

# 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 牛久保 実梨  
芝浦工業大学 伊代田 岳史

## 1. はじめに

コンクリートには、寒冷期の初期凍害を防止する場合や二次製品の型枠転用性を高める場合に硬化促進剤が使用される。一般的に使用されている亜硝酸系の硬化促進剤の硬化促進メカニズムは、セメントから溶出する水和生成物の形成を促進させることで、強度発現を早めている。近年、従来とは異なる硬化促進メカニズムをもつ C-S-H 系硬化促進剤が開発された。C-S-H 系硬化促進剤は、カルシウムシリケート水和物のナノ粒子を主成分とした混和剤である。ナノ粒子による水和物が種結晶として作用するため、セメントの水和反応が促進されることで硬化を促進するメカニズムをもつ。既往の研究では、水セメント比に応じた添加量を添加することで、低水・高水セメント比のどちらにおいても強度発現や耐久性の向上が認められると報告されている<sup>1)</sup>。

耐久性が向上する要因として、C-S-H 系硬化促進剤がコンクリートの空隙を緻密化していることが考えられる。そこで本研究では、C-S-H 系硬化促進剤がコンクリート中のどの空隙を緻密化しているのかを把握することを目的とした。

## 2. 実験概要

### 2.1 配合・使用材料

表-1 にコンクリートの計画配合を示す。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考えられるコンクリートの遷移帯と毛細管空隙に着目した。既往の研究より、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たコンクリート配合では、骨材界面における遷移帯量は粗骨材量が多くなるほど増加すると報告されている<sup>2)</sup>。そこで、粗骨材量を変化させた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体積割合と等しいモルタルを作成した。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用した。C-S-H 系硬化促進剤の添加量の違いがコンクリートの空隙充填に与える影響を確認するため、s/a48%における添加率を無添加およ

表-1 コンクリートの計画配合表

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

びセメント質量に対し変化させたものを基準とし、各 s/a でこれと添加量が等しくなるように添加率を変動させた。標準添加率は4%程度であるが、空隙に与える影響を検討するため多量添加した。

### 2.2 試験内容

#### (1) 空隙率試験

空隙率試験は透気試験に用いた供試体を使用した。乾燥質量を計測した後、真空飽水処理を行い、飽水質量と水中質量を計測した。乾燥質量、飽水質量、水中質量を用いて、アルキメデス法より空隙率を算出した。

#### (2) 透気試験

供試体は、φ100×50mm の円柱供試体を作製し、恒温恒湿室で7日間封緘養生をした。供試体は、質量が恒量となるまで40℃乾燥炉に静置し、試験結果から透気係数を算出した。

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

ここで

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>)

とし、P<sub>2</sub>では大気圧として0.1(N/cm<sup>2</sup>)とした。

### 3. 実験結果および考察

粗骨材は物質を透過せず、粗骨材を除いたモルタル部分に遷移帯と毛細管空隙があると仮定して、試験結果を単位モルタルあたりで評価した。計算は各コンクリート配合のモルタル体積の構成割合で除した値を用い算出した。

#### 3.1 空隙率試験

図-1 に空隙率試験の結果を示す。コンクリートの空隙率はモルタルに比べ大きくなる結果となった。無添加におけるコンクリートとモルタルの空隙率の差は、コンクリート中に存在する遷移帯の影響であると考えられる。

#### 3.2 透気試験

図-2 に透気試験の結果を示す。いずれにおいても C-S-H 系硬化促進剤の添加率が増加すると、透気係数は低下した。モルタルに比べコンクリートの透気係数は大きく、その減少量も大きい結果となった。また、コンクリートの透気係数がモルタルの値に近づいていることがわかる。

#### 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。コンクリートに少量添加した時の透気係数の変化は、空隙率の変化に対して大きい。これは遷移帯を緻密化していることを示し、さらに添加量を増やすとモルタルの変化に近づくことから、これは毛細管空隙の緻密化を示しているといえる。さらに、遷移帯が減少した要因として、C-S-H 系硬化促進剤のブリーディングを抑制する効果によって遷移帯ができにくくなることが考えられる。モルタルにおいては、粗骨材がなく遷移帯が存在しないことから、毛細管空隙が緻密化したことにより透気係数が減少したと考えられる。

### 4. まとめ

コンクリートに C-S-H 系硬化促進剤を少量添加した場合には大きな空隙である遷移帯部分に C-S-H ナノ粒子が作用し、同時にブリーディングの抑制効果により遷移帯が緻密化したと考えられる。さらに C-S-H 系硬化促進剤を添加することで、毛細管空隙にも作用し緻密化したため空隙率が減少したと考えられる。以上より、コンクリートの物質透過性を低下させていると考えられる。

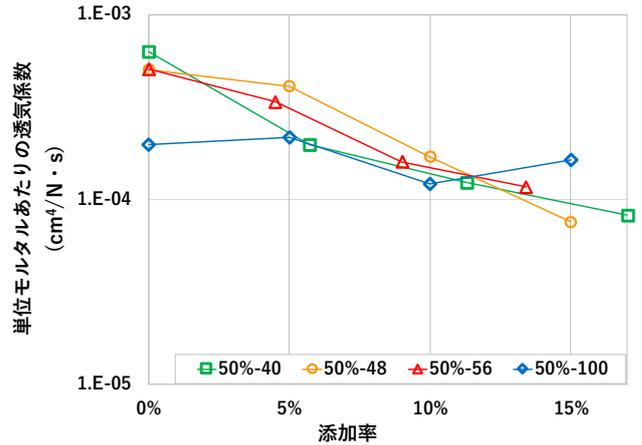


図-1 空隙率試験結果

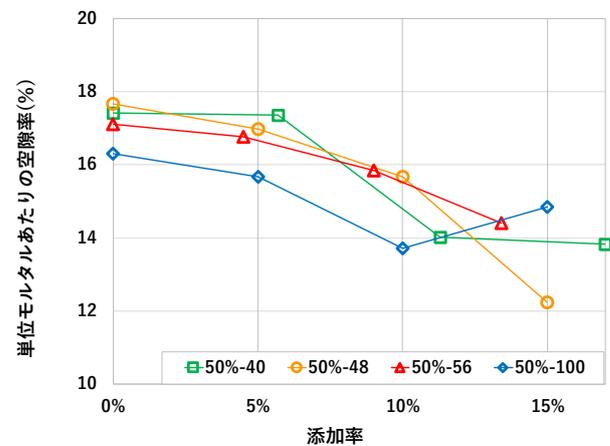


図-2 透気試験結果

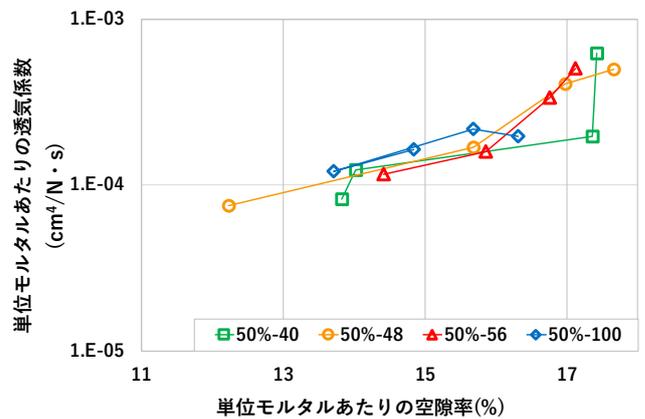


図-3 空隙率と透気係数の関係

### 参考文献

1. 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
2. 田箆滉貴: コンクリート中の骨材界面が物質透過性に与える影響, 2015 年度芝浦工業大学土木工学科卒業論文