

研究コラム 土木用 FRP の耐久性評価

FRP は、軽量かつ高強度などの特長を活かして、土木構造物においても、補修・補強を中心に様々な用途に使われています。FRP は鋼材が腐食しやすい塩害環境でも腐食しないため、この特長を活かした活用事例も多いですが、土木構造物の使用される様々な環境で全く劣化しないというわけではありません。このため、土木構造物の用いられる環境条件で FRP がどのように劣化するかを的確に把握するとともに、劣化を防止する手法を確立することが必要です。

iMaRRC では、土木構造物で用いられる FRP の長期耐久性について、これまでに様々な研究を行ってきました。

コンクリート構造物の補修・補強にしばしば用いられる、シート状の FRP は、布状の炭素繊維やアラミド繊維を構造物の表面に樹脂を含浸しながら貼り付けて硬化させます。この材料の長期耐久性を調べるため、板状の FRP やこれを張り付けたコンクリート板の、数十年にわたる屋外暴露試験を実施しています (Photograph-1)。特に補強用途で多く使われている、炭素繊維を用いた FRP (CFRP) の例 (Figure-1) では、この材料が適切に作製された場合には、10 年程度の屋外暴露後でも、良好な力学性能や付着性能を保持することが分かっています。

水門や橋梁検査路のような用途では、ガラス繊維を用いた FRP (GFRP) の形材が用いられることがあります。この材料についても、使用環境を想定した屋外暴露試験や水中浸漬試験などを実施したり、実際の構造物の劣化状況の調査などにより、その劣化性状や耐久性について検討しています。GFRP の場合には、長期にわたって良好な耐久性を発揮させるためには、適切な塗装などの保護層が重要であることなどを明らかにしています。

FRP の長期にわたる性状変化については、まだ不明の点も残っていることから、今後さらなる検討をすすめ、より信頼性の高い有効な活用技術の確立を目指しています。

Taking the advantage of its lightweight and high strength, fiber-reinforced polymer (FRP) is used in construction structures for various purposes, primarily for repair and reinforcement. Even in the most corrosive environments, FRP will not corrode. However, this does not mean that FRP will not deteriorate in various environments that construction structures used. Therefore, the durability of FRP in various environments of construction structures should be investigated. iMaRRC has conducted various studies on the long-term durability of FRP used for construction structures.

Photograph-1 shows the specimens in the long-term exposure tests of FRP sheets for concrete structures. These tests are continued for several decades to obtain the basic data on the durability of FRP or adhesive properties between FRP and concrete.

Figure-1 shows an example of the results of the exposure tests of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) sheets. The y-axis shows the retention ratio of the tensile strength of the CFRP sheet after the exposure tests at three locations with different climates. These results suggest that the tested materials, fabricated under the appropriate conditions, exhibit good durability of tensile properties even after ten years in various climate locations.

Because there are still some unknowns about the long-term changes in the properties of FRP, we will conduct additional research in the future to develop more reliable and effective utilization technology.



CFRP laminated specimens

Concrete plates with CFRP laminates

Photograph-1 FRP specimens in the long-term exposure test

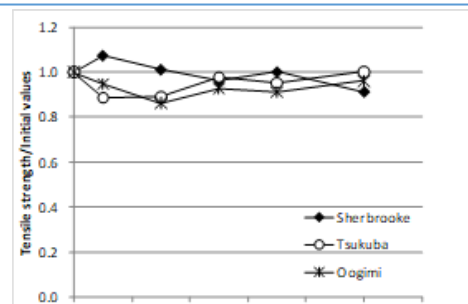


Figure-1 Example of the results of the exposure tests of CFRP sheets

(I. Nishizaki, P. Labossiere, K. W. Neale, M. Demers and T. Tomiyama, Proceedings of CDCC 2011, pp.91-99, 2011)

研究コラム 遅延エトリンタイト生成を抑制するための蒸気養生時の留意点

プレキャストコンクリート製品は、早期に強度を得るため蒸気養生を用いて製造されることが一般的ですが、その際の温度管理が適切でない場合硬化後に長期間かけてコンクリートを膨張させる遅延エトリンタイト生成（以下、DEF）という劣化を生じさせるおそれがあります（Photograph-2）。

DEFのメカニズムについては、まだ不明な点が多くありますが、養生中のコンクリート温度を70°C程度以下にすることで、劣化を抑制できると考えられています。出荷時の製品ではDEFが生じるかを確認できないので、製造時に適切に蒸気養生されていることが重要です。

蒸気養生設備内の雰囲気温度の設定の仕方や、蒸気吹出口付近で局所的に高温になることなどについては、一般的なことはわかっておりましたが、DEFを生じさせない観点からこれらを考慮する具体的な方法は示されていませんでした。このため土木研究所では、道路プレキャストコンクリート製品技術協会と共同研究を行って、適切な蒸気養生中の温度管理方法を検討しました。

まず、道路用プレキャストコンクリート製品などを製造している約90社の工場に対して調査を行い、蒸気養生設備（Photograph-3）の種類や蒸気を制御する雰囲気温度の測定位置などの実態を明らかにしました。続いて、実態調査の結果を踏まえて、プレキャスト工場において実際の製造を再現した実験を行い、測定位置によって雰囲気温度が相当に異なること（Figure-2）を明らかにしました。

これらの成果をとりまとめ、DEFを抑制するための留意点として、蒸気を制御する温度の測定位置、蒸気吹出口からプレキャスト製品まで確保する距離などを提案しました。この知見をプレキャスト製品の製造者が活用することで、DEFの抑制につながることを期待されます。

※本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>



Photograph-2 Precast concrete product deteriorated by DEF



Photograph-3 Example of steam curing facility

Important considerations for preventing delayed ettringite formation

Precast concrete products are generally manufactured through steam curing to gain strength at an early stage, but if the temperature is not properly controlled during this process, there is a risk of delayed ettringite formation (DEF), a deterioration mechanism that causes concrete to expand over a long period after curing (Photograph-2).

Although there are still many unknowns regarding the mechanism of DEF, it is believed that the deterioration can be controlled by keeping the concrete temperature below approximately 70°C during curing. Because it is impossible to confirm whether DEF is present in a product at the time of shipment, the temperature of products during the steam-curing process should be properly controlled.

However, specific methods for controlling the temperature of products from the viewpoint of preventing DEF have not been reported. Thus, iMaRRC collaborated with the Road Precast Concrete Association to investigate appropriate temperature control methods during steam curing.

First, a survey was conducted on approximately 90 plants that manufacture precast concrete products to clarify the actual conditions of steam-curing facilities (Photograph-3) and the locations where the ambient temperature to control steam was measured. Based on the survey results, we then experimented to reproduce actual production at a precast factory and found that the ambient temperature varies considerably depending on the measurement position (Figure-2).

Based on these results, we proposed considerations for preventing DEF, such as the measurement position of temperature to control the steam and the distance to be secured from the steam outlet to the precast products. It is expected that manufacturers of precast concrete products will use this knowledge to prevent DEF.

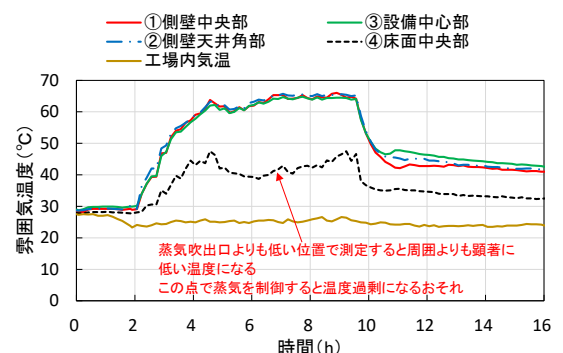


Figure-2 Ambient temperature during steam curing

予告 第2回 iMaRRC 講演会を開催します。

iMaRRCは、平成28年度から開始された土木研究所の第4期中長期計画では、社会資本の戦略的な維持管理・更新への貢献および持続可能で活力ある社会の実現への貢献を目標として、材料および資源に関する様々な研究に取り組んできました。令和3年度の第4期中長期計画終了の節目に当たり、その主要な成果を報告するとともに、第5期中長期計画の展望について報告するため、以下のとおり第2回 iMaRRC 講演会を開催することとなりました。なお、本講演会では、材料および資源の関連分野でご活躍中の研究者をお招きした特別講演も併せて実施します。興味のある方はご参加頂けましたら幸いです。

日時：令和4年11月8日（火）13時～17時15分

場所：一橋講堂中会議室（東京都千代田区）

開催方法：会場開催 WEB 併用（予約制）

特別講演①：「コンクリート工学におけるDX」 東京大学 石田哲也教授

特別講演②：「脱炭素・カーボンニュートラル社会に向けた下水道技術の開発」 長岡技術科学大学 姫野修司准教授
本セミナーの詳細については、後日、土木研究所ウェブサイト、iMaRRC ウェブサイトに掲載いたします。

Announcement of an upcoming event

The 2nd iMaRRC lecture meeting will be held in Hitosubashi Hall in Chiyoda-ku, Tokyo, on November 8, 2022. This lecture meeting presents an outcome of the 4th medium to long-term plan of PWRI (2016FY-2021FY) and a vision of the next medium to long-term plan. Keynote addresses will also be held by researchers in the fields of materials and resources.

We look forward to many people joining this lecture. For more information, please see the PWRI and iMaRRC websites.

研究者紹介 iMaRRC Researchers

1. 太田 雄一郎

令和4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。出向元はハリマ化成（株）という会社で、新規事業参入のための営業活動とマーケティングを担当しております。この度、新たに道路舗装分野の技術を学ぶために受け入れていただきました。大学では超



音波による構造解析、会社ではコーティング剤や製紙用薬剤の開発と、土木とはあまり関わりのない分野に携わっていました。故に初めて知ることも多く、日々様々なことをご教示いただきながら、そして楽しみながら研究活動に取り組んでおります。

特に道路舗装に重要な役割を果たすアスファルトに関する研究に従事しております。アスファルトは特徴的な性質を有しているので非常に興味深い材料です。一方で中々手強い材料でもあり、服についたアスファルト汚れを落とすのに苦労しています。出向元に戻るまでに少しでもアスファルトと仲良くなれるよう努力して参ります。

Mr. Yuichiro Ota joined the Materials and Resources Research Group of iMaRRC as an exchange researcher in April 2022. He is a salesman at Harima Chemicals, Inc. He is in charge of marketing for new business entries. He has been seconded in iMaRRC to learn technology in the field of road paving. While in university, he was involved in structural analysis through ultrasound spectroscopy, and at the company, he was involved in the development of coating agents and papermaking agents, fields unrelated to civil engineering. Therefore, he has learned many new things.

In particular, he is engaged in research on asphalt, which plays an important role in road paving. Asphalt is very interesting because it has unique properties. On the other hand, it is also a tough material, and he had some difficulty removing asphalt stains from his clothes. By the time he returns to Harima Chemicals, Inc., he will do his best to get along with asphalt as much as possible.

2. 高山 遼太郎

令和4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致しました。大学では有機合成を専攻し、卒業後は化学メーカーに入社し様々な用途で使用される合成樹脂の研究開発に携わってきました。



この度、土木研究所への出向という貴重な機会を頂くこととなり、現在はアスファルト舗装材料分野に関する研究に取り組んでいます。アスファルト舗装材料の研究は私自身にとって新たな挑戦であり、未熟ではありますが、土木研究所の職員の皆様や他の交流研究員の方々に色々と教えて頂き、楽しみながら研究を進めています。

映画鑑賞が好きで、家の近くに映画館があるのでしょっちゅう観に行っています。最近は同じ映画を3回観ました。多分まだ増えます。

限られた期間ではありますが、少しでも貢献できるよう、また様々な方々と交流を深めて、多くを学び成長できるよう頑張りたいと思います。

Mr. Ryotaro Takayama joined the Materials and Resources Research Group of iMaRRC as an exchange researcher in April 2022. He researched organic synthesis while in university, and then he joined a chemical company and developed a resin used for various products.

At the moment, he has a valuable opportunity to work for Public Works Research Institute to research asphalt pavement materials. This work is new and challenging for him; he has little knowledge about the field. However, he enjoys studying and researching with PWRI staff and other collaborating researchers.

He likes watching movies. He frequently goes to a cinema located near his home. Recently, he watched the same movie three times, and he may do so again.

Although his research period is limited, he will do his best to contribute as much as he can and to learn and grow by interacting with different people.

3. 津田 直弥

令和4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いたしました。

大学では土木を専攻し、2015年より現本拠地である化学メーカーに入社いたしました。入社後は商品開発の部署に配属され、新製品の開発に従事してきました。



現在は、下水道施設で使用される樹脂を用いた防食材料や更生管について、耐有機酸性やクリープ等の課題に対する性能評価手法や設計手法を開発することを目標に、日々研究を行っています。着任中は研究テーマに関わらず、幅広い分野の人と交流し情報交換することで、土木技術者としての視野を広げたいと考えております。

プライベートではバンド演奏を趣味としております。元々関西に暮らしていたため、向こうで共に演奏していたメンバーと離れることは寂しかったですが、一方でこちらに来て新しい人と演奏する機会が得られました。今後も仕事でもプライベートでも、新しい人との出会いを楽しみにしてつくばでの生活を満喫したいと思います。

Mr. Naoya Tsuda joined the Materials and Resources Research Group of iMaRRC as an exchange researcher in April 2022. He majored in civil engineering while in university, and in 2015, he joined a chemical manufacturing company, which is his organization. After joining the company, he was assigned to the product development department and engaged in the development of new products. Currently, he is researching on developing performance evaluation methods and design methods for issues such as organic acid resistance and creep for corrosion protected materials and liner pipes, which are made of resins and used in sewage facilities. During his time in iMaRRC, regardless of his research theme, he would like to broaden his horizons as a civil engineer by interacting with people in a wide range of fields and exchanging information. In private, he enjoys band performances. He used to live in the Kansai area, so he was saddened to leave the members he used to play with, but on the other hand, he was able to come here and have the opportunity to work with new people. He looks forward to meeting new people and enjoying his life in Tsukuba, both at work and in private.

受賞報告 Research Awards

賞 Award	受賞者 Recipient Name	論文名 Title	表彰団体 Awarding organization	受賞日 Date
	研究成果の概要 Abstract			
コンクリート工学年次大会 2022 年次論文奨励賞 (JCI Annual Meeting Paper Award)	小沢 拓弥, 田中 良樹, 古賀 裕久, 上仙 靖 (Takumi OZAWA, Yoshiki TANAKA, Hirohisa KOGA, Yasushi JOSEN)	道路橋コンクリート床版の上面補修界面における開口挙動 (Opening behavior on repair material interface at the top layer of reinforced concrete bridge decks)	公益社団法人日本コンクリート工学会 (Japan Concrete Institute)	July 15th, 2022
研究成果の概要： 本論文は、研究開発プログラム「短繊維補強コンクリートを用いた橋梁床版の耐久性向上技術に関する共同研究」に基づく成果です。本研究では、床版上面補修における基礎的な検討として、弾性床と見なせる厚い版に上面補修を模擬した供試体から、輪荷重下における補修材の変形挙動や界面の開口挙動を把握することを目的としました。界面の開口挙動の把握には、有限要素法を用いて解析的に検討するとともに、輪荷重走行試験を実施しました。その結果、界面付近に輪荷重が作用する場合、界面の変形量は0.01mm オーダーとかなり微小であったが、実験値と解析値とで開口挙動の傾向が概ね一致することを確認しました。				
コンクリート工学年次大会 2022 年次論文奨励賞 (JCI Annual Meeting Paper Award)	角田 貴也, 櫻庭 浩樹, 俵 道和, 古賀 裕久 (Takaya TSUNODA, Hiroki SAKURABA, Michikazu TAWARA, Hirohisa KOGA)	PCaPC 部材の塩化物イオン浸透抵抗性の迅速評価手法の検討 (Rapid evaluation method for chloride ingress resistance of PCaPC)	公益社団法人日本コンクリート工学会 (Japan Concrete Institute)	July 15th, 2022
研究成果の概要： コンクリートの高耐久化を目的として高炉スラグ微粉末などの混和材の活用が目目されており、この普及に向けて混和材を用いることによる塩化物イオン浸透抵抗性の向上効果を迅速に評価する手法の確立が望まれています。本検討では、混和材を用いたプレキャストプレストレストコンクリート (PCaPC) 部材の品質管理に電気抵抗率試験による塩化物イオン浸透抵抗性の迅速評価手法を導入することを想定し、電気抵抗率の測定誤差および品質の日間変動の程度を、複数の打設日で製作したコンクリート供試体を用いて検討しました。この結果、電気抵抗率の測定結果は概ね正規分布に従うこと、その変動係数は10%程度であり、コンクリートの圧縮強度と概ね傾向が一致することなどを確認しました。				

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