

インフラの維持管理を主眼においた革新的構造設計手法の提案

Practical Proposals for Advanced Structural Design Method especially Focused on the Maintenance of Infrastructure

市民工学科・市民工学専攻
Department of Civil Engineering

三木 朋広
Tomohiro MIKI

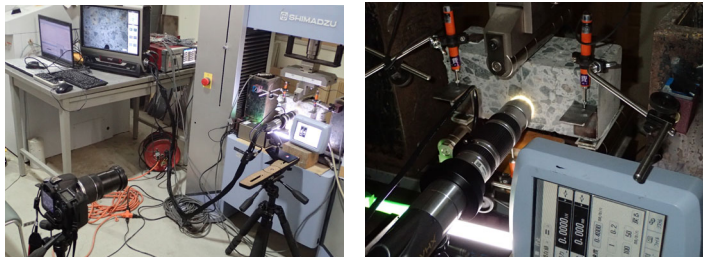
e-mail: mikitomo@port.kobe-u.ac.jp HP: http://www2.kobe-u.ac.jp/~mikitomo/

我々の研究室では、社会基盤であるコンクリート構造物を安全に、安心して使用するための情報を提供することを活動方針としています。特に、構造物の維持管理を最重要視して、長期的に安全を確保しそれを確認できるスキームの提案を目指し、以下の研究を行っています。

- 構造物を長く使い続けるための**維持管理を主眼においた革新的構造設計手法**の提案
- **鉄筋腐食やASR**などによって材料劣化した部材の力学挙動の解明
- **新材料**の性能を活用した**構造部材の開発イノベーション**
- **レジリエント**社会実現に向けたPCaPC構造の開発
- **目に見えない「応力」の測定**に向けた挑戦

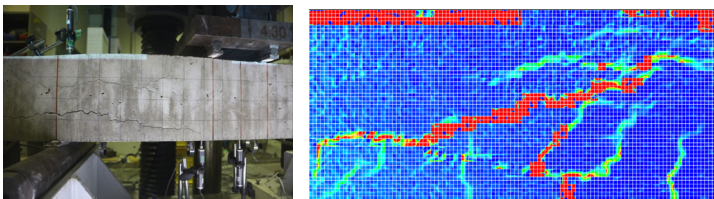
画像解析を用いたASRが生じたコンクリートの破壊領域の測定

アルカリシリカ反応 (ASR) はコンクリートの劣化現象の一つであり、コンクリートに**有害な膨張やひび割れ**を生じさせます。また、コンクリートのひび割れ先端の周辺には、目視できないような微細なひび割れが生じた領域 (**破壊進展領域**) が存在します。荷重を加えてひび割れを生じさせた試験体を対象として**画像解析**を行い、破壊進展領域を測定することを試んでいます。



載荷試験の様子 (高画質デジタルカメラとマイクروسコープを用いて観察します)

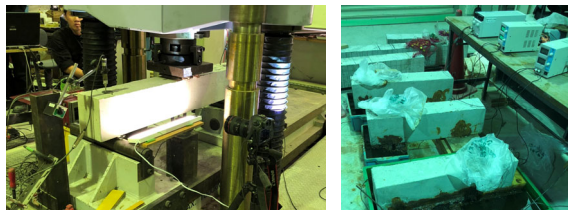
ASRは実際の構造物においても見られる劣化現象です。構造物の一部を模擬したRC部材にASRを生じさせて、部材の**せん断耐荷メカニズム**、つまり、車両などの荷重に対しては(部材)がどのように抵抗するのかを調べています。そのために、まずASRによるひび割れの状態を詳しく調べてRCはりの**「損傷度」**を定量的に評価します。さらに、載荷によってRCはりに発生した斜めひび割れの進展挙動を画像解析によって測定します。実験結果から、初期たわみやASRひび割れの存在によって斜めひび割れの角度が変化し、そのことがせん断耐荷メカニズムに影響を与えることがわかりました。



ASRによるひび割れ(ASR-4 1200) 画像解析の一例(載荷試験前に生じていたASRによるひび割れも開口していることがわかる)

鋼材腐食が生じた部材の残存性能評価とデジタルツインによるPC橋梁のモデル化

鉄筋コンクリート(RC)部材やプレストレストコンクリート(PC)部材の劣化現象の一つに**鋼材腐食**があります。鋼材が腐食することで**コンクリート構造物の耐荷機構**(力の伝わり方や大きな力に耐える方法)が変化することがわかっていますが、どのようなメカニズムで変化するのは明らかになっておらず、それを定量的に評価する方法もありません。特に、**PC部材ではプレストレス(初期の圧縮応力)が変化してしまうため、鋼材腐食に伴うプレストレスの変化を把握する**必要があります。本研究では、促進試験によって鋼材腐食を早期に再現し、様々な腐食状態の供試体を用いて、載荷実験や**画像解析**を行うことによって、はり部材の耐荷機構の解明に取り組んでいます。また、再現結果に基づいて精緻な解析モデルをつくり、**構造物をデジタル空間上で再現するデジタルツイン**を構築して、実構造物における劣化を再現した上で構造物の性能を評価することを試んでいます。この成果は、実際の構造物、特に**PC橋梁の健全性の評価に役立っています**。



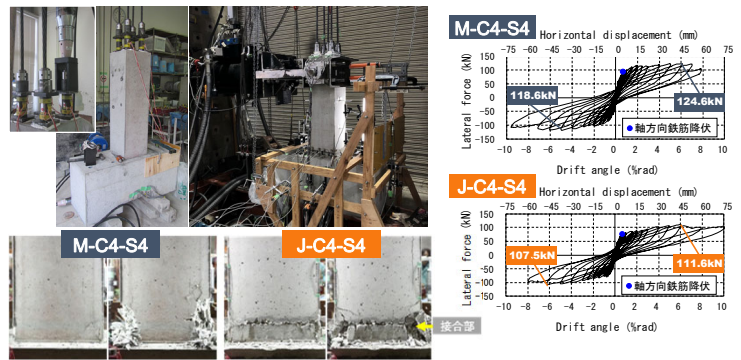
はり部材の載荷実験(左)と腐食促進試験(右)の様子



既設の2径間PC中空床版橋のデジタルツイン (橋長63m、支間31m×2、幅員9.85m、桁高1.55m) 断面図 円形のボイド(軽量化のため内部に空間を設けている)

地震による損傷を早期に復旧できるレジリエント構造の提案

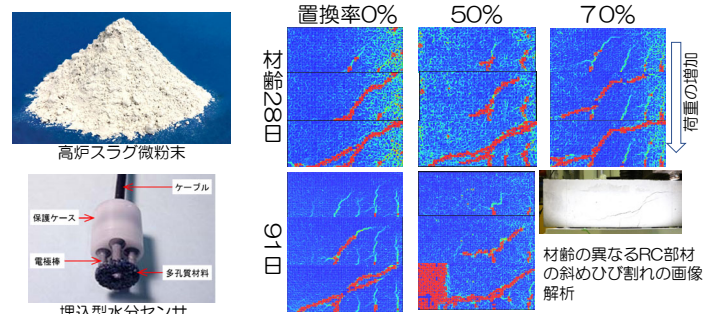
レジリエント構造: 地震時に生じる損傷を制御し、残留変形の低減して構造物の早期復旧を実現する構造。その実現に向けて、**プレキャスト(PCa) & プレストレストコンクリート(PC) 橋脚**の開発と実証実験を行っています。



接合部がない一体打ちPC柱(M-C4-S4)では、一般的なRC柱と比較して柱基部における**損傷範囲が小さくなる**。開発したPCaPC柱(J-C4-S4)では、**損傷範囲がさらに小さくなる**。PCaPC柱に作用した水平荷重と水平変位の関係から、**大変形時まで水平荷重を保持するとともに、地震後残留する変形量(水平荷重がゼロのときの水平変位)も小さい**ことがわかる。

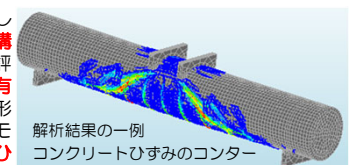
高炉スラグ微粉末を多量に混合したコンクリート部材のせん断耐荷機構

コンクリートに必須の**セメント**を製造するとき、1450度の高温で材料を焼成する必要があり、製造時に**多量のCO₂を排出**します。そこでセメントの一部を高炉スラグなどの副産物で置換して、**CO₂排出量を削減**する、**カーボンニュートラル**に向けた試みがあります。本研究で使用する**高炉スラグ微粉末**は、製鉄所の高炉で副生される高炉水砕スラグを微粉砕して製造した**水硬性の混和材**であり、セメントと混合使用することでコンクリートの化学抵抗性、水密性、長期強度を増進します。しかし、高炉スラグ微粉末を多量に混合したコンクリートは硬化時の**体積収縮が大き**く、RC部材に有害なひび割れが生じることもあります。この研究では、高炉スラグ微粉末を多量に用いたコンクリート(セメント置換率70%、80%)の**破壊力学特性**を調べました。また、高炉スラグ微粉末を用いたRCはりの載荷試験により、**RCはりのせん断特性を実験的に把握**しました。その際、材齢に伴う**収縮ひずみとコンクリート内部の水分量の経時変化**を測定しました。様々な実験の結果から、高炉スラグ微粉末の置換率の違いにより、**RCはりのせん断特性や収縮特性が異なる**ことを実験的に明らかにしました。



非線形解析による円形断面RCはりのせん断耐力の評価

コンクリート部材設計では、簡便なため、**円形断面**を四角形断面に置き換えます。しかし、様々な形状の部材、特に**桁や円環構造**においては不合理となるため、適切な評価方法が必要です。本研究では、**3次元有限要素解析**を通じて、単純支持された円形断面RCはりにおけるコンクリートの圧縮モデル、コンクリートのひび割れモデル、**ひび割れ面でのせん断伝達モデル**等の各種パラメータがRCはりのせん断耐力の解析結果に与える影響を調べています。この研究の展開として、プレストレストコンクリート円環構造(リング形状の構造)を**浮体式洋上風力発電施設の海中基礎部**に使用することを想定し、**円環タワー構造の設計方法の提案**に向けて取り組んでいます。



解析結果の一例 コンクリートひずみのコンター