

令和2年度 研究成果の概要(1/2)

<p>研究テーマ： 「モニタリング・点群データを活用した橋梁健全性の定量評価に関する技術研究開発」</p>
<p>研究代表者 ・氏名(ふりがな)： 佐藤靖彦(さとうやすひこ) ・所属、役職： 早稲田大学理工学術院, 教授</p>
<p>研究期間： 令和 2年 11月～令和 5年 3月</p>
<p>研究参加メンバー(所属団体名のみ) ・早稲田大学、株式会社 KSK, 株式会社 IHI</p>
<p>研究の背景・目的 橋梁の健全度を正しく予測できれば、構造物を制御する、つまり、管理シナリオを描き、健全度に応じた具体的な維持管理行為を計画に落とし込むことができる。しかし、任意の時点における橋梁の残存耐力と余寿命を定量的に予測できる手法は未だ開発途上にある。本研究は、モニタリング技術と外力・損傷機構推定技術を開発した上で、それらの技術を活用した橋梁上部構造の健全度定量評価技術を開発する。</p>
<p>研究内容(研究の方法・項目等) 本研究では、開発する3つの技術に関する検討、すなわち、モニタリング技術に関する検討、外力・損傷機構推定技術に関する検討、橋梁上部構造の健全度定量評価技術に関する検討が、並行して進められる。モニタリング技術では、サンプリングモアレカメラによる変位計測技術とドローンを用いたモアレ法によるひび割れ幅振幅計測技術を開発する。外力・損傷機構推定技術では、AIによるトラック荷重の推定法とAIによるアーチ橋の損傷機構の推定法の開発を行う。健全度の定量評価では、モニタリング技術と外力・損傷機構推定の成果を活用しつつ、床版の残存耐力と余寿命予測法と鋼材腐食したRC・PC桁の残存耐力予測法、さらに、モニタリング・点群データを活用した耐荷力評価法を開発する。 研究手法として、鉄筋コンクリート供試体を用いた促進試験、実橋を試験フィールドとした上部構造のひずみ・変位計測、さらに、有限要素法及び機械学習などの解析の3つのアプローチを組み合わせる。試験フィールドを活用した計測技術と外力・損傷機構推定技術は、早稲田大学と民間企業のKSKとIHIが共同して開発する。その技術を活用した橋梁上部構造の健全度の定量評価技術は早稲田大学が開発する。 本研究では、研究期間として3年を設定され、1年ごとに研究項目が用意されている。今年度の研究項目は以下に示す7つである。 (1) 関東地方整備局が管理する橋梁を通過する車両を定点撮影した画像を使用し、東南アジアの車両を対象として開発したAIによるトラック荷重推定法の改良を行う。 (2) 関東地方整備局が管理する橋梁を利用し、サンプリングモアレカメラによる床版の変位計測を行う。 (3) 気仙沼大橋に設置してあるFBG センサにより計測したひずみと3次元有限要素解析結果とを比較し、作用の種類と応答の関連付けを行う。 (4) 床版の土砂化を再現できる新しい実験に用いる試験体を作製する。 (5) 室内実験を通じて、モアレ法によるひび割れ幅振幅の精度検証と視覚化手法を見出す。 (6) 腐食ひび割れ幅 w_r と RC 部材内部に生じる鉄筋腐食量 η の関係を実験的に把握するため、かぶり、水セメント比、鉄筋量などを変えたRC部材を作製し、その電食実験中のX線撮影+デジタル画像処理により、w_r と η の関係を実験的に把握する。 (7) (6)の実験データ (w_r-η 関係) を非線形 FEM 解析により再現できるモデルを構築する。また、(5)の実験から得られる鉄筋腐食分布の空間的な変動を数理的に表現するための確率場パラメータを同定する。最終的には、非線形 FEM 解析+確率場理論により、Machine Learning の学習データを数値解析により構築する。</p>

令和2年度 研究成果の概要(2/2)

研究成果の概要

モニタリング技術に関する成果

試験フィールド(図 1)において、サンプリングモアレカメラによる床版の変位計測を実施し良質の膨大なデータ(図 2)の取得に成功した。



図 1 試験フィールド

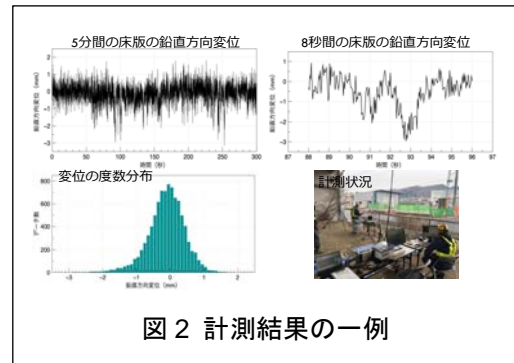


図 2 計測結果の一例

外力・損傷推定技術に関する成果

(1) 気仙沼大島大橋に設置した FBG センサ、温度センサ、風速計、定点カメラ映像、気象情報のデータをもとに、同時に複数の荷重が載荷されていない単一荷重作用時の FBG センサ計測ひずみ値の変動の特徴を荷重種類ごとに整理することができた。これにより、単一荷重が作用したとみられる場合の FBG 計測値から荷重種別を判定することができた(図 3)。また、有限要素解析を用いて橋梁の全体モデルに対して各荷重の作用モデルを載荷した解析の結果と実際の計測値を比較することで妥当な作用モデルを見出し、さらに FBG センサの計測値から作用同定だけでなく荷重の大きさを推定することができた。

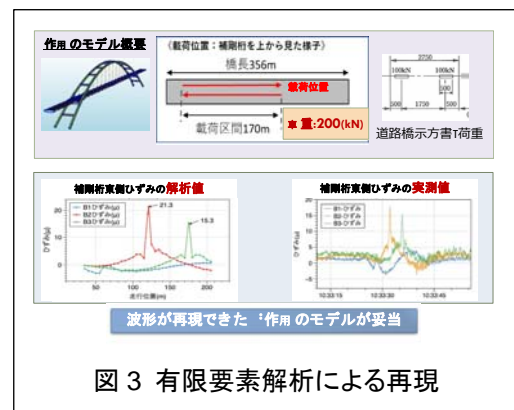


図 3 有限要素解析による再現

(2) 静的及び疲労荷重を受ける RC はりの曲げせん断試験を実施し、サンプリングモアレ解析により得られた変位は十分な精度を有すること(図-4)を確認した上で、せん断ひび割れを対象に、ひび割れ幅とずれ幅を計測する手法を提示し、その挙動を視覚的に捉えることができた。サンプリングモアレ解析により、変位だけではなく、繰返し荷重を受ける RC 部材のひび割れ幅振幅を適切に求めることができることを明らかにした。

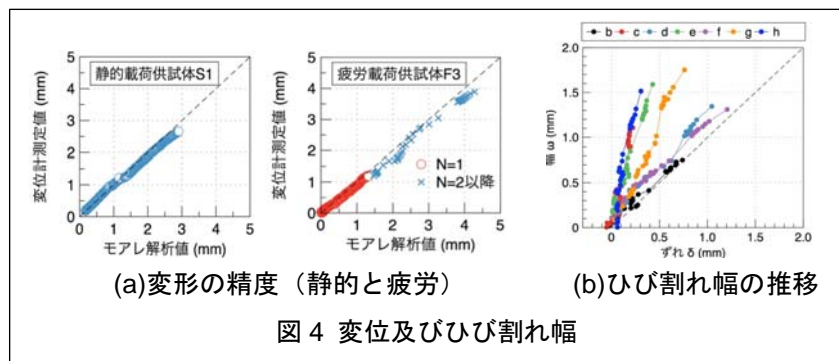


図 4 変位及びひび割れ幅

健全度評価に関する検討

鉄筋が腐食した部材の耐力の算定フローを図 5 に示す。今年度は、劣化 RC 部材の腐食ひび割れ幅の分布から LSTM を用いることにより、部材内に生じている鉄筋断面損失率の分布を推定可能にした。また、鉄筋腐食量を既知データとして与えたとき、RC はり表面にあらわれる腐食ひび割れ幅を再現する FEM モデルを構築した。本研究では、既発表論文にある実験データも活用し、鉄筋腐食分布を再現する確率場パラメータを同定した。

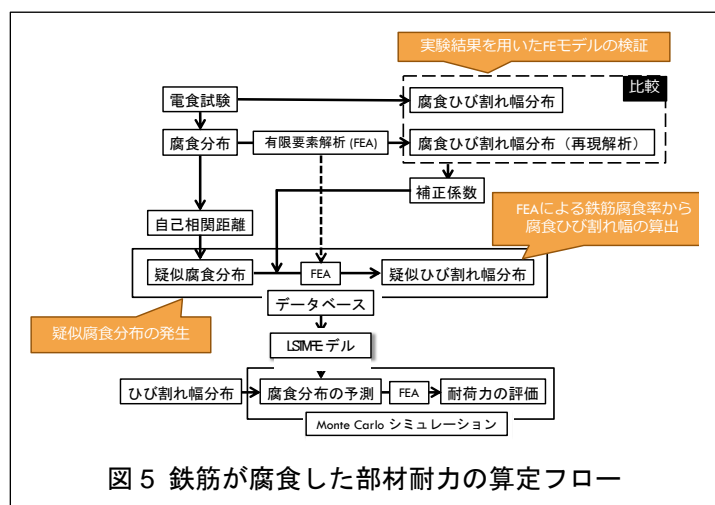


図 5 鉄筋が腐食した部材耐力の算定フロー