

C-S-H系硬化促進剤がコンクリートの空隙改質に与える影響

芝浦工業大学大学院 理工学研究科建設工学専攻  
 芝浦工業大学 工学部土木工学科  
 BASF ジャパン株式会社  
 芝浦工業大学 工学部土木工学科

○水野博貴  
 牛久保実梨  
 杉山知己  
 伊代田岳史

1. はじめに

コンクリートの型枠転用性を高める手段の1つとして、硬化促進剤を添加する方法がある。一般的に使用されている亜硝酸系硬化促進剤の硬化促進メカニズムは、セメント粒子からのイオンの溶出を促すことでセメントの水和反応を促進させ、強度発現を早くするものである。

近年、従来の硬化促進メカニズム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）が開発された<sup>1)</sup>。ACXはカルシウムシリケート水和物（以下、C-S-H）のナノ粒子を主成分とした硬化促進剤であり、C-S-Hの種結晶を液相中に導入することによって、セメントからのC-S-Hの生成を待つことなく硬化を促進させるメカニズムを有している。

既往の研究<sup>2)</sup>ではACXを水セメント比に応じた添加量で添加することによって、強度発現や耐久性が向上することが報告されており、ACXの添加によってコンクリート中の空隙が緻密化していることが考えられる。しかし、ACXの添加によって、コンクリート中のどの領域の空隙が緻密化しているかは不明瞭である。そこで本研究では異なる空隙径と空隙量を有するコンクリートを作製し、ACXの添加による空隙の改質について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料及び計画配合

コンクリートの計画配合を表1に示す。本研究では物質の移動経路となり、耐久性に影響を与えるとされている遷移帯に着目した。コンクリート中のモルタル体積の構成割合を一定とし、粗骨材量を変化させることにより遷移帯量の異なるコンクリートを作製した。また、コンクリートにおけるモルタルの体積割合と同様のモルタル（50%-100）も作製した。

2.2 透気試験

供試体はφ100×50mmの円柱供試体を作製し、温度20℃の環境で7日間封緘養生を行った。養生終了後、供試体の質量が恒量となるまで40℃の乾燥炉に静置し、恒量となった後、試験を実施し、式[1]を用い透気係数を算出した。

表1 コンクリートの計画配合

記号	W/C	s/a(%)	air(%)	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]				ACX	
				W	C	S	G	添加量 [g]	添加率 [C×%]
50%-100		100		269	539	1350	-	0	0%
								27	5%
								54	10%
								81	15%
50%-56	50%	56	4.5	190	380	951	761	-	0%
								17	4%
								34	9%
								51	13%
50%-48		48		170	340	852	951	-	0%
								17	5%
								34	10%
								51	15%
50%-40		40		150	300	752	1141	-	0%
								17	6%
								34	11%
								51	17%

$$K = \frac{2LP_2}{P_1^2 - P_2^2} \times \frac{Q}{A} \quad [1]$$

ここに

K：透気係数(cm<sup>4</sup>/(Ns))、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>)

ただし、P<sub>2</sub>では大気圧として0.1(N/cm<sup>2</sup>)を用いた

2.3 空隙率試験（アルキメデス法）

供試体は透気試験で使用したものを用いた。乾燥炉に静置し、恒量となった質量を絶乾質量として計測した後、真空飽水処理を行い飽水質量、水中質量を計測し、空隙率を算出した。

3. 実験結果及び考察

ここで、粗骨材は物質を透過しないと仮定し、粗骨材を除いたモルタル部分に遷移帯および毛細管空隙が存在すると考え、すべての試験結果を単位モルタルあたりの量として整理した。

3.1 透気試験

コンクリートおよびモルタルの単位モルタルあたりの透気係数の結果を添加率ごとに図1に示す。図より無添加の比較をみると、モルタルに対してコンクリートは透気係数が大きくなっていることがわかる。一方、添加率を高くしていくと、全体的に透気係数は小さくなっていく

ることがわかる。コンクリートの透気係数の改善はモルタルと比べ大きく、またコンクリートの透気係数はモルタルに近づいてきていることが分かる。

### 3. 2 空隙率試験

図2に単位モルタルあたりの空隙率を示す。モルタルに対し、コンクリートでは単位モルタルにおける空隙量は多いことがわかる。無添加時のコンクリートとモルタルの空隙量の差は、毛細管空隙に加えコンクリートに存在する遷移帯の影響であると推測される。既往の研究<sup>1)</sup>より ACX の添加により、ブリーディング抑制効果も認められることから、遷移帯も減少すると考えられる。また、総空隙量の減少量がモルタルと同程度であることから、毛細管空隙も同時に減少しているものと考ええる。

### 3. 3 空隙率と透気係数

図3に単位モルタルあたりの空隙率と透気係数の関係を示す。ここで、モルタルと比較して、無添加時におけるコンクリートの透気係数は空隙量の関係と比較して著しく大きい。これは遷移帯の影響であると考えられる。一方、ACX を 10%程度添加すると透気係数は減少し、その関係はモルタルと同じになる。モルタルにおいては、粗骨材界面の遷移帯は存在しないことから、主に毛細管空隙の緻密化による透気係数の減少であると考えられる。

### 4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) ACX を添加していないコンクリートはモルタルと比較し、透気係数が大きくなり、添加率を高くしていくとコンクリートの透気係数の改善は大きく、モルタルに近づく。
- (2) ACX を添加していないコンクリートとモルタルの空隙率の差は遷移帯による影響であることが推測される。
- (3) コンクリートに ACX を 10%程度添加することによって、透気係数がモルタルと同程度となったことから、ACX は遷移帯のみならず毛細管空隙も緻密化していることが考えられる。

以上のことを考慮すると、コンクリートへの ACX の少量添加時には、ブリーディングの抑制とともに遷移帯部分への C-S-H ナノ粒子が水和物の生成核となり、遷移帯の緻密化が卓越すると考えられる。一方で、それ以上の ACX の添加により、さらに毛細管空隙の緻密化が生じるものと考えられるが、更なる検討が必要であると考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 小泉信一ほか：C-S-H 系早強剤を用いたコンクリートの強度発現性および耐久性に関する研究、コンク

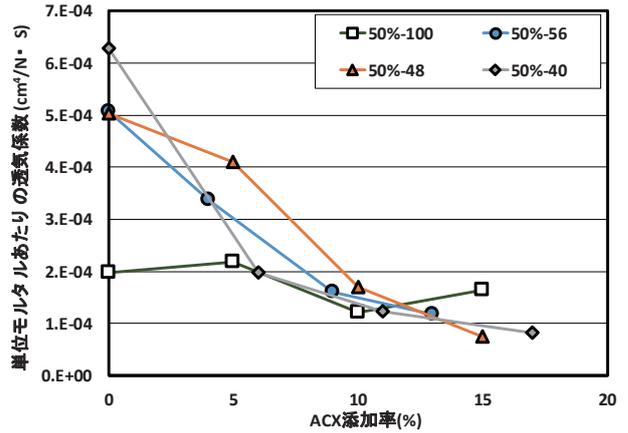


図1 ACX 添加率と透気係数の関係

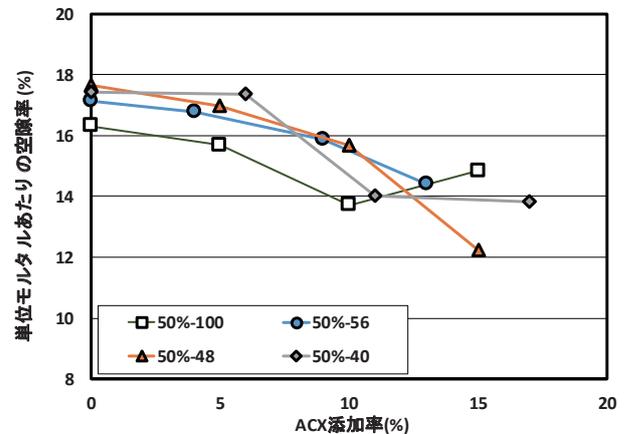


図2 ACX 添加率と空隙率の関係

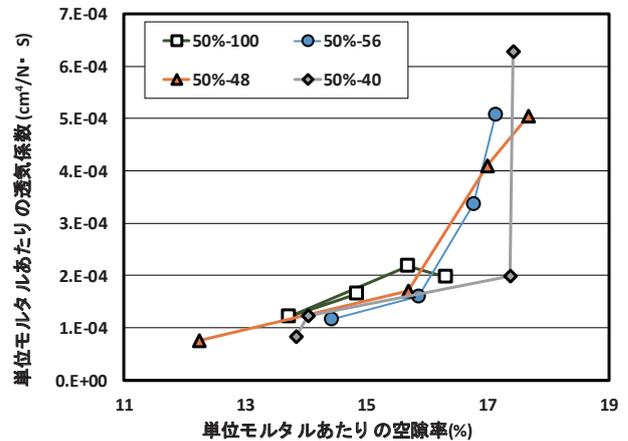


図3 単位モルタルあたりの空隙率と透気係数

- リート工学年次論文集、Vol.36、No.1、2014
- 2) 中西縁、南宏達、杉山知巳、伊代田岳史：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、V-350、2017
- 3) 井元晴丈ほか：C-S-H 系早強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、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、No.1、2015