

様々な物質移動試験を用いたモルタルの空隙ネットワーク表現に関する一研究

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先進国際課程（兼務 土木工学科）

○澁谷亜香里
伊代田岳史

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の劣化は鉄筋腐食が主な原因であり、水や酸素の供給によって腐食が進行していくことから、コンクリート中の物質移動を把握することは非常に重要である。コンクリートは多孔質であり空隙内を物質が移動するが、異なる大きさ・形状の空隙が複雑に交差や連結をしており、物質が移動する場を単純なモデルで表すことが困難である。したがって、物質移動試験によって物質移動抵抗性を直接的に把握することが重要であると考えた。また、物質移動抵抗性は、総空隙量のみでは整理ができないことが多く、空隙のネットワークが影響すると考えられる。ここで様々な物質移動試験は、駆動力が異なることに着目すると、理論上では空隙の影響因子が各試験で異なる。物質移動試験の駆動力の理論を考慮した整理を複数の試験結果を用いて行うことで、空隙ネットワークの議論が可能であると考えた。そこで本研究では、移動経路の解明を目的とし、モルタルを用いて物質移動試験を実施した。

混和材を使用すると空隙ネットワークが複雑化することが知られており、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、シリカフュームを用いた硬化体で試験を行った。また、空隙量を大幅に変化させるために、水結合材比を変化させた硬化体で比較を行った。移動させる物質は、液体(水)、気体(空気、水蒸気)とし、駆動力を変えるために圧力による透過を駆動力とする透気・透水試験、毛細管力を駆動力とする水分浸透試験、拡散を駆動力とする水分逸散試験、減圧による真空吸水試験を実施した。

2. 試験概要

2. 1 使用材料および試験体諸元

本研究では、粗骨材の影響を排除するためにモルタルで試験を実施した。表1にモルタルの配合と各配合の水中養生28日における圧縮強度、空隙率を示す。空隙率は、真空飽水処理により空隙内に水を満たした試験体で飽水質量と水中質量を測定し、アセトンで水和停止後に乾燥させた質量を用いて、アルキメデス法で算出した。

セメントは、普通ポルトランドセメント(OPC)を用い、混和材として高炉スラグ微粉末(B)、フライアッシ

表1 モルタルの配合と物性

	W/B (%)	質量割合(%)		圧縮強度 (N/mm ²)	空隙率 (%)
		OPC	混和材		
N_35	35	100	-	72.4	11.0
N	50	100	-	49.6	16.5
B20		80	20	47.5	15.6
B30		70	30	49.3	15.8
B50		50	50	44.8	14.5
B70		30	70	41.1	14.8
B90		10	90	15.9	19.1
FA10		90	10	46.7	19.1
SF10		90	10	47.2	18.8
N_100	100	100	-	5.8	35.0

ユII種(FA)、シリカフューム(SF)を置換した。水結合材比は35%、50%、100%の3種類とし、結合材：細骨材の質量比は1:3で一定とした。打込み翌日に脱型し、材齢28日まで水中養生を施した。

2. 2 試験方法

物質移動試験は、様々な駆動力と物質による試験を行うために、透気試験・透水試験・水分浸透速度係数試験・水分逸散試験を行った。

透気試験・透水試験の試験体は40℃RH30%環境下で静置し、恒量まで乾燥させた。透気試験では、0.05MPaの圧力で定常状態となるまで一定期間空気を圧入し、水上置換法により透過量を計測した。その後、0.1MPaに圧力を上げ同様に試験した。透水試験では、側面をアルミテープでシール後に各圧力(0.05MPa、0.1MPa)を載荷し、インプット法の透水試験を実施した。圧入側にシリンダーを設置し、その水の減少量を定期的に計測した。

水分浸透速度係数試験では、JSCE-G 582-2018に準拠し、40℃RH30%環境下で28日間乾燥させたφ50×100mmのモルタルで実施した。

水分逸散試験では、水中養生後に表面の水を拭き取り、40×40×160mmの試験体を20℃RH60%の恒温恒湿室において電子はかりの上に静置し、質量変化を経時的に記録した。

3. 物質移動試験結果

図1に各物質移動試験の結果を示す。各配合のデータをNのデータを基準として比率を算出した。B30やSF10において物質移動抵抗性が高いことが明らかとなった。B90やN_100は物質移動抵抗性が低い、水分浸透速度係数は小さく、各物質移動試験が同様の傾向を示すとは限らないと考えられた。

4. 各試験における影響因子

4. 1 透気試験と透水試験

透気試験において、異なる圧でも同値の透気係数を算出できたことから、ダルシー則が成り立つ。ここで、氏家らによって、透気係数は円筒モデルを用いることで、空隙率と空隙平均径と屈曲度で関数化できることが報告されている¹⁾。透水試験においても図2に示すように、透水速度係数と透気係数の相関が認められ、加圧による物質移動試験である透気試験と透水試験は、空隙率・空隙平均径・屈曲度が影響因子であることが考えられる。

4. 2 水分浸透速度係数試験

水分浸透試験は毛細管力により水が浸透するが、古くから Lucas-Washburn の式で表現され、管半径の平方根に浸透深さが比例する。したがって、水分浸透速度係数は空隙径が影響因子であることが考えられる。

5. 空隙ネットワークの把握

水分浸透速度係数試験では、空隙径が影響していることから、平均細孔径を算出できれば関係が得られると考えた。ここで、氏家ら¹⁾の式と回帰分析による対数近似の係数と比較することで、透気に支配的な空隙径の平均が算出できるとしている。透気係数と空隙率、屈曲度から算出するが、屈曲度は水の残存で物質移動経路が屈曲すると考える。空隙率を算出する際には、水分が逸散した量を空隙量としているため、水分逸散試験では 20℃ RH60%、アルキメデス法では 40℃RH30%で水分が逸散した割合であることに着目し、両者の関数で屈曲度を表すこととした。図3に透気係数・空隙率・屈曲度から算出した平均細孔径と、水分浸透速度係数の関係を示す。平均細孔径が大きいほど水分浸透速度係数が大きくなる傾向がみられたが、B50、B70、B90は他の配合よりも平均細孔径ほど水分浸透速度係数は大きくないことが明らかとなった。既往の研究²⁾において高炉スラグ微粉末を用いた硬化体はインクボトル空隙の量が多いことが示されていることを考慮すると、この結果はインクボトルなどの複雑な空隙の構造を表すと考えられた。

謝辞

2020 年度セメント協会研究奨励金による助成を頂いて実施いたしました。ここに感謝の意を示します。

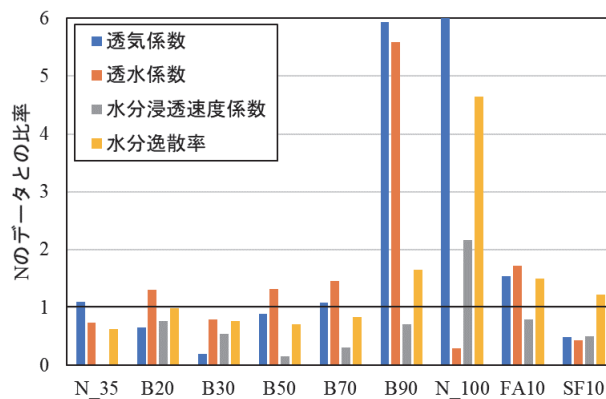


図1 各物質移動試験の結果

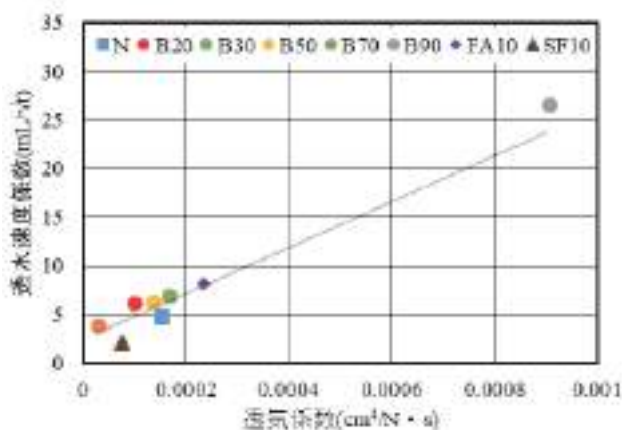


図2 透気係数と透水速度係数の関係

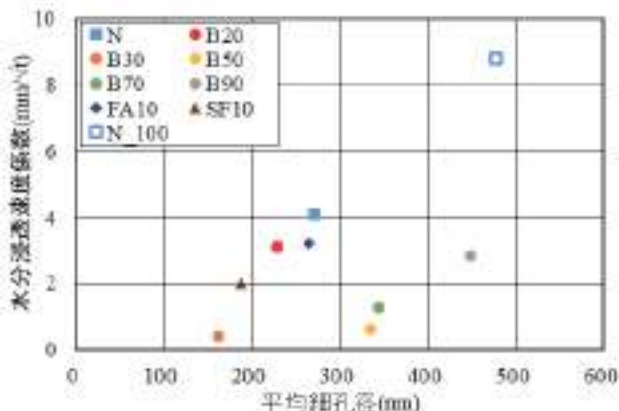


図3 算出した平均細孔径と水分浸透速度係数の関係

【参考文献】

- 1) 氏家勲、檜崎正尚、長瀧重義：コンクリートの透気性状と酸素および塩素イオンの拡散性状に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15、No.1、pp.519-524 (1993)
- 2) 水野博貴、伊代田岳史：炭酸化した高炉セメント硬化体の空隙構造変化が水分浸透性に与える影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.41、No.1 (2019)