

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 6 日現在

機関番号：16301
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2011
 課題番号：22760331
 研究課題名（和文） 多孔質硬化体の空隙幾何構造を考慮したコンクリート中の物質移動拡散過程の解明
 研究課題名（英文） Evaluation of mass diffusion process considering based on porous geometric structure in concrete
 研究代表者 岡崎 慎一郎（Shinichiro OKAZAKI）
 愛媛大学・理工学研究科・助教
 研究者番号：30510507

研究成果の概要（和文）：

本研究は、コンクリート中の塩化物イオン移動現象について、不飽和領域における塩化物イオンの拡散性状を、主として空隙の幾何構造の観点から検討するものである。フライアッシュの混和により液状水フロントからの塩化物イオン拡散性状が停止しうることが海水を使用した毛管浸潤試験により判明した。また、空隙幾何構造が物質移動に与える影響を実験的・解析的に検討し、フライアッシュ混和による物質移動抵抗性増加メカニズムについて検討した。

研究成果の概要（英文）：

The aim of this research is to reveal the Chloride ion diffusion in unsaturated porous media from the aspect of the porous geometric structure. Capillary absorption method by sea water revealed that Chloride ion cannot diffuse from water seepage front to unsaturated area in case of fly ash concrete. Also, the mechanism of strong mass transfer resistance of fly ash concrete was elucidated by experimental and analytical method about pore structure in concrete.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：

科研費の分科・細目：土木工学、土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：コンクリート、空隙幾何構造、塩化物イオン、フライアッシュ、毛管浸潤試験、X線CT

1. 研究開始当初の背景

フライアッシュを混和したコンクリートの場合、表層から浸入する塩化物イオン拡散がコンクリート内部で停止する現象が確認された。この停止の原因としては、空隙幾何構造が、普通コンクリートよりも複雑に屈曲しているために、見かけの拡散係数が低減し

たこと、もしくは、不飽和コンクリートにおける物質移動が壁面からの電氣的な反発により塩化物イオンが浸入できないメカニズムが存在すること、もしくはその両者の作用によることが原因であると考えられる。

フライアッシュの使用により物質移動拡散が著しく低減されるのであれば、廃棄物処

分のニーズと符合するために、産業界に与えるインパクトは大きいと、その現象解明が望まれている。

2. 研究の目的

コンクリートのような多孔質硬化体中の塩化物イオン移動現象について、不飽和領域における塩化物イオンの拡散性状を、主として空隙幾何構造の影響から検討するものである。

3. 研究の方法

(1) 海水による毛管浸潤試験

図1のように、地面から垂直に立てた円柱供試体の下面から海水を浸潤させ、毛管張力によって海水を浸潤させる、海水利用の毛管浸潤試験を実施した。本試験では、時刻の十分な経過により、浸潤した液状水は重力と釣り合うことによって浸潤位置を意図的に停止させ、海水が停止したのちに、飽和フロントから不飽和領域にかけての塩化物イオン移動性状を確認することとし、不飽和領域における塩化物イオン拡散性状を確認する。

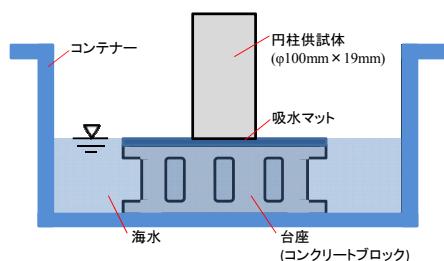


図1 毛管浸潤試験

(2) セメント系硬化体の空隙幾何構造の測定

フライアッシュの混和の有無が毛細管空隙幾何構造にどのような影響を与えるか、特に屈曲構造、収斂構造は如何のようになっているかについて、X線CT装置を使用し、3次元空隙構造データの取得ののちに、データ解析することによって検討した。1mm片のセメントペーストを対象に、X線CTにより得られた空隙像をボクセルメッシュ化し、均質化法に基づく数値解析により、硬化体の見かけの拡散係数を算出し、さらに拡散屈曲度を算出した。

(3) 屈曲路における物質移動特性

多孔体中の屈曲した流路における物質移動特性について実験的に検討した。屈曲した透明アクリル板を2枚配置することにより、模擬流路を再現し、白煙をトレーサーとした流れの特性を可視化する。

4. 研究成果

(1) 海水による毛管浸潤試験

海水を使用した毛管浸潤試験を試験開始から91日まで実施した。液状水飽和領域から不飽和領域にかけての塩化物イオン分布に着目すると、普通コンクリートの場合は、拡散が継続して呈しているが、フライアッシュ混和コンクリートの場合は、普通コンクリートよりも塩化物イオン濃度分布は高く推移しているものの、塩化物イオン拡散は停止していることが確認された。

なお、試験終了後の試験体から、試験片を採取し、水銀圧入法による空隙分布測定試験を実施したところ、両者にほとんど相違は確認されなかったため、空隙の量的因子がイオン移動性状の相違に影響を与えたとは考えられない。しかしながら、空隙の屈曲性状などの相違で極端に拡散が制限された可能性があるため、(2)の検討を実施した。

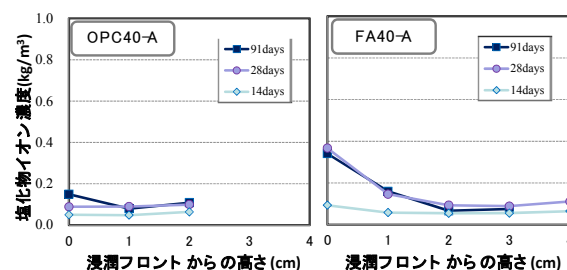


図2 不飽和フロントからの拡散性状

(2) セメント系硬化体の空隙幾何構造の測定

図3は供試体のボクセルイメージである。均質化法により小片の供試体の拡散係数を算出した。その結果を表1に示す。なお、バルクにおける物質拡散係数を1.0(無単位)と定義している。低水セメント比の場合は、FA混和により拡散係数は増加しているが、高水セメント比の場合は現象する傾向が判明した。また、空隙幾何構造を検討するため、拡散係数を空隙率で除す事により、単位空隙あたりの拡散係数を求め、その逆数をとることにより拡散屈曲度を算出した。

その結果、低水結合材比の場合、フライアッシュの混和によって屈曲度は減少し、高水セメント比の場合は、フライアッシュの混和によって屈曲度は増加することが確認される。水紛体比が比較的大きい場合は、屈曲度が増加することによって物質移動抵抗性を高めることに対し、水紛体比の小さい場合は、フライアッシュの混和により屈曲が低減しつつも、前章の実験結果にもあるとおり、物質移動抵抗性を高めるのである。この理由について、以下で検討を加える。

本研究での2つの異なる水紛体比の供試体では、空隙構造、特に空隙分布が大きく異なる。高い水紛体比の供試体においては、拡散

物質は、数 μm オーダーの毛細管空隙を主として移動経路とし、低い水紛体比の供試体の場合は、空隙分布のピークが高水紛体比の場合と比較して密実であるため、物質拡散は、空隙の極めて小さい毛細管空隙や、ゲル空隙を透過する。この場合、空隙に占める壁面近傍の拡散物質が、空隙の小径化によって相対的に増加するため、特に水分に接してイオン化した物質は正に帯電した壁面からの電気的吸着力や斥力の影響を無視できない。塩化物イオン拡散現象であれば、負に帯電した塩化物イオン、中性化現象であれば負に帯電した炭酸イオンが該当するであろう。正に帯電している壁面においては、負に帯電されたイオンを吸着させる。そして吸着されたイオンは同符号のイオンを反発させ、拡散度を著しく低減させる。これにより、フライアッシュの混和により、低水紛体比の場合は、普通コンクリートよりも屈曲度が低いにもかかわらず、高い物質移動抵抗性を発揮しているものと考えている。

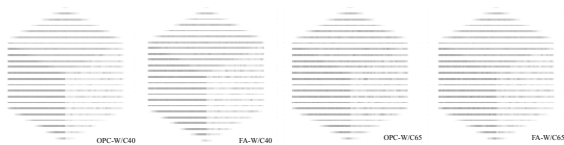


図3 ボクセルイメージ

表1 拡散係数

Case	x	y	z
OPC-W/C40	2.46×10^{-4}	2.15×10^{-4}	3.61×10^{-3}
FA-W/C40	1.23×10^{-3}	1.20×10^{-3}	2.78×10^{-3}
OPC-W/C65	8.56×10^{-2}	1.08×10^{-1}	1.05×10^{-1}
FA-W/C65	3.37×10^{-2}	4.74×10^{-2}	2.25×10^{-2}

表2 屈曲度

Case	x	y	z
OPC-W/C40	423.3	484.7	288.5
FA-W/C40	77.2	79.5	34.1
OPC-W/C65	1.6	1.2	1.3
FA-W/C65	4.4	3.1	6.6

(3) 屈曲路における物質移動特性

多孔体中の屈曲した流路における物質移動特性について実験的に検討した。その結果、空隙の幅に沿った流れは必ずしも達成されず、実質の流路と称すべき流れを呈することが判明した。多孔体における移流拡散現象に関するフラックス算出の際は、設定した空隙分布を考慮するのみならず、空隙の幾何構造

を考慮して、実質の流路の形成を考慮して、フラックスを減じるモデルを考慮しなくてはならないことが示唆された。

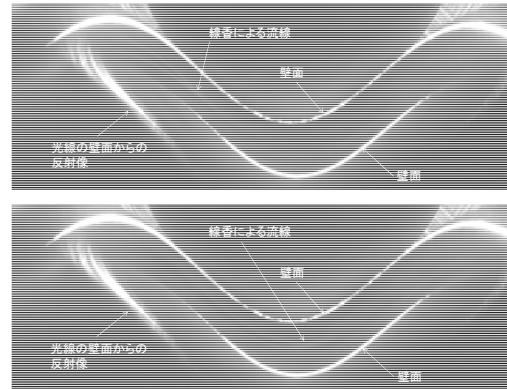


図4 幅5mmの屈曲流路での空気の流れ (下図は上図の0.05sec後の様相を示す)

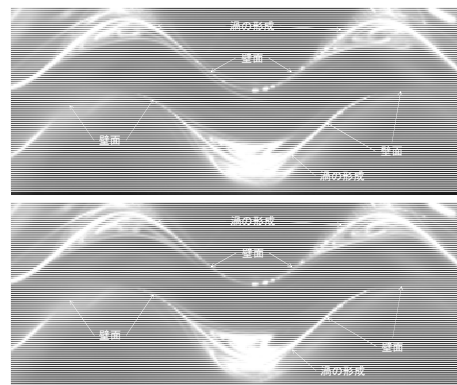


図5 幅10mmの屈曲流路での空気の流れ (下図は上図の0.05sec後の様相を示す)

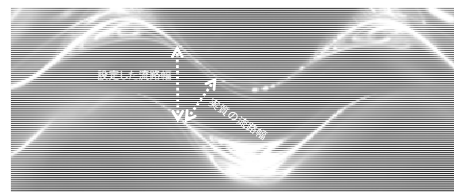


図6 設定した流路幅と実質の流路幅

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 岡崎慎一郎、氏家勲：養生の相違がフライアッシュコンクリートの物質移動抵抗性および空隙組織構造に与える影響，材料，in press，2012
- ② 岡崎慎一郎、氏家勲：屈曲した狭小空間

における流体の微速浸透現象の可視化,
コンクリート工学年次論文集, in press,
2012

〔学会発表〕(計3件)

- ① 杉本淳, 岡崎慎一郎, 氏家勲: フライアッシュの混和が透水性に与える影響, 平成24年度土木学会四国支部第18回技術研究発表会概要集, pp.253-284, 2012
- ② 岡崎慎一郎, 氏家勲: コンクリート中の液状水浸潤および空隙構造が果たす塩化物イオン拡散への影響, 平成23年度土木学会全国大会第62回年次学術講演会講演集, pp.543-544, 2011
- ③ 杉本淳, 土井佐記, 岡崎慎一郎, 氏家勲: コンクリート中の液状水浸潤が果たす塩化物イオン拡散への影響, 平成23年度土木学会四国支部第17回技術研究発表会概要集, pp.257-285, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡崎 慎一郎 (Shinichiro Okazaki)
愛媛大学・理工学研究科・助教
研究者番号: 30510507