

C-S-H 系硬化促進剤によるコンクリート中の空隙改質メカニズムの解明

芝浦工業大学 工学部土木工学科

BASF ジャパン株式会社 BASF ジャパン機能性材料統括本部

芝浦工業大学 工学部土木工学科

○深澤英将

杉山知巳

伊代田岳史

1. はじめに

冬期のコンクリート工事やコンクリート二次製品などにおける型枠の脱型時間を短縮するために化学混和剤である硬化促進剤が用いられている。一般的な亜硝酸系硬化促進剤は、セメント粒子からのイオン溶出を促すことでセメントの水和反応を促進させ、強度発現を早める。一方、近年開発された C-S-H 系硬化促進剤は、カルシウムシリケート水和物（以下、C-S-H）のナノ粒子を主成分としており、この粒子がコンクリートの液相中に C-S-H の種結晶として導入されることで C-S-H が成長し水和が促進される。既往研究¹⁾より、ナノ粒子によってセメント粒子から離れた位置においても水和反応が進行するため、水和生成物が効率的に空隙を充填すると考えられている。しかし、C-S-H ナノ粒子がコンクリート中の空隙を緻密化するメカニズムは明らかになっていない。

本研究は C-S-H 系硬化促進剤が添加率によるコンクリートの耐久性への影響を把握し、空隙を緻密化するメカニズムを解明することを目的とした。

2. 実験概要

2. 1 計画配合

表 1 に本実験で用いたコンクリートの計画配合を示す。本研究で用いた C-S-H 系硬化促進剤はセメントに対して作用するのではなく、生成核としての存在が重要であると考えた²⁾ため、単位水量中の濃度を制御するように添加率を変動させた。

2. 2 透気試験

添加率による耐久性への影響の違いを把握するために表 1 における添加率 0,3,5,10%の配合で透気試験を実施した。供試体は、φ100×50mm の円柱供試体を作製し、恒温恒湿室で 7 日間封緘養生を施した。供試体は質量が恒量となるまで 40°C の炉で乾燥させた。その後 0.2MPa の圧力で空気を透過させ、その量を水上置換法よりメスシリンダーを用いて透気量を計測し、透気係数を算出した。

2. 3 細孔径分布測定

表 1 における添加率 0,3,5,7%の配合で水銀圧入ポロシメーターを用いて細孔径分布を測定した。使用した試料はまず 100×100×400mm の角柱供試体を作製し、そこ

表 1 計画配合

W/C (%)	s/a (%)	air (%)	単位量 [kg/m ³]				ACX		
			W	C	S	G	添加率 [W×%]	添加量 [kg]	添加率 [C×%]
60	48	4.5	170	283	874	976	0	0.0	0.0
							3	5.1	1.8
							5	8.5	3.0
							7	11.9	4.2
							10	17.0	6.0
			200	333	817	912	0	0.0	0.0
							5	10.0	3.0

からコンクリートカッターを用いて骨材を含めた一辺 5mm 程度の立方体の試料を採取した。

試料は水分除去の際に空隙構造が変化することを防ぐために 40°C 乾燥炉にて乾燥させ、その後アセトン浸漬を行い水和停止させた。

2. 4 異方向からの透気試験

図 1 に本実験の透気試験概略図を示す。骨材界面の空隙に対する C-S-H 系硬化促進剤の影響を評価するために異方向から透気試験を実施した。

供試体は 150×150×150mm のコンクリートを作製した。恒温恒湿室にて 7 日間封緘養生を行ったのち、打設面に対して垂直及び直行方向にコアを採取した。その後、この供試体を 2. 2 と同様に透気係数を算出した。また、ブリーディング量を多くすると骨材界面の空隙が形成されやすいことが知られているため、表 1 に示す計画配合において単位水量 170kg/m³ と単位水量 200kg/m³ のコンクリートを添加率 0.5% で打設をした。

3. 実験結果及び考察

3. 1 透気試験結果

図 2 に材齢 7 日における透気係数と添加率の関係を示す。C-S-H 系硬化促進剤の添加率を大きくしていくと透気係数は低下していくことがわかる。特に添加率 3% から 5% で大きく透気係数が低下し、それ以上添加してもほとんど透気係数に変化は見られなかった。このことから C-S-H 系硬化促進剤を添加すると透気係数が低下しコンクリート中の空隙を緻密化していることが考えられる。また、添加率によって傾向が異なることから空隙構造が変化していることが考えられる。

3. 2 細孔径分布

図3に各添加率での細孔径分布を示す。どの添加率の結果からも大きなピークを2つ確認することができる。また、添加率ごとの細孔径に着目するとC-S-H系硬化促進剤の添加率が0%と3%の細孔径分布は800nmと200nm周辺にピークがみられる。一方、C-S-H系硬化促進剤を5%以上添加した場合、800nmのピークはそのまま確認できたが、200nmのピークは確認できず30nm程度の小さい径にピークが現れた。この結果からC-S-H系硬化促進剤を5%以上添加するとコンクリート中の径の大きな空隙が緻密化され少なくなっていることがわかる。

添加率を高くしても変わらず確認できたピークに関しては今後検討が必要である。

3. 3 異方向からの透気試験結果

図4に異方向からの透気試験結果を示す。C-S-H系硬化促進剤を添加しない場合において、どちらの単位水量のコンクリートも垂直方向より直行方向の透気係数が大きい結果となった。これは骨材下面の空隙が影響していると考えられる。一方、C-S-H系硬化促進剤を5%添加したコンクリートの透気係数は、垂直、直行方向ともに改善され、特に直行方向における透気係数の改善が大きい結果となった。無添加時と比較してC-S-H系硬化促進剤を5%添加すると垂直方向、直行方向どちらの透気係数もほとんど差がみられなかった。この傾向が骨材界面の空隙が形成されやすいとされる単位水量200kg/m³のコンクリートでも確認されたことから、C-S-H系硬化促進剤を添加することで骨材界面の空隙が緻密化されたと考える。

4. まとめ

C-S-H系硬化促進剤を添加することで透気係数の改善が確認できた。また、細孔径分布の測定結果から添加率によって緻密化する空隙が異なる可能性が示唆された。

図5にC-S-H系硬化促進剤を添加した時の空隙充填のイメージ図を示す。C-S-Hナノ粒子は数十～数百ナノメートルの微小な粒子であることからコンクリート中の空隙を充填していると考えられる。そして、C-S-H系硬化促進剤を5%添加すると物質透過性に影響を及ぼす骨材界面に形成される遷移帯中の空隙を緻密化していると考えられる。

【参考文献】

- 1) 小川広光ほか：C-S-H ナノ粒子を含有する早強剤の特性と効果について、日本コンクリート工学会、会誌、Vol.53、No.7、テクニカルレポート、P.614～621、(2015)
- 2) 水野博貴ほか：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、第72回セメント技術大会講演、(2018)

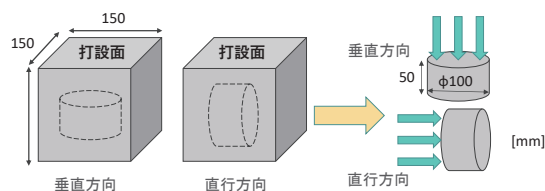


図1 異方向からの透気試験概略図

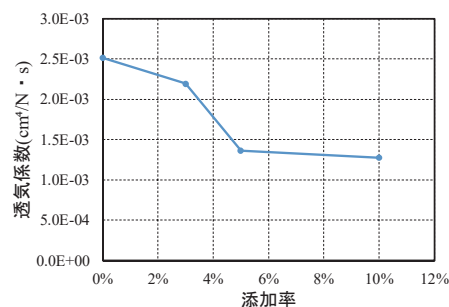


図2 透気係数と添加率の関係

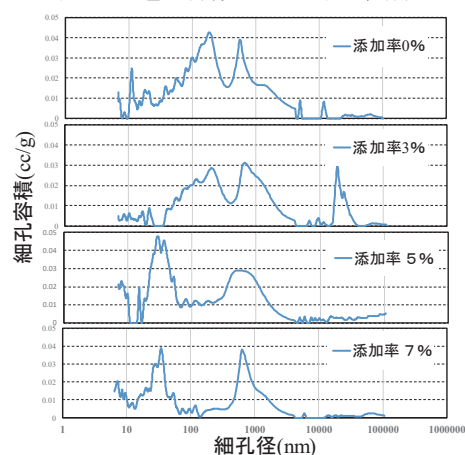


図3 コンクリートの細孔径分布

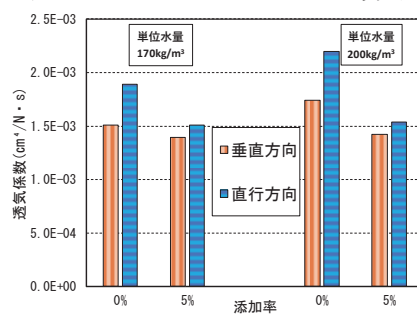


図4 異方性を加味した透気試験結果

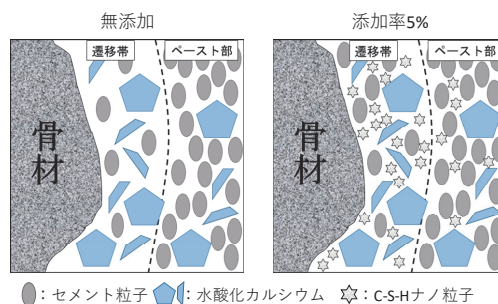


図5 空隙充填のイメージ図