

令和 6 年 5 月 22 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04211

研究課題名（和文）コンクリートのマルチスケール内部構造の確率過程シミュレーションに基づく性能設計

研究課題名（英文）Performance design based on stochastic process simulation of multiscale internal structure in concrete

研究代表者

五十嵐 心一（Igarashi, Shin-ichi）

金沢大学・地球社会基盤学系・教授

研究者番号：50168100

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：コンクリートはマルチスケールにて、様々な大きさの粒子がランダムに混合された材料である。それらの粒子の空間分布を確率過程として定量的に評価して、その分布をモデル化した。そのモデルに基づいて分布シミュレーションを行う手法を提案して、コンクリートの材料設計を粒子充填に基づいて行えることを示した。特に、粒子の空間分布が巨視的物性に重大な影響を及ぼす気泡分布に関して、量は点密度、距離は最近傍距離分布関数、保護メカニズムはディリクレ分割タイル面積と対応付けられ、それらが既往のモデル式と矛盾しないことを明らかにした。そして、耐凍害性確保のための空気量の配合設計を、点過程シミュレーションにて行えることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の中心課題である気泡の評価には、現在でも70年前に提案された方法を用いており、しかもその方法では実際の分布を評価していない。しかし、本研究の提案法は、実際のランダム分布をそのまま確率過程として評価しできる。また、信頼できるフリーソフトウェアが提供されているので自己開発は不要で、計測および解析に要する時間は著しく短縮化される。また厳密な数学理論の裏付けを持ちながらも、それを意識することなく実施できるので、一般技術者でも容易に導入、実施できる。カーボンニュートラルの実現に向けて多様なコンクリートの開発が進められているが、それらの配合設計を粒子充填の観点から行うことを可能とする評価法である。

研究成果の概要（英文）：Concrete is a material consisting of a random mixture of particles whose sizes range widely at multiple scales. The spatial distribution of these particles was quantitatively evaluated using probability measures, and their spatial distribution was modeled as the planar point process. Based on the model, we proposed a method to simulate the air void distribution in advance and showed that the mixture design of concrete could be executed in terms of particle packing at various scales. In particular, the evaluation of air voids in concrete was intensively investigated since their spatial distance was crucial in determining the freeze-thaw durability of concrete. The important parameters had a mathematical background, and their validity was confirmed by simulating random point patterns in concrete. It was found that the volume, spacing, and protection range of air voids could be evaluated using the point intensity, the nearest neighbor distance, and the Dirichlet tile, respectively.

研究分野：土木材料学

キーワード：気泡 点過程 気泡間隔 保護距離 ディリクレ分割 シミュレーション ステレオロジー 画像解析

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。

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの物性はその微視的構造に左右されることは周知の事実であり、種々の機器を用いた組織観察が行われてきた。1980年代以降の顕微鏡観察技術の発展と画像解析技術の普及により、内部組織の幾何学的特徴が明らかにされ、その定量的な評価もある程度可能にはなっていた。しかし、高度な観察手法が用いられるようになったにもかかわらず、微視的構造の評価には、数10年も前に提案された旧来の評価法を用いている場合がほとんどであった。例えば、コンクリートの強度や物質移動抵抗に関わる毛細管空隙に関しては、画像から総量や寸法の評価は行われるが、連結性や連続性の評価は困難であった。また、凍結融解作用に対する耐久性を改善するために導入される気泡の評価には、70年前に提案された評価法を用いていた。

それらの評価法はいずれも材料のランダム性を仮定した古典的なステレオロジーの基本則に基づく。しかし、現在ではより高度なステレオロジー理論が体系化されており、研究代表者は2次のステレオロジー理論を用いることにより、コンクリートの内部組織がより詳細に評価できることを明らかにしていた。本研究はその手法を用いれば、従来コンクリートの物性を決定するうえで重要でありながらも評価が難しいとされた幾何学的特徴が、空間統計学の裏付けのもと評価できるのではとの発想に基づく。そこで、微視、メゾ、巨視の各観察レベルのコンクリートの画像を、高次ステレオロジーパラメーターにより評価することからスタートした。

2. 研究の目的

コンクリートの内部組織はどの観察レベルにおいてもランダムであることを前提として、その幾何学的特徴を確率過程として評価してモデル化し、そのモデルに基づいたシミュレーションにより実際の内部組織を再現することを企図した。これより、従来定性的な説明にとどまっていた組織観察結果に対して定量的な知見を示し、コンクリートの物性発現メカニズムにより詳細な解釈を与えることを目的とした。あわせて、コンクリートの配合設計において、対象相に関する確率過程シミュレーションを行うことにより、事前に所要の性能を得るために必要な材料の量を決定する手順を明確にすることを目的とした。

3. 研究の方法

コンクリートの物性にその空間分布が深く関わる構成相として、評価対象を微視レベルでは毛細管空隙、メゾレベルでは気泡と高吸水性ポリマー、そして巨視レベルでは骨材粒子とした。評価手順はいずれも共通で、「顕微鏡もしくはフラットベッドスキャナーによる2D断面画像の取得」「画像解析による対象相抽出」「ランダム性の確認」「粒子過程に対しては2点相関関数、点過程については最近傍距離関数とディリクレ分割による評価」「シミュレーションによる再現性の確認」「距離特性値と物性発現機構の考察」「配合設計への適用法提案」を基本研究フローとした。特に、空間分布と距離特性値が耐凍害性機構に密接に関係する気泡および高吸水性ポリマーについては、空間分布の評価(材料設計に適用できる距離特性値の提案)に加えて、耐凍害性を付与するメカニズムに関する検討を行うこととした。

4. 研究成果

(1)セメントペーストの微視的構造:セメントの水和反応過程と固体構造形成過程を点過程の相関関数で評価することを試みた。セメント粒子と毛細管空隙をそれぞれ点過程として、2つの点過程間の関係をJクロス相関関数で評価した。その結果、セメント粒子近傍には毛細管空隙が存在しない内側反応生成物域であることを、クロス相関関数の変化で表すことができた。

(2)妨げられた点過程としての気泡分布:コンクリート中の気泡はセメントペースト領域内に存在するが、この領域は骨材粒子による制限を受け、骨材の接近、凝集により気泡の侵入の隘路となる領域が存在する。このことが気泡分布のランダム性に影響をおよぼすと考え、種々の骨材分布パターン内の気泡の分布を評価した。骨材分布パターンが異なっても気泡点密度に有意な差は認められないことを確認した。また、局所的なペースト面積率の変化は、正規分布もしくはポアソン分布で、気泡点密度はポアソン分布でモデル化すれば、実際の気泡分布パターンをシミュレーションにて再現できることを示した。さらに、気泡を点で代表させると、気泡の半径以内の距離には他の気泡を表す点は存在しないが、シミュレーションを行った場合には極めて接近した点も生じる。この実際とは異なる点パターンが再現されても、気泡による保護領域(後述)の特性値は変化しないことが明らかとなった。

以上の結果から、それまでは単純に評価するだけであった空間分布が、ランダムを前提として点過程で再現できることを確認した。一方、それまでの研究にて点過程の距離と従来の気泡間隔係数の間には良好な相関性があることを指摘してきたが、両者の値は異なっていた。これを気泡による凍害からの保護メカニズムの観点で理解するために、保護範囲を点過程に関連付けられた領域分割(ディリクレ分割)で表すことにした。ディリクレ分割の模式図を図-1、実際のコン

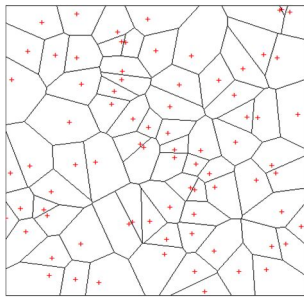


図-1 ランダム点とディリクレ分割タイル図

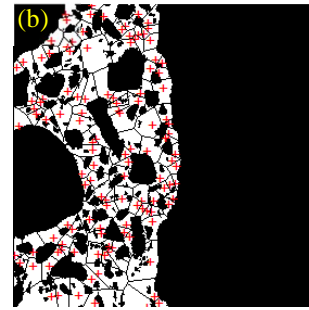
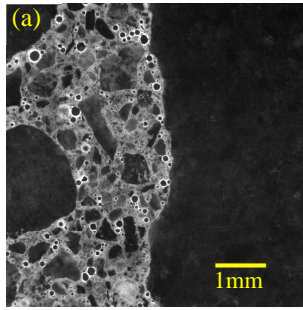


図-2 コンクリート断面の気泡顕微鏡像(a)と抽出された気泡点過程のディリクレ分割(b)

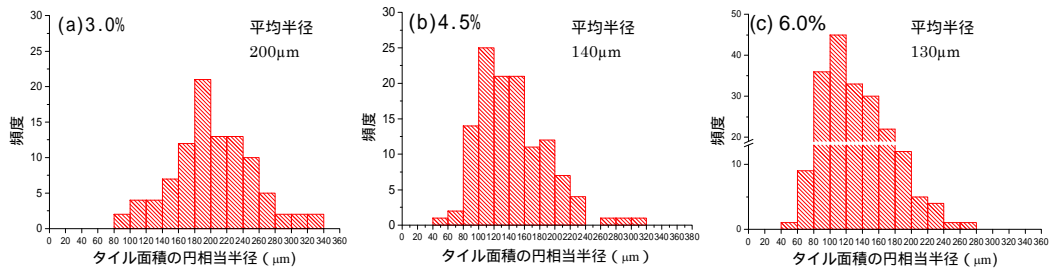


図-3 空気量の異なるコンクリートのタイル面積の円相当半径の分布

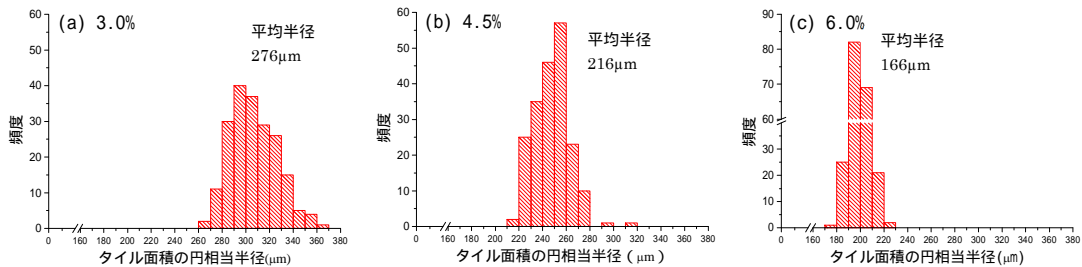


図-4 セメントペースト面積を95%被覆するときの最大タイル面積の円相当半径

クリート中の気泡に対するディリクレ分割図を図-2に示す。本分割により、コンクリートの任意点は最近傍の気泡により保護されることがモデル化され、また気泡がどんなに近接していても保護領域の評価に重複(オーバーラップ)がないというモデルの特徴が理解できる。従来のモデルのように、気泡は十分離れていて保護範囲にオーバーラップがないとの仮定は不要で、保護領域範囲が求められる。

(3)ディリクレ分割タイル面積分布と気泡間隔係数の対応: 図-3は空気量の異なるコンクリート中のタイル面積(保護を要する範囲)の分布を、タイル面積の円相当半径で整理した結果を表している。空気量が異なってもタイル面積の分布の範囲は変化しないが、平均半径は空気量の増大とともに小さくなる。平均寸法のタイル面積内に平均寸法の大きさの気泡(半径34µm)が存在すると考えれば、保護を必要とする厚さは、空気量4.5および6%では、気泡表面からの厚さ100µm程度となる。耐凍害性を未凍結水の水分移動可能距離と考え、推奨気泡間隔係数をそのセメントペースト組織の到達可能距離とみなせば、一般的な推奨空気量が導入されていれば、気泡は十分に周囲を保護できることを示している。一方、凍害には、最も気泡間隔が広いところ(耐凍害性が低い局所領域)が弱点となると考えると、最大タイル寸法が凍害に対して最も不利な領域である。図-4にタイル寸法の分布において、95%信頼区間の上側限界に相当するタイル面積をシミュレーションにより求めた結果を示す。各空気量におけるタイル面積の円相当半径から同様に平均的寸法の気泡半径を差し引くと、保護すべき範囲は気泡間隔係数とほぼ一致する。このシミュレーションでは、気泡半径内に他点が配置されることを修正すべく、各気泡点まわりに排他的距離を与えた場合でも、この95%信頼区間上限タイル面積に差は生じないことも確認した。以上より、従来の気泡間隔係数は仮想的な距離ではあるが、実際のランダム気泡分布において、最

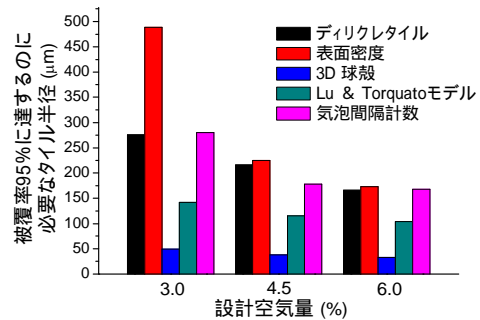


図-5 各モデル間の保護距離の比較

も気泡間隔が広い（凍害に対して抵抗性が低い）領域の距離に相当することが明らかとなった。従来、気泡間隔係数の距離を考えるとペーストのほぼ全領域が保護下に入ることが数理工学モデルでは推定されていた。しかし、本研究では、仮想系ではなく、実際のランダムな気泡系に対して気泡間隔係数が、気泡からの最遠距離であることを証明した。気泡間隔係数の意義、有用性を示す本研究の重要な成果であり、これを明らかにしたのは、本研究が国内外でも最初である。

（４）ディリクレ分割タイルモデルと既往のモデルとの整合性：気泡の保護領域評価に関してはこれまでも多くのモデルが提案されている。それらのモデルによる気泡-セメントペースト近接性の評価距離とタイル寸法を比較した(図-5)。それぞれのモデルの導出の仮定が異なるために、セメントペーストの全領域を保護下とする距離は一致しない。しかし、その大小関係はモデルの仮定と評価距離の相違により生じているのであって、タイル面積で評価した保護領域の大きさは、気泡間隔係数だけでなくその他の近接性評価モデルとも矛盾しないことを明らかにした。

（５）保護領域のオーバーラップに関する検討：２次元断面の気泡の粒度分布とステレオロジーの基本式を組みわせて、３次元の気泡球の粒度分布を求めた。これから全気泡表面積を求めて、その表面積を被覆する球殻、および表面積と距離の積として、気泡による保護領域の体積率を求めた。このようにして求めた保護領域の体積率は、保護領域の重複を考慮しないために、全セメントペースト領域が小さい表面からの距離内にあると評価される。これに対して、ディリクレ分割を用いた場合は保護領域の重複が考慮されるために、より合理的な距離を与えることを明らかにした。また、併せて気泡表面近傍に骨材粒子が存在することによる保護領域の制限を考慮するモデルおよびシミュレーション法を提案した。

以上の気泡に関する研究を行うことによって、気泡-セメントペースト近接性を保護領域によるセメントペーストの部分被覆として評価することの合理性、および妥当性を確信するにいたった。この考え方を、耐凍害性改善の混和材としての有効性が期待されている高吸水性ポリマー(SAP)(図-6)の保護範囲の評価に適用し、その耐凍害性改善機構を気泡と比較することにした。

（６）コンクリート中のSAPの3D粒径分布の推定:AE剤を使用しないnon-AEコンクリート、AEコンクリート(空気量5%)およびSAP混入コンクリート供試体を作製し、スケーリング試験を行って耐凍害性を比較した。SAPの混入によりスケーリング量はnon-AEコンクリートよりも著しく小さくなり、50サイクル後スケーリング量はAEコンクリートと同オーダーであった。これより、使用したSAPは気泡よりは効果は小さいものの、明らかに耐凍害性改善に大きな効果を持つことを確認した(図-7)。この効果とSAPが作る空隙の粒径分布の関係を明らかにするために、コンクリート断面の気泡およびSAP空隙の2次元の粒径分布(図-8)を画像解析により求め、これから3次元の球径分布(図-9)を推定した。図-8,9よりSAP粒子は気泡と比べるとモード径に大きな差はないが、平均径は気泡よりも大きいことが示される。さらに、粒子数も少ないので、結果として、全体として大きな粒子が数少なく分布する。それに関わらず、大きな耐凍害性付与効果を発揮できたことになる。SAP粒子による保護がなされたならば、図-10に示すように、より遠方まで保護できたことを意味し、従来の気泡間隔を小さくすることで保護領域による空間の被覆がなされるという考え方だけでは説明できないことを指摘した。

（７）SAPによる耐凍害性付与機構：コンクリート中にて気泡は空であって、初期は表面被膜を

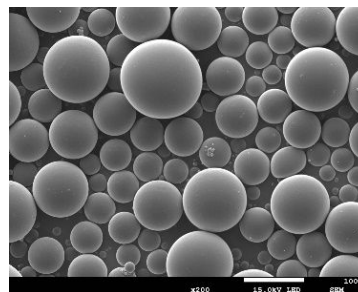


図-6 使用した高吸水性ポリマー（懸濁重合法により製造、平均径40µm）

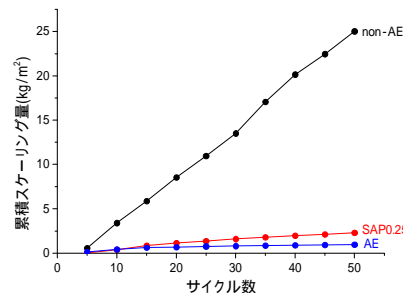


図-7 SAPによるスケーリング量の低減

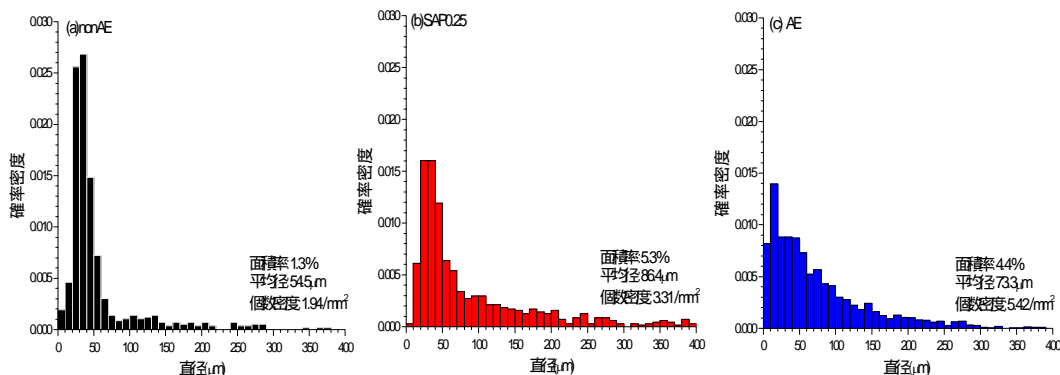


図-8 コンクリート断面の空隙径の分布

有する．これに対し、SAP は早期に内部貯水を放出するので、その放出された水分はセメントペースト中へと浸透して、大きな空の空隙を残す．すなわち SAP 空隙は若材齢にて既に水で満たされた大きな空隙として存在し、周囲の毛細管空隙と連結している．これより SAP 空隙は周囲の毛細管空隙と連結性が良い

ことが耐凍害性に寄与しているようであり、実際に、空隙内の水分の存在を実証する水酸化カルシウムの結晶析出が確認された (図-11)．

(8) R ダウンロードデータに採用：本研究を進めるにあたり、保護領域としてのディリクレタイル面積を求める必要があった．このことに関して、R および点過程の権威であるニュージーランド、オークランド大学の R. Turner 教授に相談のメールを送った．Turner 教授は気泡を点過程で表し、さらにタイル面積を機構に関連付けるという考え方は非常に興味深いので、全世界に向けてそのデータおよびプログラムを公開したいとの申し出があった．これを快諾した結果、本研究のデータは、全世界でダウンロード可能な点過程パッケージデータ (spatstat.data, Air Bubbles in Concrete) として採用されている (図-12)．

(9) 骨材の空間分布と遷移帯パーコレーションの蓋然性：コンクリート中の骨材断面画像から、骨材形状の仮定を行うことなく骨材寸法および骨材表面積を求めた．さらに、3次元の粒度分布も求めて、遷移帯の厚さと体積率の関係を明らかにした．その結果、細骨材中には微細な粒子が極めて多く、その一方で平均的な骨材表面間距離は遷移帯の厚さに比べるとかなり大きいことが示された．これより、遷移帯連結の蓋然性は小さいと推定され、むしろ同程度の寸法の微細な骨材粒子とセメント粒子が空間内にランダムに分布する結果として、セメントペースト内に多孔質領域と緻密な領域が形成されることを指摘した．

(10) 表彰：本研究の研究成果に対して、以下の表彰を受けた．

- ・ 第45回コンクリート工学年次論文奨励賞 (2023年7月7日)
大山和哉, 五十嵐心一：排他的距離を考慮した気泡の点過程シミュレーションと保護されたセメントペースト領域の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.45, No.2, pp.781-786, 2023.
- ・ 第52回セメント協会論文賞 (2024年5月16日)
大山和哉, 上原典香, 田邊駿, 五十嵐心一：受賞題目「気泡の分布と凍害保護範囲を考慮した凍害抵抗性のメカニズムの解明」(評価対象論文：「気泡周りの領域分割とセメントペースト - 気泡近接性評価式により推定される保護領域の比較」2022, 「気泡と高吸水性ポリマーの3次元粒度分布に基づく凍害保護範囲の比較」2023)

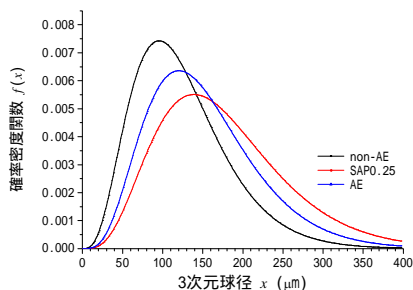


図-9 3D 体積基準の粒径の確率密度関数

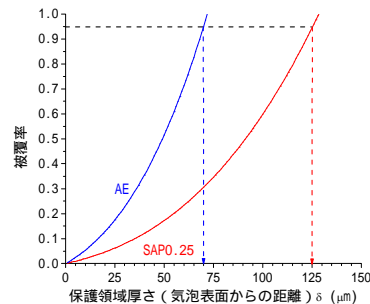


図-10 エントラップドエアを除いた気泡に関する保護領域厚さの増大にともなう被覆率の変化



図-11 SAP 空隙中に析出した水酸化カルシウムの結晶

concrete (spatstat.data)

R Documentation

Air Bubbles in Concrete

Description

Prof. Shin-ichi Igarashi's data: a point pattern of the locations, in a cross-section of a concrete body, of the centroids of air bubbles in the cement paste matrix surrounding particles of aggregate.

Usage

```
data("concrete")
```

Format

An object of class "ppp" representing the point pattern of air bubble centroid locations. Spatial coordinates are expressed in microns.

Details

The window of the point pattern is a binary mask (window of type "mask"; see `win` and `as.mask` for more information about this type of window). This window in effect consists of the cement paste matrix, or equivalently of the complement (in the observed cross-section) of the aggregate.

Major scientific interest is focussed on analysing the distribution of the location of the air bubbles in the cement paste matrix. These bubbles are important in assuring frost resistance of the concrete. Each air bubble protects a region around it to a certain distance. To protect an entire concrete object against severe frost attack, it is necessary to cover the whole of the cement paste matrix with subsets of protected regions formed around the air bubbles. It is believed that the protected regions are related to the Dirichlet tessellation of the centroids of the bubbles, and the statistical properties of the protected regions can be determined from those of the Dirichlet tessellation. In this regard, the areas of the tiles are particularly important.

Source

Prof. Shin-ichi Igarashi, of the School of Geoscience and Civil Engineering, Kanazawa University, personal communication.

図-12 R のダウンロードデータの説明文 (spatstat.data help の表

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 山下総司, 五十嵐心一	4. 巻 43
2. 論文標題 点過程法を用いたセメント粒子近傍における毛細管空隙の不均質ランダム性の評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 323-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 油上慧吾, 五十嵐心一, 山下総司	4. 巻 43
2. 論文標題 分割取得された小領域画像標本の気泡の統計量と分布シミュレーション	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 622-627
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Igarashi, S. Taniguchi, M. Yamashita, S.	4. 巻 19
2. 論文標題 Correlation between Conventional Spacing Factors of Air voids in Concrete and Characteristic Distances Defined by Point Process Statistics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.19, pp.886-896	6. 最初と最後の頁 886-896
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.19.886	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 五十嵐心一, 山下総司, 油上慧吾	4. 巻 75
2. 論文標題 リニアトラバース法計測記録から推定した気泡の保護領域体積と気泡点まわりの領域分割で評価した保護領域面積分布の対応	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 66-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.75.66	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大山和哉, 五十嵐心一, 山下総司	4. 巻 44
2. 論文標題 気泡による保護領域面積の評価と分布シミュレーション	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 532-537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大山和哉, 五十嵐心一	4. 巻 76
2. 論文標題 気泡周りの領域分割とセメントペースト - 気泡近接性評価式により推定される保護領域の比較	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 211-219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.76.211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 田邊駿, 大山和哉, 五十嵐心一	4. 巻 45
2. 論文標題 気泡の3次元粒度分布を用いた凍害からの保護領域の評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 532-537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上原典香, 大山和哉, 五十嵐心一	4. 巻 45
2. 論文標題 高吸水性ポリマーによるスケーリング抵抗性改善機構	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 538-543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大山和哉, 五十嵐心一	4. 巻 45
2. 論文標題 排他的距離を考慮した気泡の点過程シミュレーションと保護されたセメントペースト領域の評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 550-555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Ohyama, S. Igarashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Estimation of Protected Paste Volumes by Dirichlet Tessellation Associated with Point Processes of Air Voids	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of International RILEM Conference on Synergising Expertise towards Sustainability and Robustness of Cement-based Materials and Concrete Structures, SynerCrete '23	6. 最初と最後の頁 148-158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-33211-1_14	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大山和哉, 上原典香, 田邊駿, 五十嵐心一	4. 巻 77
2. 論文標題 気泡と高吸水性ポリマーの3次元粒度分布に基づく凍害保護範囲の比較	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート論文集	6. 最初と最後の頁 240-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14250/cement.77.240	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 上原典香, 田邊駿, 大山和哉, 五十嵐心一
2. 発表標題 高吸水性ポリマーと気泡の凍害からの保護機構の相違
3. 学会等名 第77回セメント技術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大山和哉, 五十嵐心一
2. 発表標題 気泡点周りの領域分割による凍害から保護すべき範囲の評価
3. 学会等名 第77回セメント技術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田邊駿, 大山和哉, 五十嵐心一
2. 発表標題 気泡による凍害からの保護領域評価における気泡凝集域と骨材の影響
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大山和哉, 五十嵐心一
2. 発表標題 耐凍害性の観点から許容される気泡間距離とディリクレ分割タイル面積の対応
3. 学会等名 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shin-ichi Igarashi
2. 発表標題 Air void structures as a random point process
3. 学会等名 ICSBM2023 The 3rd International Conference on Sustainable Building Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 江幡航佑, 五十嵐心一
2. 発表標題 材齢100年コンクリートの微視的構造と圧縮強度の推定
3. 学会等名 2023年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大山和哉, 五十嵐心一
2. 発表標題 異なるAE剤を用いたコンクリートの気泡径分布の評価
3. 学会等名 2023年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 坂野公祐, 五十嵐心一
2. 発表標題 骨材の粒度分布に基づく遷移帯の評価
3. 学会等名 2023年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 丸谷哲也, 五十嵐心一
2. 発表標題 ローカル材料を使用したLC3コンクリートの強度特性
3. 学会等名 2023年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 荒谷拓光, 五十嵐心一
2. 発表標題 骨材粒度分布の連続化により単位セメント量を低減したコンクリートの圧縮強度特性
3. 学会等名 2023年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 大山 和哉, 五十嵐 心一
2. 発表標題 硬化コンクリート中の気泡間の排他的距離を考慮した空間分布シミュレーション
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田邊 駿, 大山 和哉, 五十嵐 心一
2. 発表標題 異なる次元の気泡寸法分布と Powersモデルとの比較
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上原 典香, 大山 和哉, 五十嵐 心一
2. 発表標題 超吸水性ポリマーによるスケーリング抵抗性改善に関する一考察
3. 学会等名 令和4年度土木学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大山 和哉, 五十嵐 心一
2. 発表標題 凍害からの保護を期待する領域の気泡分布シミュレーションに基づく評価
3. 学会等名 令和4年度土木学会全国大会（年次学術講演会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 油上 慧吾
2. 発表標題 分割取得された小領域画像標本の気泡の統計量と分布シミュレーション
3. 学会等名 コンクリート工学年次大会2021（名古屋）
4. 発表年 2021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