

セメント硬化体の物質移動特性に与える混和材および混和剤の影響

芝浦工業大学大学院 学生会員 ○八尋 瑠奈
 元芝浦工業大学大学院 白石 真由奈
 芝浦工業大学 正会員 伊代田 岳史

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物には強度等の物理的特性の他に耐久性も特に重要である。鉄筋コンクリート構造物の劣化は塩害や中性化等を要因とする鋼材腐食が主な原因であり、鋼材腐食は水や酸素の供給によって進行していくことから、硬化体中の物質移動特性を評価することは非常に重要であると考えられる。劣化因子はコンクリート中の空隙を移動経路としコンクリート内部に侵入することが知られており、空隙構造は物質移動特性に対する影響が大きいと考えられる。また近年、耐久性向上や環境負荷低減を目指し混和材や混和剤の利用が注目されている。そこで本研究では混和材や混和剤を使用することにより形成される空隙構造と物質移動特性を整理することを目的とし、混和させる物質や養生期間を変化させ各試験を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

本研究では粗骨材の影響を排除するためモルタルで各試験を実施した。表-1 にモルタルの配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメント(OPC)、混和材は高炉スラグ微粉末(B)、フライアッシュ II 種(FA)、シリカフェーム(SF)を使用した。高炉スラグ微粉末を使用した配合では無水石こうを三酸化硫黄換算で高炉スラグ微粉末に対し 2%内割添加した。また、混和剤は空隙の緻密化に寄与すると考えられる C-S-H 系硬化促進剤(ACX)を使用した。水結合材比は 50%とし、結合材：細骨材の質量比は 1:3 で一定とした。打設翌日に脱型し封緘養生を 7, 28 日間施した。

2.2 試験項目および試験方法

(1) 水分浸透速度係数

JSCE-G582-2018 に準拠し実施した。φ50×100mm の円柱供試体を作製し、養生終了後 40°C, RH30%の環境下で静置し、28 日間乾燥させた。供試体の側面をアルムテープでシールし二面開放とし、底面から 1cm を水

表-1 モルタルの配合

	W/B (%)	質量割合		ACX (W×%)
		OPC	結合材	
N	50	100	0	-
B20		80	20	
B50		50	50	-
B85		15	85	-
FA30		70	30	-
SF30		70	30	-
ACX		100	0	10

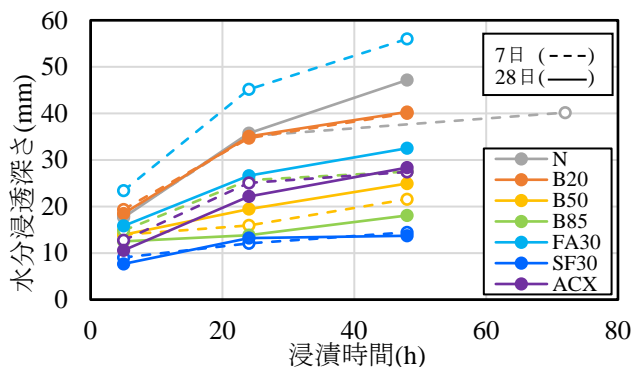


図-1 水分浸透さ

に浸漬させ、開始から 5, 24, 48 時間後に取り出し割裂した。割裂面に水分検知剤を噴霧し呈色を示した範囲を水分浸透深さとし、水分浸透速度係数を算出した。

(2) 透気試験

φ100×20mm の供試体を作製し、養生終了後 40°C, RH30%の環境下で静置し、質量減少が恒量になるまで乾燥させた。0.1MPa で空気を圧入し、測定した透過量よりダルシー則を用いて透気係数を算出した。

(3) 空隙率試験

水分浸透速度係数試験で用いた供試体より 30mm 角程度の試験片を採取し、40°C, RH30%の環境下に質量が恒量になるまで静置し絶乾質量を計測した。その後、真空状態で飽水させ、飽水質量と水中質量を計測し、アルキメデス法により空隙率を算出した。

3. 試験結果および考察

3.1 水分浸透

図-1 に水分浸透深さの経時変化を示す。FA 以外の

キーワード 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ, シリカフェーム, C-S-H 系硬化促進剤, 物質移動特性

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5 芝浦工業大学 03-5859-8356 Email:mh22020@shibaura-it.ac.jp

配合では養生期間の別によらず N と比較して水分浸透深さは小さく、水密性が高いことが示された。養生期間 7 日では FA は N よりも大きい値を示しているのに対し、28 日では N より小さい値を示しており、養生期間の変化による水分浸透深さの変化が著しく大きくなることから分かる。水分浸透深さは空隙径が大きいほど大きくなるため、これは FA のポズラン反応が進行したためであると推察される。また高炉スラグ微粉末を用いた配合では、置換率が高くなるほど試験体側面の吸い上げが大きくなっていることが確認された。これは既往の研究よりも、乾燥度の違いによって生じるものであることが確認されており、高炉スラグ微粉末を高置換した硬化体は複雑な空隙構造を有しており水分が逸散しにくいということを表していると考えられる。

3.2 空隙率と透気係数の関係

図-2 に空隙率と透気係数の関係を示す。各配合において養生期間の変化では空隙率の減少に伴う透気係数の減少が認められた。これはセメントの水和の進行によるものであると考えられる。一方、全配合を総じて見ると同等空隙率であった場合でも透気係数が大きく異なる配合が確認された。透気試験は空気を透過させる試験であり、硬化体中の空隙の連結性を評価している。一方で空隙率試験は空隙量のみを測定しているためにこのような差が生じたと考えられる。つまり、総空隙量が同等であっても空隙構造の違いにより物質移動特性が異なると考えられ、空隙量では物質移動特性を評価できないことが示唆された。また高炉スラグ微粉末を高置換すると空隙率が増加し透気係数も大きくなるという水分の浸透とは異なる傾向が示された。このことから、高炉スラグ微粉末の置換率が増加することで、径の小さく複雑な空隙が多く形成されたのではないかと考えられる。

3.3 水分浸透速度係数と透気係数の関係

図-3 に水分浸透速度係数と透気係数の関係を示す。両者の関係には相関は得られなかった。これは、2つの試験で使用した物質や駆動力の違いによるものであると考えられる。ここで FA、SF、ACX に着目すると、FA は養生期間の変化により水分浸透速度係数と透気係数いずれもが変化している。一方で SF や ACX では透気係数のみに変化が認められた。FA では長期材齢で水和が進行し空隙径を小さくし、さらに物質の移動を妨げるような構造を形成したのではないかと考えられる。

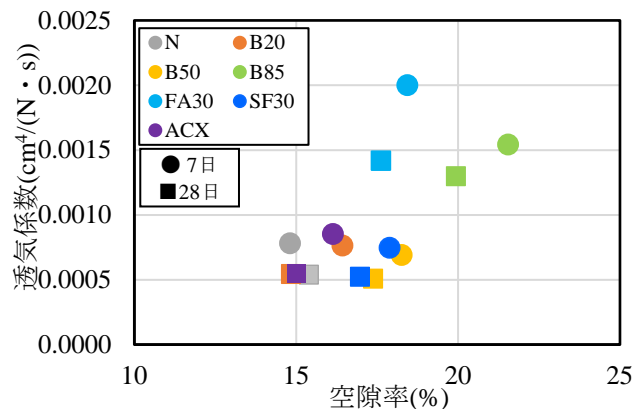


図-2 空隙率と透気係数の関係

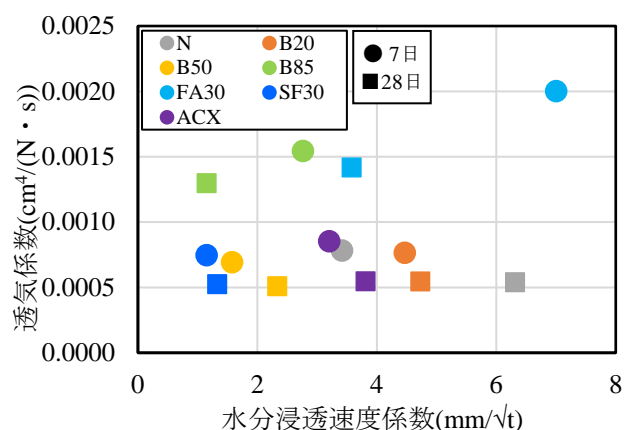


図-3 水分浸透速度係数と透気係数の関係

それに対し、SF や ACX では超微粒子による空隙充填や材齢初期からの水和の促進により、養生期間の短い場合においても径の小さな空隙を有しており水分の浸透に対して養生期間の変化による差が小さく、気体の移動に対しても小さな差になったのではないかと推察される。

4. まとめ

- 1) 使用する混和材の種類や含有量により物質移動特性は異なることが明らかとなった。
- 2) 同等な空隙率であっても物質移動試験の結果が異なることから、物質移動特性は総空隙量では正確に評価することはできないことが示唆された。

謝辞

本研究の一部は、科研費(C)21K04216(代表者：伊代田岳史)の助成を受けて実施したものである。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 澁谷亜香里, 伊代田岳史: 物質移動試験に基づくセメント硬化体内の空隙ネットワークの理解, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.335-340, 2021