

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末によるコンクリートの自己修復効果の評価

正会員 ○高橋力也*¹ 同 濱 幸雄*²
同 桂 修*³ 同 谷口 円*⁴
同 佐川孝弘*⁵

自己修復 高炉スラグ微粉末 フライアッシュ
繰返し載荷 耐久性指数 AE コンクリート

1. はじめに

フライアッシュのポゾラン反応や高炉スラグ微粉末の潜在水硬性による反応は長期的に継続し、供用期間中に凍害などにより生じたマイクロクラックを水和物で充填することから、これらの混和材は中性化進行の抑制に寄与する自己修復能力を有することが既往の研究^{1) 2) 3)}で確認されている。しかし、自己修復がコンクリートの耐久性向上に寄与する効果を定量的に評価する方法は確立されていない。また、同一条件下でのフライアッシュと高炉スラグ微粉末の混入による自己修復効果の比較検討も必要である。

そこで本研究では、自己修復効果の評価方法を既往の研究データをもとに提案し、フライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を混入した AE コンクリートの自己修復効果を比較することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験計画

コンクリートの調合及び練り上がり性状を表 1 に示す。調合は全て AE コンクリート、水セメント比は 55%を基準とした。置換率は高炉スラグ微粉末が内割 15, 45%および外割 15%の 3 水準とし、フライアッシュは外割 15%とした。また、外割 15%時の水セメント比と同様の W/C=48%、混和材未混入の NA-L を加え 6 種類の調合とした。

2.2 実験方法

試験項目は凍結融解試験と自己修復性状試験を行った。凍結融解試験は 7.5×7.5×40cm の角柱供試体を用いて ASTM C 666 A 法に準拠して行った。凍結融解試験までの養生条件は 20℃水中養生、材齢 2 週とした。自己修復性状は φ10×20cm の円柱試験体を用いて、初期養生後、劣化後及び修復養生後における性状試験により評価した。

初期養生は打設・脱型後 20℃水中 4 週および 13 週養生

とし、その後初期性状試験を行った。また、劣化は繰返し載荷により行い、マイクロクラックを導入後に劣化後性状試験を行った。なお、繰返し載荷は既報^{2) 4)}より、最大圧縮荷重の 80%を 10 回繰返し載荷する条件で行った。その後、20℃水中 1 週と 40℃水中 4 週及び封かん 4 週の修復養生を行い、修復後性状を測定した。各性状試験の検討項目は相対動弾性係数とした。

3. 実験結果及び考察

3.1 耐凍害性の評価

凍結融解試験による耐久性指数の結果を図 1 に示す。フライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を混入したものは置換率及び置換方法によらず、混和材無混入のものと同程度以上の耐凍害性を有することが確認された。また、フライアッシュを混入した方が、高炉スラグ微粉末を混入するよりも耐凍害性がやや劣る結果となった。

3.2 自己修復性状の評価

初期養生 4 週の自己修復性状試験結果を図 2 に示す。フライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を混入した試験体 (SA-45(内), FA-15(外)) において、40℃水中 4 週修復養生後に初期性状以上までの回復が認められた。

また、修復程度と時間経過の関係の特徴として修復 1

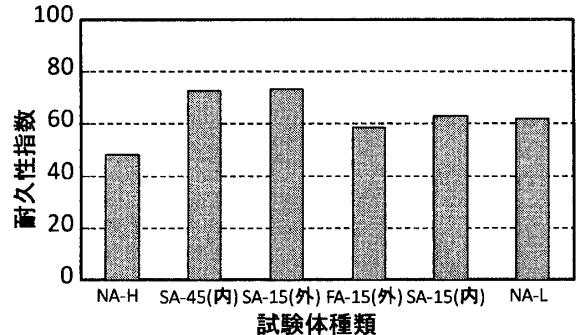


図 1 凍結融解試験結果

表 1 コンクリートの調合及び練り上がり性

試験体記号	W/C (%)	W/B (%)	目標スランブ (cm)	空気量 (%)	s/a (%)	調合					練り上がり性状					
						絶対容積 (L/m ³)					AE減水剤	空気量調整剤 B × wt(%)	温度 (°C)	空気量 (%)	スランブ (cm)	
						W	C	S	G	混和材 BFS FA						
NA-H	55	55	18	4.5	45	174	100	309	372	-	250ml /B100kg	0.002* ⁴	25.5	4.3	19.5	
SA-45(内)* ¹						163	51	316	380	46		-	0.0012* ²	26.0	6.5	20.5
SA-15(外)* ¹						172	99	289	379	16		-	0.0012* ²	26.0	5.9	19.5
FA-15(外)* ¹		169			97	289	379	-	21	0.018* ³		27.0	5.5	18.0		
SA-15(内)* ¹		177			99	286	374	19	-	0.0012* ²		26.5	4.2	20.5		
NA-L	48	48			43	180	119	284	372	-	-	0.002* ⁴	26.0	4.0	19.5	

*1: (内)は内割置換、(外)は外割置換を表す。 *2: AE 剤, *3: FA 用 AE 剤, *4: 消泡剤

Evaluation of Self-Healing effect of concrete using Fly Ash and Granulated Blast-furnace Slag

Rikiya TAKAHASHI, Yukio HAMA, Osamu KATSURA, Madoka TANIGUCHI and Takahiro SAGAWA

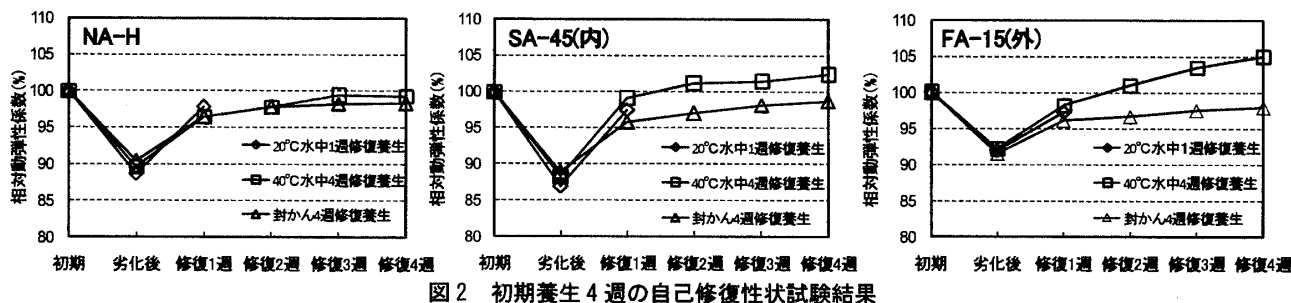


図2 初期養生4週の自己修復性状試験結果

週での修復程度が大きく、修復養生期間が長くなるにつれて修復程度が小さくなる傾向がみられた。また、修復4週では封かん養生での修復程度は40℃水中養生よりも小さい結果となったが、初期性状の95%以上まで回復しており、ある程度の修復が期待できることが確認された。

3.3 自己修復効果の評価

既往の研究²⁾では初期養生後、劣化後、修復養生後の各性状試験における中性化速度係数の変化より(1)式を用いて検討が行われた。しかし、(1)式では自己修復のポテンシャルとしての性能は評価できるが、劣化抵抗性を考慮した耐久性の向上効果を評価することができない。

$$E_s = P_s / D_f \quad (1)$$

ここに、 E_s ：自己修復効果 ($=P_s / D_f$)

P_s ：潜在的自己修復性能 ($=S - D$)

D_f ：劣化指数 ($=I - D$)

I ：初期性状時の中性化速度係数 ($\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$)

D ：劣化後性状時の中性化速度係数 ($\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$)

S ：修復後性状時の中性化速度係数 ($\text{mm}/\sqrt{\text{週}}$)

そこで、劣化抵抗性として凍結融解試験結果から得られた耐久性指数 (DF) を用い、 E_s を考慮した耐久性評価指標として式(2)を提案する。なお、ここでは I 、 D 、 S の性能値として従来の中性化速度係数に代えて、相対動弾性係数を用いることとする。

$$S_f = E_s \cdot DF \quad (2)$$

ここに、 S_f ：自己修復効果を考慮した耐久性評価指標

DF ：耐久性指数

(2)式による評価結果を図3に示す。初期養生の違いによらず、フライアッシュ及び高炉スラグ微粉末を混入したものは、混和材が無混入のものよりも S_f の値が大きくなった。W/C、置換率及び置換方法が同一である FA-15(外)と SA-15(外)を比較すると、FA-15(外)の S_f が大きく、フライアッシュの方が高炉スラグ微粉末よりも自己修復による耐久性向上効果が高いといえる。また初期養生期間が長くなると S_f の値が小さくなる傾向がみられるものの、FA-15(外)の S_f は比較的大きな値を示している。このことから、フライアッシュの方が高炉スラグ微粉末

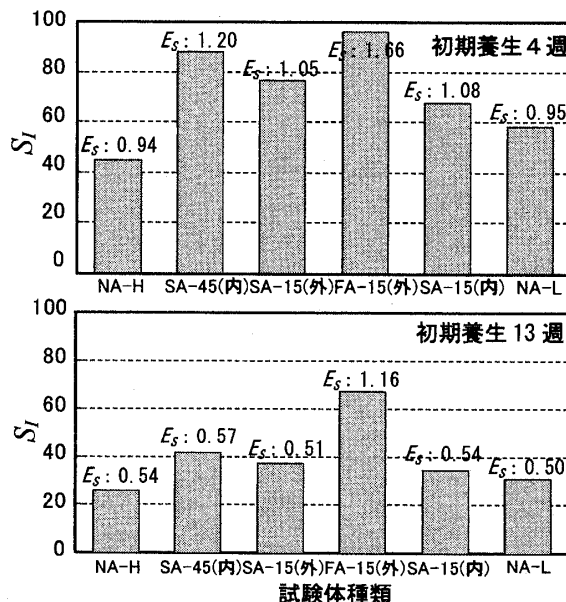


図3 E_s を考慮した耐久性評価指標式による評価結果

よりも自己修復の持続性も長いことが確認された。

4. まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末による自己修復は、水分供給の有る条件で修復養生条件が長いほど修復程度が大きい。
- 2) 自己修復による耐久性向上効果を定量的に表す評価式を提案した。
- 3) フライアッシュの方が高炉スラグ微粉末よりも自己修復による耐久性向上効果が高い。

【謝辞】

本研究の実施にあたり、室蘭工業大学卒業生の上村直哉氏(現(株)クワザワ)、修士課程修了生の渋谷将氏(現(株)竹中工務店)の多大な助力を得た。記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 藤原佑美ほか：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) 村井洋公ほか：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，コンクリート工学年次論文集，Vol.31 No.1, pp.873-877, 2009.
- 3) 五十石大介：高炉スラグ微粉末を用いたモルタルの自己修復効果，室蘭工業大学工学部建設システム工学科卒業論文，pp.47-50, 2010.
- 4) 遠藤裕文ほか：寒冷地におけるコンクリートの収縮ひび割れ対策委員会報告書，pp.50-67, 2009.9.

*1 室蘭工業大学大学院 博士前期課程
 *2 室蘭工業大学大学院 教授・博士(工学)
 *3 北方建築総合研究所 研究主幹・博士(工学)
 *4 北方建築総合研究所 研究主任・博士(工学)
 *5 日鐵セメント(株)技術部研究所 副主幹研究員・博士(工学)

*1 Graduate student, Muroran Institute of Technology
 *2 Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.
 *3 Senior Research Manager, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.
 *4 Researcher, Northern Regional Building Research Institute, Dr. Eng.
 *5 Research Manager, Technical Development Lab, Nittetsu Cement Co., Ltd., Dr. Eng.