

コンクリートの内部構造が C-S-H 系硬化促進剤に与える影響の検討

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○深澤 英将
BASF 株式会社 正会員 杉山 知己
芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. 背景および目的

近年、大規模な地震や大型台風などの自然災害が日本各地で頻発しており、甚大な被害が発生している。早期復興のためには効率的な復旧工事が求められる。そのために、復旧工事に用いられるコンクリート製品の生産性を向上させることは有用である。ここで、コンクリート製品の生産性を向上させるために型枠の転用を早めることが考えられる。この時用いられるのが化学混和剤の一種である硬化促進剤である。一般的な亜硝酸系の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、従来の硬化促進剤とは異なる硬化促進メカニズムを持つ C-S-H 系硬化促進剤が開発され研究が進められている。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た混和剤であり、C-S-H の種結晶をコンクリートの液相中に直接導入することでセメントからの C-S-H の生成を待たずに硬化を促進させる。これはセメントの水和反応を早めるものではないため、コンクリートの長期にわたる強度の発現を妨げないと報告¹⁾がされている。また、C-S-H 系硬化促進剤は耐久性の改善に関しても効果を発揮すると近年報告²⁾されている。しかし、コンクリート中の空隙構造など内部構造の違いが C-S-H 系硬化促進剤の効果発現にどのような影響を与えるのかは明らかにされていない。

そこで本研究は、コンクリートの内部構造の違いが C-S-H 系硬化促進剤の効果発現に対して影響があるのかを検討した。

2. 実験概要

2. 1 配合・使用材料

表—1 に本実験で用いたコンクリートの計画配合を示す。本研究ではコンクリート中の空隙を変化させるために、水セメント比と骨材量を変化させた。

コンクリートのペースト部の密実性を変えるために

キーワード：C-S-H 系硬化促進剤，透気試験，異方性，空隙構造

連絡先：〒135-8584 東京都江東区豊洲3丁目7-5 TEL03-5859-7000

表—1 コンクリートの計画配合

W/C(%)	s/a(%)	air(%)	単位量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
30%	48	4.5	170	567	762	850
			190	380	951	761
170	340		852	951		
150	300		752	1141		
60%	48		170	283	874	976
			200	333	817	912

W/C=30%,50%,60%と変動させ s/a を 48%で一定としたコンクリートを作製した。また、骨材量が変わるとコンクリート中の空隙も変化をする。骨材量によって変化したコンクリート中の空隙の影響を確認するために s/a を 40%,48%,56%と変動させ W/C を 50%で一定にしたコンクリートを作製した。

加えて骨材界面に形成される空隙に対する C-S-H 系硬化促進剤の作用を確認するためにコンクリートを作製した。このコンクリートは骨材界面に形成される空隙を大きくするために単位水量を大きくした。

2. 2 試験内容

試験は透気試験を実施した。水セメント比を変化させた場合と骨材量を変化させた場合のコンクリート供試体は φ100×50mm の円柱供試体を作製し、恒温恒湿室（温度：20±1℃，湿度 60±5%）にて封緘養生を実施し、材齢 7 日で脱型をした。恒量となるまで乾燥炉で静置し、試験結果から透気係数算出した。

図—1 に骨材界面への C-S-H 系硬化促進剤の影響を検討するために実施した透気試験の概略図を示す。コンクリートの打設面に対して垂直方向，直行方向の二方向からコアを抜いて先述と同様の条件で試験を実施した。

3. 実験結果

図—2 に水セメント比の異なるコンクリートの透気試験の結果を示す。コンクリート中の空隙量が多いと

される W/C60%において無添加時のコンクリートと比較して C-S-H 系硬化促進剤を添加したコンクリートは透気係数の改善効果が大きい結果となった。

図—3 に骨材量の異なるコンクリートの透気試験の結果を示す。C-S-H 系硬化促進剤の添加率が高くなるにしたがって透気係数が改善されていることがわかる。また、s/a が 40%と粗骨材量が多いコンクリートは低添加の場合でも透気係数の改善が大きい結果となった。

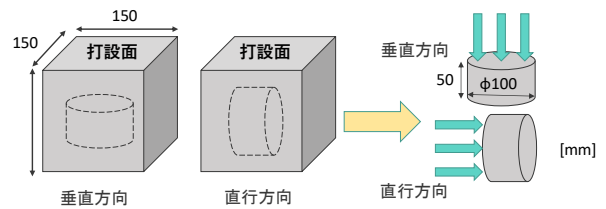
図—4 にコンクリートの異方向からコアを抜いて透気試験を実施した結果を示す。C-S-H 系硬化促進剤を添加することにより、単位水量 170kg/m³ と単位水量 200kg/m³ のどちらのコンクリートも透気係数は改善し、単位水量の大きさに関わらず透気係数の値が同程度となった。また、C-S-H 系硬化促進剤を添加することで垂直・直行両方向の場合において透気係数の差が小さくなっていることがわかる。

4. 考察

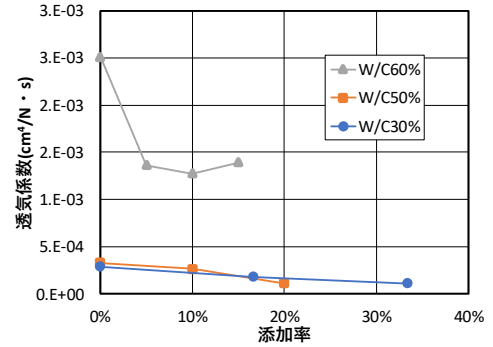
水セメント比が大きいコンクリートはペースト部が疎な構造であるため空隙が多く、C-S-H 系硬化促進剤の添加によって C-S-H の種結晶が成長したために空隙が緻密化され透気係数が大きく改善したと考えられる。また、水セメント比の小さいコンクリートでも添加によって緻密化されていることからペースト部分に作用していることが考えられる。加えて骨材量が少ない場合、添加率を大きくすることでコンクリートが緻密化されていることからペースト部へ作用が考えられる。また、コンクリート中に骨材が多く存在する場合において、骨材間の距離が小さくなりその隙間に C-S-H の種結晶が配置されて成長することで空隙がより緻密化した可能性がある。これは、先述したペースト部への C-S-H 系硬化促進剤の作用に加えて、図—3 の結果から直行方向の卓越した透気係数が大幅に改善され、垂直方向での透気係数とほぼ同程度の大きさになったことから、C-S-H 系硬化促進剤を添加するとコンクリート中の骨材界面の空隙にも効果があると考えられるからである。

5. まとめ

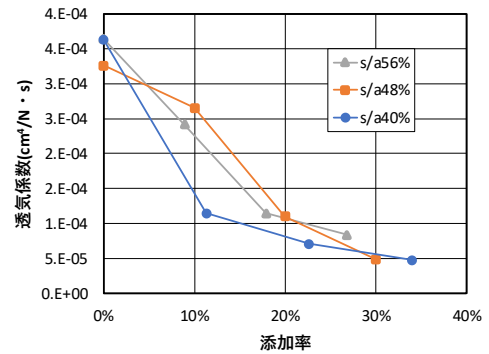
以上より、コンクリートの内部構造の違いは C-S-H 系硬化促進剤の効果発現に対して影響は見られなかった。これは C-S-H 系硬化促進剤がコンクリート中のペースト部、骨材界面の空隙を含むバルク部分にも作用をしているからである。



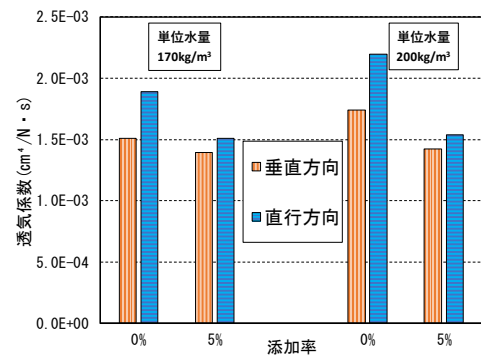
図—1 異方向からの透気試験概略図



図—2 水セメント比と透気係数の関係



図—3 骨材量と透気係数の関係



図—4 異方向から実施した試験の透気係数

6. 参考文献

- 1) 小川ら : 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
- 2) 水野ら : 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)