

令和 2 年 7 月 1 日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06516

研究課題名(和文) 施工段階における表層部コンクリートの品質(緻密性・気泡組織)とスケーリング抵抗性

研究課題名(英文) Quality (compactness, air void system) of surface layer of concrete on construction stage and its deicing salt scaling resistance

研究代表者

阿波 稔 (ABA, MINORU)

八戸工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10295959

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、凍結防止剤の散布などにより、塩化物の作用を受ける寒冷地コンクリート構造物の施工段階において、そのスケーリング抵抗性の観点から表層品質(緻密性・気泡組織)を確保するための技術の構築を目指すものである。本研究の範囲内で以下のことがいえる。(1)フレッシュコンクリートの目標空気量を増加させることは、施工段階における気泡の変動リスクを考慮し、スケーリング抵抗性を確保する上で有効な手段であることが分かった。(2)養生日数が3週間以上の構造物では、表層透気係数が $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下となり品質のバラツキもある一定の範囲に低減される傾向にある。そして、軽微なスケーリング量となることが認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

積雪寒冷地におけるコンクリート構造物は、凍結防止剤の影響と凍結融解作用により表層劣化(スケーリング)を受けやすい環境下にある。寒冷地域においてコンクリート構造物の耐久性を確保するためには、寒中コンクリートも含めた施工の視点から表層品質(緻密性・気泡組織)とスケーリング抵抗性との関係を総合的、且つ定量的に把握することが不可欠といえる。そして、それら知見や要素技術を統合し、より本質的な指標に立脚した汎用性の高い品質確保システムを構築することは、コンクリート工学上極めて重要な意義を持つと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the Quality (compactness, air void system) of surface layer of concrete on construction stage and its deicing salt scaling resistance of concrete structures in cold climates. Research outcomes are as follow; (1) Increasing of the target air contents of fresh concrete would be useful approach due to the attainment of deicing salt scaling resistance of concrete. (2) Incase of the concrete having curing periods of not less than 3 weeks, the surface air permeability coefficient of not more than $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$, and the amount scaling probably become petty.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：土木材料 コンクリート 養生 表層品質 緻密性 気泡組織 スケーリング抵抗性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

寒冷地におけるコンクリート構造物は凍結融解作用により、特有の凍害を受けやすい環境にある。また、近年、凍結防止剤などの塩化物が存在する環境下では凍結融解との複合作用により劣化が促進され、表層劣化(スケーリング)が顕在化してきている。さらに劣化が進行した段階では、外部劣化因子からの保護層としてのかぶり(表層部)コンクリートの機能が低下し、内部鉄筋の腐食やアルカリシリカ反応などの複合劣化を誘発するケースが報告されている。そして、複合劣化にともなう構造物の維持管理コストの増大が指摘されている。

一方、単品個別製造となるコンクリート構造物の品質は、使用材料に加えて打込みや締固め、ブリーディング、養生等の施工状況の影響を大きく受けることが知られている。特に施工段階において養生が不足する場合、表層部コンクリートの緻密性が損なわれ、スケーリングの進行を速めることになる。土木学会コンクリート標準示方書「施工編」では、十分な給水養生を行った場合を想定し、コンクリートの強度や初期凍害に及ぼす養生条件の影響を参考に検討された湿潤養生期間の標準が示されている。しかしながら、コンクリートの緻密性向上の観点から湿潤養生を長期間持続することの有用性は指摘されているものの、所要の劣化抵抗性を確保するための具体的な養生方法と期間については明確になっていない。

さらに、寒冷地においてコンクリートがスケーリング抵抗性を保持するためには、表層部コンクリートの緻密性に加えて、硬化コンクリート中の気泡の量と質の制御が不可欠となる。一般に、コンクリート中の気泡は打込みや締固めなどの施工過程において減少することから、適切な気泡組織を確保するためには施工要因の影響を考慮し、目標空気量や配合、施工計画を立案することが肝要となる。しかし、施工要因が硬化コンクリート中の気泡組織に及ぼす影響については、まだ不明な点が多い。

そのような現状のもと、寒冷地コンクリート構造物の耐久性の観点から施工段階における品質確保技術の構築が望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、凍結防止剤の散布などにより、塩化物の作用を受ける寒冷地コンクリート構造物の施工段階において、そのスケーリング抵抗性の観点から表層品質(緻密性・気泡組織)を確保するための技術の構築を目指すものである。以下に研究期間内の具体的な目的を示す。

(1) フィールド調査による実構造物の表層品質(緻密性・気泡組織)、スケーリング抵抗性の評価

青森県内および岩手県内において近年建設された施工時期の異なる構造物(橋梁下部工・函渠工)を対象にコンクリート表層部の緻密性を非破壊試験(表層透気試験、表面吸水試験、表層目視(面的な微細ひび割れ))で評価する。さらに、使用材料や配合、地域の異なる複数の施工現場においてボス試験体を設置し、硬化コンクリートの気泡組織とスケーリング抵抗性を調査する。これらの試験結果と施工記録の調査を通じて寒冷地コンクリート構造物の表層品質(緻密性・気泡組織)と耐久性の現状を把握する。

(2) 室内試験によるコンクリートの養生に着目したスケーリング抵抗性の評価

寒冷地域における一般的なコンクリート配合により試験体を作製する。試験体は養生方法(給水・封緘・気中養生、保温・給熱養生)および温度・期間を変化させ、材齢に応じて表層品質(緻密性)を評価する。また、養生期間中の試験体内の温度と湿度の変化を計測し、養生効果を確認する。そして、コンクリートの養生に起因する緻密性とスケーリング抵抗性との関係を定量的に評価する。

(1)および(2)の成果を踏まえ、コンクリートが所要のスケーリング抵抗性を保持するための表層品質(緻密性・気泡組織)、さらに緻密性を実現するための養生方法・期間を整理する。

3. 研究の方法

(1) 実構造物の表層品質(緻密性・気泡組織)、スケーリング抵抗性の評価

実構造物の表層品質(緻密性)の調査

本研究で調査したコンクリート構造物は何れも国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所管内および青森河川国道事務所管内の復興道路(三陸沿岸道路)あるいは上北道路(青森県上北郡六戸町から七戸町に至る高規格幹線道路、一部供用)である。ボックスカルバート(函渠工)は4構造物(12基)、橋梁下部工は8構造物(14基)である。

実構造物の調査項目は、表層目視評価および表層透気試験とした。表層目視評価は、表層部コンクリートの緻密性に関する面的な微細ひび割れとした。一般的に「良」とされる範囲を4点、3点、2点、1点に分類し、さらに「否」の「0点」を加えて5段階の評価(0.5刻みで採点)を行った。

コンクリートの表層透気試験(図-1)はダブルチャンバー法(トレント法)により実施した。トレント法はコンクリート表層部における透気係数(KT)を非破壊にて測定する試験である。また、測定前に同一箇所インピーダンス法による表面含水率も計測した。これらは、地面から1.5~2mの位置で横断方向に対して4~10点測定した。

ボス試験体による実構造物の気泡組織とスケーリング抵抗性の調査

実構造物におけるコンクリート中の気泡組織は、使用材料やレディーミクストコンクリート

工場での製造方法, 工事現場での運搬や打込み, 締固め等の施工状況の影響を受けることになる。しかしながら, 実構造物を対象とした硬化コンクリートの気泡組織の調査事例は必ずしも多くない。そこで, 実構造物コンクリートの気泡組織や耐凍害性を調査することを目的として橋梁下部工(フーチング)にボス試験体(100×100×200mm)を設置した。そして, 硬化コンクリート中の気泡組織の測定およびスケーリング抵抗性試験を実施した。

ボス試験体を設置した現場は復興道路(三陸沿岸道路)の岩手県内あるいは青森県内の工事である(表-1)。何れも橋梁下部工のフーチングを対象とした。また, 運搬や打込み, 締固め等のコンクリートの施工状況を確認するため, 遵守しなければならない施工の基本事項を整理したチェックシートによる施工状況把握を行っている。

コンクリートの配合は, 高炉セメントB種を用いた工事が5工事, 普通ポルトランドセメントを用いた工事が1工事, 早強ポルトランドセメントを用いた工事が

1工事となっている。なお, 調査対象とした工事で使用されたコンクリートのW/Cは50~55%の範囲となっている。また, ほとんどの現場ではJIS規格に従った目標空気量4.5%であるが, C工事では目標空気量を6.0%に設定している。なお, 施工時期については, 夏期および冬期も含まれており, 多様な施工環境が想定される。



図-1 表層透気試験(トレント法)

表-1 調査現場一覧

工事名	A工事 (岩手県)	B工事 (青森県)	C工事 (岩手県)	D工事 (岩手県)
施工時期	2015年8月	2015年10月	2015年8月	2015年11月
目標空気量[%]	4.5±1.5	4.5±1.5	6.0±1.0	4.5±1.5
工事名	E工事 (岩手県)	F工事 (青森県)	G工事 (岩手県)	H工事 (岩手県)
施工時期	2016年2月	2016年3月	2016年3月	2016年11月
目標空気量[%]	4.5±1.5	4.5±1.5	4.5±1.5	4.5±1.5

表-2 養生条件

養生温度管理	型枠脱型材齢	追加養生(方法; 日数)	
給熱; 15	N: 3日, BB: 5日	型枠存置, 保水シート, 気中	7日, 21日
給熱: 5	N: 5日, BB: 7日		
給熱無し (8~ -2)	N: 3日, BB: 5日	型枠存置, 保水シート高断熱保水シート	

(2) 室内試験によるコンクリートの養生に着目したスケーリング抵抗性の評価

本実験では, 24-12-25(W/C=50~55%)の生コンクリートを使用した。空気量は5.0~5.5%とし, 使用するセメントは, 普通ポルトランドセメント(N)および高炉セメントB種(BB)とした。また型枠は, 一般型枠と透水型枠の2種類とした。供試体寸法は, 150×150×530mmの角柱供試体を用いた。

養生条件として, 寒中コンクリートを想定し, 養生温度, 型枠脱型材齢, 追加養生の方法と日数をパラメータとして設定した。養生条件を表-2に示す。なお, いずれの条件においても, 型枠脱型材齢までは10の恒温養生を実施し, 相対湿度は60%程度で管理を行った。また追加養生終了後, 材齢63日まで気中養生を行った後, 後述する各試験に供した。材齢7週において, 型枠側面を試験面として, 非破壊試験である表層透気試験(トレント法)を実施した。また, 表層透気試験の後, 供試体を150×150×150mmに整形し, JSCE-K-572に準じてスケーリング試験を実施し, 表層品質とスケーリング抵抗性の関係について検討を行った。

4. 研究成果

(1) フィールド調査による実構造物の表層品質(緻密性・気泡組織), スケーリング抵抗性の評価

実構造物の表層品質(緻密性)の調査

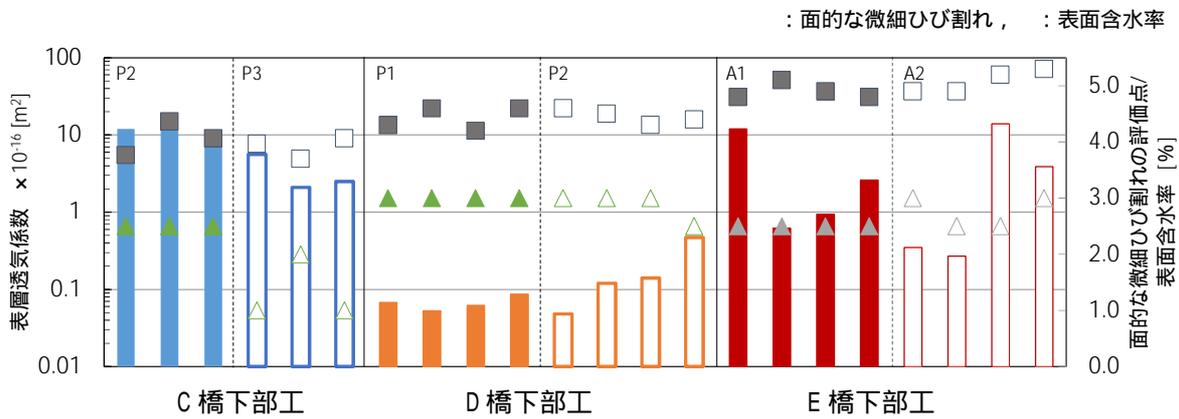


図-2 表層目視評価の結果 (C橋下部工, D橋下部工, E橋下部工)

表-3 気泡組織の測定結果 (気泡数: 1,000mm 当たりの気泡数として算出)

工事名	A工事	B工事	C工事	D工事	E工事	F工事	G工事	H工事
気泡数[個]	198	288	1164	419	1009	526	682	437
平均気泡径[μm]	284	292	195	272	182	235	239	312
荷卸し時の空気量[%]	3.5	3.8	6.0	5.0	4.1	4.3	4.6	4.1
硬化後の空気量[%]	1.6	2.4	6.1	4.0	5.1	3.5	4.6	3.8
気泡間隔係数[μm]	375	316	131	232	145	219	205	280

脱型後の追加養生の異なる構造物において実施した表層透気試験の結果の一例を図-2 に示す。C橋下部工は脱型後に追加養生を実施していないケース、D橋下部工は脱型後にポリエチレンシート(気泡緩衝材)により保温・保湿養生を実施したケース、E橋下部工は脱型後に乾燥収縮低減型の養生剤(塗布量: 約 $200\text{g}/\text{m}^2$)を塗布したケースである。この内、D橋下部工とE橋下部工は、施工者、生コン工場、コンクリートの仕様が同じ構造物である。これら結果より、脱型後に追加養生を実施していないC橋下部工では、面的な微細ひび割れの目視評価点が2点台であり、表層透気係数も $10 \times 10^{-16}\text{m}^2$ を超える部位も認められた。一方、脱型後にシート養生を実施したD橋下部工では、面的な微細ひび割れの評価点は多くの部位で3点であり、表層透気係数も $0.1 \times 10^{-16}\text{m}^2$ 程度であった。これは、脱型後に速やかにシート養生を開始することによって保水や保温効果が期待できコンクリートの緻密性が向上したものと推察される。また、追加養生として養生剤を塗布したE橋下部工の表層透気係数は、 $0.3 \sim 12 \times 10^{-16}\text{m}^2$ の範囲にあり、シート養生と比較して面的なバラツキも多い結果となった。このことから、脱型後の追加養生として養生剤を使用する場合には、施工や構造物の設置環境等を考慮して適切な材料選定を行うとともに、均質な施工が実現できるよう配慮することが望まれる。

ボス試験体による実構造物の気泡組織とスケーリング抵抗性の調査

ボス試験体による実構造物の気泡組織の測定結果を表-3 に示す。目標空気量を4.5%とした構造物では、荷卸し時の実測空気量と硬化後の空気量の変化および気泡間隔係数に大きな差が認められる。A工事では荷卸し時の実測空気量と比較し、硬化後の空気量が2%程度と大きく低下する傾向にあった。さらに、耐凍害性の確保に寄与すると考えられている気泡径 $150\mu\text{m}$ 以下の微小な気泡が著しく減少し、気泡間隔係数も $350\mu\text{m}$ を超えていた。これよりA工事で使用したコンクリートは施工段階で消失しやすいエンラップトエアが比較的多い可能性が示唆される。B工事では硬化後の空気量の低下は1.4%であり、気泡間隔係数は $300\mu\text{m}$ 程度であった。一方、D工事~H工事では残存空気量の変動は1%程度と比較的小さく、気泡間隔係数も $280\mu\text{m}$ 以下であった。また、目標空気量を6.0%としたC工事では、硬化後においても6%程度の空

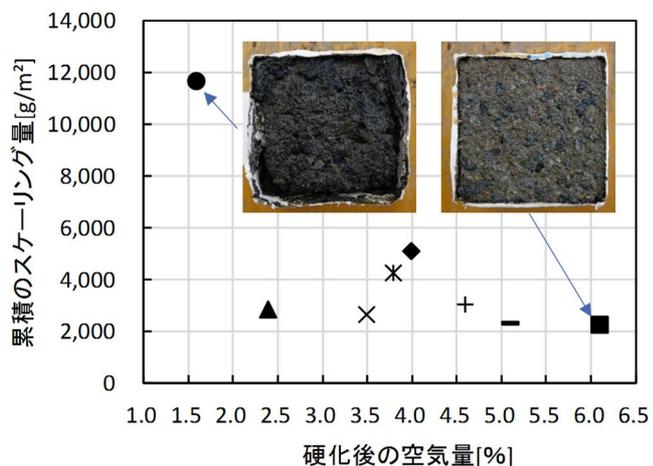


図-3 累積のスケーリング量と硬化後の空気量

気量が確保されており、気泡径 150 μm 以下の微細な気泡も多数観察され、気泡間隔係数が極めて小さい結果となった。

ボス試験体を用いたスケーリング抵抗性試験より得られた凍結融解 60 サイクル時点の累積のスケーリング量と硬化後の空気量との関係を図-3 に示す。これより、硬化コンクリートの空気量が 2% を下回るような A 工事では、気泡間隔係数の増加にともない累積のスケーリング量も著しく増大する傾向にある。この A 工事のコンクリートは、粗骨材が露出するほどスケーリングが進行しており、スケーリング抵抗性に極めて劣る結果となった。一方、目標空気量を 6% とした C 工事では、気泡の量と質の確保により最もスケーリング量が少なかった。

以上より、実構造物においてコンクリートの目標空気量を増加させることは、製造工場ごとの気泡組織の変動を考慮して、安全側で空気量と質を確保するための一つの方策として有効であると考えられる。

(2) 室内試験およびフィールド調査によるコンクリートの養生に着目したスケーリング抵抗性の評価

図-4 (右) は、寒中コンクリートを対象として温度制御の方法 (給熱養生, 保温養生), 追加養生の方法 (型枠存置, 保水シート, 気中養生) および期間 (7 日, 21 日), 使用型枠 (一般型枠, 透水型枠) を変化させて実施した表層透気試験とスケーリング試験 (JSCE-K 572(6.10)) の結果を整理したものである。本実験では、24-12-25 (W/C = 50 ~ 55%) の生コンクリートを使用した。空気量は 5.0 ~ 5.5% とし、使用するセメントは、高炉セメント B 種 (BB) とした。また型枠は、一般型枠と透水型枠の 2 種類とした。これより、温度制御の方法, 追加養生の方法・期間の違いによらず、表層透気係数が高いものほど、累加スケーリング量が多く発生する傾向にある。また、表層透気係数が $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下であれば軽微なスケーリング量となることが認められた。

表層透気係数と脱型後の追加養生も含めた養生日数との関係を図-4 (左) に示す。この図は調査した構造物の中から高炉セメント B 種, W/C : 50 ~ 55%, 一般型枠の条件のコンクリートの結果をもとに整理したものである。なお、追加養生は封緘養生 (型枠存置期間の延長, シート養生) を行っているケースとした。これより脱型後の追加養生も含めた養生日数の増加に伴い表層透気係数も大きく低下する傾向が認められる。特に養生日数が 10 日以下の構造物では、表層透気係数も増大し部位による変動が大きい。これは型枠脱型にともないコンクリート表面が乾燥し、水和反応の低下や面的な微細ひび割れの発生によって緻密性が低下したものと考えられる。しかし、養生日数が 3 週間以上の構造物では、表層透気係数が $1 \times 10^{-16} \text{m}^2$ 以下となり品質の面的なバラツキもある一定の範囲に低減される傾向にある。

以上のことから、塩分環境下においてコンクリートのスケーリングを抑制するためには、追加養生も含めた養生日数の目安を 3 週間程度とし、特に橋台 (縦壁や沓座面、胸壁)、橋脚 (梁部) などの水掛かりがあり凍害環境の厳しい部位ではこの期間を確保できるよう余裕のある施工計画を検討することが望ましいと考えられる。

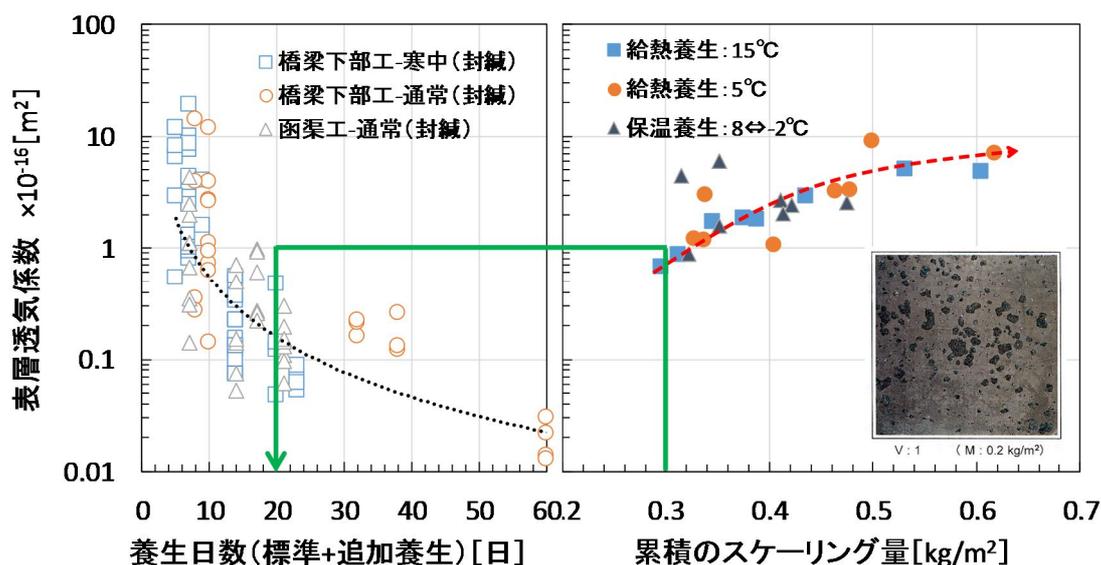


図-4 養生日数と表層透気係数, 累積のスケーリング量

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. Sakoi, M. Aba, Y. Tsukinaga and M. Zhang	4. 巻 Vol.1
2. 論文標題 Influence of Concrete Curing on Surface Quality and Deicing Salt Scaling Resistance of Concrete	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The 8th International Conference of Asian Concrete Federation (ACF2018) "SUSTAINABILITY AND INNOVATION IN CONCRETE MATERIALS AND STRUCTURES"	6. 最初と最後の頁 pp.595-601
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 無
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 阿波 稔、迫井裕樹	4. 巻 No.57
2. 論文標題 寒冷地域におけるコンクリート構造物の品質・耐久性確保に向けて	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 農業農村工学会、材料施工研究部会、材料と施工	6. 最初と最後の頁 pp.1-10
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 無
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 迫井裕樹、麓隆行、阿波稔、月永洋一	4. 巻 Vol.39, No.1
2. 論文標題 凍結融解環境における塩化物イオン浸透性	5. 発行年 2017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 751- 756
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 濱 幸雄、緒方英彦、林 大介、阿波 稔、湯浅 昇、新 大軌	4. 巻 No.839
2. 論文標題 コンクリート中に存在する気泡の役割と制御の解明に向けて - JCIコンクリート中の気泡の役割・制御に関する研究委員会の活動より -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 セメント・コンクリート	6. 最初と最後の頁 26-34
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 音道 薫、阿波 稔、迫井裕樹、船水 武	4. 巻 Vol.41, No.1
2. 論文標題 過酷な積雪寒冷地におけるRC床版の品質確保と高耐久化に対する取組	5. 発行年 2019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 pp.1331-1336
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 Meng Zhang, Yuki Sakoi, Minoru Aba, and Yoichi Tsukinaga	4. 巻 Vol.5, No.1
2. 論文標題 EFFECT OF INITIAL CURING CONDITIONS ON AIR PERMEABILITY AND DE-ICING SALT SCALING RESISTANCE OF SURFACE CONCRET	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACF Journal	6. 最初と最後の頁 pp.56-64
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 Meng Zhang, Minoru Aba, Yuki Sakoi, Yoichi Tsukinaga	4. 巻 Vol.41, No.1
2. 論文標題 AIR VOID CHARACTERISTICS OF CONCRETE WITH DIFFERENT MIX PROPORTIONS AND EXECUTUON ON RC SLAB	5. 発行年 2019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 pp.653-658
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 串田雅宏、我彦聡志、阿波 稔、小岩孝行	4. 巻 Vol.41, No.1
2. 論文標題 新柳瀬橋の高耐久コンクリート床版への取組み	5. 発行年 2019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 pp.683-688
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 -

〔学会発表〕 計0件

〔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	迫井 裕樹 (Sakoi yuki) (30453294)	八戸工業大学・大学院工学研究科・准教授 (31103)	
研究 分担者	月永 洋一 (Tsukinaga Yoichi) (60124898)	八戸工業大学・大学院工学研究科・教授 (31103)	