

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K14800

研究課題名（和文）幾何学的構造の高精度な三次元立体情報に基づく細孔のモルフォロジーの実体解明

研究課題名（英文）Clarification of morphology of pore structure based on the high-precision 3D information of geometric structure

研究代表者

鎌田 知久（Kamada, Tomohisa）

東京都立大学・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：70804194

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：セメント硬化体空隙の幾何学的構造に関する新たな知見の創出、および空隙の幾何学的構造が物質移動に与える影響の解明を目的として検討を実施した。FIB-SEMによるセメント硬化体空隙の三次元微細観察より、普通セメント硬化体と比較して高炉セメント硬化体は、より連結性の高い複雑な空隙網を有することが示唆された。さらに水分浸透試験の結果から、高炉セメント硬化体は普通セメント硬化体と比較して、吸水量は大きい水分浸透深さは小さくなるという結果が得られた。高炉セメント硬化体は、空隙の連結性が高いことで水が空隙内を網羅的に浸透するため、内部方向への水の浸透が抑制される可能性が高いことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セメント硬化体空隙の幾何学的構造が物質移動に及ぼす影響の詳細な理解は、物質移動を精緻に予測可能なモデルの構築や幾何学的構造に起因する物質侵入抑制メカニズムの解明に貢献する。本研究では、高炉セメント硬化体空隙の三次元微細構造に関する視覚的情報を取得するとともに、高炉セメント硬化体特有の水分浸透性状と空隙の幾何学的構造との関係性に関する新たな知見を得た。これは、高炉セメント硬化体の水分浸透抑制メカニズムの解明ならびに物質移動モデルの発展に寄与するものであると考える。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research was to generate new insights on microstructure of pore structure of hardened cement using FIB-SEM and to clarify the influence of the geometric structure of pores on mass transfer. Firstly, 3D observations of pore structure of hardened cement using FIB-SEM indicated that hardened cement with blast furnace slag (BFS) had more continuous and complex network of pore compared to hardened cement with ordinary portland cement (OPC). Furthermore, the results of water penetration tests clarified that hardened cement with BFS showed higher water absorption but shallower water penetration depth compared to hardened cement with OPC. These results suggested that the high connectivity of pores in hardened cement with BFS allows water to penetrate comprehensively within the complex pore network, thereby potentially inhibiting water penetration in depth direction.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：セメント硬化体 高炉スラグ微粉末 空隙構造 幾何学的構造 三次元微細構造 FIB-SEM 3Dイメージング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、コンクリートの空隙に関しては、ゼータ電位など、空隙壁面やその近傍の電気化学的性質に関する知見の蓄積が進む一方、物理的な性質に関しては、水銀圧入法やガス/水蒸気吸着法、或いは気体拡散試験から取得される見かけの測定値に着目した議論が一般的であり、各種物質の移動性状に大きな影響を与える屈曲度や連結性など、空隙のモルフォロジーの実体を厳密に理解するために必要となる、空隙の幾何学的構造の三次元情報に関する知見が不足している。研究代表者は、インクボトル形状の空隙に留まった気泡が、水の浸透を大幅に抑制することを確認しているが、このような物質の浸透抑制現象の理解には、SEM等で取得される二次元の面的な情報だけでなく、実際のかつ三次元的な情報が必要となる。

また、空隙構造は、使用材料により発達過程が大きく異なるため、幾何学的構造も材料による特性が色濃く反映される可能性が高い。特に混和材を用いた場合、適切な養生を施すことで空隙が密に形成されるが、「緻密」=「総量が少ない」或いは「平均径が小さい」というような解釈が一般的であり、使用材料で異なる幾何学的構造の特徴や形成メカニズムについては、これまで詳細に検討されてこなかった。このため、特に混和材を用いたセメント硬化体における各種物質の侵入メカニズムの解明、さらには耐久性評価や劣化予測のさらなる高度化を実現するためには、物質移動に大きな影響を与える、空隙の屈曲度や連結性等に関する知見の蓄積が重要となる。

2. 研究の目的

本研究は、空隙の幾何学的構造の詳細な三次元情報と定量的な測定値を統合することで得られる空隙のモルフォロジーの実体に基づいて、使用材料ごとに異なる空隙の幾何学的構造を解明すること、さらには、屈曲度や連結性に関する既往の知見の妥当性を検証しつつ、コンクリートへの各種物質移動性状と幾何学的構造との対応を緻密に整理・分析することで、空隙の幾何学的構造が物質移動に及ぼす影響を詳細に解明することを目的とする。空隙の三次元情報に基づいて、屈曲度や連結性、インクボトル形状等の幾何学的構造の実体を解明し、空隙構造の発達過程や環境作用の影響を新たな視点から紐解くことで、極めて難解なコンクリートの空隙構造に関する新たな知見を創出する。さらに、屈曲度等に関する既往の知見の妥当性を検証し、その是非を論じることで、適切な測定方法の提案やより正確な特性値を明示することが可能である。また、幾何学的構造が物質移動に及ぼす影響の詳細な理解は、物質移動を精緻に予測可能なモデルの構築や幾何学的構造に起因する物質侵入抑制メカニズムの解明に貢献しうる。

3. 研究の方法

本研究では、まず、5mm角のセメントペースト供試体を対象に乾湿繰返し試験及び水銀圧入試験による空隙構造分析を実施し、複数の乾湿サイクル後の吸水率と空隙構造の各種指標(空隙量/率、ピーク径、連続空隙量/率、閾細孔径)との関係性を分析した。次に、高炉スラグ微粉末混和および無混和のコンクリート供試体に対して水分浸透試験および空隙構造分析を実施し、高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの水分浸透性状と空隙構造との関係について検討を実施した。最後に、普通セメント硬化体および高炉セメント硬化体を対象に吸水試験、水分浸透試験、並びにFIB-SEMによる空隙の三次元微細構造観察を実施し、高炉セメント硬化体空隙の幾何学的構造が水分浸透性状に及ぼす影響について検討した。

4. 研究成果

乾燥の影響により空隙構造が粗になることで吸水量が増加すること、吸水性状に対して閾細孔径が強く影響を及ぼしていることを確認した。また、過去に実施したFIB-SEMによる三次元観察において取得した同一条件で作製した供試体(乾湿1サイクル目に相当する供試体)の三次元画像を解析した結果、連続空隙率並びに連続した空隙中の最小径が水銀圧入試験で取得したそれらと概ね対応していることを確認した。さらに、この三次元画像中の任意の連続空隙(経路長:約260nm)を対象に屈曲度を計算したところ、1.25程度であることを確認した。

コンクリート供試体を対象とした検討では、吸水による質量変化率と水分浸透深さとの間に良好な相関があることを確認した。ただし、使用材料により回帰式の傾きが異なることを確認した。特に高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの傾きは、普通コンクリートの傾きより小さく、同一の吸水量であっても水分浸透深さは普通コンクリートよりも小さくなった。また、空隙構造の分析結果から、高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの連続空隙量、ピーク径および閾細孔径が普通コンクリートよりも小さくなることを確認した。

普通セメント硬化体および高炉セメント硬化体を対象に実施した吸水試験、水分浸透試験、およびFIB-SEMによる空隙の三次元微細構造観察において、高炉スラグ微粉末を混和した硬化体は、連結性の高い複雑な空隙網を有すること、さらに、空隙の連結性が高いことで水が空隙内を網羅的に浸透しやすくなり、水が空隙を満たしながら浸透するため吸水量に対して水分浸透深さが小さくなることを示唆する結果を得た。

以上、本研究では、高炉スラグ微粉末を混和したセメント硬化体の空隙構造の幾何学的構造の三次元情報および幾何学的構造が水分浸透性状に及ぼす影響に関する新たな知見を得た。本研究の成果は以下の形で公表されている。

鎌田知久、岸利治：FIB-SEMによる空隙構造の3Dイメージング、土木学会第75回年次学術講演会概要集、V-408、2020

Gaddam Pruthvi Raj, Tomohisa Kamada, Toshiharu Kishi: Experimental investigation on water penetration property of concrete incorporating blast furnace slag, 第75回セメント技術大会講演要旨, pp.170-171, 2021

鎌田知久：高炉セメント硬化体空隙の三次元微細構造と水分浸透性状との関係、土木学会第78回年次学術講演会概要集、V-592、2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Gaddam Pruthvi Raj
2. 発表標題 Experimental investigation on water penetration property of concrete incorporating blast furnace slag
3. 学会等名 第75回セメント技術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鎌田知久
2. 発表標題 FIB-SEMによる空隙構造の3Dイメージング
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田知久
2. 発表標題 高炉セメント硬化体空隙の三次元微細構造と水分浸透性状との関係
3. 学会等名 土木学会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------