

# 単位水量中に占める C-S-H 系硬化促進剤が強度・耐久性に与える影響

芝浦工業大学 学生会員 ○中西 縁  
 元 芝浦工業大学 学生会員 南 宏達  
 BASF ジャパン(株) 正会員 杉山 知巳  
 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

## 1. 研究背景および目的

コンクリートの型枠転用性を高める手段の一つとして、コンクリートに硬化促進剤を添加する方法がある。近年、従来の亜硝酸系の硬化促進剤とは異なるメカニズムをもつ C-S-H 系硬化促進剤(以下 ACX)が開発され、検討が進められている。この ACX は、カルシウムシリケート水和物(C-S-H)のナノ粒子を主成分とした液体であり、添加することでセメントの硬化を促進するメカニズムをもつ。本研究では ACX の作用機構を考慮して、通常のセメント質量あたりに添加する方法ではなく、単位水量中の濃度を一定とする方法で添加することを考え、ACX を使用したコンクリートの各種耐久性を評価することを目的として検討を行った。

## 2. 試験概要

### 2. 1 配合

本研究における実験で用いた配合を表-1 に示す。セメントは高炉スラグ微粉末(BFS)を 50%置換した高炉セメントを用いた。ACX 添加量は表に示すように、無添加、セメント質量に対して 4%添加した C×4%、単位水量に対して 10%添加した W×10%の三種類とした。W×10%については、既往の研究<sup>1)</sup>において ACX の強度発現が報告されている、W/C40%のセメント質量に対して 4%添加した量の使用水中の濃度を基準とした。

### 2. 2 圧縮強度試験

先述した配合の 3 パターンで JIS に準拠した圧縮強度試験を実施した。試験体は、恒温恒湿(20℃, RH60%)環境下で封かん養生を実施し、所定材齢(1, 3, 7, 28 日)で脱型したものを、圧縮強度試験に用いた。

### 2. 3 透気試験

供試体は、φ100×50mm の円柱供試体を作製し、恒温恒湿環境下(20℃, RH60%)で封かん養生を実施し、所定材齢(7, 28 日)で脱型した。試料のコンクリートは、

表-1 コンクリートの計画配合表

air	単位量 [kg/m <sup>3</sup> ]					ACX	
	W	C		S	G	添加率	添加量 [kg]
		OPC	BFS				
4.5%	170	213	213	743	975	0%	—
						C×4%	17.0
						W×10%	17.0
	142	142	870	971	0%	—	
					C×4%	11.4	
					W×10%	17.0	

空隙中に含まれている水分を取り除くため、質量減少量が恒量となるまで 40℃乾燥炉に静置した。試験結果から透気量を算出し、以下の式(1)を用いた透気係数を算出した。

$$K = \frac{2LP_1}{(P_1^2 - P_2^2)} \frac{Q}{A} \dots (1)$$

ここで、K: 透気係数[cm<sup>4</sup>/N・s], L: 供試体厚さ[cm], P<sub>1</sub>: 載荷圧力[N/cm<sup>2</sup>], P<sub>2</sub>: 流出側圧力[N/cm<sup>2</sup>], Q: 透気量[cm<sup>3</sup>/s], A: 透気面積[cm<sup>2</sup>]とする。

試験では、載荷圧力を 0.2[N/mm<sup>2</sup>], 流出側圧力に大気圧 0.1[N/mm<sup>2</sup>]を用いた。

### 2. 4 促進中性化試験

試料のコンクリートは、恒温恒湿環境下(20℃, RH60%)で封かん養生を実施し、若材齢における中性化抵抗性を把握するために材齢 7 日で脱型した。その後 1 週間恒温恒湿室にて静置した上で、側面の一面を除きアルミテープでシールした供試体を促進中性化試験装置(20℃, RH60%, CO<sub>2</sub> 濃度 5%)に静置し、材齢 1, 2, 4 週にて供試体を割裂した。中性化深さの測定は JIS に準拠して行い、フェノールフタレイン溶液を噴霧後、表面から赤紫色に呈色した部分までを測定した。

## 3. 試験結果

### 3. 1 圧縮強度試験

圧縮強度の試験結果から、ACX0%の強度を基準とし

キーワード C-S-H 系硬化促進剤, 単位水量, 強度発現性, 耐久性, 遷移帯

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学土木工学科 TEL 03-5859-8356 E-mail: me17072@shibaura-it.ac.jp

た時の強度の増加率を表-2 に示す。表より ACX0%に対して、標準添加量の C×4%は増進率が同程度または下回るのに対し、W×10%であれば ACX0%のものと比較して2割程度の強度の増加が確認できた。以上から、ACX を単位水量に対する一定割合で添加した場合、すべての水セメント比において同程度の割合で ACX 添加によるコンクリートの強度発現性が確認できた。

### 3. 2 透気試験

透気試験の結果を図-1 に示す。W/C40, 60%ともに、ACX0%と比較すると硬化促進剤を添加することで透気係数の減少が認められた。また、緻密な空隙構造を持つ W/C40%よりも空隙量の多い W/C60%においては透気係数の改善効果が大きい結果となった。したがって、高水セメント比ほど ACX を添加することで空隙が緻密化し、透気しにくくなることが分かった。

### 3. 3 促進中性化試験

中性化促進試験の結果を図-2, 図-3 に示す。図より W/C40%において、ACX0%と ACX を添加した試験体では1週目から中性化深さに差がみられ、材齢を経過とともに差が大きくなっていることが確認できた。一方、W/C60%においては2週目まで ACX の添加による中性化深さに差がみられなかったが、4週目で中性化深さに差が生じた。以上の結果から、ACX の添加による中性化抵抗性の向上が確認できた。

## 4. まとめ

本研究で得られた結果を下記に示す。

- (1) 使用水中の C-S-H 濃度を高く設定することで、コンクリートの強度発現性は著しく改善された。
- (2) 各種耐久性試験においては、添加量に関わらず改善効果が認められた。

以上より、最も効果的に添加する方法として、従来のセメント質量に対して添加量を決めるのではなく、単位水量に対して添加量を決めることが必要である。これにより高い水セメント比においても強度増加を予測し、添加することが可能になるのではと考える。一方で、耐久性に関しては ACX がコンクリートの緻密化に寄与していると考えられる。どの領域の空隙が緻密化したかは、今後の検討課題であるが供試体内部の骨材界面(遷移帯)が ACX によって埋められたのではないかと考える。またメカニズムから考察するに、ペースト部の空隙を緻密にしている可能性もあるが、その解明は今後の課題としたい。

表-2 圧縮強度増加率

材齢	W/C 40,60 ACX 70%	W/C 40%	W/C 60%	
		C×4%,W×10%	C×4%	W×10%
1	100%	124%	97%	124%
3		116%	104%	121%
7		114%	95%	119%
28		115%	95%	117%

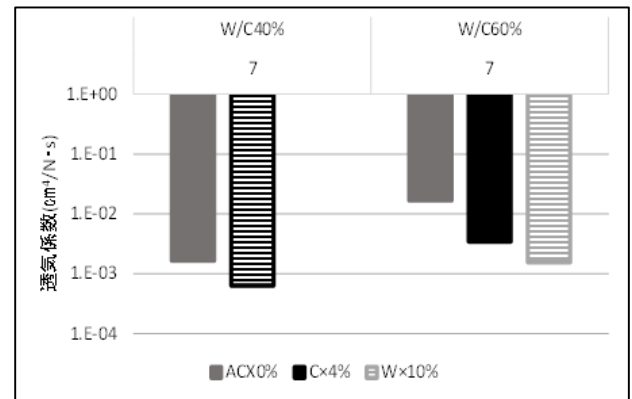


図-2 透気試験結果

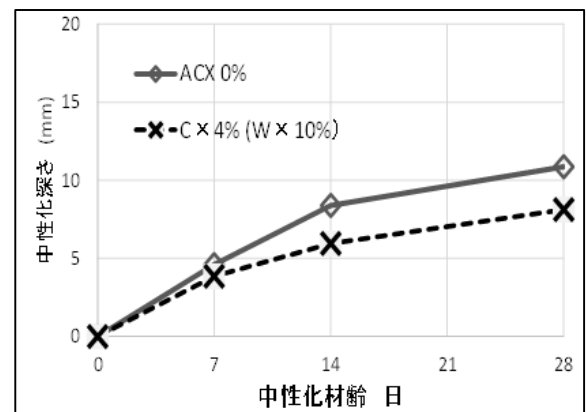


図-3 W/C40% 促進中性化試験結果

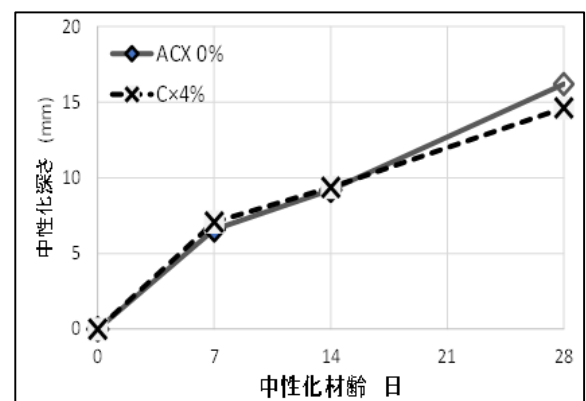


図-4 W/C60% 促進中性化試験結果

## 参考文献

- 1) C-S-H 系硬化促進剤が高炉セメントを使用したコンクリートの強度発現性に及ぼす効果 井元晴丈ほか, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, 2015