解試験を行った。また、促進中性化試験は JIS A 1153 に準じて行い、ひび割れ観察は松村らの方法²⁾により行い、測線を横切るひび割れの本数を計測し、単位長さあたりのひび割れ本数を求めた。

3. 実験結果および考察

(1) 強度増進性状

図1に強度増進性状を示す。水和反応の遅い低熱ポルトランドセメントやフライアッシュを用いた FA50、HL50 は、初期の強度発現の遅れが懸念されたが、普通コンクリート(N50)と同等の強度発現を示し、長期材齢での強度増進も大きく、実用上支障はないものと思われる。

(2) コンクリートの劣化と自己修復性能

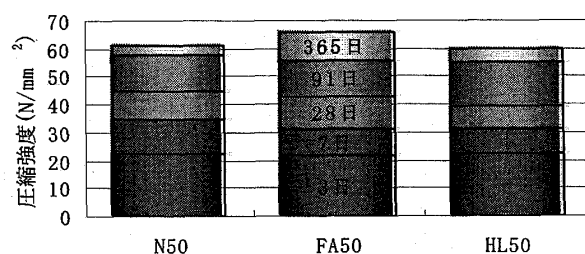
図2に初期養生後、凍結融解作用後および修復養生後の相対動弾性係数の変化を示す。FA50、HL50 では凍結融解作用により相対動弾性係数が 70%程度まで低下したが、その後の修復養生により FA50 が 90%程度、HL50 が

表1 実験計画表

記号	W/C (%)	AIR (%)	備考	試験体寸法 (cm)	測定項目
N50	50	1	OPC	10×10×40	動弾性係数 中性化速度 ひび割れ本数
FA50			OPC+FA20%骨材置換		
HL50			早強+低熱=7:3	$\phi 10 \times 20$	圧縮強度

表2 調合表

記号	W/C (%)	AIR (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位容積重量 (kg/m ³)					
				セメント			細骨材	粗骨材	FA
				普通	早強	低熱			
N50	50	1	206	411	-	-	802	952	-
FA50			206	412	-	-	623	975	120
HL50			200	-	280	120	203	975	-



コンクリートの種類
図1 強度増進性状

100%程度まで回復した。

図3に初期養生後、凍結融解作用後および修復養生後の中性化速度係数を示す。FA50、HL50では凍害劣化により中性化速度係数は大きくなったが、その後の修復養生により初期養生後の中性化速度係数と同等以下まで回復した。

図4に試験体表面のひび割れ本数の測定結果を示す。初期養生後にはいずれの試験体でもほとんどひび割れは観察されなかった。しかし、凍結融解作用後では相対動弾性係数が低下したFA50およびHL50でひび割れ数が増加し、修復養生後にはFA50で凍結融解作用後の半分程度、HL50で凍結融解作用後の1/3程度にひび割れ数が減少した。写真1にひび割れの状況を示すが、凍結融解作用後にはマトリックス部分に網目状のひび割れが発生しているのに対して、修復養生後には粗骨材界面のひび割れは残っているものの、それらを結ぶひび割れが閉塞しているのがわかる。

なお、本研究では耐凍害性に劣る nonAE を対象として、N50 を比較用試験体と位置づけて実験を行ったが、凍結融解作用による相対動弾性係数の低下が認められなかったため、初期養生後、凍結融解作用後および修復養生後の中性化速度係数およびひび割れ本数にも変化は見られなかった。nonAE の N50 が劣化しなかった理由は不明である。

4. まとめ

早強・低熱混合系セメントおよびフライアッシュを外割混合したコンクリートにおいて、凍結融解作用によって生じた劣化がその後の養生により自己修復することを、相対動弾性係数、中性化速度係数およびひび割れ本数の測定によって確認した。

【謝辞】

本研究は北海道立北方建築総合研究所、日鐵セメント、北海道電力、北海道大学、室蘭工業大学の共同研究の一部として実施したものである。また、実験の実施にあたり、室蘭工業大学大学院生 佐々木智和氏（現 ビューテック）、同卒論生 横濱大介君（現 奥村組）の協力を得た。記して、関係各位に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) L.Tang, P.E.Petersson : Recommendations of RILEM TC 176-IDC, Materials and Structures, Vol.34, RILEM, pp.526-531, 2001.11
- 2) 松村宇、桂修、吉野利幸：凍害を受けたコンクリートの劣化性状と劣化度評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No.563, pp.9-13, 2003.1

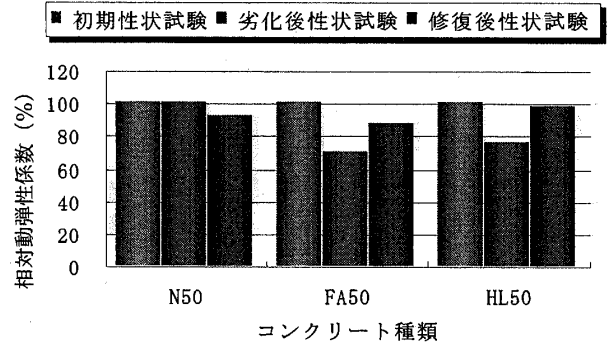


図2 相対動弾性係数の変化

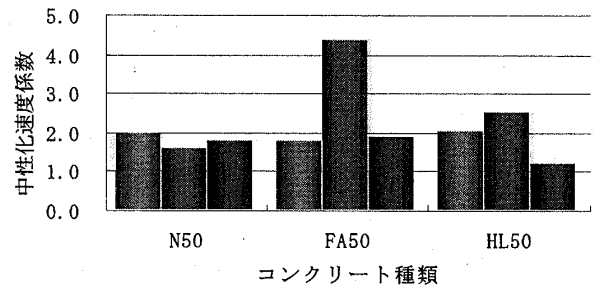


図3 中性化速度係数の変化

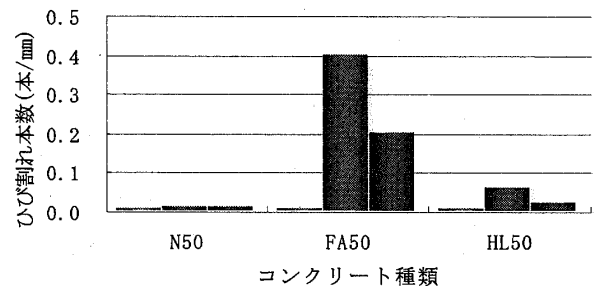


図4 単位長さあたりのひび割れ本数の変化

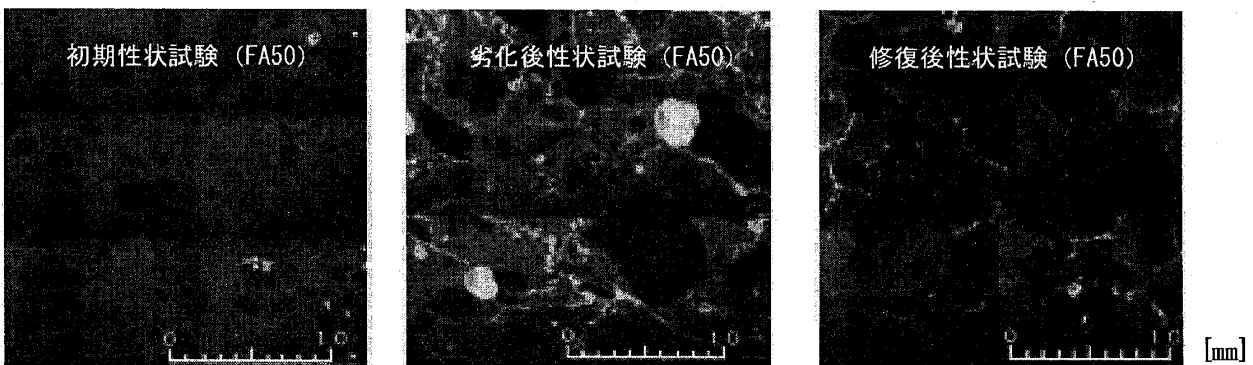


写真1 コンクリート表面のひび割れ観察

* 室蘭工業大学
** 北海道立北方建築総合研究所

* Muroran Institute of Technology
** Northern Regional Building Research Institute