

研究コラム デジタル画像相関法による腐食鋼材の非接触ひずみ分布計測

鋼材の腐食には様々な形態がありますが、特に塩分の影響を受ける環境などでは、鋼材表面に局部的に穴状の腐食を生じ、形や大きさ、深さが不規則な窪みが形成される場合があります。鋼材表面が平坦であれば、力を加えた時にひずみ（物体に力を加えた時に現れる形状の変化）は一樣に分布しますが、腐食によって不規則な窪みが形成された鋼材では、ひずみの分布も不均一となります。

一般に、材料の力学特性の評価などにおいてひずみを測定する際には、「ひずみゲージ」が用いられます。ひずみゲージは、金属の伸縮による電気抵抗値の変化でひずみを測定するセンサであり、ゲージを貼付した領域での平均的なひずみの大きさしか測定することはできません（Figure 1）。そこで iMaRRC では、腐食によって生じる不均一なひずみ分布の時間的変化を把握するために、デジタル画像相関（DIC）法に着目し、その適用性について検討しています。DIC 法は、測定対象の表面にあらかじめ塗装などでランダムな模様を作成しておき、力を加える前後のランダム模様の変化を画像解析することにより、広範囲ひずみの分布を非破壊で可視化できる手法です。

Figure 2 は、腐食した鋼材に引張荷重を加えながら、高解像度デジタルカメラで鋼材表面の変化を撮影し、DIC 法によりひずみ分布を解析した結果を表しています（Figure 1 と同時に測定）。腐食鋼材表面では、局部的に腐食が進行している箇所では塑性ひずみが集中して生じていること、また、腐食の進行程度に応じてひずみの大きさが変化することが視覚的に把握できました。今後も引き続き、鋼材の破壊に繋がるひずみ集中の成長や延性き裂の進展に及ぼす、鋼材表面の凹凸の影響などを解明していく予定です。（執筆：タンダー 専門研究員）

※このコラムの動画を iMaRRC ウェブサイトに掲載しましたのでご覧ください。 <http://www.pwri.go.jp/team/imarrc/activity/movie.html>

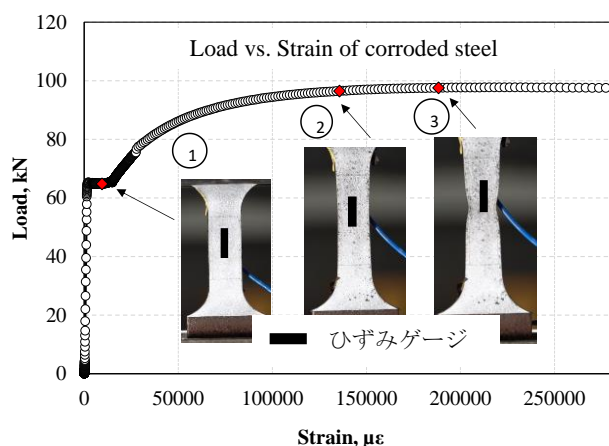


Figure. 1 ひずみゲージによるひずみ測定

Nondestructive strain distribution measurement of corroded steel using the DIC method

Metallic corrosion manifests in various forms, influenced by the morphology of the metal and the exposure environment. Among these, localized pitting corrosion is particularly prevalent on steel surfaces in environments with high airborne salt levels. Strain, which is the deformation that occurs when a force is applied to an object, is typically evenly distributed across a flat steel surface. However, the presence of irregular pits due to corrosion results in an uneven distribution of strain.

Traditionally, strain measurement has been conducted using a strain gauge—a sensor that measures strain by detecting changes in electrical resistance caused by the metal's expansion and contraction. This method, however, only measures the average strain within the area to which the gauge is attached (see Figure 1). At iMaRRC, our research is centered on the application of the Digital Image Correlation (DIC) method to assess its effectiveness in detecting temporal changes in uneven strain distributions caused by corrosion. The DIC method allows for the nondestructive visualization of a broad strain distribution by initially creating random patterns on the object's surface using paint or similar substances, and then analyzing the pattern changes before and after force application.

Figure 2 presents the results from using the DIC method to analyze strain distribution while applying a tensile load to corroded steel. The analysis, captured using a high-resolution digital camera (concurrently with Figure 1), revealed that plastic strain tends to localize in areas where corrosion is more advanced, with the magnitude of strain varying according to the degree of corrosion progression. Moving forward, we aim to further explore how surface irregularities influence the development of strain concentrations, which can lead to steel fractures and the propagation of ductile cracks.

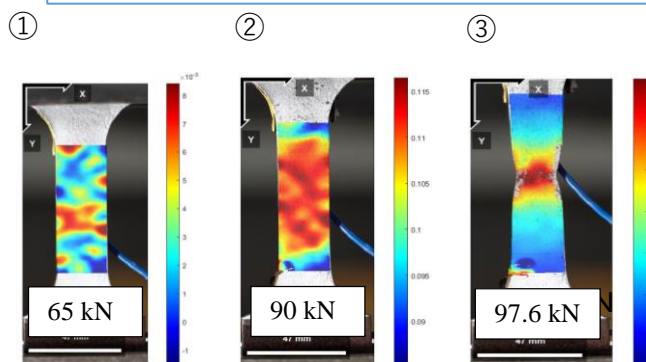


Figure. 2 DIC 法による局所ひずみ測定

(図中の①～③は Figure 1 の①～③と同じ状態を表している)

研究コラム 有機物回収型下水処理の実用化に向けた取り組み

下水道は、公衆衛生の向上や公共用水域の水質の保全に重要な役割を果たしていますが、下水処理場やポンプ場では多くの電気が使用されています。一方で、下水処理場では、下水から有機物を取り除く過程で生じた汚泥から嫌気性消化により消化ガスを発生させ、消化ガス中のメタンガスを燃焼させ発電することが可能です。発電した電気を下水処理場で消費したり、外部へ売却したりすることにより、下水処理場の実質的な消費電力量を削減することができます。従来の下水処理方式では、有機物の大半は酸化され、その分は下水汚泥として回収されていませんでした。しかし、下水道を通して有機物が集約される下水処理場の特徴を活かし、許容される範囲内なるべく多くを汚泥として回収することで、将来の脱炭素社会の実現への貢献が可能です。比較的小規模な下水処理場でも導入が可能となるよう、有機物を効率的に回収できる下水処理方式の実用化が期待されます。

iMaRRC では、下水汚泥が系内に滞留する時間が2日未満の汚泥を用いる HiCS (High-rate contact stabilization) 法に着目しています。HiCS 法は、基本的に、安定化、接触、沈殿の3フェーズから構成されます (Figure 3)。実下水処理場に設置したベンチスケールの試験プラント (Figure 4) を用いて、連続的に実下水を処理し、得られた汚泥を嫌気性消化試験に供し、消化ガス中のメタンガス発生率等を調査しています。現時点では、HiCS 法の汚泥発生量やメタンガス発生率は、従来の標準活性汚泥法の汚泥よりも多い傾向が見られています。今後、水温変化による汚泥発生量やメタンガス発生率への影響把握、後段処理を含めた際の処理水質とエネルギーの評価等を行い、技術資料をとりまとめる計画としています。(執筆：桜井 主任研究員)

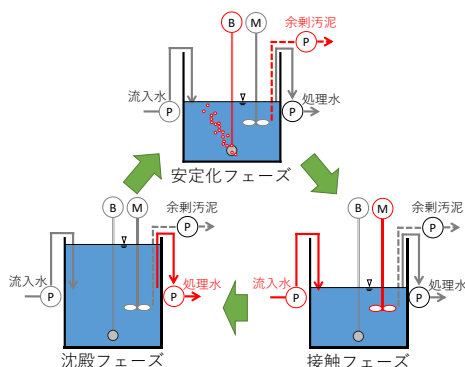


Figure 3. Schematic of a SBR cycle in the HiCS process. Operational parts are highlighted in red (P: Pump, B: Blower, M: Mixer)

Toward practical application of a wastewater treatment process for organic matter recovery

Sewage systems are crucial for improving public health and maintaining the quality of public waters. However, wastewater treatment plants (WWTPs) and pumping stations consume substantial amounts of electricity. WWTPs offset some of this consumption by generating electricity through the anaerobic digestion of sludge, which is produced during the removal of organic matter from wastewater. The methane produced during this process is burned to generate electricity, which can either be used on-site or sold externally, thus reducing the net electricity consumption of the WWTP. Traditional wastewater treatment processes, however, oxidize the majority of organic matter, which results in minimal recovery as wastewater sludge.

Looking to the future and the goal of achieving a decarbonized society, there is a growing need for wastewater treatment systems that can recover organic matter with high efficiency. At iMaRRC, we are exploring the High-rate Contact Stabilization (HiCS) process, which retains sludge in the system for less than two days. The HiCS process is divided into three phases: stabilization, contact, and sedimentation (Figure 1). A bench-scale test plant, installed at a municipal WWTP, is currently used to treat real wastewater (Figure 2). The sludge recovered from this process undergoes anaerobic digestion tests to evaluate the rate of methane gas production. Preliminary results indicate that sludge and methane gas production rates using the HiCS process are superior to those observed with the conventional activated sludge process. Future studies will focus on assessing the impacts of water temperature variations on sludge and methane gas production rates, as well as on the quality of the treated water and overall energy efficiency, including posttreatment stages. These findings will be compiled and shared in forthcoming technical reports.

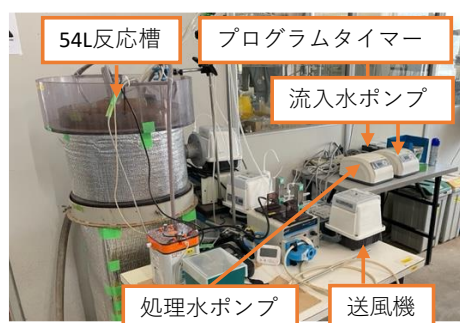


Figure 4. Bench-scale test plant at a municipal wastewater treatment plant

研究コラム 繊維補強コンクリート（FRC）を用いた道路橋床版の更新・補修に関する研究

国内の道路橋鉄筋コンクリート床版においては、これまで重車両の繰返し走行による疲労劣化が主たる劣化損傷と考えられてきました。しかし、近年では、床版内部のコンクリートに複数の水平ひび割れが生じる事例や、アスファルト舗装下で床版上面のコンクリートに土砂化が生じる事例などが報告されています。また、これらの劣化により損傷した床版では、補修後に比較的早期に再劣化する事例も見られることから、更新・補修技術へのニーズが高まっています。

これに対し、近年開発された、通常のコンクリートに比べて高強度で耐久性に優れた短繊維補強コンクリート（以下、FRC）

（Photograph 1.）を用いた更新・補修技術の開発が進んでいます。しかし、新しい材料を用いた更新・補修技術の有効性の確認方法については、十分には明確でない点もあります。そこで、土木研究所 CAESAR と iMaRRC は、2020 年度に参加者を公募し、FRC を用いた橋梁床版の耐久性向上技術に関する共同研究を開始しました。

この共同研究では、FRC を用いることを想定した上で、床版の更新技術と上面補修技術について検討を行いました。更新技術の検討では、プレキャスト床版の接合部界面における路面水浸入を防ぐことが耐久性向上の点で重要と考え、実験的検討（Photograph 2.）により、その照査方法の試案を提示しました。上面補修技術の検討では、既存の補修材料で補修材の打継目付近から早期再劣化した事例があることから、構造的な視点から打継目付近の挙動に着目した実験（Photograph 3.）を行い、適用する際の留意点をまとめました。共同研究報告書には、「道路橋の繊維補強コンクリート床版の性能確認マニュアル（案）」と対比して、技術開発者が開発技術の性能を説明した資料もあり、FRC 床版の採用を検討する際に参考になるものと期待されます。（執筆：小沢 研究員）

※本共同研究の成果をまとめた報告書の掲載ページ

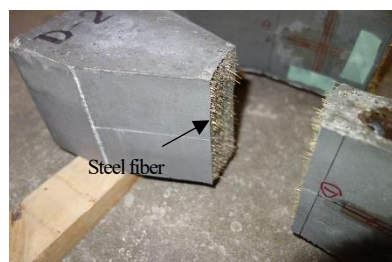
<https://www.pwri.go.jp/team/imarrc/research/tech-info.html>

Study on renewal and repair of road bridge decks using fiber reinforced concrete (FRC)

In Japan, the primary cause of damage to highway bridge reinforced concrete (RC) slabs has traditionally been attributed to fatigue deterioration from the repeated traffic of heavy vehicles. However, recent reports have highlighted several instances where RC slabs beneath asphalt surfacing have disintegrated. Typically, these areas are repaired using a patching method, but it has been observed that such repairs are not permanent, with the slabs often deteriorating rapidly after repair.

In response to these challenges, new renewal and repair technologies utilizing fiber reinforced concrete (FRC), which boasts greater strength and durability than ordinary concrete, have been developed (Photograph 1). Nonetheless, the effectiveness of these technologies remains uncertain. Therefore, in 2020, CAESAR and iMaRRC initiated joint research to explore technologies that enhance the durability of highway bridges using FRC slabs.

This research examined renewal technology and top surface repair technology involving FRC slabs. The renewal technology emphasizes the importance of preventing water infiltration at the joint interface of precast slabs to enhance durability (Photograph 2), and a verification method was proposed accordingly. In the repair technology, experiments were conducted to understand the behavior of the bonding surface between the repair material and the concrete from a structural perspective (Photograph 3). These experiments have led to a summary of key considerations for applying top surface repairs.



Photograph 1. Fiber reinforced concrete



Photograph 2. Wheel running fatigue test of water-filled precast slabs joints



Photograph 3. Loading test applying negative bending to the bonding surface of concrete

報告 アスファルト混合物の持続的循環を目指した再生利用に関する共同研究報告書を発行

近年、アスファルト舗装をリサイクルした場合の再生混合物中に含まれる再生骨材の配合率は、上昇傾向にあります。高い再生骨材配合率は、循環型社会の実現に寄与するという考え方もある一方で、繰り返し再生利用時の再生アスファルト性状の低下による舗装寿命が短縮する可能性も懸念されており、その場合は循環型社会の実現の阻害要因となってしまう。そこで、土木研究所舗装チームとiMaRRCは（一社）日本アスファルト合材協会と共同研究を実施し、アスファルト再生骨材配合率の混合物性状への影響を把握するとともに再生混合物への中温化技術の適用性を検討し、適切な再生骨材配合率の品質・適用範囲を明らかにしました。また、再生骨材の性状判定に用いられる圧裂試験について、試験精度向上のための検討も行い、試験室で導入しやすい試験条件や判定方法を提案しています。（執筆：百武 上席研究員）

※本共同研究の成果をまとめた報告書の掲載ページ

<https://www.pwri.go.jp/team/imarrc/research/tech-info.html>

Joint Research Report on Recycling of Asphalt Mixtures for Sustainable Practices

In recent years, there has been a growing use of recycled aggregate in asphalt mixtures. While many advocate for higher mix ratios of recycled aggregate to promote a recycling-oriented society, concerns persist about the potential deterioration of recycled asphalt properties through repeated cycling, which could shorten pavement lifespan. This poses a challenge to advancing toward a recycling-oriented society. To address these concerns, this study investigated the effect of recycled aggregate mix ratios on asphalt mixture properties. We also examined the applicability of warm mix asphalt technology for recycled mixtures, aiming to define optimal ratios of recycled aggregate and clarify their quality and scope of application. Additionally, we propose to improve the accuracy of splitting tests used to determine the recycled aggregate properties. Our approach involves proposing test conditions and evaluation methods that are easy to implement in laboratory settings.

予告 第6回 iMaRRC セミナーの開催（8/2）について

iMaRRC では、1月の能登半島地震により開催を延期しておりましたが第6回 iMaRRC セミナーを以下のとおり開催することになりました。多くの方に参加いただけるよう対面とWebのハイブリッド形式及び、アーカイブ配信いたします。一昨年度同様、多数の方にご参加いただけましたら幸いです。

第6回 iMaRRC セミナー

「地域バイオマスを活用してカーボンニュートラル社会に貢献する ～下水処理場を核とした分野横断的なバイオマスの利用と課題～」

日時：2024年8月2日（金）10:00～12:00

開催方法：下水道展'24 東京の併催企画（対面）&Web 併催

※本セミナーの詳細については、下記の土木研究所ホームページに掲載しています。

<https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/event/2024/0111/index.html>

Announcement of upcoming events

The 6th iMaRRC Seminar (webinar) is scheduled for the morning of August 2, 2024. The theme for this session is "Contribution to a Carbon-neutral Society through Local Biomass: Cross-sectoral Utilization of Biomass in Wastewater Treatment Plants and Its Challenges." We encourage the participation of all interested parties in this seminar. Detailed information is available on the PWRI and iMaRRC web pages.

研究者紹介 iMaRRC Researchers

1. 阿部 千雅

2024年4月に上席研究員(資源循環担当)として着任いたしました。1994年に旧建設省(現国土交通省)に入省し、本省や関係機関で、下水道を中心に様々なお仕事に関わってまいりました。土木研究所にも2005年～2006



年度、水質チームに在席しました。当時はまだ小さかった子供達の保育園事情のため都内から通いましたが、当時まだ仕事と育児の両立環境は今ほど整備されていなかった中、上司や同僚の皆様のあたたかいご支援と制度面でのサポートでなんとか乗り切ることができたことにとても感謝しています。

現在は主に、防食塗装などの下水道関係の材料の評価、下水汚泥や地域バイオマスの肥料・エネルギー利用、下水からの資源・エネルギー回収などの研究を行っています。今とても必要とされている内容ですので、チームの皆様と共によりしっかりと進めて参ります。他には、自分が今後年齢を重ねたとき超高齢社会でも幸せに生きていたいという思いから、様々な分野の女性仲間と一緒にライフワークとして10年ほど前から「オムツゴミストレスフリー」を目指す活動にも取り組んでいます。

Ms. Chika Abe was appointed as Chief Researcher at iMaRRC in April 2024. She began her career with the former Ministry of Construction, now the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), in 1994. Over the years, Ms. Abe has held various positions within MLIT and related organizations, primarily focusing on sewerage. She was a member of the Water Quality Team at PWRI from 2005 to 2006. During this period, she commuted from Tokyo, navigating the challenges of early childcare. Despite the less supportive environment for work-life balance at the time compared to today, she expresses deep gratitude toward her supervisors and colleagues for their substantial support, which helped her manage her responsibilities.

Ms. Abe's current research primarily involves the evaluation of materials such as anticorrosion coatings and the use of sewage sludge and local biomass for fertilizer and energy. Her work is crucial in advancing the recovery of resources and energy from sewage. Given the importance of these research topics, she is committed to collaborating closely with her team to drive these initiatives forward.

Additionally, for about 10 years, Ms. Abe has engaged in activities aimed at achieving a "diaper trash stress-free" environment, collaborating with women across various fields. This initiative is part of her lifelong commitment to fostering a fulfilling life in a super-aged society.

2. 中河 礼

2024年4月にiMaRRC材料資源研究グループの交流研究員として着任いたしました。大学院では有機化学を専攻し、生体機能分子の研究に取り組んでいましたが、就職活動時に学生時代の研究とは異なる分野に興味を持ち、地元大阪の管路更生材料メーカーに入社しました。そこで上下水道といったライフライン



の維持管理を支える管更生材料、特に熱可塑性や熱硬化性樹脂と繊維を組み合わせたFRP材の開発評価に12年間従事していました。今回、土木研究所への出向というご縁をいただき、これまでの業務で身近にあった『下水道管の更生管材料』に加え、扱いのなかった『防食樹脂』や『金属部材』といった新しい分野にも触れる機会を得ましたので、より多くの知識と技術を吸収できるよう努めて参ります。

Ms. Aya Nakagawa joined the Materials and Resources Research Group of iMaRRC as an exchange researcher in April 2024. She majored in organic chemistry in graduate school, focusing on biofunctional molecules. Her career took a turn when she developed an interest in a field different from her academic research and joined a pipeline rehabilitation materials manufacturer in Osaka. For 12 years, she was involved in the development and evaluation of pipe rehabilitation materials critical for maintaining vital infrastructures like water and sewage systems, particularly focusing on FRP materials that incorporate thermoplastic and thermosetting resins with fibers. Recently, Ms. Nakagawa transitioned to the Public Works Research Institute, expanding her expertise to include "corrosion-resistant resin" and "metal components," along with her continued work in "sewer pipe rehabilitation materials."

話は変わりますが、猫を飼い始めたことをきっかけに無類の猫好きになりました。一日の終わりに猫の動画を見て、心を癒しています。こちらでも猫好きの同士とお話したいので、お心当たりのある方はお声がけいただけますと嬉しいです。

In her personal life, Ms. Nakagawa is an avid cat enthusiast, a passion ignited by owning a cat. She enjoys unwinding by watching cat videos at the end of the day and is keen to connect with fellow cat lovers. If you know someone who shares this interest, she would be delighted to engage with them.

3. 仲野 弘識

2024年4月にiMaRRC材料資源研究グループに交流研究員として着任致しました。出向元では、高速道路などのコンクリート構造物の新設工事における施工管理業務や技術支援業務など、コンクリート工に関わる業務に従事しておりました。その経験を活かして、iMaRRCでは、高流動コンクリートやICT技術など、コンクリート工の生産性向上に寄与する技術の研究に取り組んでいます。使う材料は同じでも立場は異なるため、非常に新鮮で、今までとは別の視点から物事を考えられる機会を得られたと感じております。またiMaRRCでは同フロア内で様々な分野の研究が行われており、そういった方々と交流できる点もとても面白いところだと思っております。この度、出向という新たなチャンスを頂きましたので、多くの知識や技術を習得することはもちろん、土木研究所の皆様や交流研究員の方々と交流を深め、大きく成長できるようにがんばります。



Mr. Hironori Nakano also joined the Materials and Resources Research Group of iMaRRC as an exchange researcher in April 2024. Previously, he was involved in tasks related to concrete work, including construction management and technical support for constructing new concrete structures, such as highways. At iMaRRC, he is now researching technologies aimed at enhancing the productivity of concrete work, which includes innovations in high-flow concrete and ICT technologies. Although he continues to work with familiar materials, his new role offers a fresh perspective and invigorating challenges. Moreover, Mr. Nakano appreciates the dynamic environment at iMaRRC, where research across various fields is conducted on the same floor, facilitating interesting interactions with diverse professionals. With this secondment, he not only aims to broaden his knowledge and skills but also to actively engage with colleagues from the Civil Engineering Research Institute and other exchange researchers to foster substantial professional growth.

iMaRRC Newsletter 発行元：(国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター (iMaRRC)
Tel:029-879-6761 Fax: 029-879-6733 Email: imarrc-at-pwri.go.jp *送信の際は、-at-を@に変更してください