

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04210

研究課題名（和文）含水率の影響を受けない表面吸水試験によるコンクリート構造物の耐久性評価手法の確立

研究課題名（英文）Establishing durability evaluation method for concrete structures using SWAT considering moisture content

研究代表者

細田 暁（Hosoda, Akira）

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：50374153

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：研究代表者らが開発した表面吸水試験（SWAT）は、完全非破壊でコンクリート構造物の吸水抵抗性を評価できる。コンクリートの含水率の影響を大きく受けることが、これまでの広い普及を阻んできた。SWATの測定結果がほとんど含水率の影響を受けない含水率の範囲があることが分かり、その範囲でコンクリート構造物の吸水抵抗性を評価する品質評価法を提唱した。令和5年度に、日本非破壊検査協会規格のNDIS 3440として、コンクリートの非破壊試験（水分浸透抵抗性試験）の規格が制定され、制定委員会の委員長を研究代表者が務めた。SWATを用いた実構造物での吸水抵抗性の評価事例を積み重ね、論文・解説文で公表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会活動を支えるコンクリート構造物の耐久性に大きく関わるコンクリートの吸水抵抗性を定量的に評価できる手法が開発され、日本国での規格として制定された。これまで同様の評価手法は、コンクリートの含水率の影響を大きく受けたため、普及が阻まれてきたが、含水率の影響を受けない評価手法が確立され、学術的な意義が高い。また、試験方法が規格化されたため、社会への今後の貢献も大きい。

研究成果の概要（英文）：The Surface Water Absorption Test (SWAT) allows for the evaluation of water absorption resistance of concrete structures in a completely non-destructive manner. Previously, the widespread adoption of this kind of methods had been disturbed because they were significantly influenced by the moisture content of concrete. However, it has been found that there is a range of moisture content within which the SWAT results are minimally affected. In fiscal year 2023, a standard for the non-destructive testing of concrete (water penetration resistance test) was established as NDIS 3440 by the Japanese Society for Non-Destructive Inspection, with the principal investigator serving as the chairperson of the standardization committee. Numerous practical examples of evaluating the water absorption resistance of actual structures using SWAT have been accumulated and published in papers and explanatory articles.

研究分野：土木工学

キーワード：表面吸水試験 コンクリート構造物 耐久性 吸水抵抗性 水密性 含水率 品質評価 打継目

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

膨大な社会インフラを構築するコンクリート構造物が十分な耐久性を発揮することは、社会の資産であるインフラの価値を高め、維持管理費用の低減につながり、持続可能な社会の構築に大きく貢献する。

研究代表者は、図1に示す表面吸水試験 (SWAT) を開発し、コンクリートの吸水抵抗性の評価方法についての研究を重ねてきた。類似の吸水試験や透水試験は数多く開発されているが、完全非破壊であることと、カップのシール材の計測中の変形等の影響にまで配慮した、計測精度の高さにより、他と一線を画している。



SWATのような実構造物を対象とした吸水・透水試験や、透水試験などは数多く開発されているが、これらの計測結果はすべて、コンクリートの含水率の影響を受ける。この点が、これらの試験方法の実用化を阻んできた最大の障害であった。含水状態をコントロールできる室内の試験体ならまだしも、自然環境にある土木構造物に対

図1 表面吸水試験 (SWAT)

品質評価手法は、世界中を見ても構築されていない状況にある。本研究課題の核心をなす学術的な「問い」は、コンクリート構造物の耐久性を適切に評価するために、含水率のコントロールが不可能な実構造物を対象に、含水率の影響を考慮した完全非破壊の表面吸水試験法が構築できるか、ということである。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、実構造物を対象に、コンクリート構造物の耐久性を評価するための、コンクリートの含水率の影響を考慮した、完全非破壊の表面吸水試験 (SWAT) による品質評価手法を確立することである。

### 3. 研究の方法

本研究では、目的を達成するために、室内での実験と、熱力学連成解析システムによる数値シミュレーションを活用する。さらに、確立した手法を用いて実構造物で吸水抵抗性を評価する。

熱力学連成解析システムとして、前川ら東京大学コンクリート研究室が開発し、数多くの検証がなされ、実構造物での現象説明等にも活用されている DuCOM を使用する。

図2は、水セメント比が40%の普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの空隙中の飽和度 (PSD) と10分間の吸水量の関係を示したものである。実験結果と DuCOM によるシミュレーションの結果を示している。DuCOM は、実験結果を精度よくシミュレーションできようであり、本研究で扱う様々な現象の機構解明に活用できる可能性があった。

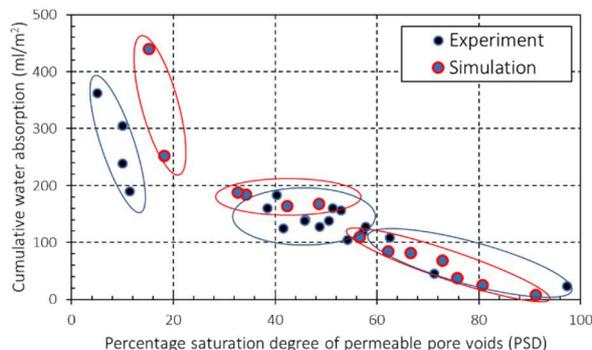


図2 DuCOM によるシミュレーション

### 4. 研究成果

図-3は、水セメント比40%、50%、60%の普通ポルトランドセメントを用いた十分に硬化したコンクリートを用いて、コンクリートの空隙中の飽和度 (PSD) を変化させ、吸水係数との関係を調べた実験結果である。含水率が変化しても吸水係数に影響を及ぼさない台地ゾーンが見られる。

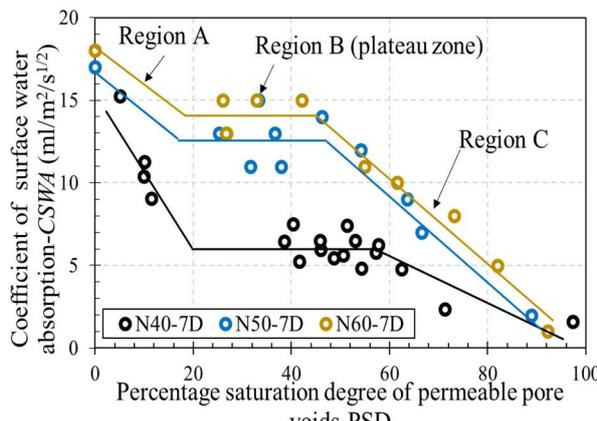


図-4は、前川らの開発した熱力学連成解析システム DuCOM によるシミュレーションの結果も合わせて示しており、台地ゾーンは完全なフラットではないものの、数値シミュレーションによっても含水率の影響を受けにくい

図3 コンクリートの空隙の飽和度が吸水係数に及ぼす影響

領域があることが確認されている。さらに、図-5 に示すように、同じ数値シミュレーションモデルを用いて、10 分間の計測と 6 時間での計測について計算したところ、6 時間の計測では台地ゾーンが消失することが分かった。含水率の影響をほとんど受けない台地ゾーンは、10 分程度以下の短時間での計測においてみられる現象であることが明らかとなった。

台地ゾーンよりも乾燥した状況は、日本国内の通常環境条件ではほとんど生じないと考えている。一方で、雨水・漏水の影響や、高湿度の影響、またはコンクリートが若材齢であることにより、台地ゾーンよりも湿った状況は頻繁に発生し得る。供試体や構造物のコンクリートがこの台地ゾーンの含水率の範囲内にあるのか否かを判定する手法として、電気抵抗式の床版上面用の含水計 (HI-100) を用いることを筆者らは提案している。HI-100 によるカウント値が 210 以下であれば、水セメント比が 40~60% の範囲のコンクリートに対しては、コンクリートの含水率が台地ゾーンにあるという結果が得られている。SWAT を実施する前のコンクリートの含水状態の確認方法や、台地ゾーンで計測された吸水試験の結果と構造物の耐久性の関係についてのさらなる研究が必要である。

図-6 は、夏場に施工されたボックスカルバートの側壁で、水平の打重ね線が明瞭に認められたものに対して、打重ね線の直上と、一般部のコンクリートの吸水抵抗性を比較したものである。施工の基本事項が遵守された現場であり、打重ね線上でも高い吸水抵抗性が確認された。

図-7 は、打継目を有する供試体で行った計測結果である。防水施工で実績のあるコンクリート改質材を打継界面に塗布することで、改質材による吸水抵抗性の向上が見られた。

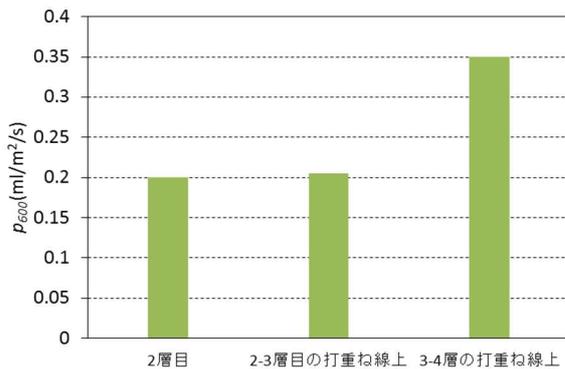


図 6 打重ね線上での吸水抵抗性

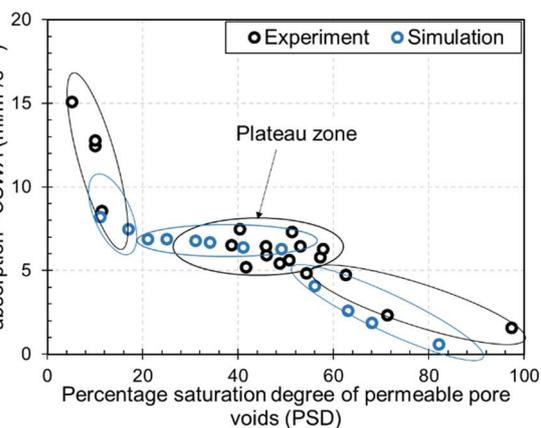


図 4 数値シミュレーションによる台地ゾーンの確認

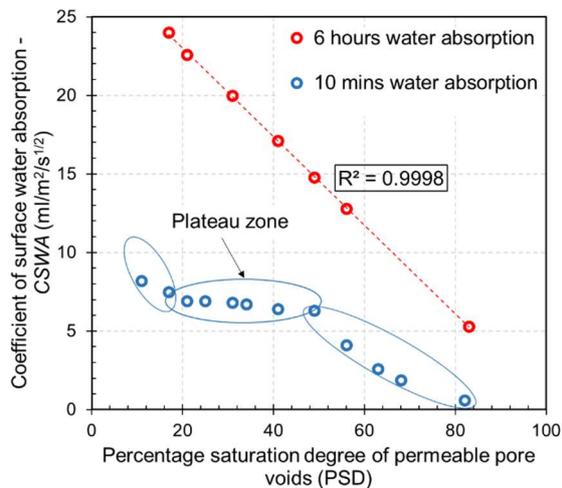


図 5 計測時間が台地ゾーンに及ぼす影響

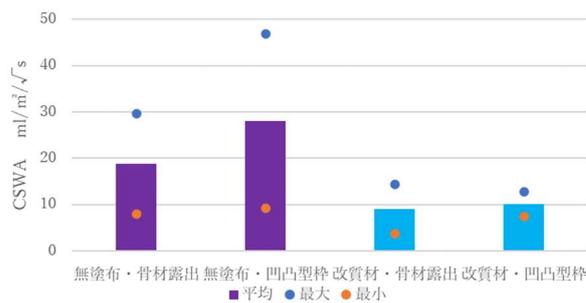


図 7 改質材が打継目の吸水抵抗性に及ぼす影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 森陽香・細田暁・柳井修司・菅保匠	4. 巻 Vol.45 ( No.1 )
2. 論文標題 スランプ保持型混和剤を用いた35 を超える暑中コンクリートの打重ね部の品質評価	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 82-87
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Thanh Ngoc Phan, Akira Hosoda, Yoichiro Tsujita, Ayana Shirakawa	4. 巻 Vol.17
2. 論文標題 Salt-scaling Resistance of Highly Durable RC Slabs Utilizing GGBS Concrete with Expansive Additive	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Case Studies in Construction Materials	6. 最初と最後の頁 なし
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 細田 暁	4. 巻 No.7
2. 論文標題 表面吸水試験の適切な計測方法の確立と品質評価の活用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本非破壊検査協会 第7回コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム 論文集	6. 最初と最後の頁 129-136
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 中元奏希、細田暁、藤岡彩永佳、小泉信一	4. 巻 Vol.44, No.1
2. 論文標題 スランプ保持性を高めたコンクリートの暑中環境下における打重ね部の品質評価	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 316-321
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 Raphael N. UWAZURUONYE and Akira HOSODA	4. 巻 Vol.43, No.1
2. 論文標題 Numerical Simulation of Water Sorptivity of Concrete Measured by Surface Water Absorption Test	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 1295-1300
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 細田 暁, 揖斐 剛, Raphael N. UWAZURUONYE, 八巻 大介	4. 巻 Vol.43, No.1
2. 論文標題 小径バルーン構造による養生システムを用いたトンネル覆工コンクリートの養生効果の調査	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 941-946
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 Ngoc T. PHAN, Akira HOSODA, Yoichiro TSUJITA, Ayana SHIRAKAWA	4. 巻 Vol.43, No.1
2. 論文標題 Mitigation of Cracking in Durable RC Deck Slab on Multiple Span Steel Box Girder Considering Stepwise Construction Method and Utilizing Expansive Additive	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 508-513
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3件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 細田 暁
2. 発表標題 表面吸水試験の適切な計測方法の確立と品質評価の活用法
3. 学会等名 第7回 コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中元 奏希
2. 発表標題 スランプ保持性を高めたコンクリートの暑中環境下における打重ね部の品質評価
3. 学会等名 コンクリート工学年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三留 啓奨、細田 暁、木村 哲、林 良一
2. 発表標題 改質材を用いた水平打継目の吸水抵抗性向上のための基礎的検討
3. 学会等名 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会
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
---------	---------