

ブリーディング抑制およびC-S-H ナノ粒子の存在がコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響

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
 ポゾリスソリューションズ株式会社 セールス&マーケティング 技術開発センター
 芝浦工業大学 工学部先進国際課程 (兼任 土木工学科)

○坂井一貴
 野口和真
 杉山知巳
 伊代田岳史

1. はじめに

寒冷期における初期凍害の防止や、コンクリート二次製品の脱型時間の短縮などを目的として硬化促進剤が使用されている。一般的な硬化促進剤は、亜硝酸化合物や硝酸化合物を主成分としており、セメント粒子からのイオン溶出を早めて、セメントの水和反応を促進させることで初期強度の発現を促進させる。一方で近年開発された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、コンクリートの液相中にC-S-Hナノ粒子を存在させることで、ナノ粒子がC-S-H生成のための結晶核として作用し、セメントからのイオンの溶出による結晶核の生成を待たずにC-S-Hの成長が可能となることで、水和を促進させると考えられている。

田箆らの研究¹⁾よりブリーディングが多いほど物質移動抵抗性が増大することが報告されている。小山らの研究²⁾ではC-S-H系硬化促進剤の使用によりブリーディングを抑制できることが報告されている。また、深澤らの研究³⁾よりC-S-H系硬化促進剤の使用により物質移動抵抗性を向上することが報告されているが、これはブリーディングを抑制することだけが要因かは明らかでない。本研究はC-S-H系硬化促進剤の使用によるブリーディング抑制およびC-S-Hナノ粒子の存在がコンクリートの物質移動抵抗性に及ぼす影響について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に本研究におけるコンクリートの計画配合およびブリーディング量を示す。ブリーディングの影響を顕著にする目的として、水セメント比を70%、単位水量を190kg/m³とした。C-S-H系硬化促進剤(以下ACX)を単位水量に対し3、5、7%添加したコンクリートを作製し、その比較対象として各配合に対してブリーディング抑制剤(以下BL)を0.2、0.3、0.45kg/m³添加することでブリーディング量を同等に調整したコンクリートを作製した。

2.2 圧縮強度試験

φ100×200mmの円柱供試体を温度20℃にて材齢28日

表1 コンクリートの計画配合およびブリーディング量

種類	W/C (%)	W (kg/m ³)	添加量 (kg/m ³)		ブリーディング量 (cm ³ /cm ²)
			CSH-ACX	BL	
N	70	190	0	0	0.21
ACX3%	70	190	W×3%	0	0.13
BL0.2			0	0.2	0.14
ACX5%	70	190	W×5%	0	0.09
BL0.3			0	0.3	0.11
ACX7%	70	190	W×7%	0	0.09
BL0.45			0	0.45	0.10

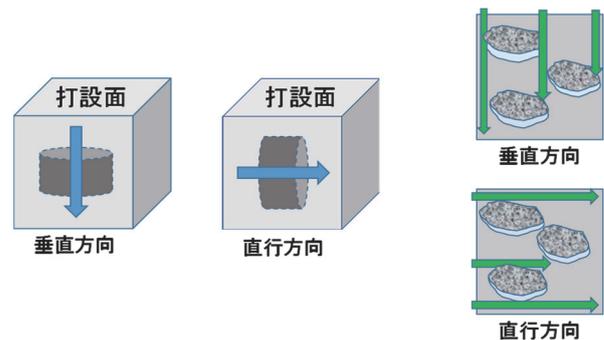


図1 透気試験の概略図

まで標準養生を施し、JISA 1108 に準拠して実施した。

2.3 透気試験

図1に本研究の透気試験の概略図を示す。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のコンクリートからφ100×50mmの円柱供試体のコアを採取し、7日間標準養生を施した。供試体は質量が恒量となるまで40℃の炉で乾燥させた。その後、0.1MPa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。

3. 実験結果および考察

3.1 透気試験の結果

図2に透気試験の結果を示す。無添加の配合Nは、打設面に垂直方向に対して直行方向の方が透気係数は大きくなるが、C-S-H系硬化促進剤およびブリーディング抑

制剤を添加した配合は、垂直方向と直行方向の透気係数の差が小さくなる結果となった。N 配合では骨材下面にブリーディング水が滞留することで空隙が生成され、直行方向の透気係数が大きくなったと考えられる。一方 C-S-H 系硬化促進剤およびブリーディング抑制剤の添加によりブリーディングが抑制され、骨材下面にブリーディング水が滞留することで発生する空隙が減少したことが考えられる。また C-S-H 系硬化促進剤を添加した配合とブリーディング抑制剤を添加した配合を比較すると、ACX3%および ACX5%は BL0.2 および BL0.3 より透気係数が小さくなる結果となった。この結果から C-S-H 系硬化促進剤の添加により、ブリーディングによる骨材下面の空隙を減少させる以外に骨材界面の空隙を緻密化することで物質移動抵抗性を向上させたと考えられる。ACX7%と BL0.45 を比較すると透気係数はほぼ同等であり、ACX5%と比較してもほぼ同等である結果となった。これより ACX7%および BL0.45 が骨材界面の空隙を緻密化できる限界であると想定される。

3. 2 圧縮強度試験の結果

図3に圧縮強度試験の結果を示す。ブリーディング抑制剤において BL0.2、BL0.3、BL0.45 はそれぞれ ACX3%、ACX5%、ACX7%と比較して圧縮強度が低くなるが、添加量が増えるにつれて圧縮強度が増加する結果となった。ブリーディングを抑制し、内部ブリーディング水がコンクリート内部に多く存在することで、内部で水和反応が起り、強度が増加することが考えられる。また C-S-H 系硬化促進剤を添加した配合は N 配合と比較して ACX3%および ACX5%においてはほぼ変わらず、ACX7%においては圧縮強度が増加する結果となった。このことから C-S-H 系硬化促進剤は一定量以上を添加することにより、圧縮強度の増加に作用すると考えられる。

3. 3 透気係数と圧縮強度の関係

図4に透気係数と圧縮強度の関係を示す。ブリーディング抑制剤を添加した配合は、多く添加することで透気係数が小さくなり、圧縮強度が増加する結果となった。このことからブリーディングを抑制することで骨材下面の空隙が緻密化され、圧縮強度が増加することが考えられる。C-S-H 系硬化促進剤を添加した配合は 3%添加で BL0.45 と同等の透気係数であることから、物質移動抵抗性の向上はブリーディング抑制に加え、C-S-H 系硬化促進剤に含まれる C-S-H ナノ粒子によるものと考えられる。

4. まとめ

C-S-H 系硬化促進剤の使用による物質移動抵抗性の向上は、ブリーディング抑制による骨材下面の空隙の緻密化に加え、C-S-H ナノ粒子を生成核として C-S-H が生成され、空隙が緻密化したことが主な要因と考えられる。

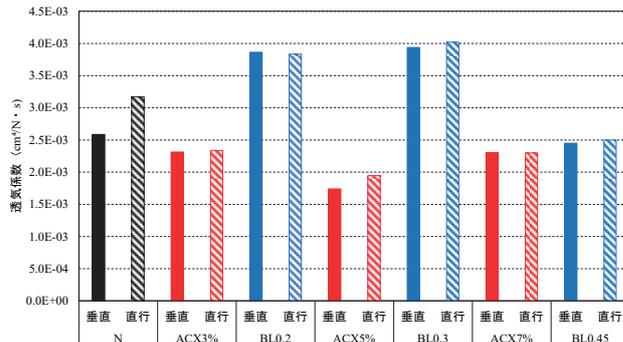


図2 透気試験の結果

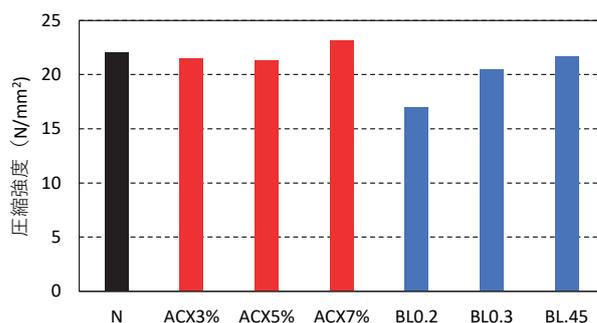


図3 圧縮強度試験の結果

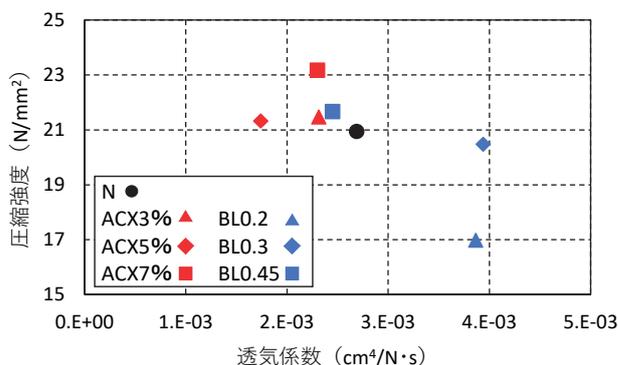


図4 垂直方向の透気係数と圧縮強度の関係

謝辞

本研究の一部は 2019 年度コンクリート工学研究助成(研究代表者:伊代田岳史)にご支援いただいたことを付記する。

参考文献

- 1) 田竈滉貴ほか: ブリーディングによる骨材界面空隙の生成が物質移動抵抗性に与える影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1、2018
- 2) 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)
- 3) 深澤英将ほか: 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、土木学会第 74 回年次学術講演会、V-301、2019