

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04572

研究課題名（和文）セメント系無機材料のデジタル微細構造場の構築とマルチスケール大規模物質輸送解析

研究課題名（英文）Construction of Digitalized Microstructure of Cementitious Materials for Multiscale Large-Scale Mass Transport Analysis

研究代表者

石田 哲也 (Ishida, Tetsuya)

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：60312972

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,600,000円

研究成果の概要（和文）：ナノからマイクロメートルスケールを包含するデジタル微細構造場を、2次元SEM画像を用いて、畳み込みニューラルネットワークと敵対的生成ネットワークを組み合わせた手法により生成し、ラティスボルツマン法を用いた大規模物質輸送解析を行なった。普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュを用いたセメント硬化体の拡散係数の両者を比較したところ、フライアッシュのケースにおける拡散遅延は、電気二重層による遅延や10nm以下のナノ細孔の連結性に由来する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

これまで、セメント・コンクリート材料を対象として、ナノ空間における分子レベルの挙動と、マイクロメートルオーダーの空間スケールで展開される物質輸送現象を直結して評価するマルチスケール解析技術が十分ではなかった。本研究によって、特に微細構造中のイオン拡散に与える支配的要因が明らかになった。これにより、コンクリート構造物の耐久性を損なう劣化因子の制御と、内部侵入を遮断する新しい材料開発や設計法の高度化につながる。

研究成果の概要（英文）：A digital microstructure field encompassing nanoscale to micrometer scale was generated using a method combining convolutional neural networks and generative adversarial networks from 2D SEM images. Large-scale mass transport analysis was conducted using the lattice Boltzmann method. Comparing the diffusion coefficients of hardened cement pastes made with ordinary Portland cement and fly ash, it was revealed that the diffusion delay in the fly ash case is due to delays caused by the electric double layer and the connectivity of nanopores smaller than 10 nm.

研究分野：工学

キーワード：マルチスケールモデル セメント硬化体 コンクリート 拡散係数 微細構造 物質輸送解析

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで研究代表者は、ナノ空間で展開される微視的現象から巨視的な実構造物スケールの挙動を直結・包含する複数の物理化学モデルの開発と数値解析システムの構築を行ってきた。材料、配合、構造諸元など解析対象の初期・境界条件を与えるだけで、セメント系材料とコンクリート構造の応答を時空間で予測可能な技術は、世界的にも類をみない特筆すべき技術として国内外で高く評価されている。ただし、工学的ニーズに即した大胆な仮定を設けて、ミクロ、メソ、マクロスケールの物理化学モデルをつなげている側面があるため、依然として実験を通じた逆解析的なキャリブレーションが必要な問題(定量的課題)や、そもそも実際の現象の傾向を再現できない定性的課題が積み残されている。例えば、セメントの種類、特に品質にばらつきがあるフライアッシュ等の人工・天然ポゾラン材料を使用した場合の強度発現や細孔構造形成、セメント硬化体中における水分や塩分の浸透現象(特に、拡散・移流のメカニズムでは説明できない塩分浸透の停滞現象)および水和発熱や収縮に伴う体積変化とひび割れ発生・進展予測等、コンクリート構造物の性能に直結する現象を、数値解析で再現できない、あるいはシャープに捉えられていない側面がある。

その大きな理由は、ナノ空間における分子レベルの挙動とマイクロメートルオーダーの空間スケールで展開される現象を、ありのままに直結して評価するマルチスケール解析技術が未だ存在しないためである。ナノ(nm)とマイクロメートル(μm)の現象をつなぐモデルの断絶、すなわちマルチスケールモデリング研究に存在する大きなミッシングリンクに阻まれていると言える。

2. 研究の目的

本研究は、セメント・コンクリートを対象としたマルチスケールモデリングの研究において、大きなミッシングリンクとなっている、分子レベル(ナノメートル nm)とマイクロメートル(μm)オーダーの空間スケールを直結したマルチスケール・マルチフィジックス解析手法を確立することを大きな目的とする。ミッシングリンクの解消を、実験、理論、および大規模解析の統合的アプローチによって解決することを狙う。

3. 研究の方法

研究の目的を達成するため、本研究では独自の方法で、以下に挙げる課題の解決を図る。

一つ目の課題は、セメント・コンクリートの微細構造が未だ十分に理解されていないことである。セメント硬化体内部の空隙は、nm スケールの空間から μm オーダーの粗大空隙まで広い範囲にまたがっており、微細構造の真の全貌を実験で捉えることが難しい。微細構造を知るためのオーソドックスな方法として、X線CT、水銀圧入法(MIP)、SEM、TEM などがあるが、各手法がカバー可能なスケールには制約がある。例えば、X線CTは $0.1\mu\text{m}$ 以上、SEMは数十nm以上、TEMは数nm以上といった領域を対象とするが、個々の手法単体ではスケールで断片化された情報しか捉えられない。ここが一つのボトルネックである。その解決のために、マルチスケールの視点から個々の測定情報を捉えなおし、微細構造をそのまま空間的に表現するボクセルベースのモデルを新たに開発する。スケールで断片化された情報を統合して、空隙幾何構造の全体像を表すデジタル微細構造場を創り出す。

二つ目の課題は、条件によって変化するセメント硬化体の微細構造を取り扱う理論やモデルが存在しないことである。ポルトランドセメントや高炉スラグ微粉末、フライアッシュといった結合材の水和反応により毛細管空隙は水和物で埋められ、微細構造が時々刻々と変わる。さらに、結合材そのものの種類や、反応雰囲気や温度や速度によって、カルシウムシリケート水和物(C-S-H)のモフォロジー(形態)や密度が変化する。本研究では、セメント(結合材)の種類、特に普通ポルトランドセメントとフライアッシュに着目して、異なる様相を示す空隙のネットワーク構造をデジタルモデルとして再現する。

三つ目の課題は、ナノメートルからマイクロメートルオーダーに分布する微細構造内部の幾何構造(屈曲度や連結度)を厳密に考慮した、空隙内部の物質移動(液体、気体、イオン)に関するシミュレーション技術が確立されていない点である。本研究では、生成したデジタル微細構造場における物質輸送解析を行い、物質移動特性の定量化にチャレンジし、セメント・コンクリートの耐久性を飛躍的に向上させる材料開発に資する情報を得る

4. 研究成果

(1) セメント硬化体の微細構造の解明に向けた実験検討

微細構造と拡散係数の同定を行うための実験手法について網羅的な文献調査を行い、実験により得られる結果の適用性および限界について、包括的な検討を行った。そのうえで、長さスケールに基づき、セメント硬化体内部の空隙構造を4つのクラスに分類して整理する概念を提唱

した。すなわち、クラス1の原子スケール、クラス2のC-S-Hゲルスケール、クラス3の毛細管空隙スケール、およびクラス4のセメント硬化体スケールとした。まず、クラス3に着目したFIB-SEMとクラス4の構造に着目したSEMの実験を行い、物質輸送の場となる微細構造画像の取得を行った。従来の閾値法では取得した画像の正確なセグメンテーションが困難であることが判明したため、教師あり機械学習を用いた新しい方法を提案することに成功した。従来広く使用されてきた水銀圧入法などでは、微細構造ネットワークの連結性を正確に考慮できないこと、一方、FIB-SEMは3次元細孔空間における空間的な連結性を捉えることができ、物質輸送解析の入力情報として利用可能なことを示すことに成功した(図1)。

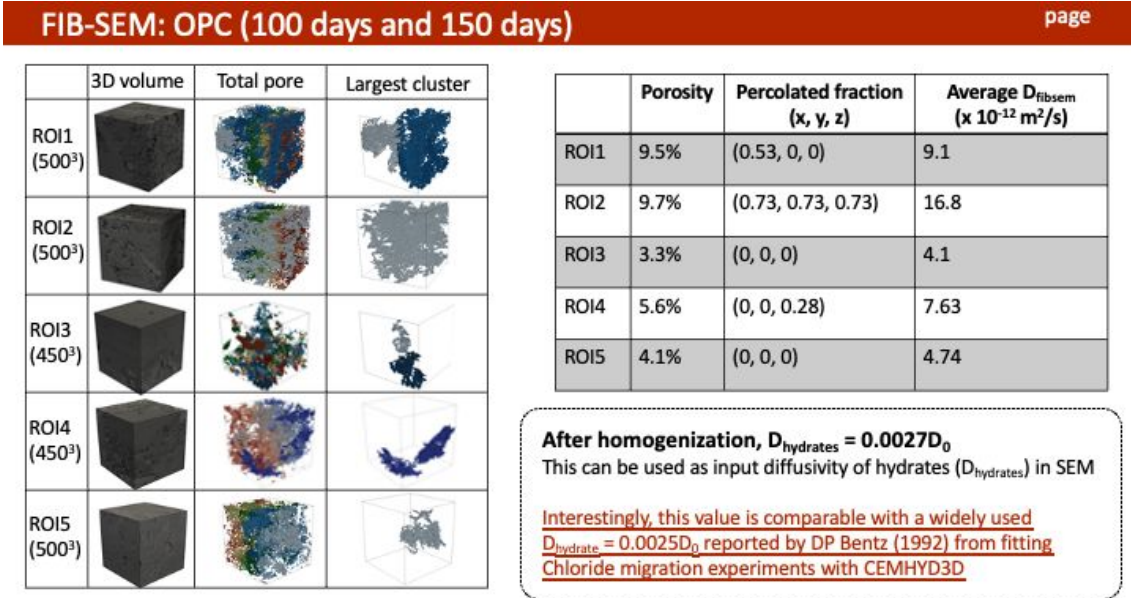


図 1

(2) デジタル微細構造場におけるラティスポルツマン法による物質輸送解析

微小な粒子(ラティスポルツマン粒子)が、規則的な格子状に配置された領域内での流体挙動をモデル化する、ラティスポルツマン法を用いた物質の大規模輸送解析法の構築を行った。物質輸送の場を表現するにあたっては、HYMOSTRUC(デルフト大で開発され多くの研究実績を有する微細構造解析法)およびCEMHYD3D(米国・NISTによる微細構造解析法)の二種類の方法を用いて算定し、ラティスポルツマン法と組み合わせた検討を行った。解析値と実験値を丁寧に検証した結果、既往の手法により得られる仮想微細構造は、物質移動の重要な指標である連結性を十分に表現できていないことが明らかになった(図2)。

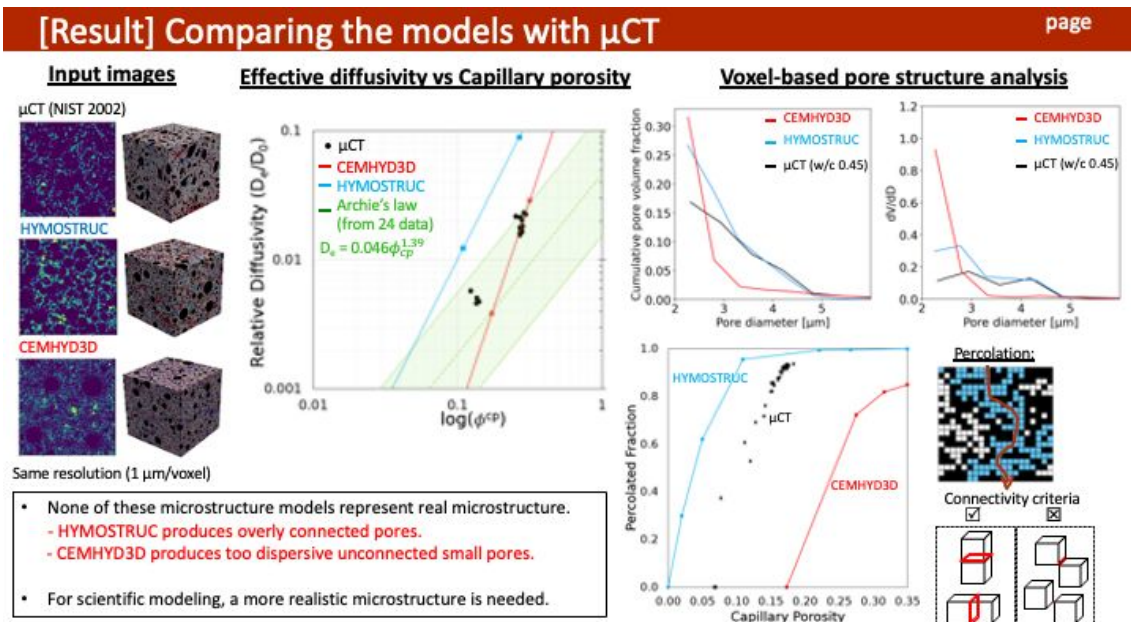


図 2

(3) ナノからマイクロメートルスケールを包含するデジタル微細構造場の構築
 HYMOSTRUC (デルフト大で開発され多くの研究実績を有する微細構造解析法) および CEMHYD3D (米国・NIST による微細構造解析法) を用いて算定し、X 線 μ CT による測定結果と突き合わせた結果、計算で得られる仮想微細構造は、物質移動の重要な指標である連結性を十分に表現できていないことを明らかにした。そこで、畳み込みニューラルネットワークと敵対的生成ネットワークを組み合わせた DCNN-GAN によって、2 次元画像から 3 次元微細構造を生成する新技術「SliceGAN」を用いて、2 次元 SEM 画像を 3 次元微細構造へと変換し、それに基づく物質輸送解析を実施した。相体積比、パーコレーション比、2 点相関関数、有効拡散係数などの主要指標を用いて検証した結果、SliceGAN によって生成された 3 次元擬似微細構造は、画像技術から同定される実際の微細構造と比較して、物質輸送解析の観点から十分な精度で再現することに成功した。

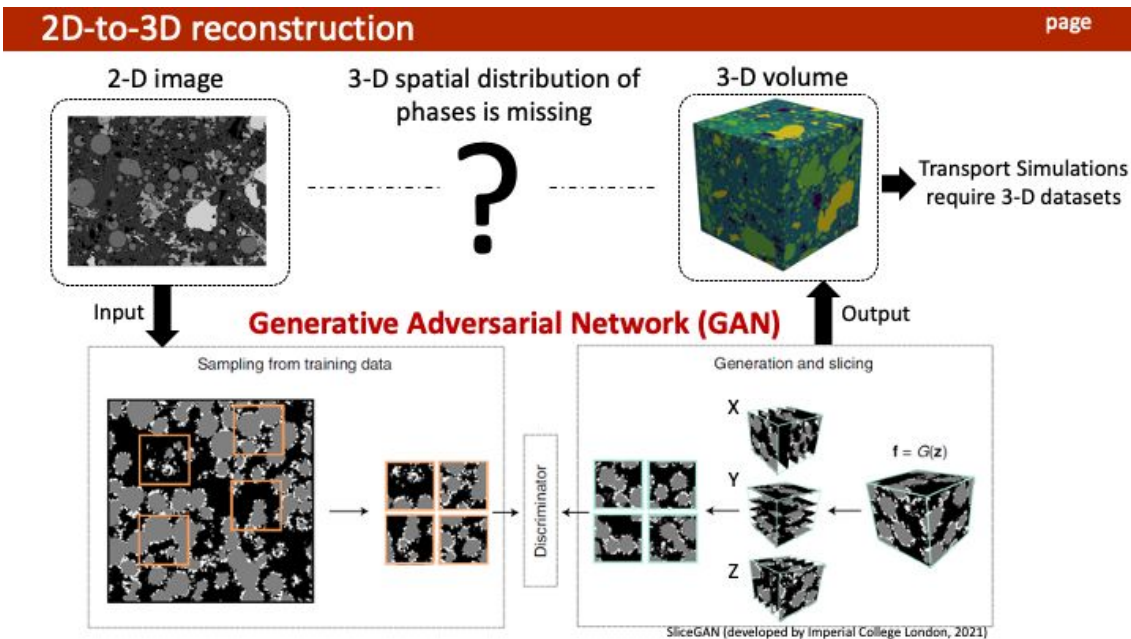
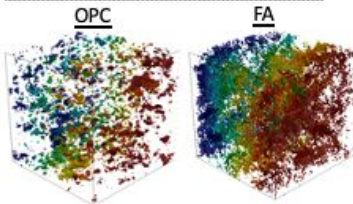


図 3

(4) マルチスケールボトムアップモデリングによる物質輸送解析と検証

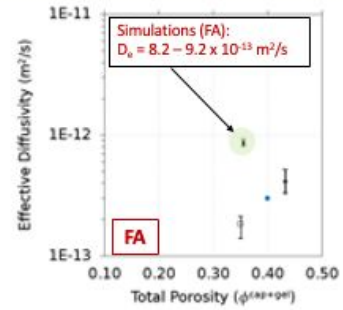
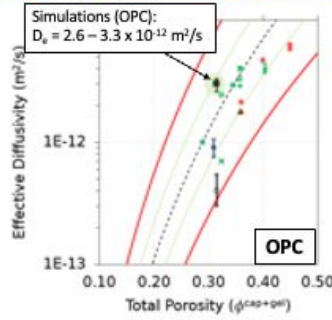
クラス 3 (毛細管空隙スケール) からクラス 4 (セメント硬化体スケール) に基づくマルチスケールボトムアップモデリングを行い、実験データとの比較検証を行った。クラス 3 における OPC (普通ポルトランドセメント) のみを用いた場合の拡散係数は、10 ~ 300 nm の範囲にまたがる微細構造の連結性のみを考慮した場合、OPC に FA (フライアッシュ) を加えた場合の 2 倍であることを明らかにした。また、クラス 4 では、OPC のみの場合について、実効拡散係数のシミュレーションは様々な実験データと良好に一致した。しかしながら、OPC に FA を加えた場合、計算結果は実験結果の約 4 倍高い値となった。これは、クラス 3 で同定された微細構造の連結性の違いのみならず、電気二重層 (EDL) によるイオン拡散の遅延やナノ細孔の連結性 (細孔径 1 ~ 10nm) など、より微視的な現象に由来することを明らかにした。

Input (Class 4: Cement Paste scale):
 - Pore: $D_{\text{pore}} = D_0 = 1.72 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$
 - Hydrates: $D_{\text{hydrates}} = \Omega_{\text{h}} D_0$
 ($\Omega_{\text{OPC}} = 0.0023$ and $\Omega_{\text{FA}} = 0.0011$)
 - Others: $D_{\text{nondiffusive}} = 0$



Resolution = 0.489 $\mu\text{m}/\text{voxel}$

Fractions	OPC	FA
Porosity(%)	1.1%	3.4%
Percolation	(0, 0, 0)	(0, 0, 0)



- In this scale, large capillaries do not form a percolated path through the domain. Diffusive of hydrates dominates the effective diffusivity in both cases.
- For OPC, bottom-up modeling gives a good prediction on the effective diffusivity within the 2-factor bound of the collected data.
- For FA, the simulation is around 4 times higher than the experiments. This may be attributed to the assumption that their $D_{\text{diff-solid}}$ are the same in FIB-SEM.
- This research emphasizes on the effect of pore structure. In the simulations considering only pore structure, FA has 3 times lower diffusivity than OPC.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Ohno Motohiro, Limtong Pakpoom, Ishida Tetsuya	4. 巻 47
2. 論文標題 Multiscale modeling of steel corrosion in concrete based on micropore connectivity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Building Engineering	6. 最初と最後の頁 103855 ~ 103855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jobe.2021.103855	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 Suzuki Mika, Ishida Tetsuya	4. 巻 20
2. 論文標題 Estimation of Corrosion Risk Using Concrete Electrical Resistivity Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 389 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.20.389	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 土屋智史、渡邊忠朋、 斉藤成彦、 牧剛史、 石田哲也	4. 巻 78
2. 論文標題 マルチスケール解析を用いたPC桁に生じる軸方向ひび割れの再現と耐荷性状の評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集E2	6. 最初と最後の頁 13 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejmcs.78.1_13	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 Fujita Kohei, Murakami Sota, Ichimura Tsuyoshi, Hori Takane, Hori Muneo, Lalith Madgededara, Ueda Naonori	4. 巻 -
2. 論文標題 Scalable Finite-Element Viscoelastic Crustal Deformation Analysis Accelerated with Data-Driven Method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ScalAH22: 13th Workshop on Latest Advances in Scalable Algorithms for Large-Scale Heterogeneous Systems(2022 IEEE/ACM)	6. 最初と最後の頁 18 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ScalAH56622.2022.00008	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 Nukushina Tatsuya, Takahashi Yuya, Ishida Tetsuya	4. 巻 19
2. 論文標題 Numerical Simulations of Chloride Transport in Concrete Considering Connectivity of Chloride Migration Channels in Unsaturated Pores	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 847 ~ 863
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.19.847	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 Wang Tiao, Ishida Tetsuya, Gu Rui, Luan Yao	4. 巻 267
2. 論文標題 Experimental investigation of pozzolanic reaction and curing temperature-dependence of low-calcium fly ash in cement system and Ca-Si-Al element distribution of fly ash-blended cement paste	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 121012 ~ 121012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2020.121012	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 Igarashi Go, Ichimiya Mamoru, Ohya Fumito, Ishida Tetsuya	4. 巻 20
2. 論文標題 Numerical Simulation of Dimensional Stability of Precast Segments Exposed to Solar Radiation During Yard Storage	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Concrete Technology	6. 最初と最後の頁 200 ~ 211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3151/jact.20.200	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 Fujita Kohei, Kikuchi Yuma, Ichimura Tsuyoshi, Horii Muneo, Maddegedara Lalith, Ueda Naonori	4. 巻 13194
2. 論文標題 GPU Porting of Scalable Implicit Solver with Green's Function-Based Neural Networks by OpenACC	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Accelerator Programming Using Directives. WACCPD 2021. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 73 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-97759-7_4	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 Lintong Pakpoom, Patel Ravi A., Takahashi Yuya, Ishida Tetsuya	4. 巻 144
2. 論文標題 Effective diffusivity of hardened cement paste from 3D microstructures: A critical comparison of real and virtual microstructures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 105299 ~ 105299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2023.105299	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 該当する

1. 著者名 Han Sun-Jin, Ishida Tetsuya, Tsuchiya Satoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Numerical evaluation on the effect of rebar corrosion on long-term structural behavior of underground RC culverts	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Structures	6. 最初と最後の頁 1920 ~ 1931
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.istruc.2023.01.081	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 Wang Tiao, Li Chunhe, Zheng Jian-jun, Hackl Jurgen, Luan Yao, Ishida Tetsuya, Medepalli Satya	4. 巻 233
2. 論文標題 Consideration of coupling of crack development and corrosion in assessing the reliability of reinforced concrete beams subjected to bending	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Reliability Engineering & System Safety	6. 最初と最後の頁 109095 ~ 109095
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.res.2023.109095	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 該当する

1. 著者名 Gupta Mayank, Igarashi Go, Takahashi Yuya, Ishida Tetsuya	4. 巻 141
2. 論文標題 Multiscale chemo-mechanical modeling of concrete expansion with free lime-based expansive additives under restraint conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Cement and Concrete Composites	6. 最初と最後の頁 105126 ~ 105126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cemconcomp.2023.105126	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 Han Sun-Jin, Ishida Tetsuya, Tsuchiya Satoshi	4. 巻 55
2. 論文標題 Multiscale finite element analysis of earthquake-induced damage on underground RC culverts: The role of reinforcing bar corrosion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Structures	6. 最初と最後の頁 763 ~ 777
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.istruc.2023.06.050	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 Chaimongkhon Chananun, Medepalli Satya, Zheng Yuqian, Matsuda Taku, Ishida Tetsuya, Wang Tiao	4. 巻 399
2. 論文標題 Investigating the effects of cracks and low-calcium supplementary cementitious materials on steel fiber corrosion in cement paste	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Construction and Building Materials	6. 最初と最後の頁 132554 ~ 132554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.conbuildmat.2023.132554	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 Gupta Mayank, Igarashi Go, Takahashi Yuya, Ishida Tetsuya	4. 巻 77
2. 論文標題 Multiscale expansion modeling of concrete with free lime-based expansive additives under isotropic conditions using poromechanics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Building Engineering	6. 最初と最後の頁 107554 ~ 107554
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.job.2023.107554	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 高橋 智彦, 金廣 琴乃, 土屋 智史, 石田 哲也	4. 巻 79
2. 論文標題 マルチスケール統合解析を用いた栈橋上部工の塩害進行と耐荷力の補修効果に関する検討	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 土木学会論文集-	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscej.22-00365	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6件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Pakpoom Limtong, Ravi A. Patel, Yuya Takahashi and Tetsuya Ishida
2. 発表標題 Bottom-up modeling of ion diffusivity from two-scale pore networks
3. 学会等名 RILEM WEEK 2022 Phd Courses Poster Competition, 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kolneath Pen, Tetsuya Ishida, Igarashi Go, Yuya Takahashi, Shinya Ito
2. 発表標題 Development of Expansive Agent Model in a Multi-scale Thermodynamic Framework Based on Hydration and Microstructure Formation
3. 学会等名 International RILEM Conference on Early-age and Long-term Cracking in RC Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mayank Gupta, Igarashi Go, Jose Granja, Miguel Azenha, Tetsuya Ishida
2. 発表標題 Effect of Expansive Additives on the Early Age Elastic Modulus Development of Cement Paste by Ambient Response Method (ARM)
3. 学会等名 International RILEM Conference on Early-age and Long-term Cracking in RC Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ishida, R. Kurihara, Y. Takahashi, SJ Han, S. Tsuchiya
2. 発表標題 ADVANCING CONCRETE STRUCTURES DESIGN AND MAINTENANCE THROUGH MULTI-SCALE AND MULTI-PHYSICS MODELING-BASED DIGITAL TWIN TECHNOLOGY
3. 学会等名 FramCoS-11, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Ishida
2. 発表標題 Innovative Digital Twin Applications in Concrete Structures: Towards Smarter Design and Maintenance
3. 学会等名 CARRS 2023, IIT Hyderabad, India (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Ishida, T. Wang and S. MEDEPALLI
2. 発表標題 Enhanced performance modeling for low calcium supplementary cementitious materials: Current and future prospects
3. 学会等名 INDIAN CONCRETE INSTITUTE: International symposium on innovative world of concrete (IWC-24), India, 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024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
研究分担者	高橋 佑弥 (Takahashi Yuya) (10726805)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	市村 強 (Ichimura Tsuyoshi) (20333833)	東京大学・地震研究所・教授 (12601)	
研究分担者	高木 周 (Takagi Shu) (30272371)	東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601)	

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
---------	---------