

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H00778

研究課題名(和文) 中性化残りの耐久性指標としての不合理性と水作用に着目した新たな維持管理パラダイム

研究課題名(英文) A new paradigm for rational maintenance focusing on the effect of water attack and the irrationality of remaining un-carbonated depth as the durability indicator

研究代表者

岸 利治 (KISHI, Toshiharu)

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号：90251339

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 35,100,000円

研究成果の概要(和文)：一般的な環境下でコンクリート中の鉄筋等の鋼材腐食の進行に起因したひび割れの発生とがぶりコンクリートの剥落を予測する簡易モデルを構築した。この手法の最大の特徴は、中性化の影響によって鋼材表面近傍のコンクリートのpHが徐々に低下することによる水の浸透に起因する鋼材腐食速度の増加を定量的に考慮するところにある。これにより、水の浸透1回あたりに生じる鋼材の腐食量を一定と仮定して主に設計段階での使用を想定した土木学会コンクリート標準示方書の式よりも現実的な鋼材腐食の将来予測が可能となり、実構造物の中性化の進行状況と鋼材の腐食状況を反映した維持管理段階へのより実践的な適用が可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来は、一般的な環境ではコンクリートの中性化がコンクリート中の鋼材腐食の主要因であるという認識がコンクリート工学における常識であった。しかし、本研究により、鋼材の腐食に対しては水の浸透が主たる原因因子でありつつも、鋼材近傍のコンクリートの中性化も鋼材腐食の十分条件ではないものの、工学的には鋼材腐食の必要条件であると考えるのが妥当であることが明らかになった。このことにより、中性化のみを耐久性指標として絶対視していた従来の認識を改めるきっかけを与えたことが本研究の最も大きな意義である。

研究成果の概要(英文)：A concise formula was proposed to predict concrete crack occurrence and concrete cover spalling due to corrosion progress of embedded reinforcing steel in concrete in the relatively moderate general environment. The most important feature of this proposed method is that it make possible to numerically consider the increase of corrosion rate due to liquid water penetrating attack by the reduction of pH in concrete accompanied by carbonation near reinforcing steel. Consequently, much realistic application of the future prediction to the existing structures at the maintenance stage could be realized for which both the actual carbonation progress and the repeated water penetration into concrete should be considered.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：Reinforced concrete Durability Carbonation Water penetration Corrosion Prediction Maintenance

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

一般的な環境ではコンクリートの中性化がコンクリート中の鋼材腐食の主要因であるという認識がコンクリート工学における常識であった。この仮定の元となった「中性化寿命論」は、コンクリート構造物の耐久性設計の思想に大きな影響を及ぼすこととなり、中性化が鋼材腐食をもたらすという仮定は、普遍的な常識として耐久性に関する教科書の一丁目一番地に記載されていた。しかし、膨大な社会基盤ストックに対する維持管理の負担が増え続ける状況において、過剰と言えるほどに中性化に拘る必要性とその意味については再検証すべきであると考えた。そこで、中性化深さ、かぶり厚さ、雨水の影響等の各指標がかぶりコンクリートの剥離・剥落の事象発生に与える影響度を明確にするため、既報の調査結果に対して統計学的分析による検証を行ったところ、かぶりコンクリートの剥離・剥落現象に対して、中性化は主たる原因ではなく、支配的な要因は雨水の影響とかぶり厚さであるとの結果が得られ、中性化の進行が鋼材腐食の主要因であると考えられてきた従来のコンクリート工学の常識と相反する事実であると考えた。従来のコンクリート構造物の耐久設計においては、乾燥しにくい環境よりも乾燥しやすい環境の方が、中性化が1.6倍速く進行するという知見を取り入れて鋼材腐食に対する照査を行ってきた。しかし、上述した分析では、かぶりコンクリートの剥離割合は中性化深さとは正の相関ではなく、むしろ負の相関があることが確認され、中性化が抑制されている方が雨水の影響を受けて腐食リスクが高いことが示された。また、中性化残り10mmという閾値は、一般に鋼材腐食が発生し始める時点での残存未中性化区間の長さを与えるものと理解されていたが、中性化残りが10mmも残っている鋼材腐食初期の段階を限界状態に設定して照査を行うことの妥当性についても議論の余地が多かった。耐久性指標は、鋼材腐食の進行危険度を適切に判定できるものが望ましいが、中性化残りが10mmを切ったからと言って、それは鋼材腐食が加速するための要件の一つが満たされた可能性を示しているに過ぎないので、中性化深さが耐久性に関する限界状態を設定する適切な指標とは言い難く、中性化残りが10mmを切ったことをもって耐久性寿命に達したという判断を下すことは、鋼材腐食の発生危険度が極めて低い水の影響を受けない箇所のコンクリートや、特に中性化の進行が相対的に速い高炉スラグ微粉末やフライアッシュを用いたコンクリートに対して、著しく不合理な維持管理上の判断指標となり得ることが懸念された。このように、中性化残りを耐久性指標とした劣化予測は、将来的な鋼材腐食の発生リスクが高いとも低いとも断定することができないものであり、既に供用を開始している実構造物に対する診断手法としては、実務者の工学的な判断をミスリードする可能性も高く、中性化残りのみに依存する照査や診断をこれ以上容認することは望ましくない状況であった。そこで、まずは中性化深さの耐久性指標としての不合理性を科学的根拠に基づき立証した上で、最終的には、鋼材腐食とかぶりコンクリートの剥離・剥落現象を本質的に支配する雨水の浸透頻度を定量的に考慮した余寿命予測手法を構築し、中性化を指標とする照査体系からのパラダイムシフトを目指す必要があると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「中性化の進行が鋼材腐食の主要因である」というコンクリート工学の常識を改めるために、実構造物を対象とした調査および室内試験により鋼材腐食に起因する剥離・剥落の事象発生機構の理解を深め、中性化という指標の不合理性を明確にし、科学的根拠に基づいて実務を正しい方向に導くことである。そのために、具体的には、1) 実構造物を対象とした調査研究によるかぶりコンクリートの剥離・剥落の事象発生に与える中性化および各指標の影響度の明確化を行うと共に、構築する予測手法の検証データを取得すること、2) 中性化と鋼材腐食の因果関係が一見して腐食工学の知見と矛盾するよう見える理由として、酸性雨の浸透が繰り返されることによる局所的な不動態被膜の破壊が影響しているという仮説を立てた上で、中性化残りが耐久性指標とならないメカニズムを明らかにすること、3) 中性化深さとコンクリートの空隙構造を指標とした雨水等の環境条件同定手法の開発と雨水等の影響を加味した既設構造物の残存寿命予測手法を構築することを目的とした。そして、最終的には、中性化を指標とする照査体系からのパラダイムシフトを目指して、鋼材腐食とかぶりコンクリートの剥離・剥落現象を本質的に支配する雨水の浸透頻度を定量的に考慮した余寿命予測手法を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

上述した研究目的に則して、1) 実構造物を対象とした実態に関する調査研究、2) 酸性雨を模擬した低pH水溶液の繰り返し浸透によるコンクリート中の鋼材腐食に関する研究、3) 中性化深さとコンクリートの空隙構造を指標とした環境条件同定手法と一般的な環境におけるコンクリート中の鋼材腐食に関する合理的な耐久性照査手法の開発に関する研究を遂行することとし、まずは、2)の酸性雨を模擬した低pH水溶液の繰り返し浸透によるコンクリート中の鋼材腐食に関する研究に着手した。

4. 研究成果

(1) 酸性雨を模擬した低 pH 水溶液の繰り返し浸透によるコンクリート中の鋼材腐食実験

実構造物に降り注ぐ雨は、現実には中性の水ではなく酸性雨であることから、酸性雨等の実環境を模擬した室内実験を実施することで、鉄筋コンクリート表層の剥離・剥落事象発生に与える酸性雨の影響について検討するために、かぶり厚さや中性化深さの異なる鉄筋コンクリート供試体を作製して、実環境における降雨による湿潤と乾燥を模擬した乾湿繰り返し条件での室内実験を実施した。酸性雨では、pH が 5.0 以下となることもあることから、酸性雨を模擬した低 pH の水を用いた実験を行った結果、鋼材近傍のコンクリートが全く中性化していない状況では、低 pH の水を用いた乾湿繰り返しでもコンクリート表面からの非破壊試験で検出できるほどの顕著なコンクリート中の鋼材腐食は発生しないことを確認した。この結果は当初の想定とは大きく異なっており、単に酸性水を用いた乾湿繰り返しだけでは短期間で明確な鋼材腐食は発生しないことが明らかになった。そこで、一部の供試体に対して顕著な促進中性化を施した上で、単なる酸性水に代えて微量成分を含む人工模擬雨水による乾湿繰り返し継続実験を追加で実施したところ、人工模擬雨水による乾湿繰り返しでも、鋼材近傍のコンクリートが全く中性化していない状況では、少なくとも乾湿繰り返し 10 回程度までにはコンクリート表面からの非破壊試験で検出できるほど顕著なコンクリート中の鋼材腐食は発生しないことを確認した。その一方で、鋼材近傍のコンクリートが中性化していると中性水の一度の作用で僅かながらも直ちに明確な腐食反応が検出された。このことから、鋼材近傍のコンクリートの中性化は、鋼材腐食の十分条件ではないものの、少なくとも工学的には鋼材腐食の必要条件であると考えるのが妥当であることが明らかになった。また、鋼材近傍のコンクリートが全く中性化していない状況では、低 pH の水を浸透させても顕著なコンクリート中の鋼材腐食が発生しない理由としては、かぶりコンクリートの保有する水酸化カルシウム等のアルカリ成分の量が浸透する酸性成分に対して圧倒的に多いことによるものであり、このことは単純な計算によっても裏付けることが可能であった。

(2) 中性化と水の浸透を考慮したコンクリート構造物の変状予測式の考案

鋼材近傍のコンクリートの中性化は、鋼材腐食の十分条件ではないものの、少なくとも工学的には鋼材腐食の必要条件であると考えるのが妥当であることが明らかになったことから、一般的な環境下での中性化の進行を加味した上で、コンクリート中の鉄筋等の鋼材腐食の進行に起因したひび割れの発生とかぶりコンクリートの剥落を予測する簡易モデルのプロトタイプを構築した。この手法の最大の特徴は、中性化の影響によって鋼材表面近傍のコンクリートの pH が徐々に低下することによる水の浸透に起因する鋼材腐食速度の増加を単純な仕組みながらも定量的に考慮するところにある。具体的には、2017 年制定の土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕（以下、示方書設計編）¹⁾に導入された水の浸透に伴う鋼材腐食に対する照査の枠組みを拡張させて、中性化の進行に伴う鋼材近傍のコンクリートの pH の低下に対応して腐食速度が増加するというモデルを組み入れて、中性化が進行した状況では雨水等の水の浸透 1 回あたりに生じる鋼材の腐食量が大きくなることを表現した。中性化の進行に伴う鋼材近傍の pH の低下は、既往の中性化予測式から推定される中性化深さ位置における pH を 9.5 と仮定した上で、それ以深の中性化残り区間における未中性化位置までの pH の遷移状況をかぶり厚さに応じて定式化することで与えている。また、不動態被膜の破壊は既往の文献を参考に鋼材位置の pH が 11.5 以下になると始まる²⁾と仮定し、鋼材位置の pH が 11.5 以上の場合、ごく僅かな腐食速度（一定）により鋼材腐食が進行し、中性化の進行に伴い pH が 11.5 を下回ると不動態被膜の破壊が始まり、さらに pH の低下に伴って腐食速度が増加していき、最終的に pH が 9.5 まで低下すると腐食速度が最大になるという単純なモデル化を行った。また、実際の鋼材腐食の進行には、溶存酸素を含む水の供給条件が大きく影響するため、示方書設計編の水分浸透照査における考え方を踏襲し、鋼材腐食速度が鋼材位置への水の到達回数に依存するとした。そして、既往の中性化予測式および既往のひび割れの発生とかぶりコンクリートの剥落の限界状態に対応した限界腐食量に関するモデル³⁾と組み合わせることで、中性化の進行により鋼材の腐食速度が増加を開始するまでの期間（許容中性化期間）と、鋼材の腐食速度が増加を開始してから鋼材の腐食深さがひび割れ発生に対応した限界値もしくはかぶりコンクリートの剥落に対応した限界値に達するまで期間（許容腐食期間）を簡易に予測する照査手法を構築した。

また、新型コロナウイルス感染症による影響で日程調整が難航していた実構造物を対象とした劣化状況調査を実施して、提案モデルの検証に使用するデータを収集した。

(3) 中性化と水の浸透を考慮したコンクリート構造物の変状予測手法の改良と具体的な説明

当初に作成したプロトタイプでは、中性化残り区間における pH 分布を与えるモデルを供試体を用いた既往の室内実験結果からかぶり厚さの関数としてトリリニアモデルとして考案したが、その後実施した実構造物調査で中性化深さのばらつきを詳細に測定し、中性化残り区間における pH の遷移領域の長さは中性化深さの正規分布の先端 5%位置から平均値の 50%位置までの距離に相当すると仮定して定式化するのが妥当であると判断し、最終的にバイリニアのモデルを提案した。これにより、水の浸透 1 回あたりに生じる鋼材の腐食量を一定と仮定して主に設計段階での使用を想定した示方書式よりも現実的な鋼材腐食の将来予測が可能となり、実構造物の中性化の進行状況と鋼材の腐食状況を反映した維持管理段階へのより実践的な適用が可能となった。具体的な内容は以下の通りである⁴⁾。

a. 変状発生時の限界腐食深さ

腐食ひび割れ発生時および剥離・剥落発生時の限界腐食深さは、鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）に従い、かぶり c と鉄筋径 ϕ を変数とした次式により定めるものとした³⁾。

$$s_{cr} = 13(c/\phi) \cdot 10^{-3} \quad [1]$$

$$s_{sp} = 56(c/\phi) \cdot 10^{-3} \quad [2]$$

b. 鋼材腐食深さの予測式

供用期間 t (年) における鋼材腐食深さの予測値 $s(t)$ (mm) は、示方書設計編の水分浸透照査式を流用して、鋼材位置への水の到達 1 回あたりの鋼材腐食深さ s_{1-time} に対して、鋼材位置への水の年間到達回数 N_w を乗じる形とした。

$$s(t) = \sum_{i=1}^t (s_{1-time} \cdot N_w) \quad [3]$$

ただし維持管理への適用を想定している本研究の変状予測手法では、より厳密に実際の鋼材腐食機構を表現するため、水分浸透照査式の形を踏襲した上で、中性化の進行に伴う鋼材位置の pH 低下による鋼材腐食速度の増加を表現可能な形へと拡張した。具体的には、鋼材の不動態被膜の状態を表す指標 I ($0 \leq I \leq 1$) を用いて、中性化の進行度に応じて s_{1-time} が変化することを表現した。

$$s_{1-time} = 1.4 \cdot 10^{-6} + I \cdot 2.2 \cdot 10^{-5} \quad [4]$$

右辺第 1 項は、鋼材位置の pH が 11.5 以上の時の鋼材位置への水の到達 1 回あたりの鋼材腐食深さであり、示方書設計編と同様に未中性化時の腐食速度を $5.1 \cdot 10^{-4}$ (mm/年) に設定し、この値を時間あたりの腐食速度 (mm/時間) に換算した上で、降雨 1 回あたりの鋼材への水の作用時間を 24 時間と仮定して求めた値である。右辺第 2 項は、腐食速度の最大値が裸鉄筋の腐食速度と同程度であるとの仮定を採用している文献²⁾を参考にして、pH が 9.5 まで低下した際の最大腐食速度を $8.0 \cdot 10^{-3}$ (mm/年) に設定した上で、水分到達 1 回あたりの鋼材腐食深さに換算した値である。式中の I は、中性化の進行に伴う pH 低下による鋼材の不動態被膜の状態変化を間接的に示す指標であり、 I が中性化の進行度に応じて $0 \leq I \leq 1$ の範囲で変動することで、pH 低下に伴う腐食速度の増加を表現した。この I は、任意の供用期間 t (年) における中性化深さの関数として、中性化速度係数 α (mm/ $\sqrt{\text{年}}$)、かぶりコンクリートの pH 分布を考慮したかぶりから定まる中性化残り D_I (mm)、およびかぶりから D_I を減じた距離 D_N (mm) を変数とした次式により求められる。

$$I = \begin{cases} (\alpha\sqrt{t} - D_N) / D_I & (t \leq t_{cr}) \\ 1 & (t > t_{cr}) \end{cases} \quad [5]$$

ただし $I < 0$ の場合は $I = 0$ 、 $I > 1$ の場合は $I = 1$ とした。また、腐食ひび割れ発生後は、中性化が鋼材位置まで瞬時に進行すると仮定し、その時点の中性化深さによらず、 $I = 1$ になるものとした。鋼材腐食が開始する中性化残りとしては、一般に 10mm の一定値が用いられることが多いが、pH 分布の傾きは中性化が進むほど緩やかになると考えられるため、本劣化予測式では、腐食速度が増加し始める時点の中性化残りを一定とせず、プロトタイプでは D_I がかぶり c (mm) に応じてトリリニアに変化するものと仮定して以下の式を採用した。

$$D_I = \begin{cases} c & (c < 10) \\ 10 & (10 \leq c \leq 23.5) \\ 0.4c + 0.6 & (c > 23.5) \end{cases} \quad [6]$$

示方書設計編に記載されている鋼材位置への水の年間到達回数 N_w は、設計における安全側の評価を担保するため、6 都市の 10 年分の降水量記録から求めた全ての回帰曲線を包含する形となっている。これは、主に設計において安全側の照査を行うことを意図した措置である。それに対して本研究では、維持管理段階で実構造物を対象としたより現実的な将来予測に使用することを考慮して、安全側の評価を担保する余裕分を除去した 6 都市の平均的な降雨特性を表現するため、式の形式は準用した上で、次式のように降雨係数を維持管理に最適化した値に修正した。

$$N_w = 211 \cdot \exp(-0.1 \cdot c^2/q^2) \quad [8]$$

ただし腐食ひび割れ発生後 ($t > t_{cr}$) は、水分がひび割れ中を優先的に浸透することが考えられるため、水分浸透速度係数 q (mm/ $\sqrt{\text{年}}$) を 2 倍にすることで、ひび割れが水分浸透に及ぼす影響を考慮することとした。

c. 提案手法の妥当性の検証

提案手法の妥当性を検証するため、腐食ひび割れの発生について、過去に申請者らが実施した実構造物の調査結果⁵⁾と変状予測結果との比較を行った。なお、この検証では、 D_I に式 6 のトリリニアモデルを用いている。検証に用いた実構造物の調査結果を表 1 に、腐食ひび割れ発生年の予測結果を図 1 に示す。なお、図中には比較のため、文献³⁾に記載の手法 (中性化残り 10mm を下回った後に一定の腐食速度 (3.0×10^{-3} mm/年) で腐食が進行することを想定した手法) によ

り予測を行なった結果を併載した。図1上図より、いずれの手法も調査時点において既に変状が発生していることを算定できていることがわかる。一方、図1下図より、調査時に健全であることが確認された箇所を対象とした将来予測結果では、既存手法と比較して提案手法の方がより現実に近い予測結果（調査時に健全であること）を示していることがわかる。以上より、提案手法は腐食ひび割れの発生を概ね良好に予測できると考えられる。なお、本稿には掲載していないが、剥離・剥落の発生についても同様な結果が得られている。

このように、最終的に、主に維持管理への適用を想定し、中性化の進行度に応じて水が浸透した際の鋼材腐食速度が変化するモデルを組み入れた腐食ひび割れや剥離・剥落発生年を比較的簡易に予測可能な変状予測手法を提案した。また、実構造物の調査結果を用いて提案手法が変状の発生時期を概ね良好に予測できることを確認した。

なお、その後の実構造物調査で中性化深さのばらつきを詳細に測定し、中性化残り区間における pH の遷移領域の長さは中性化深さの正規分布の先端 5%位置から平均値の 50%位置までの距離に相当すると仮定して定式化するのが妥当であると判断し、最終的に中性化残り D_I は、かぶり c (mm) に応じてバイリニアに変化するものと仮定して以下の式を提案した⁶⁾。

$$D_I = \begin{cases} c & (c < 3) \\ 0.61c + 1.1 & (c > 3) \end{cases} \quad [7]$$

【参考文献】

- 1) 土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕2017年制定版（2018）
- 2) V. K. Gouda: Corrosion and Corrosion Inhibition of Reinforcing Steel: I. Immersed in Alkaline Solutions, British Corrosion Journal, Vol. 5, Issue 5, pp.198-208 (1970)
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物、丸善出版（2007）
- 4) 鎌田知久ほか：中性化と水の浸透を考慮したコンクリート構造物の変状予測式の構築、第77回セメント技術大会
- 5) 原田悟ほか：環境条件を勘案したコンクリート構造物の劣化リスクに関する研究、土木学会第74回年次学術講演会概要集、V-798（2019）
- 6) 石井政浩ほか：中性化深さのばらつきと水の浸透を考慮した鋼材腐食の予測手法に関する研究、土木学会第78回年次学術講演会概要集、V-***（2023）（掲載予定）

表1 実構造物の調査結果³⁾

調査対象部位	高欄（鉄道高架橋）	
調査時供用期間	(年)	36
水セメント比	(%)	52
鉄筋径 ϕ	(mm)	13
かぶり c	(mm)	12~32
検証に用いた調査結果数	10（変状5、健全5）	

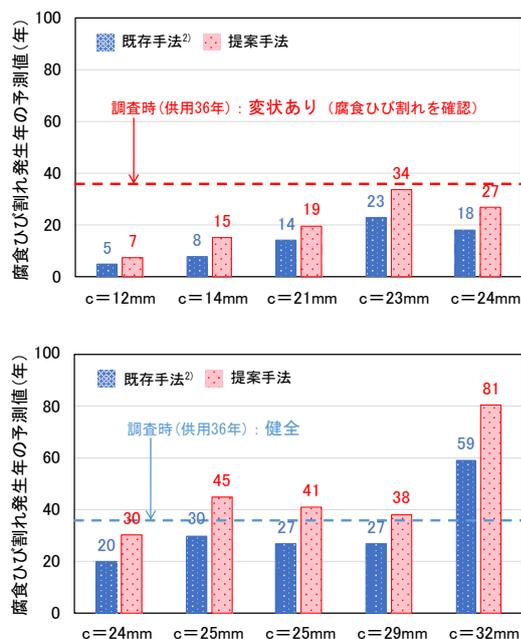


図1 予測結果（上図：変状あり、下図：健全）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 吉田亮、岸利治	4. 巻 42
2. 論文標題 OPCペースト硬化体における空隙の連続性に及ぼす養生の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 413-418
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 Cuong.Viet.Vu, Tomohisa Kamada, Toshiharu Kishi	4. 巻 -
2. 論文標題 Combination effects of carbonation and rainwater penetration on corrosion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of sixth international conference on construction materials	6. 最初と最後の頁 1543-1550
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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 鎌田知久、VuVietCuong、岸利治
2. 発表標題 中性化と水の浸透を考慮したコンクリート構造物の変状予測式の構築
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 石井政浩、岸利治、鎌田知久
2. 発表標題 中性化深さのばらつきと水の浸透を考慮した鋼材腐食の予測手法に関する研究
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

1. 発表者名 鎌田知久、原田悟、岸利治
2. 発表標題 供用後数十年が経過した鉄筋コンクリート構造物の水分浸透速度
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 小倉夏槻、額織彩瑛、吉田亮、岸利治
2. 発表標題 水銀圧入法で得られる空隙指標とセメントペースト硬化体の水分移動性状に関する一考察
3. 学会等名 日本建築学会2020年度大会学術講演
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野倉誉斗、大島美穂、吉田亮、岸利治
2. 発表標題 W/C および養生条件がモルタル硬化体における水分浸透性状に及ぼす影響
3. 学会等名 日本建築学会2020年度大会学術講演
4. 発表年 2020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	吉田 亮 (YOSHIDA Ryo) (40548575)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授 (13903)	

6. 研究組織（つづき）

	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	鎌田 知久 (KAMADA Tomohisa) (70804194)	東京都立大学・大学院都市環境科学研究科・助教 (22604)	

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