

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



AH15064 深澤 英将
指導教員 伊代田 岳史

1. 研究背景・目的

コンクリート製品の生産性や現場施工の効率を向上する手段として混和剤を用いることがある。中でも硬化促進剤は、寒冷地において初期凍害防止や初期強度の発現を促すために用いられている。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、強度発現を早める。一方、本研究で用いた 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中に存在することで、粒子周辺に C-S-H 水和物が生成することにより硬化が促進される。既往の研究により、C-S-H 系硬化促進剤を添加したコンクリートにおいて物質透過性を左右する空隙が緻密化すると報告されている¹⁾。

本研究は C-S-H 系硬化促進剤を添加したコンクリート中の空隙構造がどのようなメカニズムで改質されるのかを解明することを目的として2つの実験を行った。

2. 空隙改質の境界値の把握

2.1 実験概要

表-1にコンクリートの計画配合を示す。ここではコンクリート中の空隙構造が大きく変化する境界値の把握を行った。強度と物質移動抵抗性に寄与する空隙構造は異なると想定し、圧縮強度試験、透気試験、空隙率試験の3つを実施した。ここで、一般の硬化促進剤をはじめとする混和剤はセメントに対して作用をするため、セメント質量に対して添加量を決定するが、この硬化促進剤はコンクリート中に C-S-H ナノ粒子を C-S-H 水和物の生成核として存在させるため、単位水量に対する濃度が重要であると考えた。そこで本研究では、C-S-H 系硬化促進剤を単位水量に対する添加率を変動させた。

(1) 圧縮強度試験

供試体は $\phi 100 \times 200 \text{mm}$ の円柱供試体であり、恒温恒湿室（温度： $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度： $60 \pm 5\%$ ）にて材齢3日、7日、28日間封緘養生を施し、JIS A 1108 に準拠して実施した。

表-1 コンクリートの計画配合

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
							5	8.5	3.0
							10	17.0	6.0
			200	333	817	912	15	25.5	9.0
							0	0.0	0.0
							5	10.0	3.0

(2) 透気試験

供試体は、 $\phi 100 \times 50 \text{mm}$ 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°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リンダーを用いて透気量を計測し、透気係数を算出した。

(3) 空隙率試験

透気試験を行った供試体を用いて乾燥質量を計測後、真空飽水処理を行い、飽水質量と水中質量を計測した。乾燥質量と飽水質量、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。

2.2 実験結果及び考察

図-1に材齢7日における空隙率と透気係数の関係を示す。C-S-H系硬化促進剤を5%添加すると空隙率が減少し透気係数は大きく改善された。しかし、添加率をさらに上げて空隙率、透気係数はほとんど変化をしなかった。

図-2に透気係数と圧縮強度の関係を示す。5%添加すると透気係数が大きく改善した。10%添加すると透気係数はほとんど変化せず、圧縮強度のみ変化が確認された。

以上のことから、C-S-H系硬化促進剤は、5%添加で物質移動抵抗性は改善がみられ、それ以上添加すると圧縮強度に寄与することがわかった。つまり、添加率5%で物質移動抵抗性に影響を及ぼす空隙構造が大きく改質したといえる。

3. 骨材界面の空隙構造改質の検討

3.1 実験概要

2の結果から空隙構造改質の境界値を添加率5%と定めて物質移動抵抗性に影響を及ぼすとされる骨材界面に形成される空隙に対してC-S-H系硬化促進剤がどのように作用するかを検討した。コンクリートは異方性を有することに着目し、異方向から透気試験を実施し検討した。

図-3に本実験の透気試験概略図を示す。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2.1(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と知られているため、単位水量170kg/m³に加えて単位水量200kg/m³のコンクリートも打設した。

3.2 骨材界面の空隙構造改質の検討

図-4に異方性を加味した透気試験結果を示す。C-S-H系硬化促進剤を無添加時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。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。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。つまり、C-S-H系硬化促進剤を添加することで骨材界面の空隙構造が改質され緻密化をしたことで打設面に対して直行方向での透気係数が改善したと考える。

4. まとめ

- (1) C-S-H系硬化促進剤を5%添加することでコンクリート中の空隙構造を大きく改質し、初めに物質移動抵抗性に寄与する。
- (2) C-S-H系硬化促進剤の添加によって骨材界面に存在する径の大きな空隙構造が顕著に緻密化される。
- (3) 今後の課題として、C-S-H系硬化促進剤の持つブリーディング抑制効果の影響も検討する必要がある。

参考文献

- 1) 水野博貴, 牛久保実梨, 杉山知巳, 伊代田岳史: 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
- 2) 荒木萌, 田籠滉貴, 伊代田岳史: ブリーディングに伴う骨材界面の空隙が物質透過性に与える影響, 土木学会第73回年次学術講演会, 2018

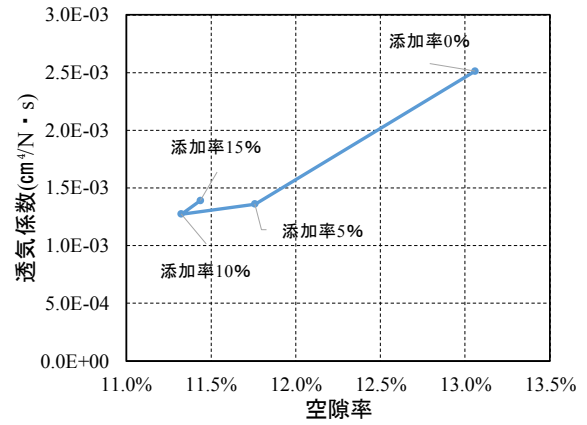


図-1 空隙率と透気係数

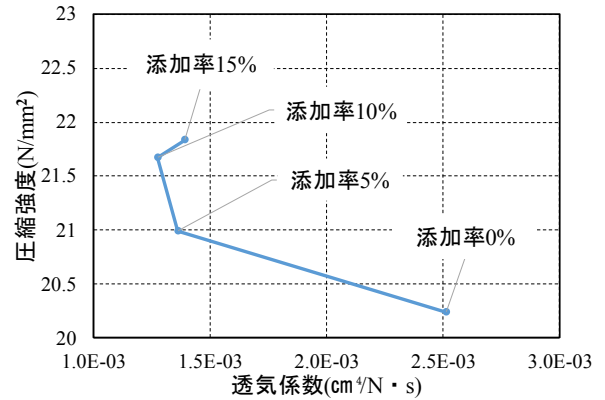


図-2 透気係数と圧縮強度

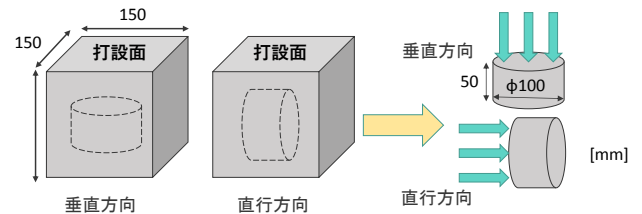


図-3 異方性を加味した透気試験概略図

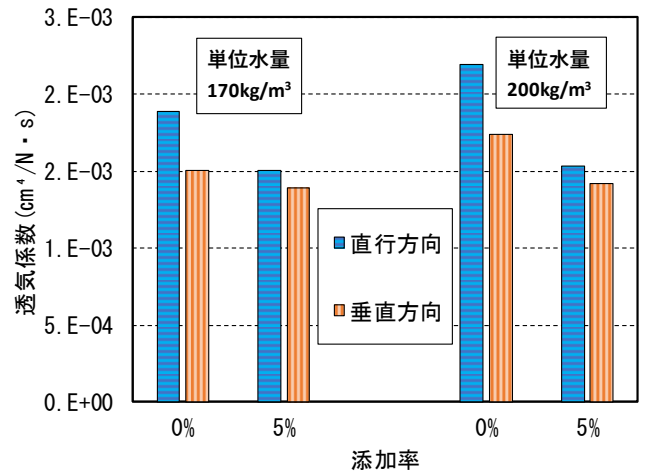


図-4 異方性を加味した透気試験結果