

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19780179

研究課題名（和文） 既存農業水利ストックの性能評価と情報一元管理に関する研究

研究課題名（英文） A Study on The Performance Evaluations of Existing Agricultural Hydraulic Stocks and Unification Management of Various Information

研究代表者

佐藤 周之（SATO SHUSHI）

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授

研究者番号：90403873

研究成果の概要：本研究課題では、農業水利コンクリート構造物が長期供用される過程で生じる変状の詳細調査を実施し、供用年数と性能低下の関係を材料学的に明らかにした。また、中性化と摩耗については、劣化に応じた調査診断技術および性能低下予測に関する研究を行った。また、地理情報システム（GIS）を用いて、単なる施設の情報一元管理システムではなく、GIS解析機能を利用することで農地の水不足要因の抽出が可能であることを明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,900,000	0	2,900,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	150,000	3,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：材料・施工，性能設計

1. 研究開始当初の背景

戦後の経済復興期から高度経済成長期にかけて整備が順次進められてきた農業水利施設は、現在に至るまで安定した食糧生産機能や国土保全機能に代表される多面的機能を持つ社会基盤ストックを形成している。これら農業水利施設の供用期間（寿命）は半永久的なものではなく、ダムであれば 80 年、頭首工（コンクリート）であれば 50 年、用排水路（鉄筋コンクリート）であれば 40 年と、構造物区分に応じた標準耐用期間が設定されている（例えば、「土地改良事業の経済効果算定に用いる標準耐用年数」農林水産省構造改善局長通達）。竣工年次に応じて今後、標

準耐用年数を越える農業水利施設の量が集中化すると予測もあるが、現下の厳しい社会経済状況の中でこれら全てを更新することは不可能といっても過言ではない。

ストックマネジメントとは、新設・既設を問わず施設の状況を点検により把握し、限られた予算で適切な予防保全対策を講じることにより計画的かつ効率的な施設管理を目指す考え方であり、現在、農業水利施設に対してもストックマネジメントシステムの導入が急務となっている。この達成により、既存施設の有効活用、すなわち材料的・構造的に劣化・老朽化が認められる場合には、症状に応じた適切な保全対策（補修・補強工法の

適用)を講じることで施設そのものの長寿命化を図り、将来の施設の更新時期を平準化するとともに、重要な社会基盤ストックである農業水利施設を、各機能を保持した状態で次世代に確実に継承することが可能となる。

現在までに、長期供用された実コンクリート構造物の性能評価に対して、力学的性能については上記長束らの報告はあるが、その他コンクリートの耐久性に係る研究が十分になされたとは言い難い状況にある。

2. 研究の目的

本研究課題では、農業水利コンクリート構造物が長期供用される過程で生じる劣化の詳細調査を実施し、標準耐用年数に至るまでの各種劣化状況を把握することで、供用年数と性能低下の関係を材料学的に明らかにすることを目的とした。

本研究課題で注目する劣化は、材料学的な観点からは中性化、摩耗、化学的侵食の一種となる溶脱であり、供用年数と中性化深さの関係を明確化すると共に、農業用 RC 開水路に生じる溶脱のメカニズム解明と骨材露出の関係の明確化を試みた。これら結果を踏まえ、中性化および溶脱に起因するコンクリート材料の耐久性低下予測を行った。

一方、構造的な観点からは、塩害環境とひび割れに注目し、農業用 RC 開水路に生じるひび割れの種類、発生原因の傾向を検討し、はつり試験により内部鉄筋の腐食と塩害との関連性を明らかにする検討を行った。

最終的には、構造耐力に影響を及ぼし、速やかに補修・補強が必要となるひび割れの種類、ひび割れ幅、ひび割れ長さについて、更には集約すべき情報の管理方法およびその利用方法について検討した。

3. 研究の方法

本課題における研究は、対象とした上記コンクリートの変状に応じて、既設 RC 開水路の現場調査および室内実験を併用して行った。以下には、全体のうち主要なものについてのみ、その研究方法を示す。

(1) 塩害環境下のひび割れと鉄筋の腐食状態

30年以上塩害環境条件下で供用され、様々な幅のひび割れが発生している RC 構造物を対象とした。ひび割れが発生している位置を特定し、配筋状態を確認後、10cmのコアビットを用いて鉄筋を含むコアを抜き取り、鉄筋近傍のひび割れ幅と鉄筋腐食状況に関するデータを取得した。ひび割れとコアの位置関係を図-1に示す。コアは表面からの計測後割裂し、内部の鉄筋腐食度を目視にて判定した。

(2) 中性化と中性化速度係数の関係

供用開始後 20~40 経過した既設 RC 開水路を対象として、写真-1に示すはつり試験を

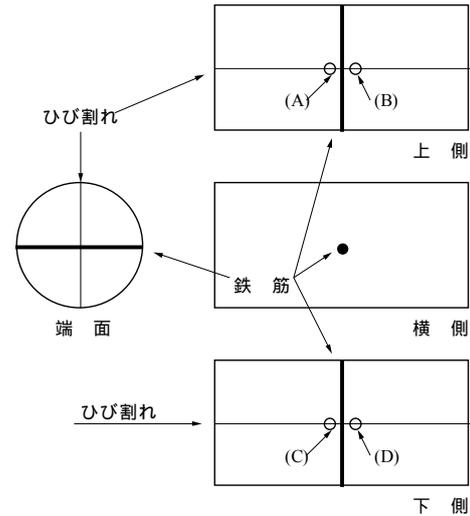


図-1 調査したコアとひび割れの位置



写真-1 はつり試験後の中性化の様子

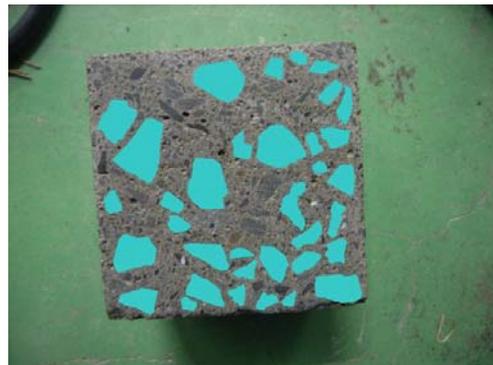


写真-2 画像処理後の角柱供試体断面

行った。測定はデプスゲージを用い、供用条件の違いとなる水中部・気中部の両者で測定を行った。得られた中性化深さに基づき中性化速度係数を以下の式(1)にて算出した。

$$y = R(-3.57 + 9.0W/B)\sqrt{t} \dots \text{式(1)}$$

得られた推測値を利用して、RC 開水路の鉄筋腐食に至るまでの性能診断および余寿

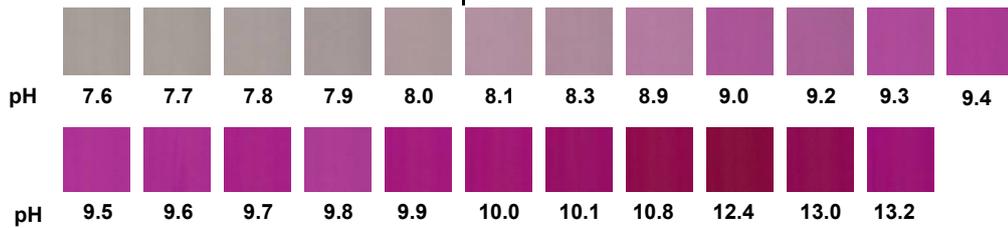


写真-3 フェノールフタレイン溶液と pH の異なるアルカリ溶液の発色量の違い

命予測を行った。

(3) 骨材露出の進展メカニズムの解明

骨材露出はコンクリート水路水中部において生じる普遍的な変状であるが、その発生の特性については十分に理解されていない。そこで、骨材露出が経時的な進行をモデル化して実験的に検証した。検証にはコンクリート角柱供試体を用い、写真-2 に示すように、画像解析にて骨材の露出状態を数量化することで、水路通水部のうち底版および側壁における粗骨材の露出特性の評価を行った。この結果を踏まえ、骨材露出と水路の有する各種性能との関係を整理した。

また、骨材露出、摩耗と水理性能の一つである粗度係数の関係を評価するため、三次元画像解析ソフトウェアによる表面粗さの評価および精度の検証を行った。

(4) 中性化の詳細評価技術の開発

原位置におけるコンクリートの中性化診断において最もよく利用される指示薬はフェノールフタレイン・エタノール (PP) 溶液である。PP 溶液は水酸化物水溶液の pH により、写真-3 に示すように発色する。この原理を利用し、PP 溶液をコンクリートはつり面に塗布することで、中性化した領域を判定することは出来るが、目視では詳細なコンクリートの pH の評価ができない。そこで、画像解析ソフトウェアを用いて、発色量からコンクリートの pH を簡便に定量評価する技術開発を行った。

4. 研究成果

(1) 塩害環境下のひび割れと鉄筋腐食の関係

塩害環境下で長期供用された RC 構造物において、本研究で得られたひび割れと鉄筋腐食の関係をまとめると以下のとおりである。

同一躯体であっても、水中と気中という環境条件の違いにより、侵入する塩化物イオン量は異なり、気中のほうが大きくなる可能性が示唆された。

塩害環境下で長期供用される場合、ひび割れのない健全な箇所であっても、鉄筋には軽微な腐食が発生している可能性がある。しかし、十分なかぶり厚さが確保されていれば有害な鉄筋腐食度となる危険性は低い。

ひび割れが発生した場合、鉄筋の種類に

より腐食度が異なり、異形鉄筋は単なる付着力向上のみでなく耐久性上も効果を発揮する可能性が示唆された。

ひび割れが発生した RC 構造物の鉄筋腐食度が影響を受ける要因としては、ひび割れ幅はさることながら、ひび割れの発生方向、鉄筋の配筋方向、そして両者の交差あるいは接触といった位置関係が挙げられる。

塩害環境下で供用される RC 構造物に対して許容ひび割れ幅を設定する場合、前記の結果に基づき一般環境よりも過酷な環境となりやすいため注意を要する。

本研究では、塩害環境にある構造物を水中と気中で区分したが、例えばコンクリート標準示方書 [施工編] (2002) では、塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に関する照査として、特に乾湿の繰り返しを受ける飛沫部の塩化物イオン濃度を最も大きく設定している。したがって、今後更に環境条件と塩害の関係を明確化していく必要があるが、現段階における塩害環境下の RC 構造物の耐久性設計としては、対象とする構造物の重要性に加え、安全側を見込む上記示方書に準拠する必要があると考えられた。

(2) 中性化と中性化速度係数の関係

長期供用された RC 開水路を対象として、水中部と気中部の中性化深さおよび中性化速度係数を比較した結果、以下のような結果が得られた。

気中部と水中部の中性化深さを比較した結果を図-2 に示す。同一部材であっても両者は異なる値を示すが、この原因は水中部での表面摩耗から生じた骨材露出が、中性化部分の消失に繋がり、結果として水中部の中性化深さが過小に評価されたためと考えられる。

本研究で算出した中性化速度係数のヒストグラムを図-3 に示す。RC 開水路の中性化速度係数は、一般の土木構造物と比較して小さくなる傾向を示す。

中性化速度係数のばらつきは、気中部よりも水中部のほうが小さい。これは、環境条件の違いにより、測定している中性化部位が異なるためと考えられる。

調査対象とした全ての RC 開水路において、かぶりを加味した中性化予測では、

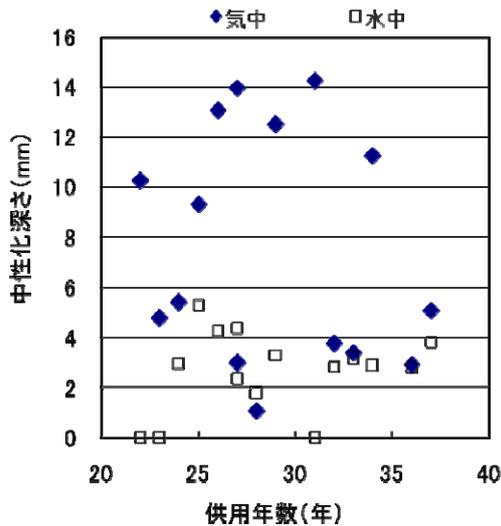


図-2 供用年数と中性化深さの関係

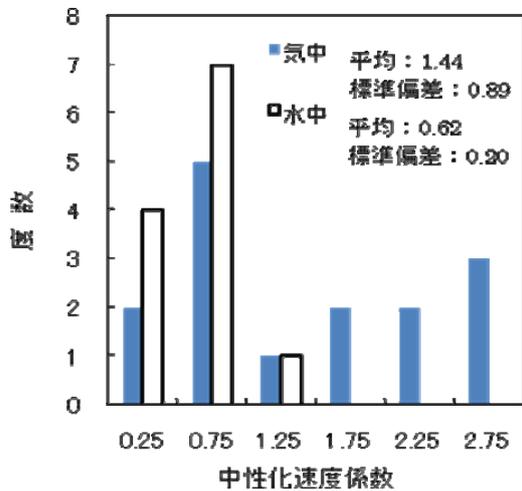


図-3 部材位置の違いと中性化速度係数

一般的な耐用年数である40年を倍程度超えても問題が無い場合がほとんどであった。つまり、多くの既設RC開水路は、中性化に対しては十分な耐久性を有していることが明らかとなった。

中性化に関する劣化度診断を行ううえで、かぶりの確認と中性化深さ、そして鉄筋の発錆の有無を確認することが重要であり、今後の課題である。

(3) 骨材露出の進展メカニズムの解明

本研究では、コンクリート水路における骨材露出に焦点を当て、骨材露出の経時的な進行をモデル化して実験的に検証する。そして、骨材露出とコンクリート水路の要求性能の関係を整理し、骨材露出が劣化度診断を実施する上での性能指標となりうるかを検討した。結果を整理すると以下のとおりである。

骨材露出を粗骨材面積率で表現した結果、粗骨材面積率は使用したコンクリートの

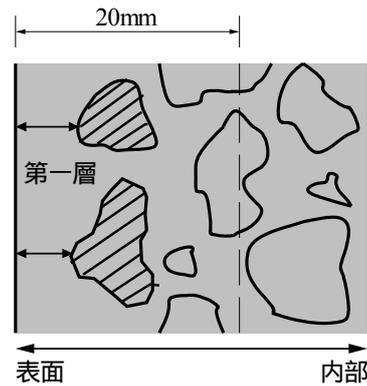


図-4 第一層の粗骨材の模式図

水セメント比の違いによる影響をあまり受けず、使用した粗骨材の最大寸法と関係する可能性が示唆された。

粗骨材面積率は表面からの距離が大きくなるほど線形的に増加するが、使用した粗骨材の最大寸法を超える距離ではほぼ一定になることが明らかとなった。

コンクリート表面付近の粗骨材の数は打設面と底面で異なり、打設時の締固めの違いがコンクリート表面付近の粗骨材の分布に影響することが確認できた。

コンクリート表面から第一層の粗骨材までの最短距離は、供試体底面では水セメント比に関わらずほぼ一定であるが、打設面では水セメント比が大きいほど最短距離が大きくなった。また、全体的な傾向は、図-4に示されるように、表面から6mmのモルタル分が消失すれば骨材露出が顕在化することが分かった。

コンクリート水路における骨材露出は、表面から僅か6mmの摩耗で顕在化することから、骨材露出が生じているからといって構造性能が低下したとは一概に言えない。

骨材露出の生じたコンクリート水路の耐久性診断に際しては、消失したモルタル分を加味した診断と劣化予測を行う必要がある。

(4) 中性化の詳細評価技術の開発

本研究では、PP溶液による中性化判定を改良し、画像解析法を用いた硬化セメントペーストのpH値予測の可能性について検討した。得られた結果を整理すると以下のとおりである。

PP溶液を塩基性溶液に混合すると、塩基性物質のpHによって発色量が異なることから、発色量を定量化すればpH値の推定が可能である。

塩基性溶液のpH値推定の方法として、画像解析によるRGB値の算出は有効である。特にpH8~10におけるR,Gの明度はpHと線形関係にある可能性が高く、その関係を用いれば、精度の高いpH値の推

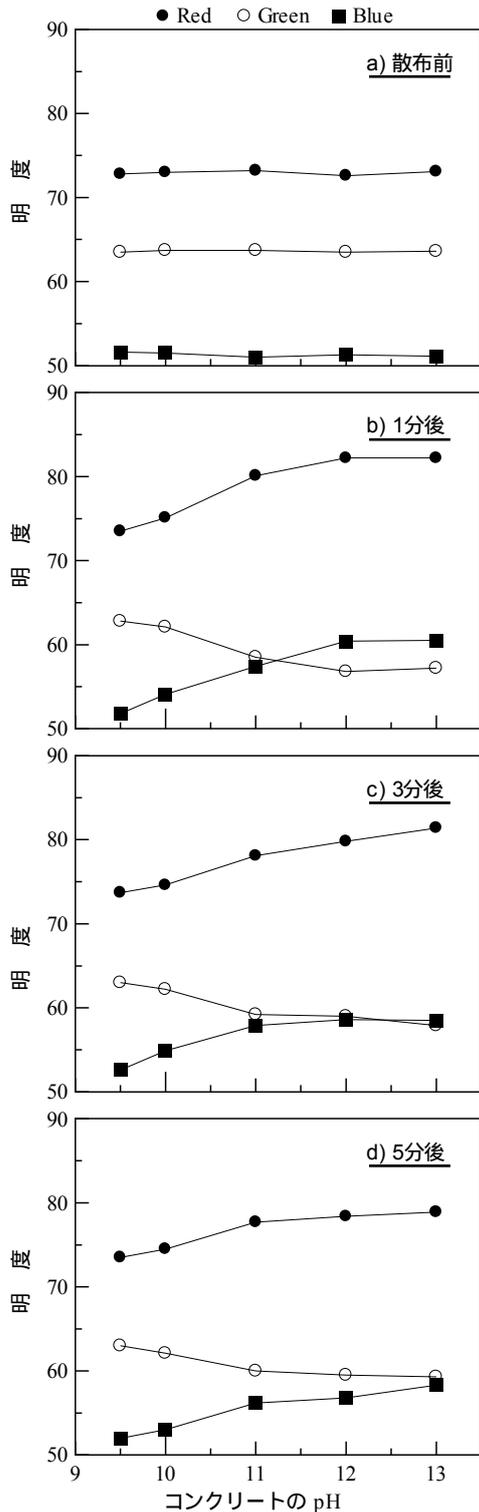


図-5 輝度調整後のRGB値の比較

定が可能と考えられる。撮影時の明るさが異なる複数枚の画像を対象として画像解析を行う場合、前処理として各画像の輝度を一定に調整することで、RGB値の算出誤差を減らすことができる。有色かつ複合材料であるコンクリートを対象とした画像解析では、画像処理方法

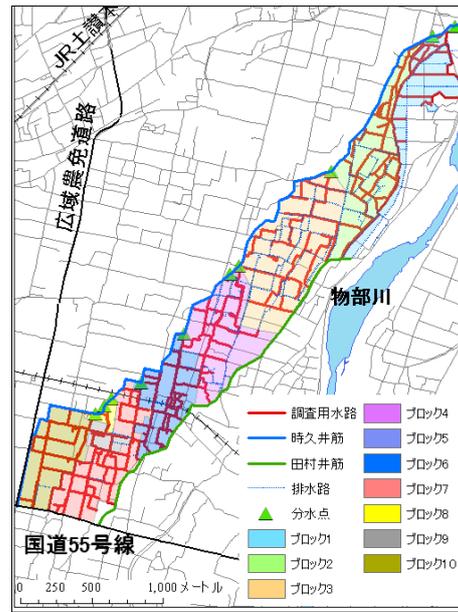


図-6 調査用水路網と受益範囲

の一つであるヒストグラム法を用いれば、ばらつきを小さくすることができる。コンクリートを対象としてPP溶液を散布すると、pHが9.5では全く発色せず、安定して濃い色調で発色するのはpHが12以上であることが確認できた。コンクリートにPP溶液を散布することで、図-5に示すように、コンクリートのpHが9.5~13の領域内では比較的精度良くpH値を推定できる可能性が示唆された。

(5) GISデータベースを用いた水不足要因の抽出
水不足の発生している地区を対象として農地および農業用水路網に関するGISデータベースを作成し、水不足要因の抽出を試みた。調査用水路網と受益範囲の関係位置を図-6に示す。その結果、水路網の中でも特に分水点の水分配の問題が大きいことが明らかとなった。農業水利施設は一度建造されると簡単に変更されるものではない。そのため、GISデータとして一度構築すれば更新作業は少なく、管理しやすい情報である。さらに、GISを用いることで、他の情報との関連付けや情報の共有が容易となり、今まで困難であった作業、例えば水分配の計画立案などが容易に出来るようになる。農業水利施設の老朽化や適切な施設の管理保全に関する情報管理が必要とされているため、今後一層の普遍的かつ総合的な情報管理の普及が進むと考えられる。

(6) 性能診断とストックマネジメント
農業水利施設のストックマネジメントにおいて、性能診断はその実現を支える重要な要素であり、本研究課題で取り上げたような種々の変状や劣化ごとの現有性能評価および性能の将来予測が重要となる。性能とは、

定性的に表現される機能を具体化・数量化するものである。しかし、実務的に性能診断を実施する段階では、その診断項目に定量的に評価できる種類のもの、定性的にしか評価できないものがある。現在では、農業水利施設のうち、全体の約9割を土地改良区が主体的な管理者となっているが、果たして全ての施設・構造物を性能管理できるかどうか、あるいは性能管理までしなくとも機能管理で十分なのではないか、この観点からの保全管理の方針を構築する必要がある。これは言い換えれば、重要度の高い基幹的水利施設と重要度の低い末端の施設のストックマネジメントのあり方が同じである必要があるのか、という次の段階の議論に進むことに繋がる。

また、ストックマネジメントを進める上で大きな課題は、変状の原因分析を行うための専門技術者と実際の管理者の連携をどのようにするのかという点である。さらに、保全管理に必要な対策工実施のための予算措置をどのようにするのか、という根本的な課題も残る。なぜなら、仮に土地改良区で変状を発見したとしても、その原因分析を実施できる専門技術者が居なければ、適切な施設の保全管理は出来ないであろうし、仮に現状分析および対策方法が定まったとしても、必要な予算措置が確保できなければ、結果としてストックマネジメントが機能しないことと同義となる。国・地方自治体・土地改良区(受益者)の三者の負担が原則となる末端施設の保全管理に対して、専門技術者を含めた各種団体の効果的・効率的な連携による最適な規模および時期の予算措置が実施できる政策的な取り組みをも揃える必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

佐藤周之、内田健一朗、横井克則、野中資博、フェノールフタレイン法によるコンクリート中性化の詳細評価技術に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、掲載決定、2009、査読有
兵頭正浩、佐藤周之、桑原智之、野中資博、セメント結合材から環境水中へ溶出する重金属類の定量的評価に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、30(2)、343-348、2008、査読有

佐藤周之、緒方英彦、野中資博、服部九二雄、コンクリート水路における骨材露出の評価に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文報告集、30(1)、699-704、2008、査読有

佐藤周之、緒方英彦、植野寛、松本伸介、野中資博、構造破壊を生じた既設 RC 開水路の調査・診断と変状特性、農業農村工学会誌、76(3)、29-33、2008、査読有
佐藤周之、石井将幸、緒方英彦、森充広、

野中資博、塩害環境下にある現場打ち RC 構造物のひび割れが鉄筋腐食に及ぼす影響、農業農村工学会論文集、252、119-125、2007、査読有

〔学会発表〕(計8件)

佐藤周之、他4名、三次元画像解析によるコンクリート表面粗さの定量化に関する研究、平成21年度農業農村工学会大会講演会、2009.08.24-26(発表確定)、島茨城県つくば市

山崎周太郎、佐藤周之、他2名、表面被覆工法における接着安定性に関する基礎的研究、平成21年度農業農村工学会大会講演会、2009.08.24-26(発表確定)、島茨城県つくば市

内田健一朗、佐藤周之、他2名、コンクリート中性化の詳細評価技術に関する基礎的研究、平成21年度農業農村工学会大会講演会、2009.08.24-26(発表確定)、島茨城県つくば市

山崎周太郎、佐藤周之、他2名、セメント硬化体から溶出する Ca イオンに関する研究、平成20年度農業農村工学会中国四国支部大会講演会、2008.10.21、広島県広島市

内田健一朗、佐藤周之、他2名、フェノールフタレイン法による中性化予測のための基礎的研究、平成20年度農業農村工学会中国四国支部大会講演会、2008.10.21、広島県広島市

佐藤周之、既設 RC 開水路の中性化深さと中性化速度係数に関する研究、平成19年度農業農村工学会中国四国支部大会講演会、2007.10.25、愛媛県宇和島市

佐藤周之、コンクリート水路における骨材露出に関する基礎研究、平成19年度農業農村工学会大会講演会、2007.08.29、島根県松江市

佐藤周之、長期供用したコンクリート現場打ち水路のひび割れ発生状況に関する研究、平成19年度農業農村工学会大会講演会、2007.08.29、島根県松江市

〔図書〕(計1件)

佐藤周之ほか(共著)、機能保全における性能設計入門 第7章 施工および補修・補強、農業農村工学会選書(機能保全における性能設計入門編集委員会編)、208(内30頁)、2008

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 周之 (SATO SHUSHI)

高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号：90403873